

М.В. Дурас, А.П. Войцицький, О.Д. Муляр

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ НЕТРАДИЦІЙНОЇ ТА ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЖИТОМИРСЬКИЙ АГРОТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ

**ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ
НЕТРАДИЦІЙНОЇ ТА
ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ**
ПІДРУЧНИК

ЖИТОМИР-2022

УДК 621.38

В 07

***Затверджено до друку
Методичною радою
Житомирського агротехнічного
фахового коледжу
протокол №3 від 15.11.2022р.***

Рецензенти:

Шевчук С.П. – д.т.н., професор Національного технічного університету України “Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського”;

Грабар І. Г. – д.т.н., професор Поліського національного університету;

Борак К.В. – д.т.н., доцент Житомирського агротехнічного фахового коледжу.

В-07 Дурас М.В., Войцицький А.П., Муляр О. Д.
Перспективні технології нетрадиційної та
відновлювальної енергетики / - Житомир : Поліський
університет, 2022. – 288 с.

ISBN 978-617-7684-82-3

Розглянуто основні засади державної політики у сфері нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії, стан та перспективи впровадження альтернативних джерел енергії, а також технології виробництва сучасних альтернативних джерел енергії з метою енергозбереження. У підручнику викладено навчально-теоретичний матеріал, який супроводжується численними прикладами та малюнками.

Для студентів вузів і старшокласників, викладачів та інженерно-технічних працівників, аматорів-ентузіастів захоплюючої та перспективної справи розвитку та впровадження інноваційних проєктів нетрадиційних джерел енергії

ISBN 978-617-7684-82-3

© Дурас М.В.

© Войцицький А.П.

© Муляр О.Д.

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	8
ВСТУП	10
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	15
Розділ 1. ЕНЕРГІЯ. АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ. СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ	17
1.1. Основі засади державної політики у сфері альтернативних джерел енергії	18
1.2. Причини необхідності впровадження альтернативної енергетики	22
1.3. Стан та перспективи впровадження нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії	25
1.4. Сучасні напрями виробництва альтернативних джерел енергії	26
1.5. Економічна доцільність використання альтернативних джерел енергії	27
Розділ 2. ВІТРОЕНЕРГЕТИКА	30
2.1. Історична довідка	31
2.2. Енергія вітру	36
2.3. Вітроенергетика України	39
2.4. Вітроенергетика у розвинутих країнах світу	43
2.5. Конструкція, склад та принцип роботи вітроелектростанцій	47
2.5.1. Конструктивні особливості вітроелектростанцій	48
2.5.2. Інноваційні вітрогенератори	53
2.5.3. Склад вітрових електростанцій	58
2.5.4. Принцип роботи ВЕС	60
2.5.5. Наближений розрахунок потужності вітрогенератора	64
2.6. Сучасний стан і перспективи розвитку вітроенергетики в Україні	65
2.7. Переваги та недоліки вітроенергетики	66
2.8. Вітрова енергетика та довкілля	68

Розділ 3. ГІДРОЕНЕРГЕТИКА	71
3.1. Мала гідроенергетика – основа нетрадиційних відновлювальних джерел	72
3.2. Енергія води	73
3.3. Історична довідка створення малої гідроенергетики	76
3.4. Еволюція розвитку водяних двигунів	78
3.5. Мала гідроенергетика України	83
3.6. Мала гідроенергетика розвинутих країн світу	86
3.7. Міні та мікро- ГЕС.	87
3.7.1. Різновид міні та мікро- ГЕС	87
3.8. Інноваційні джерела енергії	95
3.9. Обґрунтування Вибору виду міні та мікро- ГЕС	98
3.10. Шляхи прискорення темпів розвитку малої гідроенергетики	104
3.11. Екологічні аспекти малої енергетики	106
Розділ 4. СОНЯЧНА ЕНЕРГЕТИКА	108
4.1. Загальні відомості. Історична довідка	109
4.2. Енергія Сонця. Види і параметри сонячної радіації	111
4.3. Перетворення сонячної енергії в електричну	116
4.3.1. Фотогальванічний елемент	116
4.3.2. Сонячний елемент та сонячні батареї	118
4.3.3. Сонячна фотоелектрична система	121
4.4. Сонячна енергетика	122
4.4.1. Стан та перспективи сонячної енергетики на Україні	123
4.4.2. Стан сонячної енергетики у Світі	127
4.5. Сонячна теплова енергія. Способи та засоби отримання	130
4.5.1. Сонячні системи електропостачання	130
4.5.2. Основні види сонячних нагрівачів води	131
4.6. Сонячні теплоелектростанції	137
4.7. Сонячний транспорт	145
4.8. Технічні рішення підвищення ефективності сонячних електростанцій	148

4.9. Інвертори для систем альтернативної енергетики	151
4.10. Екологічні аспекти сонячної енергетики	154
Розділ 5. АЛЬТЕРНАТИВНА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА	157
5.1. Загальні інформація	158
5.2. Геотермальна енергетика	158
5.2.1. Геотермальна енергія	159
5.2.2. Гідротермальні ресурси України	160
5.3. Геотермальні електростанції	163
5.3.1. Гео- ТЕС, що працюють на сухому пару	166
5.3.2. Гео- ТЕС на паро гідротермах та ТЕС з бінарним циклом виробництва електроенергії	167
5.4. Тепловий насос. Принцип дії	169
5.5. Види теплових насосів	172
5.5.1. Геотермальні теплові насоси	173
5.5.2. Теплові насоси повітря / вода	174
5.5.3. Теплові насоси ґрунт /вода	176
Розділ 6. БІОЕНЕРГЕТИКА	182
6.1. Загальні відомості	183
6.2. Біомаса	184
6.3. Біопаливо	188
6.3.1. Тверде біопаливо	188
6.3.2. Рідке біопаливо	189
6.3.3. Газоподібне біопаливо	194
6.3.4. Біопаливо третього покоління	195
6.4. Вторинні енергоресурси та їх утилізація	196
6.5. Виробництва біопалива	197
6.5.1. Технологія виробництва деревних паливних гранул	198
6.5.2. Технологія виготовлення паливних брикетів	202
6.5.3. Технологія виробництва тріски та дров	206
6.5.4. Технологія торефікації деревини	207
6.6. Технологія виробництва рідкого біопалива	208
6.6.1. Технологія виробництва біогазу	210
6.7. Виробництво електроенергії з використанням	215

біогазової установки	
6.7.1. Загальна характеристика КГУ	215
6.7.2. Різні методи когенерації	220
6.7.3. Тригенераційні системи	228
6.8. Перспективи розвитку біоенергетики в Україні	231
6.9. Біоенергетика та довкілля	235
Розділ 7. ВОДНЕВА ТА ТЕРМОЯДЕРНА ЕНЕРГЕТИКИ	237
7.1. Воднева енергетика	238
7.1.1. Основи водневої енергетики	238
7.1.2. Воднева енергетика в Україні	240
7.1.3. Сучасні методи виробництва водню	241
7.1.4. Інфраструктура водневої енергетики	244
7.1.5. Водень в якості автомобільного палива	245
7.1.6. Водневі технології	247
7.1.7. Економічні аспекти водневої енергетики	249
7.2. Термоядерна енергетика	250
7.2.1. Суть термоядерної енергетики	251
7.2.2. Термоядерний синтез. Термоядерні реактори	253
7.2.3. Аналіз сучасних досягнень майбутнього	262
термоядерної енергетики	
7.3. Екологічні аспекти водневої та термоядерна	265
енергетика	
ГЛОСАРІЙ	268
ОПРАЦЬОВАНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ДЖЕРЕЛА	278
ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ	287

ПЕРЕДМОВА

*Енергетична криза сприяла
актуальному рішення переходу
від традиційних джерел енергії до
нетрадиційних та відновлю-
вальних*

Автори

Дивно, що всього двісті років тому людство, крім енергії самої людини і тварин, володіло тільки трьома видами енергії.

І джерелом цих усіх трьох видів енергії було Сонце.

Енергія вітру обертала крила вітряних млинів, на яких мололи зерно чи ткали. Для того щоб можна було скористатися енергією води, необхідно, щоб вода бігла вниз до моря від вище розташованого джерела, де річка наповнюється за рахунок дощів, що випадають.

Протягом останнього десятиліття інтерес до цих джерел енергії постійно зростає, оскільки багато в чому вони необмежені. У міру того як постачання палива стає менш надійним і більш дорогим, ці джерела стають усе більш привабливими і більш економічними. Підвищення цін на нафту і газ послужило головною причиною того, що ми знову звернули свою увагу на воду, вітер і сонце.

Україною, згідно з Енергетичною програмою, до 2030 р. взято курс на розвиток альтернативної енергетики, що відображено в Національній енергетичній стратегії до 2035 року, у зв'язку з чим прийнято закон України «Про альтернативні джерела енергії, розроблено програму державної підтримки розвитку нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії.

Тому потрібно доносити перспективи та реальність розвитку альтернативних джерел енергії до широких верств населення та виховувати майбутніх фахівців цієї справи. Це послужило до написання підручника «Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії».

Метою підручника є популяризація наукових знань та їх застосування на практиці. Засвоївши матеріал пропонованого підручника, студенти зможуть компетентно орієнтуватися в питаннях пов'язаних з альтернативними джерелами енергії та їх значимістю для енергонезалежності України.

А також знання основ нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії для сучасного інженера сільськогосподарського виробництва важливе не менше, ніж знання інженерних дисциплін, адже воно дозволяє узгодити питання зменшення використання невідновлювальних корисних копалин, що у свою чергу покращить екологічну ситуацію на теренах нашої держави та у світі в цілому.

У підсумку можна зауважити, що за обсягом і змістом матеріалу підручник орієнтований більшою мірою на широке коло фахівців, які будуть пов'язані з альтернативною енергетикою, і меншою – на розробників подібної техніки.

Автори висловлюють подяку рецензентам за слушні зауваження та поради, спрямовані на поліпшення підручника.

ВСТУП

Ми не можемо не впливати на середовище, у якому живемо, оскільки для підтримки життєвих процесів як таких необхідно поглинати і використовувати енергію.

Одним із найпоширеніших критеріїв класифікації енергетичних ресурсів є їх відновлюваність, тобто можливість чи здатність збільшення кількості ресурсу або ж поновлення обсягів використаних ресурсів унаслідок природних процесів чи цілеспрямованої діяльності людини.

На даний момент більшість науковців поділяють джерела енергії на відновлювальні (ВДЕ) та невідновлювальні (НВДЕ), або на традиційні та нетрадиційні.

Дж. Твайделл та А. Уейр класифікують всі джерела енергії на відновлювальні і невідновлювальні (виснажуються). На їх думку, ВДЕ – це джерела потоків енергії, які існують постійно або періодично виникають у навколишньому середовищі [26].

Згідно ЗУ «Про альтернативні джерела енергії», відновлювані джерела енергії – відновлювані невикопні джерела енергії, а саме енергія сонячна, вітрова, аеротермальна, геотермальна, гідротермальна, енергія хвиль та припливів, гідроенергія, енергія біомаси, газу з органічних відходів, газу каналізаційно-очисних станцій, біогазів.

Відмітною ознакою відновлюваної енергії виступає те, що в навколишньому середовищі вона виступає у вигляді енергії, яка не є наслідком цілеспрямованої діяльності людини.

Невідновлювальними ж джерелами енергії є природні запаси речовин і матеріалів, які можуть бути використані людиною для виробництва енергії, а енергія невідновлюваних джерел знаходиться в природі у зв'язаному стані й вивільняється в результаті цілеспрямованих дій людини..

Ще одним критерієм класифікації енергетичних ресурсів є традиційність.

Джерела поділяються на традиційні й нетрадиційні. Проте в науковій літературі немає єдиної думки щодо поділу груп на традиційні та нетрадиційні енергоресурси [9]. Поняття традиційних джерел енергії хоча і здається зрозумілим, проте викликає кілька дискусійних питань.

Насамперед, не існує загально визначених факторів традиційності: якщо мати на увазі так звану історичну традицію, то до традиційних джерел енергії слід віднести деякі види біомаси (дрова, сухий гній, відходи сільськогосподарського виробництва), енергію руху вітру й води (вітряки та млини).

Важливою характеристикою енергоресурсів є якість джерела енергії. Зазвичай під якістю джерел енергії, як відновлюваних, так і невідновлюваних, мають на увазі частку енергії джерела, яка може бути перетворена на механічну роботу. Наприклад, електрична енергія має високу якість, оскільки за допомогою електродвигуна більше 95% її можна перетворити на механічну роботу.

Якість теплової енергії, що виділяється при спалюванні палива на традиційних ТЕС, або видобутої з гарячих надр Землі, досить низька, оскільки тільки близько 30% теплоти згоряння палива або ентальпії гарячої води і пари з надр Землі перетворюється в кінцевому результаті на механічну роботу. За цією ознакою відновлювані джерела енергії можна розділити на три групи [41]:

1. Відновлювані джерела механічної енергії, основними з яких є гідроенергія, вітрова енергія, енергія хвиль та припливів. В цілому якість цих джерел висока і зазвичай їх використовують для виробництва електроенергії. Від загальної кількості енергії сонця 1-2% перетворюється на енергію вітру.

Коефіцієнт використання вітрової енергії становить до 30%, гідроенергії 60%, хвильової і припливної енергії 75%.

2. Теплові відновлювані джерела енергії, основними з яких є пряма енергія Сонця, енергія біопалива. Максимальна частка теплоти таких джерел, яка може бути перетворена на механічну роботу, визначається другим законом термодинаміки.

На практиці перетворити на роботу вдається приблизно половину теплоти, що допускається другим законом

термодинаміки. Для сучасних парових турбін, наприклад, ця величина не перевищує 35%.

3. Відновлювані джерела енергії на основі фотонних процесів, до яких належать джерела, що використовують фотосинтез і фотоелектричні явища. Добитися високої ефективності перетворення енергії у всьому спектрі сонячного випромінювання дуже важко, і на практиці ККД фотоперетворювачів поки не перевищує 25%.

Однією з найважливіших характеристик відновлюваних джерел енергії є їх енергетичний потенціал – показник, що визначає кількість енергії, властиву відповідному виду ВДЕ. Для оцінки можливих об'ємів використання енергетичних ресурсів відновлюваних джерел енергетичний потенціал у вітчизняній класифікації розділяють таким чином:

- теоретичний або теоретично-можливий потенціал відновлюваних джерел енергії – загальна кількість енергії, якою характеризується кожне із джерел відновлюваної енергії;

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

- доцільно-економічний потенціал відновлюваних джерел енергії – частина енергії загального потенціалу, яку доцільно використовувати, враховуючи економічні, соціальні, техніко-технологічні й політичні чинники [39] .

Сучасна енергетика в основному базується на невідновлювальних джерелах енергії, які, маючи обмежені запаси, є вичерпними і не можуть гарантувати стійкий розвиток світової енергетики на тривалу перспективу, а їх використання – один з головних факторів, який призводить до погіршення стану навколишнього середовища і його кризового стану.

Але можна сказати, що людство вже сьогодні вступило в перехідний період – від енергетики, що базується на органічних природних ресурсах, які обмежені, до енергетики на практично невичерпній основі – тобто нетрадиційних відновлювальних джерел енергії.

Великі надії у світі покладаються на ці джерела енергії, перевага яких полягає в їх відновлюваності і в тому, що це екологічно чисті джерела енергії.

До альтернативних відносяться відновлювальні джерела енергії, які використовують потоки енергії Сонця, енергію вітру, теплоти Землі, біомаси, морів і океанів, річок, існуючих постійно або періодично в навколишньому середовищі й у майбутній перспективі практично невичерпані.

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

В умовах зростаючого попиту на енергетичні ресурси, вичерпання викопних видів палива та зростаючого рівня забруднення довкілля, в багатьох країнах світу взято курс на розвиток водневої енергетики, як альтернативного та більш екологічно чистого виду палива.

