

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ,  
МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ**

**ВОЛИНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ЛЕСІ УКРАЇНКИ**

**БОБЛЯХ СЕРГІЙ РОСТИСЛАВОВИЧ  
МЕЛЬНИЧУК МИХАЙЛО МИХАЙЛОВИЧ  
МЕЛЬНИК ВОЛОДИМИР СЕРГІЙОВИЧ  
ІГНАТЮК РОМАН МИХАЙЛОВИЧ**

**ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ**

**МОНОГРАФІЯ**

**Луцьк -2012**

**УДК 01:620.92**

**ББК 91.9:35.51я73**

**A-58**

*Рекомендовано вченою радою Волинського національного університету ім. Лесі Українки (Протокол №8 від 23.02.2012 р.)*

**Рецензенти:**

**Сьюзен Уайт Стюарт**, Ph.D., науковий співробітник департаменту аерокосмічної техніки і архітектурного проектування Державного Університету штату Пенсільванія, м.Стейт Коледж, США;

**Ярослав Олександрович Мольчак**, доктор географічних наук, професор, завідувач кафедри охорони праці і безпеки життєдіяльності Луцького національного технічного університету, м. Луцьк;

**Баховець Борис Опанасович**, кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри електротехніки і автоматики Національного університету водного господарства та природокористування, м. Рівне.

**С.Р. Боблях, М.М. Мельнійчук, В.С. Мельник, Р.М. Ігнатюк**  
**A-58** Відновлювальні джерела енергії. Монографія. – Луцьк: Волинський національний університет ім. Лесі Українки, 2012. - 227 с.

**ISBN**

У монографії викладено основи теорії, принципи функціонування та використання нетрадиційної енергетики: сонячної, вітрової, енергії води, геотермальної та біопалива.

До кожного розділу подано приклади розрахунків, а також тренінгову тестову програму для контролю знань. Видання рекомендоване для інженерних працівників та студентів вищих навчальних закладів, що займаються вивченням та дослідженням джерел нетрадиційної енергетики.

Табл.20. Іл.124. Бібліогр.назв.66.

**УДК 01:620.92**

**ББК 91.9:35.51я73**

**ISBN 978-966-361-678-0**

- © Боблях С.Р., Мельнійчук М.М., Мельник В.С., Ігнатюк Р.М, 2012
- © Волинський національний університет ім. Лесі Українки, 2012

## ЗМІСТ

|   |     |
|---|-----|
| ВСТУП.....  | 4   |
| РОЗДІЛ 1. ПОЯВА ЛЮДИНИ ТА ПЕРШІ СПРОБИ<br>ПІДКОРЕННЯ СВІТУ.....                     | 6   |
| РОЗДІЛ 2. ІНДУСТРІАЛЬНА РЕВОЛЮЦІЯ ТА ЇЇ<br>НАСЛІДКИ.....                            | 10  |
| РОЗДІЛ 3. ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ЗАКОНОДАВСТВА,<br>ЩО ОБМЕЖУВАЛО ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ..... | 24  |
| РОЗДІЛ 4. ЕНЕРГІЯ СВІТОВОГО ОКЕАНУ.....   | 31  |
| РОЗДІЛ 5. ГЕОТЕРМАЛЬНА ЕНЕРГІЯ.....   | 60  |
| РОЗДІЛ 6. ЕНЕРГІЯ ВІТРУ.....  | 74  |
| РОЗДІЛ 7. ЕНЕРГІЯ СОНЦЯ.....  | 105 |
| РОЗДІЛ 8. БІОПАЛИВО.....  | 128 |
| РОЗДІЛ 9. ЕНЕРГІЯ РІК.....  | 165 |
| РОЗДІЛ 10. МАЙБУТНЄ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ<br>ЕНЕРГЕТИКИ.....                              | 180 |
| РОЗДІЛ 11. ТЕРМІНОЛОГІЧНИЙ СЛОВНИК.....   | 192 |
| РОЗДІЛ 12. КОНТРОЛЬ ЗНАНЬ.....  | 196 |
| РОЗДІЛ 13. ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКІВ.....  | 204 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ<br>ДЖЕРЕЛ.....                                     | 219 |
| ДОВІДКА ПРО АВТОРІВ.....  | 224 |

## ВСТУП

*Природу не можна обманути, але з нею можна домовитись.*

*А. Ейнштейн*

З давніх давен пошук їжі та джерел енергії визначав діяльність людини. Деревина, вітер і вода довгий час були єдиними енергоносіями. З перетворенням енергії води та інших видів енергії в електричний струм почався бурхливий розвиток техніки. Дешева нафта забезпечила бурхливий розвиток автомобілебудування, однак, внаслідок зростання цін на енергоносії і різкого збільшення населення Землі почали все частіше з'являтися застереження про обмеженість земних ресурсів.

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 р. - у 13,3 рази, а на початку ХХІ століття у 23...25 разів.

У середньому 1 людина за рік споживає енергії 2,2 т у.п. (тонни умовного палива), у той час як у США споживання енергії дорівнює 12, у Німеччині – 6 т у.п. Тобто, сьогодні ми щорічно використовуємо ті багатства, які природа накопичувала для нас мільйонами років. Безумовно, що таке надмірне споживання енергоресурсів не може бути безкінечним.

Організація Об'єднаних Націй та Міжнародний комітет із змін клімату звітують, що за останні 100 років внаслідок антропогенного впливу людини відбувся ріст температури в середньому на 0,4...0,6 °С; ХХ століття було найтеплішим серед останніх 6 століть; передбачається, що до кінця цього століття відбудеться ріст температури на 2 °С та відбуватиметься щорічне підняття рівня води у Світовому океані на 10...25 см.

Сьогодні концентрація вуглекислого газу в атмосфері більша за 387 ppm (кількість молекул CO<sub>2</sub> в одному мільйоні молекул сухого повітря) і є на 30% вищою порівняно ніж 200 років тому.

Залежність від горючих корисних копалин залишається дуже високою і ця залежність тільки зростатиме у майбутньому. Потреби людини постійно зростають, людей становиться все більше і більше, що в свою чергу викликає все більш гігантські об'єми виробництва електроенергії та темпи росту її споживання. Сьогодні традиційні джерела енергії та технології їх використання уже не здатні забезпечити необхідний енергетичний рівень суспільства, тому, що вони є невідновлювальними. І хоча розвідані запаси природних палив досить великі, проблема їх виснаження при теперішніх та майбутніх темпах їх видобутку переходить у реальну і недалеку перспективу.

Уже сьогодні ряд родовищ внаслідок їх виснаження є непридатними для промислового видобутку. Вчені передбачають, що за нинішніх об'ємів і темпів росту енергоспоживання у 3...5%, запасів горючих палив вистачить на 70...150 років.

Тому сьогодні ряд країн почав здійснювати переоцінку забезпечення доступними ресурсами для сфери споживання. До цих ресурсів відносять відновлювальні джерела енергії: сонячна радіація, енергія вітру, малих річок та водотоків, припливів, хвиль, біомаси, геотермальна енергія, а також розсіяну теплову енергію. Основною перевагою відновлювальних джерел енергії є їх невичерпність та екологічна чистота, а їх використання не змінює енергетичний баланс планети.

У недалекому майбутньому основним джерелом енергії так і залишатимуться вуглеводневі палива та ядерне паливо. Але людство вже наближається до такої межі підвищення сумарної потужності традиційних енергоустановок, подолання якої неминуче спричинить екологічну катастрофу. Тому сучасна «нетрадиційна» енергетика – це той резерв, який дає надію і можливість подолати багато здавалося б нерозв'язаних проблем та забезпечити зростаючі потреби людства у майбутньому. Саме за нетрадиційними джерелами енергії велике майбутнє, і ми повинні якомога більше сприяти тому, щоб це майбутнє швидше ставало реальністю, тому, що від цього залежатиме питання життя і смерті на нашій планеті.

## РОЗДІЛ 1

### ПОЯВА ЛЮДИНИ ТА ПЕРШІ СПРОБИ ПІДКОРЕННЯ СВІТУ

Сьогоднішнє життя – це лише окрема ланка у ланцюгу постійної зміни живих істот, що змінюють один одного протягом 4 млрд. років. Наша планета постійно змінюється і лише вулкани зрідка нагадують нам про те, якою була Земля у період зародження.

Густа атмосфера, насичена парами води і повна  $\text{CO}_2$  колись була зовсім непридатною для життя. Та пройшов час і поверхня Землі почала охолоджуватись, пара почала згущуватись та випадати у вигляді опадів. На планеті, яка знаходиться на ідеальній відстані від Сонця, не досить далеко та не досить близько, накопичення води у рідкому стані стало можливим завдяки абсолютному екологічному балансу. Акумуляована вода почала створювати на землі численні канали, які нагадують вени на тілі. Новоутворені ріки почали вимивати мінерали із гірських порід, несучи їх у прісний океан. Саме таким способом океани і стали солоними.

Але ж як з'явилися ми? Де вперше з'явилася іскра життя? Більшість вчених підтримують теорію, що все почалося із невеликих струмків у яких з'явилися перші археобактерії. Всі вони почали поглинати земне тепло, всі окрім ціанобактерій (блакитно-зелених водоростей) (рис.1.1). Тільки вони мали здатність утримувати сонячне тепло. Саме вони близько 3,2 млрд. років тому стали першими предками всіх видів сьогоднішніх рослин та змінили долю нашої планети. І саме вони повністю змінили нашу атмосферу. 2,3 млрд. років тому вміст  $\text{O}_2$  в атмосфері був меншим ніж 0,4%. З такою концентрацією, сьогоднішнє людство вимерло б за декілька хвилин.

А що ж сталося із вуглецем, який довгий час отруював нашу планету? Як не дивно, але він і досі тут та міститься у земній корі. Земна стратисфера акумулювала мільярди мушль, створених мікроорганізмами, які і забрали вуглець із атмос-

фери. Завдяки їм вміст вуглецю значно знизився, що дало можливість розвитку іншим живим формам.



Рис. 1.1. Синьо-зелені водорості

Рослинність почала накопичувати сонячну енергію, що здатна була розбивати молекули води і утворювати кисень, який і почав заповнювати атмосферу. Кругообіг води на Землі є відновлювальним процесом. Вода випадає у вигляді опадів, випаровується, утворює хмари, далі йдуть дощі, утворюються течії, ріки, озера, моря, океани та льодовики. Цей цикл ніколи не порушувався і на Землі завжди була однакова кількість води, якою живилися всі живі організми. Вода є надзвичайною сполукою, яка має рідку, газоподібну та тверду форми.

Щодо 70% кисню, який зараз є в атмосфері і без якого наші легені не можуть працювати, то його було створено саме водоростями. Колись все життя було збалансованим і кожна істота відіграла значну роль у розвитку та появі інших. Так з'явилися корали. Коралові рифи покривають менше 1% океанського дна, але забезпечують існування близько 1000 видів риб та водоростей. Рівновага кожного океану напряду залежить від них.

Землі потрібно було 4 млрд. років, щоб створити ліси. Ліси за своєю природою є унікальним творінням. Деревина подолати силу гравітації і почали підніматися вгору у напрямку до Сонця. Вони впадали від бактерій здатність утримувати сонячну енергію, живитись нею та перетворювати її на деревину і листя, які згодом розкладались на суміш мінералів, воду й живу матерію. Так утворились ґрунти. Згодом, за допомогою мікроорганізмів вони перетворились на гумус – родючий шар із яким пов'язане все життя.

Але, що ми знаємо про життя на Землі? Скільки видів її населяє, десятки чи можливо сотні? Та що ми знаємо про зв'язок між ними? Земля – це диво, а життя – це найбільша таємниця. Родини тварин почали створюватись, об'єднуючись за ритуалами та традиціями. Тварини і пасовища пристосовувались одне під одного, таким чином тварини могли боротись із голодом, а рослини – змогу розмножуватись знову. На Землі кожний вид мав своє місце та відігравав свою роль. Жодний вид не знищувався іншим, всі вони були у гармонії. І на цьому етапі з'явилися ми – "гомо сапієнс". Ми отримали дари, які Земля накопичувала 4 мільярди років. Нам лише 200 тис. років, але за цей час ми змінили обличчя всього світу. Ми почали завойовувати території, чого раніше не робив жодний вид до нас. Після 100 тис. років племінно-кочового життя люди почали „осідати”. Вони перестали залежати від полювання, що колись визначало їх виживання і почали жити ловлячи рибу та заселяючи береги рік. І навіть сьогодні більшість людей продовжує жити на берегах рік чи озер. Сьогодні лише одна із чотирьох людей (1,5 млрд. чоловік) живе так само, як наші предки жили 6000 р. тому. Пара рук для них є єдиним джерелом, що забезпечує їх існування (рис.1.2).

Людський геній полягає в тому, що ми завжди розуміли свою слабкість. Фізична сила та витривалість, якими люди були недостатньо наділені природою, були знайдені у тваринах, які допомагали їм відкривати нові території.





Рис.1.2. Збір урожаю пшениці в Індії

Але як можна було завойовувати світ на порожній шлунок? Відкриття сільського господарства докорінно змінило наше життя (це трапилось близько 10 тис. років тому). Саме воно стало нашою першою революцією та сприяло появі міст та урбанізації. Наші предки почали сіяти зернові та адаптувати їх до різних видів ґрунтів.

Людина почала змінювати землю із пристрасною, якої вимагала сама земля. Сільське господарство і досі залишається найбільш поширеним заняттям на планеті. Більше половини населення обробляє землю, 75% з яких робить це руками. Але після довгої залежності від роботи м'язів, людство знайшло спосіб отримувати енергію, яка знаходилась глибоко в надрах землі. Сотні мільйонів років тому із рослин, які вловлювали чисту енергію сонця, утворилися вугілля, природний газ та нафта, що звільнило людство від важкої праці. Саме останні століття надмірного використання цих корисних копалин докорінно змінило нашу планету, порівняно із усіма попередніми людськими поколіннями.

## РОЗДІЛ 2

### ІНДУСТРІАЛЬНА РЕВОЛЮЦІЯ ТА ЇЇ НАСЛІДКИ

Наш сьогоднішній спосіб життя є тісно пов'язаним із подіями трьохсотлітньої давнини. У 1709 році підприємець із Великобританії Абрахам Дербі побудував першу піч, яка могла використовувати кокс, що отримувався з вугілля для виплавки залізної руди. Його новий спосіб виплавки залізної руди став бездоганим і водночас дешевшим порівняно із виплавою за допомогою деревного вугілля. Тобто, недорогий чавун, винайдений Дербі, власне і став початком промислової революції, а саме ланцюговою реакцією промислового та глобального росту, оснований на корисних копалинах. У той час лише одиниці розуміли, що це у майбутньому може призвести до екологічної катастрофи.

У 1711 році вперше був зроблений із чавуну паровий двигун, який відкачував воду із шахт Великобританії, що мали глибину до 50 м. Ці двигуни для відкачки води потужністю у 300 кінських сил, дали можливість шахтарям копати ще глибше, видобуваючи корисні копалини із земних надр. У 1771 році компанія Boulton & Watt представила паровий двигун наступного покоління і у 1800 році більше ніж 500 екземплярів вже були у роботі, спочатку на шахтах, а пізніше для обслуговування на заводах. У 1830 році вперше парові локомотиви були застосовані для перевезення пасажирських поїздів, а у 1845 році був побудований перший паровий корабель, який створив справжню революцію у масовому транспортуванні товарів та людей вздовж океанів [1].

До початку 18 ст. основним джерелом отримання енергії були деревина та вугілля, а життя людей було у гармонії із природою. Згодом, із появою промислової революції відбулось значне споживання вугілля, а потім нафти та газу. Все це призвело не лише до зростання продуктивності виробництва, але і до зростання кількості населення у десятки разів (із 700 млн. у 1709 році до близько 7 млрд. сьогодні).

Розкладені та спресовані рештки рослин і тварин були перетворені на горючі корисні копалини у земних надрах протягом 300 млн. років. На початку 21 ст. людство щорічно спалює таку кількість корисних копалин, яка акумулювалась від одного до двох мільйонів років. Саме ця звичка використання гідрокарбонатів повністю змінила наш світ.

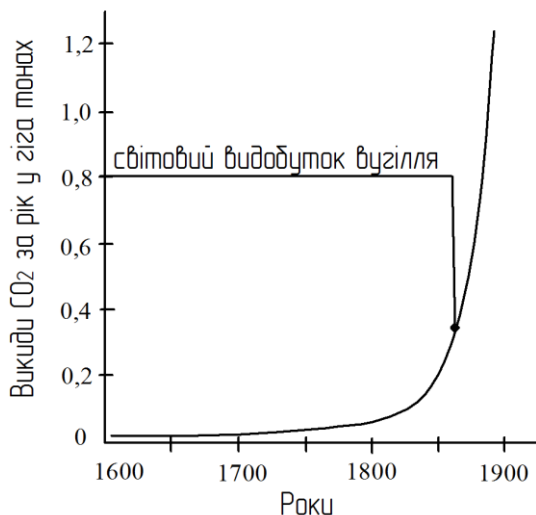


Рис.2.1. Залежність викидів CO<sub>2</sub> від використання вугілля [1]

Щодо Великобританії, то вона мала багато переваг перед іншими країнами, що дозволило їй розпочати промислову революцію. На її території були значні запаси залізної руди та вугілля, а також добре розвинута канална транспортна система. Будучи провідною комерційною і колоніальною силою, вона також вкладала значні інвестиції у розвиток нових підприємств, які згодом ставали високоприбутковими.

Іншою причиною появи промислової революції саме у Великобританії було і те, що у 18 ст. землі на яких ще можна було здійснювати вирубку лісів стали рідкістю.

У цей час всередині країни відбулися надзвичайні зміни: у 1700 році вугілля, що використовувалось всередині країни,

вимірювалось у паливному еквіваленті, рівному 8% лісових площ Великобританії. У 1840 році споживання вугілля виросло до еквівалента, що прирівнювався до площі всієї країни. Сьогодні рівень споживання у десятки разів перевищує площу країни. З 1800 по 1850 рр. видобуток вугілля у Великобританії збільшився в 6 разів (з 10 до 60 млн. т) [2].

Промислова революція вплинула і на присутність людини на Землі. Вона дала можливість людству небачену силу для експлуатації найбільших багатств природи – вирубки лісів (рис.2.2), розширення площ нових ферм, вилову риби (рис.2.3), прискорення промислового виробництва, поширення транспортних систем та будівництва нових міст. Однак, після 300-річного промислового росту міст на нашій планеті з'явилися чіткі признаки того, що ми майже вичерпали її ресурси.



Рис.2.2. Наслідки надмірного вирубування лісів

Разом із технологічними змінами індустріальної революції, відбулись також значні соціальні зміни. Багато капіталістів почали будувати заводи у містах Великобританії.

Легіони нових працівників почали мігрувати із ферм та сіл до нових промислових центрів, які як правило, розташовувались поблизу вугільних родовищ. Вони працювали на пряди-

льних машинах, ткацьких верстатах та інших станках. Широкий асортимент нових промислових товарів приніс лише деякому значні прибутки та новий поштовх для процвітання але більша частина населення так і залишалась бідною.



Рис.2.3. Вилов риби

Щодо парових технологій, то вони постійно покращувались, скорочуючи використання палива відносно створюваної потужності.

З 1700 до 1800 рр. відбулось 14 кратне покращення енерго-ефективності парових двигунів. Але, якщо продуктивність двигунів виросла у 14 разів, то їх кількість збільшилась у 1000 разів, поширюючись із Великобританії по всьому світу.

Наземний транспорт також зазнав значного розвитку. Перша залізниця (Ліверпуль-Манчестер) відкрилася у 1830 році. Брати Степхенсон, що побудували локомотив та проклали колію, пізніше були уповноважені здійснювати прокладання нових колій. Залізниця почала виконувати роль сполучень між містами Великобританії та здійснювати перевезення вугілля і інших товарів. Згодом, кожне місто хотіло мати залізницю з метою збільшення ринків збуту продукції та для подорожей на великі відстані. У зв'язку із постійно зростаючими потребами населення, довжина колій у 1870 році збільшилась із 30 миль до 14000 миль [3].

Ріст промисловості та легка доступність до викопних корисних копалин також спричинили урбанізацію. Так наприклад, населення Манчестера виросло у 33 рази за 90 років, з 12000 людей у 1760 році до 400000 у 1850; теж саме відбулось і з Бірмінгемом, Ліверпулем та Ньюкастлом. Негативною стороною такого значного росту населення стало забруднення повітря та води і погіршення житлових умов. У Бредфорді – місті, що швидко розвивалось на той час, тільки 30% дітей народжувалось у працівників текстильної промисловості віком до 15 років. Середня тривалість життя складала 18 років і була найнижчою у Великобританії. Це було внаслідок того, що на відміну від сіл, різного роду хвороби швидко поширювались містами, де була зосереджена значна кількість людей. Медицина того часу була не в змозі впоратися із інфекційними хворобами та чумою.

Розвиток іншого індустріального міста Шефїлд, значною мірою відбувся завдяки винахіднику Генрі Бесемеру, який у 1850 році запатентував технологію виплавки сталі, продуваючи через неї потік повітря. Його відкриття значно зменшило вартість виготовлення сталі та ідеально підходило для будівництва мостів та сталевих ферм. У 1879 жителі міста Шефїлд виплавляли 10000 т. сталі за тиждень, що становило чверть виробництва усієї Великобританії. Дешева сталь високої якості також стимулювала появу кораблебудування для комерційних і військових цілей та розширення залізничної мережі, яка на 1885р. вже мала протяжність у 18000 миль [1].

Столиця Великобританії - місто Лондон, яке було економічним і політичним центром країни також зазнало значних змін в результаті промислової революції. У 1800 р. Лондон мав населення близько 1 млн. людей, а у 1850 р. населення міста вже становило 4,6 млн. людей, що зробило Лондон найбільшим містом світу. У 1939 році населення міста було 8,6 млн.чол. Звісно, ріст Лондона був спричинений не тільки появою нових технологій, але і тому, що це місто відіграло роль центра світової торгівлі та фінансової імперії.

Говорячи сьогоднішньою мовою, тогочасний Лондон можна було описати як великий мегаполіс, який став першим піонером розвитку технологій, що базувались на використанні великої кількості викопних корисних копалин. Багато процесів мега-урбанізації, що почалися саме в цьому місті, згодом поширилися по всьому світові і тривають дотепер.

Промислова революція також була тісно пов'язана із змінами у сільському господарстві. Вона сприяла появі цілого ряду сільськогосподарських машин, які збільшили виробництво продуктів харчування та зменшили залежність від людської праці.

У 1730 році вперше був представлений залізний плуг; у 1780 – перші молотильні машини; у 1860 стаціонарні парові двигуни для орання землі та прокладання дренажних каналів. Звільнені працівники ферм, спочатку були лише з Англії, а пізніше і з решти Європи, поповнюючи все нові ряди іммігрантів, що намагались знайти кращого життя у Новому Світі. Відміна законів у Великобританії в 1846, що регулювали процес вирощування кукурудзи, сприяла великому кроку назустріч вільній харчовій торгівлі. У США та Канаді все більше вирубувалось лісів, переорювалось полів, а пізніше із появою кораблів із паровими двигунами стала можливою доставка врожаїв та деревини і до Європи. З появою вантажних кораблів із морозильними камерами у 1877 році, вперше стало можливим транспортування на значні відстані м'яса, наприклад із Австралії, Нової Зеландії та Аргентини.

Ключовим аспектом розвитку сучасного сільського господарства стало те, що воно вдвічі зменшило залежність від мінеральних органічних добрив, які вважались єдиним джерелом, що сприяло приросту врожаїв. Із середини 18 ст. німецький хімік Стус воєн Лієбіг створює науку про рослинне живлення, підкреслюючи важливість амонію, фосфору та поташу для збільшення врожаю. На впровадження даної теорії пішов деякий час, щоб більшість людей зрозуміла, що штучні добрива дійсно поглинаються рослинами. У Англії в 1842 році сер Джон

Беннет Левес розробив нові методи виробництва суперфосфату із фосфатовмісних добрив. У Німеччині, Карл Бош і Фрітц Хабер розробили нову технологію, за якою азот забирався із повітря і синтезувався в амоній для подальшого окиснення у нітрати і нітрити. Починаючи із 1923 стало доступним дешево постачання нових добрив, але воно базувалось на значному використанні нафти та вугілля. Сьогодні використовуючи процес Хабера-Боша, щорічно виробляється 100 млн.т. азотних добрив. При цьому близько 5% світового видобутку природного газу і 2% щорічного світового енергопостачання витрачається на їх виробництво.

Після 1850 років промислова революція вступила у нову фазу, після того як Бельгія, Франція та Німеччина також почали стрімко розвиватись. Більшість із нових технологій, що з'явилися протягом промислової революції, були широко прийняті в США. Такі міста, як Пітсбург та Філадельфія мали всі передумови для швидкого росту: розташування в багатому на вугілля та ліси регіоні; ріки забезпечували доступ до Великих озер та нових промислових центрів, таких як Детройт.

Промисловець Ендрю Карнеджіг запатентував технологію виробництва сталі, що згодом зробило місто Пітсбург світовою столицею із виробництва сталі. Це місто також ще називали "Містом диму" чи "пеклом", через те, що повітря на стільки було забруднене сажею, що працівники місцевих офісів змушені були змінювати сорочки після обідньої перерви.

Щодо міста Нью Йорк, то раніше воно було заселене індіанцями і розміщувалось в усті р. Гудзон. У кінці 16 ст. воно стає центром європейської імміграції; після зростання механізації європейських ферм у 19 ст. хвиля іммігрантів перетворилась на масову "повінь". Із 1800 по 1950 рр. США переганяють Великобританію і стають провідною промисловою нацією. Технології промислової революції докорінно впливають і на розвиток міст. У 1870 році Томас Едісон, використовуючи парову електростанцію, вперше здійснює освітлення вулиць Нью Йорка. За цією подією послідувала решта не менш ваго-



мих подій: побудова найдовшого Бруклінського мосту; освітлення у 1904 році 368 кілометрової системи метро. Із початком 20 ст. Нью Йорк розростався не лише у сторони, але і вгору. Використовуючи сталеві балки та троси, що вироблялись у Пітсбурзі, вперше було побудовано хмарочос. У 1913 р. революційний 241 метровий Woolworth Building був названий "Храмом торгівлі". У 1930 році 319 метровий Chrysler Building із 77-ми поверхами стає найвищою спорудою у світі (рис.2.4). Будинок розташований в східній частині Манхеттена на перетині 42-ї вулиці й Лексінгтон Авеню. У 1931 році 443 метровий Empire State Building із 102-ма поверхами обганяє його (рис.2.5).



Рис.2.4. Хмарочос Chrysler Building    Рис.2.5.Хмарочос Empire State Building

На сьогоднішній день найвищою спорудою у світі є 160-поверховий хмарочос Бурдж Халіфа в Дубаї, ОАЕ, висотою 828 м (рис.2.6).

Але основна увага тут приділяється не розміру цих будинків, а тому, що вони залежать від постійного постачання електроенергії [4].



Лондон та Нью Йорк стали символами урбанізації, що базувалась на використанні корисних копалин і яка згодом поширилась по всьому світу.

Із 1900 по 2000 рр. населення Землі збільшилося у 4 рази із 1,5 до 6,2 млрд. чол. Чисельність міського населення збільшилась із 225 млн. чол. до 2,9 млрд. чол., чи близько 47% всього населення світу. У 2000 р. на розвинені нації припадає 76% міського населення, а країни, що розвиваються - 40%.

Рис.2.6. Хмарочос Бурдж Халіфа, ОАЕ

За даними Бюро перепису населення, здійсненого США у грудні 2008 року, на теперішній час маємо наступну картину.

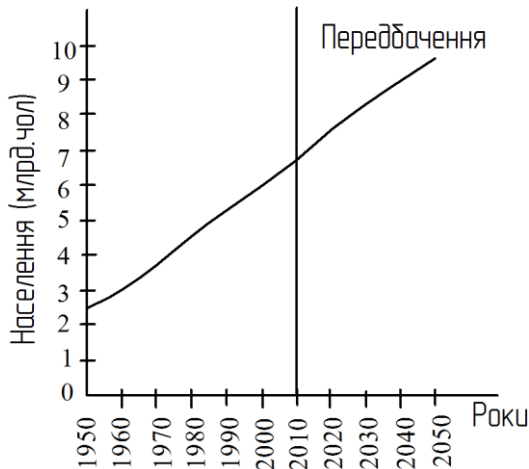


Рис.2.7. Динаміка населення світу у період із 1950 по 2050 рік

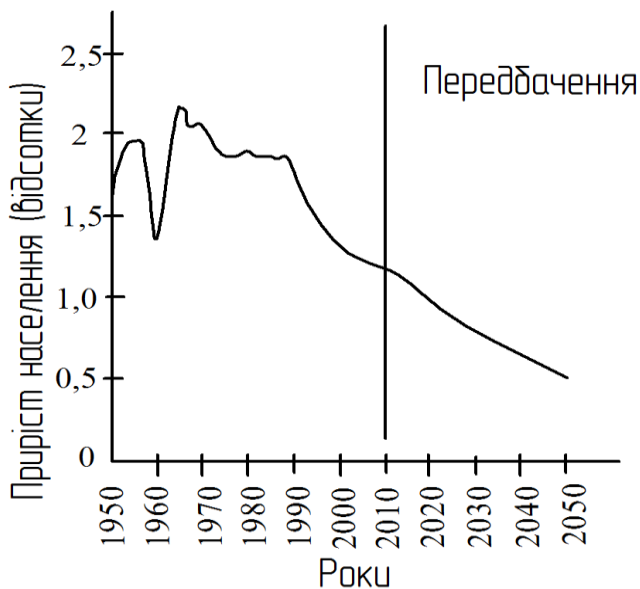


Рис.2.8. Приріст населення світу у період із 1950 по 2050 рік

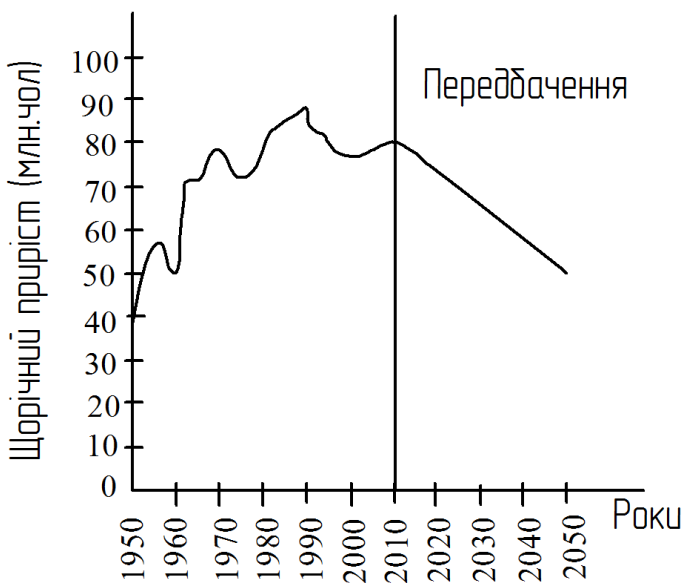


Рис.2.9. Щорічні зміни населення світу у період із 1950 по 2050 рік

Таблиця 2.1

## Зміна чисельності населення за 2009 рік

| Часова<br>одиниця | Народжень,<br>чол. | Смертей,<br>чол. | Приріст,<br>чол. |
|-------------------|--------------------|------------------|------------------|
| рік               | 135,474,672        | 55,664,164       | 79,810,508       |
| місяць            | 11,289,566         | 4,638,680        | 6,650,876        |
| день              | 371,163            | 152,505          | 218,659          |
| година            | 15,465             | 6,354            | 9,111            |
| хвилина           | 258                | 106              | 152              |
| секунда           | 4,3                | 1,8              | 2,5              |

У 2007 році чисельність міського населення вперше стала переважати сільське. До 2030 року передбачається, що 60% світового населення чи 4,9 млрд. чол. будуть жити у містах (втричі більше ніж все населення світу у 1900 році). Припускають, що в наступні десятиліття, приріст населення в основному зростатиме за рахунок міст і 90% його складуть країни, що розвиваються.

Сьогодні лише декілька відсотків людей проживає у мега-містах з населенням у 10 млн.чол чи більше, але тенденція росту таких міст залишається досить високою. Передбачається, що на початок 2015 року у світі буде 23 мегаміста, 15 з яких будуть в Азії [5].

Міські ландшафти таких міст як Токіо і Мехіко Сіті, що займають тисячі гектарів є небаченими в людській історії та найбільшими творіннями, що коли-небудь були створені людством. Їх поява була б неможливою без вугілля, нафти, сталі, промислового виробництва та світової торгівлі.

Ланцюгова реакція росту промислового виробництва товарів, що почалася у Великобританії в 1709 році прискорилося знову через 150 років, коли у 1859 перша американська свердловина почала фонтанувати у Пенсільванії. Пройшло зовсім мало часу і почали з'являтися нові напрямки застосування нафти. У 1877 Ніколас Отто запатентував двигун внутрішнього згорання, а у 1886 році в Німеччині Карл Бенц запатентував

першу карету, що їздила без коней. У той час у Франції були найкращі в Європі дороги, тому і недивно, що новий транспорт швидко почав набирати обертів. Але ніде у світі розвиток автомобілебудування не був таким стрімким, як у Сполучених штатах Америки.

Найчастіше транспортну революцію пов'язують із компанією Форд. На початку 20 ст. автомобіль коштував у середньому \$5000 лише дехто з американців міг дозволити собі мати таку розкіш. У 1908 році Генрі Форд розпочинає масове виробництво автомобілів, створюючи технологічну лінію зборки. На початок 1925 року працівники даної компанії могли кожних 10 секунд випускати новий автомобіль. У результаті таких змін, ціна відомого авто "Model T" знизилася до \$260 і десятки мільйонів американців вперше мали змогу купити автомобіль. Міста почали масово будувати нові дороги, відповідно до збільшення чисельності авто. Такі компанії як Standart Oil, що займались видобутком нафти, мали небачений розквіт [1].

Збільшення об'ємів видобутку нафти в США сприяло цілому ряду змін. У 1859 році у США було видобуто 2000 барелів нафти. У 1879 видобуток збільшився до 20 млн., а у 1906 вже перевищив 120 млн. Сто років по тому видобуток сягнув позначки у 7,6 млрд. барелів на рік, 70% з яких йде на потреби транспорту [6].

Після Другої Світової війни все більше і більше американців почало реалізовувати свої мрії, щодо власного авто, будинку та саду у передмісті. Пізніше американська мрія стала і європейською. Невелика густота населення та залежність від автомобілів стали сприятливою умовою їх появи в США, щодо густонаселеної Європи, то їх поява тут стала значно складнішою.

До середини 1950 років вугілля залишалось провідним світовим паливом, але згодом нафта взяла гору. Навіть жахливі наслідки Другої Світової війни стали можливими лише через небачене використання нафти у військових цілях. Роками пізніше нафта не раз ставала ключовим фактором більшості вій-

ськових конфліктів, включаючи війну в Ірані, Іраку та операцію "Буря в пустелі".

Використання нафти в транспортній промисловості змінило світ. Щороку на світових дорогах з'являється більше 70 млн. нових авто.

Іншим поворотом подій у енергетичній історії стало відкриття нафтових родовищ на Близькому Сході, спочатку у Персії в 1908 році, а пізніше у Саудівській Аравії у 1938 та Іраку, Лівії і Алжирі. Згодом стало відомо, що саме Близький Схід володіє найбільшими і легкодоступними запасами нафти. Західні нафтові компанії відкачували та експортували нафту, сприяючи промислому розвитку і автомобілебудуванню. Країни Близького Сходу володіють близько 75% світових запасів нафти, 27% з яких знаходиться на території Саудівської Аравії. Тому і не дивно, що в останні десятиліття йшла жорстка боротьба за право на володіння цими територіями.

Хоча багато розмов велося на рахунок того, що Європа і США ставали постіндустріальним суспільством, індустріальна революція продовжувала поширюватись світом. Після Другої Світової війни почали розвиватись Японія і Корея, пізніше до них приєднались Бразилія, Мексика, Венесуела, Китай, Індія та Південна Африка.

Особливої уваги заслуговує Китай, який почав встановлювати рекорди щорічного росту ВВП на рівні 10%. Китайський експорт та промисловий бум швидко збільшили об'єми внутрішнього споживання продуктів. Це дуже добре видно із статистики придбаних автомобілів. Так, у 2002 китайці мали 15,5 млн. автомобілів (1авто на 84 людини, порівняно із 1 авто на 1,3 людини в США). З цього ж року Китай стає найбільш розвинутим автомобільним ринком з 4,5 млн. нових авто у 2004 році, та 9,3 млн. у 2008 [7]. Передбачається, що до 2020 року річна потреба у пасажирських авто зросте до 20 млн. штук на рік, сягнувши 156 млн. Якщо ж Китай досягне такого рівня кількості авто на душу населення, що мають США, то він буде мати 970 млн. автомобілів.

Сьогодні рух автомобілів повністю залежить від нафти. У 2010 році Китай експортував 50% нафти від загальної кількості своїх потреб, а у 2020 передбачається, що ця цифра сягне позначки у 75% [8]. Споживання країною нафти зросло із 346,6 млн. т. у 2006 р. до 407 млн. т. у 2010. Згідно прогнозу Китайської Академії соціальних наук, передбачається, що воно становитиме 563 млн. т. у 2020 році. Сьогодні майже ні в кого не виникає сумніву, що світова боротьба за нафту зазнає небачених рівнів.

Споживання вугілля Китаєм, в основному для теплових електростанцій, зросло до таких же масштабів. На кінець 2005 року, кількість електроенергії, що виробляли вугільні електростанції, становила 229 ГВт. Щоб задовільнити потреби швидко розвиваючоїся економіки, планується до 2030 додатково збільшити виробництво електроенергії на 735 ГВт, здійснюючи значні інвестиції у відновлювальні джерела енергії [9].

Вчені передбачують, що у період із 2005 по 2030 роки світове споживання електроенергії виросте на 50%. Причому споживання електроенергії країнами, що розвиваються (країни Азії, Китай та Індія) збільшиться на 100%. Більшість аналітиків прогнозують, що цей ріст в основному буде покритий за рахунок використання викопних корисних копалин.

### РОЗДІЛ 3

## ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ЗАКОНОДАВСТВА, ЩО ОБМЕЖУВАЛО ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ

Занепокоєння, щодо масштабів спалюваного вугілля нафти та газу і забруднення повітря мало довгу історію. У 1273 році у Лондоні тимчасово було заборонено використовувати вугілля, через те, що воно шкодило здоров'ю, а у 1306 році королівським наказом було заборонено використовувати його ремісниками у печах [10].

З часів початку індустріальної революції у Великобританії було прийнято велику кількість законів, що вимагали зменшити забруднення повітря. Наприклад, один із пунктів, що стосувався закону про залізницю 1845 року вимагав, щоб кожний двигун був побудований таким чином, щоб він сам поглинав власні вихлопи, без жодного натяку на те, як цього досягти. Корективи до даного закону були внесені у 1847 році і вимагали зменшення заводами викидів диму в атмосферу. Санітарний акт 1866 року і Акт публічного здоров'я 1875 дали можливість місцевій владі карати злісних порушників, а договір по зменшенню викидів диму в атмосферу, прийнятий у 1926 містив ряд вимог, які діють і досі.

Тривалий та сильний смог, що охопив Лондон у 1952 році і від якого померло близько 4000 людей, змусив уряд прийняти два акти датовані 1952 і 1968 роками. Ці акти обмежували викиди диму в атмосферу промисловістю і тепловими електростанціями та змушували встановлювати високі димові труби.

Щодо США, то подібного роду акти були прийняті у 1955 і 1963 роках. У 1970-му і 1990-му роках були прийняті нові акти, які більш строго регулювали викиди диму в атмосферу.

Із початком промислової революції та стрімким ростом використання вугілля та нафти, значні викиди оксиду вуглецю і оксиду азоту стали найбільшою темою обговорень. У 1852 році дослідник Роберт Ангус Сміт вперше вживає термін "кислотні дощі", але лише через 120 років вчені почали серйозно



оцінювати їх негативні наслідки на озера та рослинність. Згодом, після того як ліси Європи і Америки опинилися у скрутному становищі, науковці почали звертати увагу і на негативний вплив диму. Вперше, забруднення повітря перестали рахувати локальною проблемою, а такою, що охопила значні території.

Із 1970 року Європа створює все більше і більше законопроектів з метою контролю викидів. Для цього їй прийшлося подолати ряд директив, що встановлювали обмеження на викиди оксиду сірки, свинцю та оксиду азоту. У 1980-их і 1990-их роках європейські країни погоджують ряд документів, що вимагають зменшення викиду кислот у повітря. У 1997 році 27 країн підписали конвенцію довготермінового міжкордонного забруднення повітря, яка була створена з метою послаблення викидів кислот та збереження озонового шару. Вона передбачала зменшення викидів чотирьох забрудників – оксиду сірки, оксиду азоту, органічних сполук, що легко випаровуються та аміаку [11].

Через індустріалізацію світу, законодавство, що стосувалось забруднення повітря, в основному було спрямоване на штучні вироботи, які виготовлялись шляхом спалювання вугілля та природного газу, але не на самі викиди  $\text{CO}_2$ . Фактично, до недавня  $\text{CO}_2$  не вважався забруднювачем повітря, так як він не шкодив людині, рослинам та тваринам.

Якщо вплив інших забруднювачів повітря в основному є локальним чи регіональним, то викиди ж  $\text{CO}_2$  є глобальними. Це факт був одобрений напередодні Міжнародної конференції в Ріо-де-Жанейро у 1992 році, коли міжнародна спільнота погодилась із тим, що необхідно прийняти документ, який би обмежував викиди парникових газів.

У Ріо, в ході Рамкової Конвенції ООН зі змін клімату було погоджено створення договору, з метою стабілізації рівня концентрації парникових газів в атмосфері на рівні, який не допускав би небезпечного антропогенного впливу на кліматич-

чну систему планети. Дана конвенція набрала силу у 1994 році.

Згодом, після міжнародних переговорів 11 грудня 1997 року у м. Кіото (Японія) було прийнято Кіотський протокол. Період підписання протоколу відкрився 16 березня 1998 року і завершився 15 березня 1999 року, а сам протокол почав діяти з 16 лютого 2005 року.

На сьогоднішній день підписали та ратифікували протокол 187 країн, у тому числі більшість промислово розвинутих країн, крім США, які підписали але не ратифікували угоду (рис.3.1).

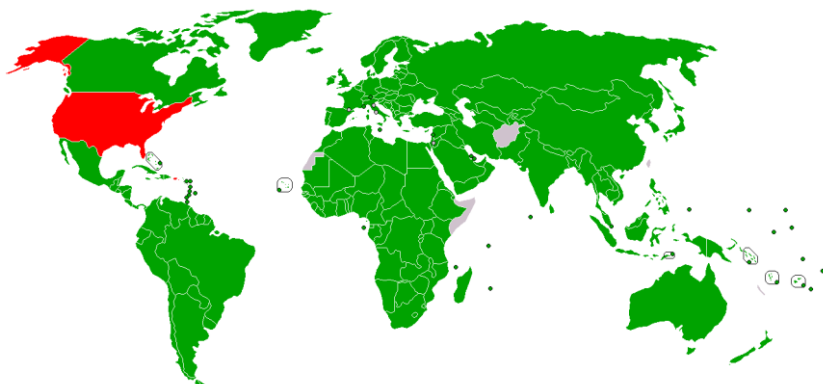


Рис.3.1. Країни-учасники Кіотського протоколу, Червень 2009.  
зелений колір – країни, що підписали і ратифікували договір;  
сірий колір – країни, які ще не визначили свою позицію;  
червоний колір – не ратифікували договір

Протокол зобов'язував розвинуті країни та країни з перехідною економікою зменшити середньорічні об'єми викидів парникових газів в період 2008...2012 рр. в середньому на 5,2 % (порівнянно із 1990 р.). Окреме зобов'язання щодо їх зниження взяли Японія — на 6 %, США — на 7 % та ЄС — на 8 %. У межах ЄС на окремі країни були накладені різні обмеження. Зокрема, в червні 1998 року міністри навколишнього середовища країн ЄС своєю постановою зобов'язали Австрію змен-

шити її викиди на 13 % (для порівняння: північні країни ЄС зобов'язались досягти максимального їх пониження, на 28 %).

Для вступу в дію протоколу, цей документ зобов'язані були ратифікувати країни, які відповідають за щонайменше 55 % викидів парникових газів. Після ратифікації протоколу Росією в кінці 2004 року (17,4 % світових викидів парникових газів), зазначений документ набув чинності 16 лютого 2005 року. Частина викидів парникових газів країн, які приєдналися до протоколу, складає на даний момент 62 %. Проте, країни, що ратифікували протокол, не мають особливих стимулів його виконувати, допоки США (25 % світових викидів CO<sub>2</sub>) не ратифікує зазначений документ. Україна ратифікувала Кіотський протокол 4 лютого 2004 (повідомлення про ратифікацію подане 12 квітня 2004).

Зменшення викидів кожна країна може здійснювати за допомогою збільшення ефективності виробництва, зменшення обсягів виробництва, більш раціонального використання енергоресурсів, а також виконання проектів, які призводять до зменшення викидів парникових газів у інших країнах. Кіотським протоколом передбачаються гнучкі механізми щодо зменшення викидів парникових газів шляхом закупівлі відповідних сертифікатів за кордоном:

1) механізм чистого розвитку передбачає співпрацю між країною, яка розвивається, та індустріалізованою країною;

2) торгівля викидами передбачає прямий продаж викидів від однієї індустріалізованої країни до іншої;

3) спільне впровадження передбачає співпрацю між двома індустріалізованими країнами.

Для врегулювання викидів парникових газів, країни ЄС роблять ставку на внутрішню торгівлю сертифікатами викидів, які, "де факто", репрезентують право на забруднення навколишнього середовища парниковими газами. Починаючи з 2005, кожне європейське промислове підприємство, яке відповідає вимогам Схеми Торгівлі Викидами отримує певну кількість таких сертифікатів. Якщо деякі підприємства здатні зме-

ншувати шкідливі викиди, наприклад, шляхом технологічних інновацій, то вони зможуть продавати залишкові сертифікати іншим фірмам, які перевищують норми наданого їм ліміту. Аналогічно, невикористані внаслідок зниження виробництва сертифікати, можуть бути продані. Таким чином, ініціюється національний, а згодом, і європейський ринок сертифікатів, який з точки зору економічної теорії є одним із найкращих методів регулювання ринку.

Отже, існує можливість для налагодження міжнародної співпраці у сфері скорочення викидів CO<sub>2</sub>. Підставою для цього є можливість купівлі країнами одиниць викидів CO<sub>2</sub> у інших державах. Як відомо, для встановлення базового рівня викидів парникових газів для більшості країн було обрано 1990 рік. З урахуванням трансформаційних процесів в економіці України кількість викидів вуглекислого газу вітчизняною промисловістю за період 1990...2004 рр. суттєво скоротилися. У зв'язку з цим, Україна може продавати свої одиниці викидів іншим країнам в рамках механізму торгівлі викидами. Підприємства, зокрема учасники Схеми Торгівлі Викидами, мають можливість придбати одиниці скорочень викидів згідно механізму спільного впровадження.

Незалежно від Кіотського протоколу існує також європейське законодавство в галузі захисту якості повітря, зміни клімату та озонового шару. Відповідно до постанови Європейської Комісії (№ 2037/2000) щодо захисту навколишнього середовища і, зокрема, озонового шару, країни-члени ЄС повинні інформувати про вжиті заходи стосовно повторного використання, оновлення та знищення шкідливих речовин, типу фторхлорвуглеводневих (ФХВВ) та інших газів з подібним негативним впливом на озон. На сьогоднішній день, як і було погоджено Монреальським протоколом 1987 року, замість ФХВВ використовуються фторовуглеводневі гази (ФВВ), які не впливають на озон в атмосфері. Але за рахунок цього вирішується тільки питання озонових дір, а проблема парникового ефекту залишається.

В останні десятиліття тисячі науковців зі всього світу разом прийшли до висновку, що зміни клімату дійсно можуть становити загрозу життю людей. Численні міжурядові доповіді 2007...2010 років стверджують, що сьогодні немає жодного сумніву на рахунок того, що зміни клімату створені штучно. Спалювання горючих корисних копалин стало найбільшим джерелом створення парникових газів. Але цікавим є те, що у той час, коли спалювання нафти, вугілля і природного газу постійно збільшує температуру навколишнього середовища, 93% людей сьогодні не мають доступу до цих копалин.

Усвідомлення того, що сценарій за яким ми живемо сьогодні, будучи залежними від корисних копалин, не може більше продовжуватись. Останні кліматичні новини змушують нас задуматись над тим, як ми живемо. Наприклад, близько 10 млн. людей голодувало у квітні 2009 року в Кенії внаслідок жакливої посухи, що охопила схід, південь та інші райони країни. Спираючись на прогнози провідних видань, більше ніж 400 млн. людей (один із 17 всього населення світу) зазнають впливу змін клімату вже до 2015 року, які проявлятимуться у вигляді засух, повеней та високих температур.

Із початку індустріальної революції середня температура по всьому світу виросла на 0,8°C. Останні дослідження вказують на те, що половина горючих корисних копалин вже спалена. Викиди CO<sub>2</sub> за останні 300 років збільшили концентрацію вуглецю в повітрі до 35%. Однак, більшість із цього вуглецю не впливає на глобальне потепління тому, що він адсорбується і повторно викидається рослинами, ґрунтами та водами. Основна проблема сьогодні полягає в тому, що ці природні процеси є переважаними і тому концентрація CO<sub>2</sub> нещадно зростає. Сьогоднішній рівень, що оцінюється у 387 частинок на мільйон є найвищим за останніх 650 тисяч років і можливо за останніх 20 млн. р. Загальна картина викидів вуглекислого газу в атмосферу представлена на рис.3.2 та рис 3.3 [1].

