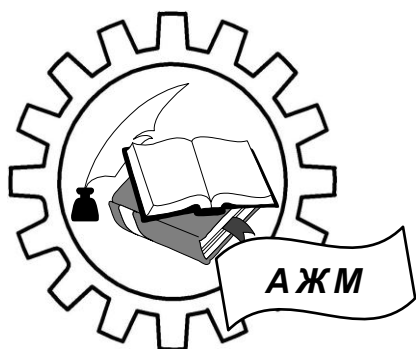


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ І КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ



Кафедра Обладнання переробних
і харчових виробництв

**АЛЬТЕРНАТИВНЕ ЖИВЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ
МАШИНОБУДУВАННЯ**

Конспект лекцій

для студентів ОС "Бакалавр"
зі спеціальності "Галузеве машинобудування"
денної і заочної форми навчання

Мелітополь, 2017

УДК 659.4

Альтернативне живлення обладнання машинобудування. Конспект лекцій для студентів спеціальності 133 "Галузеве машинобудування" ОС Бакалавр - Таврійський державний агротехнологічний університет, 2017 – 101 с.

Розробники: к.т.н., доцент каф. ОПХВ Самойчук К.О.

к.т.н., професор каф. ОПХВ Ялпачик Ф.Ю.

Рецензент: к.т.н, доц. каф. СГМ Саньков С.М.

Розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри ОПХВ

Протокол № _____ від «_____» _____2017 р.

Затверджено методичною комісією факультету ІКТ

Протокол № _____ від «__» _____2017 р.

ЗМІСТ

Вступ	4
Тема № 1 Сучасний стан енергозабезпечення України і його перспективи	5
Тема №2 Енергія Сонця	15
Тема №3 Енергія вітру	26
Тема №4 Біопаливо. Біогазові установки	39
Тема № 5 Використання вторинних енергоресурсів	48
Тема № 6 Теплові акумулятори енергії	66
Тема № 7 Енергія океану	70
Тема №8 Геотермальна енергія	86
Список літератури	100

ВСТУП

Дисципліна «Альтернативне живлення обладнання машинобудування» вивчається на кафедрі ОПХВ факультету ІКТ для напряму підготовки «Машинобудування».

Мета вивчення дисципліни полягає у підготовці фахівців, здатних ставити і вирішувати завдання, що передбачають використання поновлюваних джерел енергії в енергобалансі країни і регіону, результатом яких має бути всебічне енергозбереження в промисловості і на об'єктах житлово-комунального господарства і поліпшення екологічних умов. Основне завдання конспекту лекцій – повідомити студентам данні про стан і перспективи розвитку нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії у світі і в Україні; фізичних основах перетворення сонячної енергії в теплову і електричну, конструкціях і схемах систем сонячного тепло- і електропостачання, перетворення енергії вітру, основах використання енергії морських хвиль і течій, способах використання геотермальної енергії в системах теплопостачання, можливостях застосування біомаси і твердих побутових відходів як енергетичне паливо.

В результаті вивчення дисципліни студент повинен знати: види поновлюваних джерел енергії: Сонця і вітру, біогазу, основи державної політики в області енергозбереження, методи і критерії оцінки ефективності використання енергії з врахуванням економічних і екологічних вимог в конкретних умовах, основні види поновлюваних джерел енергії: океану, геотермальної і теплової енергії, основи державної політики в області енергозбереження, методи і критерії оцінки ефективності використання енергії з врахуванням економічних і екологічних вимог в конкретних умовах.

Лекція №1

СУЧАСНИЙ СТАН ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УКРАЇНИ І ЙОГО ПЕРСПЕКТИВИ

1. Енергетика і електростанції України.
2. Види і перспективи традиційних енергоносіїв.
3. Види і перспективи нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії.
4. Київський протокол.
5. Використання відновлювальних джерел енергії в АПК України.

Вступ

Біосфера є відкритою термодинамічною системою, в якій основне джерело енергії – випромінювання Сонця. Під дією сонячної енергії в результаті біосинтезу з вуглекислого газу CO_2 , що міститься в атмосфері, зеленою рослинністю планети утворені з'єднання вуглецю: органічне паливо – торф, кам'яне вугілля, нафта, природний газ.

Господарська діяльність людини, в результаті якої біосфера переходить в новий стан – ноосферу, на початку ХХІ століття пов'язана з витрачанням величезної кількості органічного палива, накопиченого природою за мільйони років еволюції. Значну частину споживаних в Україні паливно-енергетичних ресурсів використовує енергетика - базова галузь сучасної економіки. Приблизно 90% т.з. умовного палива доводиться на природний газ, нафту, кам'яне вугілля. Більшість регіонів України не забезпечена в достатньому об'ємі власними енергоресурсами, і з часом їх дефіцитність зростатиме.

1. Енергетика і електростанції України

Основні поняття і визначення енергозбереження:

- енергопостачання і енергозбереження в АПК (зберігання енергії при забезпеченні АПК електроенергією, газом, гарячим повітрям, водою, парою і холодом);
- традиційні енергоносії (викопні)- вугілля, нафта, газ;
- відновлювані і нетрадиційні джерела енергії (ВНДЕ) - ті, що відновлюються: енергія Сонця, вітру, біопалива, біогазу, геотермальних вод, хвиль, приливів, воднева енергетика і т.д.

Електростанції України

Електростанції включають основні елементи (рисунок 1.1): первинний двигун ПД, генератор G і розподільний пристрій РП з підвищувальним трифазним трансформатором Т.

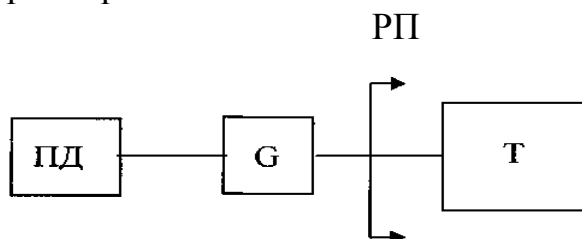


Рисунок 1.1 - Структурна схема електростанції

У якості ПД на електростанціях використовуються головним чином гідравлічні, парові, газові турбіни і двигуни внутрішнього згоряння. Генератор змінного струму приводиться у обертання первинним двигуном ПД (збудником основного генератора служить додатковий генератор постійного струму, потужність якого складає до 3% потужності основного генератора).

Види електростанцій

За видом енергії, що використовується ПД, електростанції ділять на теплові (ТЕС), атомні (АЕС) гідравлічні (ГЕС) і нетрадиційні джерела енергії НДЕ) – вітрові (ВЕС), сонячні (СЕС) і т.д. (рисунок 1.2).

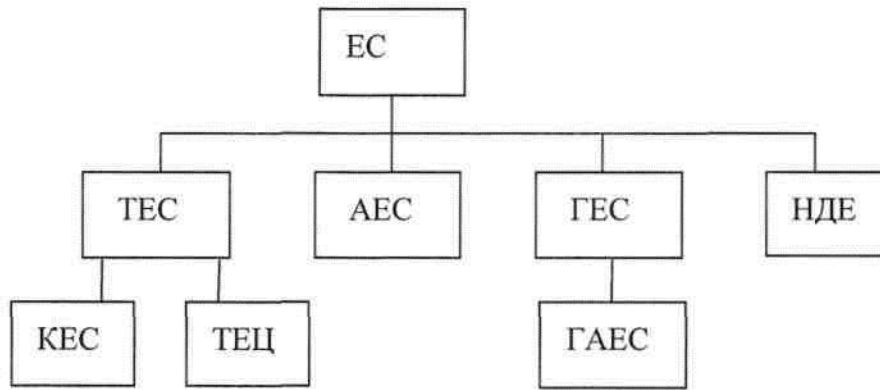


Рисунок 1.2 - Види електростанцій

У 2000 р. потужності ЕС складали:

ТЕС 36,4 млн. кВт – 70%;

ГЕС 4,7 млн. кВт – 5%;

АЕС- 12,8 млн. кВт – 25%.

Потужність ВЕС у 2004 р. становила близько 60 тис. кВт.

У 2004 р. із 180,5 млрд. кВт·год майже половину електроенергії (48,2%) генерували АЕС, з них 50% дала Запорізька АЕС потужністю 6 млн. кВт.

ТЕС можуть працювати на вугіллі, мазуті, газі. У якості ПД тут застосовують парові турбіни, газові турбіни, ДВЗ, а при великих потужностях – тільки парові турбіни. ТЕС поділяють на конденсаційні (КЕС) і теплоелектроцентраль (ТЕЦ).

КЕС призначена для постачання споживачів тільки електроенергією. Загальний ККД КЕС складає біля 30%.

Теплоелектроцентралі (ТЕЦ) суміщають виробництво теплової і електричної енергії. Теплопостачання здійснюється завдяки відбору пари з турбіни. Загальний ККД ТЕЦ біля 70%.

АЕС замість котла обладнана ядерним реактором.

ГЕС перетворюють механічну енергію водяного потоку в електричну і мають ККД біля 80-90%. ГЕС виробляють найдешевшу електроенергію. Однак первинна вартість ГЕС більша від теплових.

Гідроакумуюча електростанція (ГАЕС) працює перемінно: вдень (в години пік) – в генераторному режимі, тоді турбіна приводить в рух генератор, і останній дає струм в мережу; вночі (в час провалу навантаження) – в режимі насоса, який закачує воду нижнього б'єфу ріки у водосховище. Тоді генератор при

наявності «вільної» потужності працює в режимі двигуна, наприклад, від АЕС. Так працює Київська ГАЕС.

Становище електростанцій України

АЕС. Середній ресурс ядерного реактора - 30 років. З 2010 р. наступають терміни виводу з експлуатації тільки на АЕС 11000 МВт потужностей.

ГЕС. Більшість ГЕС застарілі: 8 із 10 головних ГЕС експлуатуються більше 25 років, а 5 із них – більше 35 років. Головна мета проекту реабілітації ГЕС – збільшення терміну їх експлуатації до 40 років.

ТЕС. Із 104 ТЕС 90 відпрацювало свій розрахунковий ресурс. Інтенсивне старіння ТЕС обумовлене застосуванням низькосортного вугілля. Близько 30% установлених потужностей не діють (законсервовано) і непридатні для подальшої роботи. Майже половина ТЕС потребує реабілітації.

До відділення ОЕС України від ЄЕС РФ Україна була імпортером російської електроенергії. Структура споживання палива Україною (дані за 1999 р.):

- кам'яне вугілля – 25,5%;
- природний газ – 23,1%;
- мазут - 1,4%.

Спостерігається велика залежність України від Росії. Росія постачає:

- 76% природного газу;
- 65% нафти;
- 9% кам'яного вугілля;
- 100% ядерного палива.

2. Види і перспективи традиційних енергоносіїв

Існує світова тенденція – подвоєння енергоспоживання кожні 20 років. В Україні в 1991-1999 рр. навпаки був спад електроспоживання. За цей час виробництво електроенергії в Україні скоротилося майже в 2 рази (від 100% до 58%), тоді як "втрати" у мережі майже подвоїлися. Витрата енергії на виробництво сільськогосподарської продукції: у США становить 22% усіх енергоносіїв, у Франції - близько 20%, а в с.г. виробництві України витрати тільки бензину становлять (30...35)%, дизельного палива (40...45)%, електроенергії (7...9)% від загального їх споживання в народному господарстві.

Запаси **вугілля** в Україні невеликі. Видобуток вугілля шахтним способом є коштовним, особливо в Донецькому басейні, де глибина шахт досягла 1 км.

Річний видобуток вугілля в Китаї в 5 разів перевищує російський, в США - в 4 рази.

При підвищенні цін на газ відбувається збільшення частки вугілля в паливно-енергетичному балансі до 30...35%. Разом з тим слід мати на увазі, що кам'яне вугілля – це екологічно найбільш брудне паливо, значні кошти доводиться витрачати на очищення викидів. У перспективі слід чекати розвитку переробки вугілля і сланцю в рідке паливо з використанням енерготехнологій, створених ще радянськими вченими і інженерами.

Нафта і нафтопродукти - найбільш дефіцитний вид палива. Розвіданих запасів нафти вистачить років на 50-60.

Нафта – цінна сировина для виробництва гуми, пластмас, синтетичного волокна. З нафти отримують моторне паливо, мазут для теплоенергетики. В світі йде запекла боротьба за нафтові ресурси. Одну третину всієї нафти, що здобувається в світі, споживають Сполучені Штати Америки, ще одну третину - Західна Європа і Японія. На долю решти 80% населення планети дістається те, що залишилося. Ціни на нафту на світовому ринку скачуть, але мають стійку тенденцію до підвищення.

Мазут для енергетики вже зараз – найбільш дороге паливо, до того ж при його спалюванні екологічні навантаження на навколишнє середовище значно більше, ніж від газової теплоенергетики. Найближчими роками слід чекати зниження ролі нафти і нафтопродуктів в паливно-енергетичному балансі.

Природний газ – найчистіше паливо. За останні десятиліття газ вийшов на перше місце серед споживаних видів палива. Газ, як і нафта – вичерпуваний енергоресурс, рентабельних до розробки розвіданих запасів газу при сучасних об'ємах здобутку вистачить років на 60...70.

Газ, як і нафта, це цінна сировина для хімічної промисловості, з нього отримують поліетилен і інші пластмаси, синтетичне волокно, технічний етиловий спирт.

Екологічні наслідки

Спалювання органічного палива приводить до небезпечних екологічних наслідків: забрудненню атмосфери діоксидом сірки, оксидами азоту, незгорілими вуглеводнями, золою і сажею. Викиди вуглекислоти, або діоксиду вуглецю CO_2 , приводять до парникового ефекту, потепління клімату планети і підвищення рівня Світового океану із затопленням прибережних ділянок суші. Проблема посилюється вирубкою лісу – основного переробника вуглекислого газу в атмосфері Землі. Екологічна шкідливість традиційної енергетики на органічному паливі зазвичай не враховується в ціні за електроенергію, що відпускається.

У ряді країн (Швеції, Фінляндії, Голландії) введені екологічні податки на рівні 10...30% від вартості спалюваної нафти. Цей податок громадяни платять за недосконалість енергетики.

Альтернативою спалюванню органічного палива вважалася **атомна** енергетика. У Франції близько 80% споживаної електроенергії проводиться на АЕС, в Бельгії - близько 60% (у Росії – 15%). Ядерне паливо, вживане в широко поширених реакторах на теплових нейтронах, - це уран, збагачений нуклідом ^{235}U . Він теж вичерпний. При сучасному рівні використання ядерного палива родовищ урану, придатних для здобичі, вистачить років на 40...50. Можливе використання збройного високозбагаченого урану і плутонію, накопичених за часів гонки ядерних озброєнь, що продовжить можливість використання подібних реакторів ще років на 10. Не до кінця вирішена атомною енергетикою проблема зберігання і переробки радіоактивного відпрацьованого ядерного палива.

В атомній енергетиці застосовуються також реактори на швидких нейтронах, в яких паливом є недефіцитний нуклід ^{238}U і до того ж напрацьовується нове паливо – плутоній ^{239}Pu . Для цих реакторів сировиною служитимуть величезні кількості ^{238}U , накопичені в процесі виробництва ядерного палива і зброї. Проте ці

реактори з рідкометалевим теплоносієм поки дуже дорогі і експлуатуються в одиничних екземплярах. Так, в Росії працює єдиний реактор БН- 600 на Белоярській АЕС. Запроектований БН-800 навряд чи буде введений найближчими роками.

З приведених причин інвестиції в атомну енергетику в світі у наш час різко знизилися в порівнянні з 70-ми роками ХХ століття. Атомні станції, побудовані в Радянському Союзі, близькі до вичерпання свого ресурсу; приймаються заходи до продовження терміну їх експлуатації, але у будь-якому випадку дата їх зупинки не за горами.

Наука працює над освоєнням **термоядерної енергії синтезу легких елементів**, що дало б людству необмежені енергоресурси. Сировиною для цього синтезу є дейтерій – нуклід водню з атомною масою 2. У природі на кожних 10000 атомів звичайного водню доводиться один атом дейтерію; енергія дейтерію, що міститься в одному літрі води, еквівалентна 300 літрам бензину. Запаси дейтерію в океані величезні. Проте до теперішнього часу реакція термоядерного синтезу ефективно реалізована тільки у водневій бомбі. Для здійснення цієї реакції необхідні дуже високі температури – сотні мільйонів градусів, що поки не дозволяє застосувати керований термоядерний синтез в енергетиці. Міжнародним консорціумом за участю російських учених і інженерів розробляються енергетичні установи з керованим термоядерним синтезом, проте важко чекати успішного завершення цих робіт найближчими роками.

У традиційній енергетиці помітну роль грають **гідроелектростанції**. У Росії до 18% електроенергії проводиться на ГЕС (у Германії - близько 1%). Гідроелектростанції працюють на поновлюваному енергоносії – спад води у водосховищі заповнюється атмосферними опадами. У Радянському Союзі були побудовані великі ГЕС на повноводних річках – Волзі, Єнісеї, Ангари. ГЕС особливо ефективні на річках з великою витратою води і при великих перепадах висот (натисках). У рівнинних місцевостях їх будівництво приводить до затоплення водосховищами великих площ землі, які таким чином виводяться з господарського землекористування (тому така мала частка ГЕС в енергетиці густонаселеної Західної Європи).

Будівництво великих ГЕС викликає ряд несприятливих екологічних наслідків. Високі дамби викликають підйом рівня води у водосховищі, що приводить до заболочування берегів. У місцях з сухим кліматом підйом ґрунтових вод, що виносять на поверхню розчинені солі, викликає засолення ґрунтів. У стоячій воді водосховища накопичуються зважені тверді частинки, відбувається замулювання. При штормових вітрах хвилі піднімають мул у верхні шари, забруднення води згубне для риби. Прохідні риби (наприклад, осетрові, які годуються в Каспійському морі і піднімалися раніше на нерест у верхів'я Волги) зустрічають дамби і не можуть нормально розмножуватися. Несприятливо позначаються на річкових живих організмах і попуски води при пусках і зупинках гідроагрегатів. Льодовий покрив у водосховищах розкривається в середньому на два тижні пізніше, ніж це було в річці до будівництва ГЕС, відповідно затримуються терміни початку річкової навігації. Нарешті, накопичення мас води у водосховищі змінює рівновагу, що склалася за геологічні епохи, в земній корі. Руйнування дамб при землетрусах або з інших причин чревате катастрофічними наслідками.

Приведені міркування показують, що на більшій частині України, де розташовані основні споживачі енергії, будівництво нових великих ГЕС недоцільно. Тут слід розвивати малу гідроенергетику на невеликих річках з невисокими дамбами. Треба сказати, що в СРСР в 50. ..60-ті роки XX століття було розгорнене будівництво малих ГЕС, які практично не були автоматизовані; собівартість електроенергії, що вироблялася на них, була висока і вони були покинуті. У гірській частині країни ще є можливість будівництва великих ГЕС на повноводних річках, що протікають в гористій місцевості.

3. Види і перспективи нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії в Україні

У зв'язку з скороченням природних запасів традиційних енергоносіїв (головним чином нафти і природного газу), зростанням цін на них, стурбованістю екологічними проблемами світова економіка все більше приділяє уваги пошуку і освоєнню нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії (НПДЕ).

Визначення "відновлювані" досить відносне. Основними ознаками джерел енергії, що відновлюються є невичерпність і висока швидкість відтворення. У повній мірі це відноситься до енергії Сонця, вітру, океану, гарячих сухих гірських порід, розпавленої магми. У той же час сучасний рівень економічного розвитку цивілізації може впливати істотним чином на відтворення таких видів ВНДЕ, як біомаса (БМ), гідротермальна енергія, тому вони віднесені до тих, що відновлюються зі значною мірою умовності. Сучасний світовий АПК – великий споживач паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР). Сукупні витрати ПЕР на виробництво, переробку і приготування продуктів харчування складають в більшості промислово розвинених країн світу від 10 до 20%, а в тих, що розвиваються, - більше 30% в структурі національних енергобалансів. У основному це енергія паро- гідротермальних джерел, біомаси (біогаз, паливні спирти, паливні брикети), енергія малих рік, радіаційного і оптичного випромінювання Сонця, а також похідної його діяльності – вітру. Головними напрямками використання ВНДЕ є обігрів житлових і виробничих приміщень, сушка сільськогосподарської продукції, підйом і розподіл води, освітлення, забезпечення двигунів автомобілів рідким паливом.

Сьогодні в системі АПК України надто обмежено використовуються енергія Сонця, вітру і біомаси. У основному розвиток ВНДЕ стримується:

- 1) недостатнім науковим опрацюванням цього питання,
- 2) відсутністю матеріально-технічної бази,
- 3) організаційно-адміністративними причинами.

Верховною Радою України були прийняті Закони України «Про енергозбереження» (1994 р.) і "Про альтернативні джерела енергії" (2003 р.). Але вони практично не працюють через відсутність розробки та введення в дію необхідних для функціонування підзаконних актів, стандартів, нормативів тощо.

Частка нетрадиційних джерел енергії (ВНДЕ) складає менше за 0,5% в світовому енергобалансі, однак ряд країн досягли істотних успіхів в застосуванні нетрадиційних енергоносіїв в агропромисловому комплексі (АПК). Серед промислово розвинених західних країн потрібно назвати Німеччину (лідер вітрової і со-

нячної енергетики) США (енергія Сонця і вітру), Японію, Бельгію, Францію (енергія Сонця), Данію, Великобританію, Нідерланди (енергія вітру). Серед країн, що розвиваються, потрібно відмітити Китай, Бразилію, Філіппіни, Кіпр і Індію. Передбачається, що у 2025 році ВНДЕ становитимуть 60% від всієї спожитої на планеті енергії. За іншими джерелами в світовому енергобалансі 2020 р. частка ВНДЕ може скласти від 5 до 10 %.

Розробляються заходи економічної підтримки НПДЕ: податкові, кредитні і тарифні пільги, правова підтримка, державні програми розвитку. Так, в Німеччині встановлені підвищені закупівельні ціни на електроенергію, здобуту на нетрадиційних установках: 0,08 євро за 1 кВт·год на вітрових, 0,51 євро – на сонячних. Виконується державна програма «100 000 сонячних дахів», забезпечена бюджетом в 570 млн. євро, направлена на використання сонячної енергії. За прогнозом Міжнародного енергетичного конгресу, до 2020 року частка НПДЕ в загальному енергоспоживанні розвинених країн (США, Англії і ін.) досягне 20%.

Основний недолік НПДЕ - низька щільність енергії. Так, для вітрових, сонячних, геотермальних установок характерна щільність енергії менше 1 кВт/м², тоді як в сучасних котлах і ядерних реакторах досягається в тисячу разів більша щільність теплового потоку. Відповідно нетрадиційні енергоустановки мають великі габарити, металоємність, займають набагато більші площі в порівнянні з ТЕС, що діють, АЕС, котельними.

4. Кіотський протокол

Набув чинності 16 лютого 2005 р. Кіотський протокол, на який давно очікували. Для України цей документ міг би відіграти дуже важливу роль у розвитку відновлюваної енергетики. В заяві прес-служби МЗС України наголошується: «Україна, яка брала активну участь в розробці Кіотського протоколу, ратифікували цей важливий документ 4 лютого 2004 року, підтвердивши цим послідовність своїх дій у вирішенні глобальних екологічних проблем і прихильність до ідей стабільного розвитку».

Коротка довідка: "У 1990 р. Україна займала шосте місце в світі за обсягами викидів парникових газів (ПГ) після США, Росії, Китаю, Німеччини та Японії. Загальні викиди парникових газів в Україні становили 880,5 млн. т CO₂-еквіваленту. За період з 1990 по 1998 рр. внаслідок економічних чинників викиди парникових газів становили 315,9 млн. т. CO₂-еквіваленту. Відповідно до існуючих прогнозів розвитку України, навіть за оптимістичним сценарієм викиди парникових газів в період до 2012 р. чи навіть до 2020 р. не перевищать рівень 1990 р." Україна має величезний потенціал щодо скорочення викидів парникових газів за рахунок модернізації промисловості та впровадження енергоефективних технологій.

Кіотський протокол передбачає два механізми збуту наших дозволів на викиди. 1) Міжнародна торгівля викидами ПГ, або форвардний продаж частини національної квоти на викиди. Цей механізм повинен працювати через відповідний вуглецевий фонд та акумулювати стартовий капітал для "декарбонізації" національної економіки шляхом скорочення питомого енергоспоживання. Якщо гроші від

продажу квот будуть використовуватися не на екологічні цілі та продовжуватиметься тенденція нарощування обсягів вуглецевої інтенсивних виробництв з метою збільшення експорту прибуткових, але екологічно брудних товарів та послуг, то Україна сама буде змушена незабаром купувати дозволи на викиди.

2) Проекти спільного впровадження. Такі проекти спрямовані на додаткове скорочення викидів на території України за допомогою іноземних коштів, що надаються за продаж одиниць скорочених викидів. Отже, Україні необхідно якомога швидше вирішити внутрішні бюрократичні питання реалізації механізмів Кіотського протоколу.

Однак міжнародні угоди по обмеженню викидів парникових газів («Кіотський протокол») поки мають низьку ефективність. Країни-забруднювачі не поспішають виконувати ці угоди. Дійсно, квоти на викиди встановлюються державам виходячи з рівня спалювання органічного палива в 1990 році без урахування об'ємів переробки вуглекислого газу зеленою рослинністю на території країни-забруднювача. Наприклад, Росія спалює менше 5% світової витрати палива і в той же час лідирує за об'ємом переробки вуглекислого газу зеленою рослинністю – адже 22% лісів планети розміщено на території Росії.

Кіотський протокол – це лише перший крок на шляху вирішення глобальної екологічної кризи, і на початку цього шляху Україна має великі шанси для вирішення багатьох своїх економічних і екологічних проблем. Але дедалі ринок ставатиме складнішим, і якщо тепер втратити час, на ринку завжди знайдеться хтось, хто зможе зайняти нашу нішу.

5. Використання ВНДЕ в АПК України

Сучасний стан в Україні можна характеризувати як початковий етап розвитку цього процесу. Інтенсивність сонячної радіації в Україні показує, що практично всі її регіони придатні для розвитку сонячної енергетики [1]. Загальний приплив сонячної радіації для України становить 20 ГДж/м в рік. У таблиці 1.1 приведено розподіл сонячної радіації за сезонами року для різних регіонів України.

Таблиця 1.1 - Розподіл потужності сонячної радіації за сезонами (Вт/м)

Регіон України	Місяць року			
	Січень	Квітень	Червень	Жовтень
Степ і лісостеп	60	280	420	140
Донбас	70	290	440	160
Південний степ	80	320	460	180
Крим	Більше 90	Більше 330	Більше 480	Більше 200

Найбільш сприятливі умови для використання сонячної енергії мають південні райони України. Сонячну енергію в Криму ефективно використати для гарячого водопостачання, сушки, опріснення води і інших потреб. Кожний кв. метр сонячного колектору (СК) дає в рік 0,5...0,6 Гкал теплової енергії. ККД складає

влітку – 0,55, взимку – 0,35. Річна економія палива 150 кг на 1 кв. метр геліоприймача. При доробці систем їх ефект може бути збільшений, а діапазон застосування розширений. Особливо ефективні СК в районах з річним числом сонячної радіації не менше за 2200 год. Попередні розрахунки показують, що якби господарства Кримської області змогли хоч би 200 днів в році отримувати енергію за допомогою геліоустановок, то економія палива практично усунула б його дефіцит. Так, наприклад, в колишньому колгоспі ім. Калініна Першотравневого району працювала геліоустановка площею 540 м², вона нагрівала 10 м/год води, економила до 60 т палива.

Проектно-конструкторське бюро обласного об'єднання "Агропроменерго" розробляло нові типи геліоустановок, як стаціонарні, так і мобільні. Розробки відразу ж впроваджувалися в господарствах-учасниках "Агропроменерго". Багато років працює в Криму геліоустановка малої потужності з системою, що стежить за рухом Сонця. Ефект від її впровадження становив 1437 крб., зекономлено 31 т твердого палива. Подібні установки працювали в Криму на птахофабриці "Південна", міжколгоспному пансіонаті "Береговий".

У 1985 р. в Криму, в селищі Щолкіно була введена в експлуатацію єдина в колишньому Радянському Союзі сонячна електростанція СЕС-5 з електричною потужністю 5 МВт. Станція створена в баштовому варіанті, висота вежі 90 м. На її вершині розташований парогенератор з природною циркуляцією. Навколо станції ярусами розташоване поле геліостатів (1600 шт.). Загальна площа 14 будівель 44 га. Будівництво СЕС-5 обійшлося в 30 млн. крб., а питома ціна 6 тис. р/кВт. У 2004 р. СЕС-5 демонтована і порізана на металобрухт із-за нестачі коштів на її експлуатацію.

Дослідження і технологія виготовлення сонячних фотоперетворювачів (ФП) на основі кремнію, а також тонкоплівкових фотоелементів є пріоритетним для України (Інститут монокристалів, м. Харків).

Тепловий насос вітчизняного виробництва працює в пансіонаті "Дружба" біля Ялти. Для опалювання, нагріву води в басейні використовується не котельня, а тепло води Чорного моря. Економія становить 900 т ум. палива в рік. Останнім часом в сільськогосподарське виробництво в Криму впроваджуються тепло-холодильні установки типу ТХУ-14, які швидко охолоджують молоко і нагрівають воду. Це дозволяє здавати молоко вищим сортом, а нагріту воду використати для технологічних потреб тваринницьких ферм. У кемпінгу "Поляна казок" в Ялті працює тепловий насос. Як джерело низькопотенційного тепла використовується повітря. Україна робить перші кроки у використанні ВНДЕ, але вже сьогодні вона займає ведуче місце серед країн СНД в розвитку вітроенергетики. Ще в царській Росії нараховувалося біля 900 тис. вітряних млинів. До початку 60-х років в колишньому СРСР нараховувалося біля 20 тис. вітродвигунів (ВД), переважно водопідйомних, з них тільки в Полтавській області їх було 650, і вони повністю забезпечували водопостачання в господарствах, де були встановлені. Однак розвиток енергетики, створення єдиної державної енергосистеми і приєднання до неї на початку 60-х років сільських споживачів привело до забуття такої екологічно чистої галузі як вітроенергетика. Настав час переглянути відношення до вітроенергетики в Україні. Останнім часом в Україні питаннями використання ВНДЕ сер-

йозно почали займатися Київський політехнічний інститут, інститут Електродинаміки, Державний науково-дослідний інститут нетрадиційної енергетики і електротехніки, науково-технічний центр використання нетрадиційних джерел енергії «Альтекс», ДКБ «Південне», науково-виробнича фірма «Нові технології» тощо. Так, в інституті нетрадиційної енергетики створена сонячно-паливна котельня, система сонячно-теплонасосного опалювання, сонячний холодильник, генератор прісної води і т.д. Протягом ряду років ВЕУ в заповіднику Асканія-Нова повністю забезпечує електроенергією інститут тваринництва ім. Іванова. Велика робота по використанню ВНДЕ ведеться в Криму. Тут Об'єднанням "Агропроменерго" спільно з науково-виробничим об'єднанням "Вітроен" в колгоспі ім. Калинина Першотравневого району було встановлено 10 вітряків типу ВЕУ-4. Вироблена енергія використовувалася на постачання гарячою водою молоко-товарної ферми. Такі ТН виготовляє ВАТ "Рефма", м. Мелітополь. Для енергопостачання сільських споживачів в Україні створюється газодизельна міні-ТЕЦ потужністю 25 кВт електричних і 50 кВт теплових, налагоджується виробництво ВЕУ потужністю 45 кВт, розробляється ВЕУ потужністю 16 кВт. Саме такі ВЕУ рекомендуються для електропостачання українських сіл і фермерських господарств.

Лекція 2

ЕНЕРГІЯ СОНЦЯ

1. Ресурси сонячної енергетики, їх класифікація і перспективи
2. Безмашинні сонячні енергоустановки
3. Паротурбінні сонячні електростанції
4. Сонячне теплопостачання

1. Ресурси сонячної енергетики

Реакція термоядерного синтезу легких елементів в глибинах Сонця породжує колосальну енергію сонячного випромінювання. Кількісно це випромінювання характеризується інтенсивністю I_0 - це потужність променистої енергії, що проходить за межами земної атмосфери в секунду на квадратний метр майданчика, перпендикулярного сонячним променям. Для середньої відстані від Сонця при русі Землі по еліптичній орбіті $I_0 = 1,35 \text{ кВт/м}^2$. Сумарна потужність променистої енергії, що поступає до земної атмосфери, дорівнює приблизно 180 млн. ГВт (сумарна потужність електростанцій Росії - 215 ГВт). Кількість сонячної променистої енергії, що приходить за рік до атмосфери Землі, складає колосальну величину $1,57 \cdot 10^{18} \text{ кВт} \cdot \text{год}$. 45% променистої енергії, що приходить, доводиться на видиме світло (довжини хвиль 0,4...0,75 мкм), 45% - на інфрачервоне (теплове) випромінювання, 10% - на ультрафіолетові промені.

Потік сонячної енергії її становить $3,9 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$, з якого біля $1,7 \cdot 10^{17} \text{ Вт}$ досягає Землі. Середня щільність потоку енергії сонячного випромінювання, падаючого на зовнішню границю земної атмосфери, при середній відстані між Землею і Сонцем $1,495 \cdot 10^{11} \text{ м}$ називається сонячною постійною. Сонячна постійна приблизно рівна $1,353 \text{ кВт/м}^2$. За добу на Землю від Сонця поступає більше тепла, ніж людство отримує від спалення палива за 1000 років.

На початку січня, коли Сонце ближче усього знаходиться до Землі, позаатмосферне сонячне випромінювання зростає до $1,43 \text{ кВт/м}$, а в липні, коли Сонце далі усього розташоване від Землі, воно меншає до $1,33 \text{ кВт/м}$. При проходженні через атмосферу сонячне випромінювання розсіюється і поглинається нею. Сонячне випромінювання, що досягає земної поверхні, складається з прямої і дифузної радіації і являє собою повне сонячне випромінювання, а повне сонячне випромінювання, отримане горизонтальною поверхнею, - інсоляцію.

Баланс променистої енергії Землі представлений на рисунку 2.1. Близько 28% променистої енергії, що приходить від Сонця, відбиваються хмарами і аерозолями назад в космічний простір. Теплове (інфрачервоне) випромінювання Землі складає 114% приходящого від Сонця, з них 42% повертаються атмосферою, а останні вирушають в космос. По поверхні планети енергія, що приходить, перерозподіляється морськими течіями і вітрами.

Локальні значення променистої енергії Сонця, літосфери, що приходить до поверхні, або гідросфери, залежать від орієнтації до Сонця (освітленості), хмарності, запиленості повітря, висоти над рівнем моря, пори року і доби. У середніх

широтах вдень інтенсивність сонячного випромінювання I досягає 800 Вт/м^2 влітку і $200...350 \text{ Вт/м}^2$ взимку, зменшуючись до нуля із заходом Сонця.

Промениста енергія Сонця використовується біосферою з часів появи життя на планеті. Перетворення сонячної енергії на механічну вперше було продемонстроване на Усесвітній виставці в Парижі, коли сонячний колектор наводив в рух парову машину.