В Україні дослідження водневих технологій знаходяться в початковій стадії, не зважаючи на тривалий час досліджень та наявність значної кількості наукових установ, які займаються цією проблемою. Разом з тим, при успішному розвитку технологій використання водню Україна могла б раціонально використати свою багату (у т. ч. нетрадиційну) базу енергоресурсів, диверсифікувати джерела енергії, зменшити рівень енергетичної залежності, поліпшити екологічну ситуацію в країні. Майбутнє енергетики людство пов'язує з вирішенням термоядерної проблеми.

Відновлювальні джерела енергії мають принципові відмінності, тому їх ефективне використання стає можливим на основі науково розроблених принципів перетворення ВДЕ у види, необхідні споживачам.

У навколишньому середовищі завжди існують потоки відновлювальної енергії, тому в процесі розвитку відновлювальної енергетики необхідно орієнтуватись на місцеві енергоресурси, вибираючи найефективніші з них. Використання ВДЕ має бути багатоваріантним й комплексним, що дозволяє прискорити економічний розвиток регіонів.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АГ – асинхронний генератор.
АД – альтернативні джерела.
АЕ – атомна енергетика.
АПК – агропромисловий комплекс.
АСК – автоматизована система керування.
БД – база даних.
БГ – біогаз.
БГУ – біогазова установка.
БМ – біомаса.
БСК – біологічне споживання кисню.
ВДЕ – відновлювальні джерела енергії.
ВЕ – вітрова енергія.
ВЕС – вітрова електрична станція.
ВООЗ – Всесвітня організація охорони здоров'я (WHO).
ВРХ – велика рогата худоба.
ГЕС – гідроелектростанція.
ГОСТ – міждержавний стандарт.
ГСТУ – галузеві стандарти.
ГТУ – газотурбінна установка.
ДВЗ – двигун внутрішнього згорання.
ДСКН – державна служба контролю і нагляду.
ДСТУ – державні стандарти України.
ЕН – європейський стандарт якості.
ЕМП – електромагнітні поля.
ЕЕС – електроенергетична система.
ЕС – електрична система.
ЕМ – електричні мережі.
Е. Р. С. – електрорушійна сила.
ЄС – Європейський Союз (EU).
ЄАОД – Європейське агентство охорони довкілля (EEA).
ЗТ – «зелений» тариф.
ISO – міжнародний стандарт якості.
ІЧ – інфрачервоні випромінювання.
КГУ – когенераційна установка.
ЛЕП – лінія електропередачі.
НД – нормативні документи.
НВДЕ – нетрадиційні та відновлювані джерела енергії.

НКРЕ – Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сфері енергетики.
НПС – навколишнє природне середовище.
МАГАТЕ – Міжнародне агентство з атомної енергії.
ОБРВ – орієнтовно безпечні рівні впливу.
ОНПС – охорона навколишнього природного середовища.
ПГУ – парогазова установка.
ПЕ – електрохімічний генератор.
ПВ – промислові відходи.
ПК – програмний комплекс.
РЕМ – розподільні електричні мережі.
РН – радіонукліди.
СГ – синхронний генератор.
СЕС – сонячна електрична станція.
СПАР – синтетична поверхнево активна речовина.
СТП – стандарти підприємства.
ССОП – система стандартів в галузі охорони природи.
ТЕС – теплоелектростанція.
ТЕЦ – теплоелектроцентраль.
ТО – теплообчислювач.
ТПВ – тверді побутові відходи.
ТК – технічні комітети зі стандартизації.
ТУ – технічні умови.
УФ – ультрафіолетові випромінювання.
ФЕП – фотоелектричний перетворювач.

Розділ 1

ЕНЕРГІЇ. СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ НЕТРАДИЦІЙНИХ ТА ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ



*Основі засади державної політики у сфері
альтернативних джерел енергії*

*Причини необхідності впровадження
альтернативної енергетики*

*Стан та перспективи впровадження
альтернативних джерел енергії*

*Сучасні напрями виробництва альтернативних
джерел енергії з метою енергозбереження*

*Економічна доцільність використання
альтернативних джерел енергії*

Альтернативні джерела енергії – будь-яке джерела енергії, яке є альтернативою викопному паливу. Це поновлювані джерела, до яких відносять енергію сонячного випромінювання, вітру, морів, річок, біомаси, теплоти Землі та вторинні енергетичні ресурси, які існують постійно або виникають періодично у довкіллі.

1.1 Основі засади державної політики у сфері альтернативних джерел енергії

Ще у 1994 році в Мадриді на конференції «Генеральний привід розвитку поновлюваних джерел енергії в Європі» країнами Європейського Союзу була прийнята декларація. У ній були сформульовані цілі згідно досягненню 15% рівня використання поновлюваних джерел енергії в спільному вжитку енергії в країнах Європейського Союзу до 2010 р.

Також 11 грудня 1997 року, як додаток до Рамкової конвенції ООН зі зміни клімату, було підписано Кіотський протокол [37] – міжнародна угода про обмеження викидів в атмосферу парникових газів. Протокол зобов'язував розвинуті країни та країни з перехідною економікою скоротити або стабілізувати викиди парникових газів у 2008–2012 роках до рівня 1990 року. Далі дію цього протоколу було продовжено в ході підписання Паризької угоди, в тому числі й Україною [35, 38]. Угода набрала чинності 4 листопада 2016 року. Що є підґрунтям для зменшення кількості викидів в атмосферу і безпосередньо сприяє розвитку відновлювальних джерел енергії, які допомагають скоротити викиди в атмосферу за допомогою заміни собою теплофікаційних електростанцій та іншого.

Вагомою заявкою є створення Європейською комісією Енергетичної дорожньої карти до 2050 року, де розглядаються різні варіації розвитку ринку відновлювальних джерел і цін на електроенергію, але основний посыл спрямований на зменшення викидів в атмосферу в тому числі за рахунок вагомого збільшення частки ВДЕ [36].

Основними факторами, що обумовили освоєння НВДЕ в світі є:

- необхідність забезпечення енергетичної безпеки країн, яка пов'язана з енергетичними кризами;
- необхідність зменшення обсягів шкідливих викидів, що утворюються в процесі використання традиційних енергоносіїв;
- необхідність збереження запасів енергоресурсів для майбутніх поколінь;
- збільшення витрат органічної сировини для неенергетичних потреб.

Поставлені цілі досягаються вирішенням задач в області політики, пільгового податкового законодавства, державної фінансової підтримки внаслідок науково-технічних програм, пільгового кредитування, створення інформаційної мережі, системи освіти, стажувань, просування високих технологій, створення робочих місць для виробництва.

Серед факторів сприяння розвитку НВДЕ в Україні можна назвати:

- зростання цін на традиційні енергоносії;
- підвищення вимог екологічних норм і стандартів;
- можливості реалізації механізмів Кіотського протоколу для фінансування проектів впровадження НВДЕ;
- покращення можливості входження до європейської спільноти;
- необхідність заміни зношених основних фондів.

Сприяння поширенню нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії (НВДЕ), та джерел енергопостачання відбувається як на місцевому, так і на загальнодержавному рівні.

Крім того, для України надзвичайно важливим є більш тісне співробітництво з країнами ЄС, продовжується адаптація положень державних програм з освоєння ВДЕ до вимог Євросоюзу за розпорядженням КМ України №111 від 4 березня 2004р. – «Про заходи для реалізації пріоритетної політики Програми інтеграції України в ЄС».

Відповідно до «Енергетичної стратегії України на період до 2035 року» планується збільшення частки ВДЕ в загальному первинному виробництві та постачанні електричної енергії до країни до 25 % [49]. Усі наукові пошуки значно покращують та розвивають альтернативну електроенергетику [34].

Зокрема, згідно з Законом України «Про альтернативні джерела енергії», основними засадами державної політики у сфері альтернативних джерел енергії є:

- нарощування обсягів виробництва та споживання енергії, виробленої з альтернативних джерел з метою економного використання традиційних паливно-енергетичних ресурсів та

зменшення залежності України від їх імпорту шляхом реструктуризації виробництва;

- дотримання екологічної безпеки за рахунок зменшення негативного впливу на стан довкілля при створенні та експлуатації об'єктів альтернативної енергетики, а також при передачі, транспортуванні, постачанні, зберіганні та споживанні енергії, виробленої за допомогою альтернативних джерел.

Існують й інші закони, які визначають засади функціонування альтернативної енергетики в Україні, як от: ЗУ «Про альтернативні види палива», ЗУ «Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання скидного енергопотенціалу» та ін.

Окрім основних понять у сфері альтернативної енергії, Закон України «Про альтернативні джерела енергії» вводить поняття «зелений» тариф.

“Зелений” тариф – спеціальний тариф, за яким закуповується електрична енергія, вироблена на об'єктах електроенергетики, зокрема на введених в експлуатацію чергах будівництва електричних станцій (пускових комплексах), з альтернативних джерел енергії (а з використанням гідроенергії – лише мікро-, міні- та малими гідроелектростанціями) [33].

“Зелений” тариф встановлюється Національною комісією, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг.

Стимулювання виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії здійснюється введенням «зеленого тарифу» для суб'єктів господарювання та споживачів електричної енергії, у тому числі енергетичних кооперативів, приватних домогосподарств, генеруючи установки яких виробляють електричну енергію з альтернативних джерел енергії та для яких встановлено “зелений” тариф.

Фактично держава, у вигляді гарантованого покупця, закуповує електроенергію у виробників, які її продукують за допомогою відновлювальних джерел енергії, за певними встановленими тарифами – не завжди вигідними для самої

держави.

1.2 Причини необхідності впровадження альтернативної енергетики

Проблеми ефективності використання традиційних джерел енергії в Україні стоять ще гостріше, ніж у світі чи країнах ЄС.

Причинами цього є:

- вичерпання ресурсів;
- застарілі технології;
- використання основних фондів генерації електроенергії і тепла, що разом з низькою ефективністю використання палива призводить до значних обсягів викидів шкідливих речовин.

Значні втрати при транспортуванні, розподілі та використанні електроенергії і тепла, а також монопольна залежність від імпорту енергоносіїв ще більш ускладнюють ситуацію на енергетичних ринках країни. Необхідність розвитку альтернативних джерел енергії в Україні зумовлює сучасний аналіз використання енергоресурсів. Структура споживання енергоресурсів середньостатистичної європейської країни (у тому числі України) має такий вигляд:

- газ – 45%;
- вугілля – 20%;
- електроенергія – 20%;
- нафтопродукти – 15%;
- альтернативні джерела – 5%.

В умовах залежності країни від імпорту таких енергоносіїв як газ та нафта висока енергоємність обмежує конкурентоспроможність національного виробництва й лягає важким навантаженням на економіку.

Крім економічної й екологічної доцільності, використання альтернативних джерел енергії є необхідним в Україні для зміцнення національної енергетичної безпеки, а також для приєднання до європейського та світового енергетичного співтовариства. Зниження енергоємності економіки має стати

однією з пріоритетних цілей державної політики в області енергетики.

Сьогодні частка використання альтернативних джерел енергії у загальному обсягу виробництва енергії у світі ще не є значною, але їх потенціал на кілька порядків перевищує рівень світового споживання паливно-енергетичних ресурсів. Темпи зростання обсягів виробництва альтернативної енергії також значно перевищують аналогічні для традиційних видів енергії.

Відновлювані або невичерпні енергоресурси потоки енергії, що постійно або періодично діють у навколишньому середовищі. В цілому всі енергетичні потоки відновлюваних джерел енергії розділяються на основні групи:

- пряма енергія сонячного випромінювання (потужність випромінювання якого є надзвичайно велика - $3,8 \cdot 10^{20}$ МВт) ;
- вторинні прояви енергії сонячного випромінювання у вигляді енергії вітру, гідроенергії, енергії біомаси та ін.;
- енергія теплоти Землі [40].

Людству потрібна енергія, причому потреби в ній збільшуються з кожним роком. Разом з тим запаси традиційних природних палив (нафти, вугілля, газу і ін.) скінченні. Вичерпні також і запаси ядерного палива – урану, з якого можна отримувати плутоній в реакторах.

Енергія – не тільки одне з найчастіше обговорюваних нині понять; крім свого основного фізичного (а в ширшому сенсі – природничо-наукового) змісту, вона має численні економічні, технічні, політичні та інші аспекти.

Практично невичерпні запаси термоядерного палива – водню, проте керовані термоядерні реакції поки не освоєні і невідомо, коли вони будуть використані для промислового отримання енергії в чистому вигляді, тобто без участі в цьому процесі реакторів ділення. Залишаються два шляхи:

1. Суворе економія при витрачанні енергоресурсів;
2. Використання нетрадиційних поновлюваних джерел енергії.

Чому ж саме зараз, як ніколи гостро, постало питання: що чекає людство – енергетична криза або енергетичний достаток?

Рівень матеріальної, а кінець кінцем і духовної культури людей знаходиться в прямій залежності від кількості енергії, наявної в їх розпорядженні.

Щоб добути руду, виплавити з неї метал, побудувати будинок, зробити будь-яку річ, потрібно витратити енергію. А потреби людини весь час ростуть, та і людей стає все більше.

Альтернативна енергетика покликана сприяти вирішенню, передусім, двох важливих проблем – енергоефективності та екологічної безпеки, які є ключовими для України.

Процес модернізації регіональної та національної економіки значною мірою може активізувати розвиток альтернативної енергетики, забезпечити дотримання принципів сталого розвитку та високих світових екологічних стандартів господарської діяльності.

Напрямок стратегічного розвитку альтернативної енергетики у країні має відповідати основним принципам Європейського співтовариства в області енергетики, відображеним у Зеленій книзі «Європейська стратегія постійної, конкурентоспроможної та безпечної енергетики», зокрема, вибору курсу на розширення використання відновлюваних джерел енергії.

За прогнозами цільовий показник сукупної потужності нетрадиційної й відновлюваної енергетики в Україні до 2030 р. складе не менше 10% від установленної потужності. Загальний річний технічно-досяжний енергетичний потенціал відновлюваних джерел енергії України в перерахунку на умовне паливо становить біля 98 млн т. у.п..

Не відкладеним кроком у напрямку покращення енергетичної ситуації України, зменшення її енергозалежності, а також подальшої інтеграції в Європейську співдружність, повинна стати усебічна підтримка держави розвитку та впровадження альтернативних енергетичних установок у регіонах з найвищими показниками економічної доцільності. Цього можливо досягнути шляхом виконання наступних дій:

- удосконалення низки існуючих законодавчих актів щодо відновлювальних джерел енергії, які б сприяли підвищенню економічної ефективності виробництва альтернативної енергії;

- розробка інвестиційних проектів з метою залучення додаткових вкладень в дану галузь;

- надання гарантій державою виробникам «чистої» енергії щодо її купівлі за фіксованими тарифами;

- забезпечення рівня енергетичної безпеки України завдяки модернізації мережі існуючих енергетичних установок, підвищення рівня їх надійності та безперебійності роботи;

- інформування населення України щодо перспективності використання нетрадиційних джерел енергії, необхідності збереження довкілля та зменшення викидів парникових газів в атмосферу від спалювання традиційних видів палива.

У цілому доцільність використання нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії в перспективі може забезпечити для України наступне:

- зміцнення державності України за рахунок підвищення енергетичної та економічної незалежності;

- зниження енергоємності внутрішньо-валового продукту;

- досягнення світового рівня ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів;

- зменшення обсягів імпорту паливно-енергетичних ресурсів;

- створення ринку енергозберігаючого обладнання, відповідної техніки та технологій;

- технічне та технологічне переоснащення енергоємного виробництва;

- конкурентоздатність вітчизняних товарів;

- підвищення добробуту громадян;

- підвищення рівня зайнятості населення;

- підвищення рівня безпеки праці;

- підвищення культури виробництва;

- покращення стану здоров'я людей;

- зменшення обсягів шкідливих викидів у довкілля;

- відтворення природних ресурсів;

- виконання міждержавних угод щодо підвищення рівня екологічної безпеки.