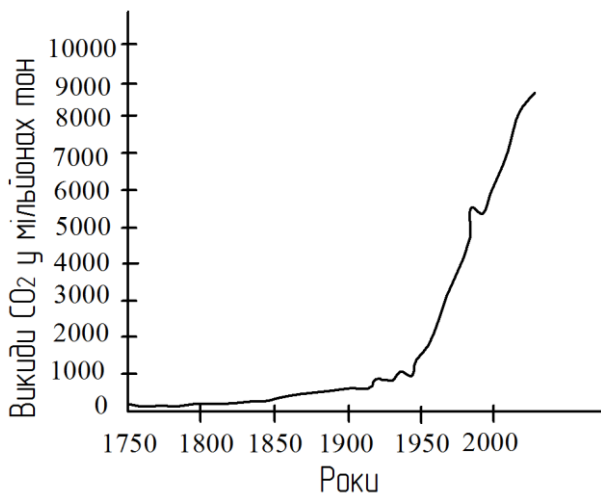


Рис.3.2. Загальні викиди вуглекислого газу, спричинені спалюванням горючих корисних копалин у період із 1751 по 2010 рік

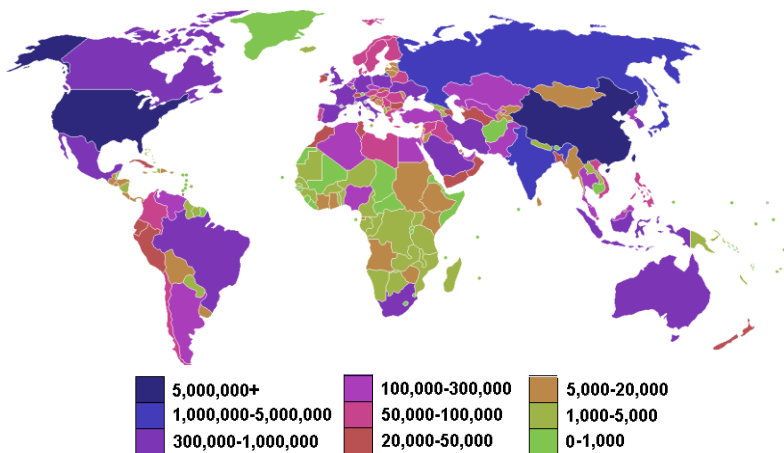


Рис.3.3. Світові викиди CO<sub>2</sub>

Передбачається, що у наступні 50 років подальші викиди CO<sub>2</sub> призведуть до подвоєння передіндустріального рівня до 550 частинок на мільйон, що спричинить ріст температури в середньому на 6°C, а це в кінцевому випадку може стати кінцем життя такого, яким ми його знаємо сьогодні.

## РОЗДІЛ 4 ЕНЕРГІЯ СВІТОВОГО ОКЕАНУ

Енергія Світового океану може відігравати значну роль у отриманні відновлювальної енергії. Використовуючи мудрий підхід, відновлювальні енергетичні технології океану можуть допомогти нам зменшити залежність від нафти та вугілля і запровадити альтернативи отриманню енергії. Енергію з океану отримують за допомогою ряду технологій з метою генерування електроенергії (світовий потенціал океану у виробництві електроенергії 80,000 ТВт/р). Більшість технологій, що застосовуються в океані є придатними для використання і в інших водних тілах таких як озера чи ріки [12].

Серед різних форм енергії океану розрізняють термальну енергію, енергію хвиль, енергію припливів та течій.

Нижче приведена карта вказує на те, де найбільше людство потребує електроенергії у зв'язку із високою густотою населення.



Рис.4.1. Земля вночі

На рис.4.1. вказано із космосу основні центри зосередження великої кількості населення. Найсвітліші ділянки вказують на те, де найбільше людство споживає електроенергії.

На рис.4.2 представлений можливий потенціал хвиль по всьому світу, вираженому в кіловатах на метр довжини хвилі.

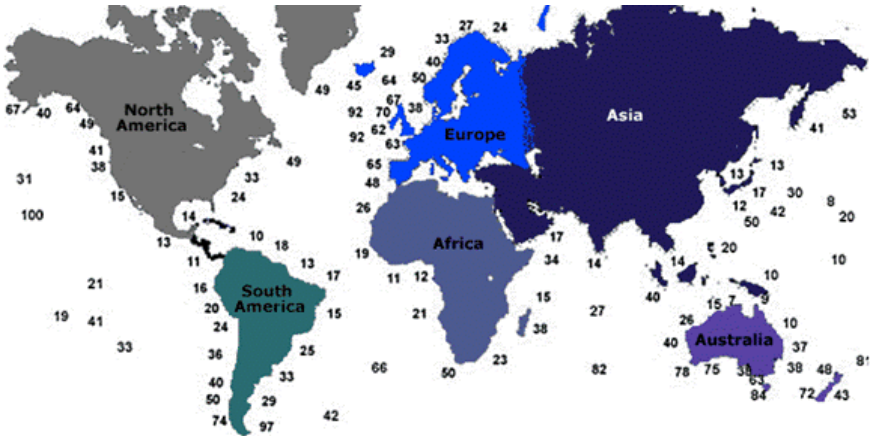


Рис.4.2. Світовий енергетичний потенціал енергії хвиль [13]

Вище приведений рисунок вказує на те, що найбільш багаті на отримання енергії побережжя знаходяться на територіях Чилі, півдня Австралії, південно-західного побережжя Нової Зеландії, частини Західної Європи, Ірландії, Шотландії, Ісландії, західної Канади і південної Африки. Це не обов'язково означає, що ці ділянки мають найбільший потенціал для використання енергії хвиль через те, що при цьому задіяний цілий ряд інших факторів. Найбільший потенціал отримання енергії мають острови та побережжя Тихого океану, де загальна енергія хвиль значно нижча але більш стабільна за силою і напрямком. Нажаль, більшість островів які відносяться до цих територій на сьогодні є сильно залежними від імпортованої нафти та вугілля.

На рис.4.3 вказано території, які мають найкращий потенціал для отримання енергії від припливів. У загальному, території із найбільшими різницями між високими і низькими хвилями мають найкращий потенціал.





Рис.4.3. Місця максимального отримання енергії від припливів  
Джерело: Statkraft Development AS, Oslo, February 2006,  
Tidal power: Versatile, Reliable, Renewable

Припливи океану залежать від циклічного підняття і падіння рівня води і є періодичними внаслідок циклічного впливу обертання Землі. Припливи виникають у зв'язку з незначними змінами гравітаційного притягання між Землею, Місяцем та Сонцем і геометричним співвідношенням положення земної поверхні.

Місяць є основним фактором, що контролює ритм і висоту хвиль (рис.4.4). Він здійснює два підвищення приливів на Землі внаслідок сил гравітації. Висота цих підвищень контролюється силами гравітації Місяця і гравітацією Землі. У випадку якщо Земля знаходиться близько до Місяця, то вода морів і океанів рухається у напрямку до Місяця внаслідок більшої сили притягання. На протилежній стороні Землі, вода рухається у напрямку від Місяця.

Це відбувається внаслідок того, що в цьому місці Землі сили гравітації Місяця є найслабшими. Враховуючи дану інформацію, Земна поверхня постійно має два місця де припливи підіймаються до максимальної відмітки і два місця де вони мають мінімальну висоту протягом кожного циклу.



Рис.4.4. 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

Розрахунок часу між припливом і відпливом залежить від обертання Землі і обертання Місяця навколо Землі. Якщо місяць був би нерухомий в просторі, то цикл припливу тривав би 24 години. Проте, місяць постійно обертається навколо Землі. Один оберт займає близько 27 днів і додає близько 50 хвилин циклу приливу. У результаті цього повний цикл приливу складає 24 години і 50 хвилин.

Другий чинник, що управляє припливами на поверхні Землі - гравітація Сонця. Висота середнього сонячного припливу складає близько 50% середнього місячного припливу. У певні моменти протягом обертання Місяця навколо Землі, напрям його гравітаційного притягання співпадає із сонячним (рис.4.5).

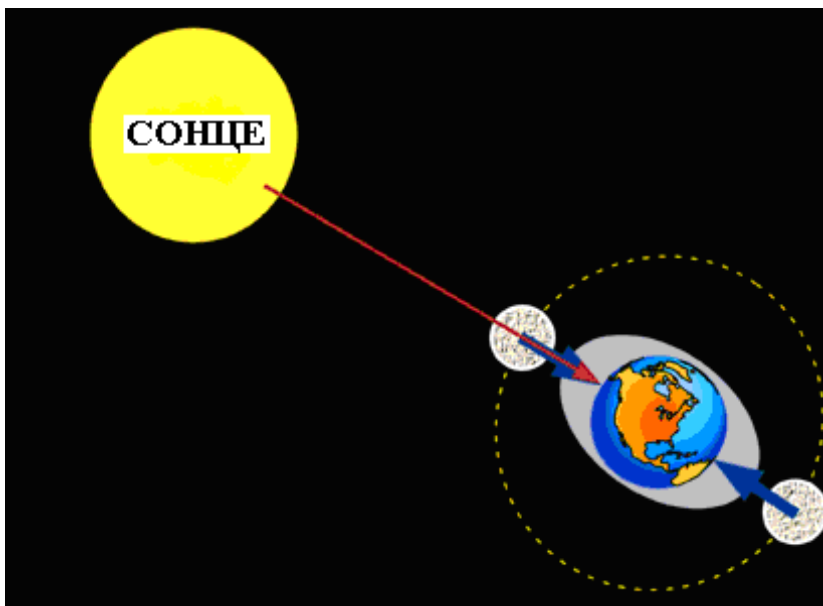


Рис.4.5. Сили, що сприяють утворенню припливів

Протягом цього часу два припливи утворюють тіла, що діють спільно, створюючи найвищі і найнижчі припливи року. Ці припливи тривають кожних 14...15 днів протягом повного і нового місяця.

Коли гравітаційна тяга Місяця і Сонця знаходиться під прямим кутом один до одного, то щоденні коливання припливів на Землі є найменшими (рис.4.6). Ці явища називаються спадними приливами і вони відбуваються протягом першого і останнього кварталу місяця.

Геометричне розміщення Місяця і Сонця відносно поверхні Землі сприяє утворенню трьох різних видів припливів. У північній частині Мексиканської затоки і Південно-східній Азії, припливи мають один максимум і один мінімум за день (рис.4.7). Ці припливи називаються добовими.

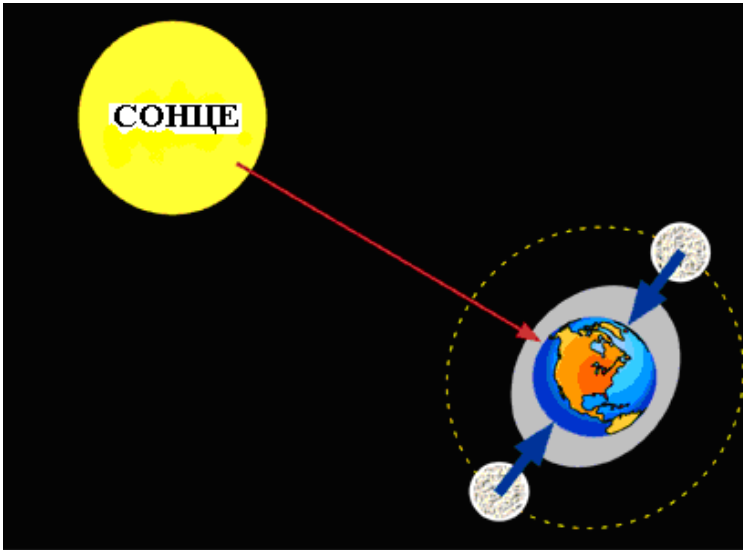


Рис.4.6. Сили, що задіяні в утворення спадних припливів

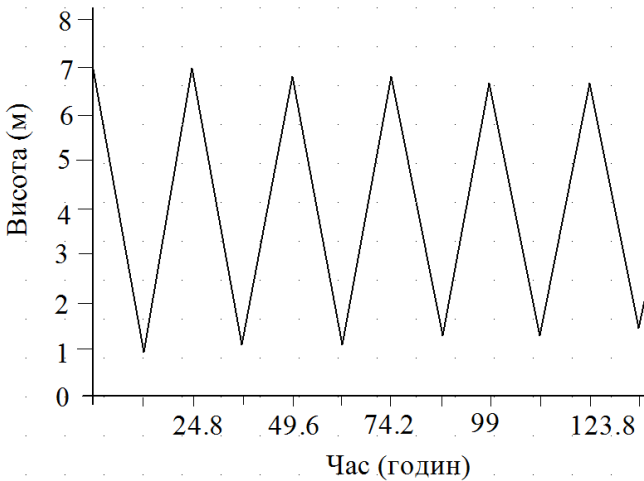


Рис.4.7. Цикли добових припливів

Напівдобові припливи мають два мінімуми і два максимуми за день (рис.4.8.). Вони поширені на Атлантичному побережжі Сполучених Штатів та Європи.

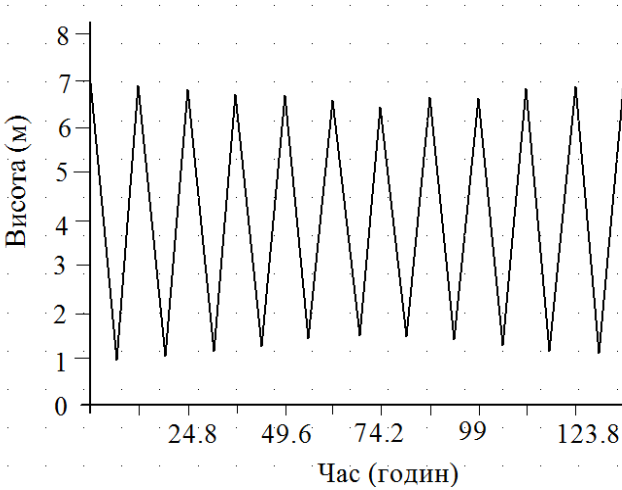


Рис.4.8. Цикли напівдобових приливів

Багато частин світу мають справу із змішаними приливами, де максимуми і мінімуми суттєво відрізняються (рис.4.9). У цих приливах, ми маємо вищий максимум і нижчий мінімум так само як і нижчий максимум і нижчий мінімум. До цього типу приливів відносяться припливи навколо західного бережжя Канади і Сполучених Штатів

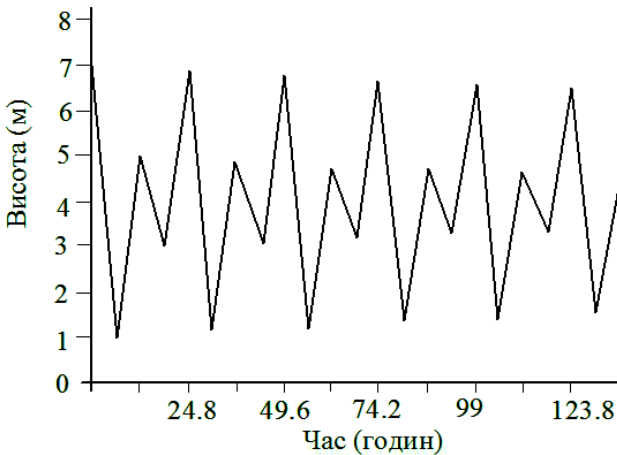


Рис.4.9. Цикли змішаних приливів

Між фізичними тілами діє сила взаємного притягання. Такі явища, як падіння тіл на Землю, рух Місяця навколо Землі, планет навколо Сонця та інші, відбуваються під дією сил все-світнього тяжіння, які називають гравітаційними.

Аналізуючи закони Кеплера і закони вільного падіння тіл на Землі, Ньютон дійшов до висновку, що сили притягання мають існувати не лише на Землі, а й у космосі.

Закон, який характеризує сили притягання, уперше сформулював Ньютон в 1687 року під час вивчення руху Місяця навколо Землі. Це закон всесвітнього тяжіння: будь-які дві матеріальні точки притягуються одна до одної із силою, прямо пропорційною добутку їх мас і обернено пропорційною квадрату відстані між ними:

$$F = G \cdot \frac{M_1 \cdot M_2}{R^2}, \quad (4.1)$$

де  $M_1$  і  $M_2$  - маси матеріальних точок;  $R$  - відстань між ними;  $G$  - гравітаційна стала ( $6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$ ).

Тоді, сила притягання Землі до Сонця розраховуватиметься за наступною формулою:

$$F_c = G \cdot \frac{M_z \cdot M_c}{R_c^2}, \quad (4.2)$$

де  $M_z$  - маса Землі;  $M_c$  - маса Сонця;  $R_c$  - відстань між Землею і Сонцем;  $G$  - гравітаційна стала.

Сила притягання Землі до Місяця розраховуватиметься за наступною формулою:

$$F_v = G \cdot \frac{M_z \cdot M_m}{R_m^2}, \quad (4.3)$$

де  $M_z$  - маса Землі;  $M_m$  - Місяця;  $R_m$  - відстань між Землею і Місяцем;  $G$  - гравітаційна стала.

Співвідношення між силою притягання Землі до Сонця і Місяця має вигляд:

$$\frac{F_c}{F_m} = \frac{M_c}{M_m} \cdot \frac{R_m^2}{R_c^2}. \quad (4.4)$$

Враховуючи, що  $\frac{M_c}{M_m} = 26800000$ , а  $\frac{R_c}{R_m} = 390$  отримаємо:

$$\frac{F_c}{F_m} = \frac{26800000}{390^2} = 176. \quad (4.5)$$

Отже, враховуючи формулу 4.5 бачимо, що сила притягання Землі до Сонця у 176 разів вища ніж Землі до Місяця.

Нехай відстань від Землі до Місяця буде рівною  $R_m$ , а радіус Землі буде  $R$  (рис.4.10).

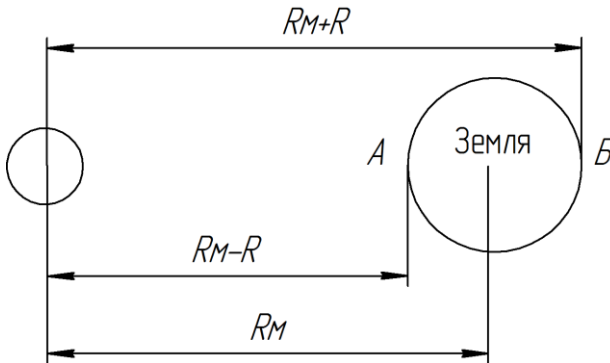


Рис.4.10. Графічне зображення відстаней між Землею та Місяцем

Тоді, сила притягання в точці А матиме вигляд:

$$F_A = G \cdot \frac{M_3 \cdot M_M}{(R_M - R)^2}, \quad (4.6)$$

а в точці Б

$$F_B = G \cdot \frac{M_3 \cdot M_M}{(R_M + R)^2}. \quad (4.7)$$

Далі знайдемо різницю між силами притягання в точках А і Б.

$$\begin{aligned} F_A - F_B &= G \cdot M_M \cdot M_3 \cdot \frac{(R_M + R)^2 - (R_M - R)^2}{(R_M - R)^2 \cdot (R_M + R)^2} = \\ &= G \cdot M_M \cdot M_3 \cdot \frac{4 \cdot R_M \cdot R}{(R_M^2 - R^2)^2}. \end{aligned} \quad (4.8)$$

Тобто

$$F_A - F_B = G \cdot M_M \cdot M_3 \cdot \frac{4 \cdot R}{R_M^3 \left(1 - \frac{R^2}{R_M^2}\right)^2}. \quad (4.9)$$

Враховуючи, що  $\frac{R}{R_M} = \frac{1}{60}$ , отримаємо силу припливу спричинену Місяцем  $T_M$  та силу припливу спричинену Сонцем  $T_C$ :

$$T_M = F_A - F_B = G \cdot M_M \cdot M_3 \cdot \frac{4R}{R_M^2}; \quad (4.10)$$

$$T_C = G \cdot M_C \cdot M_3 \cdot \frac{4R}{R_C^2}. \quad (4.11)$$



Далі будемо мати:

$$\frac{T_m}{T_c} = \frac{M_m}{M_c} \cdot \frac{R_c^3}{R_m^3} = \frac{1}{26800000} \cdot (390)^3 \approx 2,2. \quad (4.12)$$

Тобто, хоча сила притягання Сонця у 176 разів більша ніж Місяця, але внаслідок того, що Місяць знаходиться ближче до Землі, сила припливу спричинена ним у 2,2 рази вища ніж Сонцем.

Генерування електроенергії за допомогою припливів і відпливів можливе у прибережних зонах. На рис.4.11, 4.12 представлений загальний вигляд місцевості, де потенційно можливо отримувати електроенергію.

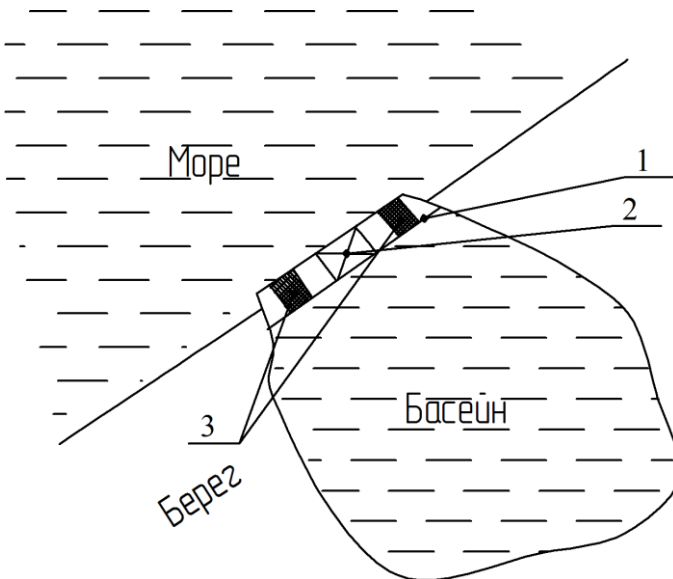


Рис.4.11. Місцевість, придатна для отримання електроенергії від припливів і відпливів: 1 – дамба; 2 – турбіна; 3 – засувки

Як правило у такій місцевості створюється дамба, в якій розміщується одна-дві турбіни. На дамбі додатково встановлюють засувки для впуску і випуску води у басейн.



Рис.4.12. Водний млин у Великобританії

Рівень води в дамбі змінюється за синусоїдальним законом (рис.4.13).

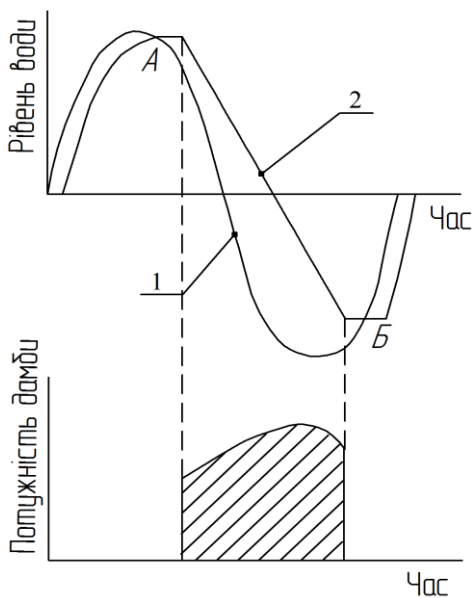


Рис.4.13. Характеристика роботи дамби з однією турбіною:  
1 – рівень води в морі; 2 – рівень води в басейні

До точки *A* рівень води в морі зростає. У цей момент часу дамби відкриті, що також дозволяє підвищити рівень води у басейні. Досягнувши точки *A*, рівень води в морі починає зменшуватись. У цей момент часу затвори дамби закриваються. Через деякий проміжок часу, коли рівень води у басейні буде вищий ніж у морі, затвори знову відкриваються. У цей час починається вироблення турбіною електроенергії. Вода проходячи через турбіну, генерує електроенергію, та доходить до критичного рівня у точці *B*, де затвори знову закриваються. Вода у морі знову піднімається, через деякий проміжок часу затвори знову відкриваються і рівень води у басейні теж починає зростати, знову генеруючи електроенергію.

Дуже часто на дамбі встановлюють дві турбіни. Характеристика роботи такої дамби представлена на рис.4.14.

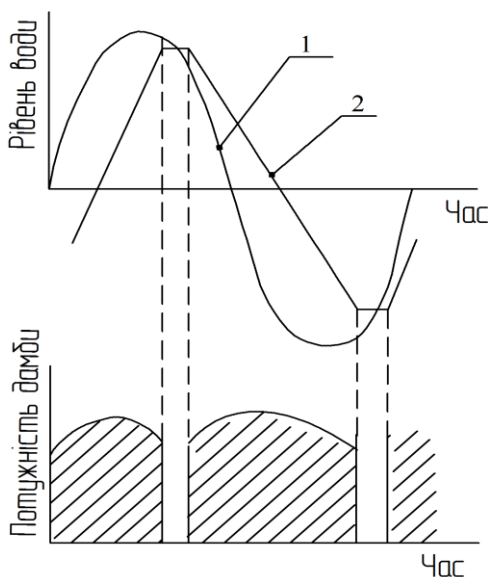


Рис.4.14. Характеристика роботи дамби з двома турбінами:  
1 – рівень води в морі; 2 – рівень води в басейні

Як бачимо із рис.4.14, існують періоди протягом яких не виробляється електроенергія. Різні країни вирішують цю проблему по

різному. Наприклад можна організувати роботу промислового виробництва, яка б була пристосованою до припливів і відпливів.

Слід відмітити і те, що кількість електроенергії, яка генерується однією турбіною не дорівнює половині електроенергії, що генерується двома турбінами, а вона є вищою, через те, що через неї проходить значно більша кількість води. Тому дамби з однією турбіною зустрічаються набагато частіше.

Кількість електроенергії, що генерується турбіною, напряму залежить від розмірів басейну та топографії місцевості.

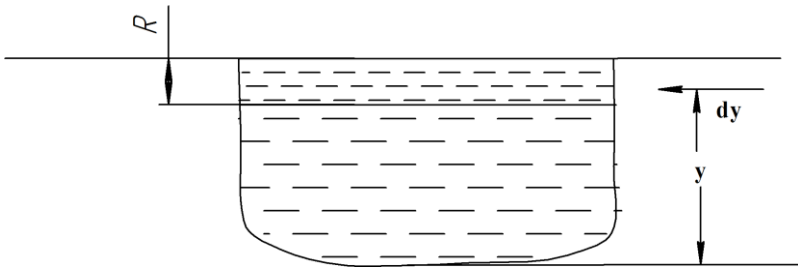


Рис.4.15. Розріз басейну біля дамби

На рис.4.15,  $R$  - рівень коливання приливу. Позначимо площу басейну  $A$ , тоді будемо мати рівняння, яке описує виробництво електроенергії турбіною:

$$dE = y \cdot g \cdot A \cdot d_m = \rho \cdot A \cdot g \cdot y \cdot dy, \quad (4.13)$$

де  $d_m$  - маса води;  $\rho$  - густина води;  $g$  - прискорення вільного падіння.

Повна енергія матиме вигляд:

$$E = \int_0^R \rho \cdot A \cdot g \cdot y \cdot dy, \quad (4.14)$$

а максимальна енергія буде розраховуватись за формулою:

$$E_{\max} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot g \cdot R^2. \quad (4.15)$$

Якщо необхідно визначити кількість електроенергії, яка буде генеруватись турбіною в загородженому басейні за певний інтервал часу, то для цього застосовують наступну формулу:

$$E_{\max} = \frac{1}{2 \cdot T} \cdot \rho \cdot A \cdot g \cdot R^2, \quad (4.16)$$

де  $T$  – інтервал часу між приливами.

Максимальна потужність дамби матиме вигляд:

$$P_{\max} = 0,225 \cdot A \cdot R^2. \quad (4.17)$$

Однак, дійсна потужність розраховуватиметься за наступною формулою:

$$P_{\text{дійсна}} = 0,056 \cdot A \cdot R^2. \quad (4.18)$$

Так, наприклад, якщо  $R=1,5$  м і  $A=60$  км<sup>2</sup>, тоді

$$P_{\max} = 0,225 \cdot 60 \cdot 10^6 \cdot 1,5^2 \approx 30 \text{ МВт}, \quad (4.19)$$

а

$$P_{\text{дійсна}} = 0,056 \cdot 60 \cdot 10^6 \cdot 1,5^2 = 7,56 \text{ МВт}. \quad (4.20)$$

На більшості дамб, з метою збільшення виробництва електроенергії застосовують насоси для перекачування води з моря в басейн. Енергетичні витрати на роботу насосів є дуже маленькими та розраховуються за наступною формулою:

$$E_n = 0,005 \cdot R \cdot Q, \quad (4.21)$$

де  $Q$ - об'єм води, що накачується у басейн.

Енергія, що генерується турбіною, визначається за формулою:

$$E_{ген} = 0,605 \cdot R \cdot Q, \quad (4.21)$$

Віднявши у формулі 4.21 величину витрати електроенергії на роботу насосів отримаємо чисту енергію, що виробляється турбіною

$$E_{чиста} = 0,6 \cdot R \cdot Q. \quad (4.22)$$

Тобто збільшуючи  $R$  у басейні, ми отримуємо дуже значний приріст виробництва електроенергії.

Відновлювальні технології океану поділяються на три категорії [14 - 17]:

- конвертери енергії хвиль (ці системи отримують енергію океанічних хвиль і перетворюють її на електроенергію. Зазвичай, ці системи використовують або водну колону, або деякий вид плаваючого або зануреного буя, з метою отримання енергії хвиль. Подібно до океанів, деякі озера, можуть також володіти достатньою активністю хвиль, щоб використовувати технологію конвертера енергії хвиль);

- припливи/течії (ці системи отримують енергію океанських потоків нижче за поверхню хвилі і перетворюють їх на електроенергію). Зазвичай, ці системи залежать від підводних турбін, горизонтальних чи вертикальних, які обертаються або в океанському потоці, або в припливі (в одному напрямку або у двох), нагадуючи цим самим підводний млин. Ці технології можуть бути застосовані як для океану, так і для використання у озерах та річках);

- океанська тепла конверсія енергії (ОТЕК): ОТЕК генерує електроенергію внаслідок різниці температур поверхні води і на глибині.

Морські хвилі містять енергію двох видів: потенціальну і кінетичну. Потенціальна енергія здатна рухати воду із впадини до гребеня. Кінетична енергія асоціюється із водою, що рухається довкола.

Дуже часто припускають, що якщо гребінь рухається вздовж океану із швидкістю 50 км/год, то і вода у гребені рухається із такою ж швидкістю. Але це не так. Це лише нагадує хвилю вболівальників під час футбольного матчу. Коли хвиля рухається вздовж стадіону, вболівальники залишаються на своїх місцях, піднімаючись вгору-вниз. Рух води в океані чи морі – аналогічний: якщо звернути увагу на морські водорості, через які проходять хвилі, то ви побачите, що вони також рухаються вгору-вниз. Хвилі мають потенціальну енергію через те, що гребені підіймаються над впадинами, а кінетичну - внаслідок невеликих кругових коливань.

Для підрахунку сили океанічних хвиль необхідно мати три величини: період  $T$  (час між утвореними гребенями); висоту гребеня  $h$  та швидкість хвилі  $V$ .

Довжина хвилі  $\lambda$  та період  $T$  залежать від швидкості вітру, що створює хвилі (рис.4.16).

Швидкість глибинних хвиль розраховується за наступною формулою:

$$V = \frac{g \cdot T}{2 \cdot \pi}, \quad (4.23)$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння ( $9,8 \text{ м/с}^2$ );  $T$  – час на утворення сусідніх гребенів, с.

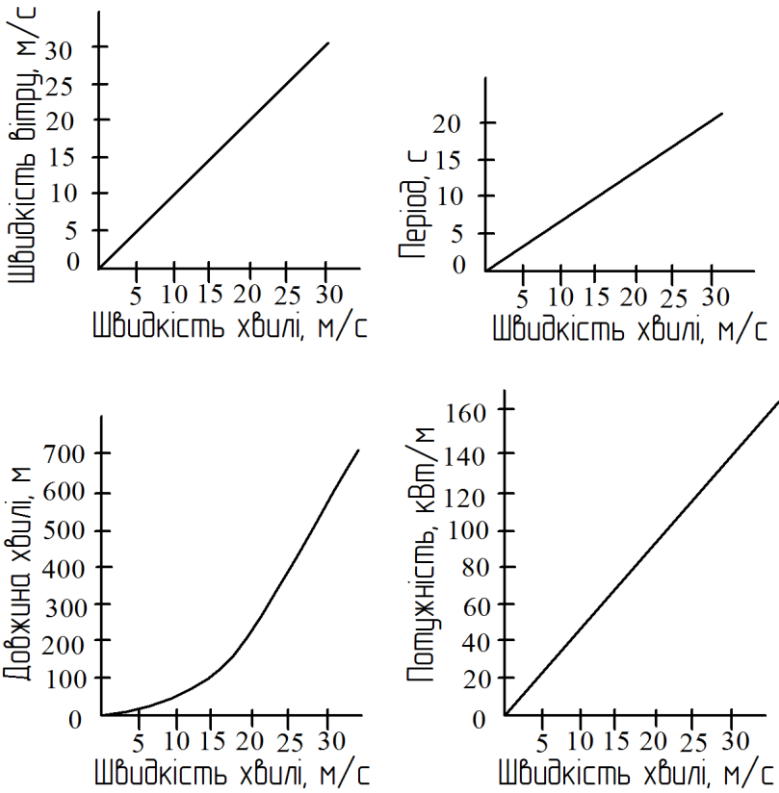


Рис.4.16. Характеристика хвиль [16]

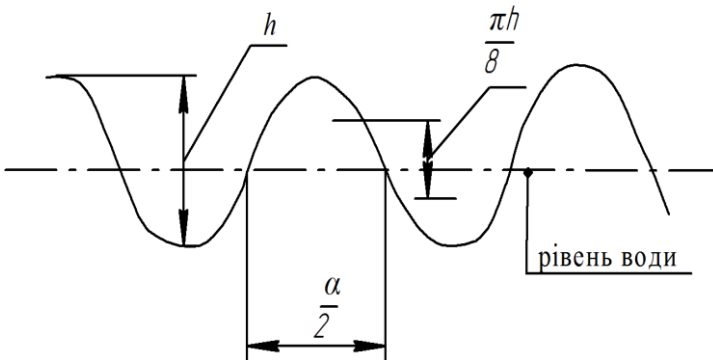


Рис.4.17. Графічне зображення хвилі [16]



Довжина хвилі розраховується за формулою:

$$\lambda = V \cdot T = \frac{g \cdot T^2}{2 \cdot \pi}. \quad (4.24)$$

Для хвилі довжиною  $\lambda$  і періодом  $T$  та висотою гребеня й глибиною впадини  $h$ , потенціальна енергія руху за одиницю часу на одиницю довжини розраховується за формулою:

$$P_{nom} \approx \frac{m \cdot g \cdot \bar{h}}{T}, \quad (4.25)$$

де  $m$  – вага води, що припадає на одиницю довжини  $(\frac{\lambda}{2} \cdot \frac{h}{\pi})$ ;

$\bar{h}$  - зміна висоти хвилі (приблизно рівна  $h$ ).

Тоді

$$P_{nom} \approx \rho \cdot \left( \frac{h}{\pi} \cdot \frac{\lambda}{2} \right) \cdot g \cdot \frac{\pi h}{8} = \frac{1}{16} \cdot \rho \cdot \lambda \cdot g \cdot h^2. \quad (4.26)$$

Враховуючи, що  $\lambda = \frac{g \cdot T^2}{2 \cdot \pi}$  отримаємо повну величину енергії хвилі (Вт на одиницю довжини):

$$P = \frac{\rho \cdot g^2 \cdot T \cdot H^2}{32 \cdot \pi}, \quad (4.27)$$

де:  $\rho$  – густина морської води = 1,025 кг/м<sup>3</sup>,  $g$  - прискорення вільного падіння, 9,8 м/с<sup>2</sup>;  $T$  - період хвилі (с);  $H$  - висота хвилі (м).

На сьогоднішній день вченими запропонований цілий ряд технологій для отримання енергії із хвиль. Більшість із них можуть застосовуватись як на поверхні так і у самій товщі во-

ди. Також вони відрізняються за своїм розміщенням відносно хвиль, з якими вони взаємодіють та за способами перетворення енергії хвиль на інші форми енергії, зазвичай електроенергію. Нижче представлені технології, які широко застосовувались рядом вчених і дослідників по всьому світі з метою отримання енергії із хвиль [18-20].

*Пристрої термінатори*, розміщуються перпендикулярно напрямку руху хвилі. Ці пристрої зазвичай є береговими або прибережними. 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 (рис.4.18).

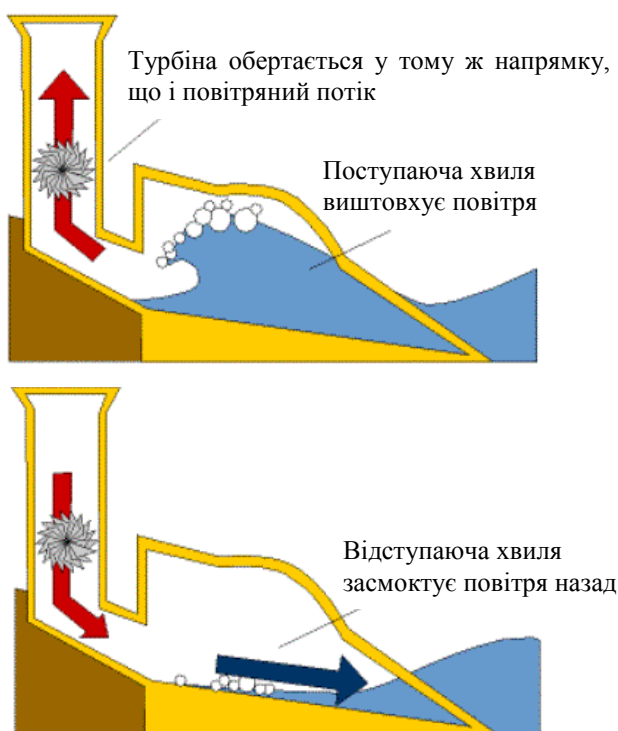


Рис.4.18. Хвильові термінатори

*Послаблювачі хвиль* - довгі багатосегментні, плаваючі структури, що орієнтовані паралельно напрямку хвиль (рис.4.19). Хвилі різної висоти, що рухаються вздовж цих пристроїв створюють згинання та розгинання у місці з'єднання сегментів, які з'єднуються із гідравлічними насосами чи іншими пристроями.



Рис.4.19. Послаблювач хвиль

*Пристрої із підвищеними краями* мають резервуари, які заповнюються хвилями до рівня, що вищий за середній рівень океану. Вода потім випускається за допомогою сил гравітації назад в океан (рис.4.20). Енергія випускаємої води здійснює обертання гідротурбін. Так побудовані морські судна також можуть отримувати таким чином енергію. Ці плаваючі платформи створюють електроенергію, пропускаючи воду через внутрішні турбіни, а потім повертаючи її назад в море.



Рис.4.20. Пристрої із підвищеними краями

*Абсорбери* - плаваючі структури, які складаються з компонентів, що рухаються у напрямку один відносно одного завдяки дії хвиль (плаваючий буй всередині нерухомо закріпленого циліндра) (рис.4.21). Відносний рух використовується для того, щоб управляти електромеханічними або гідравлічними конвертерами енергії.

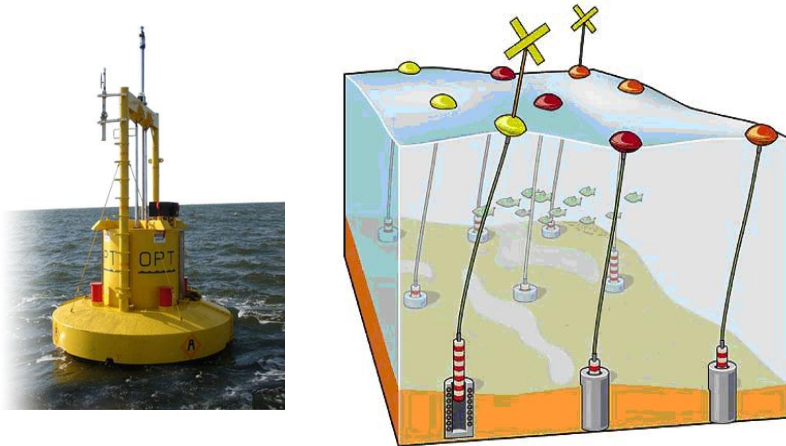


Рис.4.21. Абсорбери

Щодо припливів і відпливів, то за їх допомогою можна щорічно отримати близько 1800 ТВт електроенергії. Це можливо здійснити за допомогою підводних турбін (рис.4.22). Енергія приливів стає все більш популярною порівняно з іншими відновлювальними технологіями, оскільки прогноз припливів і відпливів є більш передбачуваним, порівняно із використанням енергії сонця чи вітру.

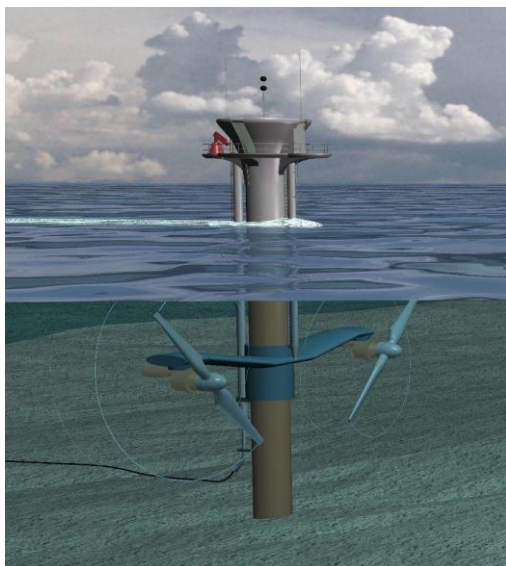


Рис.4.22. Турбіни для отримання енергії із припливів та відпливів

Електроенергію також можна отримати і з океанських течій. Їх перевагою є те, що вони відносно постійні і протікають в одному напрямі на відміну від потоків припливів чи відпливів, які зазвичай змінюють щоденно свій напрям.

Швидкості океанічних течій значно нижчі, ніж швидкості вітрів. Це є суттєвим щодо їх корисності для створення електроенергії, тому що кінетична енергія, яка присутня у плаваючих тілах пропорційна квадрату їх швидкості. Проте, більш важливим показником, що визначає енергію, яку можна отримати із водного тіла є густина матеріалу: вода приблизно у

835 разів щільніша ніж вітер. Тому, наприклад, течія швидкістю 5-вузлів має еквівалент кінетичної енергії вітру більш ніж 160 кілометрів за годину. Ось чому океанічні течії є потенційним джерелом енергії.

Технології отримання енергії із океанічних течій, хоча і розвиваються досить швидко, але ще знаходяться на ранній стадії, і тільки декілька прототипів та показових одиниць були протестовані. Одним із багатообіцяючих підходів отримання електроенергії із течій є застосування підводних турбін. За своєю функціональністю вони подібні до вітрових турбін. Вони мають лопаті, ротор, генератори для перетворення обертової енергії на електроенергію та лінії електропередачі. Пости, кабелі та анкери забезпечують турбінам нерухомий стан відносно течій, з якими вони взаємодіють. Прототипи горизонтально-осьових турбін, подібних до вітрових, розміщуються вздовж потоку течії. На сьогоднішній день, декілька таких турбін вже були побудовані і перевірені. Один із типів горизонтально-осьових турбін був протестований в Японії [21]. На рис.4.23 приведені приклади турбін, для отримання електроенергії із потоків припливів чи відпливів міжконтинентального шельфу, які можуть бути застосовані і для океанічних потоків.

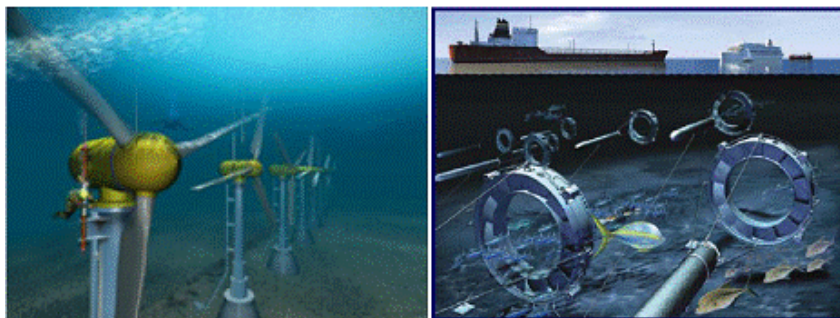


Рис.4.23. Приклади турбін для океанських течій

Турбіни можуть бути влаштовані на дні різними шляхами. Одним із шляхів є прив'язування їх за допомогою кабелю, використовуючи відносно постійний потік, щоб зберегти локалі-

зацію і стабільність. Це частково нагадує політ повітряного змія: повітряним змієм у даному випадку є турбіна, а людиною - якір. Крім того, концентратори (кожухи) можуть розміщуватись навколо лопатей, щоб збільшити водний потік і вихід енергії із турбіни.

На великих площах із потужними течіями, водні турбіни можуть встановлюватись групами, з метою створення так званих ферм, аналогічно вітряним турбінам.

Перед тим, як морська енергія течій зможе повністю використовуватися, цілий ряд технічних викликів повинен бути подоланий. Одним із них є позбавлення від кавітації (утворення повітряних бульбашок), що створюють турбулентність та істотно скорочують ефективність отримання енергії. Іншими негативами є боротьба із морськими наростями, корозією та повна відсутність системної надійності. У даний час дослідники по всьому світу проводять дослідження з метою подолання цих проблем. Матеріально-технічне забезпечення ротора і підтримка турбін є значно складнішими задачами порівняно із наземними вітровими роторами та турбінами, що в кінцевому випадку призводить до значно вищих експлуатаційних витрат. Проте, оскільки вже отриманий певний досвід, вчені можливо зможуть подолати ці перешкоди і в подальшому матимуть успіх у отриманні електроенергії таким чином.

Передача електроенергії із морського шельфу на берегове побережжя вимагатиме прокладання підводних кабелів. На даний час працюючі комерційні турбіни для океанічних течій не з'єднанні за допомогою кабелів, проте, підводна кабельна технологія на даний час широко використовується у Європі для передачі електроенергії із вітрових турбін морського побережжя до електросилових підстанцій суші.

Також перспективним є застосування термальної енергії океану. Води багатьох районів Світового океану поглинають велику кількість сонячного тепла, більша частина якого акумулюється у верхніх пластах і лише у невеликій кількості розповсюджується у нижні. У результаті цього створюється

різниця температур, яка особливо добре виражена у тропічних широтах, де поверхня води нагрівається до  $27^{\circ}\text{C}$ , а на глибині 600 метрів температура падає до  $2...3,5$  градусів. На рис.4.24 представлено закономірність зміни температури води із ростом глибини.

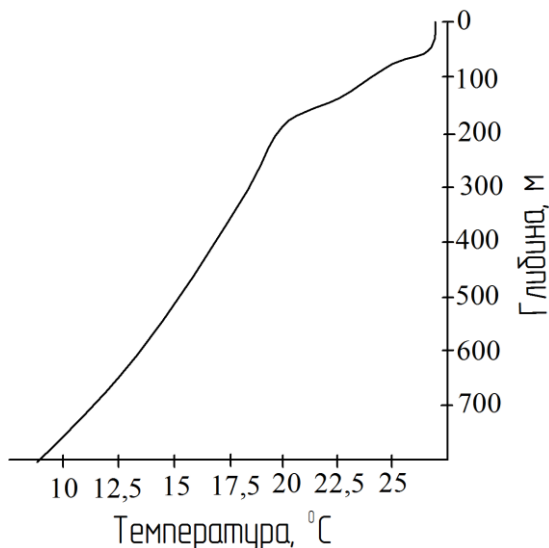


Рис.4.24. Зміна температури води із глибиною

З кінця 20-х років ХХ століття людство почало використовувати гідротермальну енергію, тобто енергію, джерелом якої є різниця температур верхніх та нижніх горизонтів морської води. Процес, званий перетворенням термальної енергії океану (ПТЕО), використовує тепло, що зберігається океанами Землі, для генерування електроенергії.

Розрізняють відкритий, замкнутий та комбінований (гібридний) цикли перетворення термальної енергії океану.

Технологічна схема відкритого циклу працює за рахунок того, що вода здатна закипати при низьких температурах у вакуумі. В такій системі тепла вода із поверхні закачується у



вакуумну камеру, де внаслідок низького тиску (1,400 Па) морська вода закипає та випаровується при низькій температурі. Далі пара низького тиску обертає турбіну електрогенератора. Після проходження пари через турбіну, вона або конденсується шляхом “прямого контакту” з холодною морською водою чи проходить через теплообмінник, який охолоджується холодною водою із дна. Подібні станції з успіхом функціонують на Кубі, а також біля міста Абіджана (Берег Слонової Кістки).

Технологічна схема відкритого циклу перетворення термальної енергії океану представлена на рис.4.25.

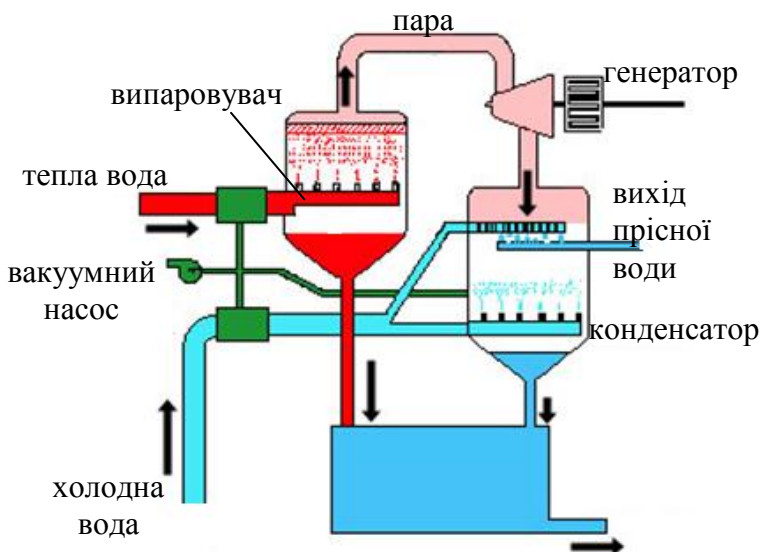


Рис.4.25. Відкритий цикл конверсії термальної енергії океану

Щодо замкнутого циклу перетворення термальної енергії океану, то тут тепла поверхнева вода закачується у теплообмінник (випаровувач), який містить робочу рідину, що закипає при низьких температурах (аміак). Тепла вода, проходячи через теплообмінник, призводить до випаровування робочої

рідини, а утворена пара обертає турбіну електрогенератора. Після проходження через турбіну пара потрапляє у другий теплообмінник, який охолоджує робочу рідину холодною водою із дна. Далі, вже охолоджена рідина знову подається на перший теплообмінник і цикл повторюється знову. Технологічна схема замкнутого циклу перетворення термальної енергії океану представлена на рис.4.26.