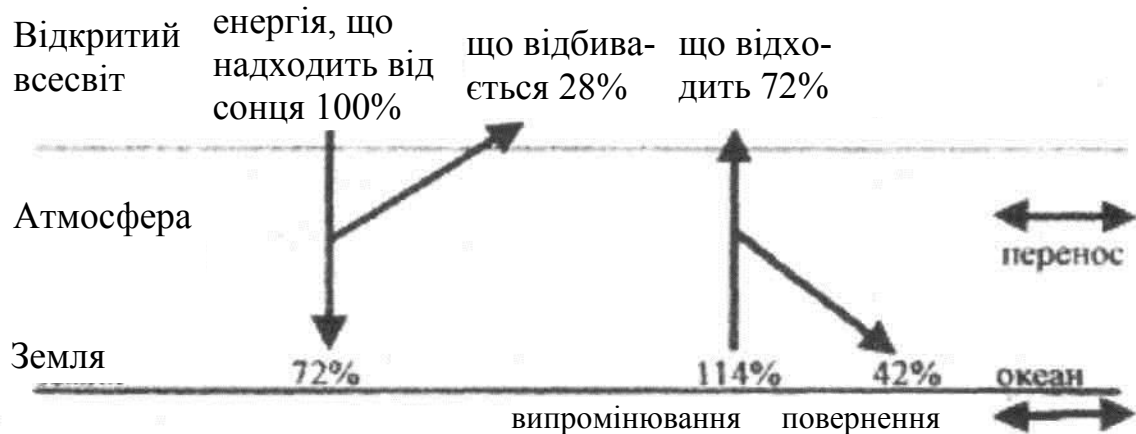


Рисунок 2.1 – Баланс променистої енергії Землі

Характеристика інтенсивності сонячного випромінювання.

Повний потік енергії, що випромінюється Сонцем за 1 с (тобто потужність сонячного випромінювання) складає

$$P = 3,9 \cdot 10^{26} \text{ Вт.} \quad (2.1)$$

Для характеристики інтенсивності сонячного випромінювання на 1 м^2 земної поверхні використовують сонячну постійну $P_0 = 1,38 \text{ кВт/м}^2$ при середній відстані Землі від Сонця $L = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ м}$.

Кількість сонячної енергії, що поступає в даний момент на конкретну ділянку поверхні залежить від 4 чинників:

- кількості E , що випромінюється в цей момент Сонцем;
- кута нахилу земної осі до площини екліптики, тобто від пори року;
- від часу доби;
- від стану атмосфери над точкою спостереження.

З урахуванням перерахованих чинників сумарний прихід сонячної радіації складає більше за 1000 кВт·год/м^2 в рік.

У практичних розрахунках можна приймати $P_0 = 1 \text{ кВт/м}^2$.

Південні райони України і Крим найбільш сприятливі для використання сонячної енергії.

Перспективи використання енергії Сонця

Не дивлячись на відносно низьку щільність променистої енергії, сонячна енергетика інтенсивно розвивається останніми роками. У США введено 8 великих сонячних електростанцій (СЕС) модульного типу загальною потужністю близько 450 МВт , енергія поступає в енергосистеми штатів. Випуск сонячних фотое-

лектричних перетворювачів в світі досяг 300 МВт в рік, з них 40% припадає на частку США. В даний час в світі працюють більше 2 млн. геліоустановок теплопостачання. Площа сонячних колекторів теплофікацій в США складає 10 млн. м², в Японії 8 млн. м². Сонячна енергія знаходить вживання в зерносушарках, опріснювальних установках, в установках енергопостачання космічних станцій і так далі.

Реалізуються екзотичні проекти. Так, уряд Австралії прийняв план будівництва «Сонячної башти» з діаметром підстави 130 метрів і висотою 1 км. Біля підніжжя башти розкинеється величезна теплиця діаметром 7 км. Повітря, нагріте в теплиці, спрямовуватиметься в трубу, обертаючи встановлені в ній вітродвигуни. Потужність ВЕС повинна скласти 200 МВт. Вартість проекту оцінюється в \$308 млн.

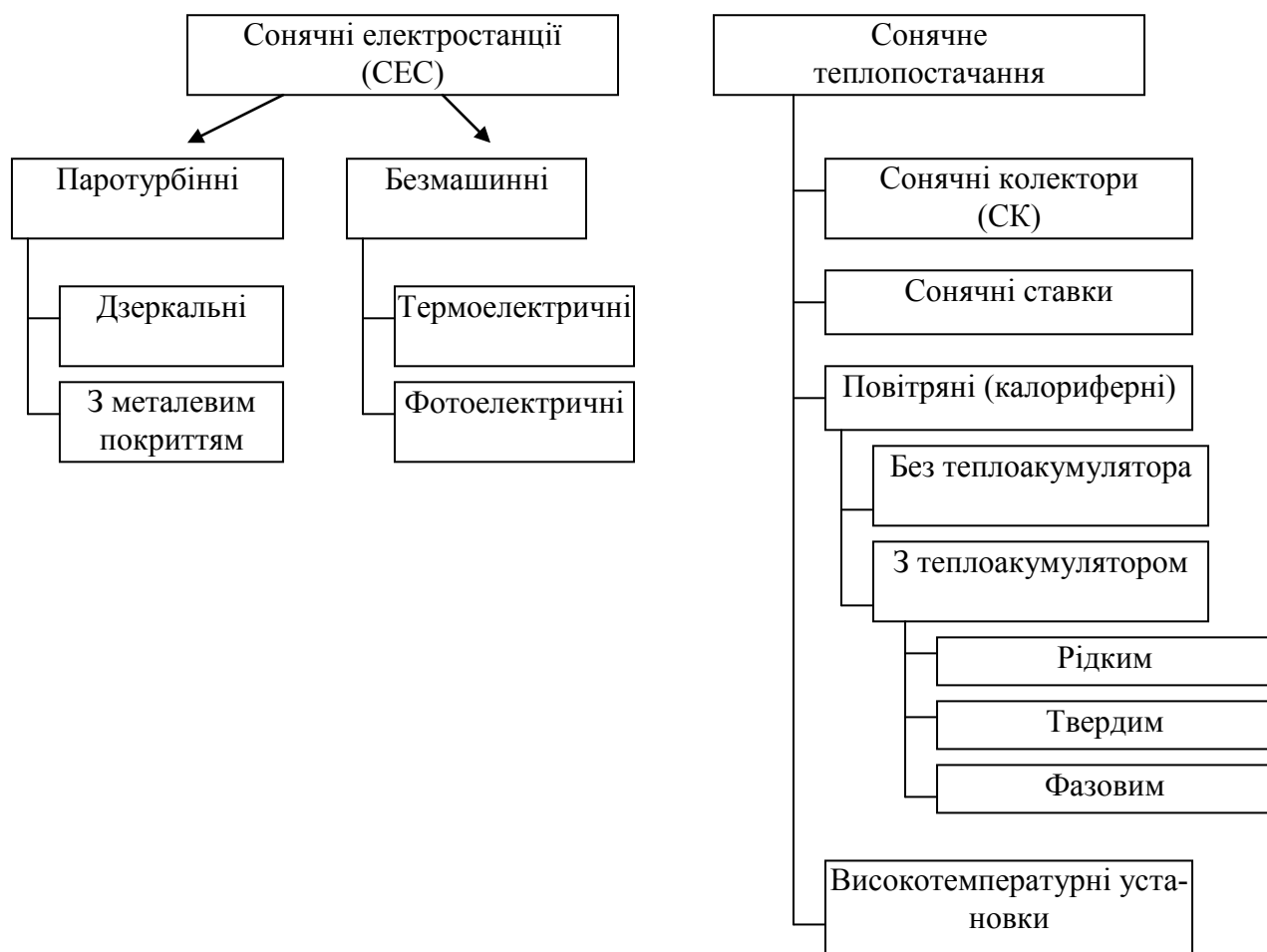


Рисунок 2.2 - Класифікація використання сонячної енергії

2. Безмашинні СЕУ

У безмашинних сонячних енергетичних установках енергія сонячного випромінювання піддається прямому перетворенню в електричну енергію, без проміжного переходу в механічну. Для прямого перетворення не потрібні турбіни і електрогенератори.

Термоелектричні перетворювачі

У основі прямого перетворення теплової енергії сонячного випромінювання в електрику лежить ефект Зеебека, відкритий в 1821 році. Якщо спаяти кінцями два провідники різного хімічного складу і помістити спаї в середовища з різними температурами, то між ними виникає термо-ЕДС:

$$E = \alpha(T_1 - T_2), \quad (2.2)$$

де T_1 - абсолютна температура гарячого спаю,

T_2 - абсолютна температура холодного спаю,

α - коефіцієнт пропорційності.

У ланцюзі провідників виникає струм, причому гарячий спай за секунду поглинає теплоту з нагрітого джерела в кількості $Q_1 = \alpha T_1 J$, а холодний спай віддає теплоту низькотемпературному тілу в кількості $Q_2 = \alpha T_2 J$. Різниця підведеної і відведеної теплоти складає секундну роботу струму

$$L = \alpha(T_1 - T_2)J, \text{ Вт.} \quad (2.3)$$

Відношення роботи до підведеної теплоти є термічний ККД процесу перетворення

$$\eta_t = L / Q_1 = \alpha(T_1 - T_2)J / \alpha T_1 J = (T_1 - T_2) / T_1. \quad (2.4)$$

Таким чином, ККД ідеального термоелектричного перетворювача збігається з термічним ККД циклу Карно і повністю визначається абсолютними температурами гарячого і холодного спаїв. У реальних перетворювачах мають місце безповоротні втрати через електричний опір провідників, їх теплопровідність і термічний опір теплообміну спаїв з довкіллям. Тому дійсний ККД установки рівний

$$\eta = \eta_{oe} (T_1 - T_2) / T_1, \quad (2.5)$$

де $\eta_{oe} < 1$ - відносний електричний ККД перетворювача (названий так по аналогії з відносним внутрішнім ККД турбіни, що враховує безповоротні втрати на дроселювання).

При використанні металевих термоелектродів ККД термоелектричних перетворювачів дуже малий – не перевищує сотих доль відсотка. У 1929 р. А.Ф. Юффе показав, що значний ефект дає вживання напівпровідників – ККД зростає до величини порядку 10%. У сучасних термоелектричних генераторах напівпровідникові термоелементи, в яких «гарячі» спаї нагріваються сонячними променями, сполучені послідовно. Такого роду генератори застосовуються як автономні джерела електроенергії для споживачів малої потужності – маяків, морських сигнальних буїв і тому подібне.

Фотоелектричні перетворювачі

В основі установок цього типу лежить принцип вибивання електронів з напівпровідникових матеріалів світловими квантами. Промениста енергія перетворюється в електричну. У сучасній сонячній енергетиці широко застосовуються напівпровідникові перетворювачі з хімічно чистого кристалічного кремнію. Кремній – широко поширений в земній корі елемент; пісок, кварц – це діоксид кремнію SiO_2 . Виробництво чистого кремнію в кінці XX століття дало можливість налаго-

дити випуск ряду напівпровідникових приладів, зокрема процесорів для сучасних комп'ютерів. Високотехнологічні наукоємні виробництва в США зосереджені в «силіконовій» (кремнієвій) долині в штаті Каліфорнія. Створення сонячних енергоджерел входить в програми таких найбільших світових концернів, як Сіменс, Соні, Хітачі. Лідерами в області сонячної енергетики на кремнієвих перетворювачах є США, Німеччина, Данія, Японія, Швейцарія. Вартість кремнієвих фотоелектричних перетворювачів за останніх 40 років знизилася в 40 разів, 1 кВт встановленої потужності на фотоелектричних СЕС обходиться приблизно в \$2500.

Сонячний елемент складається з двох сполучених між собою кремнієвих пластинок. Світло, що падає на верхню пластинку, вибиває з неї електрони, посилюючи їх на нижню пластинку. Так створюється ЕДС елементу. Послідовно сполучені елементи є джерелом постійного струму. Декілька об'єднаних фотоелектричних перетворювачів є сонячною батареєю. Ефективність перетворення променевої енергії в електричну в сучасних установках досягає 13... 17%, в лабораторних умовах на деяких напівпровідниках досягнута ефективність 40%.

Потужність СЕУ з фотоелектричними перетворювачами визначається співвідношенням

$$N_{\phi} = \eta_{\phi} F_{\phi} I, \text{ Вт}, \quad (2.6)$$

де η_{ϕ} - ККД фотоелектричних перетворювачів (змінюється в сучасних кремнієвих елементах в межах 0,12...0,17), F_{ϕ} - їх загальна площа, м².

Використання фотоелектричних СЕС починалося з космічної техніки, де вартість грала другорядну роль. «Крила» фотоелементів станції Мир мали площу в сотні квадратних метрів. На Луні довше за рік працював «Місяцехід», що живиться від сонячних батарейок. На американській станції «Скайлеб» батарея загальною площею 130 м² забезпечувала енергоживлення потужністю 10,5 кВт.

У наш час модулі фотоелектричних перетворювачів виробляються у ряді країн для потреб великої енергетики. Потужності одиночних сонячних установок цього типу в США досягли 10 МВт, причому пік потужності досягається, коли Сонце знаходиться в зеніті – близько на той час, коли добовий хід вжитку енергії в сонячних південних субтропічних штатах Америки має максимум у зв'язку з роботою кондиціонерів.

Важливою перевагою фотоелектричних СЕС є дуже малі експлуатаційні витрати – модулі, захищені від пилу і атмосферних опадів склом або плівкою, працюють десятки років без обслуговування. У хмарну погоду потужність СЕС цього типу декілька знижується, хоча і менше, ніж для термоелектричних установок. Слід чекати, що в південних сонячних регіонах країни при масовому випуску і зниженні вартості кремнієвих модулів такі установки виявляться конкурентоздатними порівняно з традиційними, працюючими на органічному паливі, що дорожчає.

Розробляються проекти супутникових фотоелектричних СЕС. Передбачається виводити і вмонтовувати їх на геостаціонарних орбітах на екваторі, на висоті 35800 км, так що вони постійно «висітимуть» над одним і тим же місцем. Сонячні елементи з поверхнею в десятки км² розміщуються на тонкій синтетичній плівці, орієнтованій перпендикулярно до сонячних променів. Електричний струм від

сонячних елементів перетвориться в спеціальних генераторах в мікрохвильове випромінювання, яке бортовою антеною прямує на Землю. Передавальна антена має діаметр близько 1 км, а приймальна антена НВЧ - випромінювання на Землі - близько 7 км. Приймальна станція перетворює НВЧ - випромінювання в струм промислової частоти і напруги. Для реалізації цього унікального за задумом і масштабом проекту буде потрібно величезні кошти і великий об'єм науково-технічних розробок.

У Росії головним науковим розробником фотоелектричних перетворювачів є Фізико-технічний інститут ім. А.Ф. Іоффе в Санкт-Петербурзі. Директор цього інституту, нобелівський лауреат академік Ж.І. Алферов – гарячий прибічник сонячної енергетики. На Рязанському заводі металокерамічних приладів налагоджений випуск модулів СЕУ різних типорозмірів і різних технічних характеристик. Сонячні ФЕУ випускає НВО «Квант» (Москва), ЗАТ «ТЕЛЕКОМ-СТВ» в м. Зеленоград Московської обл. Освоюється виробництво «сонячного кремнію» - базового матеріалу для фотоелектричних перетворювачів. 1 кг кремнію на СЕУ за рік виробляє таку кількість електроенергії, на виробництво якого на звичайних ТЕС вимагається 2,5 т нафти, а термін служби кремнієвого перетворювача – 30 років і більше.

3. Паротурбінні СЕС

У 70-ті роки ХХ століття Радянським Союзом в Криму і Сполученими Штатами в Каліфорнії побудовані паротурбінні СЕС, пристрій яких схематично показаний на рисунку 2.3. Башта з приймачем розташовується на південному краї поля геліостатів, що обертаються услід за Сонцем. Дзеркала відбивають промені Сонця на теплоприймач, в якому утворюється високотемпературна пара (500-600°C), яка подається на парову турбіну, що обертає генератор. Звичайно СТЕС містять ще акумулятори сонячної енергії. Наприклад, сонячні ставки (Ізраїль). У Криму, в Щолкіно, в 1985 р. побудована СЕС-5 (зараз демонтована) з пароводяним акумулятором, працюючим паралельно з пароагрегатом. Геліостати відстежують рух Сонця по небозводу. Дзеркала кожного геліостата площею в декілька квадратних метрів направляють сонячні промені на стінки теплообмінника котлоагрегата, в якому виробляється пара з температурою до 510°C. По паропроводу 5 пар прямує в машинний зал, де електроенергія виробляється в традиційному паротурбінному циклі. Установка має накопичувач теплоти 4 – ємкість об'ємом в декілька тисяч м³, заповнену щебнем, який нагрівається «гострою» парою в години максимуму інтенсивності сонячного випромінювання і віддає теплоту після заходу Сонця.

Загальна кількість теплоти, сприйнятої парогенератором СЕУ, складає

$$Q = \eta_n n F I, \text{ Вт}, \quad (2.7)$$

де η_n - коефіцієнт ефективності використання сонячного випромінювання (змінюється в межах 0,35...0,5),

n - кількість геліостатів,

F - площа дзеркал одного геліостата, м²,

I - інтенсивність сонячного випромінювання, Вт/м².

Робота кілограма пари в паротурбінній установці в циклі Ренкіна рівна

$$l = h_1 - h_2, \text{ кДж/кг}, \quad (2.8)$$

термічний ККД

$$\eta_t = (h_1 - h_2) / (h_1 - h_k), \quad (2.9)$$

де h_1 - ентальпія гострої пари,

h_2 - ентальпія відпрацьованої в турбіні пари (визначаються по $h-s$ діаграмі водяної пари),

h_k - ентальпія конденсату (визначається за таблицями термодинамічних властивостей води і водяної пари).

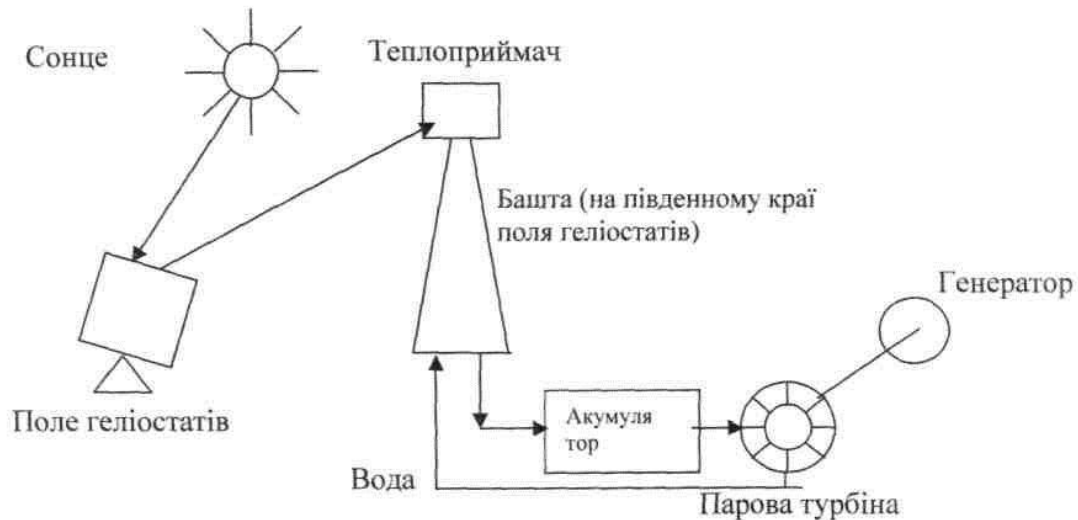


Рисунок 2.3 – Схема баштової СЕС

Теоретична потужність паротурбінної СЕУ складе

$$P_{пт} = \eta_t \eta_{oi} \eta_e Q, \text{ Вт}, \quad (2.10)$$

де η_{oi} - відносний внутрішній ККД турбіни,

η_e - ККД електрогенератора (в межах 0,92...0,96).

Реальна потужність СЕС менше теоретичної унаслідок витрат енергії на власні потреби (привід насосів і так далі).

Для паротурбінних СЕС характерні високі капітальні витрати, головним чином через високу вартість автоматизованих дзеркал-геліостатів. Вартість 1 кіловата встановленої потужності на баштовій СЕС «Солар - 1», як і Кримській СЕС, більш ніж в 10 разів перевищує характерну для традиційних установок. Економічніше виявилось інше технічне рішення, реалізоване в США в 1985 році. Замість дорогих скляних дзеркал-геліостатів тут використовується плівка з металевим напиленням, натягнута на обручі діаметром 1,5 метра. Створюючи під плівкою вакуум, надають їй параболическу форму. Ці увігнуті дзеркала фокусують сонячне випромінювання на труби, в яких нагрівається і випаровується живильна вода паротурбінної установки. Таким чином, цієї СЕС башта з баком-парогенератором не потрібна. Вартість одного кіловата встановленої потужності

понижена в порівнянні з «Солар-1» в 4 рази, собівартість кіловата виробленої енергії наблизилася до характерної для вугільних станцій.

На СЕС «Альмерія» (Іспанія) як теплоносії першого контуру парогенератора на вершині сонячної башти використовується рідкий натрій, в другому контурі – звичайна вода. У варіанті СЕС, розробленому в Германії, сонячні промені нагрівають до 800°C стисле повітря, яке приводить в дію газову турбину. Теплота відпрацьованого в газотурбінній установці повітря потім використовується в паротурбінному циклі. У результаті підвищується ККД використання теплоти сонячних променів.

Ряд паротурбінних СЕС різної потужності побудований у Франції і в Італії. Розробляються проекти СЕС із замкнутими газотурбінними установками, в яких робочим тілом є гелій. Параметри гелієвого теплоносія перед турбіною: температура біля 600°C, тиск 0,8 МПа; проектний ККД установок – близько 25%.

4 Сонячне теплопостачання

Сонячна енергія порівняно легко використовується для отримання тепла. Температура до 100 °C досяжна і без концентрації променів, а теоретично досяжна температура з концентрацією променів становить приблизно 5600°C.

Технологія отримання низькопотенційного тепла (до 100°C) має тривалу історію розвитку в багатьох країнах світу. Система складається з плоского сонячного колектору (СК), що містить рідкий або газоподібний теплоносії, і акумулятора тепла (або без нього). Ця система знаходить застосування для гарячого водопостачання і опалювання будівель. Для кондиціонування повітря потрібні трохи більш високі температури. Підраховано, що просте застосування сонячної енергії для гарячого водопостачання кондиціонування повітря в досяжний період покриє не більше за 2-5% світових потреб в первинних енергоресурсах.

Потреба в низькопотенційній тепловій енергії (до +65°C) в с.г.в. становить 30...45% від загального енергоспоживання. Тому найбільш економічно отримувати необхідну t° теплоносія без додаткових перетворювачів (без СТЕС і СФЕС). Для багатьох с.г.в. необхідний теплоносії у вигляді рідини (вода) або повітря з t до + 65°C.

Застосовують геліосистеми пасивні, активні або їх комбінацію.

Пасивна геліосистема найбільш дешева. Вона складеться з елементів будівельних конструкцій. Будинок з пасивною геліосистемою – це будівля, зорієнтована певним чином на місцевості, з похилим дахом з південної сторони, заглиблена в землю з північної сторони, обладнана теплоізоляцією, шторами, що скручуються, екранами і т.д.

Активні геліосистеми включають СК і Акумулятори теплоти.

Сонячні водонагрівачі застосовуються в цілях опалювання і гарячого водопостачання з початку ХХ століття. До теперішнього часу у ряді країн (США, Німеччині, Норвегії), при державній підтримці по програмах енергозбереження, широко поширені встановлені на дахах або на застлених верандах сонячні колектори з полімерних пластмас із застлінням.

Пристрій сонячного модуля-водонагрівача (**сонячного колектора**) дуже простий (рисунок 2.4).

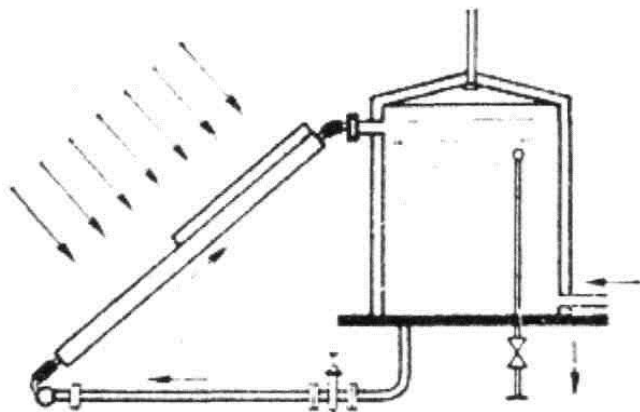


Рисунок 2.4 – Простий сонячний водонагрівач

Плоский екран з привареними знизу трубами освітлює сонячними променями. Застосовуються і безтрубні екрани, у вигляді двох пластин з щільним зазором між ними. Екран сполучений трубами з верхньою і нижньою частинами бака-накопичувача. У контурі встановлюється природна циркуляція: у труби поступає холодна вода з нижньої частини бака, нагріта в трубах екрану вода з меншою щільністю витікає у верхню частину бака. Верхню пластину екрану фарбують чорною матовою фарбою, аби збільшити коефіцієнт поглинання променистої енергії, і покривають склом або полімерною плівкою для захисту від атмосферних опадів. У регіонах з негативними температурами контур заповнюють водним розчином антифризу; нагрітий сонячним випромінюванням антифриз віддає теплоту воді бака-накопичувача в трубчастому теплообміннику.

По оцінках норвезьких енергетиків, річна економія енергії від систем сонячного теплопостачання в північній Європі складає 250...300 кВт·год на квадратний метр площі колектора. Вартість сонячних колекторів в Норвегії – близько 80 євро за квадратний метр, включаючи захисне покриття при установці на даху. Період самоокуповування при цінах, що існують в Норвегії, на електроенергію – близько 10 років. При цьому виключається забруднення довкілля в результаті спалювання органічного палива в казанах традиційних ТЕЦ і котельних.

Сонячні ставки. Це оригінальний нагрівник, в якому ТАМ є солоня і дуже солоня вода, а теплозахисною кришкою – прісна вода (рисунок 2.5). Сонячний ставок в ЕйнБореке, Ізраїль, виробляє 150 кВт з площі 0,74 га при вартості 10 центів/кВт·год. На 1 м² ставка 0,5-1 кг кухонної солі (NaCl) або MgCl₂.

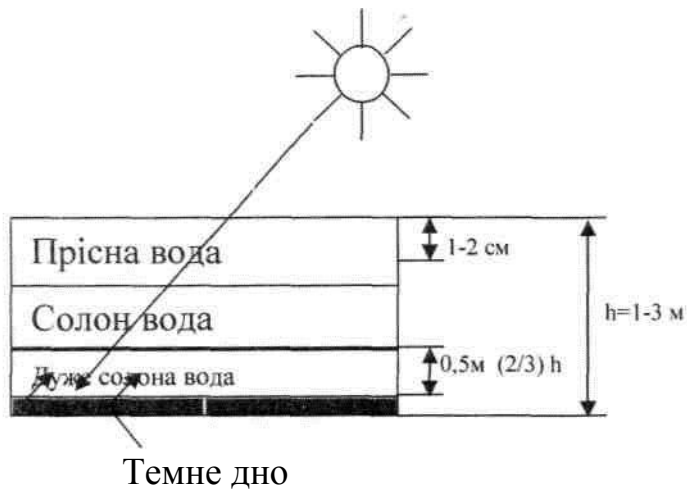


Рисунок 2.5 - Сонячний ставок

В світі існують також **повітряні (калориферні)** системи сонячного опалювання. Нагріте в сонячному колекторі повітря протікає через теплоаккумулятор - ємкість, заповнену щебнем або галькою. При необхідності обігріву приміщення кімнатне повітря проганяють вентилятором через шар гальки.

Акумулятори енергії

У сільському господарстві найбільше поширення знайшли теплові акумулятори (ТА): рідкі, тверді, фазовий акумулятори (ФА).

Найбільш поширені: Рідкі - вода $C=4,19$ кДж/(кг·К); тверді – щебінь $C=0,92$ кДж/(кг·К); фазові акумулятори (ФА): парафін $t_{пл}=54,4^{\circ}\text{C}$, $Q_{пл}=209$ кДж/кг плюс $C=2,08$ кДж/(кг·К), глауберова сіль $t_{пл}=32,4^{\circ}\text{C}$, $Q_{пл}=251$ кДж/кг).

Теплоємність ФА в десятки разів більше теплоємності води. Крім того, вони зберігають протягом фазового переходу постійну температуру. У жарких країнах для акумулювання енергії використовуються солоні озера.

Повітряна сонячна опалювальна система може експлуатуватися і без теплоаккумулятора. В цьому випадку вентилятор проганяє кімнатне повітря безпосередньо через повітряний сонячний колектор. Новим способом використання сонячного випромінювання для теплофікації є вживання шибки, покритої полієфірною плівкою з металевим напиленням. Це скло прозоро для променів світлового діапазону довжин хвиль, що несуть максимум енергії в сонячному спектрі, але воно відображає інфрачервоне випромінювання з приміщення і таким чином забезпечує «парниковий ефект» в квартирі. Такі стекла все ширше застосовуються у Фінляндії.

Сонячна енергія може використовуватися для **опріснення** морської і забрудненої води. Простий сонячний опріснювач є посудиною, заповненою шаром солоної води малої товщини; сонячні промені, сконцентровані на посудині, випарюють воду. Пара конденсується на похилій плоскій стінці, і конденсат стікає в збірку опрісненої води. Розроблені також сонячні холодильні установки, в яких хладагент (аміак) випаровується сонячним випромінюванням і надалі бере участь в роботі холодильного циклу типу абсорбції. Сонячне теплове устаткування

ня (теплові панелі, установки гарячого теплопостачання, сонячні опріснювачі) випускає НВО «Машинобудування» в м. Реутов Московської обл.

Сонячна енергія використовується також в невеликих **високотемпературних установках** (рисунок 2.6). Сонячні промені фокусуються параболічним дзеркалом на об'єкті, що нагрівається (наприклад, плавильному тиглі). В порівнянні з нагріванням в печах такі установки створюють інтенсивніший нагрів і чистоту процесу. Такий же пристрій мають «сонячні кухні».



Рисунок 2.6 – Сонячний нагрівач

Використання СК в сільгоспвиробництві: сушка с.г. культур. Обігрів будівель, гаряче водопостачання. Для підвищення температури ТН додатково до СК можуть застосовуватися теплові насоси (ТН).

Лекція 3

ЕНЕРГІЯ ВІТРУ

1. Ресурси вітрової енергії
2. Конструкція і робота ВЕУ
3. Класифікація ВЕУ
4. Порівняльна характеристика роботи ВЕУ
5. Теорія роботи вітродвигуна

1. Ресурси вітрової енергії

Вітри - це перебіг атмосферного повітря, що породжується нерівномірним нагрівом поверхні Землі сонячним випромінюванням. Вітрова енергія використовувалася людиною з незапам'ятних часів в парусному флоті і вітряних млинах. У Голландії вітряки більше 500 років відкачують воду з польдерів - обвалованих ділянок суші, що лежать нижче за рівень моря. Багатолопатеві вітряки в США широко застосовувалися для відкачування води з колодязів; у 30-ті роки XX століття їх налічувалося більше 6 млн.

З історії розвитку техніки добре відомо, що використання енергії вітру має старі традиції. Ще задовго до відкриття електрики в середині XIX ст. вітер служив джерелом енергії для судів і млинів. У XX ст., коли електроенергія стала грати домінуючу роль в енергобалансі, центр тяжіння був перенесений на такі енергетичні ресурси, як нафта і вугілля. Енергія вітру, по суті «безкоштовна», мінлива і не концентрована, що привело згодом до того, що застосування її стало обходитися все дорожче. До останнього часу вітроагрегати застосовувалися у віддалених важкодоступних районах. Підвищення цін на нафтовому ринку спричинило поновлення інтересу промислово розвинених країн до розробки як великих вітроелектричних станцій (ВЕС), так і вітроенергетичних установок (ВЕУ) для місцевого енергопостачання (рисунки 3.1).

У 1890 р. вперше в Данії вітроенергетичні установки (ВЕУ) використані для вироблення електроенергії. У 20...30-ті роки для енергопостачання віддалених від енергомереж споживачів в СРСР набули поширення ВЕУ, розроблені Центральним аерогідродинамічним інститутом (ЦАГИ). Вони використовувалися для зарядки акумуляторних батарей, які потім застосовувалися для освітлення і живлення радіоапаратури.

У наш час в Західній Європі відбувається бум в розвитку вітроенергетики. У Данії вироблення електроенергії на ВЕС досягає 12% від загального вироблення, в Голландії, північних землях Німеччини 10%. За два останні десятиліття тут змінилися 7 поколінь ВЕУ, одинична потужність вітроагрегатів досягла 4,5 МВт, діаметр вітроколеса найпотужнішої ВЕС складає 112 м. У 2002 р. зростання інвестицій у вітроенергетику склало 37%, обганяючи останні види енергетичних установок. У США тисячі ВЕУ з сумарною потужністю порядку 1 ГВт встановлені в Каліфорнії на схід від Сан-Франциско. Собівартість енергії, що виробляється на ВЕУ, впритул наблизилася до собівартості на традиційних електростанціях. Вітрова енергетика отримує державну підтримку у вигляді пільгових кредитів, пода-

тків, тарифів. У розробку ВЕУ включаються високотехнологічні наукоємні транснаціональні корпорації - Дженерал Електрик, Боїнг, Вестінгауз. За останніх 15 років в світі побудовано понад 100 тис. вітроустановок. Сумарна потужність ВЕС світу в 2001 році склала 24,8 ГВт, з них 70% доводиться на Європу. Широкого поширення набувають кооперативи дрібних власників (фермерів), які з використанням державних кредитів будують ВЕС і поставляють електроенергію в енергосистему.

Виробництво електроенергії на ВЕУ безпосередньо залежить від сили вітру. Вони ефективно працюють при швидкостях вітру від 5 до 25 м/с (від 3 до 9 балів за шкалою Бофорта). У штильову погоду і при слабких вітрах, при сильних штормах недовиробіток енергії повинен компенсуватися резервними потужностями традиційних електростанцій. На основі багатолітніх метеоспостережень під будівництво ВЕУ вибирають регіони із стійкими і досить сильними вітрами. Сила вітру зростає з висотою, тому ВЕУ розміщують на високих баштах. Німецька ВЕУ «Грові-ан-1» потужністю 3 МВт, побудована на березі Північного моря, має діаметр ротора 100 м, висота башти 100 м.

Європейські ВЕС розташовані в основному на побережжі Балтійського, Північного Морів і Атлантичного океану. Популярні морські (прибережні) ВЕУ - при установці віддалік від берега знімаються проблеми відчуження земель під будівництво, знижуються шумові навантаження. У протоці Ересунд між Данією і Швецією споруджуються 20 установок з одиничною потужністю по 2 МВт. Собівартість вироблюваної на європейських ВЕС електроенергії за 20 років знизилася з 38 центів до 5...6 центів за кіловат (середня собівартість на ТЕС і АЕС США на початку ХХІ століття - близько 4,5 центів).

У Північно-західному регіоні Російської Федерації зони стійких і досить сильних вітрів розташовуються на побережжі Балтійського, Баренцева і Білого Морів. Перша сучасна ВЕУ потужністю 225 кВт, дарована урядом Данії, встановлена під Калінінградом. Підписана угода про будівництво в області Калінінграда ВЕС морського базування сумарною потужністю 50 МВт, проектна вартість станції \$50 млн. Вітряки встановлюватимуться в 500 метрах від берега. Побудовані одиничні ВЕУ в інших суб'єктах федерації Північно-західного регіону. Розробляється проект спорудження ВЕС на Кольському півострові. У бідному енергоресурсами Далекосхідному регіоні, де енергопостачання доки майже цілком залежить від прибуття танкерів з дорогим мазутом, доцільне спорудження ВЕС біля берегів Японського, Охотського, Берінгова Морів. Вітрові установки можуть використовуватися для механізації підйому води в відгінному тваринництві на посушливих землях, для опріснення солоних вод, для меліорації земель. Енергія ВЕС може запасатися виробництвом водню шляхом електролізу води.