1.3 Стан та перспективи впровадження нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії

Широкомасштабне впровадження альтернативних джерел енергії в Україні дозволить зробити суттєвий крок у зменшенні енергетичної залежності країни, охороні довкілля та створенні умов для входження країни до європейської спільноти. Нафтові та газові кризи, погіршення екологічної ситуації змусили суспільство шукати шляхи задоволення своїх енергетичних потреб не тільки за рахунок вичерпних енергоресурсів, але й використовуючи нетрадиційні джерела. Україна задовольняє власні потреби в енергоресурсах на рівні 50%, тобто всі інші ресурси доводиться імпортувати.

В середині минулого століття гостро постало питання енергозбереження. За рахунок енергозбереження в господарствах різних форм власності можливо досягти значної економії ресурсів та коштів.

Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії останнім часом стали одним із важливих критеріїв сталого розвитку світової спільноти. Здійснюється пошук нових і вдосконалення існуючих технологій, виведення їх до ефективного рівня та розширення сфер використання.

Головними причинами такої уваги є очікуване вичерпання запасів органічних видів палива, різке зростання їх ціни, недосконалість та низька ефективність технологій їхнього використання, шкідливий вплив на довкілля, наслідки якого все більше і більше турбують світову спільноту.

На сьогодні частка НВДЕ у виробництві енергії у світі ще не є значною, але їх потенціал на кілька порядків перевищує рівень світового споживання паливно-енергетичних ресурсів.

Темпи зростання обсягів виробництва енергії НВДЕ також значно перевищують аналогічні для традиційних видів енергії. Так, у найближчі 10 років, прогнозується щорічне зростання світових обсягів виробництва електроенергії традиційної електроенергетики на рівні 2,8%, а електроенергії НВДЕ – 9,2%.

В Україні також існує значний потенціал використання НВДЕ. З іншого боку, проблеми ефективності використання

традиційних джерел енергії в Україні стоять ще гостріше, ніж у світі чи країнах ЄС. Причинами цього є застарілі технології, вичерпання ресурсів використання основних фондів генерації електроенергії і тепла, що разом з низькою ефективністю використання палива призводить до значних обсягів викидів шкідливих речовин.

Таким чином, Україна має нагальну потребу у переході до енергетично ефективних та екологічно чистих технологій, якими є, в тому числі, і НВДЕ. Але, незважаючи на декларативні заяви щодо усвідомлення цієї потреби з боку різних гілок влади та низку нормативно-законодавчих актів, які стосуються розвитку НВДЕ, – реальних кроків щодо впровадження НВДЕ зроблено досить мало. Частка НВДЕ в енергетичному балансі країни становить лише 7,2 % (6,4 % – позабалансові джерела енергії; 0,8 % – відновлювані джерела)

Змінити ситуацію можна шляхом проведення відповідної енергетичної політики, вдосконалення нормативно-правової бази та залучення інвестицій у розвиток НВДЕ.

Звісно, що цей процес не є швидким, але задля забезпечення майбутнього економічного процвітання України, її гідного місця у Європейській спільноті потрібно вже сьогодні активізувати вирішення цієї актуальної проблеми.

1.4 Сучасні напрями виробництва альтернативних джерел енергії

До сучасних технологій виробництва нетрадиційних джерел енергії з метою енергозбереження слід віднести:

- використання відходів сільськогосподарської продукції для отримання біогазу як палива;
- використання сонячної енергії для систем теплопостачання за допомогою колекторів і систем пасивного сонячного опалення;
- використання геотермальної води для теплопостачання;
- використання енергії вітру;
- використання енергії малих річок та водних ресурсів;

- використання теплових насосів малої та середньої потужності;

- виробництво біодизельного палива.

- перспективи на використання водневої енергетики.

Використання енергії сонця, вітру та низькопотенційних ресурсів потребує встановлення дорогого і складного обладнання, яке не завжди спроможне фермерське господарство купити.

Використання процесу анаеробного бродіння як джерела альтернативного енергозабезпечення дасть можливість, за досить невеликі кошти, вирішити комплексну задачу щодо збереження навколишнього середовища, вирішення енергетичної проблеми господарства та утилізації органічних відходів з метою охорони довкілля.

До дуже перспективного палива виробництва теплової та електричної енергії належить *водень*, який має високу теплотворну здатність, може успішно замінювати природний газі при цьому є екологічно чистим паливом, оскільки в результаті його згоряння утворюється лише водяна пара.

Отже, переведення ТЕС та інших споживачів газового палива на водень зменшило б викиди в атмосферу вуглекислого газу й інших шкідливих сполук.

1.5 Економічна доцільність використання альтернативних джерел енергії

Проблеми ефективності використання традиційних джерел енергії в Україні стоять ще гостріше, ніж у світі чи країнах ЄС. Причинами цього є застарілі технології, вичерпання ресурсів використання основних фондів генерації електроенергії і тепла, що разом з низькою ефективністю використання палива призводить до значних обсягів викидів шкідливих речовин.

Основним недоліком відновлюваних джерел енергії є дискретність енергетичних потоків – періодичність надходження та змінність енергетичного потенціалу, що до останнього часу спричиняло значні ускладнення в багатьох випадках їх використання і не відповідало сучасним вимогам щодо енергопостачання споживачів. Сучасні технології та

обладнання відновлюваної енергетики, а також прийоми раціонального використання енергії відновлюваних джерел, оснований на комплексному використанні різних видів відновлюваних джерел енергії та акумуляторів енергії, фактично ліквідували перешкоди щодо їх широкомасштабного впровадження і обумовили бурхливий розвиток відновлюваної енергетики у світі.

Висока енергоємність України є наслідком особливостей структури національної економіки, зміщеної у бік більш енергоємних галузей, істотного технологічного відставання більшості галузей економіки від рівня розвинених країн, а також цінових викривлень на внутрішніх енергетичних ринках.

В умовах залежності країни від імпорту таких енергоносіїв як газ та нафта висока енергоємність обмежує конкурентоспроможність національного виробництва й лягає важким навантаженням на економіку.

Крім економічної й екологічної доцільності, використання НВДЕ, є необхідним в Україні для зміцнення національної енергетичної безпеки, а також для приєднання до європейського та світового енергетичного співтовариства. Зниження енергоємності економіки має стати однією з пріоритетних цілей державної політики в області енергетики. На сьогоднішній день економічні та правові умови для розвитку альтернативних джерел енергії потребують суттєвого доопрацювання.

Окреслені заходи щодо розвитку альтернативних джерел енергії в Україні можна згрупувати наступним чином:

по-перше, організаційно-правовий напрямок, який має забезпечити формування довгострокової стратегії розвитку альтернативних джерел енергії, створити досконалу законодавчу базу, регламенти та стандарти виробництва, збереження та використання;

по-друге, фінансово-економічний напрямок, який би включав заходи щодо формування привабливого інвестиційного клімату для залучення іноземних інвестицій для розвитку альтернативних джерел енергії, створення податкових канікул як для виробників, так і для споживачів альтернативного палива

протягом певного періоду, надання їм інших преференцій на початкових етапах;

по-третьє, техніко-технологічний напрямок державного регулювання має бути направлений на обґрунтування схем територіального розміщення та встановлення оптимальних потужностей з виробництва альтернативної енергії, виявлення найкращих технологічних схем виробництва альтернативних джерел енергії;

по-четверте, інфраструктурний напрямок спрямований на формування всіх додаткових умов, необхідних для безперебійного та стабільного процесу виробництва та споживання НІДЕ, безпеки ресурсного, енергетичного та іншого забезпечення. Комплексний та системний підхід дасть змогу створити ефективну систему регулювання розвитку альтернативних джерел енергії.



Запитання для самоконтролю

1. Що уявляють собою альтернативні джерела енергії?
2. Які країни мають найбільш ефективні програми нарощування сумарних потужностей вітростанцій?
3. Які проблеми ефективності використання традиційних джерел енергії в Україні?
4. Який показник установленної потужності відновлюваної енергетики в Україні до 2030 року?
5. Які кроки у напрямку покращення енергетичної ситуації України?
6. До сучасних технологій виробництва нетрадиційних джерел енергії з метою енергозбереження слід віднести...
7. Окреслені заходи щодо розвитку альтернативних джерел енергії в Україні можна згрупувати наступним чином...

Розділ 2

ВІТРОЕНЕРГЕТИКА



Історична довідка
Енергія вітру
Вітроенергетика України
Вітроенергетика у розвинутих
країнах світу
Склад та принцип роботи
вітроелектростанцій
Переваги та недоліки
вітроенергетики

Вітроенергетика, галузь науки і техніки, яка розробляє теоретичні основи, методи і засоби використання енергії вітру для здобуття механічної, електричної і теплової енергії і що визначає області і масштаби доцільного використання вітрової енергії в господарюванні.

Вітрову енергію, перш за все, слід використовувати в таких виробничих процесах, які допускають перерви в подачі енергії, або в тих випадках, коли продукт переробки може бути заготовлений про запас (під'єм води, зрошування, дренаж, помел зерна, кормоприготування, зарядка акумуляторів і т. п.).

2.1 Історична довідка

Людство використовує енергію вітру більш ніж 5 тис. років. Спочатку в мореплаванні аж до появи парової машини, що замінила вітрила на судах. Але і вітроенергетика має багатовікову історію. Перші прості вітродвигуни застосовували в глибокій старовині в Єгипті і Китаї.

У Єгипті близько м. Александрія досі збереглися залишки кам'яних вітряних млинів, барабанного типу з вертикальною віссю обертання, побудовані ще в 2-1 ст. до н.е.

У 7 столітті н.е. в Персії (Ірані), Греції були побудовані досконаліші конструкції – крильчасті з горизонтальною віссю обертання. Дещо пізніше, мабуть у 8-9 ст. вітряні млини з'явилися в Західній Європі і на Русі. Починаючи з 13 століття вітродвигуни отримали широке поширення в Голландії, Данії, Англії і Росії для підйому води, подрібнення зерна і в якості приводу різних верстатів і механізмів.

У 1582 р. в Голландії була побудована перша маслоробня, що використовує енергію вітру. В середині XIX ст. в Голландії використовувалося для різних цілей близько 9 тисяч вітродвигунів. В період промислової революції з введенням парових двигунів використання енергії вітру в Голландії пішло на спад.

На початку XX ст. тут працювало тільки близько 2,5 тис. вітродвигунів, а до 1960 р. менше 1 тисячі з них все ще знаходилися в робочому стані. У будівництві феномен вітру у давнину також застосовували для природної вентиляції та охолодження повітря у сухих та жарких країнах Середньої Азії.

Млинарство в Україні має дуже тривалу історію. Зерно здавна мололи на жорнах. Набагато досконалішими та продуктивнішими за цей ручний пристрій були водяні млини й вітряки, які набули поширення на українських землях за Середньовіччя.

Як і крупорушки, олійниці й кузні, вітряки споруджували майстрові люди, часто ті, що в них і працювали. Хоча найбільш поширеною є точка зору, що вони відомі з часів Київської Русі.

Наприкінці XIX сторіччя в Україні існували два типи вітряків: стовпові, коли навколо стовпа, вкопаного в землю, на основі (стільці) обертася до вітру весь корпус вітряка за

допомогою дишла (води́ла), та шатрові, коли повертався тільки верх вітряка, а корпус був нерухомим.

На Поліссі серед останніх виділялися вітряки з багатограним зрубним корпусом – “кругляки”. Вітряки створювали особливий колорит наших сіл, чудовий пейзаж польових доріг. Біля них подорожні відпочивали, по них відміряли дорогу. Вони були наче сторожові вежі. Рухаючи крильми, вони нібито злітали в небо, а в нерухомому стані були уособленням величного спокою.

Для Буковини характерні шестикрилі, стовпового типу (рис.2.1) вітряки з вишуканими чудовими пропорціями. На рівні другого поверху їх корпус має невелике розширення в бічних напрямках. На рис. 2.2. зображений прототип вітряного млину у сучасному стилі.



Рисунок 2.1 –Шестикрилий
вітряк



Рисунок 2.2 – Прототип
вітряного млину

Наприкінці XIX століття з’явилася ідея використати енергію вітру для генерування постійного електричного струму.

Піонером в будівництві ВЕС була Данія, уряд якої ще в 1890 р. приступив до проведення широкої програми розвитку ВЕУ великої потужності. У 1910 р. було побудовано кілька сотень таких ВЕУ.

Наступний важливий крок переходу від вітряних млинів до вітроенергетичних установок зробив Пол Лакур у Данії на початку минулого століття. Він був першим, хто створив аеродинамічну трубу і застосував аеродинамічний профіль у своїх вітроустановках.

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

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

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

Теорія ідеального вітряка проф. Н. Е. Жуковского носить назву класичної теорії; вона встановлює, що максимальний коефіцієнт використання енергії вітру ідеальним вітряком дорівнює 0,593. Якнайповніше, з точки зору практичного застосування, теорія ідеального вітряка викладена проф. Г. Х. Сабініним, згідно якої коефіцієнт використання енергії вітру ідеальним вітряком рівний 0,687 через циліндричну форму соленоїду.

Ідеальним вітряком називають вітроколесо, у якого:

1. Вісь обертання паралельна швидкості вітру;
2. Нескінченне велике число лопатей дуже малої ширини;
3. Профільний опір крил дорівнює нулю, і циркуляція уздовж лопаті постійна;
4. Втрачена швидкість повітряного потоку на вітроколесі постійна по усій поверхні вітряка, що змітається;
5. Кутова швидкість прагне до нескінченності.

Установка Браша стала важливим етапом в історії розвитку вітроенергетики.

По-перше, вона була досить великою.

По-друге, в ній була використана двоступінчата підвищуюча ремінна трансмісія, з передатним числом 50:1, при цьому генератор обертався із швидкістю 500 об/хв. І, нарешті, це була перша спроба з'єднати добре розвинену систему вітряного

млина з новою електричною технологією. В той же час установка показала, що багатолопатеві вітротурбіни занадто повільні і малоефективні для електрогенерування.

Тоді ж була запропонована швидкісна трилопатева вітротурбіна, що має лопаті з аеродинамічним профілем. Вона обертала генератор потужністю 3 кВт при напрузі 110 В.

Цікаво відмітити, що саме на етапі розвитку маленьких вітроустановок виникла проблема оптимальної кількості лопатей для вітротурбіни.

Дволопатеві вітротурбіни витримували значні вібрації при зміні напрямку вітру, тоді як трилопатеві не мали цього недоліку.

Після другої світової війни датчани розробили і випробували три експериментальні ВЕУ з установленою потужністю 12, 45 і 200 кВт, призначені для роботи в енергосистемі. Вони успішно експлуатувалися до 1960 р. Коли з'ясувалося, що вартість виробленої ними електроенергії перевищує еквівалентну вартість енергії теплового двигуна, реалізацію проекту призупинили.

На рис. 2.3 зображена вітроустановка Браша потужністю 12 кВт, що генерувала постійний струм для зарядки акумуляторних батарей. Система в цілому працювала автоматично впродовж 20 років і вимагала мінімального догляду.

Наступний важливий крок переходу від вітряних млинів до вітроенергетичних установок зробив Пол Лакур у Данії на початку минулого століття. Він був першим, хто створив аеродинамічну трубу і застосував аеродинамічний профіль у своїх вітроустановках. Тоді ж була запропонована швидкісна трилопатева вітротурбіна, що має лопаті з аеродинамічним профілем.

Вона обертала генератор потужністю 3 кВт при напрузі 110 В. Цікаво відмітити, що саме на етапі розвитку маленьких вітроустановок виникла проблема оптимальної кількості лопатей для вітротурбіни.

Дволопатеві вітротурбіни витримували значні вібрації при зміні напрямку вітру, тоді як трилопатеві не мали цього недоліку.