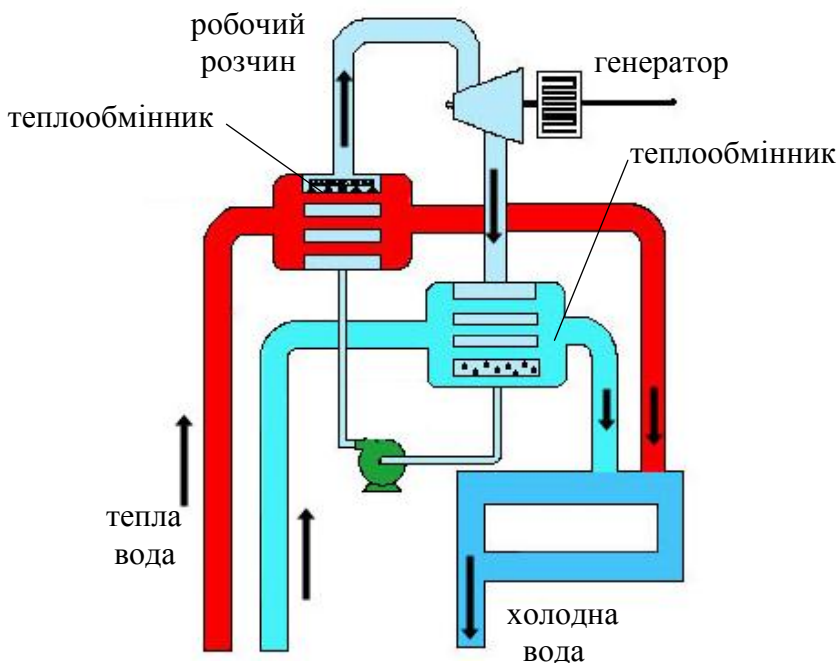


Рис.4.26. Замкнутий цикл перетворення термальної енергії океану

Дуже часто, транспортувати на сушу отриману таким способом електроенергію є доволі дорого. Тому на водних платформах створюють виробництво аміачних добрив, для виробництва яких необхідний водень, азот та електроенергія. Так, водень отримують внаслідок гідролізу морської води, а азот –

із повітря. Тобто увесь технологічний цикл є можливим на самій платформі, а отримані добрива транспортуються на сушу.

Комбінований цикл поєднує в собі замкнутий і відкритий цикли. У ньому, тепла вода потрапляючи у вакуумну камеру закипає і створює пару подібно до відкритого циклу. Далі утворена пара нагріває робочий агент, який знаходиться в системі замкнутого циклу та призводить до його випаровування. Створена у такий спосіб пара замкнутого циклу, обертає лопаті турбіни та виробляє електроенергію. Конденсація пари відбувається у теплообміннику із отриманням прісної води.

Технологічна схема комбінованого циклу перетворення термальної енергії океану представлена на рис.4.27.

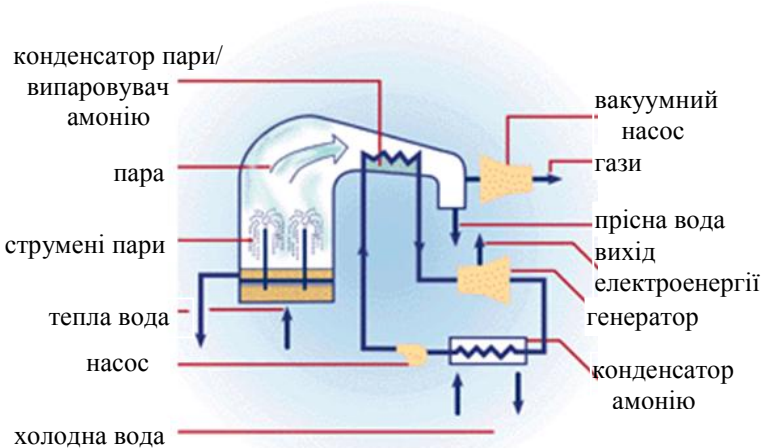


Рис.4.27. Комбінований цикл перетворення термальної енергії океану

Таким чином, із вище розглянутого матеріалу, ми можемо зробити висновок, що відновлювальна енергія океану зможе зменшити залежність від викопних палив та покращити навколишнє середовище. Із правильною підтримкою уряду ряду держав, у недалекому майбутньому ці ресурси стануть суттєвою частиною надійного та чистого способу отримання електроенергії.

## РОЗДІЛ 5 ГЕОТЕРМАЛЬНА ЕНЕРГІЯ

Геотермальна енергія - природне тепло, яке акумульоване в перших десятих кілометрах Земної кори. Вчені припускають, що Земля складається із трьох основних частин: ядра, мантії і земної кори.

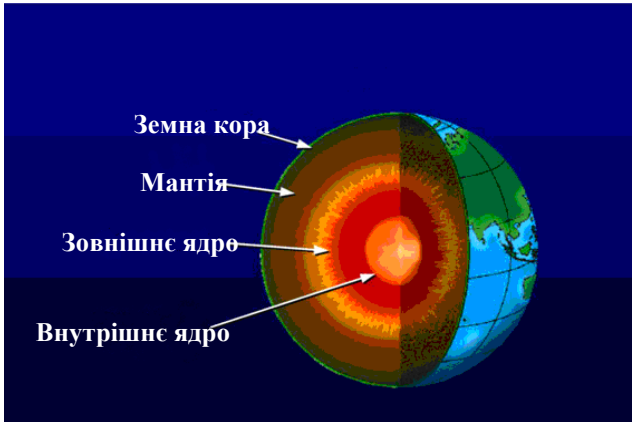


Рис.4.1. Внутрішня будова Землі [22]

Ядро – це центральна, серцевинна частина земної кулі. Воно поки що є загадкою для науки. Учені вважають, що зовнішня частина ядра перебуває в розплавлено-рідкому 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  $5000^{\circ}\text{C}$ .

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). Припускають, що, чим ближче до центру Землі, тим тиск у ній більший, а температура вища: від кількох сотень градусів до  $2500^{\circ}\text{C}$ . При такій температурі речовина мантії мала б бути розплавленою, але плавленню заважає великий

тиск. Тому вважають, що вона тверда, але водночас і розпечена.

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 переміщуватися. Швидкість переміщення дуже невелика – декілька сантиметрів за рік.

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.

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 в умовах спеки (близько +30 °С). Тепло земній корі передається від мантії. Для проведення наукових досліджень, геологами були пробурені надглибокі свердловини. Найглибша з них (до 15 км) пробурена в Росії на Кольському півострові.

Земна кора разом із верхньою мантією утворюють літосферу. Вона є єдиним твердим (“кам’яним”) шаром, який ніби плаває в пластичній астеносфері. Товщина літосфери різна: під океанами – близько 50 км, а на материках – до 200 км.

Із збільшенням глибини занурення у земну поверхню, спостерігається підвищення температури в середньому на 17...30°C із кожною 1000 метрів (рис.4.2). Враховуючи той факт, що теплопередача завжди здійснюється від теплішої до холоднішої поверхні, тому тепло із надр землі завжди передається на поверхню, що змушує рухатись літосферні плити. У місцях зіткнення літосферних плит, як правило має місце рух магми, у напрямку вище лежачих шарів.

Коли магма досягає поверхні, вона може створювати вулкани, але у більшості випадків вона знаходиться під поверхнею, створюючи величезні резервуари, охолодження яких може тривати від 5000 тисяч до одного мільйону років.

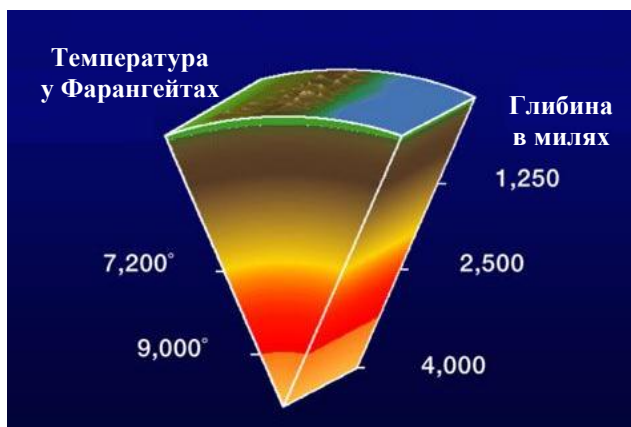


Рис.4.2. Зміна температур в Землі із ростом глибини

Підземні резервуари, які заповнює магма, мають високий температурний градієнт, який означає, що із глибиною відбувається різкий ріст температури. Саме такі місця є найбільш придатними для видобутку геотермальної енергії (рис.4.3).

Сьогодні у світі відомі п'ять джерел геотермальної енергії: термальні води, петрогеотермальна енергія, пароводяні суміші і природна пара та магма. Щодо перших двох джерел, то вони є значно поширеними, а останніх три є експериментальними чи теоретичними.

Геотермальні резервуари є великими басейнами пари чи гарячої води, що розміщені у пористих породах та нагріті земним ядром. Такі резервуари у світі є лише на деяких територіях, наприклад вони притаманні Японії, Новій Зеландії та іншим країнам, що знаходяться на побережжі Тихого океану. Також вони є на Гавайях та Єловстоунському Національному Заповіднику в США. Резервуари значних розмірів є в таких країнах як Ісландія та Італія.

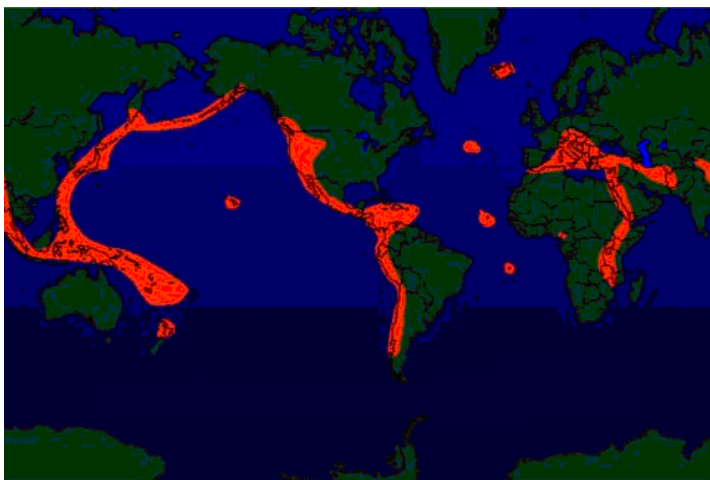


Рис.4.3. Найгарячіші регіони світу

Гаряча вода із підземних резервуарів може прямо подаватись 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.

«Країна льодовиків», так називають Ісландію, ефективно використовує гідротермальну енергію своїх надр. Тут відомо понад 700 термальних джерел, які виходять на земну поверхню. Близько 90% населення користується геотермальними водами для обігріву житлових приміщень. При середній температурі води 87°C, річне споживання енергії гарячої води складає 15 млн. ГДж, що рівноцінно економії 500 тис. т кам'яного вугілля на рік. Крім того, ісландські теплиці, в яких вирощують овочі, фрукти, квіти і навіть банани, споживають щорічно до 150 тис. м<sup>3</sup> гарячої води, тобто понад 1,5 млн. ГДж теплової енергії.

Щодо України, то на її території є три геотермальні ділянки із підвищеним геотермальним градієнтом [22]. Ці ділянки мають різні фізико-географічні та гідрогеологічні умови залягання. Геотермальні ресурси Кримського півострова представлені термальними водами артезіанських басейнів, які знаходяться у осадових породах міжгірських ділянок вздовж північного схилу Кримських гір. У середньому низькотемпературні водні резервуари представлені низько та середньосолоними розчинами на глибинах до 2 км., а вже глибші резервуари містять розсоли із температурою до 200°C. Легкодоступні геотермальні поклади середньої температури (60...90°C) розташовані в західній частині Криму поблизу м. Євпаторія на глибинах 1,5...2 км. Потенціал геотермальних кримських резервуарів оцінюється у 63,5 МВт постійної потужності та у 100 МВт при використанні глибинних насосів. Високотемпературні резервуари досліджувались за допомогою розвідувальних нафтових свердловин і тому їх вивченість є невисокою. Максимальна температура отриманих потоків високотемпературних резервуарів була отримана на глибині 2,5 км і становила 158°C.

Раніше геологами було розвідано і ряд інших геотермальних родовищ на території Криму (табл.5.1).

Таблиця 5.1

Геотермальні ресурси Криму[22]

| Назва родовища                                  | Новоселівське |         |         | Північно-сивашське |
|---|---------------|---------|---------|--------------------|
|   | Іллінка       | Трудове | Сизівка |                    |
| Водоносний горизонт, м                          | 700...1500    |         |         | 1350...1750        |
| Мінералізація вод, г/л                          | 2,5...35      |         |         | 26...32            |
| Тиск, МПа                                       | 0,3...1,22    |         |         | 0,4...0,8          |
| Температура води, °С                            | 47...80       |         |         | 52...74            |
| Потік води із свердловини, м <sup>3</sup> /день | 690...2300    |         |         | 1400               |



У Прикарпатті, геотермальні резервуари були знайдені в теригенних та вулканічних породах міжгір'я та на рівнинах західних областей. Невеликі потоки мінералізованої води, температурою до 90°C, були отримані із свердловин глибиною 1...2,5 км. Максимальна температура води у 210°C, була зафіксована на глибині 4050 м у свердловині Залузька-3. Однак, даний потік був дуже малим і його не можна оцінювати як перспективний. Результати буріння інших свердловин на території Прикарпаття приведені у табл.5.2.

Таблиця 5.2

Результати буріння свердловин у Прикарпатті [22]

| Назва свердловини | Глибина, м | Потік води із свердловини, м <sup>3</sup> /день | Температура води, °С |
|-------------------|------------|---|----------------------|
| Ужгород -1Т       | 1900       | 300...500                                       | 88,6                 |
| Ужгород -2Т       | 1350       | 46,8  | 76,15                |
|                   | 1700       | 12,4  | 90,8                 |
|                   | 1940       | 214   | 97,6                 |
|                   | 1820       | 79,3  | 92,7                 |
|                   | -          | 138...273                                       | -                    |
| Ужгород - 4Т      | 1300       | 43  | 72,2                 |
| Ужгород -5Т       | 1010       | 40...90   | 65                   |
| Теребля - 6       | 2350       | 500...900                                       | 96,5                 |
| Іршава -2         | 3200       | 115   | 136,3                |
| Берегово - 2Т     | -          | 346...691                                       | -                    |

Потоки геотермальних розсолів температурою 125... 168°C на глибинах 3...4,5 км також були отримані на рівнинах Харківської та Полтавської областей за допомогою розвідувальних та видобувних свердловин на нафту.

Серед перспективних районів для пошуків і розвідки геотермальних ресурсів є Донецький басейн. Значні масштаби розвитку геотермальної енергетики в майбутньому можливі також при одержанні теплової енергії безпосередньо з гірських

порід (петрогеотермальна енергія). У цьому випадку теплоносії визначеного потенціалу утворюється в результаті теплообміну води, яка нагнітається при контакті у тріщинах, з високотемпературними гірськими породами в зоні природної чи штучно створеної проникності з наступним виведенням теплоносія на поверхню.

Мінімальна – технологічно прийнятна для виробництва електроенергії при існуючих технічних можливостях – температура гірських порід складає 150°C. Така температура гірських порід у межах України зафіксована на глибинах 3...10 км (у Донбасі – 4...6 км). Відповідно до проведеної оцінки, геологічні ресурси геотермальної енергії найбільш перспективних в Україні площ в інтервалі глибин 3...10 км складають близько 15 трлн. тон умовного палива (т у.п), а до 7 км – 3 трлн. т у.п.

У Дніпровсько-Донецькій западині і Донбасі прогнозні ресурси петрогеотермальної енергії в інтервалі глибин 4...10 км складають 9 трлн. т у.п., у тому числі до 7 км – 1,9 трлн. т у.п. Щільність ресурсів на технологічно доступних глибинах 4...5 км складає близько 7 млн. т у.п./км.

В цілому в Україні експлуатаційні ресурси термальних вод за запасами тепла еквівалентні використанню близько 12 млн. т у.п. на рік (табл.5.3).

Таблиця 5.3

Експлуатаційні ресурси термальних вод України [35]

| Область   | Геотермальна енергія | Область           | Геотермальна енергія |
|-----------|----------------------|-------------------|----------------------|
| 1         | 2                    | 3                 | 4                    |
| АР Крим   | 0,68                 | Івано-Франківська | 0,51                 |
| Вінницька | 0                    | Дніпропетровська  | 0                    |
| Волинська | 0                    | Кіровоградська    | 0                    |
| Київська  | 0                    | Херсонська        | 0                    |
| Донецька  | 0                    | Житомирська       | 0                    |

Продовження табл.5.3

| 1                   | 2    | 3             | 4    |
|---------------------|------|---------------|------|
| Львівська           | 0,45 | Миколаївська  | 0    |
| Сумська             | 0,96 | Тернопільська | 0    |
| Запорізьська        | 0    | Полтавська    | 0,39 |
| Чернігівська        | 1,24 | Чернівецька   | 0    |
| Черкаська           | 0    | Хмельницька   | 0    |
| Луганська           | 0    | Харківська    | 0,37 |
| Одеська             | 0    | Закарпатська  | 7,40 |
| Рівненська          | 0    |               |      |
| <b>Всього 12,00</b> |      |               |      |

Щодо Європи, то розподіл геотермальних ресурсів на її території представлений на рис.4.4.

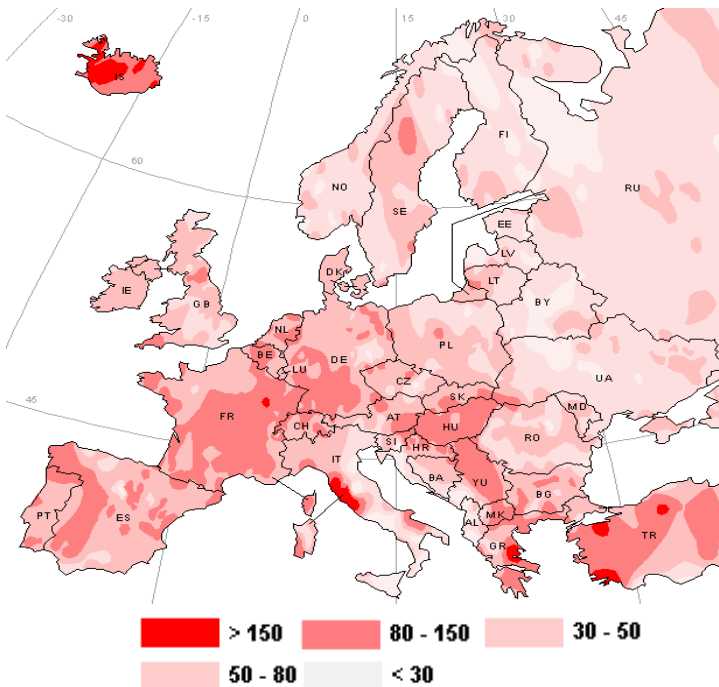


Рис.4.4. Розподіл геотермальної енергії в Європі у МВт/м<sup>2</sup> [23]

Іншим методом застосування високо- та середньотемпературних геотермальних вод є виробництво електроенергії за допомогою ГеоТЕС. Для цього, пробурюють свердловини глибиною від 3,5 до 7 кілометрів до досягнення нагрітих магмою резервуарів. Під дією власного тиску, рідина починає рухатись вгору, створюючи невелику кількість пари. На поверхні рідина разом з паром подається у теплороздільник, де відбувається розділення пари високого тиску і рідини. Далі пара із теплороздільника подається у трубопровід високого тиску. Рідина, що залишилася після випаровування подається у кристалізатор, де створюється пара звичайного тиску, яка подається у трубопровід низького тиску. Далі пара низького і високого тиску подається у турбіну. Сила пари здійснює обертання турбіни і валу, який з'єднаний з електрогенератором. Таким чином створюється електричний заряд, який подається на трансформатор, де збільшується вольтаж. Отримана таким чином електроенергія далі подається у лінії електропередачі. Використана вода знову закачується у підземні резервуари, для повторного нагріву і використання. Принципова схема роботи ГеоТЕС представлена на рис.4.5.

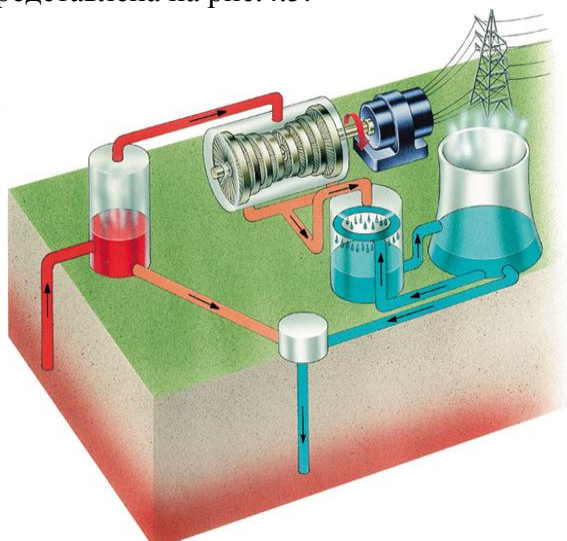


Рис.4.5. Принципова схема роботи ГеоТЕС

Розрізняють два види геотермальних станцій: перші для генерування струму використовують пару, другі - перегріті геотермальні води.

У перших суха пара зі свердловини надходить у турбіну або генератор для вироблення електроенергії (рис.4.6). На станціях іншого типу використовуються геотермальні води температурою понад  $180^{\circ}\text{C}$ . Вода природним чином підіймається вгору свердловиною, подається в сепаратор, де внаслідок зменшення тиску частина її кипить і перетворюється на пару. Пара спрямовується в генератор або турбіну і виробляє електроенергію (рис.4.7). Це найбільш поширений тип геотермальної електростанції.

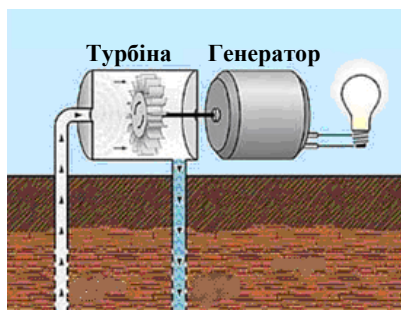


Рис.4.6. Парогенератор

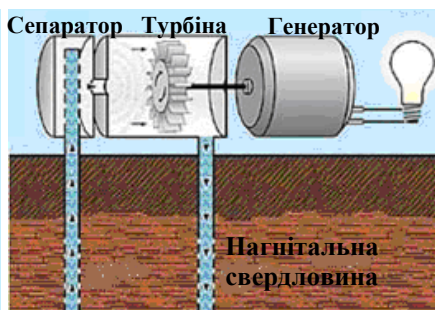


Рис.4.7. Геотермальна електростанція, що працює на перегрітих водах

Іншим методом виробництва електроенергії на базі високо- та середньотемпературних геотермальних вод є використання процесу із застосуванням двоконтурного (бінарного) циклу. У цьому процесі вода, отримана з басейну, використовується для нагрівання теплоносія другого контуру (фреону чи ізобутану), який має меншу температуру кипіння (рис.4.8). Установки, що використовують фреон як теплоносій другого контуру, зараз підготовлені для діапазону температур  $75\text{...}150^{\circ}\text{C}$  [24].

Значні масштаби розвитку геотермальної енергетики в майбутньому можливі лише в разі одержання теплової енергії

безпосередньо із гірських порід. У цьому випадку в місцях, де знайдено сухі гарячі скельні породи, бурять паралельні свердловини між якими утворюють систему тріщин. Тобто фактично формується штучний геотермальний резервуар, в який подається холодна вода із наступним отриманням пари або пароводяної суміші.

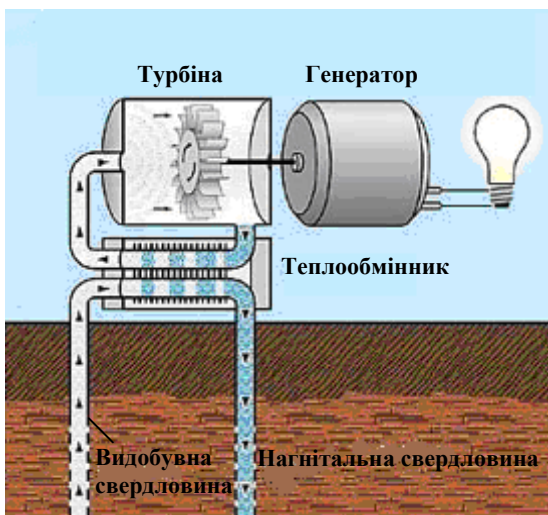


Рис.4.8. Геотермальна електростанція із двоконтурним циклом

Масштаб використання геотермальної енергії визначають декілька факторів, основним із яких є капітальні витрати на спорудження свердловин, ціна яких зростає зі збільшенням глибини. Так створення свердловини глибиною 3,5 км коштує близько 5 млн. доларів США, 7,5 км – 18 млн. дол., 10 км – 30 млн. дол. Однак, ці затрати окупаються вже за 3...4 роки.

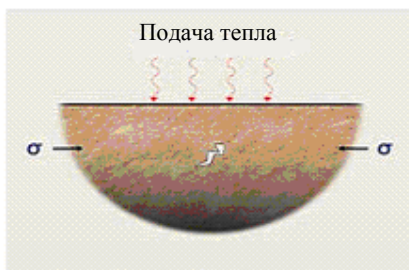
При створенні таких глибоких свердловин дуже часто виникає багато проблем, основними із яких є проходка міцних порід. Для цього часто застосовують вогняне буріння.

При вогняному бурінні свердловин гірські породи руйнують нагрітим до  $2200^{\circ}\text{C}$  газовим струменем, який подається на вибій свердловини з реактивної горілки. У результаті цього

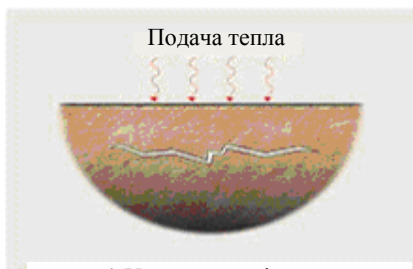
відбувається руйнування кристалічних зерен породи, утворення тріщин та луцення породи (рис.4.9) [25] .



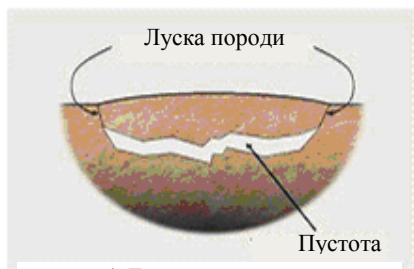
а) Необроблений дефект



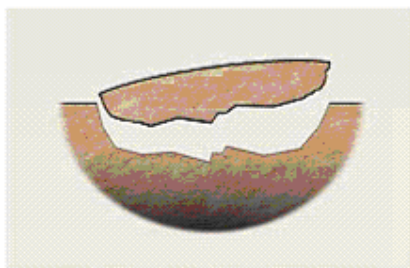
б) Подача тепла та стиснення дефекту



в) Утворення тріщини



г) Луцення породи



д) Відділення луски від породи

Рис.4.9. Процес руйнування породи при вогняному бурінні

До камери згорання реактивної горілки по трубах всередині пустотілих штанг підводиться керосин і газоподібний кисень.

Продукти згорання викидаються із сопла горілки із надзвуковою швидкістю (1800 м/с) і нагрівають породу. Так як горілка обертається навколо осі, то нагрів породи змінюється з охолодженням її водою, яка поступає на вибій свердловини. Внаслідок цього відбувається розтріскування породи, а висока кінетична енергія газових струменів забезпечує відрив розтрісканих частинок породи. Продукти згорання і утворена в свердловині водяна пара виносять зруйновану породу із свердловини на поверхню.

Якщо ж швидкість термічного буріння падає, то включають спеціально змонтований на буровому ставі ударний механізм. Нагрітий термобуром поверхневий шар породи порівняно легко руйнується коронкою, яка встановлена в головній частині термобуру.

Сьогодні США є лідером з використання геотермальної енергії. Станом на серпень 2008 року у 13 штатах почали реалізовуватись 103 проекти, загальною потужністю у 3,979 ГВт. У 2009 році уряд Австралії виділив 50 млн. доларів на розвиток геотермальної енергетики. Останні дані геологічної розвідки вказують на те, що 1% австралійських сухих гарячих скельних порід, що знаходиться у надрах країни, здатний створити у 25000 разів більше електроенергії порівняно із щорічним споживанням. Австралійська асоціація геотермальної енергії планує отримувати 2,2 ГВт до 2020 року (40% державного виробництва електроенергії). У Ісландії в 2006 році 26,5% виробництва електроенергії здійснювалось за допомогою геотермальної енергетики. Сьогодні лише 0,1% електроенергії цієї країни виробляється з вугілля. Дуже поширеною є геотермальна енергетика і на Філіпінах. У країні, щорічно в такий спосіб виробляється 27% електроенергії. На сьогоднішній день разом із видобутком тепла, можливим також є видобуток хімічних елементів та сполук із розсолів, як



на дослідному заводі в Дагестані, де видобувають сполуки магнію, літію та бром.

Щодо вартості електроенергії, що генерується, то вона знаходиться у межах від 5 до 8 американських центів за кіловат-годину. Новіші геотермальні електростанції часто є більш дорогими, тому що вони використовують геотермальні резервуари, які залягають на більших глибинах.

У більшості випадків ступінь впливу геотермальних електростанцій на навколишнє середовище є мінімальним.

## РОЗДІЛ 6 ЕНЕРГІЯ ВІТРУ

Енергія вітру – це перетворення вітрової енергії у корисний вид енергії за допомогою вітряних турбін, вітрових насосів чи парусів.

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, що спричиняє появу напрямків вітру.

Люди застосовують енергію вітру щонайменше протягом 5500 років. Спочатку її застосовували в мореплавстві та для вентиляції будинків. Перші вітряки почали застосовувати у 7 ст. н.е. для зрошування та створення борошна в Афганістані, Ірані та Пакистані. Поява водяних насосів стала можливою завдяки поширенню по всьому світу залізничного транспорту (парових локомотивів), для якого і здійснювали відкачку води із свердловин .

У липні 1887 року, академік із Шотландії Джеймс Бліф, після проведення ряду експериментів із вітром створює у 1891 році патент на вітровий двигун [26]. Взимку 1887 року, американський дослідник Чарльз Браш вперше за допомогою вітрової установки отримав електроенергію, яку він використовував для освітлення будинку та лабораторії. У 1890 році, датський винахідник і дослідник Пол ла Кур сконструював вітряні турбіни з метою отримання електроенергії, а пізніше застосовував їх для отримання водню [27].

У першій половині 20 ст. дуже поширеними були малі вітрові турбіни для освітлення сільських місцевостей. Перша в Радянському Союзі вітрова електростанція (ВЕС) потужністю 8 кВт була споруджена в 1929...1930 рр. під Курськом за проектом інженерів А. Г. Уфімцева і В. П. Ветчинкіна. Через рік у Криму була побудована ВЕС потужністю 100 кВт, що була на той час найбільшою ВЕС у світі. Вона успішно працювала до

1942 р. та була зруйнована під час війни. Але найшвидше вітроенергетика розвивалася у США. Ще в 1941 р. там була побудована перша ВЕС потужністю 1250 кВт.

Сучасний розвиток вітроенергетика 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.

У наш час найбільшою вітряною турбіною у світі є прототип фірми Gamesa, який у 2009 році було встановлено в Іспанії. Вітрогенератор G10X із потужністю має ротор діаметром 128 м. Попередній рекорд належав двом Німецьким компаніям Enercon та REpower, які у 2007 році створили турбіну Enercon E-126 із потужністю 7 МВт, висотою 198 м та діаметром ротора 126 м (рис.6.1, 6.2).



Рис.6.1. Опора вітряної турбіни Enercon E-126



У 2010 році, норвезька фірма Sway оголосила про створення прототипу вітряної турбіни потужністю 10 МВт. Проектна висота турбіни 162,5 метри, а діаметр ротора – 145 м. Найвищою вітряною турбіною станом на 2010 рік був вітрогенератор Fuhrländer Wind Turbine Laasow, висотою 205 м.

Сьогодні запропоновано безліч варіантів механізмів для переробки вітру в електричну енергію. Основним його елементом є вітроколесо.

Рис.6.2. Вітрогенератор Enercon E-126

За принципом роботи та схемою будови вітроколеса вітрові електростанції поділяються на 3 класи:

1. пелюсткові (лопатеві) — мають вітроколесо з лопатями, розташованими перпендикулярно до валу;
2. карусельні або роторні;
3. барабанні.

У карусельних та барабанних вітрових електростанціях вал вітроколеса встановлюється вертикально (рис.6.3). Ці обидва класи є громіздкими і менш ефективними порівняно з лопатевими. Виходячи з цього вся сучасна вітроенергетика базується в основному на лопатевих типах вітродвигунів. Пропелерні вітродвигуни досконалі, відносно мало матеріаломісні, забезпечують досить високий коефіцієнт використання енергії вітру.



Рис.6.3. Вітряні турбіни із вертикальним розміщенням валу вітроколеса

У лопатевих електростанціях вітроколесо пристрою закріплюється на горизонтальному валу, що обертається в двох підшипниках, змонтованих у головці вітродвигуна. Обертання вітроколеса передається електрогенераторові через дві циліндричні шестерні. Голівка вітродвигуна монтується на башті, висота якої визначається з розрахунком виносу вітроколеса вище від усіх навколишніх перешкод, що можуть впливати на потоки повітря. Вона може обертатися навколо вертикальної осі. Позаду голівки закріплюється хвіст для направлення вітроколеса на напрям вітру. Потужність вітродвигуна без регулюючого пристрою збільшується або зменшується пропорційно до кубу швидкості вітру, наслідком чого є нерівномірність роботи електрогенератора. Щоб усунути цю ваду у вітродвигуні застосовано автоматичне регулювання швидкості обертання електрогенератора. Напруга, яка знімається з електрогенератора, нормалізується в стабілізаторі напруги. Через це вихідна напруга залишається сталою, вона коливається від 210 В до 230 В і не залежить від швидкості вітру.

Загальна схема вітряної турбіни представлена на рис.6.4.

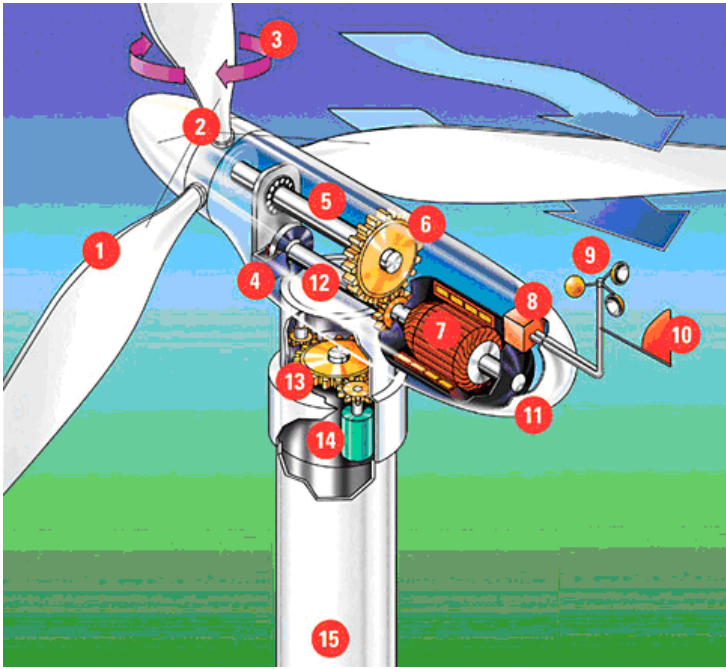


Рис.6.4. Принципова схема вітряної турбіни:

- 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 напрямку; 14 – двигун; 15 – опора

При розташуванні поруч кількох вітряків слід враховувати факт, що вони мають розташовуватися не ближче ніж за три висоти один від одного аби не перехоплювати «чужий» вітер.

Сьогодні енергія вітру розглядається як альтернатива горючим корисним копалинам завдяки тому, що вона є поширеною (рис.6.5), відновлювальною, чистою та не створює парникових газів [28].

На кінець 2009 року світова потужність вітрогенераторів становила 157,9 ГВт, а виробництво електроенергії було на рівні 320 ТВт, що становить 2% світового споживання електроенергії [29]. Особливої уваги заслуговують ряд країн, які дійсно досягли високих показників у даній галузі. Серед них

Данія із 19% виробництва електроенергії, Іспанія і Португалія -13%, Німеччина та Ірландія -7%. Станом на травень 2009 року зафіксовано, що понад вісімдесят країн світу застосовують вітряну енергетику на комерційній основі.

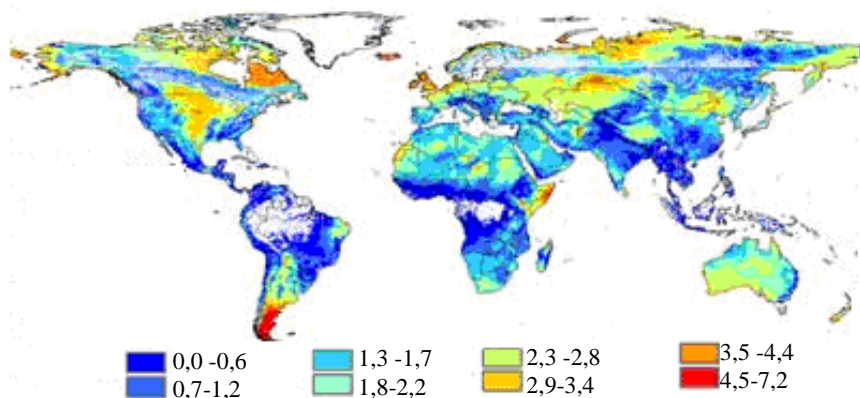


Рис.6.5. Світовий потенціал вітру у кВт/м<sup>2</sup>

Всесвітня Вітрова Асоціація передбачає, що у 201 році світова потужність вітрогенераторів досягне позначки у 160 ГВт [30]. Сьогодні вітрова енергетика Данії становить 20% від всього виробництва електроенергії, а в подальшому планується навіть досягти 50%. За останні роки США виробили набагато більше вітрової електроенергії, ніж будь-яка інша країна світу. Особливої уваги також заслуговує Німеччина.

Китай планує за допомогою вітру на кінець 2020 року виробляти 30 ГВт електроенергії. Місцеві вітри в цілому здатні виробляти до 253 ГВт електроенергії [31]. Сьогодні Китай має ряд законопроектів, що були прийняті у 2004 році та підтримують розвиток відновлювальних джерел енергії. Починаючи із 2008 року вітрова енергетика у країні почала розвиватись дуже швидкими темпами, а з 2005 об'єми виробництва електроенергії взагалі щорічно подвоюються.

Таблиця 6.1

## Світова потужність вітрогенераторів у МВт [30]

| №  | Країна         | 2005  | 2006  | 2007  | 2008  | 2009  |
|----|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1  | 2              | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     |
| -  | ЄС             | 40722 | 48122 | 56614 | 65255 | 74767 |
| 1  | США            | 9149  | 11603 | 16819 | 25170 | 35159 |
| 2  | Німеччина      | 18428 | 20622 | 22247 | 23903 | 25777 |
| 3  | Китай          | 1266  | 2599  | 5912  | 12210 | 25104 |
| 4  | Іспанія        | 10028 | 11630 | 15145 | 16740 | 19149 |
| 5  | Індія          | 4430  | 6270  | 7850  | 9587  | 10925 |
| 6  | Італія         | 1718  | 2123  | 2726  | 3537  | 4850  |
| 7  | Франція        | 779   | 1589  | 2477  | 3426  | 4410  |
| 8  | Великобританія | 1353  | 1963  | 2389  | 3288  | 4070  |
| 9  | Португалія     | 1022  | 1716  | 2130  | 2862  | 3535  |
| 10 | Данія          | 3132  | 3140  | 3129  | 3164  | 3465  |
| 11 | Канада         | 683   | 1460  | 1846  | 2369  | 3319  |
| 12 | Нідерланди     | 1236  | 1571  | 1759  | 2237  | 2229  |
| 13 | Японія         | 1040  | 1309  | 1528  | 1880  | 2056  |
| 14 | Австралія      | 579   | 817   | 817   | 1494  | 1712  |
| 15 | Швеція         | 509   | 571   | 831   | 1067  | 1560  |
| 16 | Ірландія       | 495   | 746   | 805   | 1245  | 1260  |
| 17 | Греція         | 573   | 758   | 873   | 990   | 1087  |
| 18 | Австрія        | 819   | 965   | 982   | 995   | 995   |
| 19 | Туреччина      | 20    | 65    | 207   | 433   | 801   |
| 20 | Польща         | 83    | 153   | 276   | 472   | 725   |
| 21 | Бразилія       | 29    | 237   | 247   | 339   | 606   |
| 22 | Бельгія        | 167   | 194   | 287   | 384   | 563   |
| 23 | Мексика        | 2     | 84    | 85    | 85    | 500   |
| 24 | Нова Зеландія  | 168   | 171   | 322   | 325   | 497   |
| 25 | Тайвань        | 104   | 188   | 280   | 358   | 436   |
| 26 | Норвегія       | 268   | 325   | 333   | 428   | 431   |
| 27 | Єгипет         | 145   | 230   | 310   | 390   | 430   |



Продовження табл.6.1

| 1  | 2                                | 3         | 4         | 5         | 6         | 7         |
|----|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 28 | Пд. Корея                        | 119       | 176       | 192       | 278       | 348       |
| 29 | Марокко                          | 64        | 64        | 125       | 125       | 253       |
| 30 | Угорщина                         | 18        | 61        | 65        | 127       | 201       |
| 31 | Чехія                            | 30        | 57        | 116       | 150       | 192       |
| 32 | Болгарія                         | 14        | 36        | 57        | 158       | 177       |
| 33 | Чилі                             |           |           |           | 20        | 168       |
| 34 | Фінляндія                        | 82        | 86        | 110       | 143       | 147       |
| 35 | Естонія                          | -         | -         | 59        | 78        | 142       |
| 36 | Коста Ріка                       | -         | -         | -         | 74        | 123       |
| 37 | <b>Україна</b>                   | <b>77</b> | <b>86</b> | <b>89</b> | <b>90</b> | <b>94</b> |
| 38 | Іран                             | 32        | 47        | 67        | 82        | 91        |
| 39 | Литва                            | 7         | 56        | 50        | 54        | 91        |
|    | Інші європейські країни          | 391       | 494       | 601       | 1022      | 1385      |
|    | Решта країн Америки              | 155       | 159       | 184       | 210       | 175       |
|    | Країни Африки та Близького Сходу | 52        | 52        | 51        | 56        | 91        |
|    | Країни Азії та Океанії           | 27        | 27        | 27        | 36        | 51        |
|    | Всього МВт                       | 59024     | 74151     | 93927     | 121188    | 157899    |

Індія на кінець 2009 року займала п'яте місце у світовому рейтингу країн, що займаються розвитком вітроенергетики, створюючи щорічно близько 3% всієї електроенергії країни.

Нещодавно Мексика почала займатись реалізацією проекту із виробництва електроенергії з метою зменшення залежності

країни від горючих корисних копалин. Проект потужністю у 88 МВт є першим такого роду проектом в країні, який у майбутньому буде забезпечувати мексиканський штат Оахаса електроенергією на 13%. На кінець 2012 року планується довести виробничу потужність проекту до позначки у 3 ГВт. У травні 2010 року мексиканська компанія Sempra Energy повідомила, що вона планує побудувати вітряну ферму потужністю 1 ГВт загальною вартістю 5,5 млрд. доларів [32].

Іншим ринком вітрової енергетики, що швидко розвивається є Бразилія, яка має загальний вітряний потенціал 143 ГВт [33].

У 2010 році Південна Африка почала будівництво енергогенеруючої вітряної станції потужністю у 100 МВт поблизу міста Коенаап. Франція повідомила, що на кінець 2010 року вона планує виробляти близько 12,5 ГВт електроенергії за допомогою вітру.

У період із 2000 по 2006 рік в Канаді відбувся різкий ріст виробництва електроенергії із 137 МВт до 1,460 ГВт. Цей ріст продовжується і тепер та щорічно становить 38% [34]. Особливо швидкий ріст відбувся у 2006 році, коли загальна потужність виробництва електроенергії подвоїлася із 683 МВт на кінець 2005 року. Цей ріст відбувся завдяки встановленим країною цілям, економічним ініціативам та політичній підтримці. До 2025 року, Канада планує досягти потужності із виробництва вітряної електроенергії у 55 ГВт, або 20% енергетичних потреб країни.

Щодо України, то на її території сьогодні працюють такі вітрові станції: Донузлавська потужністю 10 МВт, Сакська – 2,5 МВт, Новоазовська -3,3 МВт та Трускавецька -0,75 МВт.

Найбільш перспективними ділянками для встановлення вітряків із середньою швидкістю вітру 5м/с є побережжя Чорного та Азовського морів, Одеська, Херсонська, Запорізька, Донецька, Луганська, Миколаївська області, а також гірські райони Карпат та Криму.

Побережжя Криму ставить Україну на друге місце після Норвегії серед країн, що мають мілководні території, які придатні для встановлення вітряних ферм потужністю від 1 ГВт до 5 ГВт. Кримський потенціал в цілому здатний щорічно виробляти до 42 ТВт електроенергії.

Характеристика ефективності вітрової енергії в Україні представлена в табл.6.2.

Таблиця 6.2

Середня швидкість вітру по регіонах України [35]

| Зона          | Середня річна швидкість вітру, м/с |
|---------------|------------------------------------|
| Причорномор'я | 5,6                                |
| Степ          | 4,5                                |
| Донбас        | 5,0                                |
| Лісостеп      | 4,0                                |
| Полісся       | 3,0...4,0                          |

У січні, наприклад, максимум можливого часу використання енергії вітру спостерігається в приморській зоні, південному Степу, в Донбасі, гірських районах Криму та Карпат (600 годин на місяць). Найменша вітрова ефективність припадає на середню течію Дніпра та північно-західну частину України (500 годин на місяць). У квітні-липні в Причорномор'ї можливо отримати не менше 550 годин за місяць, стільки ж на Полтавщині. У жовтні інтенсивність циркуляції атмосфери збільшується і енергетична ефективність вітру приблизно дорівнює січневій.

У співвідношенні до середніх швидкостей вітру поширюються й кількість енергії, яку можна отримати за допомогою вітро двигунів. Так, в районі Донбасу і Причорноморської низовини запаси вітрової енергії дорівнюють 2000...2500 кВт·год на 1 м<sup>2</sup> площі, яка обдувається, в Поліссі та на Волино-Подільському плато – 1000...1200 кВт·год.

Питомий потенціал вітрової енергії в Україні представлений у табл.6.3 та рис.6.6.

Таблиця 6.3

Питомий енергетичний потенціал вітрової енергії в Україні [35]

| № Району | Середньорічна швидкість вітру, м/с | Висота, м | Природний потенціал вітру, кВт·год/м <sup>2</sup> рік | Технічно-досяжний потенціал вітру, кВт·год/м <sup>2</sup> рік |
|----------|------------------------------------|-----------|---|---|
| 1        | <4.25                              | 15        | 1120  | 200   |
|          |                                    | 30        | 1510  | 280   |
|          |                                    | 60        | 2030  | 375   |
|          |                                    | 100       | 2530  | 460   |
| 2        | 4,5                                | 15        | 2010  | 390   |
|          |                                    | 30        | 2710  | 520   |
|          |                                    | 60        | 3640  | 700   |
|          |                                    | 100       | 4540  | 850   |
| 3        | 5,0                                | 15        | 2810  | 520   |
|          |                                    | 30        | 3790  | 690   |
|          |                                    | 60        | 5100  | 860   |
|          |                                    | 100       | 6350  | 975   |
| 4        | 5,5                                | 15        | 3200  | 620   |
|          |                                    | 30        | 4320  | 830   |
|          |                                    | 60        | 5810  | 1020  |
|          |                                    | 100       | 7230  | 1150  |

В умовах України за допомогою вітроустановок можливим є використання 15...19% річного об'єму енергії вітру, що проходить крізь переріз поверхні вітроколеса. Очікувані обсяги виробництва електроенергії з 1 м<sup>2</sup> переріз площі вітроколеса в перспективних регіонах складають 800...1000 кВт·год/м<sup>2</sup> за рік.

Застосування вітроустановок для виробництва електроенергії в промислових масштабах найбільш ефективно в регіонах України, де середньорічна швидкість вітру > 5 м/с: на Азово-Чорноморському узбережжі, в Одеській, Херсонській, Запорізькій, Донецькій, Луганській, Миколаївській областях, АР

Крим та в районі Карпат. Представлення питомого енергетичного потенціалу України демонструє рис.6.6.



Рис.6.6. Енергетичний потенціал вітру на території України [35]

Вітроенергетика України має достатній досвід виробництва, проектування, будівництва, експлуатації та обслуговування як вітроенергетичних установок, так і вітроенергетичних станцій; в країні є достатньо високий науково-технічний потенціал і розвинена виробнича база. В останній час розвитку вітроенергетичного сектора сприяє державна підтримка, що забезпечує реалізацію ініціатив із удосконалення законодавства, структури керування, створення вигідних умов для внутрішніх і зовнішніх інвесторів.

Реалізація державних національних програм в галузі вітроенергетики на 2010 рік передбачала загальнорічне виробництво електроенергії на вітроелектростанціях та автономних вітроустановках близько 5,71 млн. МВт·год; що становило 2,5 відсотків від загального річного електроспоживання в Україні.

Крім загальних чи синоптичних закономірностей, багато чого в цих процесах визначається місцевими особливостями, що обумовлені географічними чи екологічними чинниками. Швидкість вітрів збільшується з висотою, а їх горизонтальна складова значно більша за вертикальну. Ця характеристика є основною причиною виникнення різких поривів вітру. Сумарна кінетична енергія вітрів оцінюється величиною порядку  $0,7 \cdot 10^{21}$  Дж.

Графічна демонстрація руху вітру густиною  $\rho$  та швидкістю  $v$ , через штучно створену перешкоду  $A$  представлено на рис.6.7.

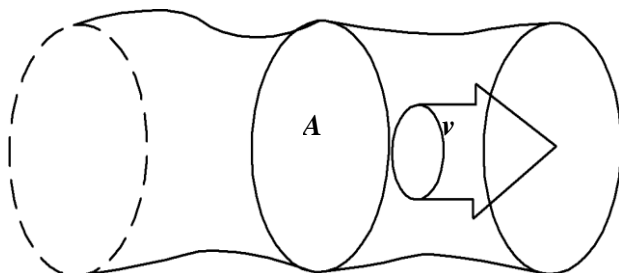


Рис.6.7. Графічна демонстрація руху вітру

Для розрахунку енергії, яку можна отримати із вітру застосовують наступне рівняння:

$$P = \frac{1}{2} m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v \cdot v^2 = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3, \quad (6.1)$$

де  $m$  – маса повітря,  $v$  – швидкість вітру,  $A$  – поверхня, через яку проходить вітер,  $\rho$  - густина вітру ( $1,225 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ).