Наводяться заперечення проти розвитку вітроенергетики. Вважають, що вітряки і лінії електропередачі псують пейзаж. На відстані до кілометра чутний шум, можливі інфразвукові коливання, можливі перешкоди телебаченню. Тому в Західній Європі все частіше будують ВЕС на мілководді, на деякій відстані від берега моря. Від лопатей вітродвигунів можуть страждати птиці. Замовникам ВЕУ судити, наскільки серйозні ці побоювання.

2 Конструкція і робота ВЕУ

Вітровий потік, що проходить через площу F , що охоплюється лопатями вітродвигуна (рисунк 3.1), має енергію

$$E = mw^2 / 2, \text{ Дж}, \quad (3.1)$$

де w – швидкість вітру, м/с;

m – маса повітря.

Для лопатевого вітрового колеса площа визначається через довжину лопаті. Відповідно електрична потужність ВЕУ, що розвивається, визначається формулою

$$P = \eta_B \eta_{EG} \rho \pi L^2 w^3 / 2, \text{ Вт}, \quad (3.2)$$

де η_B - ККД вітродвигуна;

η_{EG} - електричний ККД вітрогенератора і перетворювача (в межах 0,70...0,85).

Дослідним шляхом встановлено, що вітряки з вертикальною віссю ротора менш ефективні, ніж вітрові колеса з горизонтальною віссю і двома - трьома лопатями. Сучасні лопаті виготовляють із склопластика, проектують їх методами гідродинаміки з врахуванням тривимірного обтікання. Ширина (хорда) лопаті зменшується до кінця для ослаблення шуму. Рівень шуму біля ВЕУ, що працює на повну потужність, не перевищує 100 дБ. Довжина лопаті досягає 50 м, відповідно висота башти-щогли перевищує 50 м. ККД сучасних вітродвигунів η_B на рівні 25...33%. Робота ВЕУ розрахована на швидкості вітру від 3 до 25 м/с, максимальна розрахункова швидкість вітру до руйнування ротора - 60 м/с.

При різній силі вітру повинна забезпечуватися однакова стандартна частота, тобто однакове число зворотів ротора. Це досягається автоматичним регулюванням кута атаки лопаті. Гондола вітроагрегата автоматично розвертається на башті проти вітру.

Механічна енергія вітроколеса передається через редуктор і роз'ємну муфту на асинхронний генератор, розміщений в капсулі ВЕУ. Постійний струм від декількох ВЕУ, що входять до складу ВЕС, перетворюється в змінний із стандартною частотою і подається в енергосистему. Світовою вітроенергетикою відпрацьовані методи синхронізації частоти і групового регулювання ВЕУ при роботі на енергосистему, збереження частоти при поштовхах, пов'язаних із зміною швидкості вітру.

Фірма АВВ запропонувала замість асинхронного генератора використовувати генератор постійного струму високої напруги (до 20 кВ). В цьому випадку стають непотрібними редуктор, система плавного запуску, трансформатор, відповідно зменшуються габаритні розміри і маса капсули. Енергія від ВЕУ по кабелю поступає до загального перетворювача станції і від нього – в мережу.

Швидкість вітру міняється протягом доби, зазнає сезонні і інші зміни. Відповідно міняється потужність, що виробляється вітровими електростанціями, мають місце накиди і провали їх долі в навантаженні енергосистеми. Тому для підтримки частоти струму необхідно мати у складі енергосистеми запас резервних по-

тужностей. Найпростіше це завдання вирішується при спільній роботі на енергосистему вітрових і гідравлічних станцій, у тому числі ГАЕС. Надлишкова енергія, яка виробляється ВЕС в години мінімального вжитку енергосистемою, може акумулюватися закачуванням води в розташований вище басейн. Можна використовувати її, закачувавши стисле повітря в підземні резервуари, або виробляючи водневе паливо електролізом води.

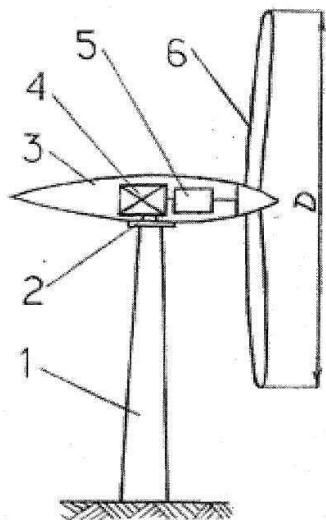


Рисунок 3.1 – Схема ВЕУ:

1 – башта; 2 – струмознімач; 3 – гондола; 4 – електрогенератор;
5 – редуктор; 6 – ротор.

У Росії випуск вітрових енергоустановок «Веселка» початий на АООТ «Тушинський машзавод». Російське енергомашинобудування має достатній досвід для вирішення механічних і електромеханічних проблем розробки і виробництва ВЕУ. Правда, немає досвіду виготовлення найбільш відповідальних деталей – великорозмірних лопатей вітроколеса. Висловлюються побоювання з приводу обмерзання ротора установки в зимовий час, особливо при роботі на побережжі Кольського півострова, де холодне повітря є сусідами з незамерзаючим морем. За літературними даними, в Данії і північній Німеччині працюючі ВЕУ взимку не обмерзають – очевидно, вібрації лопатей із склопластика струшують налиплі частки льоду. Проте при зупинці ВЕУ заледеніння ротора може викликати поломки.

3 Класифікація ВЕУ

- 1) за розташуванням вала: - з горизонтальним валом;
- з вертикальним валом.
- 2) за швидкохідністю: - тихохідні;
- швидкохідні,
- 3) за призначенням: - ВЕС; водопідйомні; помел зерна.

На рисунок 3.2 дана класифікація ВЕУ за американськими джерелами [2].

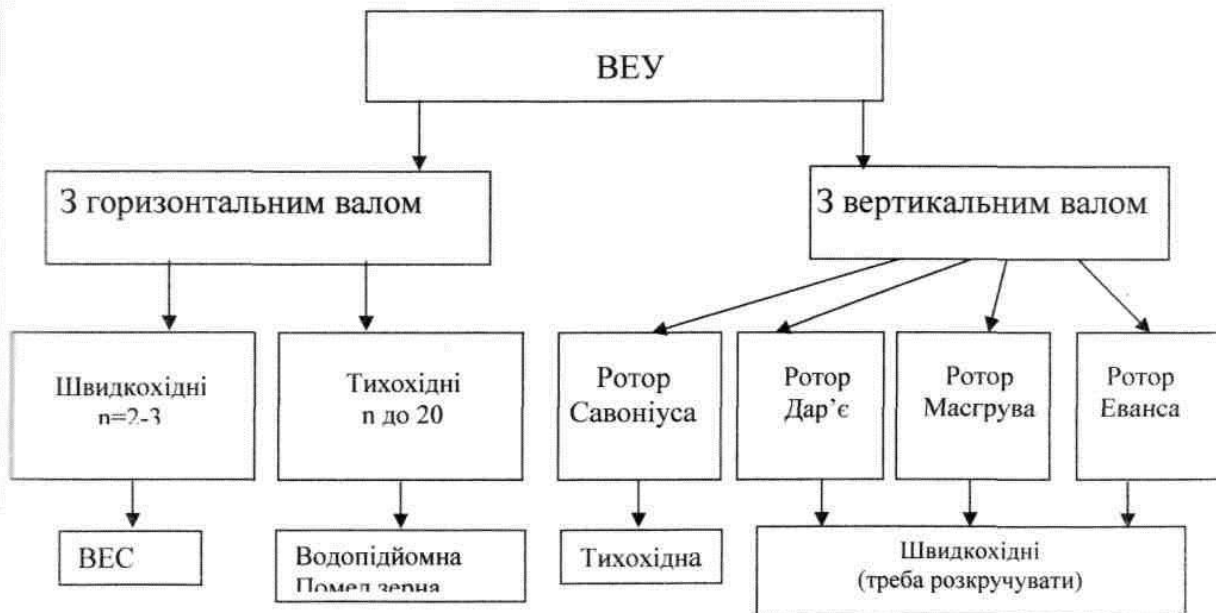
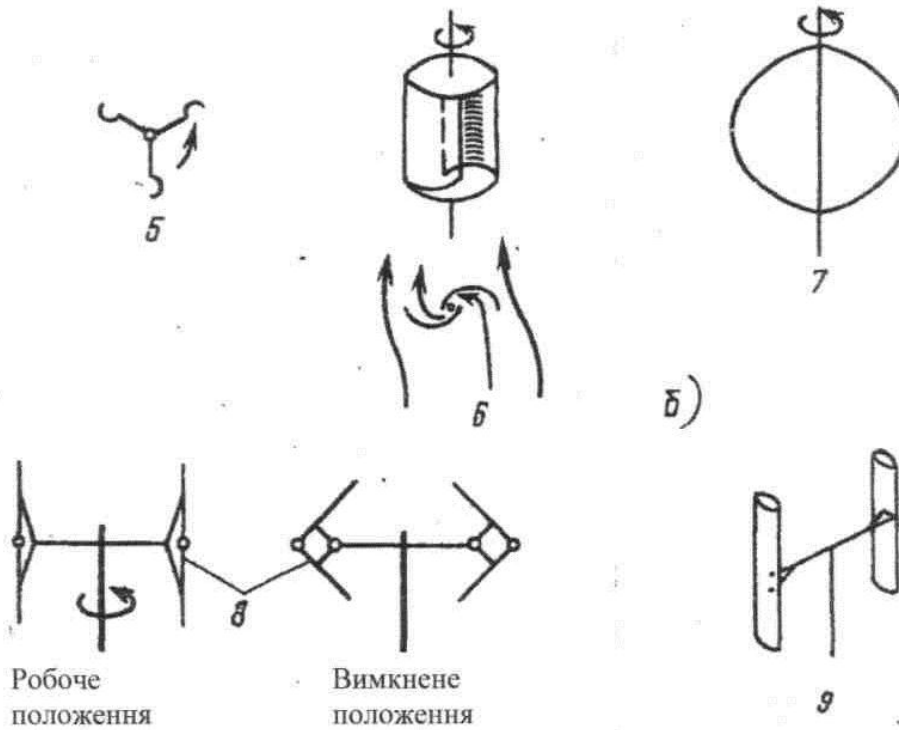


Рисунок 3.2 – Класифікація вітроенергоустановок



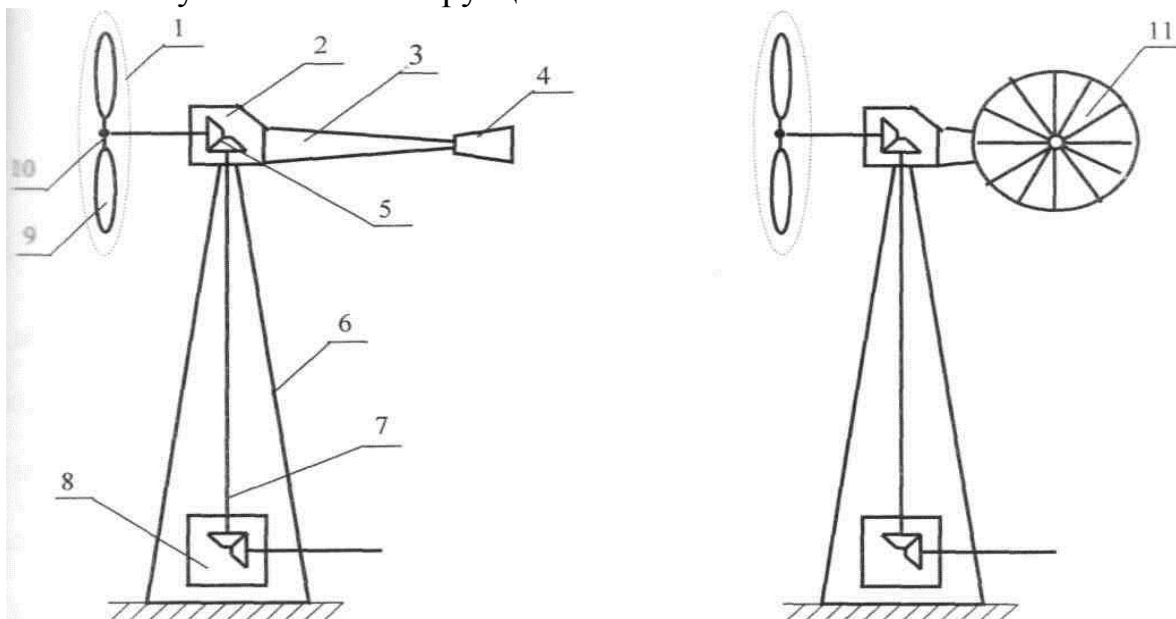
Рисунок 3.3 – Види пристроїв для орієнтації ВЕСУ за вітром



а) ВЕУ з горизонтальним валом: 1 - одно-, 2 - двох-, 3 - трьохлопатева, 4 – багатолопатева;

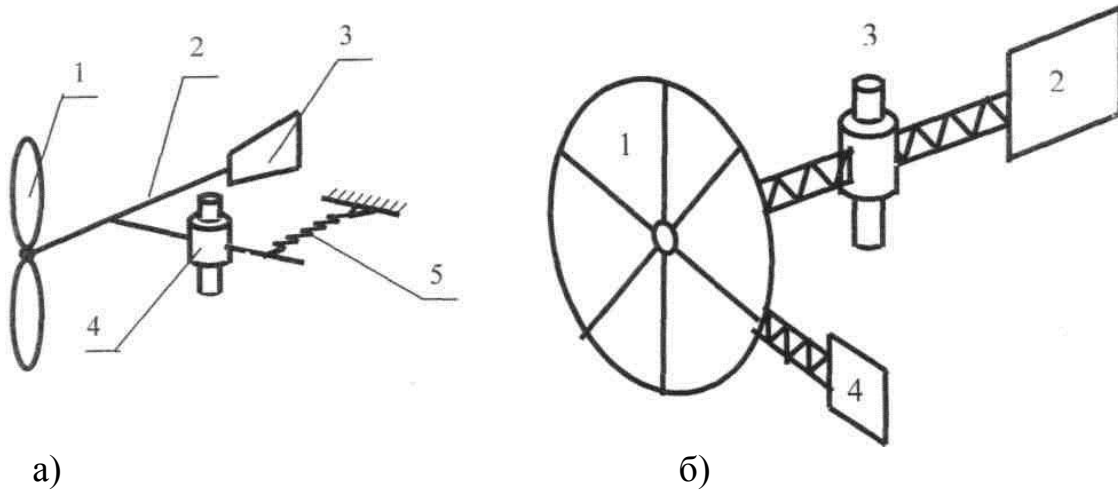
б) ВЕУ з вертикальним валом: 5 - чашковий ротор (анемометр),
6 - ротор Савоніуса, 7 - ротор Дар'є, 8 - ротор Масгрува,
9 - ротор Еванса.

Рисунок 3.4 – Конструкції типових ВЕУ



а) - з хвостовою лопаттю і б) - з віндрозою: 1- вітроколесо, 2 - головка,
3 - ферма хвоста, 4 - хвостова лопать, 5 - верхній редуктор, 6 - башта,
7 - вертикальний вал, 8 - нижній редуктор, 9 - лопать, 10 - мах, 11 - віндроза

Рисунок 3.5 – Будова ВЕУ з крильчастим вітроколесом



а) б)
а) - ексцентричною посадкою осі ВК; б) - боковою лопатою.
Рисунок 3.6 – Схема регулювання швидкості обертання ВК:

4 Порівняльна характеристика роботи ВЕУ

Двохлопатеве вітроколесо забезпечує більшу економічність, ніж трьохлопате, однак перше в ряді випадків схильне до значних вібраційних навантажень, відсутніх у другому випадку. Доцентрову силу, діючу на лопать, можна звести до мінімуму, зменшивши її масу.

Для виготовлення лопатей придатні дерево, пластик і особливо армоване скловолокно, що володіє хорошими міцнісними характеристиками. Скловолокно витримує шторми, робочі навантаження і, крім того, дуже технологічне. Вітро-двигуни, що використовуються для приводу водяних насосів, забезпечені великою кількістю лопатей і тому мають більший ККД при малих швидкостях вітру.

З формули (3.1) на перший погляд слідує, що максимальна потужність буде необмежено зростати із зростанням швидкості вітру. Однак це вірно лише теоретично, на практиці ж ще необхідно, щоб ККД також мав максимальне значення, що виконується при умові $u = U_o / 3$. Для вітроколеса з горизонтальною віссю обертання, форма і розміри якого задані, ця умова виконується лише при одному значенні швидкості.

Таким чином, в конструкції вітродвигуна закладене деяке максимальне значення швидкості V_{max} , при якому він повинен працювати. При швидкостях вітру нижче за V_{max} вихідна потужність вітродвигуна менше номінальної, а при швидкостях, більших від V_{max} , падає ККД перетворення енергії вітру в механічну. Так, при збільшенні швидкості вітру на 33% потужність, що виробляється подвоїться, а при її зменшенні на 33% впаде вдвічі. Ще більше падіння потужності станеться при зменшенні швидкості на 50%: буде вироблятися лише 12,5% первинного значення енергії.

Для вітродвигуна існує також мінімально допустима швидкість вітру. Вітроколесо з горизонтальною віссю обертання повинно обертатися, починаючи з деякої мінімальної швидкості вітру, але максимальна потужність виробляється лише

при номінальному значенні швидкості, яке вибирається на 9-16 км/год більше середньорічної швидкості вітру для даної місцевості.

При ще більших швидкостях вітру вихідна потужність утримується на номінальному рівні, для чого на практиці використовується принцип управління, який називається «утриманням плато». Цей принцип забезпечує постійність потужності при всіх швидкостях вітру, що перевищують задане номінальне значення, що досягається в більшості систем механічним регулятором або зміною кута атаки лопаті, при якій знижується ККД перетворення вітрової енергії в механічну. Захист від руйнування лопатей при надмірній силі вітру здійснюється за допомогою поворотного механізму, який при заданій граничній швидкості вітру розвертає лопаті у флюгерне положення. При вдалому виборі місця установки вітрогенератора протягом більше половини часу своєї роботи він видає необхідну потужність.

Вище розглядалися тільки вітрогенератори з горизонтальною віссю обертання, паралельною потоку. Цей тип вітрогенератора розроблений краще, ніж другий тип генераторів з вертикальною віссю. У вітрогенераторів з горизонтальною віссю є один головний недолік: для отримання оптимальної потужності вони повинні бути встановлені на вежі. Це пов'язано не тільки із забезпеченням вільного простору для лопатей, а головним чином з тим, що швидкість вітру із зростанням висоти, як правило, зростає. Необхідність будівництва вежі стає при цьому найважливішим чинником, що впливає на економічну доцільність установки вітрогенератора в тому або іншому місці. Вітрогенератор з вертикальною віссю обертання в цьому значенні має перевагу, однак і у нього є ряд своїх недоліків.

Є декілька типів вітрогенераторів з вертикальною віссю обертання. На рисунку 3.4 схематично показана конструкція ротора Савоніуса. Він, як правило, виготовляється з циліндричної труби, розрізаної вздовж і закріпленої між верхнім і нижнім фланцями. Обидві половини цієї труби дещо розсунуті, так що зазор між ними може мінятися. При відсутності зазору зона низького тиску, що створюється за «крилом», гальмує обертання і тим самим зменшує крутний момент. Потужність, що розвивається, буде максимальною, якщо відстань між половинами циліндра дорівнює приблизно половині діаметра труби. Незважаючи на вигоди, пов'язані з простотою конструкції, такий агрегат не може порівнятися по потужності з вітрогенератором з горизонтальною віссю обертання, що працює з хорошим ККД.

Іншим типом вітроколеса з вертикальною віссю обертання, який був досліджений, є ротор Дар'є. Він оснащений двома або трьома тонкими лопатями, що нагадують за формою віночок для збивання білка, який обертається з дуже великою швидкістю (в три-чотири рази що перевищує швидкість вітру). Вітрогенератор з ротором Дар'є сам не запускається, для виходу на нормальний режим роботи його розкручують до робочих швидкостей допоміжним двигуном. Вітрогенератори з вертикальною віссю обертання володіють тією перевагою, що вони допускають установку безпосередньо на землі, не вимагаючи споруди вежі і необхідних опорних конструкцій.

5 Теорія роботи вітрогенератора

Кінетична енергія вітру на одиницю площі

$$E_o = \frac{mU_o^2}{2} = \frac{\rho U_o^3}{2}. \quad (3.3)$$

Енергія вітру, що доводиться на площу A обмаху вітроколеса

$$E = A \frac{\rho U_o^3}{2}, \text{ Вт}, \quad (3.4)$$

де ρ — густина повітря, кг/м^3 ($\rho \approx 1,2 \text{ кг/м}^3$); U_o - швидкість вітру, м/с ;

A - площа вітроколеса, м^2 ;

Максимальна потужність вітроколеса (ВК)

$$P = C_p A \frac{\rho U_o^3}{2}, \quad (3.5)$$

де C_p — коефіцієнт потужності, максимальне значення $16/29 \approx 0,59$.

Практично в швидкохідних добре спроектованих ВЕУ C_p становить $0,3 \dots 0,4$.

При $C_p \approx 0,3$; $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$ і $U_o = 12 \text{ м/с}$ потужність, що знімається з 1 м^2 обмаху ВК, $P \approx \text{Вт/м}^2$.

Ефективність роботи вітроколеса залежить від коефіцієнта швидкохідності

$$Z = R\omega / U_o, \quad (3.6)$$

де R - радіус вітроколеса, м ; ω - кутова швидкість вітроколеса, рад/с ; U_o - швидкість вітру, м/с .

Оптимальна швидкохідність для n -лопатевого вітроколеса

$$Z_o \approx 4\pi / n, \quad (3.7)$$

де n - число лопатей ВК. Чим менше лопатей, тим більше швидкість.

Наприклад, для двохлопатевого вітроколеса $C_{p_{\max}}$ для 4-х лопатевого – при $Z_o = 4\pi / 4 \approx 3$.

Найбільш економічні ВЕС мають по 2 лопаті, але з метою зниження динамічних навантажень виготовляють швидкохідні ВЕС з 3 лопатями. Багатолопатеві ВК (тихохідні) містять до 20 лопатей.

Для підтримки оптимальної швидкохідності (20- оптимальний) ВЕУ виготовляють на певний діапазон швидкостей вітру U_o (розрахункову і максимальну). Зазвичай проектувальник вибирає одну з двох задач:

1) Максимальна кількість виробленої електроенергії.

2) Робота ВЕУ при мінімальній швидкості вітру $U_o \text{ min}$.

При $U_o = 12 \text{ м/с}$; $C_p = 0,3$; $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$

$$P = C_p \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{\rho U_o^3}{2} = 0,3 \cdot 3,14 \cdot \frac{1,2 \cdot 12^3}{8} D^2 = 244 \cdot D^2, \text{ Вт}.$$

Звідки $D = 2,02 \cdot \sqrt{P}$, де P у кВт.

Таблиця 3.1 – Характеристики основних ВЕУ

Клас ВЕУ	P, кВт	D, м	T, с
Малі	10	6,4	0,3
	25	10	0,4
Середні	50	14	0,6
	100	20	0,9
	150	25	1Д

Розглянемо фізичні основи ефективного використання енергії вітру та конструкцій ВЕУ [2,5]. Кінетичну енергію вітрового потоку (ВП) за одиницю часу, що припадає на площу A обмаху вітроколеса (ВК), перпендикулярну ВП, можна визначити за формулою

$$E = \frac{mV^2}{2} = A \frac{\rho V^3}{2}, \quad (3.8)$$

де $m = A\rho V$ - маса повітря, що проходить через площу A , рівну площі обмаху вітроколеса (ВК) з віссю паралельною ВП; V - швидкість ВП; ρ - густина повітря ($\rho \approx 1,2$ кг/м³).

Проте не вся енергія ВП перетворюється у механічну енергію ВК, а лише частина її. Перетнувши площу обмаху ВК вітер продовжує рухатися далі, хоча і з меншою швидкістю.

Нехай вітропотік з густиною ρ і швидкістю V діє на вітроколесо з площею обмаху A (рисунок 3.7).

Нехай незбурені значення швидкості і тиску ліворуч від ВК будуть V , і p_0 , а праворуч - $(V - v_1)$ і p_0 . При підході до ВК швидкість ВП падає до $(V - v)$ і при його перетинанні міняється плавно. Значення величин зміни швидкості v і v_1 не рівні між собою. Легко довести, що $v_1 = 2v$.

Дійсно, проходячи через ВК, вітер втрачає енергію

$$E = \frac{mV^2}{2} - \frac{m(V - v_1)^2}{2} = mv_1(V - v). \quad (3.9)$$

Звідки $0,5v_1 = v$, або $v_1 = 2v$, тобто повна втрата швидкості вітру v_1 за ВК в двічі більша від втрати швидкості v в площині обертання ВК.

Кількість руху, віддана потоком, сприймається ВК, і для одиничного періоду часу становить

$$mv_1 = [A\rho(V - v)]v_1, \quad (3.10)$$

де $m = A\rho(V - v)$ - маса повітря, що проходить через площу A за одиницю часу; v_1 - повна зміна швидкості вітру.

Зміна кількості руху в одиницю часу за рівнянням (3) повинна дорівнюватись піднімальній силі, що діє на ВК, причому ВК поступально не переміщається. Кількість цієї енергії в одиницю часу є потужність ВК і визначається як добуток піднімальної сили на швидкість вітрового потоку

$$P_{\text{вал}} = A\rho(V - v)v_1(V - v) = 2A\rho(V - v)^2 v. \quad (3.11)$$

У даному випадку в якості швидкості потоку, що визначає його потужність, використовується величина $(V - v)$, що є дійсним значенням швидкості ВП біля ВК.

Визначимо коефіцієнт використання енергії вітру C_p як відношення потужності $P_{\text{вал}}$, сприйнятої ВК, до повної потужності вітрового потоку P_A з площею перетину, рівній площі обмаху ВК

$$C_p = \frac{P_{\text{вал}}}{P_B}. \quad (3.12)$$

З урахуванням (3.10), (3.11) і (3.12) одержимо

$$C_p = \frac{2A\rho(V-v)^2 v}{\frac{1}{2}A\rho V^3} = 4 \frac{v(V-v)^2}{V^3}. \quad (3.12 \text{ a})$$

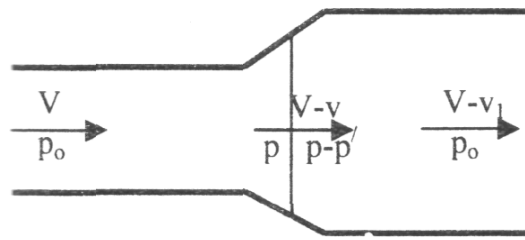


Рисунок 3.7 - Потік повітря, що набігає на ВК

Легко показати, що C_p має максимум за умови $v = (1/3)V$, а його максимальне значення $C_{p_{\text{max}}} = 16/27$. Для цього виразимо C_p через коефіцієнт гальмування потоку $a = v/V$ - відносне зменшення швидкості набігаючого потоку в площині ВК [3].

Тоді (3.12) прийме вид

$$C_p = 4a \cdot (1-a)^2. \quad (3.13)$$

Для знаходження максимуму C_p візьмемо похідну від виразу (3.13)

$$[4a(1-a)^2]' = 4(1-a)^2 - 4a \cdot 2(1-a) = 12a^2 - 16a + 4 \quad (3.14)$$

і прирівнюємо її нулю.

$$12a^2 - 16a + 4 = 0. \quad (3.15)$$

Із рівняння (3.13) знаходимо значення a , що відповідає максимуму C_p

$$a = \frac{4 \pm \sqrt{16 - 12}}{2 \cdot 3} = \frac{4 \pm 2}{6}; a_1 = 1, a_2 = 1/3. \quad (3.16)$$

Тобто ідеальне ВК повинно працювати так, щоб втрата швидкості вітру при перетині площини ВК становила третину - $v = V/3$ (величина $a_1 = 1$ - практичного значення не має, оскільки означає зупинку ВП за ВК).

Підставляємо значення $a = 1/3$ в (3.13) і знаходимо максимальне значення коефіцієнту використання енергії вітру

$$C_{p_{\text{макс}}} = 4 \cdot \frac{1}{3} \left(1 - \frac{1}{3}\right)^2 = \frac{16}{27} = 0,593. \quad (3.17)$$

Слід відмітити, що в західній літературі [3] величину C_p називають коефіцієнтом потужності, а умову (3.17) - критерієм Бетца, хоча основоположник теоретичної вітроенергетики М.Є. Жуковський ще у 1920 р. в опублікованій ним статті "Ветряная мельница типа НЕЖ" визначив ідеальне значення величини "коефіцієнта використання енергії вітру" $\zeta = 16 / 27 = 0,592592(592) \approx 0,5926$ [4], який деякі автори [5] некоректно називають ККД.

М.Є. Жуковський також визначив відносну втрату швидкості при перетинанні площини ВК - $(V - v) / V = 2 / 3$ [4], що відповідає максимальній ефективності ВЕУ, яку, на наш погляд [6], помилково назвав "коефіцієнтом корисної дії ідеального млина" і позначив $\eta_{\max} = 2 / 3$. Треба також відмітити, що швидкість ВП безпосередньо в площині ВК заміряти неможливо, тому краще користуватися поняттям коефіцієнта повного гальмування ВП за ВК в незбуреній його частині - $b = (V - v_1) / V$. Коефіцієнти b і a зв'язані відношенням $b = (1 - 2a)$, з якого слідує, що максимальному значенню коефіцієнта використання потужності вітру $C_{p\max}$ відповідає також $b = 1 / 3$, тобто швидкість незбуреного потоку за ВК повинна становити третину від швидкості набігаючого потоку $(V - v_1) = V / 3$, а повна втрата швидкості за ВК - становити $v_1 = 2V / 3$.

Сказане, звичайно, не означає, що усі ВД з горизонтальною віссю обертання, паралельною ВП, можуть працювати з таким коефіцієнтом. Навіть у найбільш вдало сконструйованих агрегатів з трудом удається досягти $C_p = 0,4$ [3,5]. Оскільки максимальне значення $C_{p\max} = 0,593$ є практично недосяжною величиною, можна вважати, що ККД таких вітроагрегатів становить

$$\eta = \frac{C_p}{C_{p\max}} \cdot 100 = \frac{0,4}{0,593} \cdot 100 = 67,5\%. \quad (3.18)$$

Тобто максимальний ККД у відомих ВД не може перевищувати 70%.

Порівнюючи (3.17) і (3.18), легко виразити максимально можливу потужність ідеального ВД з горизонтальною віссю обертання, через діаметр вітроколеса D і швидкість набігаючого потоку V

$$P_{\max} = \frac{8\pi D^2 \rho V^3}{27}. \quad (3.19)$$

З (3.19), на перший погляд, випливає, що максимальна потужність ВД буде необмежено зростати з ростом швидкості вітру. Однак це вірно лише теоретично, на практиці ж ще необхідно, щоб коефіцієнт використання енергії вітру C_p також мав максимальне значення, що виконується за умови $v = V / 3$, виконання якої залежить від двох факторів: форми лопатей і швидкохідності.

Для ВК з горизонтальною віссю обертання, форма і розміри якого задані, ця умова виконується лише при одному значенні швидкості. Таким чином, у конструкції ВД закладене деяке розрахункове значення швидкості $V_{\text{розр}}$, при якій він повинен працювати. При швидкостях вітру нижче $V_{\text{розр}}$ вихідна потужність ВД менше номінальної, а при швидкостях, більших ніж $V_{\text{розр}}$, падає ККД перетворен-

ня енергії вітру в механічну. Так, при зменшенні швидкості вітру у 2 рази потужність ВД зменшиться у кубі, тобто у 8 разів.

Для ВД існує також мінімально припустима швидкість вітру. ВК повинне обертатися, починаючи з деякої мінімальної швидкості вітру V_{min} , але максимальна потужність виробляється лише при номінальному значенні швидкості, що вибирається на 2,5...4,5 м/с більше середньорічної швидкості вітру для даної місцевості (Для південно-східної частини України середня швидкість вітру становить 5 м/с). При ще більших швидкостях вітру вихідна потужність утримується на номінальному рівні (але при зниженому ККД), для чого на практиці використовується принцип керування, що називається «утриманням плато» [3]. Цей принцип забезпечує сталість потужності при усіх швидкостях вітру, що перевищують задане номінальне значення. При вдалому виборі місця установки ВД протягом більш 50% часу своєї роботи він видає необхідну потужність.

Висновки. Максимальне значення сучасних ВЕУ з горизонтальною віссю обертання не може перевищувати 70% при спрацьовуванні третини швидкості вітру в площині ВК.

Лекція 4

БІОПАЛИВО. БІОГАЗОВІ УСТАНОВКИ

1. Біопаливо, види біопалива
2. Способи отримання енергії з біомаси
3. Отримання біогазу шляхом анаеробного зброджування

1 Біопаливо, види біопалива

Те, з чого складаються рослини і тварини, прийнято називати біомасою. Основа біомаси (БМ) є органічні сполуки вуглеводів, які в процесі з'єднання з киснем (за допомогою згоряння або внаслідок природного метаболізму) виділяють тепло.

Фотосинтез зелених рослин дозволяє акумулювати енергію, що отримується від сонячних променів, в органічній речовині, яка синтезується з вуглекислого газу, води і деяких «біогенних» елементів ґрунту. Щорік на Землі фотосинтез утворює близько 120 млрд. т сухої органічної речовини, що енергетично еквівалентне 40 млрд. т нафти (більш ніж в 10 разів перевищує світовий рівень її вжитку). Хімічна енергія, запасена рослинами, може використовуватися енергетикою. В цілому біомаса дає сьому частину споживаного в світі палива. Енергія, що отримується з біомаси, в 4 рази перевершує сумарну енергію АЕС світу.

У країнах Європейського Союзу доля енергії біомаси від загального виробництва НВІЕ складає 55%. Найефективніше енергія біомаси використовується в Португалії, Іспанії, Франції, Німеччині, Данії, Італії. Загальні ресурси біомаси в Західній Європі (у млн. т сухої маси за рік) складають: деревина і деревні відходи - 150, сільськогосподарські відходи - 250, міське сміття - 75, біомаса, що вирощується спеціально на енергетичних плантаціях - 250 млн. т.

Деревина

Ще 100 років тому дрова були основним паливом. До цих пір в сільськогосподарських районах і в країнах, що розвиваються, печі топлять дровами, це основний вигляд палива приблизно для 2 млрд. чоловік. 1 м³ деревини дає близько 5,5 ГДж теплоти. Спалювання відходів лісозаготівель і целюлозно-паперової промисловості у Фінляндії, Канаді складає істотну долю паливно-енергетичного балансу. На жаль, в РФ 75% цих відходів не використовується.

Росія – найбагатша лісом держава світу (22% за площею і 25% по ресурсах). Загальна площа лісового фонду 11,8 млн. км², загальний запас деревини 82 млрд. м³. Ліси Росії грають вирішальну роль в проблемі збереження біосфери планети. З 1960 по 1995 р. населення Землі подвоїлося, а виробництво пиломатеріалів, паперу і інших продуктів лісу потроїлося. В той же час безповоротно знищують вирубувані тропічні ліси Амазонії, Африки, Південно-східної Азії. Їх площа щорік убуває на 14 млн. га. Парниковий ефект і пов'язане з ним глобальне потепління на планеті наводить до різких коливань клімату, катастрофічних лісових пожеж, повеням і так далі. Учасники конференції ООН по довкіллю в Ріо-де-Жанейро в 1993 р. взяли зобов'язання зупинити глобальне збезліснення, проте в подальше десятиліття воно лише зросло. Щорік в світі втрачається 0,8% лісів. Лі-

си, що зберігаються в Росії все більше переймають на себе роль «легенів планети», хоча в окремих регіонах європейської території країни ліс безжалісно вирубується.