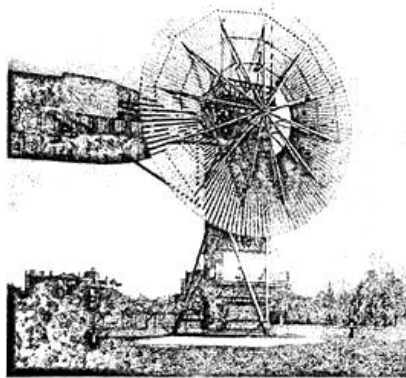


Рисунок 2.3 – Установа Браща

У 1925 році був створений новий вид ротора – ротор Савоніуса, названий на честь його творця. Перевагами такого типу роторів є високий стартовий момент і здатність сприймати вітер з будь-якого боку, а недоліками – низька швидкохідність і коефіцієнт використання енергії вітру, а також значна маса конструкції.

Іншим новим типом вітротурбіни, що з'явилася в 30-х роках минулого століття, була вертикальна вітротурбіна, запропонована Ф.Дар'є. Цей тип вітротурбіни практично не використовувався до початку 1970-х років, коли в Канаді, а потім і в інших країнах почалися дослідження великих вітроагрегатів з таким ротором.

Промисловий випуск електродвигунів для механічного приводу машин був налагоджений на початку ХХ в, а електричних вітроагрегатів з генераторами невеликої потужності – приблизно в 20-роках.

У 40-50 роках ХХ століття в СРСР отримало інтенсивний розвиток будівництво ВЕС. У цей період було налагоджено серійне виробництво спеціалізованих і універсальних вітродвигунів потужністю від 0,7 до 11 кВт, головним чином з механічними і електричними трансмісіями.

У післявоєнний період було випущено більше 40 тис. вітродвигунів, які з великою ефективністю застосовувалися в колгоспах і радгоспах.

Друге дихання вітроенергетика отримала після нафтової кризи 1972-1973 років, коли багато розвинених країн стурбувалися своєю залежністю від імпорту нафти з арабських країн.

Розглядаючи історію розвитку світової вітроенергетики, слід зазначити значний внесок українських учених у її розвиток. Саме в Україні народжувалися принципово нові технічні рішення, що стали стандартом для сучасних ВЕУ і за якими до теперішнього часу зберігається український пріоритет.

Одним з видатних українських учених в області аерогідродинаміки і теорії авіації був Г.Ф. Проскура, якому належить пріоритет в розвитку теорії пропелерних вітротурбін.

2.2 Енергія вітру

Вітер – рух повітря щодо земної поверхні. Його виникнення пов'язане з нерівномірним нагріванням Землі через хмарність, акумуляцію тепла водними об'єктами, рельєфом тощо. Основні характеристики вітру – напрямок та швидкість. Вітрова енергія є енергією Сонця, перетвореної на кінетичну енергію повітряних мас, що рухаються [31].

Енергія вітру справді колосальна (жителям землі потенційно доступно близько 53 000 кВт·год., що в 4 рази більше теперішнього енергоспоживання планети), але, на жаль, розсіяна в просторі по різних містах і селах. До того ж швидкість і напрям вітру часто в один і той же день міняються багато разів.

Вітроенергетика – галузь відновлюваної енергетики, яка спеціалізується на використанні кінетичної енергії вітру. На жаль, природа не збрала всі вітри в родовища, як зробила це з природним газом, нафтою і вугіллям, і не змусила їх текти по руслах, подібно до річок.

Енергія повітряних мас, що постійно рухаються, у сотні разів перевищує запаси гідроенергії усіх річок планети.

Всюди і постійно на землі дмуть вітри: від легкого вітерцю до могутніх ураганів. Ці вітри могли б повністю задовольнити

потреби людства. Але частка вітряних електростанцій становить лише 0,1%. Чому ж тоді такий доступний та екологічно чистий спосіб видобутку енергії так слабо використовується?

Енергія вітру – невичерпна. Протягом століть людина намагається використовувати енергію вітру з максимальною вигодою. Будуються вітроелектростанції, що виконують різні функції: водяні та нафтові насоси, електростанції. Як показала практика і досвід багатьох країн, використання енергії вітру вкрай вигідно.

Вітер характеризується наступними показниками:

- швидкість середньомісячна і середньорічна (відповідно до градаціями за величиною і зовнішніми ознаками за шкалою Бофорта);
- швидкість максимальна в пориві (дуже важливий показник стійкості роботи вітроелектростанції);
- напрям вітрів («тройнда вітрів», періодичність зміни напрямків і сили вітру);
- турбулентність – внутрішня структура повітряного потоку, що створює градієнти швидкості в горизонтальній і вертикальній площині;
- поривчастість – зміна швидкості вітру в одиницю часу;
- щільність вітрового потоку – залежить від атмосферного тиску, температури і вологості.

Існують також і інші характеристики вітру. Вітер може бути одновимірним, двовимірним або багатовимірним середовищем. Він може містити краплі рідини і тверді частинки різної крупності, що рухаються усередині потоку з різними швидкостями.

Вітри, що формуються в континентальній місцевості і північних широтах, характеризуються різкими поривами і частою зміною напрямків. Таким чином, вони докорінно відрізняються від виражено спокійних вітрів європейського морського узбережжя – Нідерландів, Німеччини.

Структура вітру залежить і варіюється від висоти над земною поверхнею. Примітно, що стабільність повітряного потоку збільшується в більш високих шарах повітря.

Також існує різниця в темпераменті вітрів, що вимагає певного підходу при конструюванні вітроелектростанцій. Однак, завжди

можна знайти розумне рішення. У тому числі, рішення, універсальне для вітрів будь-яких напрямків і швидкостей, включаючи штормові вітри.

У зв'язку з постійними викидами промислових газів в атмосферу та іншими факторами зростає контраст температур на земній поверхні. Це є однією з основних причин, що призводять до збільшення вітрової активності в багатьох регіонах нашої планети. Таким чином, актуальність будівництва вітростанцій, альтернативних джерел енергії, тільки зростає.

Частина сонячної енергії, яка досягає зовнішніх шарів земної атмосфери, перетворюється на кінетичну енергію частинок повітря, які рухаються, тобто вітру. Кінетична енергія вітрового потоку дорівнює:

$$W = (mv^2)/2, \quad (2.1)$$

де m – маса повітря, що рухається, кг; v – швидкість вітру, м/с.

Енергія вітру має ряд специфічних особливостей:

- малу концентрацію, віднесену до одиниці об'єму повітряного потоку;
- випадковий характер зміни швидкості;

$$P = \frac{W}{\tau} = \rho \frac{S \cdot v^3}{2}, \quad (2.2)$$

де ρ – густина повітря, кг/м³; S – площа, яку перетинає вітровий потік, м²; v – швидкість вітру, м/с; τ – час протягом якого виконується робота W .

Вітрове колесо, розміщене в потоці повітря, може у такому випадку теоретично перетворювати на потужність на його валу $16/27 = 0,59$ (критерій Бетца) потужності потоку повітря, що проходить через площу перерізу, охоплювану вітровим колесом. Цей коефіцієнт можна назвати теоретичним ККД ідеального вітрового колеса.

Насправді ККД нижчий і досягає для найкращих вітряних колес приблизно 0,45. Це означає, наприклад, що вітрове колесо

з довжиною лопаті 10 м за швидкості вітру 10 м/с у найкращому випадку може мати потужність на валу 85 кВт.

2.3 Вітроенергетика України

Вітроенергетика України має достатній досвід проектування, виробництва, будівництва, експлуатації та обслуговування як вітроенергетичних установок, так і вітроенергетичних станцій; в країні є достатньо високий науково-технічний потенціал і розвинена виробнича база.

В останній час розвитку вітроенергетичного сектора сприяє державна підтримка, що забезпечує реалізацію ініціатив по удосконаленню законодавства, структури керування, створенню вигідних умов для внутрішніх і зовнішніх інвесторів

Піонером будівництва ВЕС був видатний український вчений Ю.В. Кондратюк (Шагрей О.Г). Побудована під його керівництвом ВЕС в 1931 році потужністю 100 кВт більш, як 10 років забезпечувала м. Севастополь електроенергією.

Експериментальний вітроагрегат потужністю 100 кВт був розроблений і встановлений у Балаклаві в 1931 р. Він виробляв електроенергію для трамвайної лінії Балаклава-Севастополь і був зруйнований під час війни.

Це перша мережева установка потужністю 100 кВт, діаметром 30 м (рис. 2.4). Вона працювала на електричну мережу напругою 6,3 кВ разом з тепловою електростанцією потужністю 20 МВт, що знаходиться від неї на відстані 32 км (у Севастополі).

За своїми розмірами (діаметр вітроколеса 30 м, потужність 100 кВт при швидкості вітру 10 м/с, висота вежі 25 м, частота обертання вітроколеса 30 об/хв) ця станція не мала собі рівних ні в СРСР, ні за кордоном (у 1942 р. під час війни станцію зруйнували).

Кабіна гондоли (довжина 13,7, ширина 2,5, висота 3,8 м), де розмішувалися генератор, електроапаратура, редуктор з еластичними муфтами, була виконана подібною фіюзеляжу літака.

Вітроколесо мало три лопаті, що вільно поверталися під дією стабілізаторів системи. Лопаті мали обтічний профіль, аналогічний профілю крила літака, і довжину 11 м при ширині 2 м у основи і 1 м на кінці. Махи були зроблені зі сталевих труб діаметром 350 мм.

Генератор – асинхронний, трифазного струму потужністю 92 кВт при частоті обертання 600 об/хв, що допускав тривале перевантаження на 10%, який вмикався автоматично відцентровим механізмом.

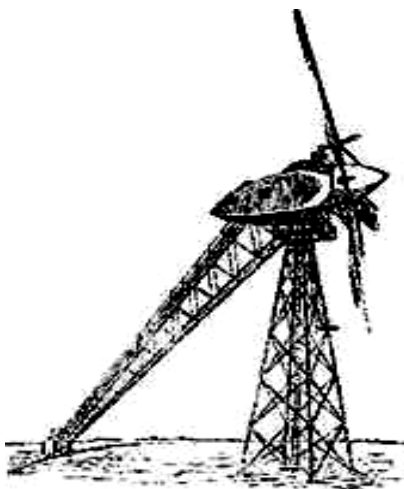


Рисунок 2.4 – Балаклавська ВЕС

Експлуатаційні випробування ВЕС провадилися на двох режимах: при 19 і 30 обертах вітроколеса за хвилину. При цьому виявилось, що режим роботи ВЕС на 30 об/хв значно вигідніший.

Процес будівництва української вітроенергетики відродився у 1996 році, коли була запроєктована Новоазовська ВЕС (рис. 2.5) проектною потужністю 50 МВт. 24 березня 2011 року було введено в експлуатацію 15 вітроагрегатів, сумарною потужністю 37,5 МВт. У 2011 році станцією було вироблено 14,7 млн кВт/год електроенергії.

1997 рік – запрацювала Трускавецька ВЕС. Розташована в урочищі Бухів поблизу селища, Львівської області загальною встановленою потужністю 750 кВт. Трускавецька ВЕС має статус пілотної, на її основі проводяться досліді для вивчення ефективності створення вітроелектростанцій у Карпатах.

Електростанція налічує 7 американських вітроагрегатів типу USW 56-100, виготовлених в Україні за ліцензією. ВЕС приєднана до трансформаторної підстанції 35/10 кВ «Східниця-80», яка має зв'язок з шинами 35 кВ підстанції 220 кВ «Борислав» і подає струм до об'єднаної енергетичної системи України.



Рисунок 2.5 – Новоазовська ВЕС

На території Запорізької області поблизу села Приморський Посад розташована Ботієвська вітроелектростанція, яка має найбільшу в Україні кількість вітрогенераторів – 65. У грудні 2012 року було запущено перші 30 вітряків.

За словами представників станції, кількості електроенергії, що виробляється завдяки силі вітру, вистачить, аби повністю забезпечити населення Запорізької області без промислових об'єктів. Сьогодні Ботієвська ВЕС входить у п'ятірку найбільш вітроелектростанцій Європи.

В 2000 році в Україні працювало вже 134 турбіни та закладено близько 100 фундаментів під турбіни потужністю 100 кВт. У 1998-1999 роках стали до ладу три нові ВЕС. Значне, зростання будівництва вітроелектростанцій спостерігається з

2009 року, після запровадження Урядом України «Зеленого тарифу».

На 2013 рік в Україні діють десятки вітроелектростанцій (ВЕС), оснащених як імпортними так й власними вітроагрегатами.

На кінець 2012 року сумарна потужність вітроелектростанцій в Україні вже складала майже 263 МВт. Які протягом 2012 року виробили 288,2 млн кВт/рік електроенергії, що в 3,2 рази більше, ніж у попередньому році (89,5 млн кВт-рік.). Виробництво національних вітрогенераторів налагоджено на «Південмаші» у Дніпропетровську де збудували турбіну потужністю 1,0 МВт, яка встановлена зокрема на Новоазовській ВЕС. Наразі будівництво вітротурбін також здійснює спільне україно-німецьке підприємство ТОВ «Фурлендер Віндтехнологі», яке володіє ліцензіями на виробництво турбін потужністю 2,0-2,5 МВт й в 2014 році розпочне виробництво однієї з найсучасніших вітроустановок світу зі встановленою потужністю в 3 МВт.

Для нормальної роботи вітроенергетичних двигунів середньорічна швидкість вітру повинна бути не меншою за 4–5 м/сек. В Україні до таких місць належать узбережжя Чорного моря, особливо Крим, Карпати та південні степові райони. Більш ефективним використанням енергії вітру можна досягти якщо ВЕС встановити на платформі у морі вітри там постійніші, ніж на суші.

У 2003 році в Україні з'явилися перші 600-кіловатні вітроагрегати бельгійської фірми “Турбовіндс”, їх тепер виробляють на вітчизняних підприємствах. Згідно звіту ГС «Української вітроенергетичної асоціації» станом на кінець 2019 року встановлена потужність вітроенергетичного сектору України досягла 1170 МВт [31].

Вітроенергетика потребує набагато більших потужностей і набагато серйознішого фінансування.

За даними Агентства з відновлюваної енергетики загальна потужність перспективних вітроелектростанцій в Україні оцінюється в 16000 МВт з можливим річним виробленням електроенергії близько 30 млрд. кВт/год. Питомий енергетичний

потенціал вітрової енергії при різних швидкостей вітру в Україні наведений в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Питомий енергетичний потенціал вітрової енергії в Україні

Середньорічна швидкість вітру, $V_{\text{ср}}$, м/с	Висота, м	Природний потенціал вітру, кВт·год/м ² рік	Технічно-досяжний потенціал вітру, кВт·год/м ² рік
<4,25	15	1120	200
	30	1510	280
	60	2030	375
	100	2530	460
4,5	15	2010	390
	30	2710	520
	60	3640	700
	100	4540	850
5,0	15	2810	520
	30	3790	690
	60	5100	860
	100	6350	975
5,5	15	3200	620
	30	4320	830
	60	5810	1020
	100	7230	1150

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

2.4 Вітроенергетика у розвинутих країнах світу

Піонером в будівництві ВЕС була Данія, уряд якої ще в 1890 р. приступив до проведення широкої програми розвитку ВЕУ великої потужності.

У 1910 р. було побудовано кілька сотень таких ВЕУ. Вони мали чотириохлопатові вітроколеса діаметром 23 м, установлені на вежі висотою 24 м і з'єднані механічною передачею з електричним генератором, розташованим в основі вежі. Розрахункова потужність генератору змінювалася від 5 до 25 кВт. Вартість електроенергії, виробленої цими ВЕУ, приблизно дорівнювала вартості палива, яке споживає дизельна електрична установка.

У всьому світі вітроенергетика набирає обертів, про що можна судити за ростом інвестицій в цю область в різних країнах. «Звичайно, ми можемо спостерігати подальшу диверсифікацію ринку вітроенергетики», зазначив Стефан Гсенгер, генеральний секретар Міжнародної Асоціації Вітряної Енергетики (World Wind Energy Association).