Однак, при проходженні вітру через турбіну вдається отримати лише частину енергії. Графічну демонстрацію руху вітру до та після перешкоди показує рис.6.8.

Рух вітру на ділянці до перешкоди буде описуватись рівнянням:

$$\frac{1}{2}\rho \cdot v_1^2 + P^- = \frac{1}{2}\rho \cdot v_1^2 + P^+. \quad (6.2)$$

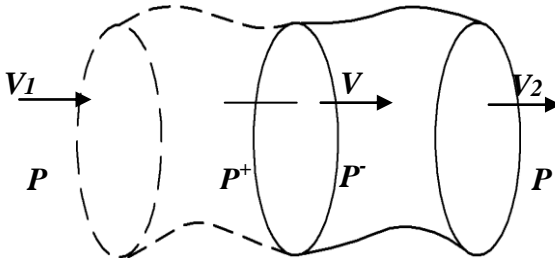


Рис.6.8. Графічне демонстрування руху вітру до та після перешкоди

Рух вітру на ділянці після перешкоди буде описуватись рівнянням:

$$\frac{1}{2}\rho \cdot v_2^2 + P^+ = \frac{1}{2}\rho \cdot v^2 + P^-. \quad (6.3)$$

Рух вітру на всій ділянці матиме вигляд:

$$P^+ - P^- = \frac{1}{2}\rho \cdot (v_1^2 - v_2^2). \quad (6.4)$$

Далі отримуємо:

$$A \cdot (P^+ - P^-) = \frac{1}{2}\rho \cdot A \cdot (v_1^2 - v_2^2); \quad (6.5)$$

$$m \cdot (v_1 - v_2) = \rho \cdot A \cdot (v_1 - v_2); \quad (6.6)$$

$$\frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot (v_1^2 - v_2^2) = \rho \cdot A \cdot v \cdot (v_1 - v_2). \quad (6.7)$$

Отже,

$$v = \frac{1}{2} (v_1 + v_2). \quad (6.8)$$

При русі вітру через перешкоду, вводиться поняття аксіального фактора перешкод  $a$ .

Тоді матимемо:

$$v = v_1 (1 - a). \quad (6.9)$$

$$v_1 (1 - a) = \frac{1}{2} (v_1 + v_2). \quad (6.10)$$

Звідси

$$v_2 = v \cdot (1 - 2a). \quad (6.11)$$

Тепер знаходимо енергію, яку можна отримати із вітру.

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v (v_1^2 - v_2^2); \quad (6.12)$$

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v_1 \cdot (1 - a) \cdot [v_1^2 - v_1^2 (1 - 2 \cdot a)^2]; \quad (6.13)$$

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v_1^3 \cdot (1 - a) [1 - 1 + 4a - 4a^2]; \quad (6.14)$$

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v_1^3 \cdot [4a - 8a^2 + 4a^3]. \quad (6.15)$$

Продиференціюємо силу  $P$ , тоді отримаємо:



$$\frac{dP}{dA} = 3a^2 - 4a + 1 = 0. \quad (6.16)$$

Максимум отримуємо тільки при  $a = \frac{1}{3}$ . Підставляємо  $a = \frac{1}{3}$  у (6.15):

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v_1^3 \cdot \left[ \frac{4}{3} - 8 \frac{1}{9} + \frac{4}{27} \right]; \quad (6.17)$$

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v_1^3 \cdot \frac{16}{27}. \quad (6.18)$$

Отже, вітрове колесо, розміщене у вільному потоці повітря, може в кращому випадку теоретично перетворити в потужність на його валу  $16/27=0,59$  (закон Беца) потужності потоку повітря, що проходить через площу перетину, яке захоплюється вітровим колесом. Цей коефіцієнт можна назвати теоретичним КПД ідеального вітрового колеса.

Сила, з якою вітер діє на перешкоду, розраховується за формулою:

$$F = \rho \cdot A \cdot v^2 \cdot C_f, \quad (6.19)$$

де  $v$  – швидкість вітру до перешкоди,  $A$  – поверхня, через яку проходить вітер,  $C_f$  – коефіцієнт сили.

Якщо перешкода обертається із деякою швидкістю  $u$ , тоді отримаємо наступне рівняння:

$$F = C_f \cdot \rho \cdot A \cdot (v - u)^2. \quad (6.20)$$

Тоді,

$$P = C_f \cdot \rho \cdot A \cdot (v - u)^2 \cdot u. \quad (6.21)$$

Продиференціюємо попереднє рівняння:

$$\frac{dP}{dU} = C_f \cdot \rho \cdot A \cdot (v^2 - 4vu + 3u). \quad (6.22)$$

Отже, енергія вітру, яка втрачається на самій перешкоді має наступний вигляд:

$$P = \frac{1}{2} C_f \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot \frac{8}{27}. \quad (6.23)$$

Слід відмітити і те, що лопать вітряної турбіни повинна відповідати ряду критеріїв, що дозволить виробляти необхідну кількість електроенергії. Розподіл сил на поверхні лопаті представлений на рис.6.9.

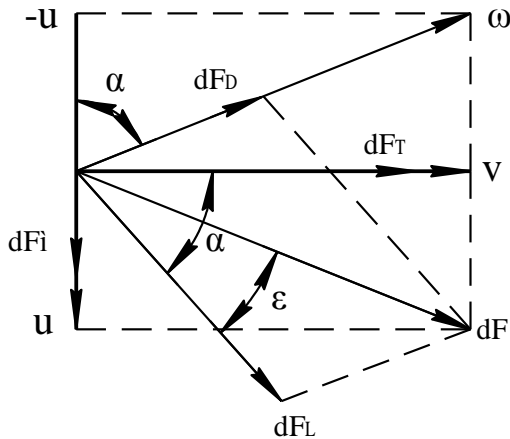


Рис.6.9. Графічне зображення сил при контакті лопаті з вітром

Тоді,

$$dF_L = \frac{1}{2} \rho \cdot dA_b \cdot \omega^2 \cdot c_L; \quad (6.24)$$

$$dF_D = \frac{1}{2} \rho \cdot dA_b \cdot \omega^2 \cdot c_D, \quad (6.25)$$

де  $\rho$  - густина вітру;  $dA_b$  – площа елементарної ділянки на поверхні лопаті;  $\omega$  – відносний вітер;  $C_L$ ,  $C_D$  – експериментальні коефіцієнти.

Спроектвавши дані сили на відповідні осі отримаємо:

$$dF_T = dF_L \cdot \cos \alpha + dF_D \cdot \sin \alpha ; \quad (6.26)$$

$$dF_M = dF_L \cdot \sin \alpha - dF_D \cdot \cos \alpha . \quad (6.27)$$

Момент сил відносно ротора матиме вигляд:

$$dM = r \cdot dF_M , \quad (6.28)$$

де  $r$  – відстань від валу до елементарної ділянки на поверхні лопаті.

Сила, яку отримує лопать від вітру, розраховується за формулою:

$$dP = \omega \cdot dM . \quad (6.29)$$

Аеродинамічний коефіцієнт лопаті, розраховується за формулою:

$$\eta_a = \frac{\vec{u} \cdot d\vec{F}}{\vec{v} \cdot d\vec{F}} = \frac{u \cdot dF_M}{v \cdot dF_T} = \frac{u[dF_L \cdot \sin \alpha - dF_D \cdot \cos \alpha]}{v[dF_L \cdot \cos \alpha + dF_D \cdot \sin \alpha]} . \quad (6.30)$$

Поділивши чисельник і знаменник на  $dF_L \cdot \sin \alpha$  , отримаємо:

$$\eta_a = \frac{u[1 - \frac{dF_D}{dF_L} \cdot \text{ctg } \alpha]}{v[\text{ctg } \alpha + \frac{dF_D}{dF_T}]} \quad (6.31)$$

Ввівши заміну  $\text{tg } \varepsilon = \frac{dF_D}{dF_L} = \frac{C_D}{C_L}$  та  $\frac{u}{v} = \text{ctg } \alpha$  отримаємо:

$$\eta_a = \text{ctg } \alpha \frac{1 - \text{tg } \varepsilon \cdot \text{ctg } \alpha}{\text{ctg } \alpha + \text{tg } \varepsilon} = \frac{1 - \text{tg } \varepsilon \cdot \text{ctg } \alpha}{1 + \text{tg } \varepsilon \cdot \text{tg } \alpha} \quad (6.32)$$

Для розрахунку потужності, яку буде виробляти вітрова турбіна користуються наступною формулою:

$$\begin{aligned} P &= P_0 \cdot C_p \cdot \eta_m \cdot \eta_e = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot \eta_m \cdot \eta_e = \\ &= \frac{1}{8} \cdot \rho \cdot \pi \cdot D^2 \cdot v^3 \cdot C_p \cdot \eta_m \cdot \eta_e, \end{aligned} \quad (6.33)$$

де  $C_p$  – коефіцієнт сили;  $\eta_m$  - механічна ефективність (0,9);  $\eta_e$  - електрична ефективність (0,95).

При встановленні вітрових турбін найважливішу роль відіграє вибір місця з максимально можливою силою вітру. Реєстрацією та розповсюдженням метеозведень займаються метеослужби, які є у всіх країнах. Робота національних метеослужб координується у Женеві всесвітньою метеорологічною організацією.

Швидкість вітру класифікується за шкалою Бофорта та визначається середнім показником за 10-хвилинний проміжок часу показів анемометра, що знаходиться на висоті 10 м.

На сьогоднішній день існує три поширених типи анемометрів. При швидкості вітру більшій за 10 м/с найчастіше засто-

совують чашковий анемометр Робінсона (рис.6.10). Як правило, даний анемометр працює із використанням електричного струму. У випадку, якщо немає можливості встановлення електричного анемометра, застосовують механічний. Принципова схема такого анемометра представлена на рис.6.11.

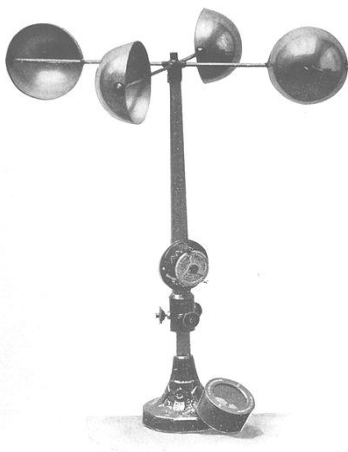


Рис.6.10. Чашковий анемометр Робінсона

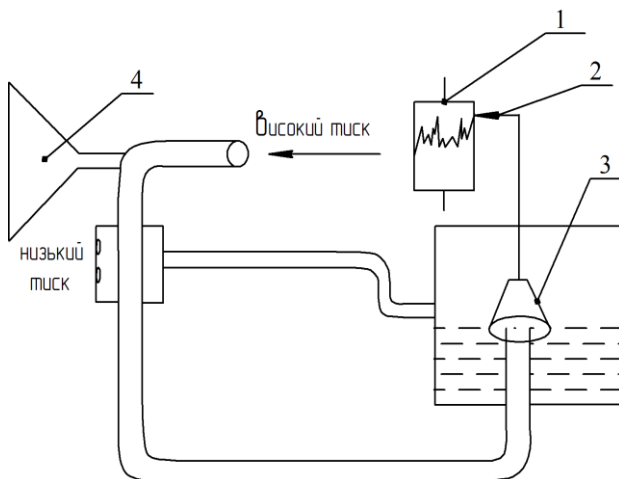


Рис.6.11. Принципова схема механічного анемометра:  
 1 – механічна котушка з намотаним папером; 2 – рекордер;  
 3 – поплавок; 4 – хвіст

Покази сили вітру фіксуються на папері за допомогою самописця, який прикріплений до поплавка.

Низьку швидкість вітру фіксують за допомогою дрютяного термоелектричного анемометра (рис.6.12).

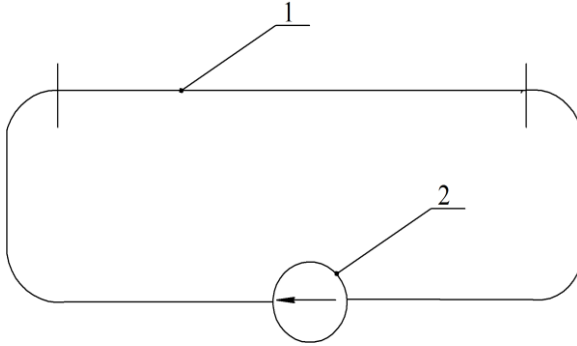


Рис.6.12. Принципова схема дрютяного анемометра:  
1 – дріт; 2 – реостат

Принцип дії даного анемометра базується на вимірюванні сили опору в замкнутому електричному колі. Підвищена температура розігрітого дроту здатна зменшуватись внаслідок дії на неї вітру.

Враховуючи отримані дані за допомогою анемометрів, середня швидкість вітру, розраховується за формулою:

$$\bar{v} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} v dt}{t_2 - t_1} = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n}, \quad (6.34)$$

де  $t_1$  – початок вимірювання швидкості вітру;  $t_2$  – кінець вимірювання швидкості вітру;  $n$  – кількість пунктів вимірювань.

За допомогою анемометрів отримують дані, які представлені на рис.6.13. На їх основі визначають тривалість дії вітру різної сили. Так наприклад, крива розподілу швидкості вітру матиме наступний вигляд (рис.6.14). Точка А відповідатиме

вітру, який найчастіше дме у даній місцевості, а точка Б відповідатиме середній швидкості вітру.

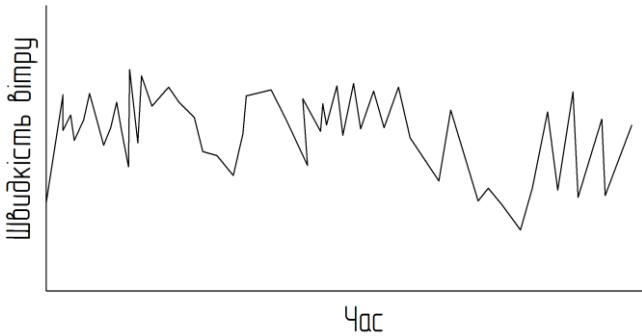


Рис.6.13. Графік швидкості вітру в часі

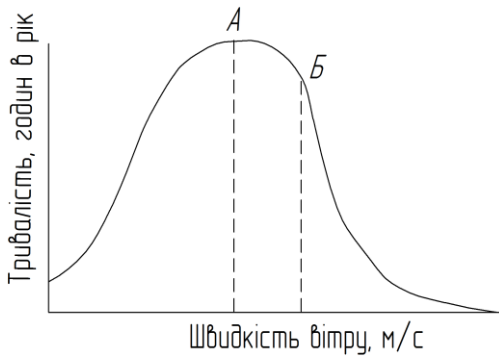


Рис.6.14. Крива розподілу швидкості вітру

Крива, що зображена на рис.6.14 буде різною для різних територій.

Підбір вітрогенератора для конкретної території також є одним із основних завдань вітрової енергетики. Загальну характеристику роботи вітрогенератора демонструє рис.6.15. У точці А вітрогенератор починає обертатись та виробляти електроенергію. При зміні швидкості вітру із  $v_1$  до  $v_2$  та досягненні точки Б, вітряна турбіна перестає збільшувати свою потужність, а при подальшому збільшенні швидкості вітру до  $v_3$  у точці С вона взагалі починає зменшувати потужність.

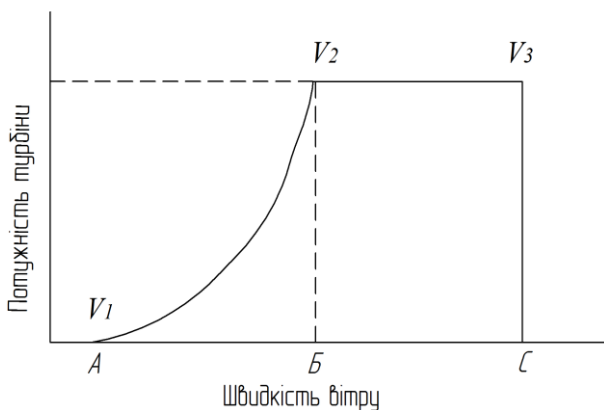


Рис.6.15. Характеристика вітрогенератора

В цілому, кількість електроенергії, яка генерується із даної ділянки за рік демонструється на рис.6.16. Даний графік будується на основі рис.6.15.

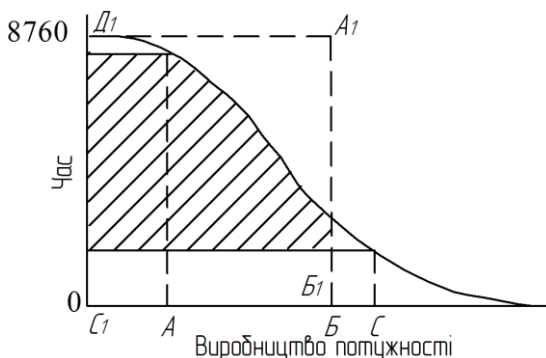


Рис.6.16. Характеристика місцевості, де встановлено вітрогенератор

Заштрихована область показує, яка кількість електроенергії отримується на даній ділянці за рік порівняно із максимальною можливою (прямокутник  $A_1B_1C_1D_1$ ). Слід відмітити і те, що точки А, Б і С на рис.6.15 і 6.16 будуть різними для різних турбін і місцевостей.

Для того, щоб визначити на скільки продуктивною є турбіна, вводиться поняття коефіцієнта продуктивності  $k_p$ :



$$k_n = \frac{P_p}{P_n \cdot t}, \quad (6.35)$$

де  $P_p$  – річне виробництво електроенергії вітрогенератором;  $P_n$  – розрахункова потужність;  $t$  – час роботи.

Враховуючи, що середня потужність вітрогенератора має вигляд:

$$P_{cp} = \int_0^{\infty} P(v) \cdot f(v) dv, \quad (6.36)$$

де,

$$P(v) = \begin{cases} \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot C_p \cdot v^3 & \text{для } v_1 < v < v_2 \\ \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot C_p \cdot v_2^3 & \text{для } v_2 < v < v_3. \end{cases} \quad (6.37)$$

Тоді  $k_n$  матиме вигляд:

$$k_n = \frac{1}{v_2^3} \int_{v_1}^{v_2} v^3 \cdot f(v) dv + \int_{v_2}^{v_3} f(v) dv. \quad (6.38)$$

При встановленні турбін на певній місцевості дуже часто користуються функцією Релея, яка дає можливість розрахувати час, протягом якого дме вітер, знаючи його швидкість.

$$t = 8760 \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \frac{v}{v^2} \cdot \exp\left(\frac{-\pi \cdot v^2}{4 \cdot v^2}\right), \quad (6.39)$$

де 8760 – тривалість року в годинах;  $v$  - середня швидкість вітру;  $v$  – швидкість вітру.

Швидкість вітру, яка найбільш притаманна даній місцевості, розраховується за наступною формулою:

$$V_r = 0,8 \cdot \bar{V}. \quad (6.40)$$

Швидкість вітру максимальної потужності розраховується за формулою:

$$V_p = 1,6 \cdot \bar{V}. \quad (6.41)$$

На відміну від функції Релея, яка враховує тільки чинник руху вітру, функція Вейбула враховує ще і чинник форми вітру.

$$f(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \cdot \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right], \quad (6.42)$$

де  $c$  –чинник руху вітру (вгору-вниз);  $k$  –чинник форми (1,8...2,3).

При  $k=2$  функція Вейбула буде дорівнювати функції Релея.

При встановленні вітряних турбін суттєва увага приділяється швидкості та потужності вітру з одиниці площі території.

Так, швидкість вітру, що отримується з певної площі розраховується за формулою:

$$V_n = \left(\frac{1}{8760} \cdot \int_0^{\infty} f(v) \cdot v^3 dv\right)^{\frac{1}{3}}. \quad (6.43)$$

Потужність із певної площі матиме вигляд:

$$P_n = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V_n^3 \cdot C_3 \approx \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot A \cdot V_n^3. \quad (6.44)$$

Напрямок вітру визначається стороною горизонту, звідки дме вітер. Метеодані про напрямок вітру подаються у вигляді рози вітрів, що показує середню швидкість вітру в різних напрямках. Інформація про напрям вітру дуже важлива, коли вітрогенератори розташовують в гірській місцевості, поблизу будівель чи інших вітрогенераторів, а саме в тих випадках, коли можливе їх перекриття при деяких напрямках вітру.

Енергія вітрового потоку залежить від швидкості вітру і густини повітря, що визначається фізичним станом і складом повітря – температурою, тиском, вмістом у ньому вологи. Для кожного вітродвигуна є свої межі робочих швидкостей вітру: а – слабкий вітер, лопаті не обертаються; б – робоча швидкість вітру, при досягненні верхньої межі якої, двигун може вийти із ладу; в – дуже сильний вітер, двигун вимикають. Склавши карти розподілу ефективних швидкостей вітру, можна визначити, в яких районах найбільш вигідно встановлювати вітродвигуни того чи іншого виду.

Основні моделі вітрових турбін та потужності з якими вони здатні працювати представлені на рис.6.17.

Однак, збільшення використання енергії вітру пов'язане не тільки із позитивними емоціями, але й породжує навколо цієї теми багато різноманітних міфів і легенд. Спробуємо розібратися, що із цього всього правда, а що тільки вимисел.

Перше, і, напевно, саме основне побоювання людей – це шум, який роблять вітрові турбіни. Шум визначається як будь-який різкий, голосний і просто небажаний звук. Але навіть, коли вироблений шум знаходиться в межах допустимих норм, завжди знайдуться люди, які є більш чутливими до шуму. Це пояснюється тим, що різний шум діє на нас по-різному. Наприклад, є люди, які із задоволенням можуть слухати шум хвиль на морському березі, а інших злить радіо із сусіднього вікна. І це навіть при тому, що фактичний рівень шуму від прибою може бути набагато більшим, ніж від радіо. Між цими двома видами шумів існує ще одна відмінність. Морські хвилі випускають випадковий “білий” шум, у той час радіо сусіда

має деякий систематичний характер, який ваш мозок не може ігнорувати, розрізнити й аналізувати. А якщо Вам ще й сусід не подобається, то шум буде дратувати Вас ще більше. Приблизно така ж ситуація й з вітровими турбінами. Цей вид шуму називають небажаним звуком.

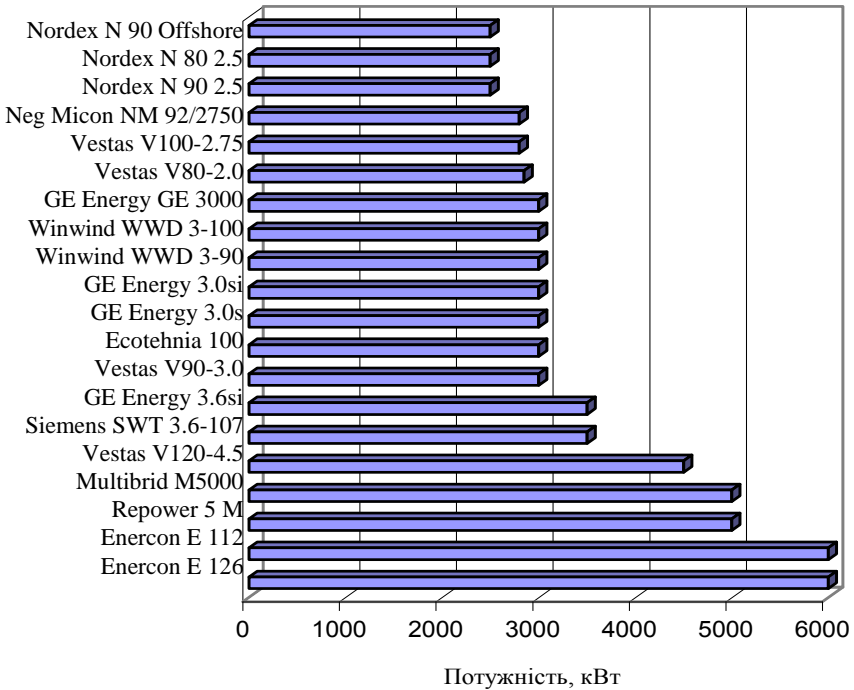


Рис.6.17. Сучасні моделі вітрових турбін [29]

Сучасні вітрові турбіни проектують таким чином, щоб максимально зменшити шум від механічних компонентів вітрової турбіни. У такий спосіб практично весь чутний шум – це шум вітру, взаємодіючого з обертовим лезом турбіни. На відстані 300 метрів від вітрової ферми шуму стільки ж, скільки від холодильника на кухні. Сучасні вітрові турбіни тихіші, як і більшість сучасного устаткування із виробництва електроенергії. І навіть у тих областях, де густина населення низька й шуму від людської діяльності практично не існує, шуму від по-

дувів самого вітру набагато більше, ніж від обертання вітрової турбіни. Виключенням можуть бути лише турбіни, створені раніше 80-х років та ті, що розташовані на горбкуватій місцевості. Шум, створений вітровими установками на горбкуватій місцевості, може бути посилений за рахунок різких або більших перепадів висот на горах. І саме тип ландшафту відіграє в цьому випадку головну роль.

Друга проблема, яка може впливати на здоров'я людини, це мерехтлива тінь. Вітрові турбіни, як і інші високі будівлі, створюють тінь. Якщо Ви живете поруч із такою турбіною, то для Вас може бути дратівливою мерехтлива тінь, яка з'являється при обертанні ротора (леза турбіни). Ротор, ніби розриває рівне сонячне світло, створюючи ефекти мерехтіння. І навіть якщо в США тіньові спалахи не були визнані проблемою, то в Європі над цим небажаним ефектом уже працюють фахівці. У Великобританії тільки в одному випадку мерехтіння було визнано проблемним для жителів прилеглих будинків. Ця проблема цілком розв'язувана. На відстані, що дорівнює сумі 7...10 діаметрів ротора (це 300...800 метрів), люди не підпадають під вплив тіньових спалахів. Отже, варто тільки відступити від будинків на цю відстань й проблема буде вирішена. Друге рішення – це встановлення турбін за будинками.

Людину завжди лякає невідомість. Така ж ситуація склалася і з інфразвуком, який нібито випускають вітряні турбіни й це негативно впливає на здоров'я людини. Інфразвук оточує нас постійно. Це відбувається внаслідок автомобільного руху, руху літаків та поїздів. І навіть у будинках є джерела таких звуків – це наша побутова техніка. Інфразвук також виникає під час грози, землетрусів, ураганів. Інфразвук, це звук на низьких частотах, він не вловлюється людськими органами слуху, але певні низькі частоти можуть викликати в людей загострену тривогу і навіть психічні розлади. Вчені у всьому світі категорично відкидають твердження про те, що вітрові установки є шкідливими, а постійні тести та експерименти на вітрових фермах (рис.6.18) тільки підтверджують їх слова.



Рис.6.18. Вітряна ферма, штат Пенсильванія, США.  
Фото Сергія Бобляха

Дуже часто у будинках, які знаходяться поблизу вітрових турбін існує проблема і з погіршенням прийняття радіо і телевізійних сигналів. Така проблема актуальна в тому випадку, якщо турбіна стоїть на шляху проходження цього сигналу. Але навіть у цьому випадку вона вирішується шляхом встановлення додаткових ретрансляторів в обхід вітрових ферм.

Багато людей вважає, що вітрові станції мають жахливий вигляд та псують ландшафт тільки однією своєю присутністю. Про смаки, звичайно, не сперечаються, але численні фотографії вітрових станцій доводять, що турбіни можуть гармонійно вписуватись у пейзаж. Завдяки зусиллям промислових дизайнерів сучасні турбіни елегантні й естетичні.

Міфом є й те, що встановлення вітряків негативно впливають на туристичний бізнес. Скоріше навпаки, у Шотландії 80% опитаних потенційних туристів виявили бажання відвідати вітрову ферму у якості додаткового екскурсійного туру. До розряду міфів можна віднести й чутку про те, що на виробництво, установку і обслуговування вітряка витрачається більше енергії, ніж він виробляє. Фактично, при нормальній роботі всю витрачену на перераховані вище завдання енергію вітряк

повертає за 2...5 місяці при терміні служби вітряка як мінімум 20 років.

Також багато людей схиляється до думки, що вітряні електростанції істотно зменшують вартість сусідньої нерухомості. На вартість нерухомості впливають багато чинників, і наявність вітрової станції поблизу не є вирішальним чинником у цьому питанні. До того ж у майбутньому, при дефіциті традиційних джерел енергії, таке сусідство може тільки підвищити ціну маєтку чи землі.

Також вимислом є можливість того, що обертове колесо спаде з турбіни й звалиться вниз. Надійність і безпека вітряків дійшла до того, що їх безбоязно встановлюють навіть поруч із дитячими установами, не говорячи вже про встановлення в густонаселених районах. Руйнування вітряків з таких причин було лише на початку їх використання. Стандарти побудови вітряків у наш час гарантують високий рівень безпеки й надійності навіть при різних природних катаклізмах.

До розряду міфів можна віднести і те, що нібито турбіни вбивають безліч птахів. Згідно статистики датських вчених, на 10000 смертей птахів менше однієї припадає на вітрову енергетику. В основному передчасна смерть птахів відбувається через високовольні проводи, вікна будинків, високошвидкісний рух на дорогах і навіть через домашніх котів, які із цих десяти тисяч ловлять приблизно одну тисячу (рис.6.19).

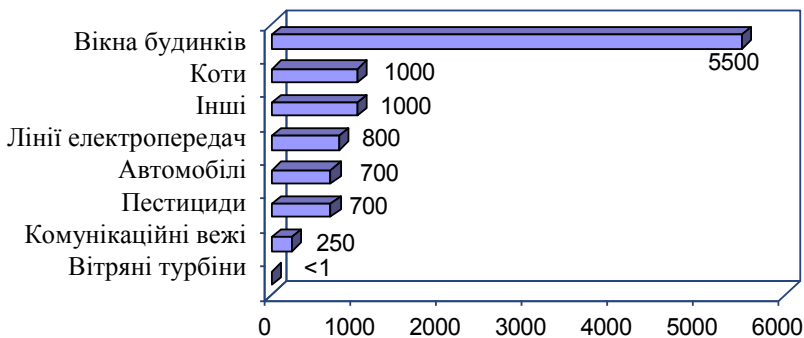


Рис.6.19. Кількість смертей птахів [29]

Останнім доказом противників вітрової електроенергії є її висока вартість. Зараз середня вартість одного кіловата виробленої вітрогенератором електроенергії становить 5...7,5 центів. Так, для України може це поки що дорого, особливо враховуючи вартість самої установки. Але враховуючи той факт, що процес виробництва вітрової енергії не вимагає палива та немає жодних витрат на закупівлю і доставку сировини, цілком логічно припустити, що через декілька років цей вид виробництва електроенергії стане рентабельним.

Крім того, вартість вітрової енергії з кожним роком зменшується завдяки появі нових технологій (рис.6.20) [1].

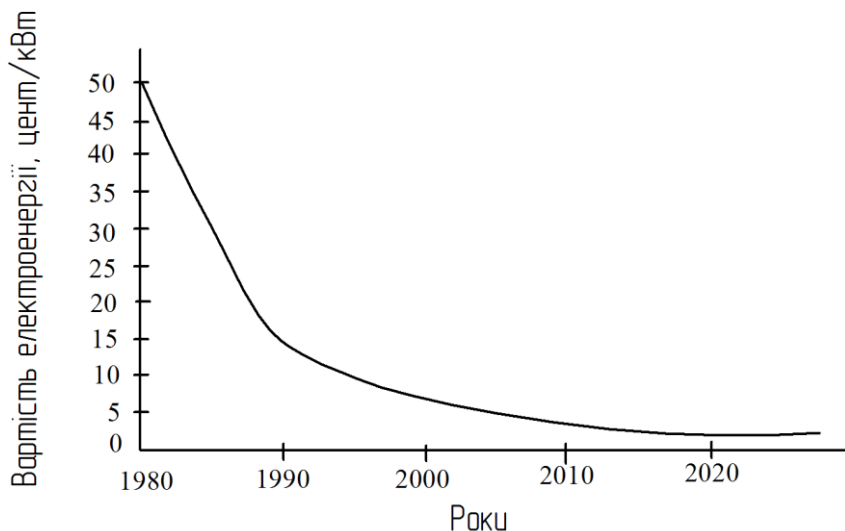


Рис.6.20. Вартість електроенергії, що виробляється вітровими турбінами

Крім того у вартість виробництва електроенергії за допомогою атомних чи вугільних електростанцій у майбутньому буде включатись і вартість яка необхідна на зберігання постійно збільшуючої кількості небезпечних для життя людини відходів. Отож, сьогодні ми повинні добре замислюватись куди ми інвестуємо наші гроші, у цілий ряд проблем для наших нащадків чи у безвідходні технології.



## РОЗДІЛ 7 ЕНЕРГІЯ СОНЦЯ

Сонячна енергія — енергія від Сонця, яка потрапляє на Землю у формі радіації та світла. Ця енергія значною мірою керує кліматом та погодою і є невід’ємною основою життя.

На верхні шари атмосфери Землі постійно поступає 174 ПВт сонячної радіації (інсоляції). Близько 6% інсоляції відбивається атмосферою, а поглинається 16%. Середні шари атмосфери, залежно від погодних умов (хмари, пил, атмосферне забруднення) відбивають до 20% та поглинають 3% інсоляції.

Атмосфера не тільки зменшує кількість сонячної енергії, що досягає поверхні Землі, але і дифузує близько 20% з того, що поступає, та фільтрує частину його спектру. Після проходження атмосфери близько половини інсоляції знаходиться у видимій частині спектру. Друга половина знаходиться переважно в інфрачервоній частині спектру. Тільки незначна частина цієї інсоляції є ультрафіолетовим випромінюванням.

Абсорбція сонячної енергії через атмосферну конвекцію, випаровування і конденсацію водяної пари є рушійною силою кругообігу води та керує вітрами. Сонячне проміння абсорбоване океаном та суходолом підтримує середню температуру на поверхні Землі, що на даний момент становить 14 °С [36]. Завдяки фотосинтезу рослин сонячна енергія здатна перетворюватись в хімічну.

Сонячна енергія є джерелом енергії вітру, води, тепла морів, біомаси, а також причиною утворення протягом тисячоліть торфу, бурого і кам’яного вугілля, нафти і природного газу. Енергія Сонця може бути використана і безпосередньо, як джерело електроенергії і тепла.

Потік сонячного випромінювання, що проходить через площу 1 м<sup>2</sup>, розташовану перпендикулярно до потоку випромінювання на відстані однієї астрономічної одиниці (149,6

млн.км) від центру Сонця (тобто зовні атмосфери) Землі, рівний  $1367 \text{ Вт/м}^2$  (сонячна стала).

Через поглинання атмосферою Землі, максимальний потік сонячного випромінювання на рівні моря становить  $1020 \text{ Вт/м}^2$ . Середньодобове значення потоку сонячного випромінювання, як мінімум, в три рази менше (через зміни дня і ночі та зміни кута падіння сонячних променів). Взимку в помірних широтах це значення в два рази менше. Ця кількість енергії з одиниці площі визначає можливості сонячної енергетики. Карта поширення сонячної енергії на поверхні Землі представлена на рис.7.1.

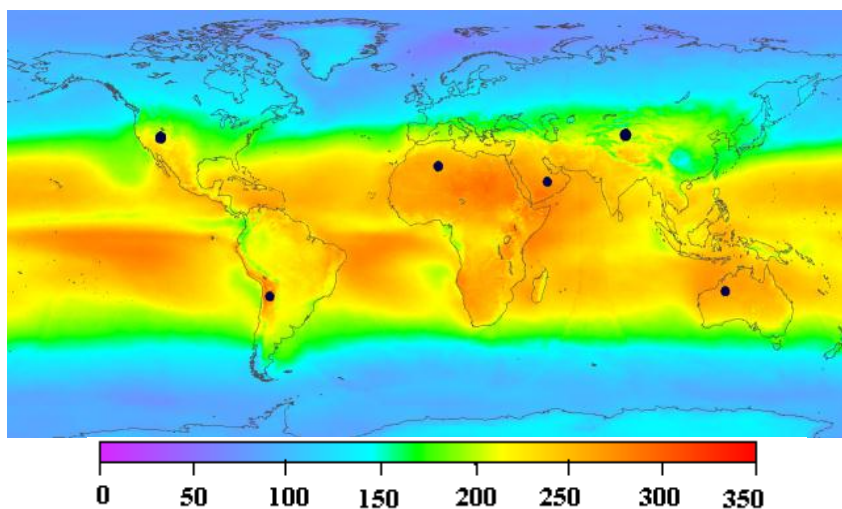


Рис.7.1. Карта сонячного випромінювання

Загальна сонячна енергія, яку отримує Земна атмосфера, океани та рослини становить приблизно 385000 ЕДж за рік. Дослідження, які проводили науковці у 2002 році показали, що за одну годину Земля отримує набагато більше сонячної енергії ніж ми використовуємо у всьому світі за рік [37-38]. Завдяки фотосинтезу, приблизно 3000 ЕДж сонячної енергії отримується біомасою [39]. Об'єм сонячної енергії, який дося-

гає поверхні Землі за один рік є настільки великим, що він майже вдвічі перевищує енергію, яку б людство отримало із вугілля, нафти, природного газу та урану [40].

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

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

Достатньо високий рівень готового до серійного виробництва та широкий діапазон можливого застосування в Україні обладнання сонячної теплової енергетики показує, що для масштабного впровадження і отримання значної економії паливно-енергетичних ресурсів необхідно лише підвищення зацікавленості виробників до випуску великих партій такого обладнання.

Перетворення сонячної енергії в електричну енергію 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 повністю забезпечити не тільки потреби вітчизняного споживача, але й представляти для експортних поставок більше двох третин виробленої продукції.

Сумарний річний потенціал сонячної енергії на території України представлений у табл.7.1 та на рис.7.2.

Таблиця 7.1

Сумарний річний потенціал сонячної енергії  
на території України [35]

| Область           | Потенціал сонячної енергії,<br>МВт·год/рік |                                      |   |
|-------------------|--|--------------------------------------|---|
|                   | Загальний<br>потенціал<br>( $10^9$ )       | Технічний<br>потенціал<br>( $10^7$ ) | Доцільно-<br>економічний<br>потенціал<br>( $10^5$ ) |
| Вінницька         | 30,8                                       | 14,8                                 | 2,3   |
| Волинська         | 21,8                                       | 10,5                                 | 1,6   |
| Дніпропетровська  | 37,6                                       | 18                                   | 2,8   |
| Донецька          | 33   | 15,8                                 | 2,5   |
| Житомирська       | 32,3                                       | 15,5                                 | 2,4   |
| Закарпатська      | 15,5                                       | 7,5                                  | 1,2   |
| Запорізька        | 34,8                                       | 16,7                                 | 2,6   |
| Івано-Франківська | 16,4                                       | 7,9                                  | 1,2   |
| Київська          | 31,5                                       | 15,5                                 | 2,4   |
| Кіровоградська    | 28,8                                       | 13,8                                 | 2,2   |
| Луганська         | 34   | 16,3                                 | 2,5   |
| Львівська         | 25,4                                       | 12,2                                 | 1,9   |
| Миколаївська      | 32,5                                       | 15,6                                 | 2,4   |
| Одеська           | 45,4                                       | 21,8                                 | 3,4   |
| Полтавська        | 31,9                                       | 15,3                                 | 2,4   |
| Рівненська        | 21,8                                       | 10,5                                 | 1,6   |
| Сумська           | 26   | 12,5                                 | 2,0   |
| Тернопільська     | 16,3                                       | 7,8                                  | 1,2   |
| Харківська        | 35,4                                       | 17                                   | 2,7   |
| Херсонська        | 38,4                                       | 18,4                                 | 2,9   |
| Хмельницька       | 24,3                                       | 11,6                                 | 1,8   |
| Черкаська         | 24,2                                       | 11,6                                 | 1,8   |
| Чернівецька       | 9,6  | 4,6                                  | 0,7   |
| Чернігівська      | 34,2                                       | 16,4                                 | 2,6   |
| АР Крим           | 36,5                                       | 17,5                                 | 2,7   |
| <b>Всього</b>     | <b>718,4</b>                               | <b>345</b>                           | <b>53,8</b>   |

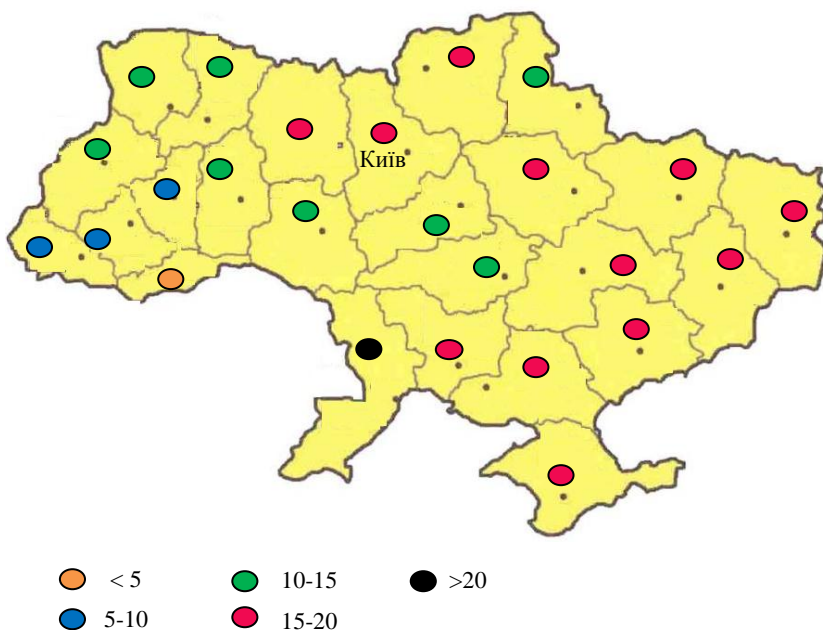


Рис.7.2.Технічний потенціал сонячної енергії на території України, МВт·год/рік

В наш час найчастіше застосовують два способи отримання електроенергії і тепла із сонячного випромінювання.

1) Геліотермальна енергетика — нагрівання поверхні, що поглинає сонячні промені із подальшим розподілом і використанням тепла.

2) Отримання електроенергії за допомогою фотоелементів.

Термальна енергія сонця широко використовується як для нагрівання води, так і для виробництва електроенергії. Сонячні колектори виготовляються з доступних матеріалів: сталь, мідь, алюміній, тобто без застосування дефіцитного і дорогого кремнію. Це дозволяє значно скоротити вартість устаткування і отриманої на ньому енергії.

Сонячні теплові колектори поділяються на низько-, середньо-, і високотемпературні колектори. Низькотемпературні колектори є плоскими плитами і звичайно використовуються

для підігріву плавальних басейнів. Середньотемпературні колектори також, як правило, плоскі плити, але використовуються для підігріву води для житлового та комерційного використання. Високотемпературні колектори концентрують сонячні промені за допомогою дзеркал і лінз і, як правило, використовуються для виробництва електроенергії.

Найпростіша схема термального колектора представлена на рис.7.3. Даний колектор складається з нижньої мідної абсорбуючої плити (бажано покрити темним кольором) та скляної поверхні. Колектор має бути повністю герметичним, з метою запобігання втрат теплової енергії. Інфрачервоні промені проникаючи всередину такого колектора створюють парниковий ефект та сприяють нагріву абсорбуючої плити та поздовжніх мідних трубок. На вході у колектор вода має температуру  $25^{\circ}\text{C}$ , а пройшовши через нагріті мідні трубки вода досягає температури  $60\text{...}80^{\circ}\text{C}$ .

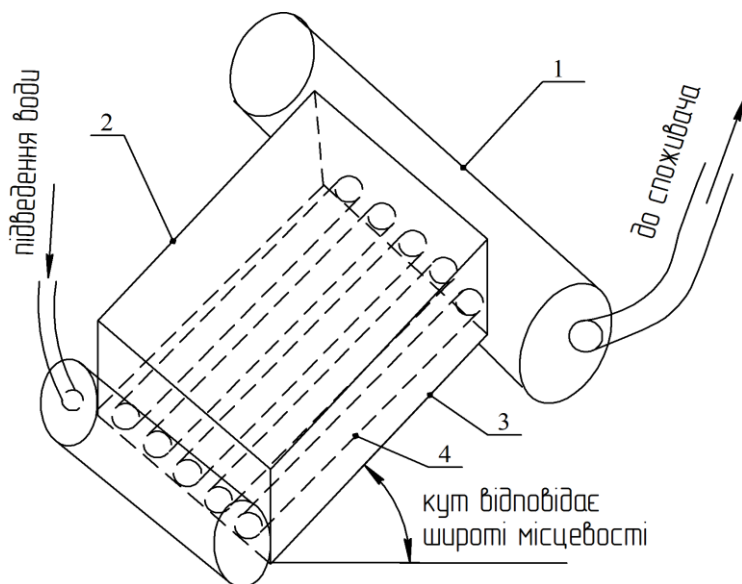


Рис.7.3. Схема термального колектора:

- 1 – резервуар для збору нагрітої води; 2 – скляна поверхня;  
3 – нижня абсорбуюча плита; 4 – мідні трубки

Приклад застосування такого колектора представлений на рис.7.4.

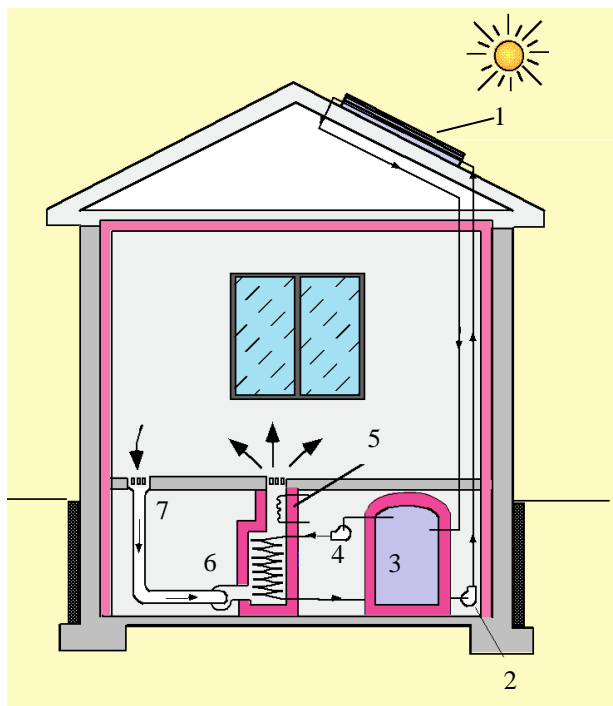


Рис.7.4. Приклад застосування термального колектора:  
1 - термальний колектор; 2 - насос; 3 – водний контейнер; 4 – насос;  
5 – електронагрівач; 6 – фен; 7 - теплообмінник

Аналогічно працює і колектор, який зображений на рис.7.5.

Робочим агентом термального колектора не обов'язково повинна бути вода. Так для сушки овочів можна застосовувати нагріте в колекторі повітря.

Вище зображені колектори працюють і за хмарної погоди, через те, що інфрачервоні промені здатні проникати через хмари.

Термальні сонячні колектори розташовують у місцях із гарним рівнем освітлення протягом дня, найчастіше на даху будівлі у географічних широтах нижче 40 градусу.

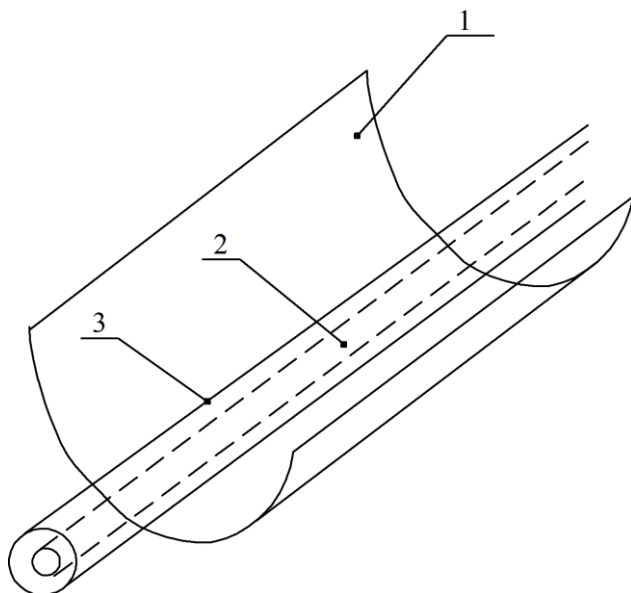


Рис.7.5. Схема термального параболического коллектора:  
1 – абсорбуюча плита; 2 – мідна трубка; 3 – скляна трубка

На початок 2007 року загальна потужність сонячних термальних колекторів становила 154 ГВт [41]. Лідером виробництва залишається Китай із встановленою потужністю 70 ГВт на 2006 рік та перспективою у 210 ГВт до 2020 року. Лідерами використання сонячних термальних систем на душу населення є Ізраїль та Кіпр [42].

Сонячні колектори можуть застосовуватись і для приготування їжі (рис.7.6). Температура в фокусі колектора досягає 150°C. У країнах, що розвиваються, для приготування їжі активно використовуються дрова. Слід відмітити і те, що традиційні вогнища для приготування їжі мають термічну ефективність біля 10%, а використання дров приводить до масованої вирубки лісів. Тому, такі кухонні прилади можуть широко застосовуватися в країнах, що розвиваються. Вартість матеріалів необхідних для виробництва "сонячної кухні" становить \$3...\$7.



Існують різні міжнародні програми розповсюдження сонячних кухонь. Наприклад, в 2008 р. Фінляндія і Китай уклали угоду про постачання 19000 сонячних кухонь в 31 село Китаю. Це дозволить скоротити викиди CO<sub>2</sub> на 1,7 млн. тон в 2008-2012 рр. У майбутньому Фінляндія планує купувати квоти на ці викиди.



Рис.7.6. Сонячна кухня

Сонячні ставки - ще більш дешевий спосіб уловлювати сонячну енергію. Штучна водойма частково заповнюється розсолон (дуже солоною водою), поверх якого знаходиться прісна вода (рис.7.7). 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 поглинаються розсолон, перетворюючись при цьому в тепло. Верхній шар діє як ізоляція, не дозволяючи нижньому остигати [43].

Іншими словами, у сонячних ставках використовується той же принцип, що й у парниках, тільки земля і скло замінені ві-

дповідно розсолоні і прісною водою. Гарячий розчин солі може циркулювати по трубах, опалюючи приміщення, чи використовуватися для вироблення електроенергії; ним нагрівають рідини з низькою точкою кипіння, що випаровуючись, надають руху турбогенераторам низького тиску. Оскільки сонячний ставок являє собою високоефективний тепловий акумулятор, з його допомогою можна одержувати енергію безупинно.