Великий збиток лісам Росії наносять пожежі. Так, в 2000 р. в лісових пожежах загинули більше 2 млн. га лісу. Лісові пожежі наводять до зростання викидів вуглекислоти в атмосферу, посилюючи глобальні екологічні проблеми. При введенні в Росії систем охорони і захисту лісів, аналогічних канадським і скандинавським, пожежні викиди вуглекислоти могли б скоротитися втричі.

Грамотне лісокористування і лісозаготівлі дозволяють зберігати і навіть збільшувати запаси деревини в країні, збільшувати об'єми фотосинтезу. В кінці ХХ століття об'єм заготовок деревини в Росії складав менше 25% об'єму розрахункової лісосіки. По режиму управління, екологічним і економічним показникам лісу Росії поділені на 3 групи. Найкоштовніші ліси, що мають значення для збереження ряду природних ресурсів, виділені в першу групу (близько 21% лісового фонду). Ліси другої і третьої груп мають головним чином комерційне значення. Близько 6% лісової площі Росії займають заповідники, національні парки.

У ряді країн швидкорослі види дерев спеціально вирощуються як паливо на енергетичних плантаціях. У Японії і Італії для цієї мети вибрані евкаліпти, в Канаді виведений різновид тополі, який нарощує біомасу вчетверо швидше за звичайну породу. Викиди вуглекислоти в атмосферу при спалюванні деревини компенсуються активним фотосинтезом листя. Для Росії ці напрями менш актуальні, важливіше удосконалювати транспортну інфраструктуру, включаючи в зворот важкодоступні лісові масиви.

Важливе завдання лісопромислового комплексу – використання деревних відходів, включаючи зелену масу лісозаготівель, і відходів лісопереробного виробництва (обаполок, тирса, кора, стружка, лігнін і так далі), вживання теплогенераторів на деревних відходах і переробку відходів в рідке і газоподібне паливо.

Торф

Це пальна копалина, що утворюється в процесі природного відмирання і неповного розкладання болотних рослин в умовах надлишкового зволоження і недостатнього доступу повітря. Вологість торфу (у покладі) складає 85...95%, зольність 2...30%, теплота згорання сухої маси до 24 МДж/кг.

На всій планеті родовища торфу займають більше 4 мільйонів км² і містять більше 3 млрд. м³ цього палива. Світові запаси торфу щорік збільшуються, їх приріст перевищує витрату. У Фінляндії, Швеції, Ірландії доля торфу в прибутковій частині енергетичного балансу складає від 10 до 20%. Росія у видобутку торфу займає четверте місце в світі, хоча, безумовно, лідирує по його запасам: російські родовища торфу займають 1,5 млрд. км². У всьому світі видобуток торфу неухильно зростає, в Росії він настільки ж неухильно падає. Причина полягає в нестачі фінансування і сучасних технологій видобутку, обробки, спалювання.

Торф як паливо застосовується в основному в котельних для опалювання невеликих населених пунктів, хоча на ньому працювали ще перші ТЕС, побудовані за планом ГОЕЛРО. Для багатьох населених пунктів, віддалених від центру, перехід систем теплопостачання на торф став би гарантією енергетичної безпеки. Зокрема, для Ленінградської області торф – найпоширеніший і найдоступніший

енергоресурс. Без ризику зменшення запасів тут можна добувати по 2,6 млн. т торфу щорік. У 2002 р. здобуто 300 тисяч тонн. В той же час торф – джерело підвищення родючості ґрунту, торф'яні добрива, торфоперегнійні брикети для розсади широко використовуються сільським господарством.

Біогаз

Метанове бродіння при переробці сільськогосподарських і побутових відходів дозволяє отримувати біогаз з вмістом метану близько 70% і оксиду вуглецю близько 15%, а також знезаражене органічне добриво. 1 кг органічних відходів дає приблизно 1 л біогазу. Теплота згорання біогазу складає 22...24 МДж/кг. Тривалість процесу бродіння 5...7 діб. Ферментери для здобуття біогазу широко застосовуються в Китаї, Японії, США. У сучасному сільському господарстві, при зростаючих потребах в паливі і добривах, переробка відходів агропромислових комплексів, тваринницьких ферм, боєнь з використанням біогазових технологій дозволяє вирішувати проблеми сушки сіна, зерна, опалювання ферм і житлових приміщень, виробництва електроенергії.

У КНР віддалені сільські місцевості газифікують за допомогою установок, що переробляють органічні відходи сільського господарства. Кожна така індивідуальна установка селянського двору дає в рік близько 6500 кВт·год електроенергії і 5 тон органічного добрива. У Росії ставиться завдання виробництва і впровадження устаткування по використанню біогазу. Центр «ЕкоРос» розробив автономний біогазоенергетичний модуль, до складу якого входять біореактори, відстійник, газгольдер для зберігання біогазу, водогрійний казан і система роздачі газу для живлення газових плит і опалювальних установок ферми. Модуль переробляє в добу до 1 тони відходів тваринницької ферми і дає до 230 кВт·год теплової енергії і до 40 м³ біогазу, що містить близько 60 % метану і до 15% оксиду вуглецю.

Польові культури і водорості

У Росії, особливо в південних районах, відвіку використовуються як паливо солома, очерет. Після обмолоту стебла і качани кукурудзи, соняшнику спалюють для сушки зерна. Після збирання врожаю залишки культур можуть служити паливом.

Найактивніше процес фотосинтезу органічної речовини йде у водоростях, особливо в найдрібніших - фітопланктоні. Продуктивність утворення органічної речовини у водоростях досягає 5 кг на квадратний метр морської поверхні в рік, що в 2...5 разів перевищує продуктивність лісу. Морські хвилі викидають на берег водорості, які використовуються як добриво і паливо. Відмираючий фітопланктон (сапропель) наводить до замулювання і заболочування озер і водосховищ. Розробляються технології видобутку, сушки, спалювання водоростей і сапропеля, проте вони не мають доки промислового вживання в енергетиці.

Побутові відходи

Системи очисних споруджень міської каналізації включають баки-аеротенки. У них до води каналізації підмішуються присадки активного мула, мікроорганізми якого використовують органічні речовини стічних вод для живлення і розмноження. Це - аеробні мікроорганізми, для їх розвитку через воду аеротенків прокачується повітря. Далі вода з активним мулом поступає у відстійники,

потім осідання мула перекачуються в бурти - метантенки, де відбувається анаеробне метанове зброджування органічної речовини. Газ, що виділяється, містить до 55% метану і може служити паливом в котельних установках. Тверді залишки ущільнюються і зневоднюються у фільтр - пресах і розміщуються на майданчиках мула. Осідання мула можуть використовуватися як добриво і як паливо. У Японії спалюють 55% осадів мула, в США 27%. Є досвід спалювання осадів мула в котельних установках на очисних спорудженнях Санкт-Петербурга.

Сучасні міста виробляють величезну кількість твердих побутових відходів (ТБО). До кінця XX століття світове виробництво ТБО за рік досягло 3 млрд. т, в С.-Петербурзі на полігонах-звалищах за рік розміщується 4,5 млн. м³. До складу ТБО входять горючі речовини — макулатура, харчові відходи, деревина, їх теплота згорання дорівнює 7... 12 МДж/кг. Відходи в звалищах переробляються мікроорганізмами з виділенням метану. Загальна кількість антропогенних викидів метану в атмосферу з очисних споруд, звалищ, нафтопромислів перевищує 200 млн. т в рік, адже метан, як і діоксид вуглецю, є парниковим газом і вносить свій вклад до потепління клімату планети. У США працюють декілька ТЕС на біогазі звалищ. Відходи ущільнюють, укладають на них перфоровані поліетиленові труби і накривають плівкою. Газ, що відбирається трубами, містить до 55% метану.

У ряді розвинених країн практикується роздільний збір відходів в місцях їх збирання. Переробка макулатури і скла з ТБО досягає 50%. Після відділення вторинних ресурсів в світовій практиці все ширше застосовується спалювання ТБО в спеціальних котельних установках. У Швеції об'єм спалюваних ТБО досягає 60%, в Швейцарії - 75, в Японії - 80%. Шлак (до 300 кг на тонну ТБО) спікається, що робить його нетоксичним, і захоронюється. Газоподібні продукти згорання - вуглекислий газ і водяна пара. Можливе спільне спалювання ТБО з осіданнями мула систем водовідведення. Перші установки спалювання експлуатуються в С.-Петербурзі.

Синтетичне паливо

Процеси виробництва рідкого і газоподібного палива з низькоякісного твердого розроблялися ще Д.І.Менделєєвим. У розвинених країнах світу крупні асигнування виділяються на здійснення національних програм створення синтетичного палива.

Буре вугілля – перехідна форма від торфу до кам'яного вугілля з вмістом вуглецю 55...78% - на початку XX століття був сировиною при виробництві світлого газу, який використовувався для побутових і промислових цілей. В даний час гази з низькою теплотою згорання (до 6,7 МДж/м³), що містять С і вуглеводні, отримують обробкою бурого вугілля пароповітряним дуттям. При використанні високотемпературної водяної пари отримують горючий газ, що містить С, СН₄ і Н₂, з теплотою згорання до 12,5 МДж/м³, який може використовуватися в металургії як відновник в доменному процесі. На думку фахівців США, газифікація вугілля ефективніша, ніж безпосереднє спалювання вугілля в пиловугільних енергетичних казанах. У дев'яності роки XX століття сумарна продуктивність установок газифікації вугілля США склала близько 100 млрд. м³ в рік. Розробляються схеми газифікації вугілля з використанням теплоти ядерних реакторів. Розвиваються методи підземної газифікації пластів бурого вугілля з обробкою водяною парою для

здобуття на виході газоподібних вуглеводнів з високим вмістом метану.

Виробництво синтетичного рідкого палива було освоєне в Германії в першій половині XX століття. Німецькі танки, автомобілі і навіть літаки в роки другої світової війни заправлялися цим синтетичним паливом. У 60...70-ті роки розроблені методики переробки горючих сланців - глинистих гірських порід, збагачених горючою органічною речовиною (до 60...70% по масі). Родовища горючих сланців розташовані в Ленінградській області. Унаслідок великої вологості і зольності теплота згорання сланців невелика - 5... 11 МДж/кг. В результаті термічної переробки сланців отримують горючий газ, що містить до 30% водню, 15...30% метану, близько 10% оксиду вуглецю, і сланцеве масло - суміш рідких вуглеводнів, близька до продуктів перегонки нафти, а також коштовні хімічні продукти - етилен, бензол, фенол. При достатку нафти і природного газу в кінці XX століття технології виробництва синтетичного палива з бурого вугілля і сланцю здавалися нерентабельними, тепер настав час їх відновлення. Переробка твердого палива в синтетичне дає можливість різко зменшити викиди золи в продуктах згорання.

Одна з рослин, що активно акумулюють сонячну енергію, - це цукровий очерет. Зброджуючи тростинний цукор до етилового спирту, отримують ще один вигляд синтетичного рідкого палива, придатного для двигунів внутрішнього згорання. У 80-ті роки в Бразилії працювали 400 тисяч автомобілів на спиртному паливі і 5000 спиртозаправочних станцій. Додаток спирту до низькооктанового бензину в кількості 20% підвищує його октанове число, в цьому випадку не потрібні дорогі присадки, вживані у високооктанових бензинах.

Як сировина для виробництва синтетичного палива може використовуватися кукурудза і її відходи. Вуглеводи кукурудзи зброджуються в зерновий спирт. Процес здобуття зернового спирту гранично простий, протягом століть його застосовували в самогонних апаратах. Спирти, придатні як енергетичне паливо, отримують також шляхом гідролізу деревини. З рапсу і деяких інших олійних культур отримують масло, яке може використовуватися як паливо для дизельних двигунів.

За допомогою хімічних або біохімічних процесів БМ може бути перетворена в такі види палива як газоподібний метан - CH_4 , рідкий метанол - CH_3OH (метиловий спирт - 23 МДж/кг), етанол - $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (етиловий спирт - 24 МДж/кг), тверде деревне вугілля.

Спочатку біомаса рослинного походження утворюється внаслідок фотосинтезу під дією сонячного випромінювання.

2 Способи отримання енергії з біомаси

1) *Пряме спалення* (теплотворність від 10 МДж/кг (сире дерево) до 40 МДж/кг (жири), теплотворність сухої біомаси - 20 МДж/кг).

ККД використання енергії на відкритому багатті становить 5%.

2) *Піроліз* (суха перегонка). Початкова сировина (дерево, відходи БМ, міське сміття і, звичайно, вугілля) зазнає сильного нагріву або часткового спалення без доступу повітря. Продуктами піролізу є горючі гази, рідкий конденсат у вигляді смол і масел, деревне вугілля і зола.

3) *Газифікація* - це піроліз, пристосований для максимального отримання газоподібного палива, яке більш екологічне, зручне для транспортування і подальшого спалення.

4) *Гідроґенізація*. Подрібнену, або переварену БМ, що розклалася, нагрівають в атмосфері водню до $t=600^{\circ}\text{C}$ при $P=5\text{МПа}(50\text{атм})$.

Отримують горючі газу, які переважно містять метан.

5) Отримання *метанолу* (CH_3OH) і *етанолу* ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$).

Використання етанолу як палива для ДВЗ. Можна використати прямо 95%-й етанол, а можна у вигляді добавки до бензину (1:10) збезводненого 100%-го етанолу.

Бензин з водою не змішується, а етанол поглинає воду, що негативно позначається на ДВЗ. Тому практичніше використати добавки 100%-го етанолу в бензин, які підвищують потужність двигуна і підвищують детонаційну стійкість бензину. Добавки етанолу більш бажані ніж добавки з тетраетилсвинцю, що викликають серйозні забруднення атмосфери.

Суміш бензину із 20% збезводненого етанолу (газохол) використовують в Бразилії (етанол там отримують з цукрової тростини) і в США (етанол з кукурудзи). Ціна етанолу в цих країнах сумірна з ціною бензину (1984 р.).

3 Отримання біогазу шляхом анаеробного зброджування

Біогаз отримують метановим бродінням різних органічних речовин рослинного і тваринного походження в біогазових установках (БГУ).

З 1т (по сухій речовині) органічного бродильного матеріалу утворюється 350-400 м³ біогазу з теплотворністю 23... 25 МДж/м³ тобто 1 м³ біогазу по теплоті еквівалентний 4 кВт·год електроенергії або 1,5 кг кам'яного вугілля.

В Індії і Китаї використовуються мільйони сімейних БГУ.

Метанове бродіння – бактерійний процес, що протікає в анаеробних умовах при $t=30-40^{\circ}\text{C}$. Цей процес не вимагає стерильних умов, технологічно нескладний і може бути відтворений в будь-якому господарстві.

Час бродіння 5...10 діб при $t=55^{\circ}\text{C}$ (*термофільний режим*) або 10...15 діб при $t=30-40^{\circ}\text{C}$ (*мезофільний режим*), більш тривалий час при $t \sim 20^{\circ}\text{C}$ (*психрофільний режим*).

Метанове бродіння здійснюється в реакторах-метантенках (рисунок 4.1), виготовлених з металу або залізобетону, об'ємом від 1 до декількох тис. м³. Для збору газу під тиском зазвичай використовують "мокрий" газгольдер.

В Україні роботи з анаеробного зброджування проводилися ще в 50-х роках ХХ ст. Так, на о. Хортиця в 1959 р. була споруджена біогазова установка, розрахована на переробку гною від 150 корів і 20 свиноматок з поросятами.

Біогаз – це суміш CH_4 і CO_2 , що утворюється в спеціальних пристроях – біогазогенераторах (метантенках), влаштованих і керованих таким чином, щоб забезпечити максимальне виділення метану. Енергія, що отримується при спаленні біогазу, може досягати 60...90% від вихідної, якою володіє сухий початковий матеріал.

Інше і дуже важливе значення процесу – отримання цінного органічного

добрива, в якому міститься значно менше хвороботворних організмів, ніж в початковому матеріалі. Проте, зазначимо, що не всі паразити і патогенні мікроорганізми гинуть в процесі анаеробного зброджування.

Отримання біогазу стає економічно виправданим, коли відповідний біогазогенератор працює на переробці існуючого потоку відходів. Прикладами подібних потоків можуть служити стоки каналізаційних систем, свиноферм, скотобоєнь і т.п. Економічність в цьому випадку пов'язана з тим, що немає потреби в попередньому зборі відходів, в організації і управлінні процесом їх подачі. Відомо, скільки і коли поступить відходів, і залишається лише переробити їх в біогаз і добриво.

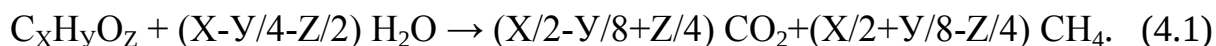
Отримання біогазу можливе в установках самих різних масштабів. Воно особливо ефективне на агропромислових комплексах, де доцільно домагатися реалізації повного екологічного циклу. У таких комплексах гній піддають анаеробному зброджуванню з подальшою аеробною обробкою у відкритих басейнах. Біогаз використовують для опалення, для освітлення, в ДВЗ транспорту, електрогенераторів і т.д. У басейнах можна вирощувати водорості, що йдуть на корм худобі. Після аеробної ферментації повністю оброблені відходи, до того, як бути використаними у вигляді добрива, можуть подаватися в рибні садки і ставки для розведення водоплавної птиці. Успіх реалізації подібних схем прямо залежить від якості системного опрацювання всього проекту, міри стандартизації конструкцій, регулярності обслуговування тощо.



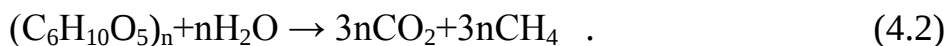
Рисунок 4.1 - Схема біогазової установки

В Китаї широко розповсюджена БГУ "Габор", яка розміщена під землею. Камера зброджування і газгольдер урівноважені між собою. Процес бродіння протікає стихійно, безконтрольно і без перемішування.

Основне рівняння, що описує анаеробне зброджування, має вигляд



Для целюлози це рівняння приймає вигляд



Ці реакції – злегка екзотермічні, в процесі їх протікання виділяється приб-

лизно 1,5 МДж тепла на 1 кг сухої маси зброджуваного матеріалу, тобто приблизно 25 кДж/моль $C_6H_{10}O_5$. Цього, зазвичай, недостатньо для необхідного підвищення температури зброджуваної маси.

ККД конверсії становить 90%. На практиці зброджування рідко ведуть до кінця, оскільки це сильно збільшує тривалість процесу. Зазвичай зброджують приблизно 60% початкових продуктів. Вихід газу складає приблизно від 0,2 до 0,4 м³ на 1 кг зароджуваного сухого матеріалу при нормальних умовах і при витраті 5 кг сухої біомаси на 1 м³ води (5%-й розчин).

У тропіках зброджування йде без підігрівання при температурі ґрунту в межах 20-30°C, зброджування відповідає психрофільному процесу тривалістю 14 днів. У країнах з більш холодним кліматом середовище для зброджування потрібно підігрівати, можливо, використовуючи частину отриманого біогазу, до температури приблизно 35°C. Деякі бактерії «працюють» при 55°C. Їх використовують, якщо ставлять метою скоріше розкласти матеріал, а не отримати додаткову кількість біогазу.

Золоте правило забезпечення успішного зброджування – підтримувати постійні умови за температурою і подачею початкових матеріалів. У стабільних умовах можуть бути виведені популяції бактерій, які придатні саме для цих умов.

Найбільш поширений спосіб отримання біогазу – анаеробне (без доступу кисню) зброджування біологічної маси (екскрементів, гною, відходів сільськогосподарського виробництва). Процес протікає за участю різноманітних мікроорганізмів і в певній послідовності.

На першому етапі анаеробного зброджування органічних речовин шляхом біохімічного розщеплення (гідролізу) високомолекулярні з'єднання (вуглеводи, жири, білкові речовини) розкладаються на низькомолекулярні. На другому етапі за участю кислототворних бактерій відбувається подальше розкладання з утворенням органічних кислот і їх солей, а також спиртів, вуглекислого газу (CO_2) і водню (H_2), а потім сірководню (H_2S) і аміаку (NH_3). На третьому етапі органічні речовини остаточно перетворюються у вуглекислий газ (CO_2) і метан (CH_4) (метанове бродіння). Надалі із CO_2 і H_2 утвориться додаткова кількість метану (CH_4) і води (H_2O).

Метанотворні бактерії можуть існувати тільки в анаеробному середовищі, для їх відтворення потрібен більш тривалий час, ніж для кислототворних бактерій. Швидкість анаеробного зброджування метанотворних бактерій залежить від їх метаболічної активності. На метаболічну активність і репродуктивну здатність мікроорганізмів впливає температура. Найвища активність спостерігається при температурі біля 33°C і 54°C. З підвищенням її приблизно до 54°C умови для утворень біогазу поліпшуються, з пониженням до 15°C мікробіологічна активність майже припиняється. При зміні температури, особливо при її різкому пониженні, метаболічна активність і здібність до відтворення меншають.

Активність мікробної реакції в значній мірі визначається співвідношенням вуглеводу і азоту. Найбільш сприятливі умови відповідають C/N=10...16.

Склад матеріалу для зброджування залежить від виду тварин, їхнього корму, а також від способу їх утримання.

Передусім, треба враховувати вміст лігніну. Він практично не розкладається-

ся мікробами і, отже, не бере участі в процесі газоутворення. З цієї причини вихід газу з екскрементів жуйних тварин (ВРХ), які потребують корми з високим вмістом сирової клітковини, значно менше, ніж з екскрементів курей і свиней.

Для зброджування рослинних матеріалів з високим вмістом з'єднань вуглеводу, здібних до розкладання, необхідно додавати багаті азотом речовини, наприклад курячий послід або гній свиней, щоб отримати співвідношення C/N в межах, необхідних для інтенсивного протікання процесу.

Особливості технології. На вихід газу впливає конструкція БГУ, завантаження робочого об'єму, тривалість циклу бродіння, інтенсивність перемішування.

Із збільшенням тривалості бродіння зростає вміст CH_4 в об'ємі газу, що виділяється, і меншає вміст CO_2 , що поліпшує якість газу.

Універсальних рекомендацій для вибору оптимального часу перебування маси в реакторі дати не можна.

Перспективи

Для розвитку біогазу в Україні вирішальне значення має вплив ряду політичних та технічних факторів. Серед рушійних сил подальшого розвитку виробництва біогазу можна виділити такі:

- необхідність подальших реформ енергетичного ринку під впливом міжнародної ситуації;
- постійне зростання цін на традиційні енергоносії;
- можливість підвищити надійність енергопостачання;
- додаткові можливості для розвитку місцевої економіки, в першу чергу у сільській місцевості (гроші за газ і нафтопродукти ідуть не у країни-експортери, а залишаються у регіонах);
- зростаючі можливості для експорту біомаси і біопалив;
- можливість реалізації механізму спільного впровадження в рамках Кіотського протоколу, спрямованого на зниження викидів парникових газів у атмосферу;
- постійне зростання екологічних вимог;
- можливість створення нових робочих місць.

Лекція 5

ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННИХ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ в АПК

1. Джерела вторинних енергоресурсів (ВЕР) і установки для їх перетворення
2. Теплові насоси (ТН) і теплообмінники
3. Системи опалення будинків на базі ТН

1. Джерела ВЕР і установки для їх перетворення

Під вторинними енергоресурсами (ВЕР) мається на увазі енергетичний потенціал відходів або побічних продуктів, який може бути частково або повністю направлений на енергопостачання споживачів.

У 70-і роки ХХ століття, у зв'язку з різким підвищенням світових цін на нафту, в економіці західних країн і Японії були розгорнуті активні роботи з енергозбереження і використання вторинних енергоресурсів. У Радянському Союзі в той час, навпаки, розвивався видобуток нафти і газу, у тому числі на експорт, проблемам збереження енергії приділялося мало уваги. У результаті сформувалося відставання від світового рівня по економії палива. Енергоємність продукції народного господарства стала набагато перевищувати світовий рівень.

Останніми роками ХХ століття витрати енергоресурсів на виробництво одиниці кінцевого продукту економіки складали в Росії 60 МДж на \$1 валового національного продукту, в США 15,2, в Японії 5,5 МДж на виробництво продукції вартістю в 1 долар. Звичайно, в Росії суворіший клімат, ніж в Японії, і відповідно більше витрата енергоносіїв на опалювання, але не в 11 же разів!.. І річ не лише в тому, що Японія виробляє багато наукоємної, високотехнологічної продукції з малим вжитком енергії - електроніки, приладів, засобів зв'язку і автоматики. Але і в металургії, машинобудуванні, хімічній технології, виробництві будівельних матеріалів в Росії витрата енергоресурсів в 1,5...2 рази вище, ніж в розвинених країнах. Висока енергоємність, ресурсоємність характерні для екстенсивного типу економіки, низька – для інтенсивного типу. Макроекономічні програми, направлені на збільшення видобутку і використання непоновлюваних енергоресурсів, а не на кінцевий продукт, ведуть в безвихідь. Миттєві вигоди від проїдання ресурсів менше глобального збитку.

Проблеми економії палива і використання вторинних енергоресурсів гостро стоять перед цілим рядом галузей народного господарства. (Джерела ВЕР в промисловості).

1. Чорна металургія спалює величезну кількість палива при виробництві коксу, доменній плавці чавуну, в мартенівських печах, при нагріві металу перед вальцюванням.
2. Кольорова металургія, виробляючи мідь, нікель, цинк, свинець, олово, витрачає енергію при випаленні рудного концентрату, в плавильних і рафінувальних печах.
3. Машинобудівні заводи витрачають теплоту в ковальських, ливарних,

термічних цехах.

4. Підприємства хімічної галузі пов'язані з тепловими процесами при випаленні колчедану, виробництві фосфатів, етилену, сажі.

5. У будівельній індустрії виробництво цементу, будівельної і вогнетривкої цеглини, вапна, скла зв'язано з високотемпературним випаленням або плавленням шихти.

Установки, що сприяють енергопостачанню ВЕР: ТО, ТН, ТЕГ.

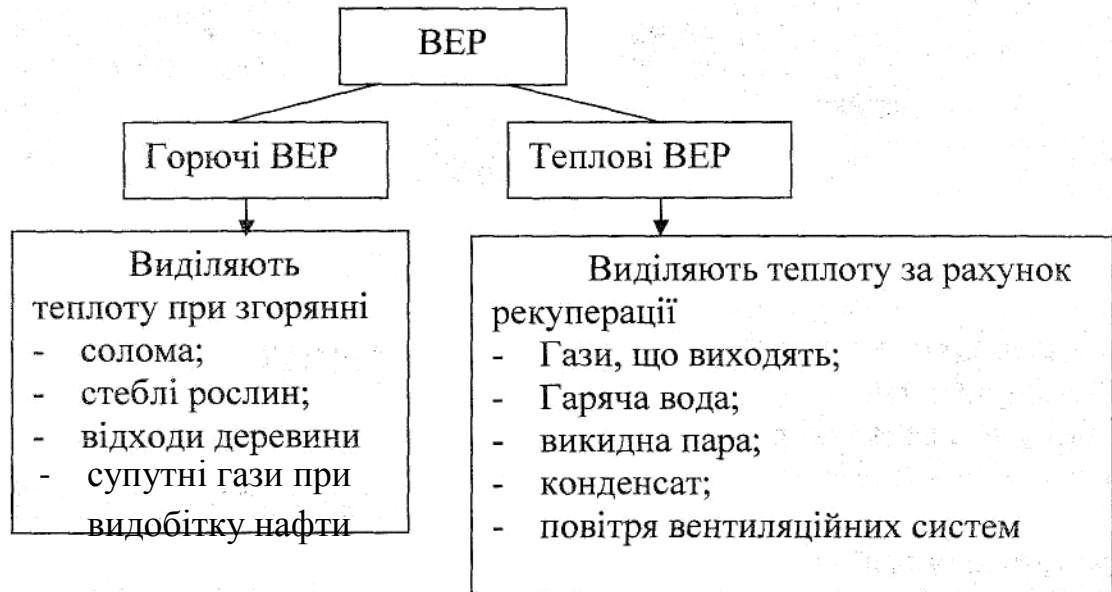


Рисунок 5.1 - Класифікація ВЕР

В Англії, Франції, Австралії і інших розвинених країнах солому брикетують і спалюють в котельних установках.

Установки для перетворення ВЕР



Рисунок 5.2 - Класифікація перетворювачів

2. Теплові насоси (ТН) і теплообмінники

Теплообмінники (ТО)

Найпростіші трубчасті ТО бувають прямоплинні і зворотноплинні (рисунок 5.3)

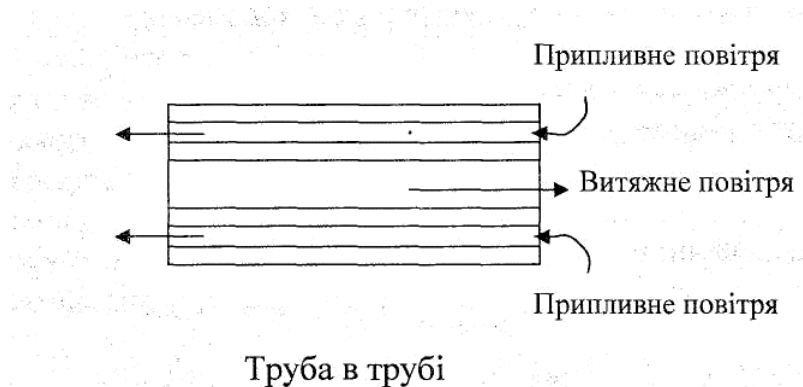


Рисунок 5.3 - Трубчастий зворотноплинний теплообмінник

Теплові насоси

Запаси теплової енергії в навколишньому середовищі практично невичерпні, але використати її з метою опалювання неможливо без штучного підвищення температури. Це можна зробити за допомогою теплового насоса. Тепловий насос (ТН) являє собою пристрій в якому здійснюється перенесення теплової енергії від середи з низькою температурою до середи, що має більш високу температуру. При цьому на роботу насоса витрачається зовнішня енергія: механічна, хімічна або електрична. ТН – це теплоперетворювальний пристрій, в якому існуюча температура теплоносія підвищується до бажаного рівня за рахунок витрат механічної або електричної енергії.

Термодинамічні основи ТН

ТН перетворюють природну низькопотенційну теплоту і теплові відходи в теплоту більш високої температури, придатну, зокрема, для теплопостачання.

Тепловим насосом прийнято називати пристрій, призначений для отримання теплоти на основі зворотного термодинамічного циклу.

Переваги теплового насоса перед іншими видами опалювання:

- відпадає проблема транспортування і зберігання палива (у варіанті з електроприводом),
- економічно витрачаються природні енергетичні ресурси,
- повністю задовольняють умовам захисту навколишнього середовища від забруднень (у варіанті з електроприводом),
- надійні з точки зору протипожежної безпеки,
- в приміщеннях немає запахів продуктів згоряння палива.

Компресорний тепловий насос

Його ідею і термодинамічний цикл більше ста років назад запропонував англійський фізик В.Томпсон. Насоси цієї конструкції в наш час набули найбільшого поширення.

Вони працюють на обладнанні холодильних машин із зворотним рухом

хладагенту. Хладагентом служить легкокип'яча рідина: фреон (частіше за все R-22) і аміак, яка має властивість випаровуватися при низькій температурі (наприклад, температура кипіння суміші фреонів R12 і R142 становить -50°C), а при підвищенні тиску перетворюється в рідину з високою температурою. Рух відбувається за допомогою компресора. Частіше за все використовується поршневий компресор.

Основними елементами теплового насоса є двигун Д, компресор 1, конденсатор 2, випарник 4 дросель (редукційний вентиль) 3, пов'язані системою трубопроводів для циркуляції робочого тіла. Сукупність теплового насоса і допоміжного обладнання: насоси, трубопроводи для підведення і відведення теплоносіїв (що охолоджується і що нагрівається) системи енергоживлення, контролю і регулювання, являє собою теплонасосну установку (ТНУ).

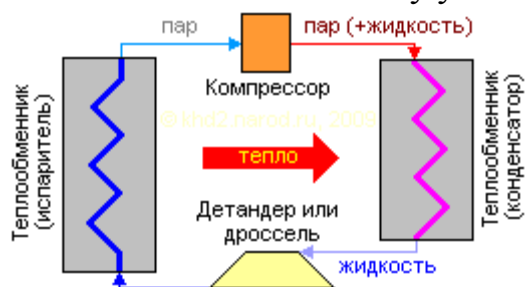


Рисунок 5.4 – Схема компресорного теплового насосу

У тепловому насосі реагент реалізовує зворотний термодинамічний цикл, внаслідок якого забезпечуються безперервне відведення тепла від холодної середовища і передача його середовищу з більш високою температурою (опалювальним приміщенням) за рахунок витрати роботи в компресорі.

Важливою характеристикою, що визначає ефективність роботи теплового насоса, є коефіцієнт перетворення φ :

$$\varphi_T = \frac{T}{T - T_0} = \frac{T}{\Delta T}; \quad (5.1)$$

де T – температура джерела високої температури, K° ;

T_0 – температура джерела низької температури, K° ;

ΔT – температурний інтервал термодинамічного циклу, K° . Теоретичний коефіцієнт перетворення φ_T – більше одиниці. Дійсний коефіцієнт перетворення теплового насоса - це відношення кількості отриманого тепла до затраченої роботи, або через потужність

$$\varphi_e = \frac{Q_T}{P_0} \quad (5.2)$$

де Q_T – теплопродуктивність теплового насоса, кВт,

P_0 – потужність електродвигуна компресора, кВт.

Ефективність теплового насоса залежить від температурного інтервалу термодинамічного циклу $\Delta T = T - T_0$.

Чим більше ΔT , тим менше коефіцієнт перетворення, тому необхідно ви-

користати джерело низькопотенційного тепла з можливо високою температурою. За підрахунками фахівців Німеччини економічно оптимальною є різниця температур між джерелом низькопотенційного тепла і споживачем тепла в 35°C .

На основі техніко-економічних розрахунків, проведених в ФРН, можна стверджувати, що в порівнянні з котельною, компресорний ТН дає економію енергії біля 30%.

Останнім часом в технічній літературі ряду країн рекламуються ТН, робота яких заснована на термодинамічному циклі Стірлінга (названий на честь англійського винахідника двигуна зовнішнього згорання). Розрахунки і результати випробувань показали, що при порівняльних умовах роботи коефіцієнт перетворення ТН Стірлінга більш як на 30% вище, ніж у компресорних ТН інших типів.

Переваги компресійних теплових насосів

Головне достоїнство цього типу теплових насосів — їх висока ефективність, найвища серед сучасних теплових насосів. Співвідношення підведеної ззовні і перекачаній енергії у них може досягати 1:3 — тобто на кожен джоуль підведеної енергії із зони охолодження буде відкачано 3 Дж тепла — порівняйте з 0,5 Дж у елементів Пельте! При цьому компресор може стояти окремо, і вироблене їм тепло (1 Дж) необов'язково відводити в зовнішнє середовище в тому ж місці, де віддаються 3 Дж тепла, відкачаного із зони охолодження.

До речі, існує теорія, що відрізняється від загальноприйнятої, але дуже цікава і переконлива термодинамічних явищ. Так от, один з її виводів полягає в тому, що робота по стискуванню газу в принципі може складати лише близько 30% від його загальної енергії. А це означає, що співвідношення підведеної і перекачаної енергії 1:3 відповідає теоретичній межі і при термодинамічних методах перекачування тепла не може бути поліпшено в принципі. Втім, деякі виробники вже заявляють про досягнення співвідношення 1:5 і навіть 1:6, і це відповідає дійсності — адже в реальних холодильних циклах використовується не просто стискування газоподібного холодагенту, але і зміна його агрегатного стану, і саме останній процес є головним...