Це некомерційна організація з штаб-квартирою в Німеччині. Її члени представляють національні асоціації вітряної енергетики з 100 країн світу. Асоціація сприяє становленню джерел енергії, консулює уряди з питань політики та шляхів розвитку цієї галузі.

За даними WWEA Китай лідирує на ринку вітряної енергетики з великим відривом, порівняно з іншими країнами. Тут великомасштабний розвиток цієї галузі почався менше 10 років тому.

З тих пір Китай став двигуном у світовій індустрії вітроенергетики. Енергія вітру в цій країні більш, ніж необхідна, так як традиційних джерел буде недостатньо для задоволення всіх енергетичних запитів.

Якщо поглянути на рейтинг Всесвітньої вітроенергетичної асоціації, то Сполучені Штати відстають від Китаю за сумарною потужністю вітроенергетики.

На початку 2021 року, згідно даних Всесвітньої вітроенергетичної асоціації, загальна світова потужність вітрової енергетики досягала 744 ГВт, серед яких лідерами є Китай та США. Протягом року країни-лідери значно збільшили розвиток вітрової енергетики [56].

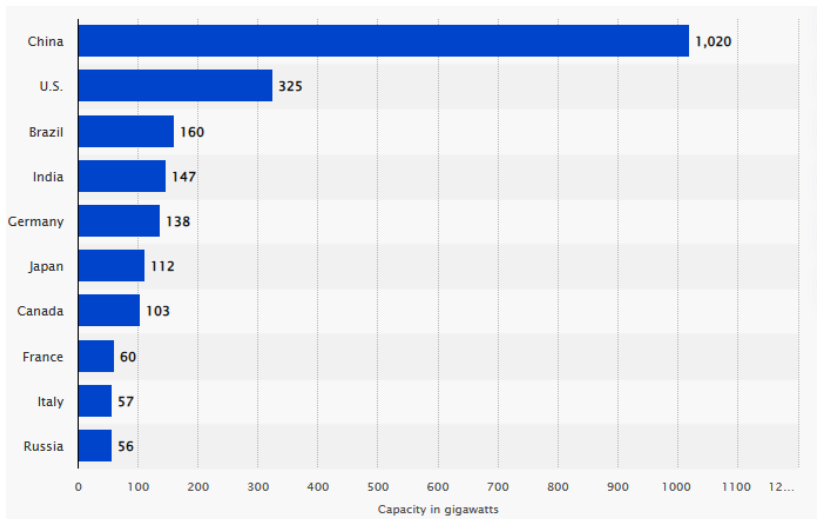


Рисунок 2.6 – Країни-лідери за встановленими потужностями відновлюваної енергетики в усьому світі у 2021 році (у гігаватах) згідно статистичних даних Statista [57]

Політична підтримка цієї галузі в США також носить характер невизначеності, що створює перепони для виробників та інвесторів, які шукають довгострокових перспектив

Німеччина є провідним європейським ринком вітрової енергії із загальною потужністю понад 63 ГВт. У 2021 році загальна частка енергії вітру становила близько 23 відсотків (нетто) у виробництві електроенергії в Німеччині [55].

Іспанії займає наступне після Німеччини місце і демонструє трохи менший потенціал.

Індія стала однією з перших країн, що впровадили вітряні електростанції у великому масштабі.

Збільшений попит на енергію спровокувало зростаюче населення і високі темпи зростання промисловості. З відсутністю достатньої кількості енергетичних ресурсів, ця країна змушена інвестувати кошти в відновлювальні джерела енергії.

Італійські виборці провели референдум в 2011 році, де рішуче виступили проти будівництва АЕС. Тому для країни,

залежної від імпорту викопного палива, стало доцільно вкладати кошти в вітряну енергетику.

Франції зайняти сьому позицію в світовому рейтингу за потужністю вітряної енергетики. Тепер, французькі компанії освоюють технології виробництва та впровадження вітряних турбін.

Канади щодо енергії вітру знаходить реалізацію в окремих провінціях. У цілому, потужність вітрових електростанцій в цій країні налічує більш ніж 5,5 ГВт. Програма енергії вітру, зокрема втілюється в провінціях Онтаріо і Нова Шотландія, де застосовують спеціальні стимули для громад інвесторів. У Канаді ведуться роботи згідно створення великих вітрових установок із вертикальною віссю (ротор Даріні).

Бразилія відзначилася дуже високими темпами зростання вітряної енергетики, тому вона увійшла до цього списку. Енергія вітру здатна сприятливо впливати на електроенергетичний комплекс в країні і замінювати газові, атомні, вугільні та гідроелектростанції.

Цей рейтинг був би не повним без включення до нього Данії. Згідно з останніми підрахунками, в цій країні кількість енергії вітру досягла 31,6% на 2020 рік та 46,8 відсотків від усієї споживаної електрики на 2021 рік, а до 2025 року цей показник планують підвищити до 50 - 75 відсотків [50,51,52].

Датчани дуже вміло інтегрують енергію вітру в свою енергетичну систему. В одному з муніципалітетів електроенергія більш ніж на 100 відсотків надходить з поновлюваних джерел, а весь надлишок витрачається на опалення. У вересні 2021 року Данія ввела в експлуатацію найбільшу в Скандинавії вітроелектростанцію. Завдяки 72 офшорним вітряним турбінам і потужністю, яка відповідає річному споживанню енергії приблизно 600 000 домогосподарствами Данії, Kriegers Flak є найбільшою морською вітряною електростанцією в Данії та Скандинавії [53].

Окрім того уряди Німеччини і Данії узгодили запуск масштабного вітроенергетичного проекту у Балтійському морі. Так званий «Енергетичний острів Борнхольм» має об'єднати кілька вітряних парків. Енергія, яку він вироблятиме,

розподілятиметься між двома країнами. Проект генеруватиме понад 3 ГВт, що дозволить забезпечити близько 4,1 мільйона домогосподарств. Введення його в експлуатацію орієнтовно заплановано на 2030 рік [54].

Скласти рейтинг з 10 країн було не так просто. Виходячи з даних WWEA, що враховують питому вагу вітряної енергетики в загальній енергетичній промисловості Гсенгер також хотів включити в цей список Румунію за високі темпи зростання і Португалію, в якій загальна потужність вітряної енергетики трохи нижче, ніж у Канаді.

Країни Латинської Америки і Африки встановлюють свої перші вітрові електростанції. Такий розвиток ринку спричинить за собою зростання конкуренції і кращі ціни для споживачів.

У багатьох розвинених країнах існують Державні програми розвитку поновлюваних джерел енергії, в тому числі і вітроенергетики.

Завдяки цим програмам фінансуються науково-технічні, енергетичні, екологічні, соціальні і освітні програми. Генераторами проектів поновлюваних джерел енергії в Європі є дослідницькі центри (Riso, SERI (у даний час NREL), Sandia esp, TNO, NLR, FFA, D(FV) LR, CIEMAT і ін.), університети і зацікавлені компанії.

За твердженням Південної Кореї, близько 2,5 ГВт або 71% доступної на сьогоднішній день сукупної офшорної (берегової) потужності.

В листопаді минулого року Міністерство економіки знань Південної Кореї представило новий проект величезної вітряної ферми, яка буде побудована вздовж південно-західного узбережжя країни, – проект, який вже називають найбільшим вітроенергетичним об'єктом у світі будь то на суші або на морі.

2.5 Конструкція, склад та принцип роботи вітроелектростанцій

Згідно ЗУ «Про альтернативні джерела енергії»: вітрова електроустановка – електрична установка, що перетворює кінетичну енергію вітру в електричну енергію,

а вітрова електростанція – група вітрових електричних установок або окрема вітрова електроустановка, устаткування і споруди, розташовані на певній території, які функціонально пов'язані між собою і становлять єдиний комплекс, призначений для виробництва електричної енергії шляхом перетворення кінетичної енергії вітру в електричну енергію. Отже, якщо скорочено, то можна дати визначення, приведені нижче.

Вітрова електростанція (ВЕС) – електростанція, яка за допомогою вітрової турбіни перетворює механічну енергію вітру на електричну. З другої сторони вітрова електростанція – це система відновлюваної енергетики, оскільки вітер – відновлюване джерело енергії.

Вітрові електростанції за допомогою вітрової турбіни перетворюють механічну енергію вітру на електричну. Вони призначені для вироблення електроенергії за допомогою потоків повітря. Відповідно, чим вітер постійно дме, тим більше енергії можна виробити за допомогою вітрової станції.

Для нормальної роботи вітрової станції потрібний вітер 6-10 м/с. При менших потоках повітря виробленої енергії буде менше а то й зовсім не буде, при більших потоках (більше 13м/с) також буде не ефективно або станція працювати не буде. Також чим потужніша станція, тим більша її економічна доцільність.

2.5.1 Конструктивні особливості вітроелектростанцій

Сучасні вітроенергетичні установки – це складний автоматизований електромеханічний комплекс перетворення енергії вітру в електричну енергію.

За місцем установки розрізняють такі типи вітрових електростанцій:

- 1) наземний (вітрогенератори встановлюються на пагорбах);
- 2) прибережний (на невеликій відстані від берега моря);
- 3) офшорний (їх будують у морі за 10-12 кілометрів від берега) (рис. 2.6, а);

4) плаваючий (рис. 2.6, б).

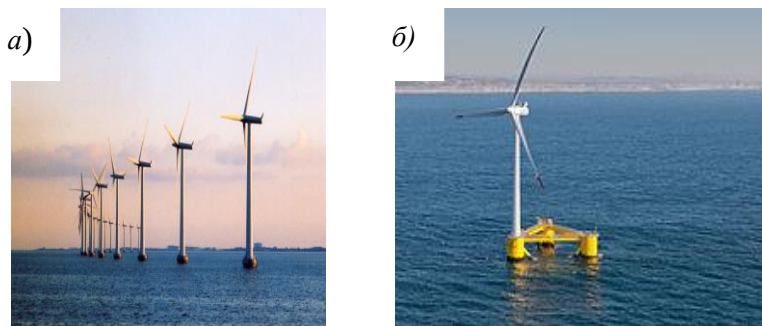


Рисунок 2.6 – Різновиди встановлення ВЕС на воді:
а) офшорні вітростанції Данії; б) плаваючий вітрогенератор WindFloat у Португалії

Існують дві принципово різні конструкції вітроустановок: з горизонтальною та вертикальною віссю обертання.

Горизонтальні ВЕУ середньої потужності і мегаватного класу мають швидкохідне колесо у більшості випадків з 2-3 лопатями. Установки досягають максимальної потужності при значних обертах вітроколеса і тому використовуються для приводу електрогенератора, якому необхідна висока частота обертання.

ВЕУ зі значно більшою кількістю лопатів розвивають значну потужність при відносно слабкому вітрі, і максимум потужності досягається при невеликих обертах колеса. Такі установки раціонально використовувати як привод водяних насосів.

У світі більшість з вироблених та встановлених складають саме вітрогенератори з горизонтальною віссю. Горизонтальні вітряки з потужністю від 1кВт до кількох мегават впроваджуються по всьому світу. Розвинені технології і конструктивна надійність гарантують стабільний попит на горизонтальні вітрогенератори.

Однолопатеві вітрогенератори мають одну лопать і протизагу (рис. 2.7), що виконує роль балансуєчого механізму.

Перевагою однолопатевих роторів, в порівнянні з багато-лопатевиими, є їх більш висока швидкість обертання за рахунок більш низького моменту інерції.

Це дозволяє використовувати в їх схемі прямоприводні синхронні електрогенератори, розраховані на більш високі швидкості обертання, і як наслідок, мають менші розміри та вагу. Крім цього, ротор цієї конструкції має більш низьку вартість за рахунок зменшення числа лопатей.



Рисунок 2.7. – Однолопатевий вітрогенератор

Двухлопатеві вітрогенератори мають ті ж переваги, що й однолопатеві (рис. 2.8). Ще однією безумовною перевагою цих вітрогенераторів є врівноваженість ротора при будь-якому кутовому положенні лопатей. Ця їх перевага знайшло застосування в самопідйомних вітрогенераторах малого та середнього діапазону потужностей.



Рисунок 2.8 – Двлопатеві вітрогенератори

При підйомі з землі або опусканні на землю самопідйомні дволопатеві вітрогенератори, площа їх ротора, при будь-якому кутовому положенні лопатей буде прагнути займати горизонтальне положення, що значно спрощує технологію процесу підйому або опускання цих ВЕУ.

Трилопатеві горизонтально-осьові ВЕУ є найбільш поширеними з пропонованих на ринку вітряків (рис. 2.9). Їх номінальна потужність складає від декількох ватів до 7 МВт.

Всі вітроенергетичне обладнання великої потужності (від 500 кВт і вище) представляють трилопатеві горизонтально-осьові вітрогенератори.



Рисунок 2.9 – Трилопатеві ВЕУ

На сьогоднішній день, вітроустановкою, що має найбільшу номінальну потужність, є трилопатева Enercon E-126, номінальною потужністю 7 МВт.

Багатолопатеві ВЕУ (рис. 2.10) мають велику кількість лопатей, яке у деяких моделей може досягати 50 одиниць. Ротор цих вітрогенераторів має великий момент інерції, внаслідок чого, має більш низькі швидкості обертання, але при цьому, розвиває більш високий крутний момент. Ця їхня особливість є перевагою при роботі в вітронасосних системах, саме в цій галузі промислового застосування вони зайняли нішу.

В Австралії розроблена вітрова турбіна, що має 30 лопатей. Вона працює і з низькошвидкісним вітром, не видає особливого шуму або вібрацій і при цьому виробляє на 30% більше енергії, ніж вітряки-конкуренти.



Рисунок 2.10 – Багатолопатеві ВЕУ

Вертикальні вітрогенератори використовують, як і горизонтальні вітрогенератори, в місцях, де є перебої в забезпеченні електроенергією або воно відсутнє за умов наявності достатнього вітрового потенціалу, якщо середньорічна швидкість вітру не менше 4-5 м/с.

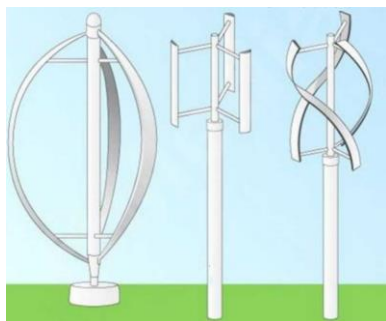
Вітрогенератори з вертикальною віссю обертання коштують дорожче, ніж такі ж з горизонтальною віссю, мають більш складну конструкцію, але більш пристосовані до місцевості з частою зміною напрямку вітру. Вітрогенератори з вертикальною віссю обертання є більш компактними.

Є два основні види вітрогенераторів з вертикальною віссю обертання: ротор Савоніуса і ротор Дар'є (рис. 2.11). Вітрогенератори вертикально-осьові відрізняються меншим, порівняно з горизонтальними генераторами, рівнем шуму та починають працювати при менших початкових швидкостях вітру.

Загальна середньорічна продуктивність вертикально-осьових вітряків орієнтовно така сама як і у горизонтальних вітрогенераторів такої ж потужності.

Вітрогенератор Савоніуса має низький коефіцієнт використання енергії вітру в порівнянні із звичайними

вітрогенераторами, більшу матеріалоемність, але має перевагу в роботі з вітрами будь-яких напрямків.



а)



б)



в)

Рисунок 2.11 – Вертикальні ВГ:

а) ротор Дар'є типу Н, гвинтоподібний ротор Дар'є; б) Н-ротор Дар'є;
в) ротор Савоніуса

2.5.2 Інноваційні вітрогенератори

Дослідники з Делфтського технічного університету (Нідерланди) експериментують з новим типом установки, що одержує електричну енергію з вітру. Це не звичайна вітряна турбіна (рис. 2.12) лопатей немає, немає і осі їх обертання.