Рис.7.7. Сонячний ставок в Ель Пасо, Техас, США

Отримувати енергію можна і за допомогою сонячних веж. При цьому геліостати на полі збирають сонячне світло і направляють його на вершину високої вежі, де яскравий сонячний зайчик перетворює воду на пару. Далі пара передається по трубах і в кінцевому випадку обертає турбіни, які з'єднані з електрогенераторами.

Перша сонячна електростанція-вежа під назвою “Solar One” (поблизу Бастроу, південна Каліфорнія) була побудована ще у 1980 році і з успіхом продемонструвала застосування цієї технології для виробництва електроенергії.

Найбільшу сонячну електростанцію у вигляді вежі запустила компанія Abengoa Solar. Її потужність складає 20 МВт. Сонячна вежа PS20 розташована недалеко від Севільї (Іспанія) та побудована поряд із раніше діючою вежею PS10 меншої потужності.

Сонячна електростанція PS20 концентрує на вежі висотою 161 метр сонячні промені від 1255 геліостатів. Кожне дзеркало геліостату площею  $120 \text{ м}^2$  направляє сонячні промені на сонячний колектор, який розміщений на вершині. Дана електростанція була побудована у 2007 році, а до 2013 року Іспанія планує отримувати від сонячних установок різної конструкції, включаючи вежі, близько 300 МВт електроенергії.



Рис.7.8. Сонячні вежі PS10 та PS20

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 розчини солей із великою теплоємністю. Розплавлена сонцем сіль концентрується у сховищі, яке побудовано у вигляді великого термоса

та використовується для перетворення води на пару тривалий час після того, як сонце сховається за горизонтом.

У 1990-их “Solar One” була модернізована для роботи на розплавлених солях та теплоакуюлюючій системі. Завдяки акумулюванню тепла, вежі-електростанції стали унікальною геліотехнологією. При роботі такої вежі розплавлена сіль закачується із “холодного сховища” при температурі  $288\text{ }^{\circ}\text{C}$  та проходить через приймач, де нагрівається до температури  $565\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а потім знову повертається в “гаряче сховище”. Далі розігріту сіль застосовують для вироблення електроенергії. У сучасних моделях таких установок тепло зберігається протягом 3...13 годин. Будівництво такої електростанції в середньому коштує 5 мільйонів євро.

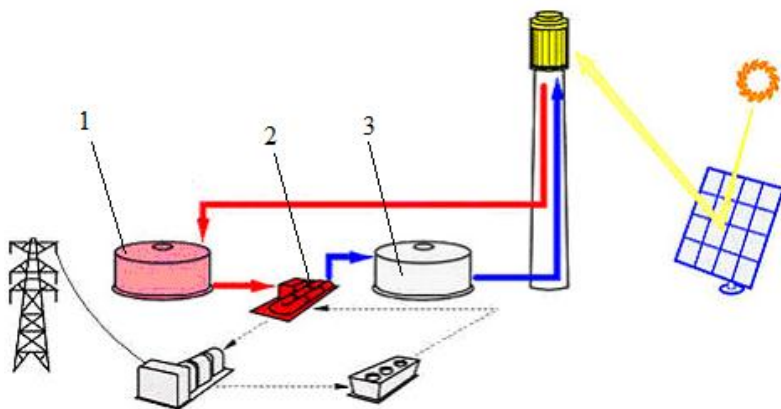


Рис.7.9. Принципова схема роботи сонячної вежі на розплавлених солях:  
1 – сховище гарячої солі; 2 – парогенератор; 3 – сховище холодної солі

Цікавим є і те, що сонячна вежа може використовуватись 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 у присутності деревного вугілля нагрівається у вежі сонячними променями до температури  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ . У результаті процесу отримують

ється чистий цинк. Далі цинк можна використовувати для виготовлення батарей. Інший варіант передбачає розмістити цинк у воді та у результаті хімічної реакції отримати кисень 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.

Існує й інший вид сонячних веж, який здатний перетворювати сонячне випромінювання (пряме і розсіяне) в електроенергію, комбінуючи три загальновідомі принципи: парниковий ефект, витяжну трубу та вітрогенератор. Принцип роботи такої вежі полягає в тому, що тепле повітря утворюється під великим скляним дахом внаслідок нагрівання сонцем і рухається до труби, яка розміщена всередині даху й видається ззовні (рис.7.10). При цьому потік повітря обертає розміщені біля основи труби турбіни.

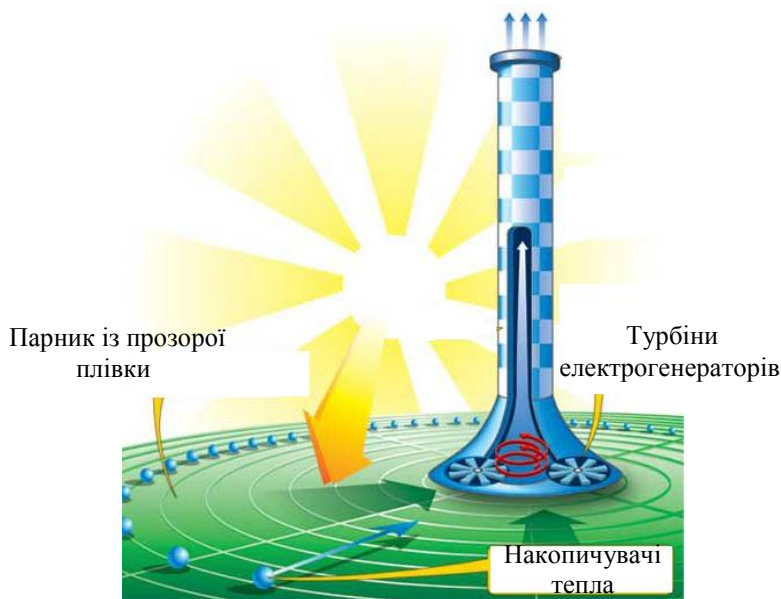


Рис.7.10. Схема роботи сонячної вежі



Прототип такої вежі потужністю 50 кВт був побудований в Мансанересі (Іспанія), і виробляв електроенергію протягом семи років, доказавши ефективність та надійність цього способу отримання електроенергії. На рис.7.11 зображено дану вежу та парник (рис.7.12).



Рис.7.11. Сонячна вежа в Мансанересі, Італія



Рис.7.12. Парник, що працює від сонячної вежі

Для прямого перетворення сонячної енергії в електроенергію застосовують фотоелементи (рис.7.13).



Рис.7.13. Сонячний фотоелемент

Сонячний елемент (фотоелемент, фотоелектричний перетворювач — ФЕП) — це напівпровідниковий прилад, що служить для перетворення світлової енергії у електричну. В основі цього перетворення лежить явище фотоелефекту.

Принцип роботи сучасних фотоелементів базується на напівпровідниковому р-n переході (рис.7.14).

При поглинанні фотона в області, яка прилягає до р-n переходу, створюється пара носіїв заряду: електрон і дірка. Одна із цих часток є неосновним зарядом і з великою ймовірністю проникає крізь перехід. У результаті створені завдяки поглинанню енергії фотона заряди розділяються в просторі й не можуть рекомбінувати. Як наслідок порушується рівновага густини зарядів. При під'єднанні елемента до зовнішнього навантаження у колі протікає електричний струм.

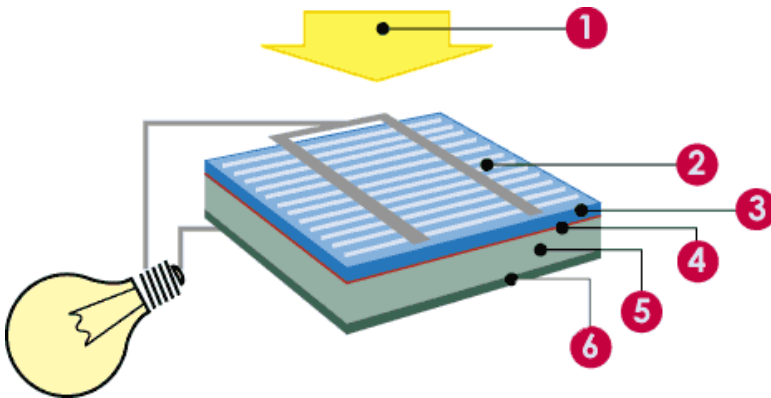


Рис.7.14. Сонячний елемент з р-n переходом:

1-світло (фотони); 2 – фронтальний контакт; 3 – негативний шар;  
4 – шар р-n переходу; 5 – позитивний шар; 6 – задній контакт

У зв'язку з тим, що один сонячний елемент не виробляє достатньої кількості електроенергії їх збирають у сонячні модулі (рис.7.15). Сонячні панелі (фотоелектричні або сонячні модулі) виробляються різних типів та розмірів. Найбільш типовими є кремнієві фотоелектричні модулі потужністю 40...160 пВт. Такий сонячний модуль має розмір від 0,4 до 1,6 м<sup>2</sup>.

Коефіцієнт корисної дії модулів знаходиться у межах 5...15%. Це означає, що 5...15% від кількості енергії, що падає на сонячний елемент буде трансформовано у електроенергію.



Рис.7.15. Сонячний модуль

Сонячні модулі виробляють електроенергію навіть коли немає прямого сонячного світла. Тому, навіть за хмарної погоди фотоелектрична система буде виробляти електроенергію. Однак, найкращі умови для генерування електроенергії будуть при яскравому сонці і при орієнтації панелей перпендикулярно до сонячного світла. Для ділянок північної півкулі панелі повинні бути орієнтовані на південь, а для країн південної півкулі – на північ.

На практиці, сонячні панелі повинні бути орієнтовані під певним кутом до горизонтальної поверхні. Біля екватора сонячні панелі повинні розміщуватись під дуже малим кутом (майже горизонтально) тому, що кут падіння сонячних променів більший. Він зменшується від екватора до полюсів (залежить від географічної широти). Невеликі відхилення від цієї орієнтації не відіграють суттєвої ролі, тому, що протягом дня сонце рухається по небу із сходу на південь.

Сонячні панелі найбільш ефективно працюють тоді, коли вони направлені на сонце і їх поверхня перпендикулярна сонячному промінню. Сонячні панелі зазвичай розміщують на даху чи спеціальній конструкції у фіксованому положенні і не можуть слідувати за положенням сонця протягом дня. Тому, зазвичай сонячні панелі не знаходяться під оптимальним кутом (сума кута падіння сонячних променів і кута положення



панелі, що разом складає  $90^0$ ) протягом всього дня. Кут між горизонтальною площиною і сонячною панеллю називають кутом похилу.

Внаслідок того, що Земля рухається навколо Сонця, мають місце також сезонні варіації. В ідеалі, сонячні панелі повинні розміщуватись літом більш горизонтально ніж зимою. Тому кут похилу для роботи літом вибирається меншим, ніж для роботи зимою. Якщо немає можливості змінювати кут похилу двічі на рік, то панелі повинні розміщуватись під оптимальним кутом, значення якого знаходиться посередині між оптимальними кутами для літа та зими. Для кожної широти є свій оптимальний кут похилу панелей. Тільки для ділянок біля екватора сонячні панелі повинні розміщуватись горизонтально.

Як правило для весни та осені приймається оптимальний кут похилу який дорівнює значенню широти даної місцевості. Для зими до цього значення додається 10...15 градусів, а літом від цього значення віднімається 10...15 градусів. Тому рекомендується змінювати двічі на рік кут похилу з "літнього" на "зимовий". Якщо ж такої можливості немає, то кут похилу вибирається приблизно рівним широті даної місцевості.

Основним матеріалом для виробництва фотоелементів сонячних батарей є кристалічний кремній.

За специфікою виготовлення розрізняють наступні типи:

- монокристалічні фотоелементи найбільш складні і дорогі оскільки для їх виготовлення потрібен кристалічний кремній, однак вони мають найбільшу ефективність (20...27 % перетворення світла у електричну енергію);
- полікристалічні (мультикристалічні) фотоелементи дешевші ніж монокристалічні, однак менш ефективні (10...15% перетворення світла у електричну енергію);
- аморфні (тонкоплівкові) фотоелементи, які виготовляються шляхом нанесення тонкого шару кремнію на основу із іншого матеріалу (3...5% перетворення світла у електричну енергію).

За останніми оцінками ринкова доля кристалічних сонячних елементів складає близько 93%, а тонкоплівкових - близько 7%, відповідно. Також існують такі більш екзотичні напруги як концентраційні і електрохімічні сонячні елементи, але їх долі ще дуже малі. Такі розробки відносяться більше до сфери наукових досліджень, ніж до виробництва в промислових масштабах. Крім того, сонячні батареї можна класифікувати за сферою їх застосування - наземного або космічного призначення. Наймасовішим сегментом є, звичайно ж, кристалічні кремнієві сонячні батареї наземного призначення.

Щодо України, то основні потужності (більше 60%), а за деякими оцінками більше 80%, у колишньому СРСР із виробництва кремнію були і залишаються в Україні. В Україні зосереджено 10% світових потужностей, відсоток завантаження яких на сьогоднішній день незначний. Це такі підприємства як: Донецький хіміко-металургійний завод, Запорізький титаномагнієвий комбінат, Світловодський завод чистих металів.

Перетворення енергії у фотоелектричному сонячному елементі базується на фотовольтаїчному ефекті у неоднорідних напівпровідникових структурах при впливі на них сонячного випромінювання. Характеристики фотоелектричних сонячних елементів залежать від кількості світла, що падає на їх поверхню. При цьому, вони не бояться короткого замикання.

Кремнієві фотоелектричні сонячні елементи є нелінійними пристроями і їх поведінку неможливо описати простою формулою на зразок закону Ома. Замість неї для пояснення характеристик елементів використовують сукупність кривих вольт-амперних характеристик.

Напруга холостого ходу, яка генерується одним елементом, злегка змінюється при переході від одного елемента до іншого в одній партії і від однієї фірми-виробника до іншої і складає близько 0,6 В (рис.7.16).

Ця величина не залежить від розмірів елемента. Інакше виглядає справа зі струмом. Він залежить від інтенсивності світла і розміру елемента, тобто від площі його поверхні.

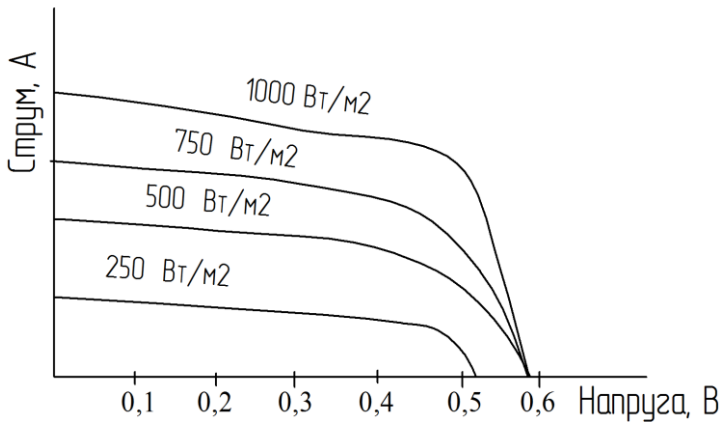


Рис.7.16. Вольтамперна характеристика фотоелектричного сонячного елемента

Елемент розміром 100x100 мм у 100 разів перевершує елемент розміром 10x10 мм і, отже, він при тому ж освітленні видасть струм у 100 разів більший [44]. Навантажуючи елемент, можна побудувати графік залежності вихідної потужності від напруги (рис.7.17).

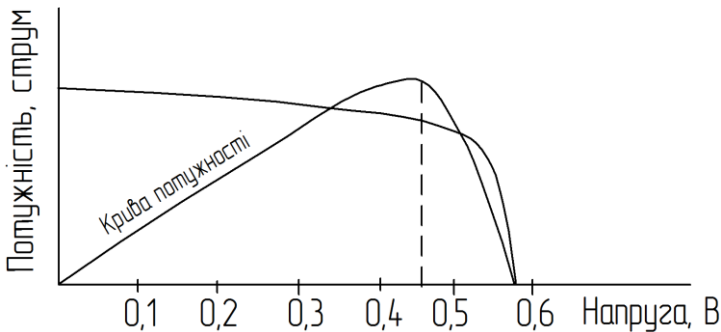


Рис.7.17. Графік залежності вихідної потужності від напруги

Пікова потужність відповідає напрузі близько 0,47 В. Отже, щоб правильно оцінити якість сонячного елемента, а також для порівняння елементів між собою в однакових умовах, необхідно навантажити його так, щоб вихідна напруга дорівнювала 0,47 В. Ось чому бажання забезпечити максимальну від-

дачу від фотоелектричного сонячного елемента спонукає до необхідності сортування елементів за вихідним струмом.

Важливим моментом роботи сонячних елементів є їх залежність від температури. При нагріванні елемента на  $1^{\circ}\text{C}$  вище за  $25^{\circ}\text{C}$  він втрачає в напрузі  $0,002\text{ В}$ , тобто  $0,4\%$  на один  $^{\circ}\text{C}$ . На рис.7.18 приведено сукупність кривих вольтамперних характеристик для температур  $25^{\circ}\text{C}$  і  $60^{\circ}\text{C}$ .

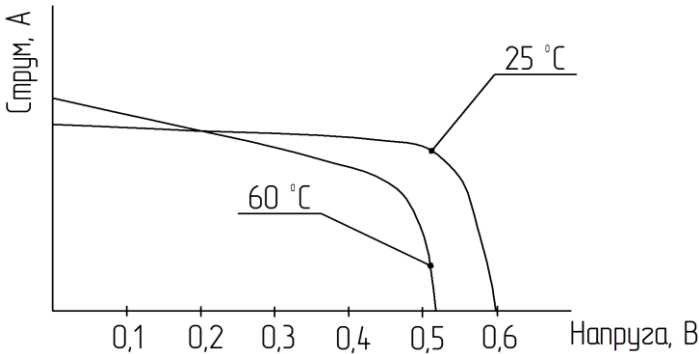


Рис.7.18. Сукупність кривих вольтамперних характеристик для температур  $25^{\circ}\text{C}$  і  $60^{\circ}\text{C}$

У яскравий сонячний день елементи нагріваються до  $60\dots70^{\circ}\text{C}$ , втрачаючи  $0,07\dots0,09\text{ В}$  кожний. Це і є основною причиною зниження ККД сонячних елементів, що призводить до спадання напруги, яка генерується елементом.

Коефіцієнт корисної дії звичайного сонячного елемента в даний час коливається в межах  $10\dots16\%$ . Це значить, що елемент розміром  $100\times100\text{ мм}$  при стандартних умовах може генерувати  $1\dots1,6\text{ Вт}$ . Стандартними умовами для паспортизації елементів в усьому світі визнаються наступні: освітленість  $1000\text{ Вт/м}^2$ , температура  $25^{\circ}\text{C}$ , спектр АМ 1,5 (сонячний спектр на широті  $45^{\circ}$ ) [44].

Після того, як сонячні елементи підібрано для роботи, їх необхідно з'єднати. Зазвичай серійні елементи укомплектовано струмознімальними сітками, призначеними для припаювання до них електропровідних дротів.

Фотоелектричні модулі складаються у будь-якій комбінації. Найпростішою з них є ланцюжок із послідовно увімкнених фотоелектричних сонячних елементів. Також застосовується паралельне увімкнення ланцюжків для отримання послідовно-паралельного з'єднання.

Електричні параметри фотоелектричних модулів надаються так само, як і для окремого сонячного елемента, у вигляді вольтамперної кривої за стандартних умов, тобто при сонячній радіації  $1000 \text{ Вт/м}^2$ , температурі  $25^\circ\text{C}$  і сонячному спектрі на широті  $45^\circ$  (AM 1,5).

На рис.7.19 представлені електричні параметри фотоелектричного модуля. Точка перетину кривої з віссю напруг називається холостим ходом –  $U_{\text{хх}}$ , точка перетину з віссю струмів – струмом короткого замикання  $I_{\text{кз}}$ . Максимальна потужність модуля визначається як найбільша потужність при стандартних умовах.

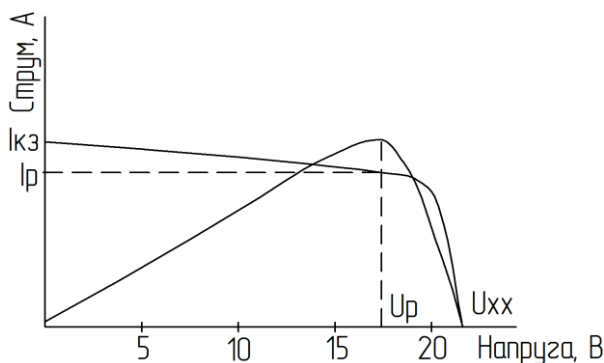


Рис.7.19.Електричні параметри фотоелектричного модуля

Напруга, що відповідає максимальній потужності, називається напругою максимальної потужності (робочою напругою –  $U_{\text{р}}$ ), а відповідний струм – струмом максимальної потужності (робочим струмом  $I_{\text{р}}$ ).

Слід зауважити, що напруга холостого ходу модуля мало залежить від освітленості, тоді як струм короткого замикання,

і, відповідно робочий струм, є прямо пропорційними освітленості.

В наш час використання сонячної електроенергетики має економічний сенс там, де існує державна підтримка цього напрямку. Серед країн, що проводять подібну політику, найпомітнішу роль відіграють Німеччина, Іспанія, Італія, США, Південна Корея і Японія. Саме вони і формують сьогодні світовий ринок сонячної енергетики. У тому числі і для вітчизняних виробників, тому переважаюча частина продукції експортується в ці країни.

В Україні ж сонячна енергетика досі використовується дуже мало. Можна говорити лише про окремі завершені проекти, такі як заміна сонячною установкою дизельного генератора на острові Зміїний, електрифікація пологового будинку в Маріуполі, освітлення центральної вулиці в Острозі і тому подібне, але їх всіх можна перерахувати на пальцях. Приватні ж особи ставлять сонячні панелі в основному для резервного енергозабезпечення котеджів або використовують їх для організації ландшафтного освітлення. Але ціна питання для них все ще залишається дуже високою.

Однак, в Україні є величезний потенціал для розвитку цієї галузі. Ще в часи Радянського Союзу на території нашої держави діяли декілька підприємств - виробників кремнію. Відновлення вітчизняного кремнієвого виробництва може і повинно з'явитися каталізатором розвитку України як сучасної високотехнологічної і незалежної держави. Окрім насичення внутрішніх потреб в сировині і подальшого стимулювання виробництва кінцевої «сонячної» продукції, це стане додатковим джерелом валютних надходжень, сформує якісно нову робочу силу, стимулює розвиток науки і профільної освіти.

Серед переваг «сонячної» електроенергії в першу чергу можна виділити той факт, що такі системи впродовж всього терміну експлуатації генерують значно більше енергії, ніж було затрачено на їх виробництво. Наприклад, кремнієві сонячні батареї, що працюють в таких сонячних країнах як Іспанія,

повертають енергію, витрачену на їх виробництво, протягом перших 2-х років, а служать - не менше 20 років. Наступною перевагою є постійне зниження вартості сонячної електроенергії, яка за прогнозами аналітиків порівнюється з вартістю традиційної не пізніше 2015 року. Крім того, масове вироблення «сонячної» електроенергії не вимагає відчуження значних земельних площ, оскільки батареї можуть вмонтовуватися на дахах або фасадах існуючих будівель і споруд, захисних загородах автобанів і тому подібне.

З технічної точки зору переваги сонячних систем полягають у відсутності необхідності використовувати будь-які види палива, а також у відсутності рухомих частин, які шумлять і зношуються. Немає необхідності в проведенні трудомісткого технічного обслуговування інсталюваних систем для підтримки їх в працездатному стані.

Що стосується недоліків, то головний з них - це нездатність в даний час конкурувати за вартістю з традиційними видами електроенергії. Без державної підтримки використовувати сонячні системи в місцях, де є нормальний доступ до мережі, сьогодні недоцільно. І це ми добре бачимо в Україні, де вартість інсталяції простої системи для замиського будинку досягає декількох десятків тисяч євро з відповідними чималими термінами окупності вкладень.

Безумовно, сьогоднішні реалії зростаючих глобальних енергетичних проблем роблять усе більш актуальними питання переходу до альтернативних джерел енергозабезпечення. Орієнтація, що має місце, на нафту, газ і ядерну енергію може привести нашу державу до серйозної енергетичної залежності від найбільших світових постачальників сировини і вже сьогодні ставить під загрозу економічну безпеку нашої держави. Вочевидь, що альтернативні джерела енергії не зможуть вирішити найближчими роками всі проблеми, але орієнтація на них і, у тому числі, на розвиток сонячної енергетики дасть реальну можливість укріпити наші позиції в майбутньому і підвищити енергетичну безпеку України.

## РОЗДІЛ 8 БІОПАЛИВО

Біопаливо – це паливо із біологічної сировини, що отримується в результаті переробки стебел цукрової тростини чи насіння рапсу, кукурудзи та сої.

Розрізняють рідке біопаливо для двигунів внутрішнього згорання (етанол, метанол, диметилловий ефір, біодизель), тверде паливо (дрова, солома, смола) та газоподібне (біогаз, біоводень).

**Біоетанол** – звичайний етанол, що отримується в результаті переробки рослинної сировини для використання у якості біопалива. Світове виробництво біопалива у 2005 році становило 36,3 млрд. л, з яких 45% було вироблено в Бразилії і 44,7% в США.



Рис.8.1. Завод із виробництва етанолу в штаті Небраска, США

У 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: картоп-



ля, цукровий буряк, сорго, ячмінь, маніок, пшениця, кукурудза, жито.

Найкращий клімат для вирощування цукрової тростини у Перу та країнах Карибського басейну. У великих кількостях цукрову тростину також можуть виробляти Індонезія та деякі африканські країни (Мозамбік).

Етанол у великих кількостях можна виробляти із целюлози, однак, на сьогодні це виробництво економічно нерентабельне. Сировиною також можуть бути різного роду відходи сільського і лісового господарства: пшенична солома, рисова солома, тирса.

Першою країною, яка почала використовувати біоетанол, стала Бразилія і в даний час вона входить до найбільших виробників біоетанолу, сировиною для якого вони обрали цукрову тростину. У США для цього використовують кукурудзу, при цьому не зменшуючи її експорт. У Франції – цукрові буряки. Виробниками біоетанолу також є Іспанія і Польща.

Біоетанол в якості пального почали використовувати досить давно. Генрі Форд сконструював свій перший автомобіль, який використовував саме таке пальне, а в умовах дефіциту пального під час Другої світової війни в Німеччині спирт додавали до бензину.

Проте, тільки наприкінці ХХ століття з'явилися повномасштабні програми з використання біоетанолу, як пального для двигунів.

“Суть технології виробництва біоетанолу полягає в тому, що сировина розмелюється до 180...200 мікронів, потім додається вода, і цю масу розділяють на дві реакції – крохмаль і клейковину. Із крохмалю, точніше крохмального молока, одержують звичайний етиловий спирт 96,5°. В цеху зневоднення з нього видаляються сивушні масла й альдегіди, потім масу нагрівають і пропускають через молекулярні сита, де за певної температури відбувається зневоднення” [45].

Вихід кінцевого продукту із тони сировини (сухий помол) представлений в табл.8.1.

Таблиця 8.1

Вихід біоетанолу із 1 тони сировини [45]

| Сировина  | Етанол, л | Суха барда, кг | CO <sub>2</sub> , кг |
|-----------|-----------|----------------|----------------------|
| Пшениця   | 375       | 330            | 370                  |
| Жито      | 257       | 390            | 350                  |
| Ячмінь    | 330       | 430            | 320                  |
| Кукурудза | 410       | 300            | 400                  |

Принципова схема отримання біоетанолу із пшениці представлена на рис.8.2.

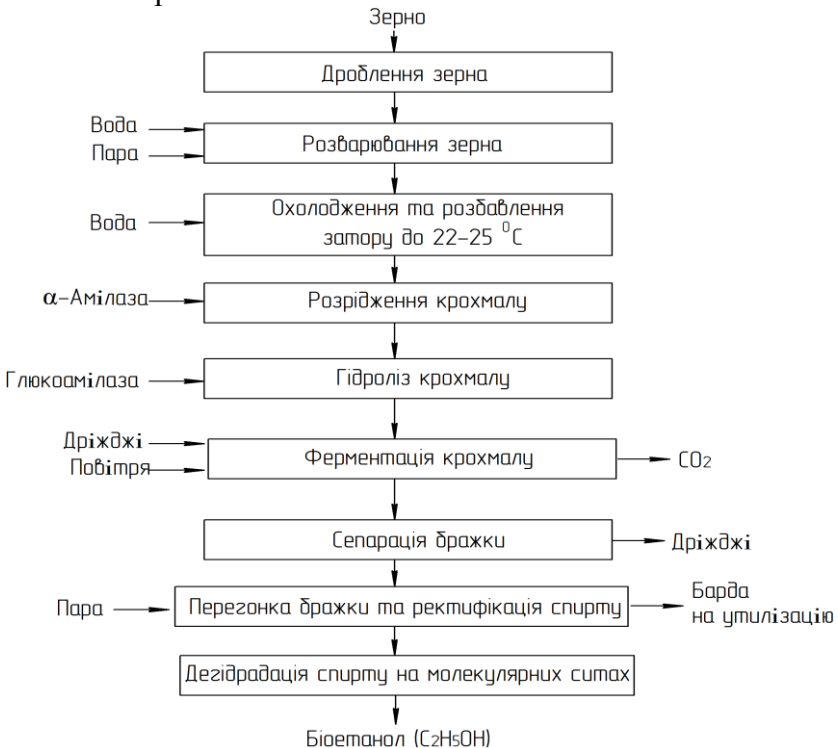
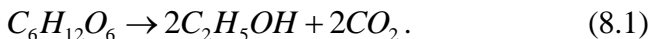


Рис.8.2. Принципова схема отримання біоетанолу із пшениці

Крім цього етанол виробляють методом зброджування цукру, глюкози, сахарози за допомогою дріжджів з наступною перегонкою з метою обезводнення.

Ця реакція представлена у вигляді наступного рівняння:



У результаті бродіння отримується розчин, який містить не більше 15% етанолу, так як в більш концентрованих розчинах дріжджові бактерії гинуть. Отриманий таким шляхом етанол потребує очистки та концентрування, зазвичай шляхом дистиляції.

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  $CO_2$ , скільки і до цього було зв'язано із атмосфери рослинами, що були використані для його виробництва.

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:

- E5, E7, E10 – суміші із низьким вмістом етанолу (5, 7 і 10 вагових відсотків відповідно). У цьому випадку добавка етанолу не тільки економить бензин шляхом його заміщення, але і дозволяє видалити шкідливу добавку метил-трет-бутилового ефіру, який є одним із найважливіших представників простих ефірів;

- E85- суміш 85% етанолу і 15% бензину. Стандартне паливо для автомобілів із гнучким вибором палива, які здатні їздити як на бензині, так і на суміші бензину з етанолом;

- E95 - суміш 95% етанолу і 5% паливної присадки;

- E100 - формально 100% етанол, однак внаслідок того, що він гігроскопічний, отримання і використання етанолу без залишкової концентрації води не вигідне. Тому у більшості випадків під E100 розуміють стандартну азеотропну суміш

етанолу (96%  $C_2H_5OH$  і 4% води (у ваговому відношенні). Шляхом звичайної дистиляції неможливо отримати більш високу концентрацію етанолу.

У грудні 2007 року Університет Північної Дакоти та Центр Автомобільних Досліджень Міннесоти опублікували результати дослідження енергоефективності застосування біоетанолу в автомобільному транспорті [46-48]. У результаті досліджень проводились експерименти як на звичайних автомобілях, так і на автомобілях із гнучким вибором палива. Досліджувались суміші із вмістом етанолу в бензині від 2% до 85%.

Для звичайних автомобілів найбільш оптимальною сумішшю була суміш E30. У результаті її застосування споживання палива знизилось на 1% порівняно із бензином. Даний результат був отриманий на автомобілях Toyota Camry та Ford Fusion.

Для автомобілів із гнучким вибором палива найбільш оптимальною стала суміш E20. У результаті її застосування споживання палива знизилось на 15% порівняно із бензином. Даний результат був отриманий на автомобілі Chevrolet Impala.

Ще одним видом біопалива є **біометанол**, який виробляється з біомаси та використовується у якості біопалива.

Сировиною для цього палива є водорості, що найшвидше ростуть на планеті.

На початку 80-их років рядом європейських країн спільно розроблявся проект, який був орієнтований на створення промислової системи з використанням прибережних районів.

Початкове виробництво біомаси здійснюється шляхом культивування фітопланктону у штучних водоймах, що створюються на морському побережжі.

Вторинні процеси представляють собою метанове бродіння біомаси та подальше гідроксилювання метану з отриманням метанолу.

Основними перевагами використання мікроскопічних водоростей є:

- висока продуктивність фітопланктону (до 100 т/га в рік);
- у виробництві не використовуються родючі землі та прісна вода;
- процес не конкурує із сільським господарством;
- енерговіддача процесу на стадії отримання метану становить 14, а на стадії отримання метанолу -7.

**Біобутанол** - різновид рідкого біопалива на основі бутилового спирту (бутанол), одержуваного разом з біоводнем шляхом бутилового або ацетонобутилового зброджування сільськогосподарських рослин.

Бутанол застосовують у якості розчинника в лакофарбовій промисловості, у виробництві смол та у синтезі багатьох органічних сполук. Також він може застосовуватись у якості компонента до традиційних палив чи як самостійне паливо для транспортних засобів.

Біобутанол може бути отриманий наступним чином:

- шляхом переробки цукру та крохмалу сільськогосподарських культур (біобутанол I покоління);
- шляхом переробки целюлози рослин (біобутанол II покоління);
- шляхом синтезу хімічної сировини (бутанол).

Промислове виробництво бутанолу почалось у 1916 році. Тоді застосовувався метод ферментації АБЕ (ацетон, бутанол, етанол) із застосуванням бактерій *Clostridia acetobutylicum*. Мікроорганізм, що виробляє ацетон, вперше виділив Хейм Вейзмен. Цей процес застосовувався аж до 1920-их років виключно для виробництва ацетону. Однак, на кожен літер ацетону під час ферментації отримувалось додатково дві літри бутанолу. У 1927 році автомобілебудування кардинально змінилось і основним продуктом процесу АБЕ став бутанол, а ацетон став побічним продуктом. Під час II Світової війни бутанол використовувався для виробництва синтетичного каучуку.

У 1954 році ціна на нафту стала нижчою за цукор – у зв'язку з тим, що Куба перестала поставляти дешевий цукор у США. У результаті цього, на фоні постійного росту попиту на бутанол, ферментаційне виробництво почало скорочуватись. У даний час бутанол виробляють з нафти найбільш ефективними методами – гідролізом галоген алканів чи гідролізом та гідратацією алкенів.

Сьогодні бутанол використовується, перш за все, у якості промислового розчинника. Світовий ринок цього продукту оцінюється у 350 млн. галонів в рік, з яких 220 млн. галонів припадає на США.

Завдяки своїм фізичним властивостям, економічності, безпечності, а також через те, що його застосування не потребує перероблення двигуна, бутанол може замінити бензин у якості палива.

Порівняно з етанолом, бутанол може бути змішаний в більших пропорціях з бензином і використовуватись 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.

У зв'язку із отриманням нових високоекономічних технологій виробництва біобутанолу, у даний час він все більше привертає увагу спеціалістів для застосування його у якості палива.

Серед переваг бутанолу перед метанолом можна виділити наступні:

- бутанол містить на 25% більше енергії у порівнянні з етанолом;
- бутанол безпечніший у використанні, оскільки випаровується у шість разів менше ніж етанол і має у 13,5 меншу летючість, порівняно із бензином;
- бутанол – менш агресивна речовина, порівняно із етанолом, оскільки може транспортуватись по існуючим палив-

ним трубопроводам, тоді як етанол повинен транспортуватись залізничним чи водним транспортом;

- бутанол можна змішувати з бензином;
- бутанол може повністю замінити бензин, тоді як етанол може застосовуватись тільки як добавка до бензину із максимальним вмістом в суміші не більше 85% і лише після суттєвих переробок двигуна;
- виробництво бутанолу дозволить вирішити проблеми, які пов'язані з інфраструктурою постачання водню;
- при згоранні бутанол не виділяє оксидів сірки чи азоту.

Таким чином, біобутанол більш економічний порівняно із сумішшю етанолу з бензином, він покращує паливну ефективність автомобіля і збільшує пробіг на одиницю витраченого палива. Біоетанол отримується із тієї ж сировини – кукурудзи, цукрового буряка, сорго, маніоки, цукрової тростини, стебел кукурудзи та іншої біомаси, що й етанол.

**Диметиловий ефір** (ДМЕ) як хімічну речовину одержали порівняно давно й вивчили достатньо добре. Донедавна його використовували в парфумерії як пропелент, замінюючи шкідливі гази (заборонений фреон) та як холодоагент і розчинник.

У 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  $20^\circ\text{C}$  -  $2,091 \text{ кг/м}^3$ ; температури: кипіння -  $23,65^\circ\text{C}$ , спалаху в закритому тиглі -  $41,1^\circ\text{C}$ , самозаймання в повітрі -  $350^\circ\text{C}$ . ДМЕ характеризується коротким напівперіодом існування в тропосфері (менше одного дня), не надходить у стратосферу, повністю розкладається на воду та діоксид вуглецю, нетоксичний, неканцерогенний, немутагенний [49].

Уперше про диметиловий ефір, як про альтернативне та екологічно чисте паливо для дизельних двигунів, було згадано на Міжнародному конгресі й виставці в Детройті 1995 року, після чого роботи в цьому напрямі почали інтенсивно розвиватися в цілій низці країн.

Перспективність цього виду палива визначається двома основними характеристиками:

- сировинною базою;
- високими експлуатаційними та екологічними властивостями.

Сировиною для одержання ДМЕ є природний газ, вугілля або біопаливо. Це похідна метанолу, який одержують у процесі перетворення газу в рідкий стан. Технологію виробництва ДМЕ розробили зарубіжні фірми: Haldor Topsøe (Данія), Air Products and Chemicals (США), NKK Corp. (Японія), BP (Велика Британія) та Російська академія наук [50-51]. Випуск ДМЕ в світі останніми роками різко зріс і становить десятки мільйонів тонн.

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 п'ятьма показниками.

*Хімічний:*

- не має хімічних сполук “вуглець – вуглець”, що знижує схильність до сажоутворення під час згоряння;
- вміст до 35% зв'язаного кисню забезпечує повноту згоряння ДМЕ (завдяки чому в камері згоряння немає нагару й сажистих частинок у відпрацьованих газах) та зниження температури горіння палива в камері згоряння і, як наслідок, зниження вмісту 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.



### *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 використовують як газоподібне паливо для двигунів внутрішнього згорання. Його 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 ( $\text{CO}_2$ ), вчетверо - вуглеводнів (СН), вчетверо - твердих часток (сажа й 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 діоксид вуглецю.

### *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 згорання, 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-хімічними властивостями (крім цетанового числа) ДМЕ подібний до зріджених газів, тому для заправлення можна викори-

стати 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 раза менша за теплоту згоряння дизельного палива (28900 проти 42500 кДж/кг), що призводить до збільшення витрати ДМЕ в 1,5...1,6 раза порівняно з дизельним паливом. Це потребує відповідного співвідношення цін ДМЕ і дизельного палива, щоб забезпечити конкурентоспроможність ДМЕ. Його ціна має бути вдвічі нижчою за ціну дизельного палива, а це може бути досягнуто тільки за широкомасштабного 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 застосування спеціальних протиспрацьовувальних присадок або ж принципово іншої системи подавання ДМЕ в камеру згоряння. Існує також проблема 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. Особливість цих двигунів у тому, що вони спеціально створені для цього виду палива й не можуть працювати на іншому. Згідно з прогнозами аналітиків, через 15...20 років важкий і середній транспорт практично скрізь повністю перейде на ДМЕ.

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". Перша партія екологічно чистих автомобілів - 30 рефрижераторів на шасі ЗІЛ-5301 "Бичок"- проходять експлуатаційні випробування в АТП Москви. Підготовлено три модифікації двигунів цих автомобілів: перша - використовує ДМЕ як добавку до дизельного палива; друга - двопаливна: основне паливо ДМЕ, дублююче - дизельне; третя - двигун працює тільки на ДМЕ.

Переобладнання звичайних дизелів для роботи на ДМЕ полягає в модернізації тільки паливоподавальної апаратури, спрямованої на збільшення об'ємного подання палива та ущільнення лінії низького тиску для пристосування її до роботи на підвищеному тиску (1...2 МПа), а також наявності додаткових балонів низького тиску, які використовують для роботи зі зрідженим (скрапленим) газом. Для забезпечення однакового пробігу, об'єм балонів із ДМЕ має бути в 1,7 разів більший, ніж об'єм баків із дизельним паливом [52].

У першій модифікації двигунів частка ДМЕ має становити 10...40% для різних моделей дизелів і різних режимів роботи. Результати випробування комбінованої системи, яка передбачає подавання в паливний насос високого тиску (ПНВТ) суміші 70% дизельного палива і 30% ДМЕ, свідчать, що при цьому поліпшується перебіг робочих процесів (розпилення, випаровування, самозаймання, згоряння), що дає змогу знизити викиди шкідливих речовин у відпрацьованих газах порівняно з дизельним паливом.

Друга модифікація двигунів - двопаливна. Основним паливом є ДМЕ, для якого здійснюють оптимізацію конструкції паливної системи (розміри плунжера ПНВТ, діаметр отворів у форсунок) і регулювань (положення рейки ПНВТ, кут подавання палива тощо). Дизельне паливо виконує функції дублюючого. На ньому двигун працює під час зупинки, а також - якщо немає ДМЕ.

До системи живлення ДМЕ входять: балон із паливопідкачувальним електронасосом і допоміжним обладнанням, що містить заправний блок із вентильним (вентильними) пристроєм (пристроями); покажчик рівня; механізм автоматичного наповнення балона до 80% його об'єму; запобіжний (пожежний) клапан; робочий, зворотний і швидкісний клапани; система вентиляції. До цього слід додати заправний пристрій із вбудованим клапаном; магістральний запірний клапан; трубопроводи й гнучкі рукави; підкачувальні насоси середнього тиску; ПНВТ; паливні форсунки.

Із балону ДМЕ під тиском насиченої пари надходить на вхід паливопідкачувального насоса з електроприводом. Манометр, установлений перед ПНВТ, контролює тиск рідкого ДМЕ, який має бути вищим за тиск насиченої пари на величину, що залежить не тільки від подавання палива в циліндри, а й від витрати палива, що перекачується через порожнини низького тиску ПНВТ (витрата регулюється перепускним клапаном). Частина палива, надходячи трубопроводами до форсунок, впорскується в циліндри двигуна, а інша частина, проходячи через порожнини низького тиску ПНВТ, перепускний і електромагнітний клапани та фільтр, надходить у бак.

Керування системою подавання палива здійснюється внаслідок вмикання - відмикання електромагнітних клапанів і електронасосів. Пуск і переведення двигуна на ДМЕ здійснюють, перемикаючи регулятор виду палива, встановлений у кабіні автомобіля, в положенні "ДМЕ", а переведення на дизельне паливо - перемикаючи регулятор у положення "ДТ". При цьому автоматично упор рейки ПНВТ переміщується на зменшення подавання палива.

Під час розробки системи живлення, що працює тільки на ДМЕ, враховували цілу низку обставин. По-перше, ДМЕ слід упорскувати в циліндри дизеля в рідкому стані, для чого треба підтримувати в системі надлишковий тиск, що перевищує тиск насиченої пари в самій нагрітій зоні підкапотного простору на величину не менше 0,5 МПа. Коротший і ширший фа-

кел призводять до перерозподілу теплових навантажень на деталі циліндропоршневої групи, до перегрівання деталей центральної частини камери згоряння. По-друге, об'ємна величина циклового подавання ДМЕ має бути збільшена не менше ніж в 1,6 раза через меншу теплоту згоряння та густину порівняно з дизельним паливом. Крім того, внаслідок підвищеного стискування ДМЕ, подання його починається пізніше, отже, потрібно регулювати кут випередження впорскування. По-третє, через низьку в'язкість і незадовільні мастильні властивості в паливо слід уводити спеціальні присадки. По-четверте, оскільки ДМЕ спричинює руйнування гумових виробів, треба замінити їх іншими.

Особливістю компоновання вантажівок є те, що балон із ДМЕ монтують з правого боку несучої рами, а елементи газової апаратури розміщують на моторному щиті й у підкапотному просторі. Балон обладнують блоком арматури, заправляють виносним заправним пристроєм. У ПНВТ ДМЕ надходить по магістралі, на якій послідовно розміщено: кульовий клапан, паливопідкачувальний насос, датчик тиску, фільтр, контрольна точка заміру тиску й запірний електромагнітний клапан. У системі є трубопроводи зворотного зливання ДМЕ, один із яких з'єднано з ПНВТ, редуційним і електромагнітним клапанами; другий - із форсунками та електромагнітним клапаном.

Результати випробування цієї модифікації засвідчили, що вміст NOx у відпрацьованих газах знизився втричі - вп'ятеро, CO і CH - наполовину, а сажі немає зовсім. Двигун за токсичністю відпрацьованих газів вписується в норми Євро-3, а після доопрацювання - і в норми Євро-4. Система показала себе надійною і доволі простою в обслуговуванні.

У травні 2005 року завершився перший етап експлуатаційних випробувань дослідних серій автомобілів ЗІЛ-5301 на ДМЕ з паливною апаратурою трьох різних модифікацій. Російський уряд створив авторитетну комісію з оцінки технічних характеристик вантажівок, що працюють на ДМЕ. Спеціалісти

комісії проаналізували результати випробувань і дали "зелене світло" розвитку даного напрямку в столиці, включаючи вдосконалення й створення нових конструкцій вантажних автомобілів, що працюють на ДМЕ. Особливо було відзначено вдаль конструкцію двопаливної схеми живлення двигунів для роботи на ДМЕ, яка в умовах обмеженої мережі заправок ДМЕ полегшує експлуатацію вантажних автомобілів.

Основний результат - ці автомобілі прижилися в автогосподарствах. Водії, які працювали на ДМЕ-машинах, оцінивши їхні переваги, на дизельне паливо переходити вже не хочуть, бо, крім екологічних переваг, поліпшуються динамічні властивості автомобіля. Двигун на ДМЕ добре запускається взимку за температури мінус 25...30°C. Достатній і запас ходу: на ДМЕ автомобіль проходить на одній заправці 600 кілометрів.

У 2006 році почали адаптувати до роботи на ДМЕ двигуни автомобілів КамАЗ. Зберігши із ЗІЛ-5301 однакову принципову двопаливну схему живлення, додали два послідовно з'єднані балони для ДМЕ об'ємом до 380 л, поставили потужніші модернізовані ПНВТ. Так, щоб усунути заклинювання плунжерних пар ПНВТ через гірші мастильні властивості ДМЕ, підбрали комплект цих деталей з меншою гідравлічною щільністю. Для відведення ДМЕ, який просочується з надплунжерної порожнини в картер насоса, на бічній поверхні плунжерів зробили кільцеву канавку, з'єдану з додатково просвердленим каналом у втулці плунжера. Щоб підвищити об'ємне подавання ДМЕ, збільшили хід рейки паливного насоса в робочому діапазоні. Зменшили до 12 МПа, проти 18, тиск початку впорскування ДМЕ форсунками, вдвічі зменшили величину розвантажувального об'єму нагнітальних клапанів у ПНВТ. Як наслідок, потужність двигуна КамАЗ-740.30.260 становить 240 к. с., повна маса авторефрижератора - близько 24 т, запас ходу - 600 кілометрів.

Серйозні роботи з використання ДМЕ ведуть і в Японії під егідою AIST (Національний інститут розвитку промисловості, науки і технології). Принципова схема системи подання ДМЕ

в ПНВТ нагадує розробки російських вчених. Концепція японської розробки передбачає розв'язання кількох завдань:

- забезпечення теплотворної здатності й тривалості впо-  
скування ДМЕ, аналогічно показникам за використання ди-  
зельного палива;

- досягнення номінальної потужності під час роботи на  
ДМЕ, рівної потужності дизельного двигуна на всіх режимах  
його роботи.

Випробування вантажного автомобіля Forward FRR35J4S компанії Isuzu - повною масою 8 т, обладнаного рядним шес-  
тициліндровим 180-сильним дизелем 6HL1 робочим об'ємом  
7,2 л - проводили на автомагістралях у центральній частині  
Японії. Рівень токсичних речовин і шуму менший за передба-  
чувані чинними екологічними нормами в країні. Пробіг без  
дозаправлення становить 500 км, а робота ПНВТ не мала на-  
рікань. Отже, розробники вважають, що автомобіль, обладна-  
ний системою живлення з ДМЕ, зуміє зайняти свою нішу на  
транспортному ринку країни.

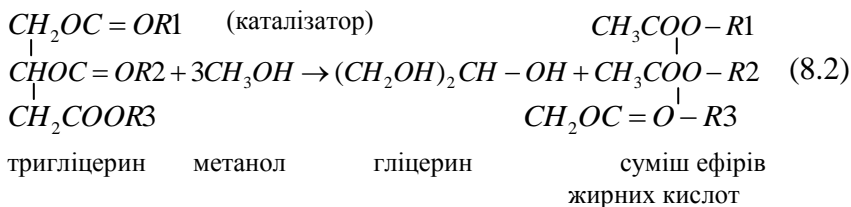
До рідких біопалив також відноситься біодизель.

**Біодизель** - це рідина жовтого кольору. Майже не змішу-  
ється з водою, має високу температуру кипіння та низьку  
пружність пари. Відносно висока температура займання біо-  
дизелю 150 °С робить паливо досить безпечним у плані про-  
типожежної безпеки. Густина біодизелю 0,86 г/см<sup>3</sup>. Виготов-  
лений із незабрудненої сировини, біодизель є нетоксичним.  
В'язкість біодизелю та звичайного дизельного пального одна-  
кова.

Для позначення палива, що містить біодизель застосовуєть-  
ся літера «В». В100 — 100 % біодизелю. В20 — 20 % біодизе-  
лю, 80 % звичайного дизельного пального.

Найпоширенішим способом отримання біодизелю є переє-  
терифікація рослинної олії [53].