Недоліки компресійних теплових насосів

До недоліків цих теплових насосів можна віднести, по-перше, саму наявність компресора, що неминуче створює шум і схильного до зносу, а по-друге, необхідність використання спеціального холодагенту і дотримання абсолютної герметичності на усьому його робочому шляху. Втім, побутові компресійні холодильники, безперервно працюючи по 20-30 років без якого-небудь ремонту, — зовсім не рідкість. Ще одна особливість — досить висока чутливість до положення в просторі. На боці або вверх ногами навряд чи запрацює і холодильник, і кондиціонер. Але це зазвичай пов'язано з особливостями конкретних конструкцій, а не із загальним принципом роботи.

Як правило, компресійні теплові насоси і холодильні установки проектується з розрахунку на те, що на вході компресора увесь холодагент знаходиться в пароподібному стані. Тому попадання на його вхід рідкого холодагенту, що не випарувався, приведе до гідравлічного удару в компресорі і поломці агрегату. Причиною такої ситуації може бути як знос апаратури, так і занадто низька температура

конденсатора — холодагент, що поступає у випарник, занадто холодний і випаровується занадто в'яло. Для звичайного холодильника така ситуація може виникнути, якщо намагатися його включити в дуже холодному приміщенні (наприклад, при температурі близько 0°C і нижче) або якщо він тільки що внесений в нормальне приміщення з морозу. Для працюючого на обігрів компресійного теплового насоса це може статися, якщо намагатися відігріти їм проморожене приміщення при тому, що на вулиці теж холодно. Не дуже складні технічні рішення усувають цю небезпеку, але вони здорожують конструкцію, а при штатній експлуатації масової побутової техніки в них немає нужди — такі ситуації не виникають.

Використання компресійних теплових насосів

Через свою високу ефективність саме цей тип теплових насосів отримав практично повсюдне поширення, витіснивши усі інші в різні екзотичні сфери застосування. І навіть відносна складність конструкції і її чутливість до ушкоджень не можуть обмежити їх широке використання — майже на кожній кухні стоїть компресійний холодильник або морозильник, а то і не один!

Абсорбційний ТН

Абсорбційні ТН відрізняються від компресорних виглядом своєї холодної машини. По ряду технічних і енергетичних показників абсорбційний ТН перевершує компресорний. У ньому немає рухомих елементів (немає компресора), малий рівень шуму, менше витрати на ремонт і обслуговування. Абсорбційний ТН відрізняється стабільною роботою. Однак цей вид ТН ще мало вивчений, тому ці ТН не отримали ще належного застосування. Хладагентом для абсорбційних ТН може служити водоаміачний розчин, водні розчини солей, фреони.

На основі техніко-економічних розрахунків, проведених в ФРН, можна стверджувати, що в порівнянні з котельною, абсорбційний ТН може дати економію біля 50%. ТН цього типу знаходять все більш широке застосування.

Випарні теплові насоси абсорбції (дифузійні)

Робочий цикл випарних теплових насосів абсорбції дуже схожий з робочим циклом випарних компресійних установок, розглянутих трохи вище. Головна відмінність полягає в тому, що якщо у попередньому випадку розрідження, необхідне для випару холодагенту, створюється при відсмоктуванні пари компресором, то в агрегатах абсорбції холодагент, що випарувався, поступає з випарника у блок абсорбера, де поглинається (абсорбується) іншою речовиною — абсорбентом. Тим самим пара видаляється з об'єму випарника і там відновлюється розрідження, що забезпечує випар нових порцій холодагенту. Необхідною умовою є така «спорідненість» холодагенту і абсорбенту, щоб сили зв'язування при поглинанні змогли створити істотне розрідження в об'ємі випарника. Історично першою і до цих широко використовуваною парою речовин є аміак NH_3 (холодагент) і вода (абсорбент). При поглинанні пари аміаку розчиняються у воді, проникаючи (дифундує) в її товщу. Від цього процесу пішли альтернативні назви таких теплових насосів — дифузійні або дифузійні для абсорбції.



Робочий цикл одноступінчатого теплового насоса абсорбції.

Для того, щоб знову розділити холодагент (аміак) і абсорбент (воду), водно-аміачну суміш, що відпрацювала і багату аміаком, нагрівають в десорбері зовнішнім джерелом теплової енергії аж до кипіння, потім дещо охолоджують. Першою конденсується вода, але при високій температурі відразу після конденсації вона здатна утримати дуже мало аміаку, тому основна частина аміаку залишається у вигляді пари. Що тут знаходяться під тиском рідку фракцію (воду) і газоподібну (аміак) розділяють і окремо охолоджують до температури довкілля. Захолодла вода з малим вмістом аміаку спрямовується в абсорбер, а аміак при охолодженні в конденсаторі стає рідким і поступає у випарник. Там тиск падає, і аміак випаровується, знову охолоджуючи випарник і забираючи ззовні тепло. Потім знову сполучають пари аміаку з водою, видаляючи з випарника надлишки аміачної пари і підтримуючи там низький тиск. Збагачений аміаком розчин знову спрямовується в десорбер на розподіл. В принципі, для десорбції аміаку кип'ятити розчин не обов'язково, досить просто нагрівати його близько до температури кипіння, і «зайвий» аміак випарується з води. Але кип'ятіння дозволяє провести розподіл найшвидше і ефективно. Якість такого розподілу є головною умовою, що визначає розрідження у випарнику, а отже, ефективність роботи агрегату абсорбції, і багато хитрощів в конструкції спрямовано саме на це. В результаті, по організації і кількості стадій робочого циклу дифузійні для абсорбції теплові насоси, мабуть, є найбільш складними з усіх поширених типів подібного устаткування.

"Родзинкою" принципу роботи є те, що для виробництва холоду тут використовується нагрів аж до кипіння робочого тіла. При цьому вид джерела нагріву не принциповий, — це може бути навіть відкритий вогонь (полум'я пальника), тому використання електрики не обов'язкове. Для створення необхідної різниці тисків, що обумовлює рух робочого тіла, іноді можуть використовуватися механічні насоси (зазвичай в потужних установках при великих об'ємах робочого тіла), а іноді, зокрема в побутових холодильниках, — елементи без рухливих частин (термосифони).

Перші холодильні машини (АБХМ) абсорбції на аміачно-водяній суміші з'явилися в другій половині XIX століття. Із-за отруйності аміаку в побуті вони великого поширення тоді не отримали, але дуже широко використовувалися в промисловості, забезпечуючи охолодження аж до -45°C . В одноступінчатих АБХМ теоретично максимальна холодопродуктивність дорівнює кількості витраченого на нагрів тепла (реально, звичайно, помітно менше). Саме цей факт підкріплював упевненість захисників того самого формулювання другого початку термодинаміки, про яку говорилося на початку цієї сторінки. Проте зараз і теплові насоси абсорбції здолали це обмеження. У 1950-х роках з'явилися ефективніші двоступінчаті (два конденсатори або два абсорбери) бромистолітєві АБХМ (холодагент — вода, абсорбент — бромід літію LiBr).

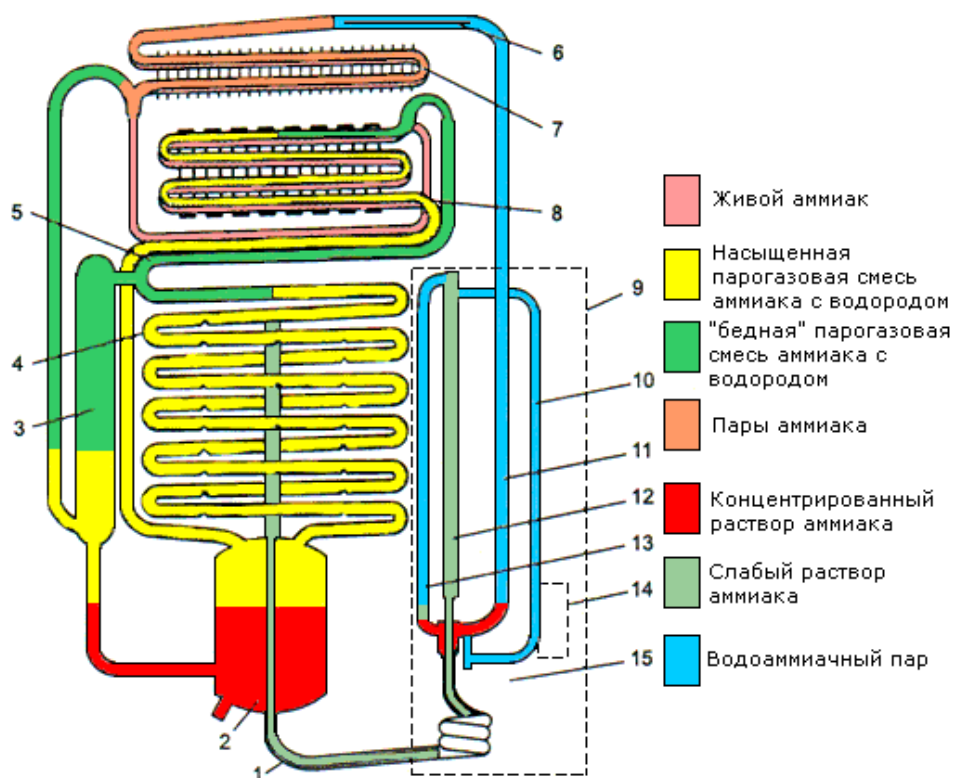


Рисунок 5.5 – Абсорбційний дифузійний холодильний агрегат (АДХА) холодильника «Морозко-3М». 1 — теплообмінник; 2 — збірка розчину; 3 — акумулятор водню; 4 — абсорбер; 5 — регенеративний газовий теплообмінник; 6 — дефлегматор; 7 — конденсатор; 8 — випарник; 9 — генератор; 10 — термосифон; 11 — регенератор; 12 — трубки слабого розчину; 13 — паровідвідна трубка; 14 — електронагрівач; 15 — термоізоляція. По матеріалах сайту elremont.ru.

Треступінчаті варіанти АБХМ запатентовані в 1985-1993 роках. Їх зразки-прототипи по ефективності перевершують двоступінчаті на 30-50% і наближаються до компресійних установок.

Тут не розглядаються усі подробиці безлічі складних процесів, що протікають при роботі теплових насосів абсорбції. У Інтернеті досить сайтів, де усе це описано в деталях.

Переваги теплових насосів абсорбції

Головне достоїнство теплових насосів абсорбції — це можливість використовувати для своєї роботи не лише дорогу електрику, але і будь-яке джерело тепла достатньої температури і потужності — перегріта або відпрацьована пара, полум'я газових, бензинових і будь-яких інших пальників — аж до вихлопних газів і дармової сонячної енергії.

Друга перевага цих агрегатів, особливо цінна в побутових застосуваннях, — це можливість створення конструкцій, що не містять деталей, що рухаються, а тому практично безшумних (у радянських моделях цього типу іноді можна було почути тихе булькання або легке шипіння, але, кінцево, це не йде ні в яке порівняння з шумом працюючого компресора).

Нарешті, в побутових моделях робоче тіло (зазвичай це водо-аміачна суміш з додаванням водню або гелію) у використовуваних там об'ємах не представляє ве-

ликої небезпеки для оточення навіть у разі розгерметизації робочої частини (це супроводжується дуже неприємним смородом, так що не помітити сильний витік неможливо, і приміщення з аварійним агрегатом доведеться покинути і провітрити «автоматично»). У промислових установках об'єми аміаку великі і їх витіки можуть бути смертельно небезпечні, але у будь-якому випадку аміак числиться екологічно безпечним, — вважається, що у відмінності від фреонів він не руйнує озоновий шар і не викликає парниковий ефект.

Недоліки теплових насосів абсорбції

Головний недолік цього типу теплових насосів — нижча ефективність в порівнянні з компресійними.

Другий недолік — складність конструкції самого агрегату і досить високе корозійне навантаження від робочого тіла, що або вимагає використання дорогих і важкооброблюваних корозійностійких матеріалів, або скорочує термін служби агрегату до 5...7 років. В результаті вартість «заліза» виходить помітно вище, ніж у компресійних установок тієї ж продуктивності (передусім це стосується потужних промислових агрегатів).

По-третє, багато конструкцій дуже критичні до розміщення при установці — зокрема, деякі моделі побутових холодильників вимагали установки строго горизонтально, і вже при невеликих відхиленнях від цього положення їх продуктивність помітно знижувалася. Використання примусового переміщення робочого тіла за допомогою pomp значною мірою знімає гостроту цієї проблеми, але під'їм безшумним термосифоном і злив самопливно вимагають дуже ретельного вирівнювання агрегату.

У відмінності від компресійних машин абсорбція не так боїться занадто низьких температур — просто їх ефективність знижується. Але це не означає, що вони можуть працювати в люту холоднечу — на морозі водний розчин аміаку банально замерзне на відміну від використовуваних в компресійних машинах фреонів, температура замерзання яких зазвичай нижче — 100°C. Правда, якщо лід нічого не порве, після відтавання агрегат абсорбції продовжить роботу, навіть якщо його весь цей час не відключали з мережі, — адже механічних насосів і компресорів в нім немає, а потужність підігрівання в побутових моделях досить мала, щоб кипіння в районі нагрівача було занадто інтенсивним. Втім, усе це вже залежить від особливостей конкретної конструкції...

Використання теплових насосів абсорбції

Незважаючи на дещо меншу ефективність і відносно вищу вартість в порівнянні з компресійними установками, застосування теплових машин абсорбції абсолютно виправдано там, де немає електрики або де великі об'єми негодящого тепла (відпрацьована пара, високотемпературні вихлопні або димові гази і тому подібне — аж до сонячного нагріву). Зокрема, випускаються спеціальні моделі з газовими пальниками для мандрівників, передусім автомобілістів і яхтсменів.

Нині в Європі газові котли іноді замінюють тепловими насосами абсорбції з нагрівом від газового пальника або від солярки — вони дозволяють не лише утилізувати теплоту згорання палива, але і «підкачувати» додаткове тепло з вулиці!

Як показує досвід, і варіанти з електронагрівом цілком конкурентоздатні, передусім в діапазоні малих потужностей — десь від 20 і до 100 Вт. Менші потужності — вотчина термоелектричних елементів, а при великих доки безумовні переваги компресійних систем. Зокрема, серед радянських і пост- радянських марок холодильників цього типу були популярні «Морозко», «Північ», «Кристал», «Київ» з типовим об'ємом холодильної камери від 30 до 140 літрів, хоча існують і моделі на 260 літрів («Кристал-12»).

Термодинамічний напівпровідниковий ТН

Уперше в світі напівпровідниковий ТН введений в дію в 1961 році в Криму в піонертаборі "Артек". Максимальна теплопродуктивність агрегату 4,5 Мкал/год. Результати експлуатації кажуть про його надійність і ефективність.

Принцип дії термоелектричного напівпровідникового теплового насоса заснований на ефекті Пельтьє, відкритому в 1834 році.

Ефект Пельтьє полягає в тому, що якщо через різні, сполучені один з одним метали або напівпровідники (на них цей ефект особливо виражений) пропустити постійний електричний струм, то в місці контакту позитивного, (дирочного р-типу) напівпровідника з негативним (електронним n-типом) при напрямі струму від (+) до (-), відбувається виділення тепла, а при зворотному напрямі струму, відбувається поглинання тепла.

Якщо створити електричне коло, що складається з великої кількості позитивних і негативних напівпровідників, що чергуються так, щоб їх контакти, де виділяється теплота, і контакти, де поглинається теплота, були змонтовані в ізольованих один від одного каналах, то пропускаючи по замкнутому колу електричний струм і відводячи тепло від контактів, можна з одних контактів отримувати тепло q_2 , а з інших — холод. Якщо температура холодних контактів стане нижчою від температури навколишнього середовища, то такий термоелемент здатний виконувати функції холодильної машини або теплового насоса. Коефіцієнт перетворення напівпровідникового теплового насоса визначається за формулою:

$$\alpha = \frac{T_z}{T_z - T_x} \varphi, \quad (5.3)$$

де T_z , T_x — абсолютна температура гарячого і холодного спайів, °К,

φ — термодинамічний коефіцієнт корисної дії.

Значення α залежить від прийнятої схеми пристрою і температурного режиму роботи напівпровідникового теплового насоса.

Застосування напівпровідникового ТН має ряд *позитивних* сторін:

- довговічність, малошумність;
- транспортування енергії від центрального генератора до місця споживання не вимагає спеціальних комунікацій. Це можна здійснити по лініях електропередачі;
- можливість плавного регулювання роботи;
- при необхідності напівпровідникові теплові насоси можна використати для "вирівнювання" графіка споживання електричної енергії;
- можливість використання їх як для опалювання приміщень, так і для охо-

лоджування;

- напівпровідниковий ТН використовуючи енергію нетрадиційних джерел знижує "теплове забруднення" біосфери;
- термоелектричні теплові насоси не використовують в схемі теплогенерації токсичних речовин, не мають рухомих частин, не створюють при роботі високого шуму.

Основні недоліки термоелектричних ТН – малі питомі потужності, складність виготовлення, необхідність мати спеціальні пристрої для перетворення змінного струму в постійний.

Теплові насоси на ефекті Пельт'є



Ефект Пельт'є полягає в тому, що при подачі на дві сторони спеціально підготовленої напівпровідникової пластини невеликої постійної напруги, одна сторона цієї пластини нагрівається, а інша — охолоджується. Ось, загалом, і готовий термоелектричний тепловий насос!

Елемент Пельт'є

Фізична суть ефекту полягає в наступному. Пластина елемента Пельт'є (він же «термоелектричний елемент», англ. *Thermoelectric Cooler, TEC*), складається з двох шарів з різними рівнями енергії електронів в зоні провідності. Під час переходу електрона під дією зовнішньої напруги у більше високоенергетичну зону провідності іншого напівпровідника, він повинен придбати енергію. При отриманні ним цієї енергії відбувається охолодження місця контакту напівпровідників (при протіканні струму у зворотному напрямі відбувається зворотний ефект — місце контакту шарів нагрівається додатково до звичайного омичного нагріву).

Переваги елементів Пельт'є

Гідністю елементів Пельт'є є максимальна простота їх конструкції (що може бути простіше пластини, до якої припаяно два дроти?) і повна відсутність яких-небудь частин, що рухаються, а також внутрішніх потоків рідин або газів. Наслідком цього є абсолютна безшумність роботи, компактність, повна байдужість до орієнтації в просторі (за умови забезпечення достатнього тепловідводу) і дуже висока стійкість до вібраційних і ударних навантажень. Та і робоча напруга складає лише дещо вольт — цілком досить декількох батарей або автомобільного акумулятора.

Недоліки елементів Пельт'є

Головним недоліком термоелектричних елементів є їх відносно невисока ефективність — орієнтовно можна вважати, що на одиницю перекачаного тепла їм буде потрібно удвічі більше підведеної зовнішньої енергії. Тобто, підвівши 1 Дж електричної енергії, з охолоджуваної області ми зможемо видалити лише 0,5 Дж тепла. Зрозуміло, що усі сумарні 1,5 Дж виділяться на «теплій» стороні елемента Пельт'є і їх потрібно буде відвести в зовнішнє середовище. Це у багато разів нижче за ефективність компресійних випарних теплових насосів.

На фоні такого низького ККД зазвичай вже не так важливі інші недоліки, — а це невелика питома продуктивність у поєднанні з високою питомою вартістю.

Використання елементів Пельт'є

Відповідно до їх особливостей, основна сфера застосування елементів Пельт'є нині зазвичай обмежується випадками, коли вимагається не дуже сильно охолодити що-небудь не занадто потужне, у тому числі при сильному трясінні і вібраціях і жорстких обмеженнях по масі і габаритам, — наприклад, різні вузли і деталі електронної апаратури, передусім військової, авіаційної і космічної. Мабуть, найширше поширення в побуті елементи Пельт'є отримали в малопотужних (5...30 Вт) переносних автомобільних холодильниках.

Вихрові теплові насоси

Вихрові теплові насоси використовують для розподілу теплого і холодного повітря ефект Ранка. Суть ефекту полягає в тому, що газ, що тангенціально подається в трубу на високій швидкості, усередині цієї труби закручується і розділяється: з центру труби можна відбирати охолоджений газ, а з периферії — нагрітий. Цей же ефект, хоча і у меншій мірі, діє і для рідин.

Переваги вихрових теплових насосів

Головне достоїнство цього типу теплових насосів — простота конструкції і велика продуктивність. Вихрова труба не містить деталей, що рухаються, і це забезпечує їй високу надійність і довгий термін служби. Вібрація і положення в просторі практично не чинять впливу на її роботу.

Потужний потік повітря добре запобігає обмерзанню, а ефективність вихрових труб слабо залежить від температури вхідного потоку. Дуже важлива і відсутність принципових температурних обмежень, пов'язаних з переохолодженням, перегріванням або замерзанням робочого тіла.

В деяких випадках грає свою роль можливість досягнення рекордно високого температурного розподілу на одному ступені: в літературі приводяться цифри охолодження на 200° і більше. Зазвичай один ступінь охолоджує повітря на 50...80°C.

Недоліки вихрових теплових насосів

На жаль, ефективність цих пристроїв нині помітно поступається ефективності випарних компресійних установок. Крім того, для ефективної роботи вони вимагають високої швидкості подачі робочого тіла. Максимальна ефективність відзначається при швидкості вхідного потоку, рівній 40...50% від швидкості звуку — такий потік сам по собі створює немало шуму, а крім того, вимагає наявності продуктивного і потужного компресора — пристрою теж зовсім не тихого і досить вередливого.

Відсутність загальновизнаної теорії цього явища, придатної для практичного інженерного використання, робить конструювання таких агрегатів заняттям багато в чому емпіричним, де результат сильно залежить від удачі: «вгадав — не вгадав». Більш-менш надійний результат дає тільки відтворення вже створених вданих зразків, а результати спроб істотної зміни тих або інших параметрів не завжди передбачувані і іноді виглядають парадоксальними.

Використання вихрових теплових насосів

Проте, нині використання таких пристроїв розширюється. Вони виправдані в першу чергу там, де вже є газ під тиском, а також на різних пожаро— і вибухо-небезпечних виробництвах — адже подати потік повітря під тиском набагато безпечніше і дешевше, ніж тягнути в небезпечну зону захищену електропроводку і ставити електродвигуни в спеціальному виконанні.

Внаслідок цих і інших причин в системах опалювання найбільше поширення отримали теплові насоси компресорного типу. Теплові насоси компресорного типу виготовляє ВАТ "Рефма", м. Мелітополь.

3 Системи опалення будинків на базі ТН

Частіше за все для опалювання одноквартирних житлових будинків на базі ТН використовуються традиційні опалювальні системи і нетрадиційні джерела тепла.

Однією з найважливіших умов раціонального застосування ТН для опалювання одноквартирних житлових будинків є наявність зручних джерел тепла низького потенціалу, джерел, які мали б зимою можливо високу температуру.

Такими джерелами може бути зовнішнє повітря, теплота ґрунту, водні джерела, відкриті незамерзаючі водоймища, сонячна радіація, тепло скидної води, тепло, що виділяється газовими двигунами або двигунами внутрішнього згоряння, що служать приводом для компресора, тепло повітря витяжної системи вентиляції. Використовуються різні шляхи передачі низькопотенційного тепла до системи опалювання:

"вода-вода", "повітря-повітря", "повітря-вода", "розсіл-вода".

3.1 Система опалювання, що використовує тепло ґрунту

У ґрунті нагромаджується значна кількість сонячного тепла і він може служити як природне і майже невичерпне джерело тепла. Температура ґрунту найвищою буває осінню на початку опалювального періоду. Ґрунт нагрівається повільно, але і остигає не інтенсивно, оскільки в ньому накопичена значна кількість тепла.

Різні види ґрунту володіють відповідно різною тепловіддачею. Проте теплові насоси з *ґрунтовими колекторами і геотермічними зондами* перетворилися в наші дні на досить поширене явище, особливо широко опалювальні агрегати такого типу поширені в країнах Північної і Східної Європи. Різниця між колектором і зондом полягає в тому, що зонд впроваджується углиб ґрунту, вертикально, а колектор занурюється на певну глибину (неодмінно нижче за точку замерзання ґрунту зимою) і розміщується горизонтально, займаючи площу, адекватну об'ємам опалювальних приміщень. Як би то не було, за принципом роботи зонд і колектор схожі між собою: вони є системою порожнистих трубок, по яких циркулює незамерзаючий розчин, що переносить тепло від джерела теплової енергії (в даному випадку, ґрунту або ґрунтових вод) до випарника теплового насоса. При установці теплового насоса з ґрунтовим колектором необхідно зробити точний розрахунок робочої поверхні колектора, виходячи з площі опалювальних примі-

щень. Зручність використання теплових насосів з геотермічними зондами полягає в можливості при необхідності (наприклад, при будівництві прибудови до будинку або господарських приміщень, що потребують опалювання) впроваджувати в ґрунт і інтегрувати з системою рециркуляції теплового насоса додаткові зонди.

Температура ґрунту на глибині 1,2...2,0 м залишається плюсовою навіть в саму холодну зиму. Це тепло можна витягнути за допомогою трубопроводу (змійовика), прокладеного на присадибній ділянці. Труби прокладаються дренажною машиною на глибині 1,2...2,0 м, на відстані 1...2 м одна від одної. Зазвичай використовуються пластмасові поліетиленові труби, діаметром 20...40 мм. Як теплоносії, циркулюючий по цих трубопроводах може служити суміш води з антифризом, розчин етиленгліколю або інші рідини, що замерзають при більш низьких температурах. За даними фінської фірми садибний будиночок загальною корисною площею 120 м² потребує приблизно 400 м пластмасових труб.

Фірма ФРН "SIMENS" виготовляє розсоло-водяні теплові насоси у вигляді компактних агрегатів, укомплектованих автоматикою захисту від замерзання. Змійовики закладаються на глибину 1,5 м і займають площу приблизно в три рази більше, ніж площа опалювальних тепловим насосом приміщень. Максимальна довжина змійовика 100 м. Тепловий насос знижує потребу для опалювання квартири енергії (електричної) на 60 %.

Цікавим прикладом використання теплоти ґрунту можна вважати пропозицію однієї з фірм ФРН акумулювати тепло в ґрунті. Для цього пропонується теплоносії пропускати по змійовику з пластмасових труб, прокладеному в ґрунті під час надлишку теплової енергії і витягувати тепло за допомогою теплового насоса під час опалювального періоду.

3.2 Опалювальні системи з ТН, що використовують тепло ґрунтових вод

Температура ґрунтової води рідко опускається нижче за показник 12 градусів, тому ґрунтові води можуть служити оптимальним джерелом енергії для теплових насосів. Проте теплові насоси, що ведуть огорожу тепла з ґрунтових вод, - досить рідкісне явище, оскільки, по-перше, не скрізь доступна ґрунтова вода необхідної якості, по-друге – на установку теплового насоса такого типу потрібний спеціальний дозвіл. І потім, установка таких теплових насосів, як правило, обходиться дорожче унаслідок того, що треба бурити не одну, а відразу дві свердловини: що подає і скидну. Незважаючи на порівняно високу вартість подібні теплові насоси ефективні і довговічні. Водні теплові насоси можуть функціонувати не лише за рахунок ґрунтових вод, але ще і брати тепло з морської або річкової води, проте в зимовий період температура цих видів джерел енергії може бути набагато нижче, ніж температура води, прихованої глибоко під землею.

3.3 Джерело низькопотенційного тепла - зовнішнє повітря

Зовнішнє повітря є *найбільш доступним і необмеженим джерелом тепла низького потенціалу*. Воно знаходить застосування в теплових насосах, що слу-

жать для зимового опалювання і літнього охолодження повітря в приміщеннях.

Водні і ґрунтові теплові насоси мають обмежену певними рамками сферу застосування. Проте повітря є скрізь, і воно теж придатне для роботи теплового насоса. Тепловий насос з повітряним теплозбірником можна встановити практично у *будь-якому місці*. Найширше поширення такі теплові насоси отримали в США. Проте опалювальні агрегати цього типу мають *істотний недолік*: при мінусовій температурі їх ефективність невелика.

Використання тепла повітря представляє значні труднощі, передусім, через *низькі значення коефіцієнтів тепловіддачі*. Щоб уникнути великих поверхонь нагріву випарника доводиться знижувати температуру випаровування робочого агента, що знижує коефіцієнт перетворення.

Крім того, пристрій для відбору тепла — випарник — при низьких температурах покривається інієм, що конденсується з навколишнього повітря. В результаті ефективність теплообміну істотно знижується, і тоді доводиться зупиняти роботу і відтавати випарник. Як правило, у випарнику кондиціонера температура знижується на 10...15°C (у холодильниках температурний перепад зазвичай більше — 25...40°C). Тому більшість кондиціонерів настроїти на температуру нижче 13-17°C не вдається — цей поріг встановлений їх конструкторами щоб уникнути обмерзання випарника, адже режим його відтавання у більшості кондиціонерів не передбачений. Це ж є однією з причин, по якій практично усі кондиціонери з інверторним режимом не працюють навіть при не дуже великих негативних температурах — хоча б при — 10°C. Зазвичай вважається, що вже при — 5°C втрати енергії на відтавання будуть порівнянні з кількістю закачаної з вулиці теплоти, і перекачування тепла з вулиці стає неефективним, особливо якщо вологість зовнішнього повітря близька до 100% — тоді зовнішній тепловідбірник особливо швидко покривається льодом.

Найбільш доцільним методом боротьби з інієм є періодичне відтавання випарника. Теплові насоси фірми "Toshiba" — забезпечені автоматичним розморожуючим пристроєм, агрегати швейцарської фірми "Six Modun Rudolf Schmidlin AG", що виготовляються по японській ліцензії, забезпечені автоматичною системою відтавання випарника за допомогою перепуску гарячого хладагенту, теплові насоси французької фірми "Cliref" містять в своїй конструкції термостат розмороження. Фірма ФРН "Vaillant" виготовляє повітряно-водяні теплові насоси з автоматично діючим розморожуючим пристроєм. Наявність ефективної системи відтавання випарника дозволяє застосовувати теплові насоси при температурі зовнішнього повітря нижче за 0°C. Система автоматичного відтавання випарника фірми "Toshiba" допускає роботу теплового насоса при температурі зовнішнього повітря -10°C. Фірма "Slant Fin Corp" (США) виготовляє теплові насоси з мінімальною температурою випаровування -12°C.

3.4 Опалювальні системи з ТН, що використовують тепло сонячної радіації

Одна з нових, економічних систем опалювання – абсорбційна система, що поглинає тепло сонця, повітря, атмосферних осадків. За допомогою теплонасосної установки це тепло передається в систему опалювання будівлі. Зазвичай такі системи обладнуються сонячними колекторами, розташованими на південному скатові даху будівлі, на плоских дахах гаражів. Застосовуються теплові насоси типів: вода-вода, розсіл-вода, повітря-вода. Сонячний колектор складається з спеціальних абсорбуючих пластин або труб, число яких залежить від теплообміну будівель.

У системах опалювання, що використовують тепло Сонця, може бути передбачений бак-акумулятор гарячої води. Нагріта в колекторах вода поступає в бак-акумулятор і випарник водо-водяного теплового насоса. Такі опалювальні системи можуть мати друге джерело тепла: електронагрівач або котел (фірма ФРН "Buderus"), який включається при пікових навантаженнях. За даними Франції, система з сонячним колектором і котлом дозволяє зекономити 50% рідкого палива.

3.5 Опалювальні системи на базі ТН з приводом від газового або дизельного двигуна

Паливна криза на Заході примусила по-новому розглянути проблему використання дизельного палива, зрідженого газу для опалювання. Протягом багатьох років мільйони тон дизельного палива використовувалися в котлах для опалювання одноквартирних будинків. Один з шляхів раціонального використання палива – застосування дизельного або газового двигуна як приводу для теплового насоса. За допомогою теплового насоса з приводом від газового двигуна можна зекономити приблизно 40% газового палива в порівнянні з прямим спаленням газів в теплогенераторі.

За допомогою теплових насосів з приводом від дизеля вода може бути нагріта до 90°C, а в теплових насосах новітніх конструкцій з газовим двигуном до 114°C.

Основні переваги ТН, що приводяться від ДВЗ:

- підвищений умовний ККД;
- можливість кількісного регулювання теплопродуктивності зміною кількості палива, що спалюється або співвідношення кількостей палива і повітря;
- отримання теплоносія з високою температурою;
- зручність застосування в місцевостях, віддалених від центрів електропостачання, а також на порівняно малих по тепловій потужності об'єктах.

Основні недоліки:

- забруднення продуктами згоряння палива навколишнього середовища;
- підвищений рівень шуму;
- порівняльна складність установок і дещо великі витрати на обслуговування.

Перспективні ТН з двигуном зовнішнього згоряння (двигун Стірлінга).

Основні переваги сучасних двигунів Стірлінга:

- високий ККД, що досягається внаслідок регенерації тепла;
- порівняльне мале забруднення навколишнього середовища;
- можливість спалення у зовнішній камері будь-якого твердого, рідкого або газоподібного палива;
- малошумна робота завдяки відсутності вибухового згоряння;
- економічність роботи, що характеризується порівняно малою питомою витратою палива, що наближається до питомої витрати палива двигуном Дизеля;
- мала потреба в мастилі;
- добрі регульовальні характеристики.

Основні недоліки: порівняно великі габарити, маса і висока вартість, викликані в основному великим питомим об'ємом робочого газу і високим робочим тиском.

У місті Вельдховене (Нідерланди) експериментальний житловий будинок був обладнаний тепловим насосом "вода-вода" з приводом від одноциліндрового двигуна Стірлінга потужністю 5 кВт, в камері згоряння якого спалюють природний газ. Двигун заповнений гелієм. Через його систему охолодження і через газо-водяний теплообмінник пропускається вода з системи опалювання; через випарник теплового насоса ґрунтова вода, що служить джерелом тепла низького потенціалу. При випробуваннях встановили, що в систему опалювання поступає 25% тепла від перетворення механічної енергії; 55% - від охолодження двигуна і газів, що відходять, і 60% - від ґрунтової води. Таким чином, умовний ККД теплового насоса становить 140%.

Опалювальні системи на базі теплових насосів з приводом від газового двигуна або дизеля частіше за все – водяні. Системи можуть бути комбіновані і мати котел-утилізатор, водогрійний котел, бак-акумулятор гарячої води.

3.6 Інші джерела тепла низького потенціалу

Доцільним джерелом тепла низького потенціалу є водяні джерела, що виходять з порівняно глибоких шарів ґрунту, артезіанська вода, оскільки температура їх близька до середньорічної температури ґрунту в даній місцевості, а у разі глибокого залягання може навіть значно перевищувати цю температуру. Фахівці Австрії найбільш доцільним джерелом тепла низького потенціалу в умовах Австрії вважають ґрунтові води. Температура ґрунтових вод буває приблизно 6...9 °С. а в тепловому насосі вона охолоджується до 3 °С.

Низькопотенційне тепло ґрунтових вод використовує тепловий насос, розроблений фірмою "Westing house" (США). Вода в ньому може бути нагріта до 105 °С. Теплові насоси "вода-повітря" фірми "Mammouth" (США) використовують тепло підземних вод з температурою 4... 16 °С.

Можливе використання низькопотенційного тепла стічних вод. У м. Висбаден (ФРГ) застосована теплонасосна теплоцентраль, що використовує низькопотенційне тепло міських стічних вод.

3.7 Специфічні властивості опалювальних систем на базі ТН

ТН і низькотемпературні системи опалювання укомплектовуються засобами автоматичного регулювання (фірма ФРН - "Viesman", США - "General Electric C°"). Для управління, регулювання і контролю роботи ТН розроблені мікрокомп'ютери. У мікрокомп'ютері ТХ - Resumat (ФРГ) команди вводяться за допомогою клавіатури. Є показники клавіатури встановлених і дійсних експлуатаційних величин. Можливо виконання чотирьох програм управління джерелом тепла (розчином вода-повітря), процесом відтавання випарника, спільною роботою з додатковим генератором тепла і без нього. Мікрокомп'ютер дозволяє здійснити більш ретельну настройку теплового насоса і встановити періоди (включення - виключення) його роботи. Це дає додаткову енергію в системі, обладнаній комп'ютером ТХ - Resumat, в розмірі 30% по відношенню до традиційної системи регулювання.