Автори називають своє дітище «електростатичним перетворювачем енергії вітру» (Electrostatic Windenergy Converter) – і у цьому вся суть.



Рисунок 2.12 – Електростатичний перетворювач енергії вітру

Система використовує попередньо електрично заряджені краплі води, які здуваються вітром з сітки сталевих труб, перпендикулярних напрямку повітряного потоку. Коли вітер відносить краплі, у навколишній трубі рамки виникає електричний струм, пропорційний силі вітру.

Система працює при будь-якому напрямку вітру і у конструктивному сенсі надзвичайно проста: немає рухомих частин.

Компанія SheerWind розробила оригінальну вітроелектро-станцію. Вітряк під назвою INVELOX відрізняється не звичайним дизайном і являє собою вигнуту трубу змінного перерізу, яка ефективно утилізує енергію вітру (рис. 2.13).

Фактично, INVELOX — це набір повітрязабірників, які захоплюють вітер і через трубу, що звужується, підводять повітряний потік до лопатей електрогенератора.

Подібна конструкція має масу переваг:

- конструкція безпечна, оскільки немає величезних відкритих лопатей;
- проста у спорудженні та експлуатації;
- на виході з турбіни виходить корисний (наприклад для вентиляції автомобільних тунелів) потік повітря, який є більш швидким ніж вихідний вітер.



Рисунок 2.13 – Вітряк INVELOX

Вітряк INVELOX займає небагато місця і видає менше шуму, ніж звичні вітряки відкритими лопатями. Більше того, за заявою розробників, вітряк INVELOX буде виробляти набагато більше енергії.

Досягається це завдяки стисненню і прискоренню повітряного потоку, а також меншій масі рухомих частин. Так, якщо швидкість вітру складає 16 км/год, то у трубі вітряка вона виростає до 64 км/год, а на виході з турбіни – 24 км/год. У ході експериментів, ефективність INVELOX була на 81-660% вищою, ніж у звичайних вітряків.

Не виключено, що проста на вигляд конструкція вітряка-турбіни може змінити вигляд сучасної енергетики. Вітряки INVELOX масштабуються: їх можна використовувати, як у вигляді величезних промислових вітроелектростанцій, так і для енергозабезпечення окремого будинку.

У суворих умовах Аляски почалися випробування оригінальної мобільної надувної вітроелектростанції.

Розроблений компанією Altaeros Energies, вітряк BAT (Buoyant Airborne Turbine) приступив до перших 18-місячних випробувань в умовах, наближених до звичайної експлуатації (рис. 2.14). Вітряк BAT представляє собою надувний турбіну, виконану з газонепроникної і міцної тканини, наповненої гелієм.

Особливістю вітряка-аеростата є дуже низький рівень витоку гелію, завдяки чому аеростат може тривалий час перебувати на висоті до 600 м, забезпечуючи енергією більше десятка будинків. Крім того, передбачена можливість наповнення оболонки ВАТ воднем.



Рисунок 2.14 – Вітряк-аеростат

У ході випробувань на полігоні у штаті Мен, ВАТ легко витримав вітер зі швидкістю 72 км/год, при цьому, за розрахунками розробників, аеростат здатний витримати пориви вітру швидкістю до 160 км/год.

Використання ВАТ зменшує вартість вітрової енергії на величину до 90%. Цей вражаючий результат досягнуто завдяки зниженню витрат на транспортування і монтаж, а також у 2 рази більшій ефективності турбіни, яка працює на висоті зі стійкими сильними вітрами.

Після трагедії на атомній станції Фукусіма Японія вирішила повністю відмовитися від використання АЕС. Тому вчені з країни ранкового сонця, розробляючи технології для отримання електроенергії від поновлюваних джерел, намагаються зробити їх максимально ефективними.

На думку розробників, вітрова/приливна система допоможе не лише скоротити матеріальні витрати на обслуговування та експлуатацію, але і дозволить виробляти у два рази більше електроенергії ніж звичайна вітрова турбіна. Крім того, нова установка практично не матиме впливу на навколишнє середовище.

Габарити гібридної системи дуже солідні (рис. 2.15) – висота надводної частини (вітрова турбіна) складе 47 метрів, а підводна частина у діаметрі досягне 15 метрів. Кожен такий плавучий генератор забезпечить електроенергією близько 300 домогосподарств.

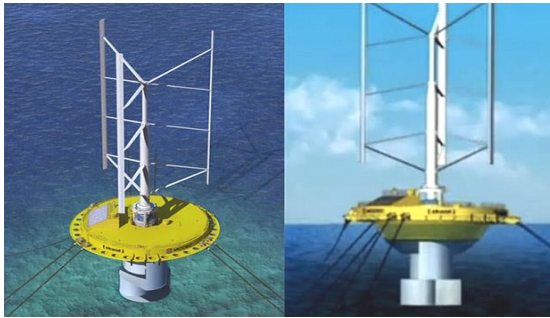


Рисунок 2.15 – Вітрова/приливна система

Будівництво першої партії нових енергетичних установок буде завершено у поточному році. Рішення про подальший розвиток проекту буде прийнято за результатами випробувань і тестів. Розвиток вітрогенерації залежить від швидкості і постійності вітру. Більшість вітрогенераторів зроблені таким чином, що починають розкручуватися при початковому вітрі 2,5-3 м/с.

Виріботок потужності, вказаної в паспорті генератора, можливий при швидкостях вітру понад 8 м/с.

На території України не так багато місцевостей, де є такі вітрові умови. Тому працюють новатори над новими конструкціями, що здатні працювати в «некомфортних» для вітрогенерації умовах. Таким винахідником є Олексій Оніпко,

котрий зробив діючу модель нового типу вітрогенератора, що здатний почати роботу при швидкості вітру менше 1 м/с.

Ця розробка відмічена відзнакою «Зелений Оскар». Така конструкція (рис. 2.16) дозволяє мати типорозміри для генерації в межах від 500 до 10000 Вт. При цьому рівень шуму низький, конструкція не потребує високої щогли.

Робоча поверхня турбіни нового типу ефективніша за площу класичної турбіни, відповідного діаметру. Крім підйомної сили крила, тут ще й використовується енергія тиску вітру. Сама турбіна може бути виготовленою з металу, скловолокна або пластику.



Рисунок 2.16 – Вітрогенератор Оніпко

2.5.3 Склад вітрових електростанцій

Основні компоненти системи, без яких робота вітряка неможлива, відносять наступні елементи (рис. 2.17).

Електрогенератор (генератор) – пристрій для вироблення електричної енергії. Сила струму і напруга генератора залежить від швидкості і стабільності вітру.

Лопаті – приводять в рух вал генератора завдяки кінетичній енергії вітру.

Щогла (вежа) – високий стовп, прямовисна (вертикальна) або похила конструкція, звичайно підтримувана розтяжками, призначена для встановлення генератора. Чим вище щогла, тим стабільніше і сильніше сила вітру.

Звідси слідує – чим вище щогла, тим вища продуктивність генератора. Щогли бувають різних форм і висот.

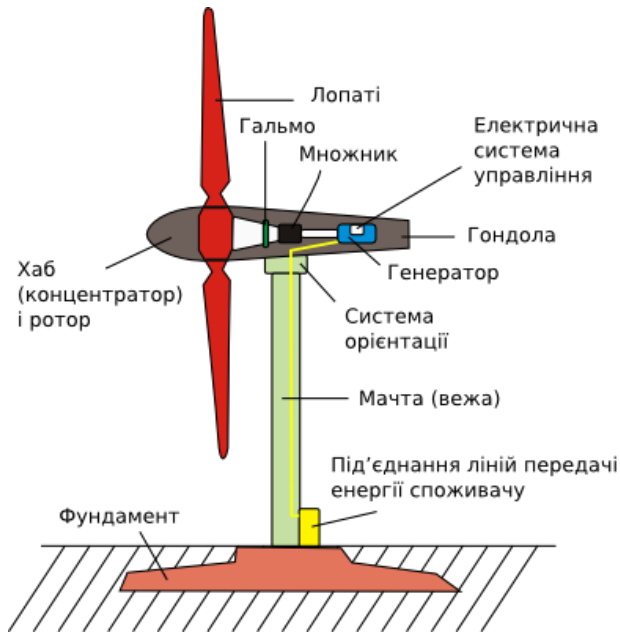


Рисунок 2.17 – Імпрізована ВЕС

Додаткові компоненти системи:

Контролер – керує багатьма процесами вітроустановки, такими, як поворот лопатей, заряд акумуляторів, захисні функції та ін.

Акумуляторні батареї – накопичують електроенергію для використання в безвітряні години. Також вони вирівнюють і стабілізують напругу, що виходить, з генератора.

Анемоскоп і датчик напрямку вітру (система орієнтації) – відповідають за збір даних про швидкість і напрям вітру в установках середньої і великої потужності.

АВР (автоматичне включення резерву) – автоматичний перемикач джерела живлення – робить автоматичне перемикавання між декількома джерелами електроживлення за проміжків в 0,5 секунд при зникненні основного джерела.

Інвертор – перетворює струм з постійного, який накопичується в акумуляторних батареях, в змінний, який надходить до споживачів.

2.5.4 Принцип роботи ВЕС

Принцип дії всіх вітроустановок однакова: під напором вітру обертається вітроколесо з лопатями, яке передає крутильний момент через систему передач валу генератора, що виробляє електроенергію. Реальний к.к.д. кращих вітрових коліс досягає 45% у разі стійкої роботи при оптимальній швидкості вітру.

За типом споживача розрізняють:

- автономні ВЕУ (off-grid);
- мережеві ВЕУ (on-grid).

Автономні ВЕУ використовуються з акумуляторами. Зазвичай через не постійність вітру вони використовуються спільно з мережею, дизель-генераторами чи сонячними панелями. У випадку використання мережевих, ВЕУ працюють спільно з мережею, але не вимагають акумуляування електроенергії.

Надлишки енергії вітру спрямовуються в загальну мережу [32].

На рис. 2.18...2.20. зображені схеми вітрогенераторних систем із споживачем (об'єктом). Це усього лише деякі приклади, тому можливі і інші схеми роботи.

Автономна вітроустановка. На рис. 2.18. зображено структурну схему автономного забезпечення об'єкта з акумуляторами.

Об'єкт живиться тільки від вітроенергетичної установки.

Знаходить широке застосування для енергозабезпечення приватних будинків, баз відпочинку, пансіонатів в гористій і степовій місцевості, індивідуальних споживачів (фермерів, садівників, дачників, мисливців, рибалок), а також навігаційних, метеорологічних та інших постів безперебійним живленням в польових умовах.

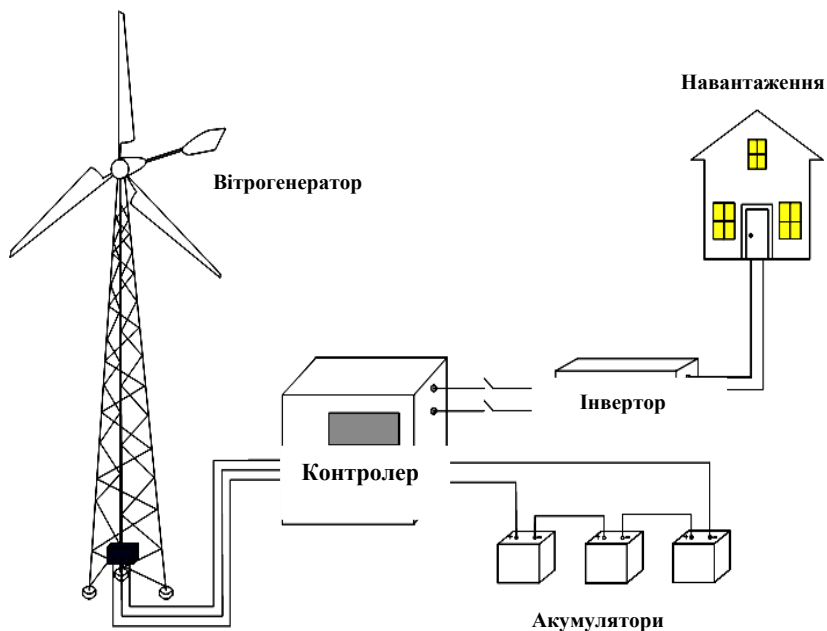


Рисунок 2.18 – ВЕС з акумуляторами

Вітросонячна (гібридна) установка. Енергії вітру і сонця можуть відмінно доповнювати або замінювати один одного. Так звані гібридні системи (рис. 2.19) електропостачання особливо ефективні для цілорічного автономного електропостачання.

Ці системи являють собою станції на базі вітрогенераторів і фотоелектричних модулів приєднаних до єдиної енергосистеми. Продуктивність фотоелектричних батареї досить висока влітку і відносно низька взимку.

У свою чергу, забезпечення електроенергією, виробленою за рахунок енергії вітру, в літній час є проблематичним через частих безвітряних днів.

Тому переваги гібридної системи “вітер-сонце” стає очевидним.

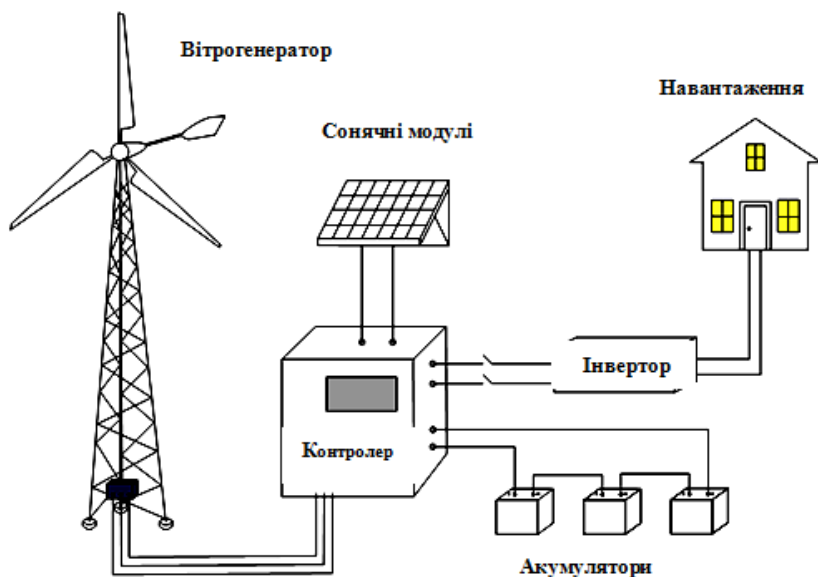


Рисунок 2.19 – Гібридна ВЕС

Вітроустановка з підключенням до мережі Вітрогенератор з накопиченням електроенергії в акумуляторах може працювати і паралельно з мережею (рис. 2.20). Паралельна робота здійснюється за допомогою пристрою АВР (автоматичне введення резерву).

АВР дозволяє перемкнути живлення об'єкту за відсутності вітру і повному розряді акумуляторів на електромережу або навпаки, перемикає навантаження на акумуляторні батареї при втраті живлення електромережі.

Пріоритет може встановлюватися в ручну залежно від специфіки об'єкта.

Таке рішення знаходить широке застосування на об'єктах які підвладні частим відключень електромережі, або його якість не задовольняє споживачів. Система так само може бути встановлена для збільшення потужності і для економії електроенергії.