Процес виробництва біодизелю можна представити у ви-  
гляді наступної реакції:



де  $R1, R2, R3$  - довгі ланцюги атомів вуглецю та водню

Як каталізатор, найчастіше використовується гідроксид натрію або калію. Час необхідний для реакції від 1 до 8 годин. Найшвидше реакція протікає при  $70\text{ }^\circ\text{C}$  (температура кипіння спирту). Зі зменшенням температури на  $10\text{ }^\circ\text{C}$  швидкість реакції уповільнюється вдвічі. Однак, існує думка, що безпечніше проводити реакцію при температурі  $55\text{ }^\circ\text{C}$ .

Хімічно, переетерифікований біодизель - це суміш моноалкілових ефірів жирних кислот. Найпоширенішим для виробництва метилових ефірів є використання метанолу так, як він є найдешевшим зі спиртів, хоча етанол теж може використовуватись для виробництва етилових ефірів біодизелю. Так само можуть використовуватись вищі спирти ізопропанол та бутанол. Побічним продуктом переетерифікації є гліцерин.

Вперше переетерифікація рослинних жирів була здійснена у 1853 році вченими Е. Даффі та Ж. Патріком задовго до запуску першого дизельного двигуна. 10 червня 1893 року у місті Аугсбург (Німеччина) Рудольф Дизель випробував свій перший одноциліндровий двигун, який був завдовжки 3м та важив 4,5 тони. Двигун вибухнув та ледь не вбив винахідника. На згадку про подію, 10 червня проголошено «Міжнародним днем біодизелю». У 1900 році на Всесвітній виставці в Парижі Дизель продемонструвавши свій двигун, отримав головну нагороду.

Дизель вірив, що майбутнє для його двигунів стоїть за використанням біопалива. У 1912 році він сказав “використання рослинних жирів для виробництва палива може видаватись несуттєвим зараз, але з плином часу такі жири можуть стати



настільки ж важливими, як продукти з нафти та вугільної смоли в наш час”.

Протягом 1920-х, виробники дизельних двигунів переорієнтували свої двигуни на використання дизельного палива виготовленого з нафти, що має меншу в'язкість порівняно з рослинними жирами. Нафтова промисловість спромоглася здійснити вторгнення на паливний ринок, оскільки виробництво палива з нафти було значно дешевшим ніж з біологічної сировини. Як наслідок, багаторічний занепад виробництва біопалива. Лише нещодавно на тлі занепокоєння станом довкілля та зменшення різниці у вартості, біопаливо таке як біодизель стало реальною альтернативою.

Дослідження в галузі використання переетерифікованої соняшникової олії та підвищення її якості до стандартів звичайного дизельного палива почалися у ПАР у 1979, а у 1983 результати досліджень були опубліковані. Технологічний процес дозволяв виготовляти біодизель, якість якого відповідала нормам звичайного дизельного пального. Австралійська компанія Gaskoks, отримала технологію від південноафриканських дослідників, та спорудила перший пілотний завод для виробництва біодизеля в листопаді 1987, а перший завод для масового виробництва був запущений у квітні 1989 (з здатністю переробляти 30 000 тон рапсу на рік).

Протягом 1990-х, заводи були спорудженні у багатьох Європейських країнах, зокрема Чехії, Німеччині та Швеції. Франція розпочала власне виробництво біодизелю з рапсової олії: у звичайне дизельне паливо додається 5 % біодизелю, а у дизельне паливо що використовується громадським транспортом 30 %. Тривають експерименти з використанням 50 % біодизелю. Тим часом, країни по всьому світу розпочинають розвивати власне виробництво: в 1998 Австрійський Біодизельний Інститут визначив 21 країну де є комерційні проекти з виробництва біодизелю.

В вересні 2005 Міннесота стала першим штатом у США в якому законодавчо встановлена норма відповідно до якої до-

зволено продаж лише дизельного палива вміст біодизелю в якому не менший 2 %.

На сьогоднішній день мільйони автомобілів в Європі працюють на біодизелі. Він використовується в чистому вигляді (B100) або, як суміш з нафтовим дизельним паливом. Чистий, без домішок біодизель може заливатись до баку будь-якого дизельного транспорту.

До переваг і недоліків даного палива можна віднести наступні:

- біодизель роз'їдає прокладки та трубки з натуральної гуми (переважно використовуються в двигунах виготовлених до 1992);

- вищий показник змащувальної здатності біодизелю порівняно зі звичайним дизельним паливом, що сприяє тривалішому «життю» форсунок;

- при використанні звичайного дизельного палива у двигуні та паливних трубках утворюється наліт. При переході на використання біодизелю цей наліт руйнується (так, як біодизель кращий розчинник ніж звичайне дизельне паливо) і засмічує паливні фільтри та інжектори. Тому при пробігу 1000...1500 км з моменту переходу на біодизель рекомендується заміна паливних фільтрів.

Порівняно зі звичайним дизелем біодизель має перевагу у тому, що при його згорянні виділяється тільки така кількість CO<sub>2</sub>, яку рослини взяли з атмосфери. У таблиці 8.2 приведені дані про кількість речовин, які виділяються при використанні 100 л звичайного дизельного палива і 100 л такої ж кількості біологічного [54].

Фінансовані виробниками нафтопродуктів провівши дослідження доводять, що для двигунів, звичайне дизельне паливо є кращим ніж біодизель. Але це заперечують незалежні організації, які помітили, що біодизель зменшує спрацювання двигуна.

Температура за якої чистий (B100) біодизель починає гуснути значно коливається і залежить від суміші ефірів, а ві-

дповідно і від сировини, що використовувалась для виробництва палива. Наприклад, біодизель, що виготовлений із певних різновидів канולי починає гуснути при  $-10^{\circ}\text{C}$ , а біодизель виготовлений з тваринних жирів стає гелеподібним при  $+16^{\circ}\text{C}$ . Взимку використовується низькотемпературний біодизель, що містить домішки котрі значно знижують температуру загуснення біодизелю.

Таблиця 8.2

Емісія речовин на 100 літрів палива [54]

| Показник   | Дизельне паливо | Біодизельне паливо |
|--|-----------------|--------------------|
| Видобуток нафти, вирощування ріпаку, виробництво палива, транспортування           |                 |                    |
| Витрати нафти, л   | 117             | 20                 |
| Виділення $\text{CO}_2$ , кг   | 38              | 45                 |
| Виділення шкідливих для оточуючого середовища газів (як еквівалент $\text{CO}_2$ ) | 15              | 11                 |
| Виділення $\text{SO}_2$ , кг   | 0,17            | 0,06               |
| спалювання   |                 |                    |
| Виділення $\text{CO}_2$ , кг   | 265             |                    |
| Виділення шкідливих для оточуючого середовища газів (як еквівалент $\text{CO}_2$ ) | 58              | 57                 |
| Виділення $\text{SO}_2$ , кг   | 0,33            | -                  |

Щодо України, то створення власної біодизельної галузі лише починається. Попри стрімке зростання, протягом останніх років, обсягів вирощеного ріпаку (основної сировини для виробництва біодизелю в Україні), левова його частина експортується в країни Європи, зважаючи на відсутність переробних потужностей в Україні.

Потенціал рослинної сільськогосподарської біомаси в Україні представлений у вигляді табл.8.3 та на рис.8.3 – рис.8.6 [35].

Таблиця 8.3

Потенціал рослинної сільськогосподарської  
біомаси в Україні [35]

| Область           | Біомаса зерново-бобових культур, тис. МВт год/рік | Біомаса соняшника, тис. МВт год/рік | Рослинні відходи кукурудзи, тис. МВт год/рік | Рослинні відходи овочів відкрито-го і закрито-го ґрунту, тис. МВт год/рік |
|-------------------|---|-------------------------------------|--|---|
| Вінницька         | 2400  | 1197                                | 2780   | 440   |
| Волинська         | 200   | 0                                   | 170  | 200   |
| Дніпропетровська  | 1040  | 6232                                | 5940   | 820   |
| Донецька          | 360   | 5244                                | 3330   | 1060  |
| Житомирська       | 470   | 3                                   | 320  | 300   |
| Закарпатська      | 70  | 23                                  | 710  | 210   |
| Запорізька        | 660   | 5720                                | 3180   | 580   |
| Івано-Франківська | 150   | 0                                   | 360  | 190   |
| Київська          | 1140  | 88                                  | 1530   | 910   |
| Кіровоградська    | 950   | 4346                                | 3580   | 310   |
| Луганська         | 820   | 4320                                | 2090   | 570   |
| Львівська         | 170   | 0                                   | 270  | 310   |
| Миколаївська      | 740   | 3598                                | 1470   | 490   |
| Одеська           | 1160  | 4484                                | 3560   | 850   |
| Полтавська        | 1830  | 2843                                | 3660   | 500   |
| Рівненська        | 200   | 0                                   | 310  | 230   |
| Сумська           | 1120  | 488                                 | 1290   | 330   |
| Тернопільська     | 1110  | 0                                   | 670  | 240   |
| Харківська        | 1210  | 4466                                | 2990   | 580   |
| Херсонська        | 570   | 2260                                | 2300   | 700   |
| Хмельницька       | 1480  | 6                                   | 2490   | 330   |
| Черкаська         | 1740  | 1466                                | 3550   | 600   |
| Чернівецька       | 290   | 7                                   | 1490   | 230   |
| Чернігівська      | 700   | 71                                  | 950  | 360   |
| АР Крим           | 130   | 1102                                | 960  | 730   |
| <b>Всього</b>     | <b>21110</b>                                      | <b>47964</b>                        | <b>49950</b>                                 | <b>12070</b>  |

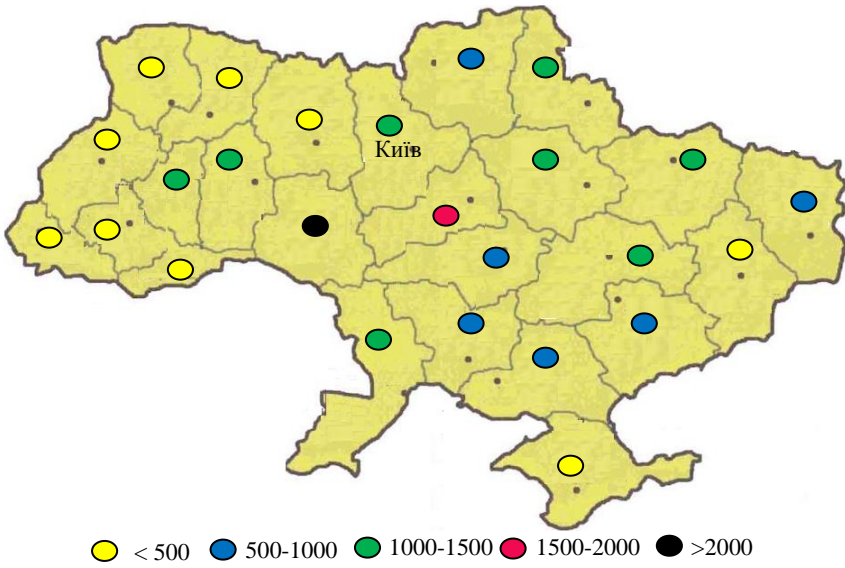


Рис.8.3. Потенціал біомаси зерново-бобових культур, тис.МВт год/рік

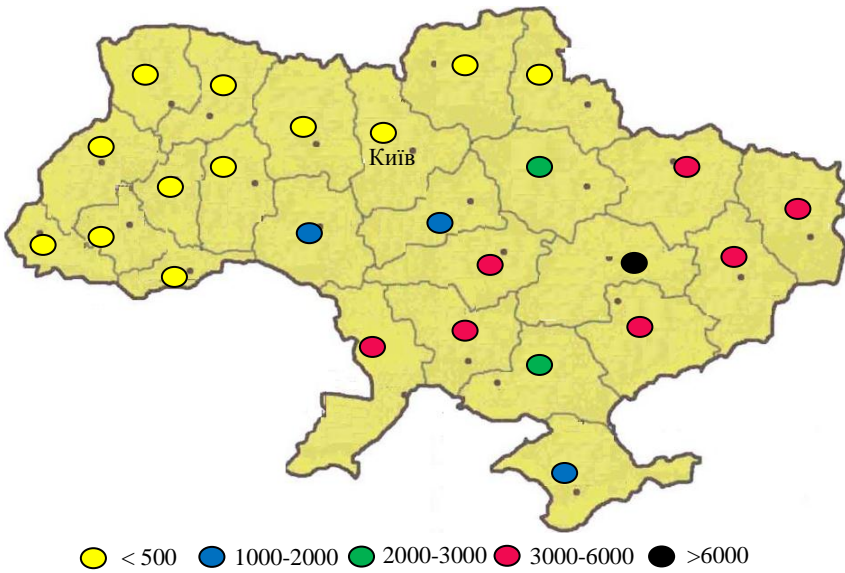


Рис.8.4. Потенціал біомаси соняшника, тис. МВт год/рік

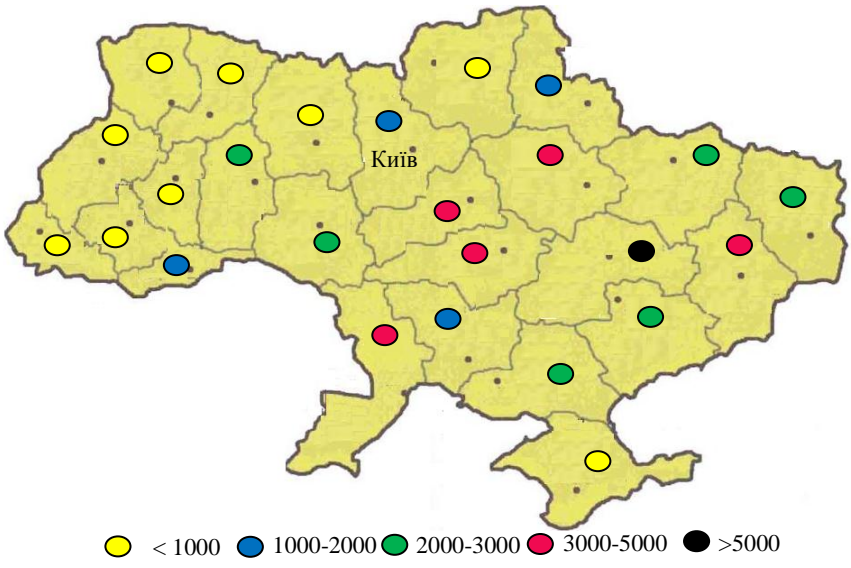


Рис.8.5. Потенціал біомаси відходів кукурудзи, тис. МВт год/рік

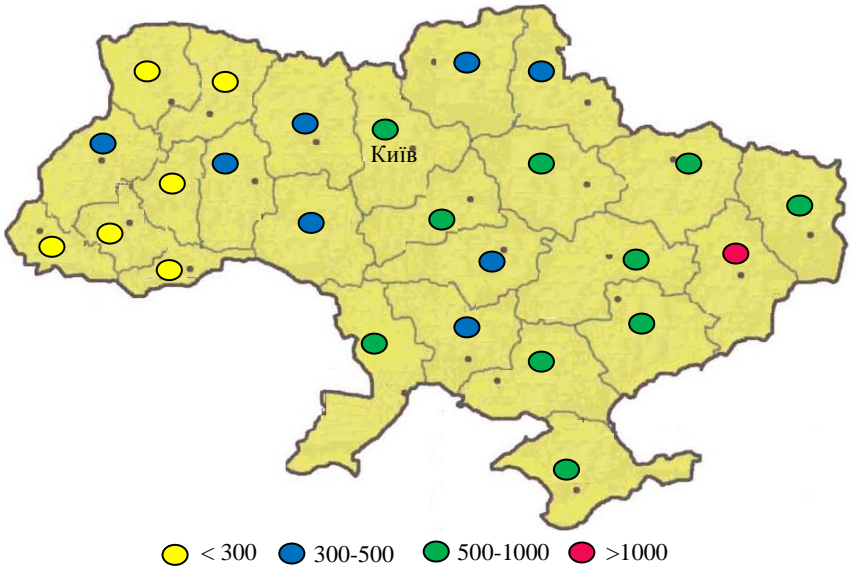


Рис.8.6. Потенціал біомаси відходів овочів, тис. МВт год/рік

Щодо твердого біопалива, то воно у своєму початковому вигляді добре знайоме і нам, і нашим предкам, тому, що це ніщо інше, як дрова, що служили людству впродовж тисячоліть. Дрова використовуються і до цих пір, з тією лише різницею, що тепер вони не є єдиним біопаливом подібного роду.

Найбільший розвиток на сьогоднішній день отримало виробництво гранульованого і пресованого біопалива (відповідно, паливних пеллет і брикетів).

Технологія їх виробництва є надзвичайно простою. Спочатку сировина поступає в дробарку, де подрібнюються до стану муки. Далі отримана маса відправляється в сушарку, а із неї в прес-гранулятор, де деревну муку пресують у пеллети. На виробництво однієї тонни пеллет йде 4..5 кубометри деревних відходів.

Отримані таким способом пеллети і брикети використовуються для тепло/енергозбереження житлових та комунальних приміщень, а також у камінах і кахельних печах.

До переваг пеллет слід віднести: високу теплотворну здатність, порівняно із тріскою чи дровами; екологічно чисте паливо із вмістом золи не більше 3 %.

При спалюванні пеллет в атмосферу викидається рівно стільки CO<sub>2</sub>, скільки було поглинуто рослиною під час росту.

Це найбільш ефективний вид твердого біопалива з погляду транспортування і зберігання, можливості автоматизації спалювання і стандартизації біопалива. Сировиною для виробництва пеллет можуть бути всі деревні відходи, а також відходи сільського господарства: солома, лушпиння соняшника.

Енергетичний потенціал відходів лісу в Україні представлений у вигляді табл.8.4 та на рис.8.7 [35].

У якості твердого біопалива також може бути застосована солома. На сьогодні світовим лідером із використання соломи в енергетичних цілях є Данія, де знаходиться в експлуатації біля 8000 фермерських установок, потужністю 0,1...1,0 МВт, які споживають за рік 390 тис. т соломи і виробляють 5,6 ПДж енергії.

Таблиця 8.4

## Енергетичний потенціал відходів лісу в Україні [35]

| Область            | Середній об'єм відходів для використання у вигляді палива, тис. м <sup>3</sup> /рік | Енергозбереження відходів для використання у вигляді палива, тис.т у.п/рік |
|--------------------|---|--|
| Вінницька          | 36,6  | 7,1  |
| Волинська          | 7,4   | 15,2   |
| Дніпропетровська   | 0   | 0  |
| Донецька           | 0   | 0  |
| Житомирська        | 65,7  | 12,9   |
| Закарпатська       | 0   | 0  |
| Запорізька         | 0   | 0  |
| Івано- Франківська | 12,5  | 2,4  |
| Київська           | 69,4  | 13,6   |
| Кіровоградська     | 0   | 0  |
| Луганська          | 0   | 0  |
| Львівська          | 47,3  | 9,3  |
| Миколаївська       | 0   | 0  |
| Одеська            | 0   | 0  |
| Полтавська         | 0   | 0  |
| Рівненська         | 111   | 21,8   |
| Сумська            | 30,5  | 6  |
| Тернопільська      | 22,9  | 4,5  |
| Харківська         | 0   | 0  |
| Херсонська         | 0   | 0  |
| Хмельницька        | 28,5  | 5,6  |
| Черкаська          | 24,8  | 4,9  |
| Чернівецька        | 20,8  | 2,1  |
| Чернігівська       | 48,2  | 9,5  |
| АР Крим            | 0   | 0  |
| <b>Всього</b>      | <b>585,4</b>  | <b>114,9</b>   |



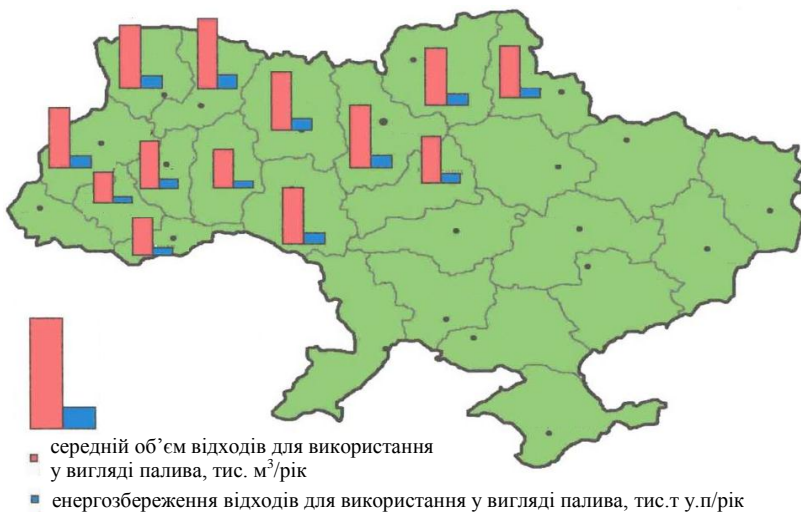


Рис.8.7. Потенціал рослинної сільськогосподарської біомаси в Україні

Крім цього, в Данії експлуатується 62 теплових і 9 теплоелектричних станцій, які споживають 540 тис. т соломи щорічно. З метою отримання теплової енергії солону в Європі використовують Австрія, Швеція, Фінляндія, Франція, Чехія та інші країни.

В Україні надлишок соломи та стебел усіх культур складає 21,1 млн. т. Однак, використання біомаси в енергетичних цілях проходить тільки своє становлення. За останній час виконано декілька демонстраційних проектів у області біоенергетики. Установки, впроваджені в рамках цих проектів, є першим сучасним великомасштабним біоенергетичним обладнанням у нашій країні. Зокрема це результат технічної допомоги з боку Голландії. За їх сприяння у нас встановлено два парових котли: потужністю 5 МВт на підприємстві з виробництва клеєної фанери "ОДЕК Україна" в смт. Оржів Рівненської області; потужністю 1,5 МВт — у Малинському держлісгосп-технікумі Житомирської області. Також успішно виконаний датсько-український проект технічної допомоги, в рамках якого в с. Дрозди Київської області встановлений і введений в

експлуатацію котел потужністю 980 кВт для спалювання со-  
ломи [54].

На подвір'ї будь-якого сільського господарства можна ви-  
користовувати не лише енергію вітру, сонця але і біогаз.

**Біогаз** – газоподібне паливо, продукт анаеробного мікробі-  
ологічного розкладу органічних речовин. Біогаз отримують у  
процесі анаеробної (без доступу повітря) ферментації (розкла-  
ду) органічних речовин (біомаси) різного походження: пта-  
шиний послід, листя, солома та інші органічні відходи. Таким  
чином, біогаз можна виробляти із усіх господарсько-  
побутових відходів, що мають здатність бродити та розклада-  
тись у рідкому чи твердому стані без доступу кисню. Анаеро-  
бні установки дають можливість переробляти будь-яку орга-  
нічну масу при перебігу процесу у дві фази: розклад органіч-  
ної маси (гідротация) та її газифікація.

Застосування органічної маси, що пройшла процес мікробі-  
ологічного розкладу у біогазових установках, підвищує родю-  
чість ґрунтів та врожайність різних культур на 10...50%.

Біогаз, що виділяється у процесі складного бродіння орга-  
нічних відходів, складається із суміші газів: метану –  
55...75%, вуглекислого газу – 23...33%, сірководню – 7%.  
Бродіння метану – бактеріальний процес. Головною умовою  
його протікання та утворення біогазу є наявність у біомасі те-  
пла без доступу повітря. Для цього створюються спеціальні  
ферментатори. Основною органічною сировиною, що заван-  
тажується у ферментатор є гній.

Протягом першого етапу завантаження у ферментатор гною  
великої рогатої худоби, тривалість процесу ферментації по-  
винна бути 20 діб, свинного гною – 30 діб. Експерименталь-  
ним шляхом встановлено, що при завантаженні різних органі-  
чних компонентів отримується більша кількість газу. Напри-  
клад при одночасному завантаженні гною великої рогатої ху-  
доби і пташиного посліду, у біогазі може міститись до 70%  
метану, що значно підвищує ефективність біогазу як палива.  
Після того, як процес бродіння стабілізується, сировину необ-

хідно загрузжати у ферментатор щоденно але не більше за 10% від загальної маси, що знаходиться в ньому. Рекомендована вологість сировини літом повинна бути у межах 92...95%, а зимою – 88...90%.

Разом із виробництвом газу, у ферментаторі здійснюється знезаражування органічних відходів від патогенної мікрофлори та дезодорація неприємних запахів. Отриманий таким чином коричневий осад періодично вигружується із ферментатора та використовується у якості добрива.

Для підігріву перероблюваної маси застосовують тепло, що виділяється при її розкладанні у біоферментаторі. При пониженні температури у ферментаторі знижується інтенсивність газовиділення внаслідок того, що процеси в органічній масі уповільнюються. Тому, теплоізоляція біогазової установки є однією із найважливіших умов її нормальної роботи.

Для забезпечення необхідного режиму ферментації, рекомендується змішувати гній з гарячою водою (35...45 °С). Також потрібно звести до мінімуму втрати тепла при дозаправці та очищенні ферментатора. Досить часто для кращого обігріву ферментатора над його куполом встановлюють дерев'яний чи легкий металічний каркас, який покривають поліетеленовою плівкою. Найкращі результати отримують при температурі бродіння сировини 30...32 °С та вологості 90...95 °С. Щодо півдня України, то там дані установки можуть ефективно працювати без додаткового підігріву органічної маси. У центральній і північній частині України частину отриманого газу необхідно витратити в холодні періоди року на додатковий підігрів маси, що значно ускладнює конструкцію біогазових установок.

При ферментації посліду від однієї тварини за добу можна отримати: 1,5 м<sup>3</sup> біогазу від великої рогатої худоби вагою 500...600 кг; 0,2 м<sup>3</sup> від однієї свині вагою 80...100 кг; 0,015 м<sup>3</sup> з однієї курки чи кроля.

За одну добу ферментації із посліду великої рогатої худоби утворюється 36% біогазу, а свинного – 57%. За кількістю еле-

ктроенергії  $1 \text{ м}^3$  біогазу еквівалентний  $1,05 \text{ кг}$  кам'яного вугілля,  $0,6 \text{ кг}$  керосину та  $3,5 \text{ кг}$  дров.

Найпростіша схема біогазової установки, яку можна побудувати на території фермерського господарства представлена на рис.8.8.

Згідно даних представлених на рис.8.5, спочатку створюють яму *1* та купол *3*. Яму облицьовують залізобетонними плитами товщиною  $10 \text{ см}$ , які штукатурять цементним розчином та для герметичності покривають смолою. Далі створюють купол висотою  $3 \text{ м}$ , у верхній частині якого буде збиратись біогаз. Для захисту від корозії купол періодично фарбують двома шарами масляної фарби.

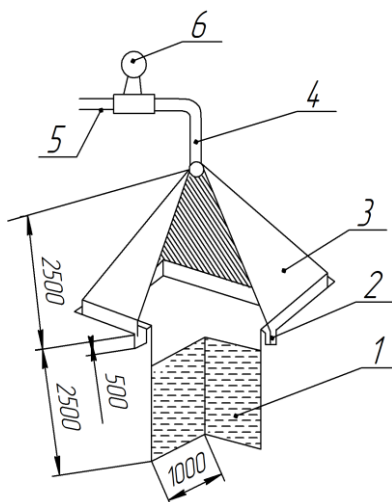


Рис.8.8. Схема біогазової установки з пірамідальним куполом:  
1- яма для гною; 2 – канавка-гідрозатвор; 3 – купол для збору газу;  
4,5 – патрубок для відведення газу; 6 - манометр

У верхній частині купола встановлюють патрубок *4* для відведення біогазу і манометр *5* для вимірювання тиску. Газовідвідний патрубок *6* можна виготовляти із резинового шлангу, пластмасової чи металеві труби. Навколо ями-ферментатора

створюють канавку-гідрозатвор 2 (заповнена водою), у яку встановлюють нижній борт купола.

Подавати газ до кухонної плити можна металевими, пластмасовими чи резиновими трубками. Зимом, з метою запобігання розриву трубок внаслідок конденсуємої в них води, застосовують пристрій, що зображений на рис.8.9.

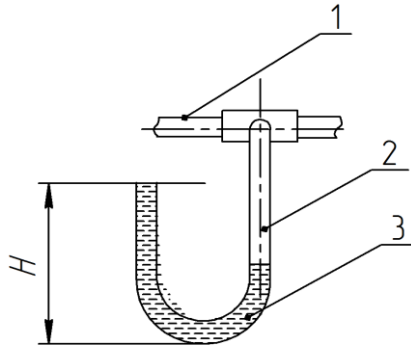


Рис.8.9. Пристрій для відведення конденсату:

- 1 – трубопровід для відведення газу; 2 - U- подібна труба для конденсату;  
3 - конденсат

U- подібну трубку 2 приєднують до трубопроводу 1 у самій нижній точці. Висота її вільної частини повинна бути більшою за тиск біогазу (у мм.вод.ст). Далі конденсат 3 змивається через вільний кінець трубки.

Інший варіант біогазової установки представлений на рис.8.10.

Яму 5 діаметром 4 м і глибиною 2 м обкладують зсередини листовою сталлю. Внутрішню поверхню резервуару покривають смолою для антикорозійного захисту. Із зовнішньої сторони верхньої кромки резервуару із бетону створюють кільцеву канавку 4 глибиною до 1 м, яку заповнюють водою. У неї встановлюють вертикальну частину купола 2, що закриває резервуар. Таким чином канавка із залитою в неї водою служить гідрозатвором. Біогаз збирається у верхній частині купола,

звідки через випускний патрубок 1 та через трубопровід 3 подається до місця використання.

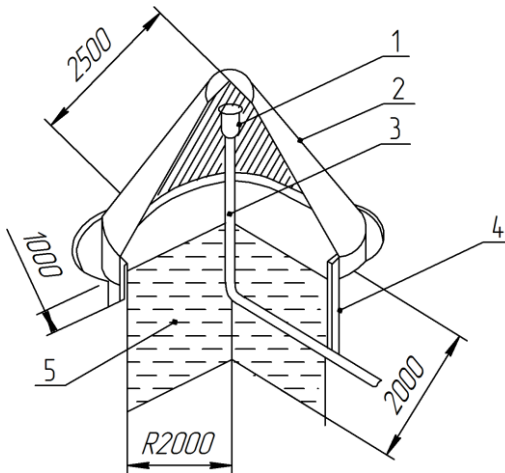


Рис.8.10. Схема біогазової установки з конічним куполом:  
 1 – розширена частина патрубку; 2 - купол; 3 – труба для відведення газу;  
 4 - канавка-гідрозатвор; 5 - яма для гною

У круглий резервуар 5 завантажується близько  $12 \text{ м}^3$  органічної маси, яка заливається рідкою фракцією гною без добавляння води. Через тиждень після заповнення ферментатор починає працювати. Установка ємністю  $12 \text{ м}^3$  може покрити потреби у газі 2...3 сімей.

Конструктивно-технологічні схеми простих малогабаритних біогазових установок приведені на рис.8.8. Стрілками позначені технологічні приміщення органічної маси, газу та мулу. Конструктивно купол може бути жорстким чи виготовленим із поліетиленової плівки. Жорсткий купол можна виготовляти із довгою циліндричною частиною для глибокого занурення у масу, що переробляється (рис.8.11, а) або вставляти у гідрозатвор (рис.8.11, б). Купол із плівки можна вставляти у гідрозатвор (рис.8.11, в) або виготовляти у вигляді суцільно склеєного мішка (рис.8.11, г). В останній схемі на мішок із

плівки укладають вантаж 9, щоб запобігти роздуванню останнього та створення необхідного тиску.

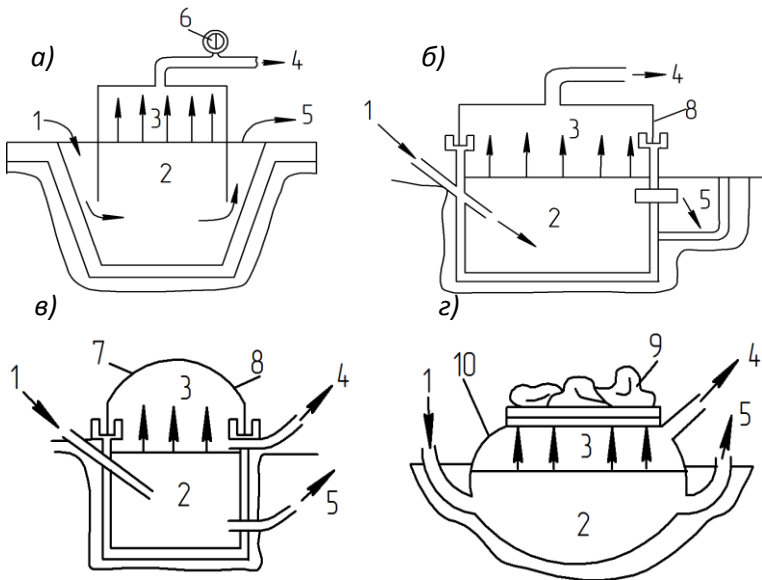


Рис.8.11. Конструктивно-технологічні схеми біогазових установок:

- 1 – подача органічних відходів; 2 – ємність для органічних відходів;  
 3 – місце для збирання газу під куполом; 4 – патрубок для відведення газу;  
 5 – відведення мулу; 6 – манометр; 7 – купол із поліетиленової плівки;  
 8 – водяний затвор; 9 – вантаж; 10 – суцільно склесений поліетиленовий мішок

Газ, що збирається під плівкою, поступає по газопроводу до місця використання. З метою запобігання вибуху газу на випускному клапані можна встановити клапан, який відрегульований на певний тиск. Однак, ймовірність вибуху газу є малоюмовірною, оскільки при значному тиску купол буде піднятий у гідравлічному затворі на критичну висоту та відкриється, випустивши при цьому газ.

Вироблення біогазу у ферментаторі може знизитись внаслідок утворення на поверхні органічної сировини кірки. Для того, щоб вона не перешкождала виходу газу, її розбивають, по-

стійно перемішуючи масу. Перемішування здійснюють вручну або шляхом приєднання вил до поверхні купола. Так, при накопиченні газу купол буде підніматись вгору у гідравлічному затворі на певну висоту, а при його зниженні він буде опускаться. Завдяки систематичному рухові купола зверху-вниз, з'єднані з куполом вила будуть руйнувати утворену кірку.

Висока вологість на наявність сірководню (до 0,5%) сприяють корозії металевих частин біогазових установок. Тому стан усіх металевих елементів ферментатора регулярно контролюють, а пошкоджені місця ретельно захищають.

На рис.8.12 представлено біогазову установку, яка здійснює підігрів біомаси. Дана установка включає металеву ємність 4 із горловиною 3, зливний кран 9, механічний змішувач 5 і патрубок для відбору біогазу 6.

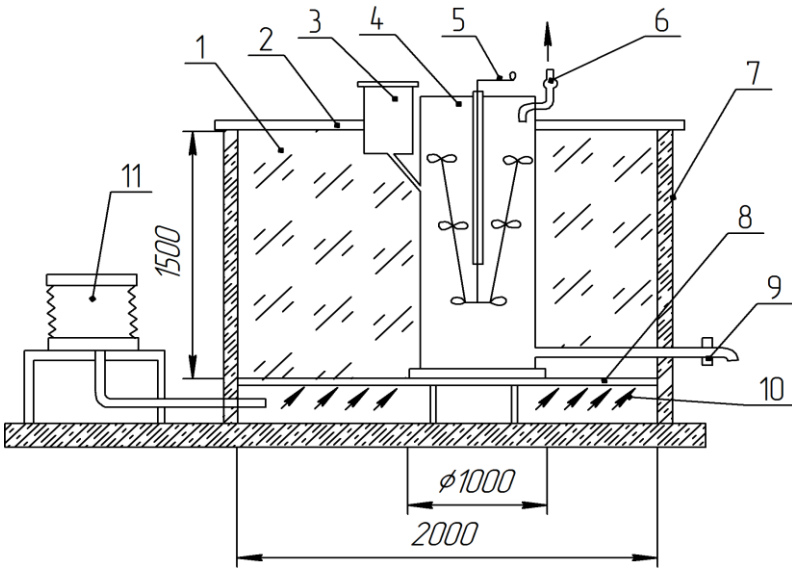


Рис.8.12. Схема біогазової установки з підігрівом:

- 1 – ферментатор; 2 – дерев'яний щит; 3 – залівна горловина;
- 4 – ємність для збору метану; 5 – змішувач; 6 – патрубок для відбору біогазу; 7 – теплоізоляційний шар; 8 – решітка; 9 – зливний кран для відпрацьованої маси; 10 – канал для подачі повітря;
- 11 – пристрій для подачі повітря



Ферментатор прямокутної форми 1 можна зробити із дерева. Дно повинно мати решітку для того, щоб через технологічний канал 10 повітря потрапляло всередину маси. Зверху ферментатор закривається дерев'яними щитами 2. З метою запобігання втрат тепла, стінки та днище виготовляють із термоізоляційним шаром 7.

Дана установка працює наступним чином. У ємність 4 через горловину 3 заливають попередньо приготовлений рідкий гній вологістю 88...92%. Анаеробний ферментатор 1 через верх заповнюють сумішшю гною із соломою чи тирсою вологістю 65...69%. Внаслідок подачі повітря через технологічний канал у ферментаторі починає розкладатись органічна маса та відбувається виділення тепла. Цього тепла цілком достатньо для підігріву цілої ємності. У результаті розкладу органічної маси починає виділятися біогаз, який накопичується у верхній частині ємності. Далі отриманий газ через патрубок 6 подається для побутових потреб. У процесі бродіння гній у ємності постійно перемішується змішувачем 5. Термін окупності такої установки становить один рік.

Сумарний річний потенціал тваринницької сільськогосподарської біомаси в Україні представлений у табл.8.5 та на рис.8.13 і рис.8.14 [35].

До газоподібних біопалив відносять і біоводень.

**Біоводень** - газоподібний різновид біопалива, який одержується разом із біобутанолом шляхом бутилового або ацетонобутилового зброджування сільськогосподарських рослин.

Методом бутилового бродіння сахарози або крохмалю з 1 тонни меляси можна одержати до 140 м<sup>3</sup> водню, із 1 т стебел солодкого сорго — 50 м<sup>3</sup> та 1 т картоплі — 42 м<sup>3</sup>. При ацетонбутиловому зброджуванні з 1 т картоплі одержують 25 м<sup>3</sup> водню, тоді як 1 т стебел солодкого сорго дає 30 м<sup>3</sup>.

Біоводень можна одержувати термомеханічним способом з відходів деревини, однак собівартість даного методу поки надто висока [55].

Таблиця 8.5

## Сумарний річний потенціал тваринницької сільськогосподарської біомаси в Україні [35]

| Область           | Кількість<br>гною,<br>млн. т/рік | Вихід біо-<br>газу,<br>млн.<br>м <sup>3</sup> /рік | Заміщення<br>органічного<br>палива,<br>т у.п./рік |
|-------------------|----------------------------------|--|---|
| Вінницька         | 17,9                             | 891  | 713   |
| Волинська         | 11,0                             | 527  | 422   |
| Дніпропетровська  | 20,8                             | 110  | 880   |
| Донецька          | 15,3                             | 794  | 635   |
| Житомирська       | 15,1                             | 725  | 580   |
| Закарпатська      | 4,7                              | 243  | 194   |
| Запорізька        | 15,4                             | 771  | 617   |
| Кіровоградська    | 11,8                             | 589  | 471   |
| Київська          | 16,8                             | 864  | 692   |
| Івано-Франківська | 7,3                              | 358  | 287   |
| Луганська         | 11,4                             | 557  | 454   |
| Львівська         | 13,5                             | 665  | 532   |
| Миколаївська      | 10,5                             | 518  | 414   |
| Одеська           | 14,1                             | 733  | 587   |
| Полтавська        | 17,5                             | 868  | 694   |
| Рівненська        | 10,4                             | 498  | 398   |
| Сумська           | 13,0                             | 640  | 512   |
| Тернопільська     | 11,6                             | 561  | 449   |
| Харківська        | 18,1                             | 906  | 725   |
| Херсонська        | 12,7                             | 627  | 501   |
| Хмельницька       | 16,5                             | 790  | 632   |
| Черкаська         | 13,6                             | 682  | 545   |
| Чернівецька       | 6,1                              | 304  | 243   |
| Чернігівська      | 17,7                             | 856  | 685   |
| АР Крим           | 12,3                             | 639  | 511   |
| <b>Всього</b>     | <b>335,1</b>                     | <b>16706</b>                                       | <b>13373</b>                                      |

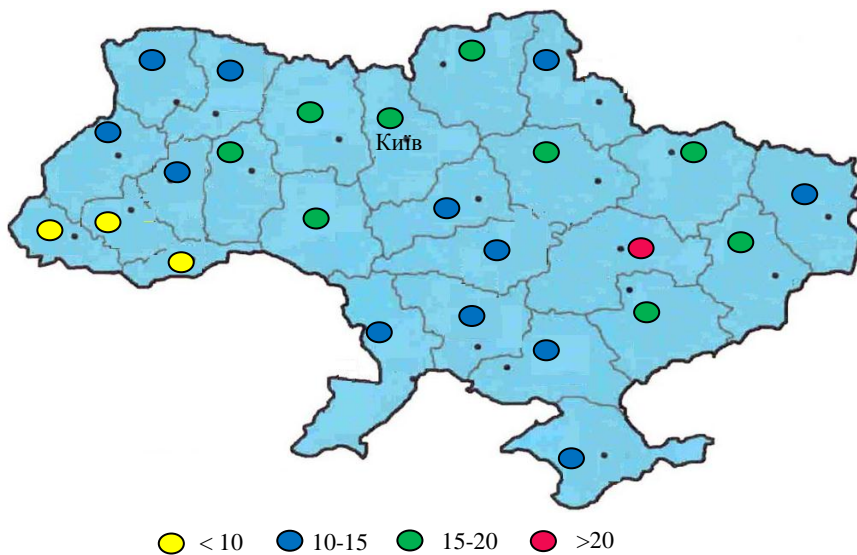


Рис.8.13. Річний потенціал кількості гною, млн. т/рік

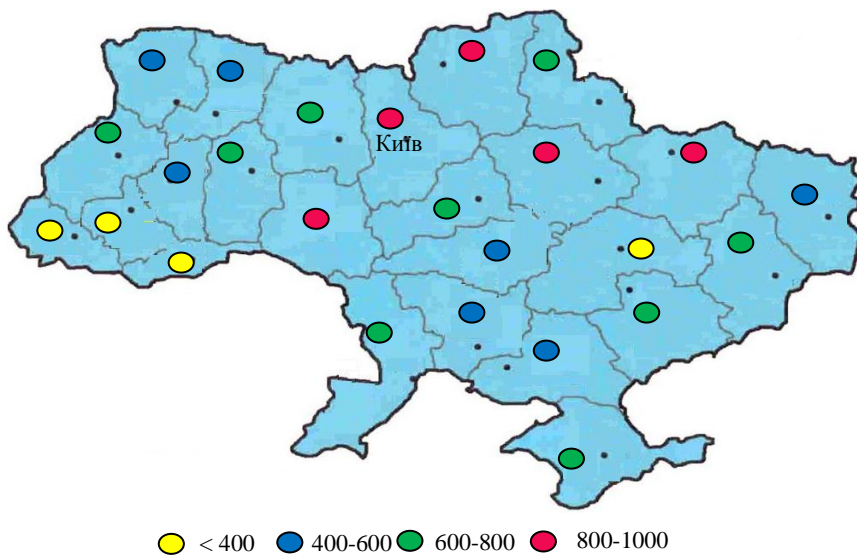


Рис.8.14. Річний потенціал виходу біогазу, млн. м<sup>3</sup>/рік

Застосування водню на транспорті й в енергетиці в даний час обмежено відсутністю розвинутої інфраструктури, тому поки що створюються лише концептуальні моделі водневих автомобілів і техніки, що працює на паливних водневих елементах.

Ускладнюють можливість використання водню як палива також проблеми безпеки: водень може створювати з повітрям вибухонебезпечну суміш гримучий газ; зріджений водень має виняткові проникаючі властивості, вимагаючи застосування особливих матеріалів.

Однак, за екологічними параметрами безпеки, водню немає рівних. Реакція розкладання водню  $\text{H}_2 + 0,5\text{O}_2 = \text{H}_2\text{O}$  супроводжується виділенням великої кількості енергії (285,8 кДж/моль). При цьому не відбувається ніякого забруднення атмосфери, тому що в результаті реакції утворюються тільки пари води.

Отже, на основі вищеприведеного матеріалу, енергетична ефективність біоенергетики в Україні достатньо висока для того, щоб виділити її в окремий напрям енергетичного господарства; у нашій країні існує достатній енергетичний потенціал практично всіх видів біомаси і необхідна науково-технічна та промислова база для розвитку даної галузі енергетики.

## РОЗДІЛ 9 ЕНЕРГІЯ РІК

Гідроенергетика є одним із найбільш поширених джерел відновлювальної енергетики. На сьогоднішній день, кількість електроенергії, яка виробляється гідротурбінами у світі становить 20%, причому цей відсоток постійно зростає.

Розрізняють такі гідроенергетичні ресурси: потенціальні, технічно можливі для використання на даному рівні розвитку науки і техніки, а також економічно доцільні для використання.

Потенціальні гідроенергетичні ресурси України дорівнюють – 44,7 млрд.кВт·год. З цієї кількості на технічно можливі для використання гідроресурси припадає 21,5 млрд. кВт·год (з них 46 % – на басейн Дніпра, по 20 % – на басейни Дністра і Тиси, 14 % – на всі інші річки країни). Економічно доцільні для використання гідроенергетичні ресурси становлять 16 млрд. кВт·год. З цієї кількості припадає (млрд.кВт·год): на басейн Дніпра – 9,8; Тиси – 3,5; Дністра – 2,7.

Об'єм та якість гідроенергетичних ресурсів залежать від характеру стоку річок. Для сезонного і багаторічного регулювання стоку на річках створюють греблі та великі водосховища.

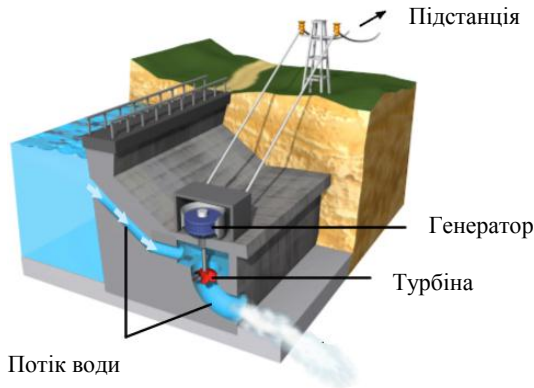


Рис.9.1. Схема ГЕС

Сучасні греблі бувають бетонні, наливні, насипні та кам'яно-накидні.

На гідропорудах встановлюються два основні типи турбін:

- реактивні турбіни;
- імпульсні турбіни.

Реактивні турбіни повністю занурені у воду або працюють внаслідок зміни водного тиску. Імпульсні турбіни – наполовину занурені у воду і приводяться у дію внаслідок струму води, який обертає лопаті турбіни.

Потужність, яку виробляють потоки (струмені) води, розраховується за наступною формулою:

$$P = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot Q, \quad (9.1)$$

де  $P$  – потужність (Вт);  $\eta$  – ефективність турбіни;  $\rho$  – густина води;  $g$  – прискорення вільного падіння ( $9,8 \text{ м/с}^2$ );  $h$  – різниця висот водної поверхні;  $Q$  – витрата води ( $\text{м}^3/\text{с}$ ).

Розрізняють наступні види реактивних водних турбін (повністю занурених і працюючих внаслідок тиску та кінетичної енергії води):

- радіально-осьові (Francis). У робочому колесі турбін даного типу, потік води рухається спочатку радіально (до центру), а потім в осьовому напрямку (до виходу), рис.9.2;

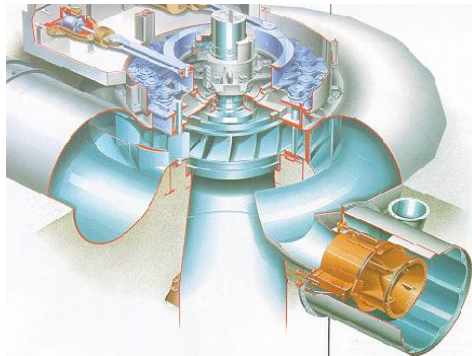
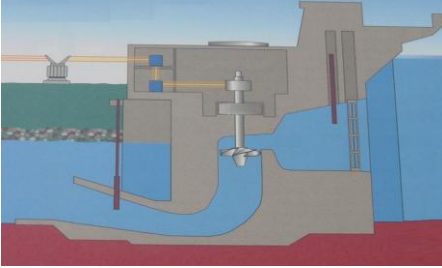


Рис.9.2. Радіально-осьова турбіна з генератором (Francis)

- поворотно-лопатеві (Карпан). Лопаті даної турбіни обертаються навколо своєї осі. Вісь турбіни може бути як вертикальною, так і горизонтальною (рис.9.3);
- турбіни Горлова (рис.9.4).

а) вертикальне розміщення турбіни



б) горизонтальне розміщення турбіни

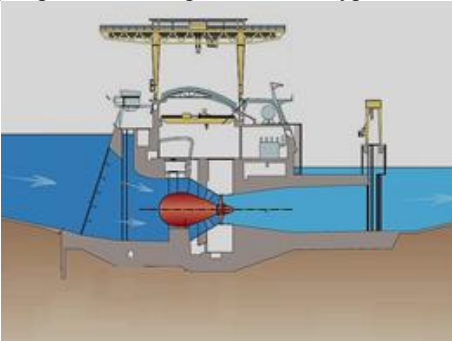


Рис.9.3. Поворотно-лопатеві турбіни (Карпан)



Рис.9.4. Турбіна Горлова

Реактивні типи турбін ефективно працюють при малому і середньому напорах води.

Щодо імпульсних турбін (частково занурених у воду), то вони поділяються на:

- ковшові (струминно-ковшеві, Pelton), (рис.9.5);
- турбіни Турго (Turgo), (рис.9.6);
- турбіни Банки (Banki) встановлюють впоперек водного потоку (рис.9.7).

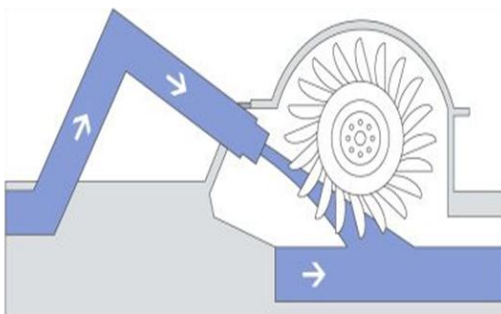


Рис.9.5. Ковшова турбіна, Pelton

Імпульсні турбіни найкраще працюють при високих напорах води. Діапазон роботи вище представлених реактивних і імпульсних турбін представлено у табл.9.1.