У систему регулювальної автоматики системи опалювання (що використовує тепло ґрунту) фінської фірми АСА входить зовнішній датчик, який корегує температуру теплоносія, що поступає в систему опалювання.

Наявність в автоматичі регулювання кварцових годинників дозволяє знизити кімнатну температуру на бажаний проміжок часу. При цьому ТН включається рідше, що позначається на скороченні витрати електроенергії.

3.8 Детандер - генераторні установки.

На території України розташована мережа магістральних газопроводів. Газ перекачується під тиском, створюваним компресорними станціями. До 7% перекачуваного газу витрачається приводними установками компресорів. На відведеннях від магістральних газопроводів до споживачів - до місцевих газорозподільних мереж - тиск газу знижується від 5...6 МПа до 0,3...0,6 МПа. Цей перепад тиску може використовуватися газотурбінними установками (детандерами), що дозволяють повернути частину енергії, витраченої на привід компресорів. При цьому використовується екологічно чисте джерело енергії - перепад тиску природного газу.

АТ «Кріокор» розробило детандер - генераторні установки (ДГУ) потужністю від 1 до 30 МВт, вартість 1 кВт встановленої потужності – близько \$400. Аби виключити обмерзання устаткування при розширенні природного газу в турбіні-детандері, його заздалегідь нагрівають приблизно на 60°. ДГУ можуть бути встановлені більш ніж на 600 газорозподільних станціях України, їх загальна потужність перевищить 2750 МВт. Економія палива склала б понад 150 тис. т у.п.

Нажаль, регіональні енергетичні комісії доки не виявляють цікавості до розвитку ДГУ. При зростаючих тарифах на електроенергію енергоємні підприємства можуть частково вирішити свої енергетичні проблеми з використанням таких установок.

Лекція 6

СИСТЕМИ АКУМУЛЯЦІЇ ЕНЕРГІЇ

1. Види і недоліки традиційних систем акумуляції енергії
2. Воднева енергетика
3. Паливні водневі елементи

1 Види і недоліки традиційних систем акумуляції енергії

При добовій і сезонній нерівномірності вироблення електроенергії значна економія традиційних енергоносіїв може бути досягнута шляхом акумуляції енергії, вироблюваної в періоди її мінімального вжитку. Особливо важливо мати системи, що запасують енергію про запас, при експлуатації установок з нерегулярним виробництвом протягом доби або триваліших періодів - вітрових, приливних, сонячних. Проблема не вирішується із застосуванням **електроакумуляторів** - вони дуже дорогі, громіздкі і мають малу ємкість. У розділі 1 розглядалися **гідроакуючі станції**, що дозволяють повернути в енергосистему в години піків до 70% енергії, запасеної в години мінімуму вжитку. Проте будівництво ГАЕС доцільне в місцевостях з гористим рельєфом, де поруч розташовані зручні ділянки для верхнього і нижнього водоймищ. Таких ділянок на рівнинній території України мало.

Теплова енергія може акумулюватися речовинами, які при нагріві міняють свій агрегатний стан, структуру або хімічний склад, споживаючи або виділяючи при цьому теплоту. Наприклад, кристалічний сульфат натрію, якщо до нього при температурі 32,3°C підводиться теплота, втрачає воду, що входить до складу кристалів: $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + 10\text{H}_2\text{O}$. Цей процес дегідратації супроводжується поглинанням великої кількості теплоти, яка може знову виділитися при зворотній реакції.

Частково проблема вжитку надлишкової електроенергії вирішується з **розвитком енергоємних виробництв** (наприклад, електрометалургійних), що працюють на повну потужність в години провалу навантаження енергосистеми.

2 Воднева енергетика

Водень H_2 є ідеальним паливом з високою теплотою згорання і нешкідливим продуктом горіння - водяною парою. В світі ведеться обширний об'єм досліджень в області «водневої енергетики» - здобуття і використання водню як енергоносію. Вжиток водню в світі в кінці XX століття складав близько 200 млрд. $\text{м}^3/\text{рік}$, з яких приблизно 100 млрд. йшло на виробництво аміаку і приблизно 80 млрд. - на інші потреби хімічної і нафтохімічної промисловості.

Водень є універсальним енергоносієм. Він може застосовуватися як паливо для двигунів внутрішнього згорання і газотурбінних установок, теплових електростанцій, в технологічних установках промисловості, в побуті. Висловлюються побоювання з приводу вибухонебезпечності «тримучого газу» - суміші водню з повітрям. Проте так само вибухонебезпечна і суміш природного газу з повітрям,

відомі одиничні випадки аварій при її вибухах, що не заважає широкому вживанню природного газу. У м. Базель (Швейцарія) по міській мережі десятиліттями безаварійно подається газ, що містить 80% водню.

Водень можна отримувати термохімічним способом - нагрівом водяної пари у присутності різних каталізаторів. Так, реакція $K_2O + H_2O \rightarrow 2KOH$ приводить до утворення лугу їдкого калію. Потім додають калій і підводять теплоту при температурі $700^\circ C$, у результаті отримують реакцію $2KOH + 2K \rightarrow K_2O + H_2$. Опрацьовуються проекти здобуття водню термохімічним гідролізом з використанням високотемпературних ядерних реакторів. Застосовуються також термохімічні способи здобуття водню з природного газу і нафти.

Найпоширеніший в даний час метод електролізу води заснований на реакції: електроенергія + $2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2$. Електроліз може здійснюватися в рідкій фазі при низькій температурі. Працюють установки низькотемпературного електролізу води потужністю до 3 МВт. Електролітичні ванни обладнані нікелевими електродами, у воду додаються солі калія. ККД процесу електролізу досягає 85%. Для широкого поширення виробництва водню електролізом необхідна дешева електроенергія, яку можна отримувати з ТЕС і АЕС в години провалу навантаження.

Вживання водневого палива в автомобільних двигунах внутрішнього згорання наводить до підвищення їх ККД і різкому поліпшенню екологічної чистоти повітря в містах. Газоподібний водень має низьку щільність, тому його транспортування в балонах привело б до збільшення маси і зниження дальності пробігу автомобілів. Питання вирішується із застосуванням гідридів металів, що зв'язують водень (наприклад, гідриду титана TiH_2), які при невеликій масі здатні зв'язувати дуже значні об'єми водню. «Цеглинка» з гідриду титану об'ємом 10 см^3 здатна зберігати в собі $1,68\text{ нм}^3$ водню. Водень витягується з гідридів при їх нагріві, наприклад, відпрацьованими в двигуні газами.

Водневе паливо застосовувалося в космічній техніці. Зокрема, на ньому працювали двигуни третього рівня ракети «Аполлон», на якій американські астронавти відвідували Луну. Цей ступінь масою 90,7 т ніс в своїх баках 242 м^3 рідкого водню.

Вельми перспективне вживання водню в металургії. Залізняк відновлюватиметься воднем із здобуттям губчастого заліза при температурі $800...1150^\circ C$. Сталь виплавлятиметься з губчастого заліза в дугових електропечах. Таким чином, будуть виключені сучасні енергоємні і екологічно брудні металургійні виробництва - коксохімічне, доменне, киснево-конвертерне. Таке виробництво освоюється в Японії. Його значення зростає у зв'язку з дефіцитом вугілля, що коксується. Так, Росія вимушена імпортувати для своїх домен вугілля, що коксується, з Карагандинського басейну (Казахстан). Водень може також служити сировиною у ряді хімічних технологій.

3 Паливні елементи

Водень є оптимальною сировиною для паливних елементів, в яких електричний струм генерується з хімічною енергією споживаних компонентів, минув-

ши теплову енергію. Пряме перетворення хімічної енергії в електричну відбувається в паливних елементах без втрат, пов'язаних з необхідністю віддавати частину підведеної теплоти в довкілля по другому закону термодинаміки, тому паливні елементи мають високий ККД. При їх роботі практично не забруднюється довкілля. За принципом дії робота паливного елемента протилежна до електролізу води.

Воднево-кисневий паливний елемент (рисунок 6.1) працює таким чином. Посудина заповнена електролітом – наприклад, розчином сірчаної кислоти слабкої концентрації. В елемент вбудовані каталітично активні платинові електроди, один з яких є анодом, інший катодом. Вони сполучені зовнішнім електричним ланцюгом.

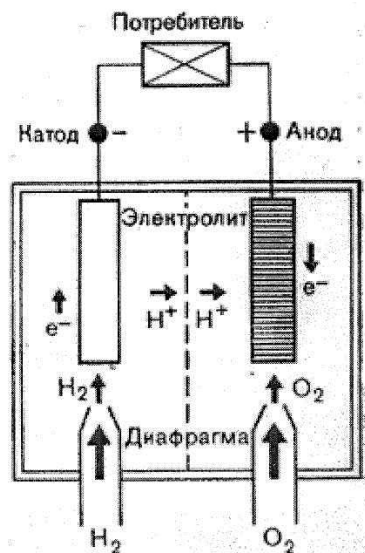


Рисунок 6.1 - Воднево-кисневий паливний елемент

Електроди розділені напівпроникною мембраною. До одного електроду подається водень, до іншого – в еквівалентних кількостях кисень. На катоді молекули водню H_2 завдяки каталітичній дії платини розпадаються на атоми, які переходять в іони H^+ . Електрони, що звільнилися, через зовнішній ланцюг спрямовуються до анода, створюючи в ланцюзі електричний струм. Позитивні водневі іони проходять через напівпроникну мембрану в іншу половину судини. На аноді електрони, що прийшли по електричному ланцюгу, атоми кисню і позитивні іони водню утворюють нейтральні молекули води H_2O , що поступають в розчин. Включене в електричний ланцюг навантаження споживає електроенергію, що виробляється паливним елементом.

В результаті реакції хімічна енергія пари реагентів водень-кисень перетворюється на електроенергію. Напруга в ланцюзі одного паливного елемента складає близько 1 В, тому елементи об'єднуються в батареї. ККД сучасних воднево-кисневих паливних елементів складає близько 80%.

Як вихідний енергоносіє для паливних елементів можуть використовуватися окрім водню інші горючі гази, дешевші і доступніші. Як електроліт можуть застосовуватися розчини солей, що дозволяє підвищити температуру і швидкість хімічного перетворення. Паливні елементи поки що дорогі, і тому застосовуються в основному там, де ціна не грає вирішальної ролі (наприклад, в космічній техніці). Крупні транснаціональні компанії ведуть роботи по вдосконаленню процесів

здобуття і використання водню і паливних елементів. Хоча водень і не відноситься до первинних енергоносіїв, його використання дає можливість істотно підвищити якість енергоспоживання і енерготехнологій.

Лекція 7 ЕНЕРГІЯ ОКЕАНУ

1. Приливні електростанції
2. Енергія хвиль
3. Енергія теплоти океану

Світовий океан є природним акумулятором величезної кількості сонячної енергії, що поступає на Землю. У таблиці [1] представлені основні форми енергії, які можуть бути доступні людині на сучасному рівні технічного розвитку і в найближчому майбутньому.

Таблиця 7.1 – Характеристика видів енергії океану

Назва	Джерело	Оцінка потенційних ресурсів	Оцінка собівартості виробництва енергії
Енергія хвиль	хвилі в океані, прибережні хвилі	8 — 80 тис. ТВт/рік	90-137 дол./МВт
Енергія приливів	приливи моря і океану	200 ТВт/рік	н/д
Енергія течій	сильні морські течії	0,8- 5 ТВт / рік	56-168 дол./МВт
Енергія температурного градієнта морської води	різниця температури води у поверхні і на глибині океану	10 тис. МВт / рік	н/д

1 Приливні електростанції

Тяжіння Місяця і Сонця породжують в Світовому океані приливну хвилю. Висота цієї хвилі максимальна, коли Земля, Місяць і Сонце знаходяться на одній лінії, і мінімальна, коли напрями на Місяць і Сонце складають прямий кут. Унаслідок добового обертання Землі хвиля накопчується на береги материків. Амплітуда приливно-відливних коливань рівня біля берега залежить від рельєфу дна і від форми берегової межі. Максимальна висота приливно-відливних коливань в затоці Фанді на атлантичному побережжі Канади складає 19,6 м. У Мезенській затоці Білого моря ця висота рівна 10 м, в Пенжінській губі Охотського моря 13 м. Швидкості приливно-відливних течій досягають 4 м/с, щільність енергії при цьому складає до **4 кВт/м**.

Підняту на максимальну висоту під час приливу воду можна відокремити від моря греблею або греблею в басейні площею A . Якщо потім під час відливу пропустити цю масу води через турбіни, то можна отримати середню потужність $\bar{P} = \rho A R^2 g / 2$. Для прикладу при значеннях $A = 10 \text{ км}^2$, $R = 4 \text{ м}$, $\tau = 12$ годин 25 хв. усереднена величина потужності $\bar{P} = 17 \text{ МВт}$. Вочевидь, що місця з великими висотами приливів володіють і великими потенціалами приливної енергії. Проте не лише цей чинник важливий для розвитку приливної енергетики: треба, наприклад, брати до уваги і капітальні витрати, і майбутній прибуток від створення відповідних приливних електростанцій (ПЕС). Високі капіталовкладення, витрачені на будівництво ПЕС, мабуть, можуть бути виправдані, якщо буде отримана елект-

роенергія, а так само побудовані дороги уздовж гребель, крім того, якщо сама ПЕС буде побудована в естуарії річки і басейн її буде використаний для накопичення енергії, поліпшення умов судноплавства і так далі Отже, розвиток приливної енергетики сильно пов'язаний з конкретною специфікою районів майбутнього будівництва.

Енергія приливних течій може бути перетворена подібно до того, як це робиться з енергією вітру. Потужність, що знімається з 1 м^2 площі поперечного перерізу приливної потоку при максимальній швидкості u_0 , рівна приблизно $\bar{q} \approx 0,1 \rho u_0^3$. Для $u_0 = 3 \text{ м/с}$ $\bar{q} \approx 14 \text{ кВт/м}^2$.

Перетворення енергії приливів використовувалося для приведення в дію порівняно малопотужних пристроїв ще в середньовічній Англії і в Китаї. З сучасних ПЕС найбільш відомі великомасштабна електростанція Ранс потужністю 240 МВт, розташована в естуарії річки Ла Ранс, що впадає в затоку Сен Мало (Бретань, Франція), і невелика, але принципово важлива дослідна станція потужністю 400 кВт в Кислій губі на побережжі Баренцева моря (СРСР). З місць, які давно приковують увагу гідробудівельників, слід назвати естуарій річки Северн у Великобританії і залив Фанді на східному побережжі Північної Америки на кордоні між США і Канадою.

У затоки і гирла річок морська вода затікає при приливі і витікає при відливі. Якщо перегородити створ протоки або гирла річки греблею, за нею утворюється басейн, в якому рівень води при приливі нижчий, а при відливі вище, ніж в морі. Ця різниця рівнів використовується турбінами приливних електростанцій (ПЕС). При вирівнюванні рівнів ПЕС припиняє роботу. Потенційна (теоретична) потужність ПЕС визначається формулою

$$P_{\Pi} = 225 A^2 F, \text{ кВт}, \quad (7.1)$$

де A - середньорічна висота приливів, м,

F - площа басейну за греблею, км^2 .

Енергія, що виробляється ПЕС за рік, складає

$$E = 1,97 A^2 F, \text{ млн. кВт. год.} \quad (7.2)$$

Технічний потенціал реально досягає 33% від теоретичного.

Сприятливими умовами для будівництва ПЕС є значні висоти приливу A , велика площа басейну F , мала довжина створу і відповідно малі витрати на будівництво греблі. ПЕС Ле-Ранс у Франції, розташований в гирлі р. Ранс, має потужність 240 МВт, річне вироблення енергії складає 600 млн. кВт·год Експериментальна Кислогубська ПЕС в Росії розташована на побережжі Кольського півострова, має один гідроагрегат потужністю 400 кВт. Проектується Лумбовська ПЕС на Кольському півострові потужністю 320 МВт з виробленням 800 млн. кВт·год/рік. У віддаленій перспективі розглядається можливість будівництва Мезенської ПЕС потужністю 6000 МВт. За проектом довжина греблі цієї ПЕС складе 45 км, в ній будуть встановлені 2000 оборотних турбоагрегатів, річне вироблення електроенергії повинне скласти 36 млрд. кВт·год. У Англії розроблений проект приливної станції Северн потужністю 7000 МВт, на якій горизонтальні турбіни мають діаметр ротора 15 м. У Франції проектується станцію Шозе на 12000 МВт.

Перспективні райони будівництва приливних електростанцій

Вся потужність океанських приливів на нашій планеті оцінюється в 3000 ГВт. З них приблизно 1000 ГВт розсіюється в мілководних прибережних районах, де принципово можливе зведення інженерних споруд.

Характеристика енергії приливів

33-літній досвід експлуатації перших у світі ПЭС - Ранс у Франції і Кисло-губської в Росії - довели, **що приливні електростанції мають наступні переваги:**

- висока передбачуваність режиму роботи. Висота, хід і періодичність приливів в більшості прибережних районів добре описані і проаналізовані завдяки потребам навігації і океанографії. Поведінка приливів може бути передбачена досить точно, з погрешністю менше 4%. Таким чином, приливна енергія виявляється вельми надійною формою поновлюваної енергії;
- не забруднюють атмосферу шкідливими викидами на відміну від теплових станцій;
- не затоплюють земель на відміну від гідроелектростанцій;
- не представляють потенційної небезпеки на відміну від атомних станцій;
- вартість електроенергії найдешевша в енергосистемі (доведено за 35 років на ПЭС Ранс - Франція).

Недоліки

- 1) неспівпадіння основних періодів виникнення приливів (12 годин 25 хв. і 24 години 50 хв.), пов'язаних з рухом Луни, із звичним для людини періодом сонячної доби (24 години), у зв'язку з чим оптимум приливної генерації знаходиться не у фазі з потребами в енергії;
- 2) зміна висоти приливу і потужності приливної течії з періодом в два тижні, що приводить до коливань вироблення енергії;
- 3) необхідність створення потоків води з великою витратою при порівняно малому перепаді висот, що змушує використовувати велике число турбін, що працюють паралельно;
- 4) дуже високі капітальні витрати на спорудження більшості передбачуваних ПЭС.

Для оптимізації виробництва електроенергії турбіни ПЭС повинні використовуватися в декількох режимах, вибір яких залежить від необхідної в даний момент потужності, потреб і можливостей інших виробників електроенергії. Існує багато варіантів режимів, але використовуються головним чином наступні.

1. Якщо ПЭС побудована для забезпечення місцевих потреб в енергії, то необхідні страхувальні енергоустановки, що підключаються в період згасання приливів.
2. Якщо ПЭС включена в крупну енергомережу і є порівняно невеликим джерелом в масштабах мережі, то заздалегідь визначені варіації приливної енергії можуть бути пристосовані до потреб енергомережі.
3. Якщо вимоги в приливній енергії не пов'язані жорстко з сонячним періодом, то приливну енергію можна використовувати в природному режимі. Напри-

клад, якщо електроенергія, що виробляється, ПЕС йде на потреби транспорту — зарядку акумуляторів або виробництво водню, то вона виявляється розв'язаною від інших джерел електроенергії.

Остаточний критерій комерційного успіху ПЕС — витрати на 1 кВт·год електроенергії, що виробляється нею. Вони можуть бути понижені:

- 1) якщо станція вирішуватиме декілька комплексних завдань;
- 2) якщо відсотки на капітал, вкладений у фінансування будівництва при високих капітальних витратах, не високі;
- 3) якщо електроенергія, що виробляється, використовується для зниження вжитку дорогого дизельного палива.

При поєднанні таких економічних показників найкращими виявляються великомасштабні ПЕС (потужністю порядку 1000 МВт), Але і менш крупні станції, призначені для постачання віддалених районів, також можуть виявитися економічно вигідними.

Особливості використання. На практиці в системі, що використовує спрацьовування запасу води із заповнюваного в прилив басейну, не дивлячись на досить високу ефективність перетворення, отримати максимальну потенційну потужність не можна. Цьому перешкоджають наступні обставини.

1) Генерування електроенергії не може бути забезпечене аж до умов малої води, таким чином, частина потенційної енергії приливу не може бути перетворена.

2) Турбіни ПЕС повинні працювати при низькому тиску і при великих швидкостях потоків — умови незвичайні для наявної звичайної гідроенергетичної практики. Турбіни виявляються менш ефективними при зниженні тиску. Найбільший досвід у виробництві подібних турбін має Франція, де вперше були застосовані високошвидкісні капсульні агрегати для рівнинних ГЕС на ПЕС Ранс.

3) Необхідно більш-менш рівномірно забезпечувати споживачів електроенергією, а в разі ПЕС це неможливо із-за зміни рівня води в басейнах.

Ефективність ПЕС можна збільшити, якщо всі її агрегати при повній воді використовувати в насосному режимі для піднімання рівня в басейні. Припустимо, ми маємо систему, в якій висота приливу 5 м. Підйом рівня навіть на 1 м по відношенню до вищої точки приливу дозволяє забезпечити генерацію при малій воді з перепадом вже 6 м. Навіть якщо насосний режим і режим генерації мають ефективність 50%, вигравш від вироблення електроенергії буде порядку 200%.

ПЕС принципово може працювати як при спустошенні басейну, так і при його наповненні. Оптимальна станція, що використовує гідроагрегати, що реверсують, які, крім того, можна ще використовувати і в насосному режимі для підвищення рівня в басейні, може переробляти до 90% потенційної енергії приливу.

Приливні електростанції, що використовують енергію підйому води

Недолік простих ПЕС з одним басейном (рисунок 2 а) - добова нерівномірність виробництва електроенергії. Станція працює таким чином. Затвори в греблі, що пропускають воду через гідротурбіну, залишаються закритими, поки різниця рівнів в морі і басейні не стане достатньою для роботи турбін. Коли досягається необхідний натиск, затвори відкриваються і починають працювати, пропускаючи

воду в басейн або в море. Таким чином, на такій ПЕС двічі на добу впродовж 3...4 годин виробляється електроенергія, і між цими періодами станція не працює, причому робочі періоди зміщуються в часі через неспівпадання тривалості місячної і сонячної доби.

ПЕС з двома басейнами (рисунок 7.2 б) виробляють енергію безперервно і з невеликими коливаннями протягом доби. На станції такого типу гідроагрегати встановлені в додатковій греблі, що розділяє басейн на два. У момент максимуму рівня в морі, коли верхній басейн заповнений повністю, закриваються водопропускні отвори в греблі 1. Вода через турбіни ПЕС спрацьовує в нижній басейн, також відключений від моря. Коли рівень в нижньому басейні вирівнюється з рівнем моря, що знижується при відливі, відкривають водопропускні отвори на греблі 2, і рівень в нижньому басейні слідує за рівнем моря. У цій фазі ПЕС працює на різниці рівнів верхнього басейну і моря. При мінімальному рівні відливу нижній басейн відключається від моря і продовжує заповнюватися з верхнього басейну через турбіни. Коли рівень верхнього басейну порівнюється з морським, таким, що підвищується при приливі, відкриваються водопропускні отвори в греблі 2, і ПЕС працює на воді з моря.

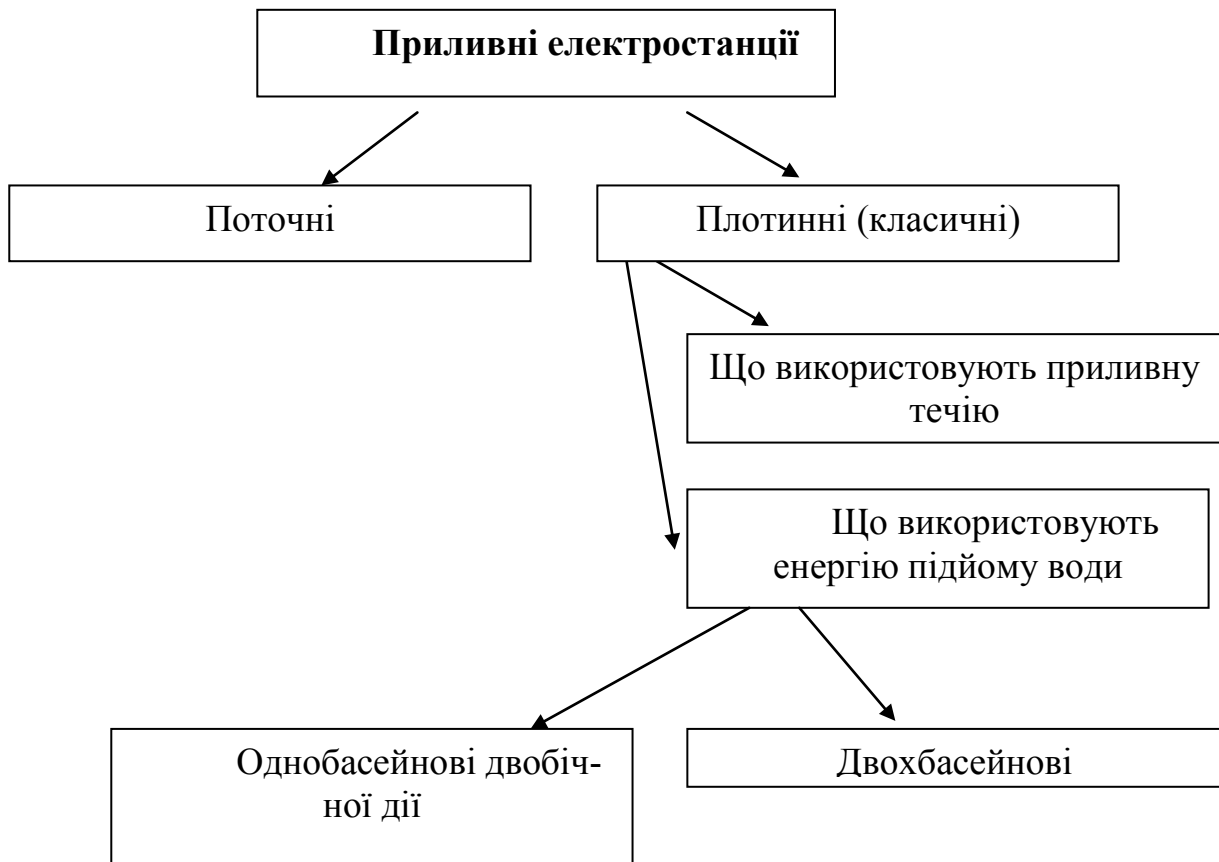


Рисунок 7.1 – Класифікація приливних електростанцій

Будівництво гідротехнічних споруджень ПЕС з двома басейнами обходиться набагато дорожче. Представляють інтерес проекти поєднання ПЕС з одним басейном і ГАЕС, коли нічне вироблення приливної електростанції йде на заряд ГАЕС.

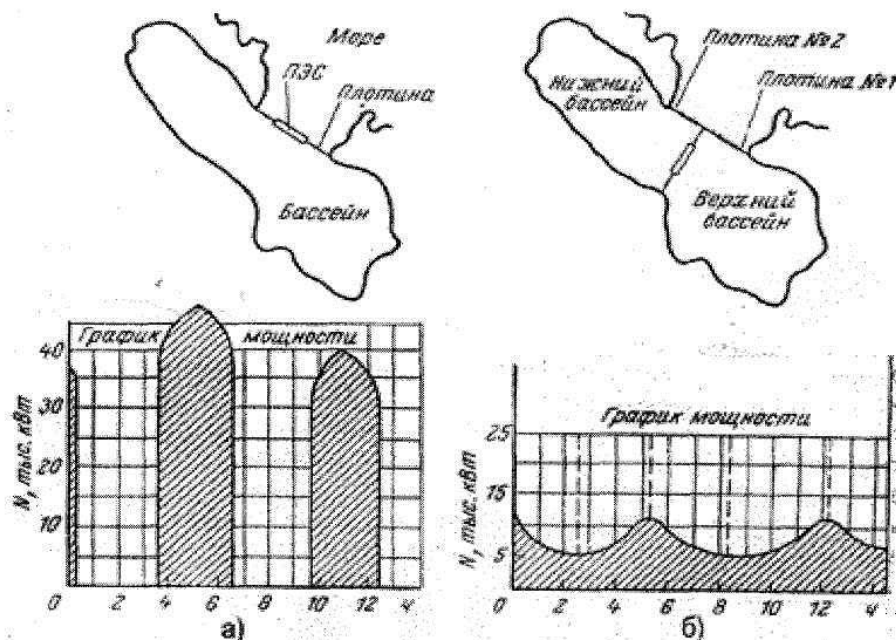


Рисунок 7.2 – Приливні електростанції, що використовують приливний підйом води:

а - з одним басейном; б - з двома басейнами

Недолік

Надвисокі капітальні витрати на спорудження плотини. Капітальні вкладення на спорудження ПЭС перевищують витрат на ГЭС в 2,5 рази.

Приливні електростанції, що використовують приливну течію

Для пристрою, який може працювати на прямій і зворотній течіях при максимальній швидкості 3 м/с $\bar{q} \sim 2,8$ кВт/м². При максимальній швидкості близько 5 м/с, що зустрічається в протоках між островами, $\bar{q} \sim 14$ кВт/м². Перекривши площу 1000 м², можна отримати повну середню потужність електростанції близько 14 МВт.

Періодична природа генерації електроенергії, звичайно, створювала б певну скруту для споживачів, але вище наголошувалося, що потужність, що розвивається приливною течією, відстає по фазі приблизно на $\pi/2$ від потужності, що створюється в басейні, що заповнюється, отже, перетворювачі двох типів можуть бути об'єднані.

Вже розроблений цілий ряд сучасних пристроїв для перетворення енергії приливних течій, один з яких показаний на рисунку 7.3.

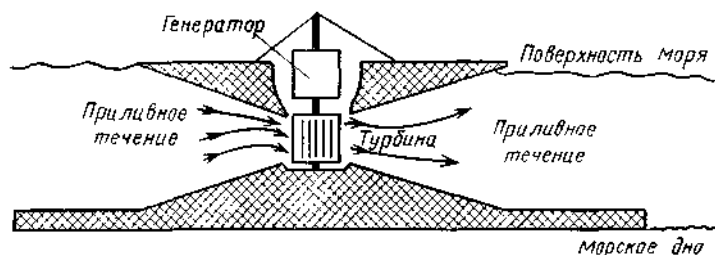


Рисунок 7.3 – Схема електростанції на приливній течії

Капітальні витрати на створення подібних пристроїв з розрахунку на 1 кВт встановленої потужності досить високі. Якщо все ж до їх будівництва справа дійде, то швидше за все вони з'являться у віддалених районах з незвичайно високими швидкостями приливних течій, де будь-які альтернативні джерела енергії ще більш дорогі.

Поточні (найбільш перспективні)

У Північній Ірландії до Національних енергомереж підключена перша у світі комерційна приливна електростанція SeaGen потужністю 1,2 мегавата, побудована компанією Marine Current Technologies.



Рисунок 7.4 – Схема поточних електростанцій

Установка складається з двох підводних турбін, що витягають електрику з потужних приливно-відливних течій затоки Стренгфорд Лоу. Інженери компанії говорять, що після того, як SeaGen заробить на повне навантаження, її потужність складе 1,2 МВт. Принцип роботи приливної електростанції схожий з роботою вітрогенератора, тільки замість вітру рушієм турбін є підводна течія. Особливість таких установок – **низькі витрати на будівництво** у порівнянні з будівництвом плотин. Це дуже важливо для інтеграції в місцеві мережі, що зазнають значних добових перепадів рівня енергоспоживання.

Ротори турбін SeaGen мають 16 метрів в діаметрі і оптимальну швидкість обертання 14 оборотів на хвилину. Лопаті роторів оснащені системою управління і можуть обертатися, міняючи кут атаки. Ротори, при необхідності, можна уповільнювати або зовсім зупиняти для обслуговування.

Ротори закріплені на горизонтальній балці, встановленій на чотирьохточкову опору. Опора може міняти висоту над морським дном, піднімаючи установку для ремонту і обслуговування. Компанія Marine Current Technologies не збирається зупинятися на досягнутому і планує спорудження 10,5-мегаваттної приливної електростанції на узбережжі Північного Уельсу в кооперації з однією з німецьких компаній. Розробка системи вже почалася, і впродовж трьох років проект буде здійснений.

Недолік – дозволяють отримувати менше енергії з 1 м² площі води.

2 Енергія хвиль

З точки зору енергетики морські хвилі є концентрованою формою вітрової енергії. Вітри, що дмуть над океаном, розводять хвилювання, сила якого залежить від швидкості вітру і довжини пробігу. До берегів Чукотки доходять хвилі, що зародилися біля берегів Антарктиди. У хвилях частки води здійснюють кругові рухи. Висота хвилі дорівнює діаметру кругової орбіти частки на поверхні. З глибиною діаметри орбіт швидко убувають. Накочувавшись на мілководді, хвиля зростає по висоті і зменшується по довжині (відстані між гребенями). Біля дна частки рухаються зворотно-поступально. Хвилі в морі мають різну довжину і швидкість, висоти окремих хвиль при накладенні підсумовуються.

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

Механічна енергія хвилі пропорційна довжині і квадрату висоти. Енергія хвилі шестиметрової висоти перевищує 100 кВт на 1 погонний метр фронту хвилі. Середня для океанських хвиль енергія оцінюється в 50 кВт/м. Фахівці підраховали, що з врахуванням неминучих втрат використання хвильової енергії біля берегів Англії дало б 120 ГВт - це більше, ніж сумарна потужність електростанцій країни. Сумарна хвильова потужність Світового океану оцінюється в 2700 ГВт. У Росії можливе освоєння енергії морських хвиль на побережжі тихоокеанських морів і Баренцева моря.

Можливість перетворення енергії хвиль в електроенергію доведена вже давно. Існує безліч технічних рішень, що дозволяють реалізувати цю можливість. Останніми роками інтерес до хвильової енергетики різко посилюється, особливо в Японії, Великобританії, країнах Скандинавії, внаслідок чого експерименти переросли в стадію реалізації проектів. Сучасна тенденція розробки таких установок, як і взагалі установок на поновлюваних видах енергії, орієнтується на одиничні модулі помірної потужності (близько 1 МВт) розміром порядку 50 м уздовж фронту хвилі. Подібні пристрої вже зараз можуть принести певні економічні вигоди в разі заміни дизельних генераторів, що забезпечують енергією віддалені селища, особливо на островах.

Переваги та недоліки хвильової енергетики

Унаслідок **непостійності морського хвилювання** необхідно передбачати системи акумуляції енергії (ГАЕС і тому подібне)

Розвиток хвильової енергетики зв'язаний із **значними труднощами**, в основному вони зводяться до наступного.

1. Хвилі нерегулярні по амплітуді, фазі і напрямку руху. Проектувати ж пристрої для ефективного витягання енергії в широкому діапазоні величин, що варіюються, не просто.

2. Завжди є вірогідність виникнення екстремальних штормів і ураганів, під час яких утворюються хвилі дуже великої інтенсивності. Конструкції хвильоенергетичних пристроїв повинні, зрозуміло, їм протистояти. Приблизно раз в 50 років

виникають хвилі, амплітуда яких в 10 разів перевищує середню. Отже, під час штормів конструкції повинні витримувати навантаження, приблизно в 100 разів більші, ніж при нормальній роботі.

3. Подібні пікові величини потужності властиві головним чином саме хвилям на глибокій воді, що проходять з боку відкритого моря. Труднощі, пов'язані із створенням енергетичних пристроїв для таких хвильових режимів, їх обслуговуванням, утриманням в заданому положенні, передачею енергії на берег, викликають побоювання.