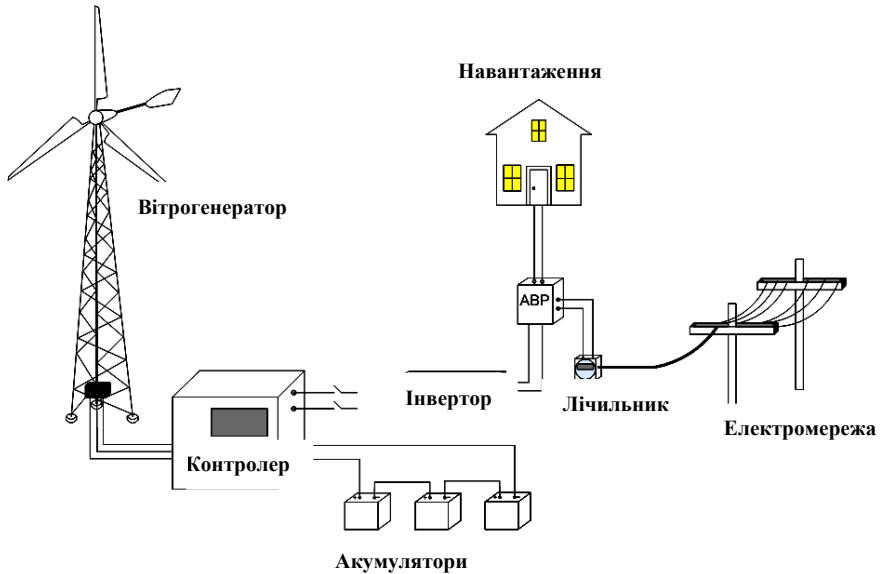


Рисунок 2.20 – ВЕС з підключенням до мережі

Збільшення продуктивності системи можливе при встановленні двох і більше генераторів, інверторів і комплекту акумуляторів для збільшення потужності системи. Оскільки вітер може змінювати свою силу і напрям, вітрові установки обладнуються спеціальними пристроями контролю і безпеки.

Ці пристрої складаються з механізмів розвороту вісі обертання за вітром (віндроза), нахилу лопатей відносно землі при критичній швидкості вітру, системи автоматичного контролю потужності та аварійного відключення для установок великої потужності.

2.5.5 Наближений розрахунок потужності вітрогенератора

При підборі генератора електричного струму для ВЕС перш за все потрібно визначити частоту обертання вітроколеса.

Розрахувати частоту обертання вітроколеса ϖ (при навантаженні) можна за формулою:

$$\varpi = V \cdot L^{-1} \cdot Z \cdot 60, \text{ об/хв}, \quad (2.3)$$

де V – швидкість вітру, м/с; L – довжина кола, м; D – діаметр вітроколеса; Z – показник швидкохідності вітроколеса (табл. 21.). Довжину кола визначаємо за формулою:

$$L = \pi \cdot D, \text{ м}. \quad (2.4)$$

Таблиця 2. 2– Показник швидкохідності вітроколеса

Число лопатей	Показник швидкохідності Z
1	9
2	7
3	5
6	3
12	1,2

Перед вибором вітроелектростанції, слід дізнатися, яким чином потік повітря трансформується в електричну енергію і скільки такої енергії можна буде отримати на обраній ділянці.

За наведеною формулою можна розрахувати потужності вітрогенератора P :

$$P = \xi \cdot \pi \cdot R^2 \cdot 0,5 \cdot v^3 \cdot \rho \cdot \eta_{ред} \cdot \eta_{ген}, \quad (2.5)$$

де ξ – коефіцієнт використання енергії вітру (в номінальному режимі для швидкохідних вітряків досягає максимум $\xi_{\max} = 0,4-0,5$), безмірна величина; R – радіус ротора, м; V – швидкість повітряного потоку, м/с; ρ – щільність повітря, кг/м³; $\eta_{ред}$ – ККД редуктора, %; $\eta_{ген}$ – ККД генератора, %.

Приклад виконання розрахунків:

Для наступних даних: $D = 2$ м; кількість лопатів – 6;
 $V = 3$ м /с.

Підставляємо дані в формулу (1.1). Якщо в цю формулу підставити дані для вибраного вітроколеса діаметром 2 м і 6 лопатями, то отримаємо частоту обертання.

$$W = \frac{V}{\pi \cdot D} \cdot Z \cdot 60 = \frac{3}{3,14 \cdot 2} \cdot 6 \cdot 60 = 57,3 \text{ об/хв.}$$

Наступним кроком для вирішення цього питання буде визначення для цього необхідної потужності вітрогенератора.

Приклад виконання розрахунків:

для наступних даних:

$\xi = 0,45$; $R = 2$ м; $V = 3$ м / с; $\rho = 1,25$ кг/м³; $\eta_{ред} = 0,9$;
 $\eta_{ген} = 0,85$.

$$P = 0,45 \pi \cdot 2^2 \cdot 3^3 \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 0,9 \cdot 0,85 = 417 \text{ Вт.}$$

2.6 Сучасний стан і перспективи розвитку вітроенергетики в Україні

Україна характеризується достатньо високими енергетичними потенціалами вітрового потоку в Карпатах, в АР Крим, на узбережжях Чорного й Азовського морів, де середньорічні швидкості вітру на висоті 10 м становлять 5 і більше метрів за секунду, що ставить вітрову енергію на перше місце серед відновлюваних джерел для виробництва електричної енергії.

В Україні на сьогодні введено в експлуатацію одинадцять промислових вітроелектричних станцій. Нині вітроелектростанції комплектуються вітроустановками потужністю 600 кВт з високими техніко-економічними показниками. Україна на цей момент займає лідируючу позицію в галузі системної вітроенергетики серед країн СНД, але значно поступається країнам Західної Європи. Прогнозовані показники розвитку вітроенер-

гетики в Україні до 2030 року подано в таблиці 2.3. Для досягнення таких показників необхідне формування національної енергетичної політики за допомогою створення законодавчо-правової й нормативно-технічної бази відновлюваної енергетики, в тому числі створення системи її стимулювання.

Таблиця 2.3 – Показники розвитку вітроенергетики в Україні до 2030 року

Найменування	Одиниці виміру	2001	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Встановлені потужності	МВт	38,4	80	750	3490	5440	8090	11290
Обсяги експлуатації паливно-енергетичних ресурсів	тис.т у.п./рік	14,4	63	591	2751	4289	6378	8901

Можна наголосити на обставинах, які позитивно впливають на розвиток вітроенергетики в Україні, а саме:

- створення Міжгалузевого науково-виробничого центру вітроенергетики у складі Національної академії наук України (2000 рік);

- наявність в Україні фірм-виробників ВЕУ, найпомітнішими з яких є: «Уінденерго ЛТД» (м. Київ), Державне конструкторське бюро «Південне» (м. Дніпропетровськ), ПФГ «Конкорд», «Альтекс», «ЕСО», «Світ вітру».

На сьогодні виготовлення й установлення автономних ВЕУ не зовсім задовольняють потреби України і потребує додаткових інвестицій.

2.7 Переваги та недоліки вітроенергетики

Як відомо, кожна медаль має дві сторони – переваги та недоліки такого виду альтернативних джерел енергії, як вітрова.

Переваги:

1. Екологічно чистий вид енергії. Виробництво електроенергії за допомогою вітру не супроводжується викидами вуглекислого чи будь-якого іншого газу.

2. Вітрові електростанції займають мало місця і легко вписуються в будь-який ландшафт, а також відмінно поєднуються з іншими видами господарського використання території.

3. Відновлювана енергія. Енергія вітру, на відміну від викопного палива, невичерпна.

4. Краще рішення для важкодоступних місць. Для віддалених місць встановлення вітрових електрогенераторів може бути найкращим і найдешевшим рішенням.

5. Енергія вітру доступна практично в будь-якій країні й не залежить від коливання цін на викопне паливо, запаси якого невинно скорочуються.

За останні десятиріччя вартість вітрових електроустановок (ВЕУ), витрати на їх встановлення і обслуговування значно знизилися.

В майбутньому ці витрати продовжуватимуть зменшуватися. Встановити невелику ВЕУ можуть дозволити собі навіть кінцеві споживачі, особливо в тих країнах, де існують дотації та пільги на розвиток вітроенергетики.

Недоліки:

1. Нестабільність. Нестабільність полягає в відсутності гарантій отримання необхідної кількості електроенергії. На деяких ділянках суші сили вітру може виявитися недостатньо для вироблення необхідної кількості електроенергії.

2. Відносно невисокий вихід електроенергії. Вітрові генератори значно поступаються у виробленні електроенергії дизельним генераторам, що призводить до необхідності встановлення відразу декількох турбін. Крім того, вітрові турбіни неефективні в період пікових навантажень.

3. Висока вартість. Вартість установки потужністю 1 МВт становить один мільйон доларів. Відносно високі питомі інвестиції у вітроенергетичні проекти в порівнянні з традиційними галузями енергетики, що працюють на викопному паливі.

4. Географічні обмеження. Одне з основних обмежень розвитку вітроенергетики – це необхідність розташування установок у певних районах із високою інтенсивністю вітру. Інше обмеження полягає в необхідності виведення з експлуатації земель, які могли б бути використані під інші види господарської та природоохоронної діяльності

2.8. Вітрова енергетика та довкілля

Вітрові електростанції створюють шум високої частоти, який негативно діє на біоту. ВЕС потребують великих земельних ділянок для свого розміщення.

Вітрові генератори не можуть бути близько один до одного, тому що внаслідок інтерференції їх потужність буде зниженою). Вітрові електростанції вимагають приблизно 0,1 км² вільного простору на 1 мегават номінальної потужності.

Шум викликає постійний пригнічений стан, сильне занепокоєння і життєвий дискомфорт. Як показав досвід експлуатації великої кількості вітряних установок у США, цей шум не витримують ні тварини, ні птахи, залишаючи район розміщення станції, тобто території самої вітрової станції, що примикають до неї, стають непридатними для життя.

Вплив на морських ссавців (дельфіни, тюлені, кити) невеликий. У період експлуатації під час передачі електроенергії по підводному кабелю риб і донних тварин може виникнути реакція відлякування і тоді кабельна лінія стане перешкодою для міграції риб. Що ж до впливу птахів, їх загибель птахів становить 0,3-0,4 птиці на 1 гігават-годину електроенергії, що з території США відповідає близько 70 тис. птахів на рік. Шумовий та візуальний вплив відносно невеликий. Через відображення радіохвиль УКХ- та НВЧ-діапазону від лопатей, що рухаються, порушується нормальна робота навігаційного обладнання авіалайнерів і утруднюється прийом телевізійних передач [30].

Але основними потенційно небезпечними видами впливу ВЕС – це є їх вплив на птахів:

- зіткнення з рухомими лопатями ВЕУ та частин суміжних конструкцій, зокрема лініями електропередач, або з повітряним потоком за турбіною, що може призводити до поранення збільшення смертності;

- турбування, пов'язане з переміщенням із зони навколо ВЕУ або з усієї території навколо вітрової електростанції (ВЕС). У результаті вимушеного переміщення, якщо птахи не в змозі знайти альтернативні придатні місця існування, може спостерігатися зменшення успішності розмноження або виживання;

- бар'єри переміщенню, що порушують екологічні зв'язки між територіями живлення, зимівлі, розмноження та линяння, а також подовжений час перельотів, пов'язаний із переміщенням навколо ВЕУ, що призводить до збільшення споживання енергії та може знижувати пристосованість до умов існування.



Запитання для самоконтролю

1. Де використовувалася людиною енергія вітру з прадавніх часів?
2. Існують дані про те, що водяні млини в Україні з'явилися...
3. Які типи вітряків існували наприкінці XIX сторіччя в Україні?
4. Піонером в будівництві ВЕС була...
5. Хто зробив важливий крок переходу від вітряних млинів до вітроенергетичних установок?
6. Вітротурбіни, що з'явилася в 30-х роках минулого століття, була вертикальна вітротурбіна, запропонована...
7. На чому спеціалізується вітроенергетика?
8. Вітер характеризується наступними показниками...
9. Кінетична енергія вітрового потоку дорівнює...
10. ККД для найкращих вітряних колес досягає ...
11. Піонером будівництва ВЕС був видатний український вчений...
12. У яких роках отримала друге дихання вітроенергетика?
13. Процес будівництва української вітроенергетики відродився у...
14. Застосування вітроустановок для виробництва електроенергії в промислових масштабах найбільш ефективно в регіонах України, де середньорічна швидкість вітру...
15. Які країни за даними WWEA входять до десятки?
16. Існують дві принципово різні конструкції вітроустановок...
17. Які існують види горизонтальних вітрогенераторів?
18. Види вертикальних вітрогенераторів...
19. Інноваційні вітрогенератори...
20. Які основні компоненти системи, без яких робота вітряка неможлива...
21. Додаткові компонентів вітросистеми...
22. Переваги вітроенергетики...
23. Які недоліки вітроенергетики?

Розділ 3

МАЛА ГІДРОЕНЕРГЕТИКА



Мала гідроенергетика життєва необхідність

Мала гідроенергетика України

Мала гідроенергетика розвинутих країн світу

Міні та мікро- ГЕС

Енергія коливань хвиль

Недоліки малої гідроенергетики

*Шляхи прискорення темпів розвитку малої
гідроенергетики в Україні*

Електроенергія – важлива складова нашого життя. Виробництво, обмін, передача інформації, якість життя. Все знаходиться в прямій залежності від джерела електрики. Коли людина хоче піти від цивілізації, його пов'язує невидима нитовина залежності від електричної енергії. Вчені підраховали, що через 5-6 десятик років людство чекає енергетичний криза. Він пов'язаний з виснаженням запасів вугілля, нафти і природного газу. Саме тому так бурхливо розвивається альтернативна енергетика.

3.1 Мала гідроенергетика – основа нетрадиційних відновлювальних джерел

Мала гідроенергетика, яка є найбільш освоєною з нетрадиційних відновлювальних джерел електроенергії, дозволяє використати значний гідроенергетичний потенціал малих рік і приток, систем водопостачання, іригації з видачею електроенергії в енергосистему, а в багатьох випадках забезпечити локальне електропостачання віддалених районів або населених пунктів, особливо в недостатньо розвинених країнах і в країнах, що розвиваються, з обмеженою системою централізованого електропостачання.

До переваг малих ГЕС відносяться порівняно невеликий об'єм інвестицій і короткий термін будівництва, що дозволяє прискорити отримання прибутку, забезпечити мінімальну дію на довкілля, надійність і близькість до споживача.

До об'єктів малої гідроенергетики відносяться малі ГЕС згідно міжнародної класифікації потужністю до 30 МВт (в Швейцарії, Україні не більше 10 МВт), міні- ГЕС – від 0,1 (в Україні від 0,2) до 1,0 МВт, мікро- ГЕС – не більше 0,1 (в Україні не більше 0,2) МВт.

Мала гідроенергетика є технологічно освоєним способом виробництва електроенергії, що має досить гарантований поновлювальний енергоресурс та невелику собівартість виробництва електроенергії серед традиційних паливних і більшості нетрадиційних технологій її виробництва. За оцінками Світової енергетичної ради, економія органічного палива завдяки малій гідроенергетиці в загальному виробництві енергії на 2020 рік буде становити 69 і 99 млн т у. п. для відповідно мінімального й максимального варіантів розвитку. Існують цілі регіони, де зайнятість населення і його життєві блага безпосередньо залежать від своєчасної доставки органічного палива, у той час як у більшості з них є невичерпні запаси надійного поновлюваного джерела електричної енергії – води. Реальним виходом з такої ситуації може стати відновлення ролі малої гідроенергетики як альтернативного джерела енергії.

Сучасний рівень техніки дає змогу створювати обладнання для малих, міні- та мікро- ГЕС, що при роботі на незалежного споживача забезпечує якість електричної енергії, яка не поступається за своїми параметрами електроенергії великих теплових і гідроелектростанцій.

Малу гідроенергетику, в першу чергу, варто використовувати у віддалених і важкодоступних районах, де немає ліній електропередачі, а постачання органічного палива пов'язане з великими часовими, технічними й фінансовими труднощами.