Рис.9.6. Турбіна Турго, Turgo





Рис.9.7. Турбіна Банки, Banki

Імпульсні турбіни найкраще працюють при високих напорах води. Діапазон роботи вище представлених реакційних і імпульсних турбін представлено у табл.9.1.

Таблиця 9.1

Характеристики турбін

| Назва турбіни | Діапазон роботи |
|---------------|-----------------|
| Карпан        | $2 < h < 40$    |
| Francis       | $10 < h < 350$  |
| Pelton        | $50 < h < 1300$ |
| Turgo         | $50 < h < 250$  |

Вибір турбіни як правило залежить від величини  $h$  і значно менше від  $Q$ . Турбіни типу Карпан застосовуються у широкому діапазоні значень  $h$  і  $Q$ . Малі турбіни (до 10 МВт) зазвичай розміщують горизонтально, а великі турбіни типу Francis і Карпан мають вертикальне розміщення. На рис.9.8 представлено графіки діапазонів роботи різних типів гідротурбін.

Щодо України, то тут налічується понад 63 тисячі малих рік й водотоків загальною довжиною 135,8 тисяч км, з них близько 60 тисяч (95%) – дуже малі (довжина менше 10 км), їх сумарна довжина – 112 тисяч км, тобто середня довжина такого водотоку – 1,9 км. Більшість малих рік довжиною менше 10 км мають площу водозбору від 20,1 до 500 км<sup>2</sup> (87% усієї кількості та 72% всієї довжини малих рік України). Малих рік із

площею водозбору від 50,1 до 100 км<sup>2</sup> налічується 890 (28% усієї кількості), а 797 річок (25%) мають площу водозбору 20,1...50 км<sup>2</sup>.

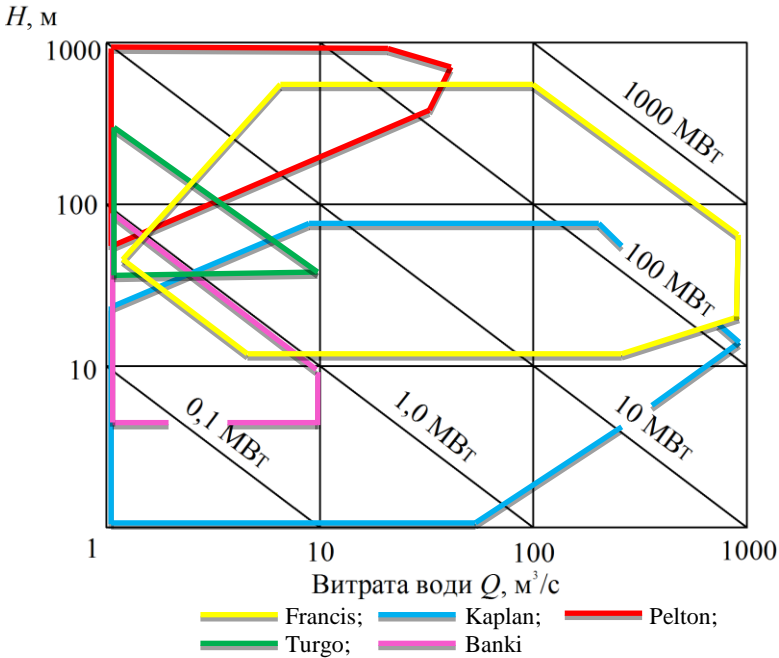


Рис.9.8. Діапазони роботи турбін

Основною їх гідрологічною характеристикою є середній багаторічний стік, або норма річного стоку. Найбільша водоносність притаманна рікам Карпат, стік яких значною мірою залежить від висоти басейну. При використанні енергетичних ресурсів малих річок велике значення має стан льодоставу на річках взимку. Це особливо важливо для міні-ГЕС, які використовують кінетичну енергію потоку річок.

Гідроенергетичний потенціал малих рік України представлений на рис.9.9 у та табл.9.2 [35].

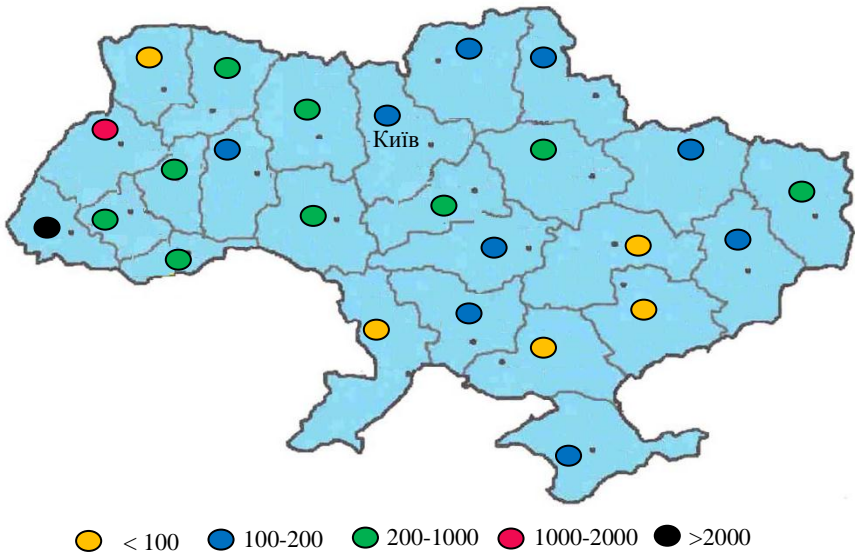


Рис.9.9. Річний технічний гідро-енергетичний потенціал малих рік України, млн. кВт год/рік

Таблиця 9.2

Гідроенергетичний потенціал малих рік України [35]

| Область          | Загальний потенціал, млн. кВт год/рік | Технічний потенціал, млн. кВт год/рік | Доцільно-економічний потенціал, млн. кВт год/рік |
|------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|
| 1                | 2                                     | 3                                     | 4  |
| Вінницька        | 360                                   | 238                                   | 108  |
| Волинська        | 115                                   | 76                                    | 35   |
| Дніпропетровська | 101                                   | 67                                    | 30   |
| Донецька         | 189                                   | 125                                   | 57   |
| Житомирська      | 336                                   | 222                                   | 101  |
| Закарпатська     | 4532                                  | 2991                                  | 1357   |
| Запорізька       | 51                                    | 33                                    | 15   |
| Кіровоградська   | 170                                   | 112                                   | 51   |

Продовження табл.9.2

| 1                 | 2            | 3           | 4           |
|-------------------|--------------|-------------|-------------|
| Київська          | 200          | 132         | 60          |
| Івано-Франківська | 399          | 263         | 120         |
| Луганська         | 436          | 288         | 131         |
| Львівська         | 1814         | 1197        | 544         |
| Миколаївська      | 157          | 104         | 47          |
| Одеська           | 38           | 25          | 11          |
| Полтавська        | 396          | 261         | 119         |
| Рівненська        | 304          | 201         | 91          |
| Сумська           | 298          | 197         | 89          |
| Тернопільська     | 427          | 282         | 128         |
| Харківська        | 268          | 177         | 80          |
| Херсонська        | 2            | 2           | 1           |
| Хмельницька       | 304          | 200         | 91          |
| Черкаська         | 331          | 219         | 99          |
| Чернівецька       | 884          | 583         | 265         |
| Чернігівська      | 178          | 118         | 54          |
| АР Крим           | 211          | 139         | 63          |
| <b>Всього</b>     | <b>12501</b> | <b>8252</b> | <b>3747</b> |

З початку 20-х років в Україні налічувалося 84 гідроелектростанції загальною потужністю 4000 кВт, а наприкінці 1929 року - уже 150 станцій загальною потужністю 8400 кВт. У повоєнний період електрифікація сільського господарства теж ґрунтувалася на збільшенні потужностей і поліпшенні техніко-економічних показників малих електростанцій. На початку 50-х років кількість побудованих малих гідроелектростанцій в Україні досягла 956 із загальною потужністю 30 тис. кВт.

Однак, через розвиток централізованого електропостачання та стійку тенденцію до концентрації виробництва електроенергії на потужних тепло- і гідроелектростанціях будівництво малих ГЕС було зупинено. Почалася їх консервація, демонтаж, сотні малих ГЕС були зруйновані (рис.9.10, рис.9.11).



Рис.9.10. Машинна зала Велико-Сорочинської малої гідроелектростанції, с. Кам'яний Брід (340 кВт)



Рис.9.11. Будівля малої гідроелектростанції в с. Кам'яний Брід

Нині в Україні збереглося лише 48 малих гідроелектростанцій, більшість з яких потребує реконструкції. До них належать такі порівняно потужні станції, як Гайворонська, Кор-

сунь-Шевченківська, Стеблівська тощо. Мала енергетика України, маючи незначну питому вагу (0,2%) у загальному енергобалансі, не може істотно впливати на умови енергозабезпечення країни. Однак, експлуатація малих ГЕС дає можливість виробляти близько 250 млн кВт·год електроенергії на рік, що еквівалентно щорічній економії до 75 тис. тонн органічного палива.

Досвід деяких держав свідчить, що освоєння потенціалу малих річок з використанням малих ГЕС і міні-ГЕС допомагає вирішити проблему поліпшення енергопостачання. Найбільш ефективними є малі ГЕС, які будуються на наявних гідротехнічних спорудах. Питомі капіталовкладення для новозбудованих ГЕС у США потужністю 10 МВт становлять 1100...1400 дол/кВт, а потужністю до 1 МВт – 6800...8700 дол/кВт. Будівництво малої ГЕС потужністю 1 МВт коштує від 0,5 до 2 млн. доларів. Прибуток від неї становить 300 тис. доларів на рік, а термін окупності капітальних вкладень – 2...6 р.

Устаткування для малих ГЕС сьогодні виробляють численні фірми США, Японії, Швеції, Швейцарії, Франції, Австрії, Великої Британії. Виробництво такого устаткування розпочато і в державах Східної Європи. Стандартизоване устаткування для малих ГЕС виробляється в широкому діапазоні параметрів: потужність - від 2 до 15000 кВт; діаметр робочого колеса турбіни - від 190 до 3000 мм, частота обертання від 50 до 2000 об/хв., напір - від 1 до 1000 м, витрати води - від 0,0 і до 0,75 м/с.

Діапазон потужностей діючих та проєктованих міні-ГЕС європейських держав наведено в табл.9.3.

Таблиця 9.3

Діапазон потужностей міні-ГЕС держав ЄС [56]

| Держава        | Діапазон встановлених потужностей міні-ГЕС, МВт |
|----------------|---|
| Великобританія | 0,076...4,5                                     |
| Іспанія        | 1...150   |
| Німеччина      | 0,5...40  |

Технічні та фінансово-економічні показники діючих міні-ГЕС держав ЄС представлені у табл.9.4.

Таблиця 9.4

Техніко-економічні показники міні-ГЕС держав ЄС [57]

| Держава        | Потужність, МВт | Перепад висоти, м | Витрати води, м <sup>3</sup> /с | Вартість проекту, дол. США | Період окупності роки |
|----------------|-----------------|-------------------|---------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| Франція        | 0,2             | 58                | 0,4                             | 50 тис                     | 10                    |
| Німеччина      | 3,1             | 2,6               | 140                             | 16 млн                     | 10,4                  |
| Греція         | 3,75х3          | 15                | 80                              | 41 млн                     | 9,5                   |
| Великобританія | 0,6             | 102               | 50                              | 100 тис                    | 10                    |

Зіставити вартості електроенергії міні-ГЕС дуже важко, оскільки вартість виробленої електроенергії залежить від, таких факторів:

- місця будівництва та трудовитрат на будівництво;
- багатofункціональності інженерних споруд (дамба та інші гідротехнічні споруди можуть бути головними об'єктами для зрошення, водопостачання району і тільки в другу чергу для міні-ГЕС);
- умов фінансування;
- впливу на довкілля та соціальні умови;
- потужності турбіни.

Через зазначені причини вартість електроенергії змінюється в кожній місцевості. Сьогодні середня вартість електроенергії, виробленої на міні-ГЕС, майже в 10 разів вища ніж на гідротурбінах великої потужності та становить від 4,6 цента за 1 кВт·год і більше. До переваг малої гідроенергетики відносять зниження викидів CO<sub>2</sub> та інших техногенних сполук та мінімальний негативний вплив міні-ГЕС на довкілля, які використовують природні водянні напори без необхідності будівництва масштабних гідротехнічних споруд.

Щодо великих гідроелектростанцій України, то вони входять до складу гідрогенеруючої компанії “Укргідроенерго”, до складу якої входять 9 гідроелектростанцій на річках Дніпро та Дністер (каскад Київських ГЕС і ГАЕС, Канівська, Кременчуцька, Дніпродзержинська, Дніпровська та Каховська ГЕС), а також Дністровська ГЕС та Дністровська ГАЕС (будується).

У 2011 році загальна кількість гідроагрегатів даної компанії склала 101, а їх сумарна встановлена потужність склала 5007,6 МВт.

Нині основою гідроенергетики України є каскад Дніпровських ГЕС (рис.9.12), унікальність якого полягає в тому, що він розташований по Дніпру майже на тисячу кілометрів, має потужність 3,94 тис.МВт із річним виробленням біля десяти мільярдів кіловат-годин електричної енергії, що в енергетичному балансі України складає біля 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 % [57].



Рис.9.12. Каскад українських ГЕС на Дніпрі [56]



З 1996 року, з огляду на особливу роль Дніпровської ГЕС в енергосистемі України, почата її великомасштабна реконструкція. У період з 1996-го до червня 2002 року проводився перший етап реконструкції всіх ГЕС "Дніпрогідроенерго" за рахунок кредиту Світового Банку, Гранту Уряду Швейцарії та власних коштів. Встановлена потужність ГЕС "Дніпрогідроенерго" після завершення цього етапу реконструкції становила 3938 МВт., у тому числі встановлена потужність Дніпровської ГЕС - 1538,2 МВт.

За цей час виконано повну реконструкцію 16 гідроагрегатів (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 гідроагрегатів з встановленням додаткової потужності понад 40 МВт; на Дніпровській ГЕС - 6 гідроагрегатів. Додаткова потужність - 42 МВт; на Каховській ГЕС - 1 гідроагрегат з екологічно чистою турбіною. Додаткова потужність - 5,8 МВт;

При цьому досягнуто збільшення коефіцієнту корисної дії гідроагрегатів понад 4%.

Успішне виконання програми першого етапу реконструкції сприяє переговорному процесу із Світовим банком у частині одержання коштів для проведення другого етапу реконструкції Дніпровського каскаду ГЕС. На другому етапі реконструкції (2002 - 2012 роки) заплановано: реабілітація 63 гідроагрегатів з відповідною кількістю систем збудження, регулювання та управління; завершення реабілітації електротехнічного устаткування; реабілітація гідромеханічного обладнання всіх ГЕС; впровадження на всіх ГЕС компанії автоматизованих систем забезпечення безпеки гребель; вирішення питань екології; модернізація засобів зв'язку.

Вартість цих робіт орієнтовно складе 350 млн.дол., з яких від Світового банку планується отримати 80 млн.дол.

Після завершення цього етапу реконструкції загальне підвищення потужності ГЕС складатиме понад 300 МВт, вироблення електроенергії - 330 млн.кВт.год.

Значення гідроелектростанцій особливо важливе під час регулювання частоти та виконання графіка навантажень в енергосистемі, що пояснюється мобільністю роботи гідротурбін у перемінних режимах і винятковій оперативності керування гідроагрегатами, обумовлених їхньою повною автоматизацією.

Гідроенергетичні ресурси України обмежені, тому їх використовують здебільшого для покриття пікових навантажень діючої енергосистеми. З цією метою на річках створюють системи гідроакumuлюючих електростанцій (ГАЕС). До найбільших з них належать Дністровська ГАЕС, Київська ГАЕС; Канівська ГАЕС. Дністровська ГАЕС знаходиться на стадії будівництва, а після введення в експлуатацію її 7-ми гідроагрегатів, вона повинна стати найбільшою за об'ємами та потужністю ГАЕС в Європі.

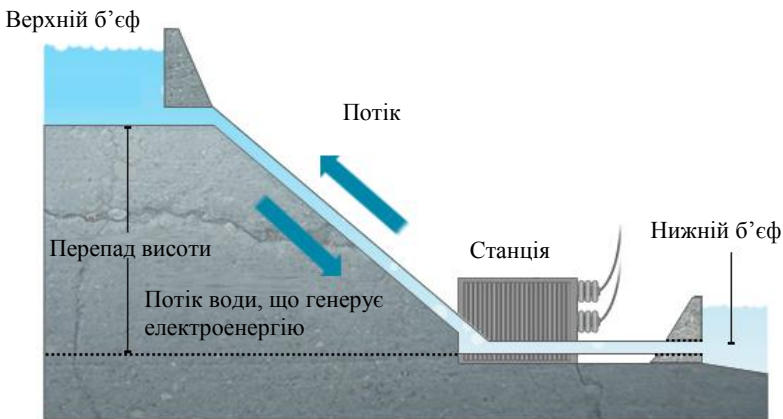


Рис.9.13. Схема гідроакumuлюючої електростанції

Гідроакumuлюючі електростанції дозволяють оптимізувати використання гідроелектростанцій в енергосистемах у “генераторному режимі”, що характеризується виробленням та подачею струму в електромережу у “час пік”. У нічний же час, коли мережа є недовантаженою, вони працюють у “насосному режимі”, при цьому беручи струм із мережі та за допомогою

насосів перекачують воду із нижнього б'єфа водосховища у верхній. Саме ГАЕС знижують проблему покриття піків у графіках навантажень [58].

В цілому, рівень освоєння економічного гідроенергетичного потенціалу в Україні оцінюється в 61—64% [59], що є нижчим за середньоєвропейський (71,8%) рівень і рівень більшості розвинених країн, тобто перспективи для розвитку гідроенергетики в Україні, як альтернативного виду енергетики, все ще є суттєвими.

Переоцінити роль гідроенергетики в забезпеченні енергетичної безпеки України важко, оскільки ГЕС являються практично єдиним аварійним резервом, який забезпечує технологічну електроенергетичну безпеку держави [60].

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 надійного водопостачання споживачів, розташованих як у басейні, 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 понад 35% промислових водопотреб України. Так, тільки Каховське водосховище забезпечує подачу води до підприємств Криворізького залізорудного басейну та по Північнокримському каналу в Керч та Феодосію. Ріки ж Донбасу є маловодними і основне живлення отримують із Дніпродзержинського водосховища.

У стратегії розвитку гідроенергетики на найближчі два десятиліття Міністерство палива та енергетики України вбачає 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.

## РОЗДІЛ 10 МАЙБУТНЄ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Паливні корисні копалини сьогодні становлять 80% від світового енергетичного споживання але завдяки технологічному розвитку прослідковується чітка тенденція до росту відновлювальних джерел енергії. Згідно даних (Pew Charitable Trusts), світові інвестиції у відновлювальні джерела енергії у 2010 році сягнули позначки у 243 млрд дол. США (рис.10.1).

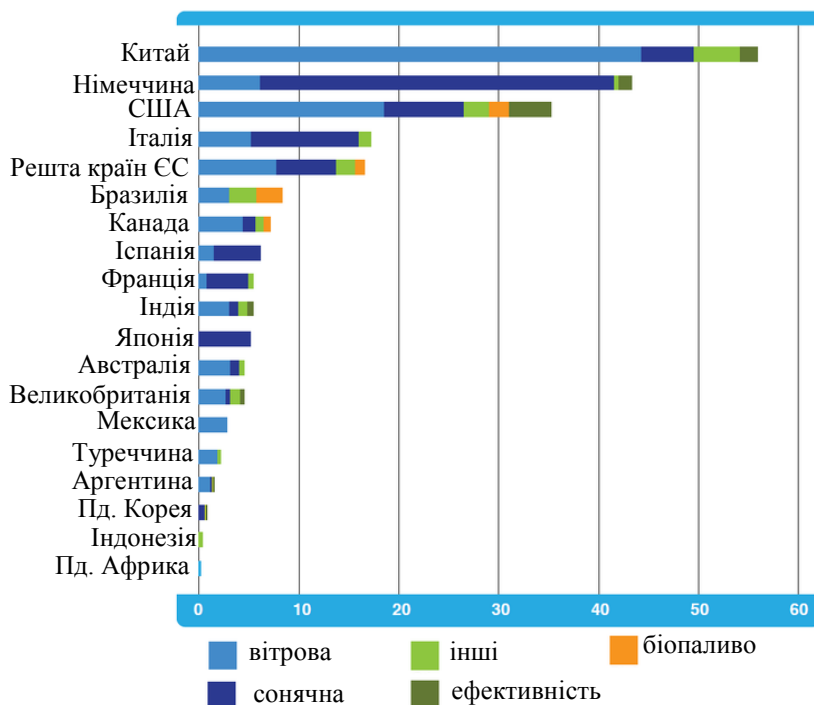


Рис.10.1. Інвестиції у відновлювальні джерела енергії у 2010 році, млрд дол.

Нафта – корисна копалина, яка більш за все найшвидше стане рідкісною. Близький Схід сьогодні володіє 63% усіх світових запасів нафти. На рис.10.2 представлений сценарій ви-

добутку нафти, який прогнозується більшістю аналітиків. Пік найбільшого видобутку нафти припаде на період між 2015 і 2030 роками [61-62].

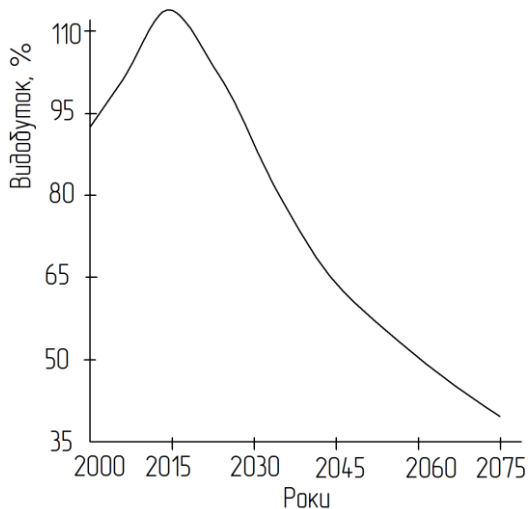


Рис.10.2.Світовий сценарій видобутку нафти

Сьогодні країни Близького Сходу та Росія володіють 70% відсотками світової нафти та природного газу [61-62], рис.10.3, 10.4.

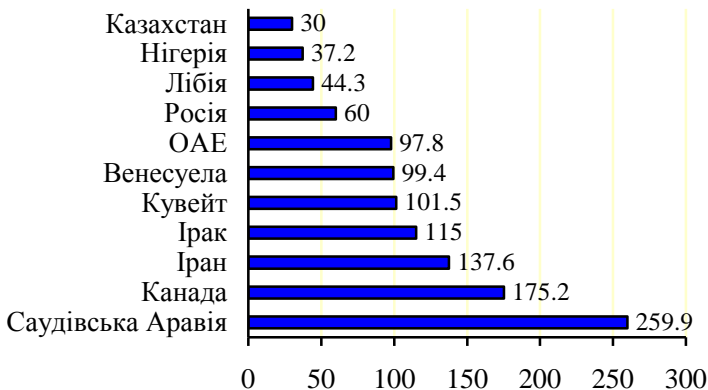


Рис.10.3.Світові запаси нафти, млрд барелів

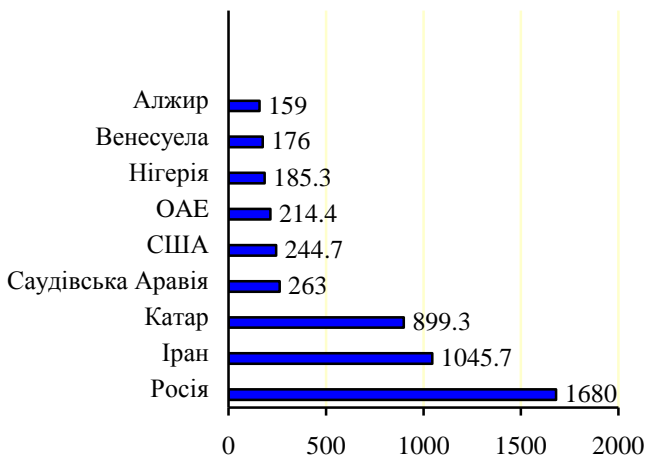


Рис.10.4.Світові запаси природного газу, трильйонів кубічних футів

Аналітики передбачають, що пік видобутку природного газу припаде на 2025 рік, а після цього аж до 2050 року відбуватиметься щорічне падіння видобутку на 8%.

Передбачена тенденція видобутку природного газу представлена на рис.10.5.

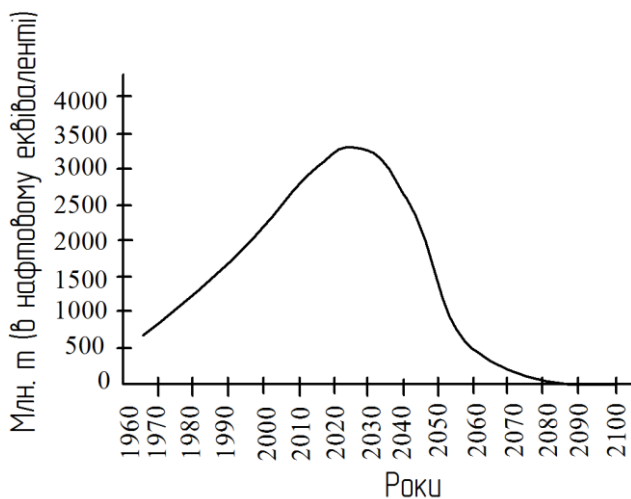


Рис.10.5. Світовий видобуток природного газу, 1965-2100 рр [56]

Більша частина вугілля, що сьогодні видобувається, застосується на теплових електростанціях для виробництва електроенергії. Світові запаси вугілля представлені у табл.10.1.

Таблиця 10.1

Світові запаси кам'яного і бурого вугілля (2008р)

| Країна    | Кам'яне вугілля, млн. т | Буре вугілля, млн. т | Всього, млн. т | У % від світових запасів | Забезпеченість запасами, роки |
|-----------|-------------------------|----------------------|----------------|--------------------------|-------------------------------|
| США       | 115891                  | 134103               | 249994         | 25,4                     | 252                           |
| Росія     | 49088                   | 107922               | 157010         | 15,9                     | 500                           |
| Китай     | 62200                   | 52300                | 114500         | 11,6                     | 82                            |
| Індія     | 82396                   | 2000                 | 84396          | 8,6                      | 235                           |
| Австралія | 42550                   | 39540                | 82090          | 8,3                      | 243                           |
| Німеччина | 23000                   | 43000                | 66000          | 6,7                      | 317                           |
| ПАР       | 49520                   | -                    | 49520          | 5,0                      | 221                           |
| Україна   | 16274                   | 17879                | 34153          | 3,5                      | 412                           |
| Казахстан | 31000                   | 3000                 | 34000          | 3,5                      | 464                           |
| Польща    | 20300                   | 1860                 | 22160          | 2,3                      | 138                           |

На рис.10.6 представлений світовий видобуток вугілля починаючи із 1960 року і аж до 2100 року.

Щодо відновлювальних джерел енергії, то вони є багатообіцяючою альтернативою паливним корисним копалинам тому, що вони не шкодять навколишньому середовищу та не створюють парникових газів. У табл.10.2 представлений світовий сценарій застосування відновлювальних джерел енергії до 2040 року. На думку Європейської ради із відновлювальної енергетики, близько 50% енергопостачання у 2040 році буде отримуватись із відновлювальних джерел [63].

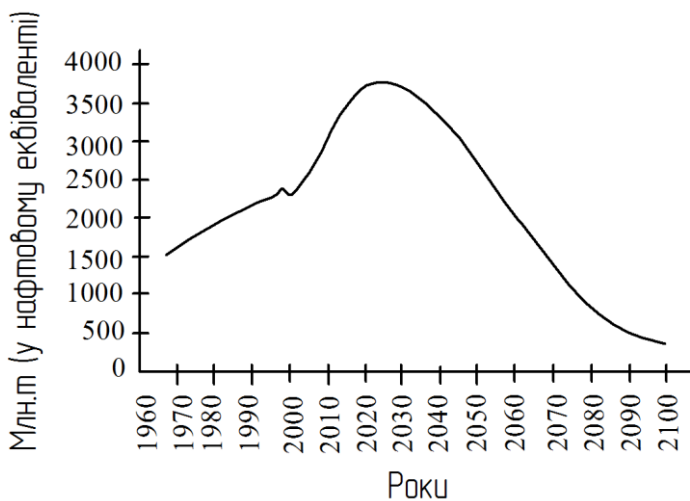


Рис.10.6. Світовий видобуток вугілля, 1965-2100 рр

Таблиця 10.2

Перспектива застосування відновлювальних джерел енергії [63]

| Вид   | 2001   | 2010   | 2020   | 2030   | 2040   |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1   | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      |
| Загальне споживання млн.т (у нафтовому еквіваленті) | 10,038 | 10,549 | 11,425 | 12,352 | 13,310 |
| Біомаса   | 1,080  | 1,313  | 1,791  | 2,483  | 3,271  |
| Велика гідроенергетика                              | 22,7   | 266    | 309    | 341    | 358    |
| Геотермальна енергетика                             | 43,2   | 86     | 186    | 333    | 493    |
| Мала гідроенергетика                                | 9,5    | 19     | 49     | 106    | 189    |
| Вітрова енергетика                                  | 4,7    | 44     | 266    | 542    | 688    |
| Сонячна термальна енергія                           | 4,1    | 15     | 66     | 244    | 480    |



Продовження табл.10.2

| 1   | 2       | 3       | 4       | 5     | 6     |
|---|---------|---------|---------|-------|-------|
| Енергія фотоелементів                                   | 0,2     | 2       | 24      | 221   | 784   |
| Сонячна термальна електроенергія                        | 0,1     | 0,4     | 3       | 16    | 68    |
| Енергія хвиль/приливів                                  | 0,05    | 0,1     | 0,4     | 3     | 20    |
| Загальна кількість енергії з відновлювальної енергетики | 1,365,5 | 1,745,5 | 2,694,4 | 4,289 | 6,351 |
| Споживання відновлювальних джерел енергії (у %)         | 13,6    | 166     | 236     | 34,7  | 47,7  |

Слід також відмітити і той факт, що відновлювальна енергетика також має ряд прешкод. Подія, яка датується першим вересням 2009 року, коли уряд Китаю офіційно оголосив, що ця країна зменшує квоту експорту рідкісних земельних металів на 35000 тон у 2010...2015, змусила задуматись не один уряд розвинених країн. І це не дивно, адже із 124 тис.тон рідкісних металів, що виробляється у світі, Китай виробляє 97%. Сфера застосування рідкісних металів сьогодні є надзвичайно великою. Вони застосовуються у двигунах автомобілів, комп'ютерних вінчестерах, атомних електростанціях, динаміках, супер сплавах, військовій техніці (лазери), медицині та відновлювальній енергетиці. Тільки для того щоб зробити одну вітряну турбіну, сьогодні необхідно близько 300 кг рідкісних земельних металів. Саме наявність елемента неодиму (Nd) в магнітах електрогенератора, призводить до значного зростання кількості гернеруємої електроенергії вітряною турбіною. Рідкісні земельні метали також є необхідною складовою батарей електро чи гібридних автомобілів.

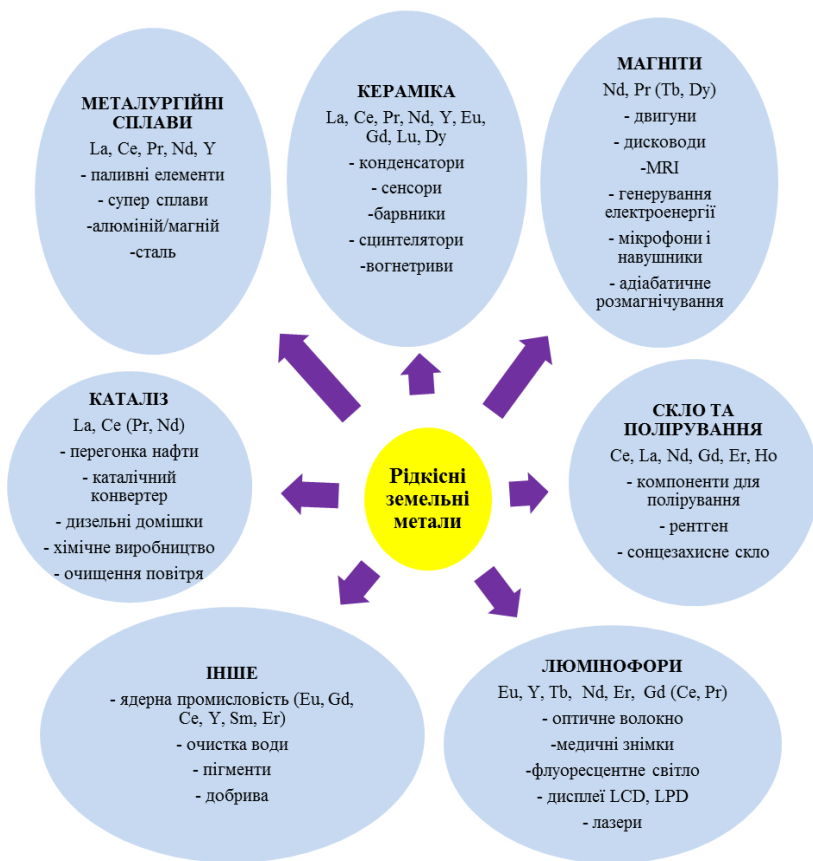


Рис.10.7. Застосування рідкісних земельних металів

У табл.10.3 представлена тенденція зміни світових цін на основні рідкісні метали у період з 2001 по 2010 рр [64].

Різкий ріст цін на рідкісні метали відбувся внаслідок значного нарощування виробничих потужностей в Китаї та значного попиту інших країн на даний вид сировини. В останні два десятиліття більшість шахт і кар'єрів світу, що займалися видобутком даної сировини, були закриті внаслідок неможливості конкурувати із дешевою робочою силою Китаю та її ціновою політикою.

Таблиця 10.3

Тренд зміни цін на рідкісні земельні метали за 2001..2011 рр

| Рідкісні<br>земельні<br>елементи | Ціна (\$ за кілограм) |     |      |      |     |       |       |      |
|----------------------------------|-----------------------|-----|------|------|-----|-------|-------|------|
|                                  | La                    | Ce  | Nd   | Pr   | Sm  | Dy    | Eu    | Tb   |
| 2001                             | 7                     | 4   | 11   | 6.2  | 9   | 35    | 310   | 135  |
| 2002                             | 2.3                   | 2.3 | 4.4  | 3.9  | 3   | 20    | 240   | 170  |
| 2003                             | 1.5                   | 1.7 | 4.4  | 4.2  | 2.7 | 14.6  | 235.4 | 170  |
| 2004                             | 1.6                   | 1.6 | 5.8  | 8    | 2.7 | 30.3  | 310.5 | 398  |
| 2005                             | 1.5                   | 1.4 | 6.1  | 7.6  | 2.6 | 36.4  | 286.2 | 300  |
| 2006                             | 2.2                   | 1.7 | 11.1 | 10.7 | 2.4 | 70.4  | 240   | 434  |
| 2007                             | 2.8                   | 2.6 | 31.2 | 30.4 | 3.1 | 88.3  | 311   | 575  |
| 2008                             | 8.8                   | 4.4 | 32.9 | 32.6 | 4.8 | 120.8 | 491   | 740  |
| 2009                             | 5.9                   | 3.8 | 14.5 | 14.5 | 4.8 | 112   | 495   | 360  |
| 2010                             | 6.4                   | 5.0 | 30.8 | 30.3 | 4.5 | 193   | 525   | 580  |
| 2011                             | 21                    | 23  | 157  | 135  | 16  | 1459  | 2904  | 2119 |

На сьогоднішній день у світі прослідковується чітка тенденція росту попиту на даний вид сировини, а за умов її дефіциту, безумовно ціна буде зростати, що призведе до скорочення інвестицій у деякі види відновлювальної енергетики. За умови, що якщо навіть США, Австралія та Індія, які містять значні резерви даної сировини (рис.10.8), почнуть відновлювати виробництво сьогодні, це займе принаймі 15...20 років щоб вирішити цю проблему.

Згідно даних USGS (United States Geological Survey) на території України також є значні поклади рідкісних земельних металів, розробка яких може посприяти розвитку відновлюва-

льної енергетики та зменшенню залежності від корисних копалин, що експортуються.

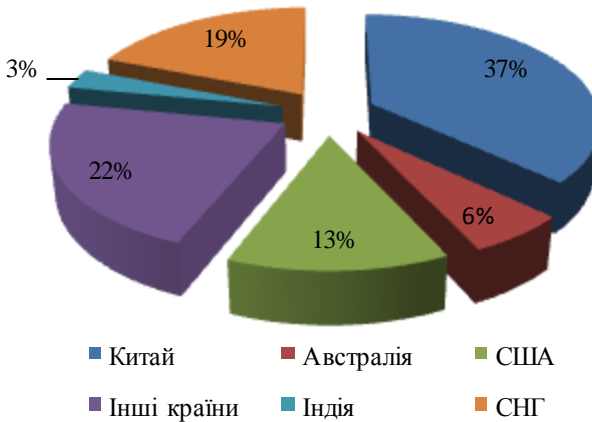


Рис.10.8. Розподіл світових запасів рідкісних земельних металів

Сьогодні ні в кого не виникає сумніву, що використання горючих палив привело до серйозної енергетичної кризи та екологічного забруднення на глобальному рівні. Для того, щоб пом'якшити екологічні проблеми, вартість відновлюваної енергії повинна стати конкурентоздатною із паливною чи ядерною енергетикою завдяки швидкому технологічному розвитку сонячної та вітрової енергетики.

Щодо України, то широкомасштабне впровадження відновлювальних джерел енергії дозволить зробити суттєвий крок у зменшення енергетичної залежності від імпортованих корисних копалин, охорону довкілля та створення умов для входу країни до європейської спільноти.

Однак, зважаючи на значний потенціал майже всіх видів відновлювальної енергетики, достатньо розвинену науково-технічну та промислову базу, велику кількість прийнятих нормативно-законодавчих актів, частка відновлювальної енергетики у енергетичному балансі країни залишається незначною. Головними причинами такого стану є відсутність стимулюючої політики держави, недосконалість нормативно-

правового забезпечення та невиконання прийнятих рішень, низький рівень фінансування науково-дослідних і конструкторських розробок.

Біоенергетика, яка в даний час розвивається найбільш інтенсивно потребує оптимізації свого розвитку з врахуванням як потреб паливного, так і продовольчого сектору економіки, а також державного регулювання експорту біопаливної сировини. Пріоритетним напрямком повинно стати виробництво біогазу із промислових, побутових та сільськогосподарських відходів, що забезпечить не тільки виробництво енергії, біодобрив, а також дозволить зробити доквілля більш чистим.

Вітроенергетика вже сьогодні могла б вийти на значний рівень виробництва електроенергії в країні у разі достатнього її фінансування та відповідної державної політики.

Сонячна енергетика має шанс значно збільшити свій внесок за рахунок впровадження передових вітчизняних розробок сонячних колекторів та відродження виробництва кремнію в Україні.

Мала гідроенергетика може внести свій вклад в енергопостачання, особливо в регіональному вимірі. Прийняті рішення щодо її відродження потребують свого виконання та цільового використання коштів виділених на реабілітацію та відновлення малих ГЕС.

Використання геотермальних вод в Україні знаходиться на початковій стадії (використовується не більше 2 % існуючого потенціалу). Збільшення обсягів геотермальної енергії для використання в будівлях можливо вже сьогодні. Для інвестування цього економічно привабливого сектору необхідно залучити приватний капітал, для чого потрібно створити відповідне сприятливе нормативно-законодавче середовище.

Отож, ми повинні задати собі сьогодні одне запитання, чому більшість енергетично незалежних держав вже сьогодні інвестує значні кошти у розвиток відновлювальної енергетики? Та напевне тому, що уряди цих країн добре розуміють, що перейти повністю на даний вид енергетики неможливо за

п'ять-десять років. Сьогодні ні в кого немає сумнівів, що часи дешевих корисних копалин позаду. Із кожним роком ціни на нафту, вугілля та уран будуть зростати внаслідок зменшення їх кількості та зростаючій потребі. Слід врахувати і той факт, що у різні роки обсяги імпорту нафти із Росії в Україну склали 85...75 % від загального обсягу поставки, що зробило нашу державу залежною від монопольного постачання. А враховуючи те, що загальні запаси Росії оцінюються у 60 млрд барелів, а щоденний видобуток у 2010 році склав 10,15 млн барелів на день [65], обігнавши Саудівську Аравію, то все більше і більше аналітиків прогнозує не дуже гарне майбутнє нашому сусідові. На рис.10.9 представлений прогноз виробництва та споживання нафти Росією до 2050 року [66].

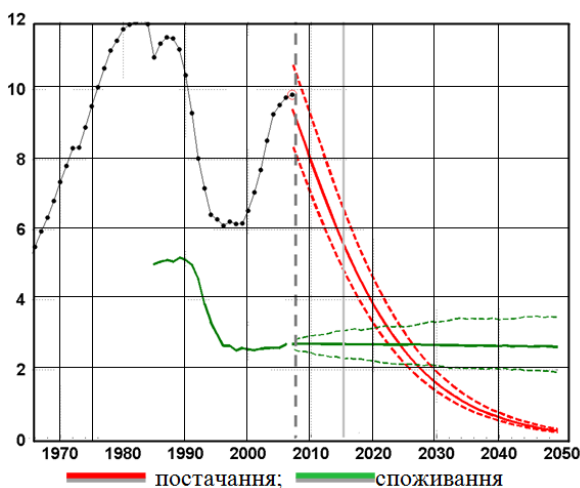


Рис.10.8. Прогноз видобутку та споживання нафти Росією

Враховуючи вище представлені реалії, безумовно видно, що Україна відчує значний удар по своїй економіці, якщо не почне, як і всі розвинені країни, приділяти значну увагу енергозбереженню та розвитку альтернативних джерел енергії.

Сьогодні не час бути байдужим. Ми повинні добре розуміти, що є кращим для нас. Побудова нового атомного реактора, на створення якого ми зразу повинні витратити 50% коштів, які отримуємо за увесь час його роботи, чи створення екологічно чистої відновлювальної енергетики.

Уряди Нової Зеландії, Ісландії, Швеції, США та інших країн зробили розвиток відновлювальних джерел енергії пріоритетною задачею. Сьогодні 80% енергії, що ми споживаємо виробляється із горючих корисних копалин. Тільки у Китаї кожного тижня завершується будівництво 2 нових теплових електростанцій. У той же час внутрішнє тепло Землі в Ісландії перетворюється на електроенергію. Вітряні ферми на побережжі Данії виробляють 20% електроенергії для всієї країни. США, Китай, Індія, Німеччина та Іспанія є найбільшими інвесторами у відновлювальні джерела енергії. Завдяки діям, що прийняті урядами цих країн уже сьогодні з'явилося більше 2,5 млн. робочих місць.

Сьогодні не час бути песимістом. Важливо не те, що втрачено, а важливим є те, що ще можна зберегти. Уцілівші ліси планети, тисячі рік, озер та льодовиків, тисячі біологічних видів ще можна врятувати. Ми знаємо, що вирішення цих проблем вже існує сьогодні. Разом ми у силах змінити ситуацію та продовжити нашу історію.

## РОЗДІЛ 11

### ТЕРМІНОЛОГІЧНИЙ СЛОВНИК

**Абсорбція** — вибіркове поглинання речовини з газового чи рідкого середовища усім об'ємом твердого тіла чи рідини.

**Азеотропна суміш** — суміш рідин, яка кипить при сталій температурі і не змінює складу при перегонці.

**Анемометр** - прилад для вимірювання швидкості, а часто і напрямку руху потоків (газів і рідин), наприклад, повітря (вітромір); швидкість потоку вимірюється за швидкістю обертання ротора з лопатками або півкулястими чашками. За конструкцією поділяються напелюсткові, чашкові та термоелектричні.

**Барель** - міра об'єму в системі англійських мір. Величина залежить від того, що вимірюється (сухий барель - 115,628 дм<sup>3</sup>; нафтовий 158,98 дм<sup>3</sup> (літрів); англійський (для сухих речовин) — 163,65 дм<sup>3</sup>).

**Відновлювальні джерела енергії** – ті, відновлення яких постійно здійснюється в природі (сонячне випромінювання, біомаса, вітер, вода річок та океанів, гейзери тощо), і які існують на основі постійних чи періодично виникаючих в природі потоків енергії, наприклад: сонячне випромінювання (біомаса, енергія сонця, вітру, хвиль); гравітаційна взаємодія Сонця, Місяця і Землі (наслідком якої є, наприклад, морські припливи та відпливи); теплова енергія ядра Землі, а також хімічних реакцій і радіоактивного розпаду в її надрах (геотермальна енергія джерел гарячої води - гейзерів).

**Вітряна турбіна** – пристрій, що обертається та отримує енергію із вітру. Якщо отримана із вітру механічна енергія застосовується для відкачування води, різання колод чи дроблення каменів, то такий пристрій називається вітряним млином. Якщо ж механічна енергія перетворюється на електроенергію, то такий пристрій називають вітрогенератором, вітровою турбіною, конвертором вітряної енергії чи аерогенератором.



**Вольтамперна характеристика сонячного елемента, модуля, батареї** – залежність між струмом навантаження і напругою на клеммах сонячного фотоелектричного елемента, модуля, сонячної батареї при постійних значеннях температури сонячних елементів та інтенсивності сонячного випромінювання, що надходить.

**Геотермальна енергія** – це тепло Землі, яке переважно утворюється внаслідок розпаду радіоактивних речовин у земній корі та мантії.

**Геотермальні води** – екологічно чисте джерело енергії, що постійно відновлюється. Воно суттєво відрізняється від інших альтернативних джерел енергії тим, що його можна використовувати незалежно від кліматичних умов і пори року.

**Геотермальний градієнт** – фізична величина, що описує швидкість нагрівання Землі залежно від відстані від поверхні. Математично виражає зміну температури, що припадає на одиницю глибини.

**Гіроскопічність** – властивість деяких речовин поглинати водяні пари з повітря.

**Гідроліз** - реакція обмінного розкладу між речовиною й водою.

**Гравітаційна стала** - чисельно дорівнює силі, з якою притягуються два тіла масою по 1 кг кожне, знаходячись на відстані 1 м одне від одного. Гравітаційну сталу визначено експериментальним шляхом. Вперше це зробив англійський вчений Кавендіш за допомогою крутильного динамометра (крутильних терезів).

**Дегідратація** - відщеплення води від молекул хімічних сполук.

**Дезодорація** – звільнення від неприємного запаху шляхом нейтралізації його певними хімічними речовинами або іншим шляхом.

**Дистиляція** - перегонка, випаровування рідини із подальшим охолодженням та конденсацією пари.

**Дифузія** - процес випадкового невпорядкованого переміщення часток під впливом хаотичних сил, зумовлених тепловим рухом і взаємодією з іншими частками.

**Конвекція** - явище перенесення тепла в рідинах, газах або сипких середовищах потоками самої речовини.

**Конденсація** - процес переходу газу або насиченої пари в рідину чи тверде тіло внаслідок охолодження або стиснення їх. Швидкість процесу залежить від зовнішніх умов – тиску, температури, інколи – наявності інших речовин.

**Максимальна потужність фотоелектричного сонячного елемента, модуля, батареї, станції** – потужність фотоелектричного сонячного елемента, модуля батареї, станції у точці на вольт амперній характеристиці, де значення добутку струму на напругу максимальне.

**Переетирифікація** – хімічна реакція обміну структурних елементів жирів. Використовується для зниження температури плавлення жирів, підвищення їх пластичності та стабільності до окиснення.

**Пікова потужність сонячного елемента, модуля, батареї, станції** – максимальна потужність фотоелектричного сонячного елемента, модуля, батареї, станції при стандартних умовах випробування.

**Припливи** - результат гравітаційного притягання великих мас води океанів з боку Місяця і, у меншому ступені, Сонця. При обертанні Землі частина води океану піднімається і якийсь час утримується в цьому положенні гравітаційним притяганням. Коли «гребінь» підйому води досягає суші, як це повинно відбуватися внаслідок обертання Землі, настає приплив. Подальше обертання Землі послаблює вплив Місяця на цю частину океану, і приплив спадає. Припливи і відпливи повторюються двічі на добу, хоча їх точний час змінюється залежно від сезону і положення Місяця. Середня висота припливу складає усього лише 0,5 м, за винятком тих випадків, коли водянні маси переміщуються у відносно вузьких затоках. У таких випадках виникає хвиля, висота якої може в 10...20 разів

перевищувати нормальну висоту припливного підйому. Щороку найвищі припливи бувають тоді, коли Місяць, Сонце і Земля знаходяться майже на одній лінії, так що сумарний гравітаційний вплив збільшує обсяг переміщеної океанічної води.

**Ректифікація** – розділення рідких сумішей, що містять два або декілька компонентів різної питомої ваги, багаторазовим випаровуванням суміші й конденсацією пари.

**Сонячна фотоелектрична батарея** – сполучені між собою електрично та механічно фотоелектричні модулі.

**Стандартні умови випробувань сонячного елемента, модуля, батареї** – умови випробувань, регламентовані за щільністю потоку сонячної енергії  $1000 \text{ Вт/м}^2$  і температурою фотоелектричних сонячних елементів  $(25 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$ .

**Фотоелектричний модуль** – пристрій, що конструктивно об'єднує електрично сполучені між собою фотоелектричні сонячні елементи і має вихідні клеми для під'єднання зовнішнього користувача.

## РОЗДІЛ 12 КОНТРОЛЬ ЗНАНЬ

**Тестова частина: визначте єдину правильну відповідь на кожне з наступних запитань.**

- 1. Що вперше сприяло появі міст та урбанізації?**
  - A) поява сільського господарства;
  - B) поява архіобактерій;
  - C) видобуток нафти та вугілля;
  - D) поява парового двигуна;
  - E) А, В, С, D.
- 2. Що стало початком промислової революції?**
  - A) паровий двигун;
  - B) поява парового корабля;
  - C) виплавка чавуну;
  - D) поява парового локомотиву;
  - E) А, В, С, D.
- 3. Які наслідки мала промислова революція?**
  - A) зростання продуктивності виробництва;
  - B) зростання населення;
  - C) зростання споживання вугілля, нафти і природного газу;
  - D) А, В і С.
- 4. В якій країні вперше була промислова революція?**
  - A) США;
  - B) Канада;
  - C) Великобританія;
  - D) Японія;
  - E) А і В.
- 5. Який забруднювач повітря носить глобальний характер?**
  - A) оксид сірки;
  - B) оксид азоту;
  - C) свинець;
  - D) вуглекислий газ;
  - E) А і В.