4. Зазвичай період хвиль $T \approx 5 \div 10$ с (частота порядку 0,1 Гц). Досить важко пристосувати цей нерегулярний повільний рух до генерування електроенергії промислової частоти, яка в 500 разів вище.

5. Вибрати відповідний тип пристрою для перетворення енергії зі всього їх різноманіття — складне, часто просто непосильне завдання.

6. Звичка мислити категоріями великомасштабної енергетики промислово розвинених районів веде до спокуси створювати лише крупні хвильові електростанції в місцях з високими хвильовими потенціалами. При цьому існує тенденція ігнорувати зони помірних потенціалів, де частенько використання хвильової енергії виявляється економічно більш виправданим.

Переваги хвильової енергії полягають в тому, що вона досить сильно сконцентрована, доступна для перетворення і на будь-який момент часу може прогнозуватися залежно від погодних умов. Створюючись під дією вітру, хвилі добре зберігають свій енергетичний потенціал, поширюючись на значні відстані. Наприклад, крупні хвилі, що досягають побережжя Європи, зароджуються під час штормів в центрі Атлантики і навіть в Карібському морі. **Важливою перевагою** хвильової енергетики є можливість вживання модульного принципу - послідовне спорудження блоків обмеженої потужності, без великих початкових витрат на капітальне будівництво, властивих приливним електростанціям.

Пристрої для перетворення енергії хвиль

В результаті хвильового руху рідини в хвилі одночасно із зміною положення рівня і нахилу поверхні відбувається зміна кінетичної і потенційної енергії, зміна тиску під хвилею. На основі використання однієї характерної ознаки хвильового руху або їх комбінації вже створено велике число різних пристроїв, що поглинають і перетворюють хвильову енергію. Сюди ж входять і пристрої, що уловлюють воду з гребенів хвиль і повертають її на середній рівень або до підніжжя хвиль після перетворення потенційної енергії. Крім того, можна використовувати найрізноманітніші споруди для збільшення інтенсивності хвильового руху в місцях розміщення перетворювачів за рахунок дифракційних і канальних ефектів.

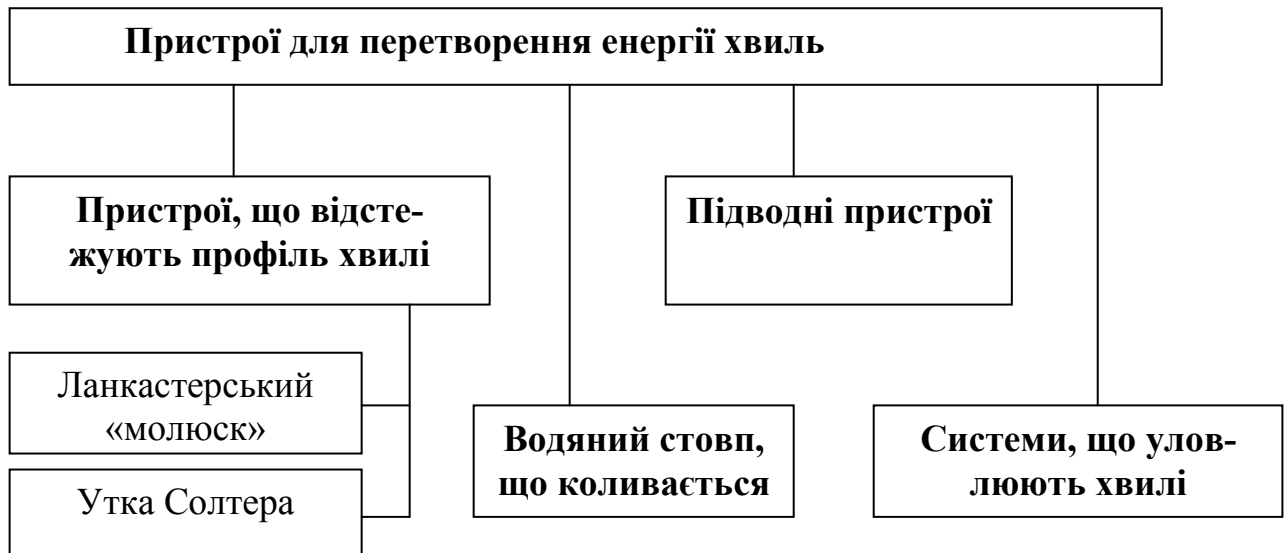


Рисунок 7.5 – Класифікація пристроїв для перетворення енергії хвиль

Пристрої, що відстежують профіль хвилі. Стефан Солтер з Единбурзького університету розробив пристрій, який назвав «качкою». Форма її забезпечувала максимальне витягання потужності (рисунок 7.6).

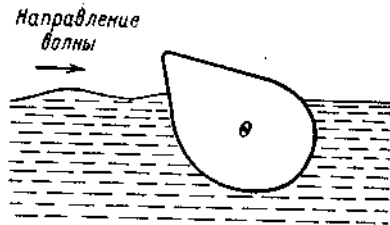


Рисунок 7.6 – Качка Солтера

Хвилі, що поступають зліва, змушують качку качатися. Циліндрова форма протилежної поверхні забезпечує відсутність поширення хвилі направо при коливаннях качки довкола осі O . Потужність може бути знята з осі коливальної системи з таким розрахунком, аби забезпечити мінімум віддзеркалення енергії. Відображаючи і пропускаючи лише незначну частину енергії хвиль (приблизно 5%), цей пристрій володіє вельми високою ефективністю перетворення в широкому діапазоні частот збуджуючих коливань.

Подальші розробки Солтера направлені на те, аби забезпечити качці здатність протистояти ударам максимальних хвиль і створити гірлянду перетворювачів, що заякоряє, у вигляді досить гнучкої лінії. Передбачається, що характерний розмір реальної качки дорівнюватиме приблизно $0,1 \lambda$, що для 100-метрових атлантичних хвиль відповідає 10 м. Нитка з качок протяжністю декілька кілометрів передбачається встановити в районі з найбільш інтенсивним хвилюванням на захід від Гебрідських островів, потужність всієї станції буде приблизно 100 МВт. Проектуються і індивідуальні качки, що встановлюються в плотах, що заякоряють, і призначаються для роботи на менших глибинах (приблизно 20 м).

Будь-які хвильові перетворювачі мають якісь недоліки, але для уток найбільш серйозними виявляються наступні:

1) необхідність передачі повільного коливального руху на привід генератора (Солтер працює над вживанням в якості генераторів вбудованих гіроскопів, які повинні видавати в мережу потужність, пропорційну повільному обертанню корпусів качок на хвилюванні);

2) необхідність зняття потужності з плаваючого на значній глибині пристрою великої протяжності.

Інший характерний тип пристрою даного класу — **ланкастерський «молоск»**, що використовує той же «геометричний» принцип Солтера. Тут дзьобоподібний поплавець сполучений з декількома податливими повітряними оболонками, заповненими повітрям, що стискується під дією хвиль. Стисле повітря переганяється з однієї оболонки в іншу по мірі того, як хвиля повертає «дзьоб». Осцилюючий повітряний потік приводить в дію турбіну Уелса, що відрізняється тим, що напрям її обертання не залежить від напрямку потоку повітря. Турбіна пов'язана з електрогенератором.

Водяний стовп, що коливається. При набіганні хвилі на частково занурену порожнину, відкриту під водою, стовп рідини в порожнині коливається, викликаючи зміни тиску в газі над рідиною. Порожнина може бути пов'язана з атмосферою через турбіну. Потік може регулюватися так, щоб проходити через турбіну в одному напрямі, або може бути використана турбіна Уелса. Вже відомо принаймні два приклади комерційного використання пристроїв на цьому принципі — сигнальні буї, упроваджені в Японії Масудой і у Великобританії співробітниками Королівського університету Белфаста.

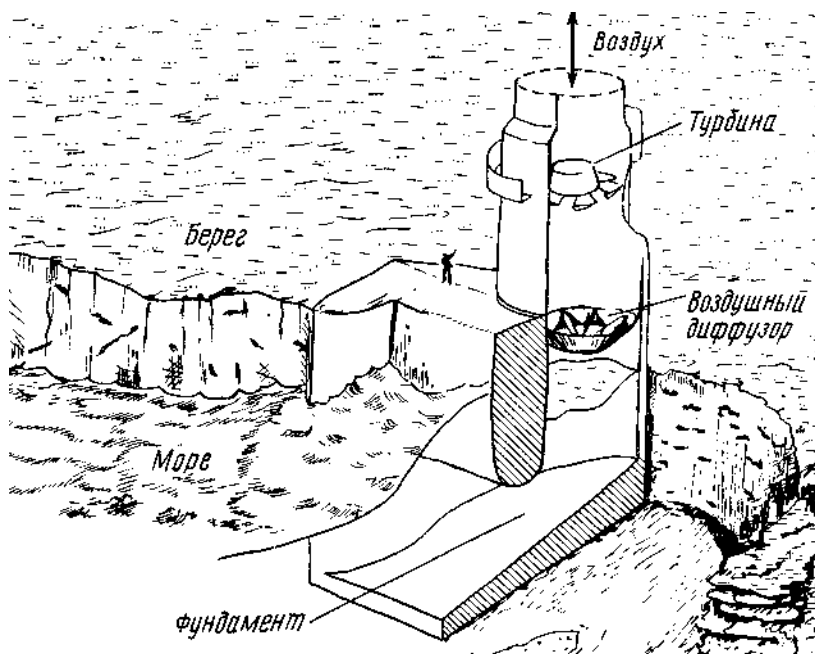


Рисунок 7.7 – Ширококутова хвильова енергетична установка на принципі водного стовпа, що коливається (побудована поблизу Тофтестоллена, Норвегія)

Крупніший і вперше включений в енергомережу пристрій побудований в Тофтестоллене (Норвегія) фірмою Kvaerner Brug A/S (рисунок 7.7). Основний принцип дії стовпа, що коливається, показаний на рисунку 7.8. У Тофтестоллене

він використовується в 500-кіловатній установці, побудованій на краю прямовисної скелі. Крім того, національна електрична лабораторія (NEL) Великобританії пропонує конструкцію, що встановлюється безпосередньо на морському дні.

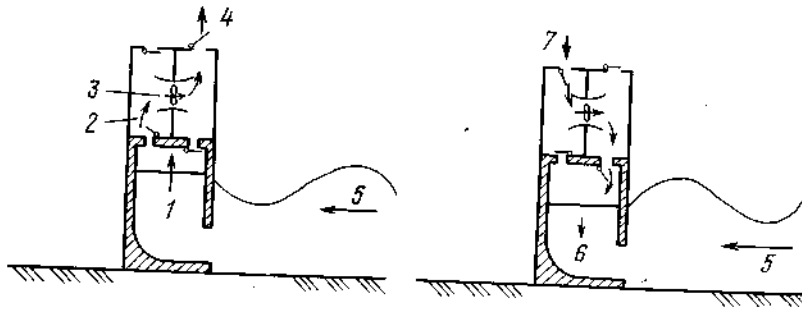


Рисунок 7.8 – Схема установки, в якій використовується принцип водного стовпа, що коливається (розроблена Національною інженерною лабораторією NEL, Великобританія, розміщується безпосередньо на ґрунті, турбіна наводиться в дію потоком одного напрямку):

1 — хвиловий підйом рівня; 2 — повітряний потік; 3 — турбіна; 4 — випуск повітря; 5 — напрям хвилі; 6 — опускання рівня; 7 — впускання повітря.

Головна перевага пристроїв на принципі водяного стовпа, що коливається, полягає в тому, що **швидкість повітря перед турбіною може бути значно збільшена** за рахунок зменшення прохідного перерізу каналу. Це дозволяє поєднувати повільний хвиловий рух з високочастотним обертанням турбіни. Крім того, тут створюється можливість **видалити генеруючий пристрій із зони безпосередньої дії соленої морської води**.

Підводні пристрої. Переваги підводних пристроїв полягають в тому, що ці пристрої дозволяють уникнути штормової дії на перетворювачі. Проте при їх використанні збільшуються труднощі, пов'язані з витяганням енергії і обслуговуванням. Для прикладу можна запропонувати так званий «бристольський циліндр», що є наповненим повітрям плавучим корпусом, закріпленим під водою на опорах, встановлених на ґрунті. Циліндр знаходиться під впливом підповерхневого руху вод і зміни гідростатичного тиску. Вмонтовані в опори гідравлічні насоси перетворюють енергію руху циліндра. Перекачувана ними рідина може подаватися на генераторну станцію, єдину для декількох циліндрів, по трубопроводах.

Ряд проектів, що активно розробляються в Англії, передбачає установку на якорі двох або трьох понтонів, що мають шарнірне зчленування. Проходя хвиля викликає вигини в шарнірах, які використовуються в поршневій гідравлічній системі, що запасає енергію в стислій до високого тиску рідині. Ця енергія потім використовується в гідродвигуні і електрогенераторі. Основні труднощі при впровадженні подібних систем пов'язані з низькою надійністю якірних постановок і шарнірних з'єднань при штормах і переміщеннях льоду.

Ще один тип хвилових енергетичних установок, реалізований при невеликих потужностях в Японії, працює таким чином. **Буй**, що заякоряє, має порожнину, відкриту знизу. При коливаннях на хвилі рівень води в порожнині міняється. У надводній верхній частині буя є отвір, через який повітря виходить з порожни-

ни при її заповненні водою, коли проходить гребінь хвилі. Коли проходить підошва хвилі, повітря, навпаки, входить в порожнину через опускання рівня води. Перебіг повітря через отвір наводить в рух повітряну турбіну, сполучену з електрогенератором. У автономних електричних буйх енергія, що виробляється, використовується для зарядки акумуляторів, що живлять 60-ватну електролампку. Реалізується подібний проект, в якому «поплавцем» є судно водотоннажністю 500 т, проектна потужність хвильової енергоустановки складає 2,2 МВт. Подібна установка може використовуватися також для акумуляції енергії, виробляючи стисле повітря, яке по трубах прямує в берегові баки.

Як хвильовий генератор може використовуватися буй, що заякорюється, до якого на тросі підвішений оборотний капсульний гідроагрегат з вертикальною віссю на глибину, де хвильові коливання невеликі. Турбіна агрегату обертається при русі вгору і вниз, коли проходять гребінь і підошва хвилі. Обмеження знову пов'язані з низькою надійністю якірної постановки і передачі електроенергії по кабель-тросу при штормах. Можлива також установка на мілководді гідроагрегатів з горизонтальною віссю в придонному шарі.

Системи, що уловлюють хвилі. Схеми подібних пристроїв використовують явище, часто спостережуване в природних лагунах. Хвиля розбивається на укосі греблі (варіант природного рифа), і вода закидається на висоту, що перевищує середній рівень моря, заповнюючи басейн.

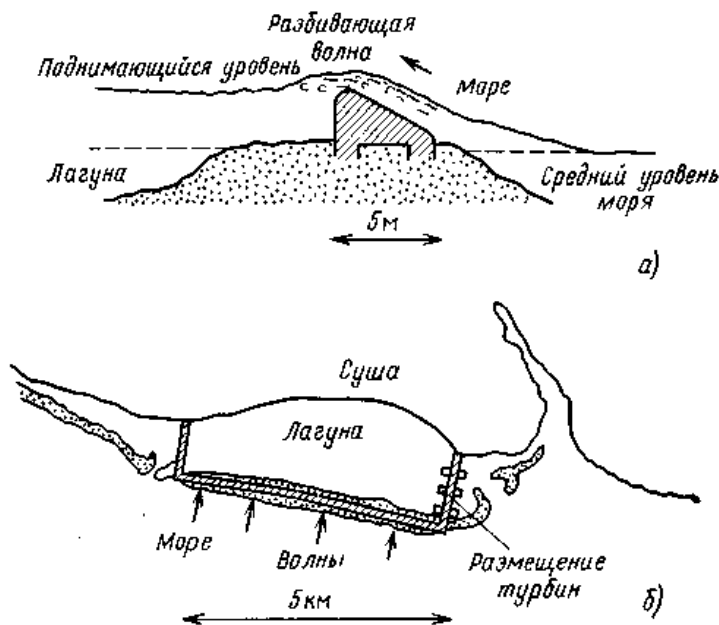


Рисунок 7.9 – Енергетична установка, що уловлює хвилі, в природній лагуні.

Схема заповнення басейну (а), розміщення споруд (б);

Вода може бути повернена назад в море через низьконапірну турбіну. **Схожий з одnobасейновою ПЕС.** Біля берега греблями вигороджується басейн з пологою греблею-хвильеломом. Океанська хвиля закидає через цю греблю свої гребені. Рівень в басейні підтримується на 2...3 м вище, ніж в морі. Різниця рівнів збільшується, коли підходить підошва чергової хвилі. Низьконапірні гідроагрегати спрацьовують цей натиск. Реалізація такого проекту вимагає **великих витрат**

на зведення гребель.

На рисунку 7.9 приведена схема, що детально опрацьовується для умов острова Маврикій і призначена для забезпечення генерування 20 МВт електричної потужності. При питомій величині потужності хвиль 22 кВт/м ефективність такого пристрою буде не нижча 30% (мається на увазі перетворення кінетичної енергії хвиль в потенційну енергію рідини в басейні). Необхідна довжина морської греблі рівна приблизно 5 км. Перша в світі комерційна станція на цьому принципі побудована в Норвегії в районі з природним фокусуванням хвиль.

3 Енергія теплоти океану

Світовий океан — найбільший природний колектор сонячного випромінювання. У ньому між теплими, поглинаючими сонячне випромінювання поверхневими водами і холоднішими придонними досягається різниця температур в 20°C . Це забезпечує безперервно поповнюваний запас теплової енергії, яка принципово може бути перетворена на інші види. Сам термін перетворення теплової енергії океану ОТЕС— ocean thermal energy conversion— означає перетворення деякої частини цієї теплової енергії в роботу і далі в електроенергію.

Класифікація: Закритого типу, відкритого типу, комбіновані.

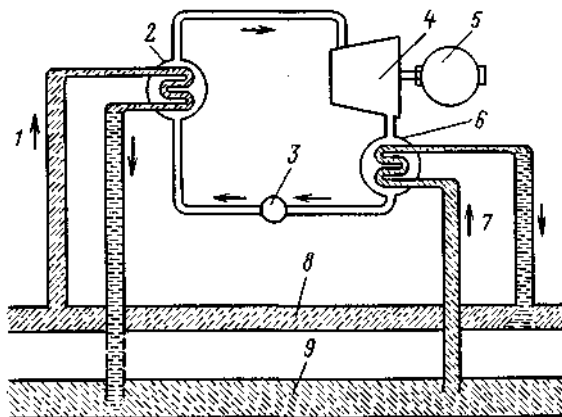


Рисунок 7.10 — Схема перетворення теплової енергії океану. Теплова машина використовує перепад температур між поверхневими і глибинними водами океану:

1 — подача теплої води; 2 — випарник; 3 — насос подачі робочого тіла; 4 — турбіна; 5 — генератор; 6 — конденсатор; 7 — подача холодної води; 8 — поверхня океану; 9 — океанські глибини

На рисунку 7.10 приведена схема однієї з установок, що дозволяють здійснити процес такого перетворення. По суті — це теплова машина, що наводиться в дію різницею температур між «холодною» T_c -водою, піднятою з відповідної глибини, і «гарячою» водою з температурою $T_h = T_c + \Delta T$, забраною з поверхні. Робоча рідина (робоче тіло), циркулюючи за замкнутою схемою, відбирає тепло від гарячої води в теплообміннику випарника, в паровій фазі наводить в дію турбіну, пов'язану з генератором, а потім конденсується в охолоджуваному холодною водою конденсаторі. На цьому цикл завершується.

Нижче в деталях обговорюються лише системи, що працюють по замкнутому циклу. Можна уявити собі і інші системи, що наприклад використовують як робоче тіло саму морську воду і що працюють по відкритому циклу. Проте викладені тут і в надалі фізичні і географічні відомості можуть бути застосовані до будь-яких систем ОТЕС.

Почнемо з визначення P_0 — потужності, що віддається теплою водою в ідеальній системі. Допустимо, що потік теплої води з об'ємною витратою Q поступає в систему при температурі T_h і покидає її при температурі T_c (температура холодних глибинних вод). При визначенні P_0 ми, вочевидь, робимо припущення про ідеальний теплообмінник. У такій системі, що ідеалізується, при $\Delta T = T_h - T_c$

$$P_0 = \rho c Q \Delta T. \quad (7.1)$$

На основі другого початку термодинаміки максимальна механічна потужність, яку можна отримати від перетворення теплового потоку,

$$P_1 = \eta_k P_0, \quad (7.2)$$

де

$$\eta_k = \Delta T / T_h \quad (7.3)$$

є ККД ідеальної теплової машини Карно, що працює при перепаді температур між T_h і $T_c = T_h - \Delta T$. Безумовно, вихід в разі реальної системи буде істотно нижчий, ніж P_1 . Реальні теплові машини працюють не по циклу Карно, швидше, їх цикл ближче до ідеального циклу парової турбіни Ренкіна. Проте ці вирази дозволяють проілюструвати можливості і обмеження ОТЕС. Згідно (1) — (3) ідеальна механічна вихідна потужність перетворювача теплової енергії рівна

$$P_1 = (Q c \rho / T_h) (\Delta T)^2. \quad (7.4)$$

Таким чином, для здобуття значних потужностей **потрібні істотні потоки води навіть** для випадку максимально можливого в океані перепаду температур. Це у свою чергу вимагає вживання громіздких і відповідно дорогих технічних засобів.

Зважаючи на те, що P_1 залежить від квадрата ΔT досвід підказує економічну привабливість ідеї ОТЕС лише в районах, де $\Delta T \geq 15^\circ \text{C}$. Такі райони лежать в тропіках. Активно ведуться дослідження з проблеми ОТЕС на острові Гавайї (20° північної широти, 160° західної довготи), на острові Науру (0° північної широти, 166° східної довготи), в течії Гольфстрім поблизу півострова Флорида. У тропічних районах T_h і T_c мало змінюються від сезону до сезону, що повинне забезпечувати стабільне виробництво енергії протягом всього року.

Безумовно, стабільність і незалежність від капризів погоди — головні **переваги** ОТЕС як поновлюваного джерела енергії. Нижче перераховані інші важливі переваги ОТЕС.

1) У відповідних для розміщення перетворювачів районах обмеження на значення перетворюваних ресурсів накладають лише розміри установок.

2) Створення економічно виправданих установок вимагає лише деякого доопрацювання таких широко апробованих пристроїв, як теплообмінники і турбіни. Жодних абсолютно нових або технічно неможливих пристроїв не потрібно.

Головні **недоліки** — вартість і масштаби установок. Якби удалось досягти фактичної потужності P_1 , то вартість стала б мінімальною, але принципові обмеження накладають необхідність враховувати в'язкість рідин і недосконалість теплообмінників. Приведені питомі витрати на створення однієї не так давно запущеної експериментальної океанської термальної електростанції (ОТЕС, не плутати з латинською ОТЕС) склали 40 000 долл/кВт встановленої потужності. Проте аналіз, показує, що великомасштабні серійні ОТЕС будуть значно економічнішими, що робить саму концепцію ОТЕС гідною уваги. Відповідні роботи активно ведуться в США, Франції і Японії.

Один з чинників збільшення вартості систем ОТЕС — **дорожнеча їх обслуговування у відкритому морі** і передачі енергії на берег. Проте існують прибережні райони, де дно різко падає і устаткування ОТЕС може бути розміщене на суші. Одне з таких місць — острів Науру в південній частині Тихого океану.

Науці відомі три типи установок: з відкритим циклом, із закритим циклом і гібридним. Основна з них, установка з відкритим циклом, розроблялася більше ста років тому. Усі три існуючі типи передбачають підйом холодної води до поверхні океану. Але оскільки для роботи в умовах океану інтерес можуть представляти тільки великі теплові гідроелектростанції потужністю від 1000 МВт, та кількість води, необхідної для роботи таких станцій, повинна вимірюватися десятками і сотнями мільйонів тон в годині. Така кількість води при підйомі на поверхню вимагає багато енергії і при цьому здатна виділити в атмосферу велику кількість розчинених на глибині шкідливих газів.

Резюмуючи, можна виділити головні недоліки існуючих установок:

1. Великі енергетичні втрати на транспортування сировини з глибини, що дозволяють установкам працювати при різниці температур не нижче 20°C.
2. Складність подачі сировини, що обмежує обсяги виробництва.
3. Необхідність мати стартові енергетичні потужності.
4. Проблеми, пов'язані з виділенням вуглекислого газу, розчиненого в глибинних шарах океану.

Саме через ці недоліки проведені експериментальні роботи по освоєнню теплової енергії океану привели лише до дуже скромних результатів на малопотужних установках, працюючих з позитивним виходом енергії при температурному градієнті не нижче 20°C.

Лекція 8

ГЕОТЕРМАЛЬНА ЕНЕРГІЯ

1. Джерела геотермального тепла
2. Використання геотермальної енергії для виробництва теплової і електричної енергії
3. Використання геотермальної енергії для теплопостачання житлових і виробничих будівель
4. Можливі екологічні наслідки використання геотермальної енергетики

1 Джерела геотермального тепла

Під геотермікою (від грецьких слів «гео» - земля і «термо» - тепло) розуміється наука, що вивчає тепловий стан земної кори і Землі в цілому, його залежність від геологічної будови, складу гірських порід, магматичних процесів і цілого ряду інших чинників. Критерієм теплового стану земної кулі є поверхневий градієнт температури, що дозволяє судити про втрати тепло Землі. Екстраполюючи градієнт на великі глибини, можна якоюсь мірою оцінити температурний стан земної кори. Величина, відповідна поглибленню в метрах, при якому температура підвищується на 1°C , називається геотермічним рівнем. У зв'язку із зміною інтенсивності сонячного випромінювання тепловий режим перших 1,5-40 м земної кори характеризується добовими і річними коливаннями. Далі мають місце багатолітні і вікові коливання температури, які з глибиною поступово затухають.

Середня величина геотермічного рівня рівна 33 м, і з поглибленням від зони постійної температури на кожних 33 м температура підвищується на 1°C . Геотермічні умови надзвичайно різноманітні. Це пов'язано з геологічною будовою того або іншого району Землі. Відомі випадки, коли збільшення температури на 1°C відбувається при поглибленні на 2-3 м. Ці аномалії зазвичай знаходяться в областях сучасного вулканізму. На глибині 400-600 м в деяких районах, наприклад Камчатки, температура доходить до $150-200^{\circ}\text{C}$ і більше. В даний час отримані дані про досить глибоке промерзання верхньої зони земної кори. Геотермічні спостереження в зоні вічної мерзлоти дозволили встановити, що потужність мерзлих гірських порід досягає 1,5 тис. м. Так, в районі річки Мархи (приплив Вілюя) на глибині 1,8 тис. м температура складає всього лише $3,6^{\circ}\text{C}$. Тут геотермічний рівень складає 500 м на 1°C . На окремих платформених частинах території (на Російській платформі) температура з глибиною приблизно наступна: 500 м – не вище 20°C , 1 тис. м – $25-35^{\circ}\text{C}$; 2 тис. м – $40-60^{\circ}\text{C}$; 3-4 тис. м – до 100°C і більше.

Підземні термальні води (гідротерми)

У земній корі існує рухливий і надзвичайно теплоємний енергоносіє – вода, що грає важливу роль в тепловому балансі верхніх геосфер. Вода насичує всі породи осадового чохла. Вона міститься в породах гранітної і осадової оболонки, а ймовірно, і у верхніх частинах мантиї. Рідка вода існує лише до глибин 10-15 км, нижче при температурі близько 700°C вода знаходиться виключно в газоподібному стані. На глибині 50-60 км при тисках близько $3 \cdot 10^4$ атм зникає кордон фазовості, тобто водяний газ набуває такої ж щільності, що і рідка вода. У будь-якій

точці земної поверхні, на певній глибині, залежно від геотермічних особливостей району, залягають пласти гірських порід, що містять термальні води (гідротерми). У зв'язку з цим в земній корі слід виділяти ще одну зону, умовно звану «гідротермальною оболонкою». Вона просліджується повсюдно по всій земній кулі лише на різній глибині. У районах сучасного вулканізму гідротермальна оболонка інколи виходить на поверхню. Тут можна виявити не лише гарячі джерела, киплячих грифонів і гейзери, але і парогазові струмені з температурою 180-200°C і вище. Температура підземних вод вагається в широких межах, обумовлюючи їх стан, впливаючи на склад і властивості. Відповідно до температури теплоносія всі геотермальні джерела підрозділяють на епітермальні, мезотермальні і гіпотермальні.

До епітермальних джерел зазвичай відносять джерела гарячої води з температурою 50-90°C, розташовані у верхніх шарах осадових порід, куди проникають ґрунтові води. До мезотермальних джерел відносять джерела з температурою води 100-200 °C. У гіпотермальних джерелах температура у верхніх шарах перевищує 200 °C і практично не залежить від ґрунтових вод. Походження термальних вод може бути пов'язане з діяльністю теплових вогнищ, але найчастіше вода, тим або іншим способом потрапляючи в пласт породи, здійснює довгу дорогу, поки не приходить в контакт з тепловим потоком або поступово розігрівається, відбираючи тепло в порід. Рідка фаза води і тепло можуть походити з одного джерела лише в тому випадку, якщо таким є остигаючий магматичний розплав. Перегріта вода у вигляді парових струменів виділяється з розплаву разом з газами і легколетючими компонентами, спрямовуючись у верхні, холодніші горизонти. Вже при температурах 425-375 °C пара може конденсуватися в рідку воду; у ній розчиняються більшість летких компонентів— так з'являється гідротермальний розчин «ювенільного» (первозданного) типу.

Під терміном «ювенільні» геологи мають на увазі води, які ніколи раніше не брали участь у водозвороті; такі гідротерми у прямому розумінні слова є первинними, новоутвореними. Вважають, що так само сформувалася вся поверхнева гідросфера морів і океанів в епоху молодшої магматичної активності планети, коли лише-лише зароджувалися тверді консолідовані «острови» материкових платформ. Прямою протилежністю «ювенільних» вод є води інфільтраційного походження. Якщо «ювенільні» води, відділяючись від магматичного розплаву, піднімаються до поверхні, то переважаючий рух інфільтраційних вод — від поверхні углиб. Джерелом вод цього типу є атмосферними осіданнями або взагалі поверхневі водотоки. По паровому простору порід або зонам тріщин ці води проникають (інфільтруються) в глибші горизонти. По шляху руху вони насичуються різними солями, розчиняють підземні гази, нагріваються, відбираючи тепло у водопровідних порід. Залежно від глибини проникнення інфільтраційних вод вони стають більш менш нагрітими. За середніх геотермічних умов для того, щоб інфільтраційні води стали термальними (тобто з температурою більше 37 °C), необхідне їх занурення на глибину 800-1000 м. Інфільтраційні гідротерми здатні виливатися на поверхню у вигляді гарячих джерел, якщо існує можливість розвантаження води на поверхню по розломах, виклинюваннях шарів, що відбувається в нижчих відносно області живлення ділянках. Причому, аби вода залишалася термальною, під'їм її до поверхні повинен відбуватися дуже швидко, наприклад, по широких

тріщинах розломів. При повільному підйомі гідротерми остигають, віддаючи акумульоване тепло вміщаючим породам. Проте, якщо пробурити свердловину на глибину 3-4 тис. м і забезпечити швидкий підйом води, можна отримати термальний розчин з температурою до 100 °С. Все це стосується областей з середніми геотермічними показниками і не відноситься до вулканічних районів або зон недавнього гороутворення.

Вулканічного типу термальні води слід виділити особливо. Як вже говорилося, гарячі джерела вулканічних районів не можна цілком вважати «ювенільними», тобто магматичними. Досвід досліджень показує, що в переважному випадку вода вулканічних терм має поверхнєве інфільтраційне походження. Окрім гейзерів вулканічний тип гідротерм включає грязьових грифонів і казани, парові струмені і газові фумароли. Всі перераховані типи термальних вод мають різноманітний хімічний і газовий склад. Їх загальна мінералізація вагається від ультрапрісних категорій (менше 0,1 г/л) до категорій надміцних розсолів (більше 600 г/л). Гідротерми містять в розчиненому стані різні гази: активні (агресивні), такі, як вуглекислота, сірководень, атомарний водень, і малоактивні – азот, метан, водень. У геотермальній енергетиці можуть бути використані практично всі види термальних вод: перегріті води – при видобутку електроенергії, прісні термальні води – в комунальному теплозабезпеченні, солонуваті води – в бальнеологічних цілях, розсоли – як промислова сировина.

Запаси і поширення термальних вод

До областей поширення родовищ термальних вод відносяться: вулканічне кільце басейну Тихого океану, Альпійський складчастий пояс, рифтові долини континентів, серединно-океанічні хребти, платформені занурення і предгірні краєві прогини (рисунки 8.1). По своєму походженню родовища термальних вод можна підрозділити на два типи, що розрізняються способом перенесення теплової енергії.

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

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

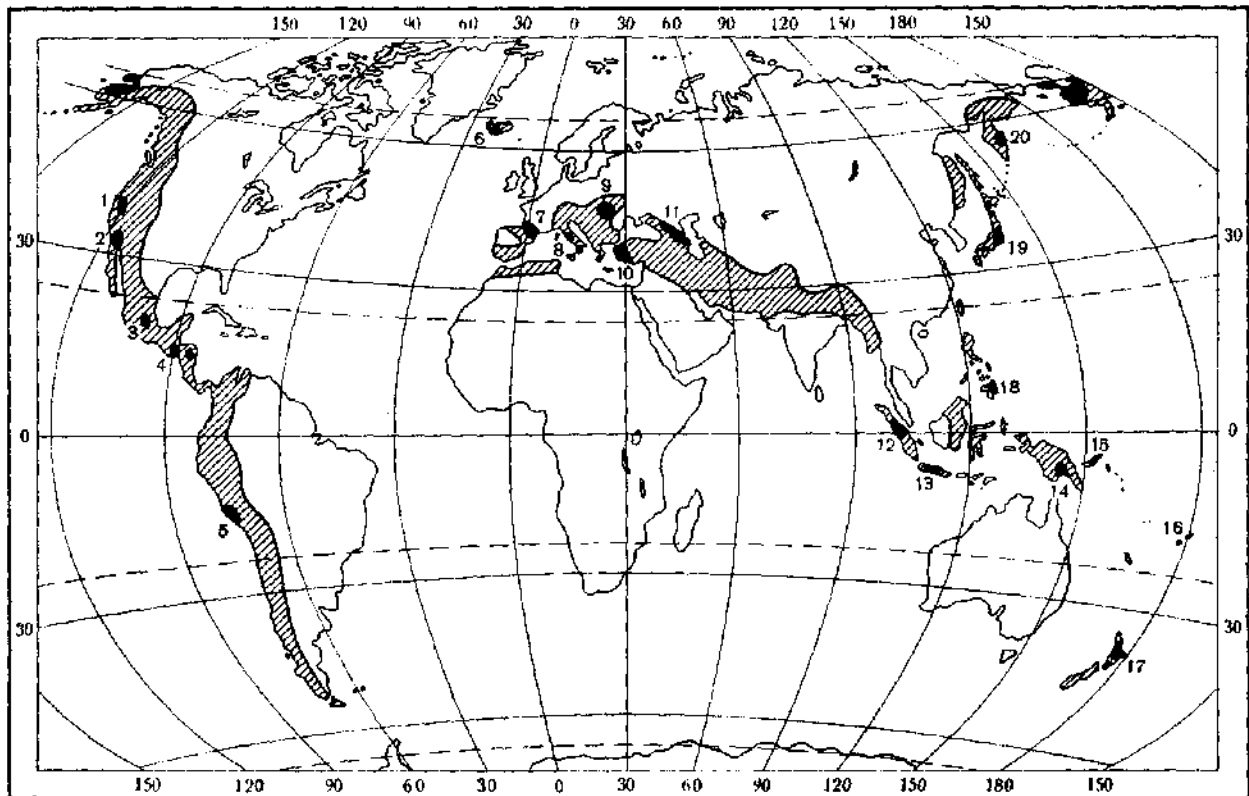


Рисунок 8.1 – Области виробництва геотермальної енергії в системі третинних орогенічних поясів (заштриховано): 1 – Каліфорнія; 2 – Серро Пріето; 3 – Мексика, Ідальго; 4 – Сан-Сальвадор; 5 – Чилі, Атакама; 6 – Ісландія; 7 – Араак-Лак; 8 – Лардерелло, Монте-Аміата; 9 – Угорський басейн; 10 – Айдин-Денізлі; 11 – Кавказ; 12 – Суматра; 13 – Ява; 14 – Нова Гвінея; 15 – Нова Британія; 16 – Фіджи, Нові Гебриди; 17 – Вайракей, Вайотапу; 18 – Філіппіни; 19 – Японія; 20 – Камчатка.