**6. В якій країні було підписано Кіотський протокол?**

- A) Японії;
- B) США;
- C) Бразилії;
- D) Китаї;
- E) Австралії.

**7. Яка основна ідея Кіотського протоколу?**

A) не зменшувати і не збільшувати середньорічні об'єми викидів парникових газів;

B) дозволити розвиненим країнам збільшити середньорічні об'єми викидів парникових газів на 3%;

C) дозволити країнам з перехідною економікою збільшити середньорічні об'єми викидів парникових газів на 3%;

D) збільшити середньорічні об'єми викидів парникових газів;

E) зменшити середньорічні об'єми викидів парникових газів.

**8. Чи ратифікувала Україна Кіотський протокол?**

- A) так;
- B) ні.

**9. Кіотський протокол передбачає наступні механізми, окрім:**

A) співпраці між країною, яка розвивається, та індустріалізованою країною;

B) торгівлі викидами від однієї індустріалізованої країни до іншої;

C) заборони торгівлі викидами між країнами;

D) співпраці між двома індустріалізованими країнами.

**10. Які гази впливають на збільшення озонових дірок в атмосфері?**

- A) фторовуглеводні;
- B) метан;
- C) фторхлорвуглеводні;
- D) вуглекислий газ.

**11. Які форми енергії містить Світовий океан?**

- A) термальну енергію;
- B) енергію хвиль;
- C) енергію припливів і течій;
- D) геотермальну енергію;
- E) A, B і C.

**12. Що є основним чинником контролю ритму і висоти хвиль припливів?**

- A) Місяць;
- B) Сонце;
- C) Сатурн;
- D) A і B.

**13. Яка тривалість повного циклу припливу?**

- A) 12 годин;
- B) 24 години;
- C) 24 години 50 хвилин;
- D) 12 годин 25 хвилин.

**14. Який вид припливів має два мінімуми і два максимуми?**

- A) добовий;
- B) змішаний;
- C) напівдобовий.

**15. До якої планети сили притягання Землі є більшими?**

- A) Сонця;
- B) Місяця;
- C) Юпітера;
- D) Сатурна;
- E) однакові до Сонця і Місяця.

**16. Яке небесне тіло більше впливає на припливи на Землі?**

- A) Сонце;
- B) Місяць;
- C) Венера;
- D) Юпітер.

**17. Суть процесу отримання термальної енергії із океану залежить від:**

- A) різниці температур води на поверхні та дні;
- B) швидкостей підводних течій;
- C) висоти припливів;
- D) температури поверхневих вод.

**18. Якого циклу перетворення термальної енергії океану не існує?**

- A) добового;
- B) відкритого;
- C) закритого;
- D) комбінованого.

**19. Які ділянки на території України мають підвищений геотермальний градієнт?**

- A) Кримський півострів;
- B) Полісся;
- C) Прикарпаття;
- D) Дніпровсько- Донецька западина і Донбас;
- E) A, C і D.

**20. Якого типу вітряних турбін не існує?**

- A) крильчастого;
- B) барабанного;
- C) карусельного;
- D) ударного.

**21. В яких вітрових електростанціях вал вітроколеса встановлюється вертикально?**

- A) карусельних;
- B) крильчастих;
- C) барабанних;
- D) A і D.

**22. За якою шкалою класифікується швидкість вітру?**

- A) Протодьяконова;
- B) Мооса;
- C) Бофорта;
- D) Робінсона.

**23. За допомогою чого вимірюють швидкість вітру?**

- A) анемометра;
- B) манометра;
- C) спідометра;
- D) лінійки;
- E) C і D.

**24. Яка середньорічна кількість сумарної сонячної радіації поступає на  $1 \text{ м}^2$  поверхні на території України?**

- A)  $1070 \dots 1400 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$ ;
- B)  $1401 \dots 1500 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$ ;
- C)  $800 \dots 900 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$ .

**25. За допомогою чого отримують термальну сонячну енергію?**

- A) сонячної кухні;
- B) сонячного ставка;
- C) сонячної вежі;
- D) сонячного фотоелемента;
- E) A, B, C.

**26. В яку пору року сонячні панелі повинні розміщуватись більш горизонтально?**

- A) літом;
- B) зимою;
- C) весною;
- D) осінню.

**27. Якщо вибрати приблизний кут похилу сонячної панелі, то він повинен бути рівний...**

- A) довготі даної місцевості;
- B) широті даної місцевості;
- C) висоті місцевості над рівнем моря;
- D) широті даної місцевості плюс  $20 \dots 30$  градусів.

**28. Який тип сонячних фотоелементів має найвищий ККД?**

- A) монокристалічний;
- B) полікристалічний;
- C) тонкоплівковий;



D) В і С.

**29. Що відносять до твердих біопалив?**

- A) метанол;
- B) дрова;
- C) біогаз;
- D) солому;
- E) В і D.

**30. Якою повинна бути рекомендована вологість сировини у ферментаторі для виробництва біогазу літом?**

- A) 30...40%;
- B) 41...50%;
- C) 65...72%;
- D) 90...95%.

**31. Яку кількість біогазу можна отримати від однієї корови вагою 500...600 кілограм?**

- A) 1,5 м<sup>3</sup>;
- B) 5 м<sup>3</sup>;
- C) 10 м<sup>3</sup>;
- D) 50 м<sup>3</sup>;
- E) 100 м<sup>3</sup>.

**32. Яка область України має найвищий гідроенергетичний потенціал малих рік?**

- A) Рівненська;
- B) Київська;
- C) Херсонська;
- D) Закарпатська.

**33. Що відносять до переваг малої гідроенергетики?**

- A) негативний вплив на довкілля;
- B) високу вартість виробленої електроенергії;
- C) сезонність роботи;
- D) зниження викидів CO<sub>2</sub> та інших техногенних сполук;
- E) A і D.

**34. Визначте вихідну потужність дамби із параметрами  $h=100$  м,  $Q=10$  м<sup>3</sup>/с. Вважайте, що ефективність турбіни 80%.**

- A) 7,8 МВт;
- B) 8,8 МВт;
- C) 6,8 МВт;
- D) 9,0 МВт;
- E) 9,5 МВт.

**35. Який вид турбіни найкраще підходить для даних, отриманих із запитання 34?**

- A) Turgo;
- B) Pelton;
- C) Kaplan;
- D) Francis;
- E) Всі вищевказані.

**36. Якщо водна турбіна має наступні параметри: частота обертання 100 об/хв,  $h=9$ м,  $Q=200$ м<sup>3</sup>/с. Визначте який тип турбіни необхідно вибрати і яким буде приблизний вихід енергії у МВт?**

- A) Turgo, 1 МВт;
- B) Pelton, 12 МВт;
- C) Kaplan, 15 МВт;
- D) Francis, 50 МВт.

**37. Визначити потужність, яку буде виробляти гідротурбіна в загородженому басейні внаслідок приливу, якщо рівень коливання приливу  $R = 3$ м, а площа загородженого басейну  $A=400$  км<sup>2</sup>?**

- A) 100 МВт;
- B) 200 МВт;
- C) 300 МВт;
- D) 75 МВт.

**38. Що відноситься до екологічних проблем гідроенергетики?**

- A) вплив на міграцію риби;
- B) зміна якості води;

- C) викиди метану внаслідок затоплення;
- D) все вищесказане.

**39. Що означає термін “пік нафти”?**

- A) це найвижча ціна береля нафти за останні 10 років;
- B) це процес перегонки нафти;
- C) це точка у часі, коли досягнуто максимального рівня видобутку нафти, після якого рівень видобутку починає зменшуватись;
- D) А і С.

**40. Яка країна сьогодні володіє найбільшими розвіданими запасами нафти?**

- A) США;
- B) Саудівська Аравія;
- C) Австралія;
- D) Росія;
- E) Канада.

**41. Яка країна сьогодні контролює світовий ринок рідкісних земельних металів?**

- A) США;
- B) Японія;
- C) Австралія;
- D) Китай.

## РОЗДІЛ 13 ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКІВ

### Розрахунок гідроустановок

**Задача 1.** Визначити потужність малої ГТС, якщо дано витрату води  $Q$  та напір  $H$ . Коефіцієнт втрат напору в гідроканалі  $K=0,85$ , ККД гідротурбіни  $\eta_T$  і ККД гідрогенератора  $\eta_g$ .

Енергетична потужність гідроенергетичної установки розраховується за формулою:

$$N = K \cdot \eta_T \cdot \eta_g \cdot \rho \cdot g \cdot H \cdot Q, \text{ Вт}, \quad (14.1)$$

де  $K$  – коефіцієнт втрат напору в гідроканалі,  $\eta_T$  - ККД гідротурбіни (0,7...0,88),  $\eta_g$  - ККД гідрогенератора (0,9...0,96),  $\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  - густина води,  $g = 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$  - прискорення вільного падіння,  $H$  – напір (різниця рівнів води верхнього та нижнього б'єфів),  $Q$  - витрата води,  $\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$ .

**Задача 2.** Як зміниться потужність малої ГЕС, якщо напір  $H$  у посушливий період зменшиться у  $n=1,2$  рази, а витрата води  $Q$  зменшиться на  $m=20\%$ ? Втрати у гідротехнічних спорудах, водоводах, турбінах та генераторах рахувати постійними.

**Дано:**  $n=1,2$  рази;  $m=20\%$ .

**Знайти:**  $N/N_n$ ?

**Розв'язок:**

Потужність ГЕС (Вт) визначають за наступним рівнянням:

$$N = 9,81 \cdot Q \cdot H \cdot \eta, \text{ Вт}. \quad (14.2)$$

Нехай  $N$  – потужність малої ГЕС. Відомо, що напір водосховища  $H$  у посушливий період зменшиться у 1,2 рази, а витрата води  $Q$  зменшиться на 20%, тобто  $V_n = 0,8 \cdot V$ ,  $H_n = H/1,2$ .

Тобто

$$\frac{N}{N_n} = \frac{9,81 \cdot Q \cdot H \cdot \eta}{9,81 \cdot Q_n \cdot H_n \cdot \eta}. \quad (14.3)$$

Підставивши числові дані отримаємо:

$$\frac{N}{N_n} = \frac{9,81 \cdot Q \cdot H \cdot \eta}{9,81 \cdot 0,8 Q_n \cdot \frac{H}{1,2} \cdot \eta} = \frac{1,2}{0,8} = 1,5 \text{ рази.}$$

Отже, потужність малої ГЕС в посушливий період зменшиться у 1,5 рази.

**Задача 3.** Для заданих умов: витрата води  $h=140$  м; площа водозбору  $S=300$  км<sup>2</sup>; щорічні опади  $O=145$  см; ККД гідрогенератора  $\eta_g = 90\%$ ; ККД гідротурбіни  $\eta_T = 90\%$ ; втрати на випаровування -16%, визначити:

- а) середнє вироблення електроенергії;
- б) річне виробництво електроенергії;
- в) тип турбіни який необхідно застосувати, якщо швидкість обертання повинна бути меншою за 1000 об/хв.

**Розв'язок:**

а) визначимо середню кількість електроенергії, яку виробляє гідротурбіна. Враховуючи, що

$$\eta_0 = \eta_T + \eta_g = 0,9 \cdot 0,9 = 0,81, \quad (14.4)$$

та враховуючи випаровування, отримаємо

$$Q = Q_0 - Q_e = 0,84 \cdot S \cdot O, \quad (14.5)$$

де 0,84 – різниця кількості опадів і випарів.

Підставивши числові дані, отримаємо:

$$Q = 0,84 \cdot 300 \cdot 10^6 \cdot 1,45 = 3,654 \frac{\text{м}^3}{\text{рік}} \text{ або } 11,58 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Примітка: рік має 8766 годин.

Враховуючи, що

$$P = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot Q, \quad (14.6)$$

де  $P$  – потужність (Вт);  $\eta$  – ефективність турбіни;  $\rho$  – густина води;  $g$  – прискорення вільного падіння ( $9,8 \text{ м/с}^2$ );  $h$  – різниця висот водної поверхні;  $Q$  – витрата води ( $\text{м}^3/\text{с}$ ), отримаємо:

$$P = 0,81 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 140 \cdot 11,58 = 12,88 \text{ МВт}. \quad (14.7)$$

б) річне виробництво електроенергії буде дорівнювати:

$$P_p = 12,88 \cdot 8766 = 112,9 \frac{\text{МВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}. \quad (14.8)$$

с) враховуючи розраховану величину  $Q$  та задану величину  $h$ , за допомогою рис.9.7 знаходимо, що для даним умовам роботи буде відповідати турбіна типу Francis.

### **Розрахунок сонячних енергетичних установок**

**Задача 1.** Визначити теплоту, яка підводиться геліостатами до встановленого на вежі парогенератора паротурбінної сонячної електростанції, якщо задано кількість геліостатів  $n$ , площу дзеркал одного геліостату  $F$ , інтенсивність сонячного випромінювання  $I$ , коефіцієнт ефективності використання сонячного випромінювання  $\eta_s$ . Також необхідно визначити термі-

чний ККД і теоретичну потужність паротурбінної установки, яка працює за циклом Ренкіна, якщо задано параметри різкого пару  $p_1, t_1$ , тиск в конденсаторі  $p_2=10 \text{ кПа}$ , ККД парогенератора  $\eta_{ng} = 0,85$ . Як зміниться потужність сонячної енергетичної установки, якщо застосувати кремнієві фотоелектричні перетворювачі з ККД  $\eta_{fn}=0,15$ , які займатимуть ту ж площу, що і дзеркала геліостатів?

**Розв'язок:**

У паротурбінних сонячних енергетичних установках теплота сонячного випромінювання від дзеркал геліостатів концентрується на парогенераторі, який встановлений на вежі. Загальна кількість теплоти, яка прийнята парогенератором, розраховується за формулою:

$$Q = \eta_e \cdot n \cdot F \cdot I, \text{ Вт}, \quad (14.9)$$

де  $\eta_e$  - коефіцієнт ефективності використання сонячного випромінювання (0,35...0,5),  $n$  - кількість геліостатів,  $F$  - площа дзеркал одного геліостата,  $\text{м}^2$ ,  $I$  - інтенсивність сонячного випромінювання,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ .

Робота одного кілограма пари паротурбінної установки в циклі Ренкіна розраховується за формулою:

$$l = h_1 - h_2, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}, \quad (14.10)$$

а термічний ККД

$$\eta_t = \frac{(h_1 - h_2)}{(h_1 - h_k)}, \quad (14.11)$$

де  $h_1$  - ентальпія рідкої пари,  $h_2$  - ентальпія відпрацьованої в турбіні пари (визначається за допомогою  $h$ -s діаграми водяної

пари),  $h_k$  - ентальпія конденсату (визначається із таблиць термодинамічних властивостей води та водяної пари).

Теоретична потужність паротурбінної сонячної енергетичної установки розраховується за формулою:

$$N_{\phi n} = \eta_{\phi n} \cdot F_3 \cdot I, \text{ Вт}, \quad (14.12)$$

де  $\eta_{\phi n}$  - ККД фотоелектричних перетворювачів (0,13...0,18),  $F_3$  - загальна площа фотоелектричних перетворювачів,  $\text{м}^2$ .

**Задача 2.** Для опалення будинку протягом доби потрібно  $Q=0,60$  ГДж теплоти. При застосуванні для цієї цілі сонячної енергії теплова енергія може бути накопичена у водному акумуляторі. Припустимо, що температура гарячої води  $t_1=54$  °C. Який об'єм повинен мати бак акумулятора  $V$  ( $\text{м}^3$ ), якщо тепла енергія, що застосовується для опалення, застосовується до того часу, доки температура не понизиться до  $t_2=29$  °C? Густина води  $\rho=1000$   $\text{кг}/\text{м}^3$ , теплоємність  $c_p=4,2 \cdot 10^3$  Дж/(кг·K).

**Дано:**  $Q=0,60$  ГДж;  $t_1=54$  °C;  $t_2=29$  °C;  $\rho=1000$   $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $c_p=4,2 \cdot 10^3$  Дж/(кг·K).

**Знайти:**  $V$ ?

**Розв'язок:**

Застосуємо наступну формулу:

$$Q = \rho \cdot V \cdot C_p \cdot (t_1 - t_2). \quad (14.13)$$

де  $\rho$  - густина води,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $V$  - об'єм бака акумулятора,  $\text{м}^3$ ;  $t_1$  - температура нагрітої води, °C;  $t_2$  - температура охолодженої води, °C;

Виразивши із 14.13  $V$ , отримаємо:

$$V = \frac{Q}{\rho \cdot C_p \cdot (t_1 - t_2)}. \quad (14.14)$$



Підставивши числові дані отримаємо:

$$V = \frac{0,60 \cdot 10^9}{1000 \cdot 4,2 \cdot 10^3 \cdot (54 - 29)} = 5,71 \text{ м}^3.$$

Отже, ємність бака акумулятора повинна бути  $V=5,71 \text{ м}^3$ .

**Задача 3.** На сонячній електростанції типу вежа встановлено  $n=263$  геліостатів, кожний із яких має поверхню  $F_2=58 \text{ м}^2$ . Геліостати відбивають сонячне проміння на приймач, на поверхні якого зареєстрована максимальна енергетична освітленість  $H_{np} = 2,5 \text{ МВт/м}^2$ . Коефіцієнт відбиття геліостату  $R_2 = 0,8$ . Коефіцієнт поглинання приймача  $A_{np} = 0,95$ . Максимальне опромінення дзеркала геліостату  $H_2=600 \text{ Вт/м}^2$ .

Визначити площу поверхні приймача  $F_{np}$  та теплові втрати в ньому, які викликані випромінюванням та конвекцією, якщо робоча температура теплоносія складає  $t=660 \text{ }^\circ\text{C}$ . Ступінь чорноти приймача  $e_{np} = 0,95$ . Конвективні втрати вдвічі менші за втрати від випромінювання.

**Дано:**  $n=263$ ;  $F_2=58 \text{ м}^2$ ;  $H_{np}=2,5 \text{ МВт/м}^2$ ;  $R_2 = 0,8$ ;  $A_{np} = 0,95$ ;  $H_2=600 \text{ Вт/м}^2$ ;  $t=660 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $e_{np} = 0,95$ .

**Знайти:**  $F_{np}$ ,  $Q_n$  - ?

**Розв'язок:**

Енергія, що отримується приймачем від сонця через геліостати (Вт), визначається за наступним рівнянням:

$$Q = R_2 \cdot A_{np} \cdot F_2 \cdot H_2 \cdot n. \quad (14.15)$$

де  $R_2$  - коефіцієнт відбиття геліостату;  $A_{np}$  - коефіцієнт поглинання приймача;  $F_2$  - площа поверхні геліостату,  $\text{м}^2$ ;  $H_2$  - опромінення дзеркала геліостату  $\text{Вт/м}^2$ ;  $n$  - кількість геліостатів.

Підставивши числові дані отримаємо:

$$Q = 0,8 \cdot 0,95 \cdot 58 \cdot 600 \cdot 263 = 6955824 \text{ Вт.}$$

Площу поверхні приймача визначають, якщо відомо енергетичну освітленість на ньому  $H_{np}$ ,  $MВт/м^2$ :

$$F_{np} = \frac{Q}{H_{np}}. \quad (14.16)$$

Підставивши числові дані отримаємо:

$$F_{np} = \frac{6955824}{2500000} = 2,782 м^2.$$

Втрати тепла за рахунок випромінювання у теплоприймачі визначають за законом Стефана-Больцмана:

$$q_{\epsilon} = \epsilon_{np} \cdot C_0 \cdot \left( \frac{T}{100} \right)^4. \quad (14.17)$$

де  $T$  - абсолютна температура теплоносія, К;  $\epsilon_{np}$  - ступінь чорноти приймача;  $C_0$  - коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла,  $Вт/(м^2 \cdot К^4)$ .

Підставивши числові дані отримаємо:

$$q_{\epsilon} = 0,95 \cdot 5,67 \cdot \left( \frac{660 + 273}{100} \right)^4 = 4,08 \cdot 10^4 Вт/м^2.$$

Теплові втрати, що викликані випромінюванням та конвекцією розраховуються за формулою:

$$q_n = q_{\epsilon} + q_{кон} = q_{\epsilon} + \frac{q_{\epsilon}}{2}, Вт/м^2. \quad (14.18)$$

Підставивши числові дані отримаємо:

$$q_n = 4,08 \cdot 10^4 + \frac{4,08 \cdot 10^4}{2} = 6,12 \cdot 10^4 \text{ Вт/м}^2.$$

Теплові втрати на поверхні приймача визначаються за формулою:

$$Q_n = q_n \cdot F_{np}, \text{ Вт.} \quad (14.19)$$

Підставивши числові дані отримуємо:

$$Q_n = 6,12 \cdot 10^4 \cdot 2,782 = 17,02 \cdot 10^4 \text{ Вт.}$$

Отже, площа поверхні приймача  $F_{np}=2,782 \text{ м}^2$ , а теплові втрати, що викликані випромінюванням та конвекцією  $Q_n = 17,02 \cdot 10^4 \text{ Вт.}$

### **Розрахунок вітроустановок**

**Задача 1.** Визначити потужність вітрової електростанції яка має  $n$  однотипних вітроустановок. Якщо задано довжину лопаті вітроколеса  $L$ , швидкість вітру  $v$ , ККД вітродвигуна  $\eta_e$ , електричний ККД вітродвигуна та перетворювача  $\eta_e$ , температуру повітря  $t$  та атмосферний тиск  $p$ .

#### **Розв'язок:**

Потік вітру, що проходить через площу захвату лопатей турбіни  $F$ , розраховується за наступною формулою:

$$E = \frac{m \cdot v^2}{2}, \text{ Дж,} \quad (14.20)$$

де  $v$  – швидкість вітру,  $\text{м/с}$ ,  $m$  – маса повітря.

За секунду через площу турбіни  $F$  проходить повітря  $m = \rho \cdot v \cdot F$  кг/с, де  $\rho = \frac{P}{RT}$  - густина повітря,  $\text{кг/м}^3$ ,  $P$  - атмосферний тиск, Па,  $R = 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$  - газова постійна,  $T$  - абсолютна температура, К. Площа  $F$  визначається через довжину лопаті  $L$  вітроколеса:  $F = \pi \cdot L^2$ . Відповідно потужність  $N$ , яку виробляє вітроколесо, розраховується за наступною формулою:

$$N = \frac{\eta_e \cdot \eta_g \cdot \rho \cdot \pi \cdot L^2 \cdot v^3}{2}, \text{ Вт}, \quad (14.21)$$

де  $\eta_g$  - ККД вітродвигуна (0,25...0,35);  $\eta_e$  - електричний ККД вітродвигуна та перетворювача (0,70...0,85).

### Розрахунок геотермальних енергетичних установок

**Задача 1.** Визначити початкову температуру  $t_2$  та кількість геотермальної енергії  $E_o$  (Дж) водоносного пласта товщиною  $h=0,8$  км при глибині залягання  $z=3,5$  км, якщо задані характеристики породи пласта: густина  $\rho_{sp} = 2700 \text{ кг/м}^3$ ; пористість  $a = 5 \%$ ; питома теплоємність  $C_{sp} = 840 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ ; температурний градієнт  $(dT/dz) = 65 \text{ }^\circ\text{C/км}$ .

Середню температуру поверхні  $t_o$  прийняти рівною  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ . Питома теплоємність води  $C_e = 4200 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ ; густина води  $\rho_e = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ . Розрахунок виконати відносно площі поверхні  $F = 1 \text{ км}^2$ . Мінімально допустиму температуру пласта прийняти  $t_1 = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Також визначити постійну часу вилучення теплової енергії  $\tau_o$  (років) при закачуванні води в пласт та її витраті  $V = 0,1 \text{ м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$ . Визначити якою буде теплова потужність, яка отримується на початковому етапі  $(dE/d\tau)_{\tau=0}$  та через 10 років  $(dE/d\tau)_{\tau=10}$  ?

**Дано:**

$h=0,8$  км;  $z=3,5$  км;  $p_{zp} = 2700$  кг/м<sup>3</sup>;  $a = 5$  %;  $C_{zp} = 840$  Дж/(кг·К);  $(dT/dz) = 65$  °С /км;  $t_o=10$  °С;  $\rho = 1 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>;  $C_e = 4200$  Дж/(кг·К);  $F = 1$  км<sup>2</sup>;  $t_1 = 40$  °С;  $V = 0,1$  м<sup>3</sup>/(с·км<sup>2</sup>); 1)  $\tau=0$  років; 2)  $\tau=10$  років.

**Знайти:**  $t_2$ ,  $E_o$ ,  $\tau_o$  ?

**Розв'язок:**

Визначимо температуру водоносного пласта перед початком його експлуатації:

$$t_2 = t_0 + \left( \frac{dT}{dz} \right) \cdot z = 10 + 65 \cdot 3,5 = 237,5^0 C = 510,5, K. \quad (14.22)$$

$$[^0C + \frac{^0C}{км} \cdot км] = [^0C].$$

Теплоємність пласта  $C_{пл}$  (Дж/К) визначають із виразу:

$$C_{пл} = [\alpha \cdot \rho_e \cdot C_e + (1 - \alpha) \cdot \rho_{zp} \cdot C_{zp}] \cdot h \cdot F, \frac{Дж}{К}. \quad (14.23)$$

Підставивши числові дані отримуємо:

$$\begin{aligned} C_{пл} &= [0,05 \cdot 1 \cdot 10^3 \cdot 4200 + (1 - 0,05) \cdot 2,7 \cdot 10^3 \cdot 840] \cdot 800 \cdot 1 \cdot 10^6 = \\ &= 1,9 \cdot 10^{15} \frac{Дж}{К}; \end{aligned}$$

$$\left[ \frac{кг}{м^3} \cdot \frac{Дж}{кг \cdot К} + \frac{кг}{м^3} \cdot \frac{Дж}{кг \cdot К} \right] \cdot м \cdot м^2 = [Дж/К].$$

Теплова потужність, яка отримується на початковому етапі  $E_o$  розраховується за формулою:

$$E_o = C_{пл} \cdot (T_2 - T_1), Дж. \quad (14.24)$$

Підставивши числові дані отримаємо:

$$E_0 = 1,9 \cdot 10^{15} \cdot (237,5 - 40) = 3,7 \cdot 10^{17}, \text{ Дж.}$$

$$\left[ \frac{\text{Дж}}{\text{К}} \cdot \text{К} \right] = \text{Дж.}$$

Постійну часу вилучення теплової енергії пласта  $\tau_0$  (можливий час використання, років) при відведенні теплової енергії та закачуванні у нього води із об'ємною витратою  $V$  ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) визначають за наступною формулою:

$$\tau_0 = \frac{C_{nl}}{V \cdot \rho_e \cdot C_e}, \text{ с.} \quad (14.25)$$

Підставивши числові дані отримаємо:

$$\tau_0 = \frac{1,9 \cdot 10^{15}}{0,1 \cdot 1000 \cdot 4200} = 4,5 \cdot 10^9 \text{ с} = 143 \text{ роки.}$$

$$\frac{\text{Дж}}{\text{К}} \cdot \frac{\text{с}}{\text{м}^3} \cdot \frac{\text{м}^3}{\text{кг}} \cdot \frac{\text{кг} \cdot \text{К}}{\text{Дж}} = \text{с}$$

Теплова потужність на початковому етапі буде рівною :

$$\left( \frac{dE}{d\tau} \right)_{\tau=0} = \frac{E_0}{\tau_0} \cdot e^{-\frac{\tau}{\tau_0}} = \frac{E_0}{\tau_0} \cdot 1 = \frac{3,7 \cdot 10^{17}}{4,5 \cdot 10^9} = 0,82 \cdot 10^8 \text{ Вт} = 82 \text{ МВт},$$

а через 10 років

$$\left( \frac{dE}{d\tau} \right)_{\tau=10} = \frac{E_0}{\tau_0} \cdot e^{-\frac{\tau}{\tau_0}} = \frac{E_0}{\tau_0} \cdot e^{-\frac{10}{143}} = \left( \frac{dE}{d\tau} \right)_{\tau=0} \cdot e^{-\frac{10}{143}} = 82 \cdot e^{-\frac{10}{143}} = 76 \text{ МВт.}$$

Отже, початкова температура  $t_2 = 237,5$  °C; теплова потужність до початку експлуатації  $E_0 = 3,7 \cdot 10^{17}$  Дж; можливий час використання пласта  $\tau_0 = 143$  роки; теплова потужність на

початковому етапі  $\left(\frac{dE}{d\tau}\right)_{\tau=0} = 82 \text{ МВт}$ , а через десять років  $\left(\frac{dE}{d\tau}\right)_{\tau=10} = 76 \text{ МВт}$ .

### Розрахунок біогазогенератора

**Задача 1.** Визначити об'єм біогазогенератора  $V_6$  та добовий вихід біогазу  $V_2$  в установці, яка утилізує послід від  $n=18$  корів, а також її теплову потужність  $N$  (Вт). Час циклу бродіння  $\tau = 14$  діб при температурі  $t = 25^\circ \text{C}$ ; швидкість подачі сухого матеріалу від однієї тварини  $W = 2 \text{ кг/добу}$ ; вихід біогазу із сухої маси  $v_2 = 0,24 \text{ м}^3/\text{кг}$ . Вміст метану в біогазі становить 70%. ККД пристрою для спалювання газу -  $\eta = 0,68$ . Густина сухого матеріалу, що розміщений в біогазогенераторі  $\rho_c \approx 50 \text{ кг/м}^3$ . Теплота згорання метану при нормальних фізичних умовах  $Q_n^p = 28 \text{ МДж/м}^3$ .

**Дано:**

$n=18$  голів;  $\tau=14$  діб;  $t = 25^\circ \text{C}$ ;  $W = 2 \text{ кг/добу}$ ;  $v_2 = 0,24 \text{ м}^3/\text{кг}$ ;  $\eta=0,68$ ;  $\rho_c \approx 50 \text{ кг/м}^3$ ;  $Q_n^p = 28 \text{ МДж/м}^3$ ;  $f_m=0,7$ .

**Знайти:**  $V_6, V_2, N$ ?

**Розв'язок:**

Подача сухого матеріалу в біогазогенератор від 18 тварин відбувається зі швидкістю

$$m_0 = W \cdot n = 2 \cdot 18 = 36 \frac{\text{кг}}{\text{добу}}. \quad (14.26)$$

Добовий об'єм рідкої маси  $V_{\text{доб}}$ , що поступає в біогазогенератор ( $\text{м}^3/\text{добу}$ ) визначають за наступною формулою:

$$V_{\text{доб}} = \frac{m_0}{\rho_c} = \frac{36}{50} = 0,72 \frac{\text{м}^3}{\text{добу}}.$$

Об'єм біогазогенератора, який необхідний для ферми, розраховується за наступною формулою:

$$V_{\text{г}} = \tau \cdot V_{\text{дог}}, \text{ м}^3. \quad (14.27)$$

Підставивши числові дані отримаємо:

$$V_{\text{г}} = 14 \cdot 0,72 = 10,08 \text{ м}^3.$$

Добовий вихід біогазу розраховується за наступною формулою:

$$V_2 = m_0 \cdot v_2, \text{ м}^3/\text{добу}. \quad (14.28)$$

Підставивши числові дані отримаємо:

$$V_2 = 36 \cdot 0,24 = 8,64, \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Теплова потужність пристрою, що використовує біогаз розраховується за наступною формулою:

$$N = \eta \cdot Q_n^p \cdot V_2 \cdot f_m, \frac{\text{МДж}}{\text{добу}}. \quad (14.29)$$

Підставивши числові дані отримаємо:

$$N = 0,68 \cdot 28 \cdot 8,64 \cdot 0,7 = 115 \frac{\text{МДж}}{\text{добу}}.$$

Отже, об'єм біогазогенератора  $V_{\text{г}} = 10,08 \text{ м}^3$ , добовий вихід біогазу  $V_2 = 8,64, \text{ м}^3/\text{добу}$ , теплова потужність пристрою, що використовує біогаз  $N = 115 \text{ МДж}/\text{добу}$ .



## Розрахунок океанічної ТЕС

**Задача 1.** Рахується, що дійсний ККД  $\eta_o$  океанічної ТЕС, який враховує температурний перепад поверхневих та глибинних вод  $(T_1 - T_2) = \Delta T$  та працює за циклом Ренкіна, вдвічі менший за термічний ККД установки, що працює за циклом Карно,  $\eta_t^k$ . Оцінити можливу величину дійсного ККД океанічної ТЕС, робочим тілом якої є аміак, якщо температура води на поверхні океану  $t_1 = 28^\circ\text{C}$ , а температура води на глибині  $t_2 = 4^\circ\text{C}$ . Яка витрата води  $V$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$  необхідна для океанічної ТЕС потужністю  $N = 8 \text{ МВт}$ . Густина води вважати рівною  $\rho = 1 \cdot 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$ , а теплоємність  $c_p = 4,2 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ .

**Дано:**

$\eta_o = 0,5 \cdot \eta_t^k$ ;  $t_1 = 28^\circ\text{C}$ ;  $t_2 = 4^\circ\text{C}$ ;  $N = 8 \text{ МВт}$ ;  $\rho = 1 \cdot 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;  $c_p = 4,2 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ .

**Знайти:**  $\eta_o, V$ ?

**Розв'язок:**

Різниця температур поверхневих та глибинних вод визначається за формулою:

$$\Delta T = T_1 - T_2 = 28 - 4 = 24\text{К}. \quad (14.30)$$

Термічний ККД установки, що працює за циклом Карно розраховується за формулою:

$$\eta_t^k = \frac{\Delta T}{T_1} = \frac{24}{28 + 273} = 0,0797.$$

В ідеальному теоретичному циклі Карно механічна потужність  $N_o$  ( $\text{Вт}$ ) визначається за допомогою рівняння:

$$N_o = \eta_t^k \cdot Q_o. \quad (14.31)$$

Реальний ККД установки, що працює за циклом Ренкіна, визначається із виразу:

$$\eta_o = 0,5 \cdot \eta_i^k = 0,5 \cdot 0,0797 = 0,0398. \quad (14.32)$$

Механічна потужність  $N$  ( $Bm$ ) установки, що працює за циклом Ренкіна розраховується за формулою:

$$N = \eta_o \cdot Q_o. \quad (14.33)$$

Теплова потужність  $Q_o$  ( $Bm$ ), що отримується від теплої води, визначається за допомогою рівняння:

$$Q_o = \frac{N}{\eta_o}, MBm. \quad (14.34)$$

Підставивши числові дані, отримуємо

$$Q_o = \frac{8}{0,0398} = 201 MBm.$$

Витрата теплої води  $V$ , яка необхідна для океанічної ТЕС, щоб підтримати задану потужність розраховується за формулою:

$$V = \frac{Q_o}{\rho \cdot C_p \cdot \Delta T} = \frac{201000000}{1 \cdot 10^3 \cdot 4,2 \cdot 10^3 \cdot 24} = 1,99 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (14.35)$$

Отже, дійсний ККД океанічної ТЕС  $\eta_o = 3,98\%$ , а витрата води  $V = 1,99 \text{ м}^3/\text{с}$ .

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Herbert Girardet. A Renewable world. Energy, ecology, equality. A report for the World Future Council / Herbert Girardet and Miguel Mendonca. - 2009. - 256 p.
2. Rolf Peter Sieberle. Der unterin dische Wald, Energiekrise und indudtrielle revolution. – München: C.H. Beck. -1982.
3. Bailey M. Railway regulations in the 19th century. [www.mfbailey.com.uk/economics/papers/rail.pdf](http://www.mfbailey.com.uk/economics/papers/rail.pdf).
4. Goodwin J. Otis givin rise to the modern city, a history of the OtisElevator Company. - Ivan R. Dee Publisher. - 2001. -320 p.
5. World resources institute, Washington, Urban Growth. [www.org/wr-98-99/citygrow.html](http://www.org/wr-98-99/citygrow.html).
6. Wikipedia, [en.wikipedia.org/wiki/Petroleum](http://en.wikipedia.org/wiki/Petroleum).
7. EE Times Asia, 2 April 2009. [www.eetasia.com/ART\\_8800568569\\_499495 NT 0a8a4485.HTM](http://www.eetasia.com/ART_8800568569_499495_NT_0a8a4485.HTM).
8. Alexander’s Gas and Oil connections, China’s private car ownership tops 10m. [www.gasandoil.com/doc/news/nts32806.htm](http://www.gasandoil.com/doc/news/nts32806.htm).
9. US Energy Information Administration. [www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/coal.html](http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/coal.html).
10. Air pollution legislation. [www.enviropedia.org.uk/Air\\_Quality/Legislation.php](http://www.enviropedia.org.uk/Air_Quality/Legislation.php).
11. International agreements on acid rain. [www.ace.mmu.ac.uk/ae/acid\\_rain/Older/International\\_Agreements.html](http://www.ace.mmu.ac.uk/ae/acid_rain/Older/International_Agreements.html).
12. Мельнійчук М.М. Geographical raw mineral-material aspect of development of renewable energy / Мельнійчук М.М., Боблях С.Р., Калько А.Д // Вісник Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна, №33. – 2010. – С.132- 137.
13. Wave Energy paper. IMechE, 1991 and European Directory of Renewable Energy. – 2005.
14. Roger Bedard. Final Summary Report, Project Definition Study, Offshore Wave Power Feasibility Demonstration Project. - Report EPRI Global WP 009 - US Rev 1. - 2005. – 34 p.
15. Christensen L. Wave Dragon ApS, Copenhagen, Denmark. - Argonne National Laboratory. – 2006.

16. European Thematic Network on Wave Energy (ETNWE), Results from the Work of the European Thematic Network on Wave Energy, ERK5-CT-1999-20001, 2000-2003. [www.wave-energy.net](http://www.wave-energy.net).

17. Adrian G. Uribarri. Dreams of converting ocean energy into electricity move closer to commercial reality. – Los Angeles Times. - 2007.

18. Ocean Power Delivery Ltd. World's first wave farm shipping of first machine to Portugal. - Press release, March 14, 2006. [www.oceanpd.com](http://www.oceanpd.com).

19. Rhinefrank K. Wave energy research. Development, and demonstration at Oregon State University, presented at Energy Ocean. - Washington, D.C. - April 26-28, 2005.

20. Charlier R. H. Ocean Energies: Environmental, Economic and Technological Aspects of Alternative Power Sources. - Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Netherlands. – 1993.

21. Japan Marine Science and Technology Center (JAMSTEC). Wave Energy Research and Development at JAMSTEC, Offshore Floating Wave Energy Device, Mighty Whale. – 2006.

22. B. Stayanov, A. Taylor. Geothermal resources in Russia and Ukraine. – 1996. – 44 p.

23. Атлас геотермальних ресурсів Європи. Густота розподілу гарячих потоків. - Євроспілка 2002. Публ.№ EUR 17811.

24. Мельнійчук М.М. Geographical parameters of extraction geothermal energy in Ukraine/ Мельнійчук М.М., Боблях С.Р., Калько А.Д // Вісник Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна, №33. – 2010. – С.138- 143.

25. [www.potterdrilling.com/technology/explained](http://www.potterdrilling.com/technology/explained).

26. Price Trevor J. James Blyth - Britain's first modern wind power engineer. - Wind Engineering 29 (3). P. 191–200. - 2005.

27. Where does the wind come from and how much is there. - Claverton Energy Conference. - 2008.

28. Xi Lu, Michael B. McElroy, Juha Kiviluoma. Global potential for wind-generated electricity. – School of engineering and applied sciences. Harvard University. – 2009. – 6 p.

29. World Wind Energy Report. - Report of World Wind Energy Association. February 2010. [www.wwindea.org/home/images/stories/worldwindenergyreport2009\\_s.pdf](http://www.wwindea.org/home/images/stories/worldwindenergyreport2009_s.pdf). Retrieved 13-March-2010.

30. World Wind Energy Association Statistics. <http://www.wwindea.org/home/index.php>

31. Lema Adrian, Kristian Ruby. Between fragmented authoritarianism and policy coordination: Creating a Chinese market for wind energy. - Energy Policy, Vol. 35, Issue 7. - 2007.

32. 1,000 MW wind energy farm in the works. - POWER-GEN WorldWide. - 2010.

33. Atlas do Potencial Eólico Brasileiro. [http://www.cresesb.cepel.br/atlas\\_eolico\\_brasil/atlas-web.htm](http://www.cresesb.cepel.br/atlas_eolico_brasil/atlas-web.htm).

34. Wind Energy: Rapid Growth. Canadian Wind Energy Association. [http://www.canwea.ca/downloads/en/PDFS/Rapid\\_growth\\_eng\\_April\\_06.pdf](http://www.canwea.ca/downloads/en/PDFS/Rapid_growth_eng_April_06.pdf).

35. Кудря С.О. Атлас енергетичного потенціалу відновлювальних та нетрадиційних джерел енергії України. – Київ. - 2007.

36. Le Treut, H., R. Somerville, U. Cubasch, Y. Ding, C. Mauritzen, A. Mokssit, T. Peterson, M. Prather. Historical Overview of Climate Change. - Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. – 2007.

37. Norton Oliver. Solar energy: A new day dawning?: Silicon Valley sunrise. – nature, Vol.443, Issue 7107. – P. 19-22. - 2006.

38. Nathan S. Lewis, Daniel G. Nocera. Powering the Planet: Chemical challenges in solar energy utilization. – Stanford University, CA. - 2006.

39. Energy conversion by photosynthetic organisms. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/docrep/w7241e/w7241e06.htm>.

40. Michael Boxwell. Solar Electricity Handbook. - Edition: A simple practical guide to solar energy - designing and installing photovoltaic solar electric systems. – Greenstream Publishing. – 2011. - 36 p.

41. Weiss Werner, Fanz Mauthner. Solar Heat Worldwide - Markets and Contribution to the Energy Supply 2009. Edition 2011. – Institute for sustainable technologies. – 2011. – 56 p.

42. Del Chiaro Bernadette, Telleen-Lawton Timothy. Solar water heating (How California can reduce its dependence on natural gas). - Environment California Research and Policy Center. - 2010.

43. Юдасин Л. С. Энергетика: проблемы и надежды. М, 1990. - 205 с.

44. Чернобровкін А.В. Фотоелектричні системи живлення автономної апаратури: сонячні батареї / Чернобривкін А.В. // Вісник Держгідрографії. – Київ. – 2010. – С. 6 – 8.

45. Калмикова Ю. Казахстанський біоетанол / Ю. Калмикова // Зелена енергетика. - 2008. - №2 (30). - С. 14.

46. U.S. Environmental Protection Agency. Part II, 40 CFP Parts 80, 85, and 86, Control of Air Pollution from New Motor Vehicles: Tier 2 Motor Vehicle Emissions Standards and Gasoline Sulfur Control Requirements; Final Rule. - 2000.

47. U.S. Environmental Protection Agency. Model Light Duty Gasoline Vehicle, Fuel Economy Test Results, personal communication, Robert Frend, EPA Office of Transportation and Air Quality, Assessment and Standards Division. – 2006.

48. Final Report Entitled “Optimal Ethanol Blend-Level Investigation”; EERC Fund 9495. - 21 p.

49. Окоча А. Диметилловий ефір – ще один вид альтернативного палива для дизельних двигунів / А. Окоча // Пропозиція. - 2009. - № 6. - С. 110 - 114.

50. Диметилловий ефір. ЭСКО. Электронный журнал энергетической кампании „Экологические системы”. – №1, 2006.

51. Окоча А.І., Білоконь Я.Ю. Паливно-мастильні та інші експлуатаційні матеріали. - К.: Український центр духовної культури, 2004. - 448 с.

52. Біопалива (технології, машини та обладнання) / В. Дубровін, М. Корчемний, І. Масло, О. Шептицький, З. Пасторе, А. Гжибек, П. Євич, Т. Амон, В. Криворучко - К.: ЦТІ „Енергетика і електрифікація”, 2004. – 256 с.

53. Драгнев, С. В. Технологічні аспекти виробництва біодизельного палива / С. В. Драгнев // Наук. вісн. Нац. аграр. ун-ту. – 2007. - № 107. - С. 302 - 308.

54. Наукове забезпечення сталого розвитку сільського господарства. Лісостеп. Київ – 2004 р. 2 томи.

55. Біопаливо та відновлювальні джерела енергії, проблеми і перспективи розвитку: матеріали наук.-практ. конф. – Вінниця : РВВВДАУ, 2006. - 103 с.

56. Шапочка, М.К. Перспективи функціонування гідроенергетики України як альтернативного джерела енергії / М.К. Шапочка, С.А. Прийменко // Вісник Сумського державного університету. Серія Економіка. - 2011. - №1. - С. 40 - 44.

57. Bartle A. Hydropower potential and development activities. Energy Policy, 2002. -Vol. 30, Issue 14. - P. 1231 - 1239.

58. Шидловський А.К., Поташник С.І., Федоренко Г.М. Надійні гідроелектростанції - гарант технологічної безпеки та ефективної експлуатації АЕС та ТЕС// Гідроенергетика України. - 2005. - № 1. - С. 8-11.

59. Гидроэнергетика и окружающая среда/ Под общ. ред. Ю. Ландау и Л.А. Сиренко. - К. : Либра, 2004. - 484 с.

60. Шпильрайн З.З. Нетрадиционная энергетика в рамках государственной научно-технической программы России "Экологически чистая энергетика". - 1994. - № 2. - С. 2-15.

61. Oil & Gas Journal, January 1, 2010.

62. Yergin Daniel. The prize : the epic quest for oil, money, and power. – 773 p.

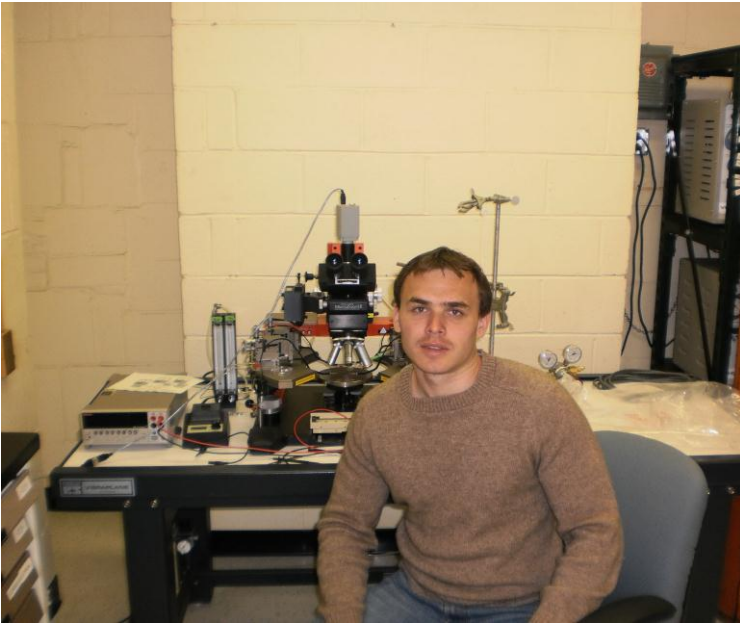
63. EREC.Renewable energy scenario by 2040, EREC Statistics, Brussels. - 2006.

64. British Geological Survey. Rare Earth Elements. - 2010.

65. Росія обійшла Саудівську аравію у видобутку нафти. <http://www.epravda.com.ua/news/2011/01/3/264608/>.

66. Jeffrey J. Brown, Samuel Foucher. A quantitative assessment of future net oil exports by the top five net oil exporters. - GraphOilogy / Energy Bulletin. - 2008.

## ДОВІДКА ПРО АВТОРІВ



*Боблях Сергій Ростиславович* – старший викладач кафедри розробки родовищ корисних копалин Національного університету водного господарства та природокористування.

У 2009 році отримав науковий ступінь кандидата технічних наук, після успішного захисту дисертації у Національному гірничому університеті, м. Дніпропетровськ.

Із 2010-2011 був фіналістом програми академічних обмінів імені Фулбрайта, що фінансувалась Державним Департаментом США та Міжнародним Інститутом Освіти і проводив експериментальні дослідження й навчання в Державному університеті штату Пенсільванія. Коло наукових інтересів: теоретичні та експериментальні аспекти геотехнологічних методів видобутку корисних копалин, а також суміжні дослідження навколишнього середовища, енергетики та матеріалів.





*Мельнійчук Михайло Михайлович* закінчив у 1987 році Луцький державний педагогічний інститут імені Лесі Українки (зараз Волинський національний університет імені Лесі Українки) за спеціальністю «Вчитель географії та біології середньої школи». З вересня 1987 року працював на посаді старшого лаборанта кафедри економічної та соціальної географії, з листопада цього року до 15 жовтня 1991 на посаді асистента кафедри фізичної географії, з жовтня 1991 року по 15 жовтня 1994 р. навчався в аспірантурі при кафедрі фізичної географії, з лютого 1995 року на посаді старшого викладача кафедри фізичної географії, з 1996 року по даний час доцент кафедри фізичної географії, з листопада 2005 року – декан географічного факультету Волинського національного університету імені Лесі Українки.

Кандидатську дисертацію захистив у 1995 р. на тему «Деградаційні процеси в ґрунтах Волинської області (геогра-

фічні аспекти)» за спеціальністю 11.00.01 – фізична географія, геохімія та геофізика ландшафтів. Кандидат географічних наук (1995 р.). Автор більше 80 наукових праць.

Основні напрямки наукових вишукувань: еколого-геоморфологічний, ґрунтознавчий, природно-рекреаційний. Здійснено дослідження деградаційних процесів у ґрунтах Волинської області. Працює над написанням докторської дисертації : «Рекреаційний потенціал Північно-Західного регіону України».



*Мельник Володимир Сергійович* – старший викладач кафедри електротехніки та автоматики Національного університету водного господарства та природокористування.

Коло наукових інтересів: багаторівневі розподілені системи управління, мікропроцесорні та програмні засоби автоматизації, використання низькопотенціального тепла, автоматизація теплогідромеліоративних систем.



*Ігнатюк Роман Михайлович* – аспірант кафедри розробки родовищ корисних копалин Національного університету водного господарства та природокористування за спеціальністю 05.15.09 «Геотехнічна та гірничя та механіка».

У 2008 році закінчив Національний університет водного господарства та природокористування за спеціальністю «Гірництво». З 2008 по 2009 працював в Інституті післядипломної освіти НУВГП на посаді провідного фахівця.

Коло наукових інтересів: нетрадиційні методи видобутку корисних копалин, а також нетрадиційні та відновлювані джерела енергії.