Другий тип геотермальних родовищ утворюється при переважуючому кондуктивному прогріванні підземних вод, зосереджених в глибоких платформених западинах і предгірних прогинах. Вони розташовуються поза вулканічних районів і характеризуються нормальним геотермічним градієнтом – $30\text{--}33^\circ\text{C}/\text{км}$. Бурінням на нафту і газ, а частково і на воду виявлені сотні підземних артезіанських басейнів термальних вод, що займають площі в декілька мільйонів квадратних кілометрів. Як правило, артезіанські басейни, розташовані в рівнинних областях і предгірних прогинах, містять воду з температурою $100\text{--}150^\circ\text{C}$ на глибині 3-4 км. Можна без перебільшення сказати, що будь-який відмічений на карті предгірний прогин, який був сформований в епоху альпійського горотворення, містить басейн термальних вод. Такі артезіанські басейни предгірних прогинів Піренеїв, Альп, Карпат, Криму, Кавказу, Копет-Дага, Тянь-шаня, Паміру, Гімалаїв. Термальні води цих басейнів демонструють унікальне різноманіття хімічних типів від прісних (питних) до розсолів, вживаються як мінеральна сировина для витягання коштовних елементів. Більше половини всіх відомих мінеральних (лікувальних) вод виходить у вигляді джерел або виводиться свердловинами в межах альпійських предгірних і міжгірських прогинів. Досвід показує, що термальні води подібних малих басейнів є найбільш перспективними для комплексного використання в практичних ці-

лях. Підрахунки запасів термальних вод ґрунтуються на наявних даних про об'єми гравітаційних вод, ув'язнених в пластах, об'єми самих водоносних горизонтів і колекторні властивості тих, що складають їх гірських порід.

Запаси термальних вод є загальною кількістю виявлених термальних вод, що знаходяться в порах і тріщинах водоносних горизонтів, що мають температуру 40-200° С, мінералізацію до 35 г/л і глибину залягання до 3,5 тис. м від денної поверхні. З розвитком глибокого буріння на 10-15 км відкриваються багатообіцяючі перспективи розтину високотемпературних джерел тепла. На таких глибинах в деяких районах країни (виключаючи вулканічні) температура вод може досягти 350°С і вище. Райони виходу на поверхню кристалічного фундаменту (Балтійський, Український, Анабарський щити) і підведені гірські споруди (Урал, Кавказ, Карпати і т. д.) абсолютно не мають запасів термальних вод. На ділянках занурення фундаменту, тобто при збільшенні товщини осадового чохла, в надрах спостерігається деяке «потепління» до 35-40 °С на платформах і до 100-120 °С у глибоких передгірних западинах. До районів, що мають максимально «теплі» земні надра, поза сумнівом, відноситься Палило-камчатська вулканічна зона. Тут нагрітість порід і вод, що містяться в них, залежить не лише від глибини їх залягання, але більшою мірою від близькості до вулканічних центрів і розломів в земній корі. Таким чином, температура порід, а отже, і вод знаходиться залежно від глибини залягання і від району, який характеризується більшою або меншою геотермічною активністю.

2. Використання геотермальної енергії для виробництва теплової і електричної енергії

Пряме використання геотермальної енергії

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

Геотермальна електростанція з безпосереднім використанням природної пари.

Найпростіша і доступніша геотермальна енергоустановка є паротурбінною установкою з протитиском. Природна пара зі свердловини подається прямо в турбіну з подальшим виходом в атмосферу або в пристрій, що уловлює коштовні хімічні речовини. У турбіну з протитиском можна подавати вторинну пару або пару, що отримується з сепаратора. За цією схемою електростанція працює без конденсаторів, і відпадає необхідність в компресорі для видалення з конденсаторів газів, що не конденсуються. Ця установка найбільш проста, капітальні і експлуатаційні витрати на неї мінімальні. Вона займає невелику площу, майже не вимагає допоміжного устаткування і її легко пристосувати як переносну геотермальну електростанцію (рисунок 8.2).

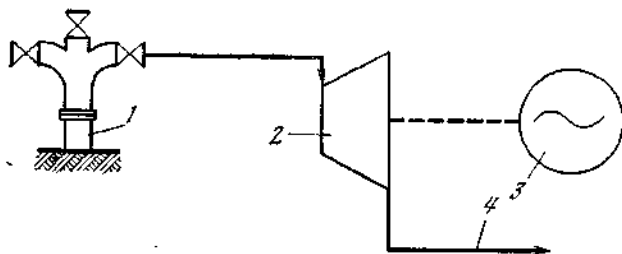


Рисунок 8.2 – Схема геотермальної електростанції з безпосереднім використанням природної пари: 1 – свердловина; 2 – турбіна; 3 – генератор; 4 – вихід в атмосферу або на хімічний завод.

Установки турбогенераторів з протитиском не перешкоджають промислового використанню хімічних речовин, що містяться в природному теплоносії. Так, наприклад, в природній парі деяких родовищ Італії міститься 150-700 мг/кг борної кислоти, і за допомогою подібних установок можна добувати цей коштовний продукт одночасно з виробництвом електроенергії. Розглянута схема може стати найвигіднішою для тих районів, де є достатні запаси природної пари. Рациональна експлуатація забезпечує можливість ефективної роботи такої установки навіть при змінному дебіті свердловин. В Італії працює декілька таких станцій. Одна з них – потужністю 4 тис. кВт при витраті пари близько 20 кг/сек, або 80 т пари на годину; інша – потужністю 16 тис. кВт, де встановлено чотири турбогенератори потужністю по 4 тис. кВт. Остання забезпечується паром від 7-8 свердловин. У подібних схемах потрібна значна кількість пари, яка з великим успіхом може бути використана в турбінах конденсаційного типу.

Геотермальна електростанція з конденсаційною турбіною і прямим використанням природної пари – це найбільш сучасна схема для здобуття електричної енергії. Пара зі свердловини подається в турбіну. Відпрацьована в турбіні, вона потрапляє в змішуючий конденсатор. Суміш води, що охолоджує, і конденсату вже відпрацьованої в турбіні пари випускається з конденсатора в підземний бак, звідки забирається циркуляційними насосами і прямує для охолодження в градирню. З градирні вода, що охолоджує, знову потрапляє в конденсатор (рисунок 8.3). За такою схемою працює геотермальна електростанція Лардерелло-3, що використовує природну пару, найбільша в Італії. Вона була спроектована на початку другої світової війни, але вступила в буд лише в післявоєнні роки. На електростанції встановлено чотири турбогенератори потужністю по 26 тис. кВт і два турбогенератори по 9 тис. кВт. Останні призначені для покриття власних навантажень.

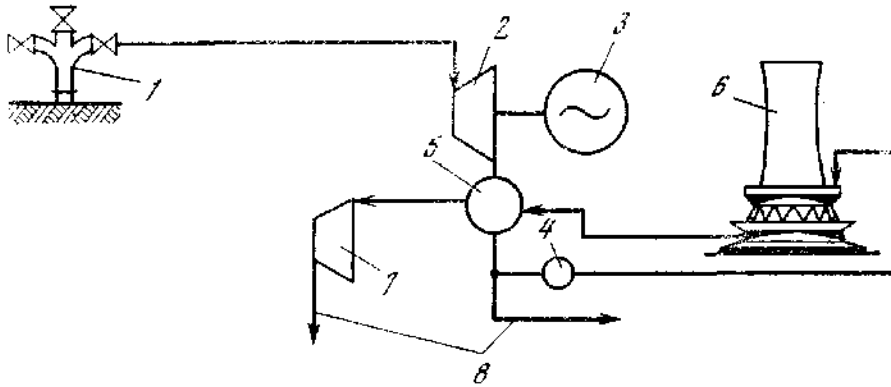


Рисунок 8.3 – Схема геотермальної електростанції з конденсаційною турбіною і прямим використанням природної пари: 1 – свердловина; 2 – турбіна; 3 – генератор; 4 – насос; 5 – конденсатор; 6 – градирня; 7 – компресор; 8 – скидання.

Жоден зі встановлених тут турбогенераторів протягом багатьох років не переводився в резерв. Коефіцієнт використання встановленої потужності складає 98%. Стабільна робота геотермальної електростанції Лардерелло-3 відкрила дорогу до конструювання нових електростанцій з використанням конденсаційних турбін. За такою схемою з деякими змінами працюють багато геотермальних електростанцій: Лардерелло-2 (Італія), Вайракей (Нова Зеландія) і ін. Завдяки технічним удосконаленням вжиток пари на кожен кіловат потужності став значно менший. Зараз витрата пари на новій електростанції Лаго (Італія) складає вже 8 кг/кВт·год.

Геотермальні електростанції з бінарним циклом

Геотермальна електростанція з пароперетворювачем.

Конденсаційна турбіна з пароперетворювачем працює на вторинній парі. Ці станції найбільш вигідні там, де природна пара має високу температуру і великий вміст газів. Схема електростанції наступна: природна пара зі свердловини поступає в пароперетворювач і своє тепло віддає вторинному теплоносію, після чого чиста вторинна пара прямує в конденсаційну турбіну. Відпрацьована пара йде в конденсатор. Гази, що не конденсуються, містяться в парі, відділяються в пароперетворювачі і викидаються або в атмосферу, або йдуть на хімічні заводи. Недоліком цієї схеми є зниження параметрів пари перед турбіною. В порівнянні з електростанціями, що безпосередньо використовують природну пару, питома витрата пари тут менше на 30%. Геотермальна електростанція, що працює за цією схемою (рисунок 8.4), дозволяє повністю використовувати всі хімічні речовини, що містяться в природній парі.

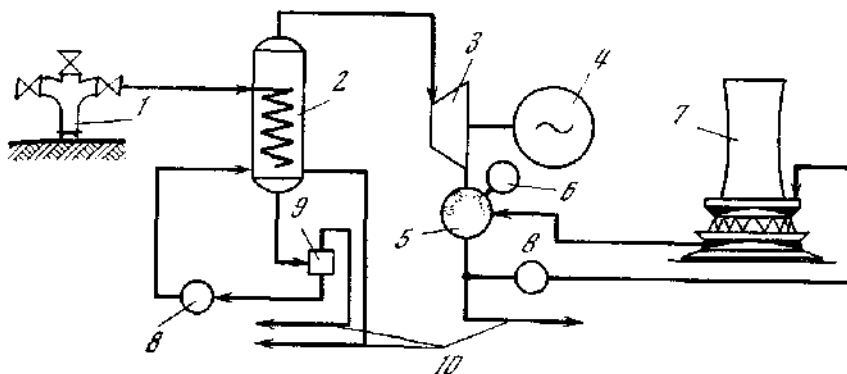


Рисунок 8.4 – Схема геотермальної електростанції з пароперетворювачем: 1– свердловини; 2 – пароперетворювач; 3 – турбіна; 4 – генератор; 5 – конденсатор; 6 – вакуумний насос; 7 – градирня; 8 – насос; 9 – дегазатор; 10 – скидання.

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

Геотермальні електростанції з конденсаційною турбіною, що працюють на відсепарованій парі, будуються там, де зі свердловини отримують пару з великим вмістом води. Пара або пароводяна суміш зі свердловини прямує в спеціальний пристрій, розташований на свердловині. Під тиском в сепараторові відбувається розділення пароводяної суміші на пару і воду. Відсепарована пара по трубопроводу прямує в турбіну і так далі. Конденсаційні турбіни, що працюють на відсепарованій парі, знайшли вживання в будівництві геотермальних електростанцій в Росії (Паужетське родовище на Камчатці), Ісландії (родовище Хверагерді) і в інших країнах. Розглянута схема має свої переваги. Отримана в сепараторові пара практично не містить газів, що полегшує роботу турбін.

3 Використання геотермальної енергії для теплопостачання житлових і виробничих будівель.

Для опалювання і гарячого водопостачання житлових і виробничих будівель необхідна температура води не нижче 50-60°C. Найбільш раціональне використання термальних вод може бути досягнуте при послідовній їх експлуатації: спочатку в опалюванні, а потім в гарячому водопостачанні. Але це представляє деякі труднощі, оскільки потреба в гарячій воді за часом року відносно постійна, тоді як опалювання є сезонним, воно залежить від кліматичних умов району, температури зовнішнього повітря, пори року і доби. В даний час розроблені різні схеми використання термальних вод для опалювання і гарячого водопостачання житлових і промислових будівель.

Теплопостачання високотемпературною сильно мінералізованою термальною водою

Термальна вода має температуру вище 80°C , але сильно мінералізована. У цих умовах виникає необхідність в пристрої проміжних теплообмінників. Принципове вирішення такої схеми показано на рисунку 8.5. Тут термальна вода зі свердловин розділяється на дві паралельні гілки: одна прямує в теплообмінник опалювання і потім в теплообмінник 1-го рівня підігрівання води для гарячого водопостачання; друга — в теплообмінник 2-го рівня. Аби уникнути заростання трубопроводу, термальну воду використовують з проміжним теплообмінником. Високомінералізовану воду зі свердловини подають в резервуар із змійовиками, по яких поступає прісна річкова вода. Нагріта прісна вода йде до споживача, а випадні з термальних вод солі осідають в резервуарі і на зовнішніх поверхнях змійовика. Недоліком схеми з теплообмінником є скорочення потенціалу термальної води, що спрацьовує (на кінцеву різницю температур в теплообміннику).

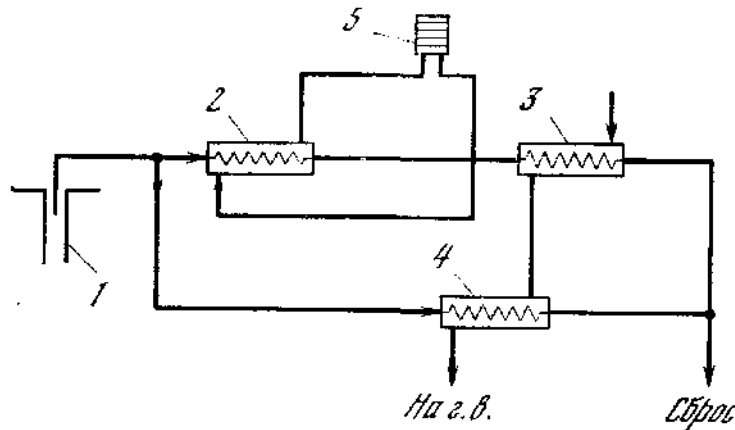


Рисунок 8.5 – Принципова схема геотермального тепlopостачання з теплообмінниками: 1 – свердловина; 2 – теплообмінник системи опалювання; 3 – теплообмінник гарячого водопостачання 1-го рівня; 4 – те ж, 2-го рівню; 5 – система опалювання.

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

Тепlopостачання низькотемпературною маломінералізованою термальною водою

Термальна вода маломінералізована, але з низьким тепловим потенціалом (температура нижче 80°C). Тут потрібне підвищення потенціалу термальної води. Здійснити це можна різними методами, приведемо основні з них: а) подача термальної води паралельно на опалювання і гаряче водопостачання і пікове догрівання

опалювальної води; б) беззливна система геотермального теплопостачання ; в) вживання теплових насосів; г) поєднане вживання теплових насосів і пікового догріву. За схемою (а) термальна вода зі свердловин поступає в систему гарячого водопостачання і паралельно в пікову котельню. Тут вона догрівається до температури, відповідної метеорологічним умовам, і подається в системи опалювання (рисунок 8.6). Дана схема особливо доцільна для районів з дорогим бурінням, оскільки пікова котельня дозволяє скоротити число свердловин.

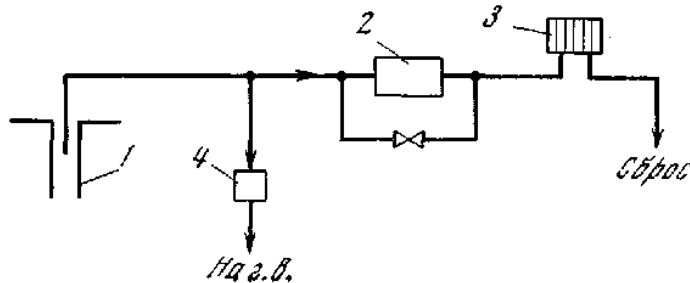


Рисунок 8.6 – Принципова схема геотермального теплопостачання з паралельною подачею геотермальної води на опалювання і гаряче водопостачання і піковим догрівом води на опалювання: 1 – свердловина; 2 – піковий догрівач; 3 – система опалювання; 4 – бак-акумулятор.

Схема (б) представляє складніший варіант попередньої схеми. Тут термальна вода, що поступає зі свердловин, нагрівається до температури 160-200 °С, що обумовлюється кліматичними умовами і дозволяє досягти рівності води в теплових мережах і системах гарячого водопостачання. На рисунку 8.7 приведена принципова схема такої установки. Зі свердловини 0 термальна вода поступає в котельню 8, потім, пройшовши через дегазатор 7 і хімводоочистку 2, подається в нагрівач 5. Перегріта вода прямує в житлові будинки. Абонентське введення кожного будинку обладнане змішувачем 4, в якому мережева вода змішується з відпрацьованою водою з системи опалювання. Суміш необхідної температури послідовно проходить систему опалювання 5, а потім повністю витрачається в системі гарячого водопостачання 6. Передбачена можливість скидання відпрацьованої води з системи опалювання в каналізацію, а також установка бака-акумулятора 7 для одного або групи будівель.

З підвищенням температури зовнішнього повітря витрата води на введенні залишається постійною, частина води поступає в систему гарячого водопостачання, минувши систему опалювання по спеціальній перемичці. При цьому за допомогою терморегулятора підтримується однакова температура води в системі гарячого водопостачання протягом всього опалювального сезону. У літній період термальна вода подається на гаряче водопостачання, минувши підігрівач, по обвідному трубопроводу в котельній.

Здійснення такої схеми дозволяє повніше використовувати тепло термальної води, скоротивши до мінімуму число свердловин, зменшити діаметр теплових мереж і їх протяжність, понизити металоємність систем опалювання. Проте в такій системі пікова котельня перетворюється по суті на базисний генератор тепла для опалювання, який працює весь опалювальний сезон. Звідси велика встановле-

на потужність казанів і велика витрата палива. Існує думка, що температура догріву не повинна перевищувати $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ із-за небезпеки виникнення корозії і накипу. В такому разі розподільні мережі рекомендується виконувати двотрубними. Це додатковий чинник, що знижує ефективність системи. Все сказане заставляє критично відноситися до даної схеми і вибір її обґрунтовувати ретельним економічним розрахунком у кожному конкретному випадку. Схема (в) передбачає утилізацію тепла низькотемпературних термальних джерел за допомогою теплового насоса.

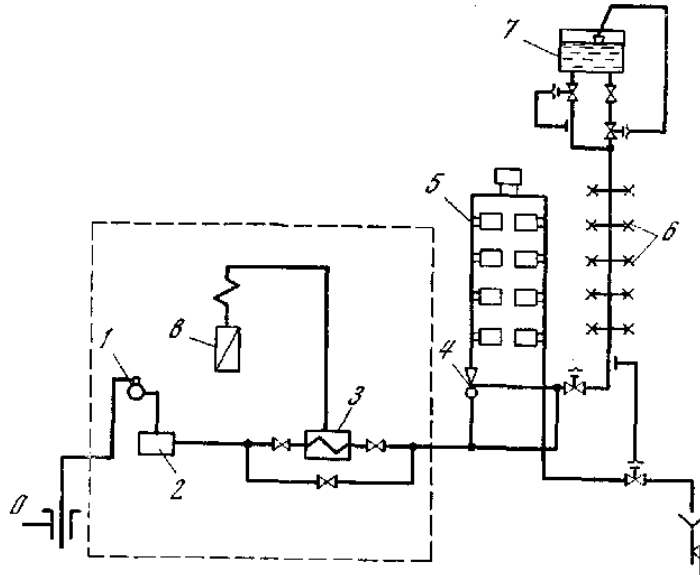


Рисунок 8.7 – Принципова схема беззливної системи геотермального теплопостачання: 0 – свердловина; 1 – дегазатор; 2 – хімоводоочистка; 3 – водопідігрівач; 4 – змішувач; 5 – система опалювання; 6 – система гарячого водопостачання; 7 – бак-акумулятор; 8 – котельня.

На рисунку 8.8 показана типова схема теплопостачання з компресійним тепловим насосом.

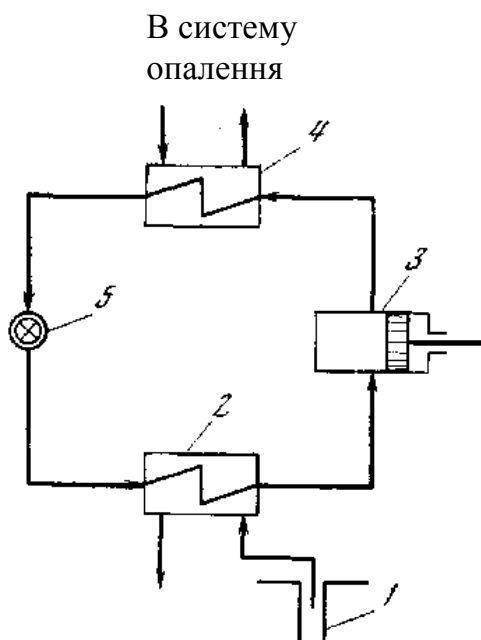


Рисунок 8.8 – Принципова схема геотермального теплопостачання із застосуванням теплового насоса: 1 – свердловина; 2 – випарник; 3 – компресор; 4 – конденсатор; 5 – регулюючий вентиль.

Гаряча вода зі свердловин 1 подається до випарника теплового насоса 2, де відбувається передача її тепла робочій речовині, що швидко випаровується. Пари, що утворюються, стискаються компресором 3 і прямують в конденсатор 4, де конденсуються при вищому тиску, віддаючи тепло воді, циркулюючій в системі опалювання. Охолоджена вода скидається в каналізацію. Ефективність схеми підвищується при роботі теплового насоса літом в режимі холодильної машини. В цілях повнішого спрацювання тепла термальної води була запропонована складніша модифікація цієї схеми з тепловими насосами. Схема (г) – комплексна система теплопостачання з трансформацією тепла скидної води у поєднанні з піковим її підігріванням і якісним регулюванням (рисунк 8.9).

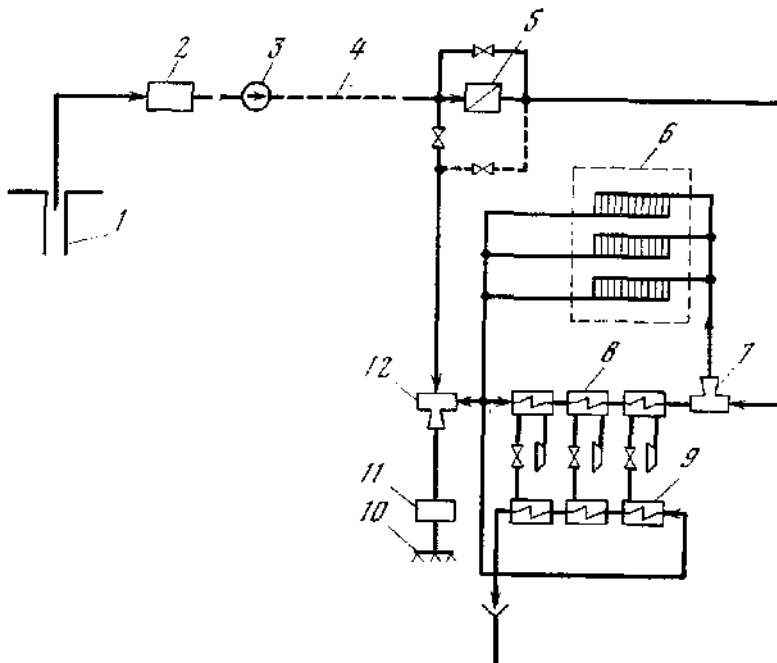


Рисунок 8.9 – Схема комплексного геотермального теплопостачання із застосуванням пікового догріву і теплових насосів: 1 - свердловина; 2 - водоочистка; 3- насосна станція; 4 - транзитний теплопровід; 5 - піковий догрівач; 6 - система опалювання; 7 і 12 - змішувачі; 8 - конденсатори; 9 - випарники; 10 - система гарячого водопостачання; 11 - бак-акумулятор.

Вода з джерела 1, пройшовши очищення 2, перекачується насосною станцією 3 в кількості та по однотрубному теплопроводу 4 і поступає до споживачів. Один потік води догріває в піковій котельній 5 і поступає в змішувач 7, де до нього підмішується відпрацьована вода, заздалегідь підігріта в конденсаторах теплового насоса 8. Відпрацьована вода після системи опалювання 6 розгалужується на три потоки. Одна частина поступає в конденсатори теплового насоса 8 і змішувач 7. Друга частина її прямує у випарники теплового насоса 9, де вона охолоджується і скидається. Третя частина прямує в змішувач 12, з якого вода поступає в бак-акумулятор 11 і систему гарячого водопостачання 10. Другий потік води джерела через вентиль В1 поступає в змішувач 12 і мережу гарячого водопостачання. Якщо температура геотермальної води нижча за необхідну температуру, то вода догрівається в котельній 5 і через вентиль В2 поступає в систему гарячого водопо-

стачання. З метою підвищення опалювального коефіцієнта і забезпечення гнучкішого регулювання теплонасосні агрегати включаються в систему теплопостачання за послідовно-протитечійною схемою так, щоб нагрівання води в конденсаторі 8 і охолодження води, що скидається, у випарниках 9 здійснювалось в декілька рівнів. Із зміною температури зовнішнього повітря якісне регулювання здійснюється піковою котельнею, тоді як теплопродуктивність теплового насоса і вжиток води зі свердловин залишаються незмінними.

Після відключення пікової котельної якісне регулювання здійснюється тепловим насосом. Це забезпечує рівномірний річний графік вжитку води зі свердловин. У цій системі доля використання тепла геотермальної води тим більше, чим нижче розрахункова температура в системах опалювання. Тому тут доцільне вживання конвекторної або панельної систем опалювання, де розрахункова температура 40-45° С. Порівняння цієї системи з беззливною показує, що питома витрата геотермальної води в схемі з термотрансформаторами майже в два рази перевищує такий в беззливній системі, тим часом коефіцієнт ефективності виявляється більше. Сумарна доля паливовикористовуючих установок в річному тепловому балансі мінімальна. Ця обставина створює передумови для вживання даної схеми в районах, де витрати на перевезення палива можуть перевищити витрати на буріння великого числа свердловин.

4 Можливі екологічні наслідки використання геотермальної енергетики

Основну дію на довкілля геотермальні електростанції надають в період розробки родовища, будівництва паропроводів і будівлі станцій, але воно зазвичай обмежене районом родовища.

Природна пара або газ добуваються бурінням свердловин глибиною від 300 до 2700 м. Під дією власного тиску пар піднімається до поверхні, де збирається в теплоізовані трубопроводи і подається до турбін. Наприклад, в долині гейзерів (США) продуктивність кожної свердловини забезпечує в середньому 7 МВт корисної потужності. Для роботи станції потужністю 1000 МВт потрібний 150 свердловин, які займають територію більше 19 км².

Потенційними наслідками геотермальних розробок є осідання ґрунту і сейсмічні ефекти. Осідання можливе усюди, де шари, що пролягають нижче, перестають підтримувати верхні шари ґрунту і виражається в зниженні дебітів термальних джерел і гейзерів і навіть повному їх зникненні. Так, при експлуатації родовища Вайрокей (США) з 1954 по 1970 рр. поверхня землі просіла майже на 4 м, а площа зони, на якій сталося осідання ґрунту, склала близько 70 км², продовжуючи щорік збільшуватися.

Висока сейсмічна активність є одним з ознак близькості геотермальних родовищ, і ця ознака використовується при пошуках ресурсів. Проте інтенсивність землетрусів в зоні термальних явищ, викликаних вулканічною діяльністю, звичайно значно менше інтенсивності землетрусів, викликаних крупними зсувами земної кори по розломах. Тому немає підстав вважати, що розробка геотермальних ресурсів збільшує сейсмічну активність.

На ГЕОТЕС не відбувається спалювання палива, тому об'єм отруйливих газів, що викидаються в атмосферу, значно менше, ніж на ТЕС, і вони мають інший хімічний склад в порівнянні з газоподібними відходами станцій на органічному паливі. Пара, що добувається з геотермальних свердловин, в основному є водяною. Газові домішки на 80 % складаються з двоокису вуглецю і містять невелику долю метану, водню, азоту, аміаку і сірководня. Найбільш шкідливим є сірководень (0,0225 %). У геотермальних водах містяться в розчиненому вигляді такі гази, як SO_2 , N_2 , NH_3 , H_2S , CH_4 , H_2 .

Потреба ГЕОТЕС у воді (на 1 кВт·год електроенергії), що охолоджує, в 4-5 разів вище, ніж ТЕС, із-за нижчого ККД. Скидання відпрацьованої води і конденсату для охолодження у водоймища може викликати їх теплове забруднення, а також підвищення концентрації солей, у тому числі хлористого натрію, аміаку, кремнезему, і таких елементів, як бор, миш'як, ртуть, рубідій, цезій, калій, фтор, натрій, бром, йод, хоча і в невеликих кількостях.

Із зростанням глибин свердловин можливе збільшення цих надходжень.

Один з несприятливих проявів ГЕОТЕС - забруднення поверхневих і ґрунтових вод в разі викиду розчинів високої концентрації при бурінні свердловин. Скидання відпрацьованих термальних вод може викликати заболочування окремих ділянок ґрунту в умовах вологого клімату, а в посушливих районах - засолення. Небезпечний прорив трубопроводів, в результаті якого на землю можуть поступити великі кількості розсолів.

ГЕОТЕС, маючи ККД в 2-3 рази менше, ніж АЕС і ТЕС, дають в 2-3 рази більше теплових викидів в атмосферу. Як простий шлях скорочення дій на довкілля слід рекомендувати створення кругової циркуляції теплоносія на ГЕОТЕС по системі «свердловина - теплознімні агрегати - свердловина - пласт». Це дозволить уникнути надходження термальних вод на поверхню землі, в ґрунтові води і поверхневі водоймища, забезпечити збереження тиску пласта, виключити осідання ґрунту і будь-яку можливість сейсмічних проявів.

Несприятливі екологічні дії геотермальної енергетики на екологію:

- відчуження земель;
- зміна рівня ґрунтових вод, осідання ґрунту, заболочування;
- переміщення земної кори, підвищення сейсмічної активності;
- викиди газів (метан, водень, азот, аміак, сірководень);
- викид тепла в атмосферу або в поверхневі води;
- скидання отруєних вод і конденсату, забруднених в невеликих кількостях аміаком, ртуттю, кремнеземом;
- забруднення підземних вод і водоносних шарів, засолення ґрунтів;
- викиди великих кількостей розсолів при розриві трубопроводів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

Основна.

1. Корчемний М.О. Біопаливо [Текст]/ М.О. Корчемний та ін. К.: 2004.
2. Рензо Д. Ветроэнергетика [Текст]/ Под ред. Д.Рензо.- М.: Энергоатомиздат, 1982.- 360с.
3. Васильев Ю.С. Возобновляемые источники энергии: Учебное пособие. [Текст]/ Васильев Ю.С., Елистратов В.В., Мухаммадиев М.М., Претро Г.А. - СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1995.-102с
4. Гидроэнергетика [Текст] / Под ред. Обрезкова В.И. - М.: Энергоиздат, 1981.-608с.
5. Гидроэнергетика и комплексное использование водных ресурсов [Текст]/ Под ред. Непорожного П.С. - М.: Энергоиздат, 1982.-559с.
6. Дворов И.М. Геотермальная энергетика[Текст]. - М.: Наука, 1976.- 158с.
7. ДСТУ 3682-98 (ГОСТ 30583-98) Енергозбереження. Методика визначення повної енергоемності продукції, робіт та послуг [Текст] К.- 11с.
8. Дэвинс Д. Энергия [Текст]/ Д. Дэвинс Пер. с англ.- М.: Энергоатомиздат, 1985. - 360 с.
9. Жарков В.Я. Энергозбереження і енергоменеджмент в АПК/ В.Я. Жарков: Конспект лекцій [Текст].- Мелітополь: ТДАТА.- 2004.
10. Жарков В.Я. Економія електроенергії в побуті/ В.Я.Жарков, К.О Самойчук.: Методичний посібник [Текст]. Мелітополь: ТДАТУ.- 2009.- 63 с.
11. Корчемний М. та ін. Енергозбереження в агропромисловому комплексі/ М. Корчемний – Тернопіль [Текст]: Підручники і посібники, 2001 - 984 с.
12. Левенберг В.Д. Аккумуляирование тепла / В.Д. Левенберг [Текст]. - К.: Техника, 1991.- 208 с.
13. Мхитарян Н.М. Гелиоэнергетика: системы, технологии, применение: [Монография] /Н.М Мхитарян. - К.: Наукова думка, 2002.-315 с.
14. Мхитарян Н.М. Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников. Опыт и перспективы: (Монография) [Текст]: Н.М. Мхитарян К : Наукова думка, 1999 - 317.
15. Нетрадиционные источники энергии: Указатель литературы.-653 назв. [Текст]/Сост. В.И. Мартынов, ред. В.Я. Жарков.-Вып.2, 2004.- 38с.
16. Про альтернативні джерела енергії: Закон України [Текст]//ВВР.- 2003.-№3. Ст. 155.
17. Ревелль П., Ревелль Ч. Среда нашего обитания/ П. Ревелль, Ч. Ревелль Кн. 2: Энергетические проблемы человечества [Текст]. - М.: Мир, 1995.- 291 с.

Додаткова.

1. Андреев В.М., Грилихес В.А., Румянцев В.Д. Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения. - Л.: Наука, 1990.- 214с.
2. Биомасса как источник энергии / Под ред. Соуфера С, Заборски О.М. - М.: Наука, 1985.-217с.

3. Росс Д. Энергия волн. - Л.: Гидрометиздат, 1981.-112 с.
4. Семенов Н.А. Вторичные энергоресурсы промышленности и энерготехнологическое комбинирование. - М.: Энергия, 1968.-296 с.
5. Скалкин Ф.В., Канаев А.А., Копп И.З. Энергетика и окружающая среда. - Л.: Энергоиздат, 1981.-280с.
6. Твайделл Дж. Уэйр А. Возобновляемые источники энергии / Пер. с англ - М.: Энергоатомиздат, 1990.- 392 с.
7. Тельдеши Ю., Лесны Ю. Мир ищет энергию. - М.: Мир, 1981.- 439с.
8. Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки.- М.: Энергоатомиздат 1991.- 208 с.