Всю територію країни важко повністю охопити мережею централізованого електропостачання, тому, з урахуванням особливостей території, доцільно максимально використовувати природне екологічно чисте поновлювальне джерело енергії – воду, відновивши старі та спорудивши нові малі та міні- ГЕС, які могли б успішно забезпечувати споживачів дешевою електричною енергією. Тим більше, що сучасний рівень техніки дозволяє створювати устаткування для мікро і малих ГЕС, що забезпечує якість електричної енергії при роботі на ізольованого Споживача – не поступається за своїми параметрами якості електроенергії, виробленої великими тепловими та гідроелектростанціями.



Рисунок 3.1 – Ладизинська ГЕС

3.2 Енергія води

Для потреб людини найчастіше використовується енергія падаючої води. Величина цієї енергії перебуває у прямій залежності від висоти падіння.

Для підвищення різниці рівнів води, особливо в нижніх течіях річок, споруджуються греблі. Енергія води є привабливою оскільки вона є дешевшою від енергії, яка отримується при спалюванні палива чи ядерної енергії.

Енергія рухомої води здавна використовувалась для приведення в обертання лопатевих (водяних) коліс та турбін.

Джерело енергії води оцінюється величиною доступної потужності, тобто енергії, що надходить за одиницю часу. При використанні води, що спадає з певної висоти доступна потужність пов'язана із гідравлічним перепадом висот, витратою води та швидкістю її руху.

У випадку, коли вода тече із водосховища чи озера гідравлічним перепадом є різниця рівнів між дзеркалом водної поверхні верхнього накопичувача води та виходом турбіни і гідростатичний тиск у нижній частині, що спричиняється висотою стовпа води.

Потенціальна енергія E , що вивільняється при падінні тіла масою m з висоти h в умовах гравітації з прискоренням вільного падіння g буде становити:

$$E = mgh. \quad (3.1)$$

ГЕС використовує енергію, що вивільняється під час контрольованого спаду води із певної висоти. Енергія, яка вивільняється за певний час залежить від кількості води що пройшла за цей час:

$$\frac{E}{t} = \frac{m}{t} \cdot gh. \quad (3.2)$$

Замінивши символом потужності P відношення та $\frac{E}{t}$ виразивши відношення $\frac{m}{t}$ через витрату і густину води ρ , отримаємо вираз:

$$P = \rho Qgh, \quad (3.3)$$

де Q – об’ємна витрата води (об’єм води, що протікає за одиницю часу); ρ – густина води, кг/м³; Q – м³/с, прискорення вільного падіння g – м/с², h , м; потужність P , Вт.

Деякі види водяних коліс, наприклад нижньобійне, використовують енергію потоку води, не вимагаючи великого гідравлічного перепаду. У цьому випадку використовується кінетична енергія потоку води. Теоретично максимальна потужність такого джерела становить:

$$P = 0,5\rho Qgv^2, \quad (3.4)$$

де v – середня швидкість потоку води (м/с). Така віддача у реальних умовах є недосяжною, так як відбір усієї кінетичної енергії води означав би її зупинку.

Фактично доступна потужність зумовлюється ступенем сповільнення потоку через колесо (різниці середньої швидкості потоку безпосередньо перед і за колесом). Водяні колеса наливне (верхньобійне) та середньобійне використовують як потенціальну так і кінетичну енергію струменя води

Валовий теоретичний гідроенергетичний потенціал річок світу оцінюється в 39100 млрд кВт. год.

Технічний гідроенергетичний потенціал характеризує ту частину водної енергії, яку можна використати технічно. При визначенні технічного гідроенергетичного потенціалу враховуються всі втрати, пов’язані з виробництвом електроенергії, включаючи неможливість повного використання стоку, що викликана недостатньою ємністю водоймищ і обмеженням потужності ГЕС

У зв’язку з обмеженням використанням верхових і низових ділянок річок з малою потенційною потужністю, втратами на випаровування з поверхні водоймищ та на фільтрацію з водоймищ, втратами напору й потужності в проточному тракті й енергетичному устаткуванні ГЕС.

Економічно-ефективний гідроенергетичний потенціал визначає ту частину технічного потенціалу, яку в цей час економічно доцільно використовувати. Слід зазначити умовність визначення економічно ефективного потенціалу, тому що він базується на техніко-економічному порівнянні з альтернативними джерелами електроенергії, якими виступають теплові електростанції, і не враховує досить повно ефективність комплексного використання водних ресурсів.

Світовий технічний гідроенергетичний потенціал (на рівні 2008 р.) оцінюється в 14650 млрд кВт·год, а економічно ефективний – у 8770 млрд кВт·год. В Україні економічно ефективний гідроенергетичний потенціал використаний на 60 %/ В останні десятиріччя проводяться широкомасштабні дослідження практичного використання значного потенціалу течій в морях і океанах, які поділяють на неперіодичні, мусонні (пасатні) й припливно-відпливні.

3.3 Історична довідка створення малої гідроенергетики

Вода, ще в стародавності використовували для здійснення механічної роботи, дотепер залишається добрим джерелом енергії – тепер вже електричної – для промислової цивілізації.

Енергія падаючої води, що обертає водяне колесо, служила безпосередньо для розмелу зерна, розпилювання деревини і виробництва тканин. Однак млини і лісопилки на наших річках стали зникати, коли у вісімдесятих роках позаминулого століття почалося виробництво електроенергії з водоспадів.

Батьківщиною водяного млина вважається стародавній Рим. Згодом цей вид млина, дещо удосконалений, був занесений в Європу, а потім і в Україну.

Стародавні греки зрозуміли, що водяне колесо, обертаючись, може не тільки підіймати воду, але і виконувати іншу корисну роботу, якщо його вісь з'єднати з яким-небудь механізмом. Від цієї здогадки лишався лише крок до винаходу водяного млина. І цей крок був зроблений.

У Стародавній Греції і Римі водяні колеса вже використовувалися для обертання млинових жорен.

Водяні млини і колеса досить швидко розповсюдились у Європі. Для спорудження водяних коліс у Західній Європі будувалися невеликі водоймища.

Так, у Франції збереглися залишки каскаду з 16 водяних млинів поблизу м. Арля, побудованих у III-IV ст. Значно поширились водяні млини тут у XI-XIV ст. В Англії водяний млин з'явився приблизно у VIII ст., а вже в 1086 році в Тренте і Северне було зареєстровано 5624 млини.

Для приведення у рух водяних коліс використовувалася також сила припливу. Припливні млини з'явилися в XI ст. на узбережжі Адріатичного моря, а також в Англії і Франції. Так, в Англії в гирлі р. Дебен і сьогодні працює млин, перша згадка про який є в записах Вудбриджського приходу в 1170 р.

На думку науковців, водяні млини з'явилися трохи раніше од вітряків і відомі з часів Київської Русі. У XIX сторіччі їх будували на Гуцульщині, Бойківщині, Волині, Закарпатті, менше – на Наддніпрянщині, Чернігівщині, Поділлі...

Для України характерні два типи водяних млинів – стаціонарні (гребляні) і наплавні. Наплавні млини базувалися лише на великих річках, зокрема Дніпрі, Десні, Сеймі. Основою, на яку встановлювали саму конструкцію млина, були човни (баржі). У разі потреби наплавні млини могли переміщуватись річкою.

Для стаціонарного млина вибирали таке місце, де б на річці чи потоці можна було зробити греблю й подавати воду до вертикального колеса-привода, закріпленого на горизонтально встановленому валі.

Коли колесо оберталося, відповідно обертався й вал і через систему передач пускав у рух механізм молоття зерна.

Водяний млин у с. Луково має вже більш ніж столітню історію, і пережив нещодавно нове народження – в 2008 році було виготовлено нове колесо і млин розпочав нове життя. На даний час він активно працює – мале збіжжя місцевих мешканців.



Рисунок 3.2 – Водяний млин у с. Луково

3.4 Еволюція розвитку водяних двигунів

У період XVII–XVIII ст. зростаючу потребу промисловості, що розвивалася, в енергії могло забезпечити тільки водяне колесо. Водяні двигуни ставали все більш могутніми і більш досконалими, їх ККД досягав 60-70%. Однак не усі виробництва можна було розмістити біля річок, при експлуатації водяних коліс виникали труднощі, пов'язані з мінливістю стоку ріки протягом року. Тихохідні водяні колеса вимагали досить складних передавальних механізмів для збільшення швидкості обертання верстатів.

Водяні зубчаті колеса різних форм були першими машинами, які перетворювали енергію текучої води в обертальний рух. Вони приводили в рух млини, лісопилки, водяні насоси та інші машини.

З середини XIX ст. почалися винаходи різного виду турбін для малої гідроенергетики. В 1849 р. англійський інженер Джеймс Френсіс розробив радіальну турбіну, яка отримала назву його прізвище. Турбіна Френсіса (рис. 3.3).

Радіально-осьова турбіна (турбіна Френсіса) – реактивна турбіна. У робочому колесі турбін даного типу потік спочатку рухається радіально (від периферії до центру), а потім в осьовому напрямку (на вихід). Переважною сферою застосування радіально-осьових турбін є гідроенергетика, де вони широко

поширені. Застосовують при тиску до 600 м. Потужність до 640 МВт.

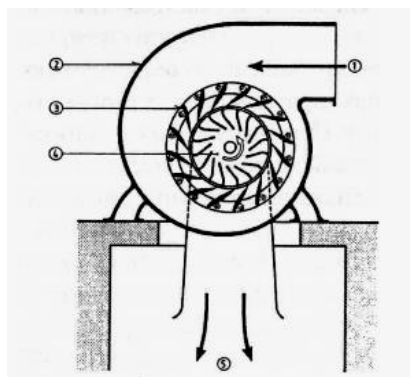


Рисунок 3.4 – Турбіна Френсіса:

1 – подача води; 2 – корпус турбіни; 3 – регулювальний направляючий апарат; 4 – робоче колесо; 5 – витік води.

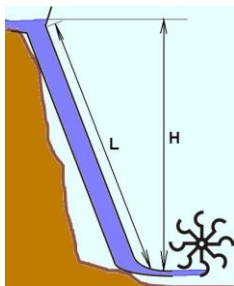
Основною перевагою турбін даного типу є найвищий оптимальний ККД з усіх існуючих типів. Ротором турбіни є робоче колесо, поєднане з валом турбіни. Робоче колесо, як правило, складається з маточини, комплекту лопатей і обода.

Маточина колеса з'єднується з валом турбіни. Всі деталі колеса з'єднані між собою нерухомо, – це забезпечує йому хороші властивості міцності. Колесо є робочим органом турбіни, що перетворює енергію потоку в механічну.

В 1886 р. американець Лестер Пелтон винайшов турбіну, яка призначена для значних напорів і малих витрат води. Турбіна Пелтона (рис. 3.5.) належить до типу імпульсних турбін, у якій існуючий напір води перетворюється в кінетичну енергію. Напір, відповідно кінцева швидкість струменя потоку, залежить від початкового і кінцевого перетину, висоти, а також початкової швидкості.

Потім струмінь води ударяє по лопатям колеса. Колесо починає обертатися.

a)



б)



Рисунок 3.5 – Турбіна Пелтона:
a – умовний вигляд; *б* – робоче колесо

У потоку є два параметри, які необхідно знати для розрахунку. Напір H в метрах, тобто різниця висот між забором води і турбіною; витрата Q , вимірюваний в кілограмах в секунду або літрах в секунду. Потужність потоку у ватах визначається за формулою:

$$N = gQH, \quad (3.1)$$

де $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ (прискорення вільного падіння).

Швидкість витікання води (V) із сопла визначається за формулою:

$$V = \sqrt{gH}. \quad (3.2)$$

Частота обертання турбіни буде залежати від швидкості струменя і діаметра робочого колеса турбіни и визначається за формулою:

$$n = 60 \frac{\sqrt{2gH}}{2\pi D_t} = \frac{42\sqrt{H}}{D_t}, \quad (3.3)$$

де n – об/мін; D_t – середній діаметр робочого колеса, м;
 H – напір у метрах.

Фізика роботи турбіни Пелтона. Вода вдаряється в рухому лопатку, відскакує назад і передає лопатці імпульс. Якщо лопатка буде рухатися зі швидкістю, що дорівнює половині швидкості струменя, то відскочив струмінь буде нерухома відносно корпусу апарату, тобто енергію виносити з собою не буде. Звідси випливає умова, щоб лінійна швидкість лопаток дорівнювала б половині швидкості струменя.

У 1912 р. австрієць Віктор Каплан винайшов турбіну з лопатевим колесом, яке обертається подібно до гребного гвинта судна у водяному потоці.

Поворотно-лопатева турбіна, турбіна Каплана – реактивна турбіна, лопаті якої можуть повертатися навколо своєї осі одночасно, за рахунок чого регулюється її потужність (рис. 3.6). Також потужність може регулюватися за допомогою лопаток направляючого апарату. Лопаті гідротурбіни можуть бути розташовані як перпендикулярно її осі, так і під кутом. Останній різновид називається діагональною турбіною.

Запатентована в 1920 році австрійським інженером Віктором Капланом, завдяки чому в багатьох країнах світу ця турбіна носить ім'я винахідника. Однак ім'я Каплана носить також турбіна без можливості повороту лопатей. В цій турбіні площа, через яку протікає вода, дорівнює всій площі, що охоплюється лопатями. Виходячи з цього, турбіна Каплана використовується для значних об'ємів водяних потоків при напорі до десятків метрів.

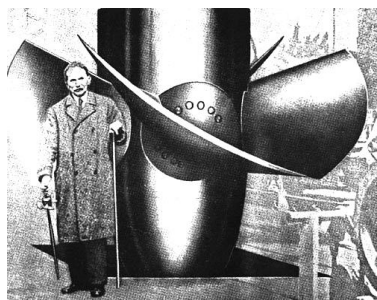


Рисунок. 3.6 – Турбіна Каплана

Потік води, що проходить через турбіну, може контролюватися зміною відстані між направляючими лопатями, при цьому також регулюється і нахил лопатей гвинта. Кожному положенню направляючих лопатей відповідає конкретне положення лопотів гвинта, що забезпечує високу продуктивність турбіни. В турбіні Каплана швидкість обертання лопатів удвічі більша за швидкість потоку води, що дозволяє отримати високу частоту обертання навіть при відносно низьких швидкостях потоку води.

Турбіна поперечної течії була винайдена інженером Мічелом в 1903 року, а трохи пізніше незалежно угорцем Донатом Банкі і в подальшому отримала назву турбіни Банкі (рис. 3.7).

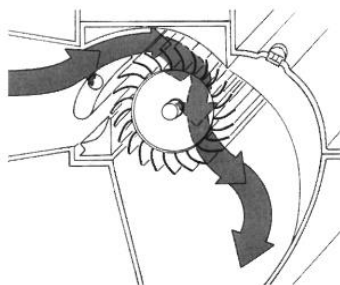


Рисунок 3.7 – Турбіна Банкі

В турбіні Банкі струмінь прямокутного перерізу двічі проходить через лопаті, встановлені на периферії циліндричного ротора перпендикулярно до його осі. Вода тече крізь лопаті спочатку в напрямі від периферії ротора до його центра, а потім, після перетину відкритого простору всередині ротора, від внутрішньої частини за межі ротора. Перетворення енергії відбувається двічі при вході на лопаті і виході з лопатей, що забезпечує простий та ефективний спосіб відведення води з ротора.

Сучасні конструкції подібних турбін виготовляються із соплом, яке охоплює більшу дугу периферії ротора, що дозволяє збільшити потік при тому ж розмірі турбіни.

За рахунок зміни ширини ротора і розмірів вхідного отвору можна прилаштовувати турбіну до різних величин потоку води.

Показники роботи при неповному завантаженні добрі, при номінальному навантаженні ККД становить 80 %. Турбіни використовуються при напорі до 200 м.

Ротор Савоніуса (рис.3.8) використовується для гірляндних міні- ГЕС.

Гідротурбіни для мікро- ГЕС – виготовляються на основі турбін Тюрго, Банкі, Пельтон, пропелерні, Каплан, Френсіс – різновиди гідротурбін, кожна з яких має свої умови роботи.

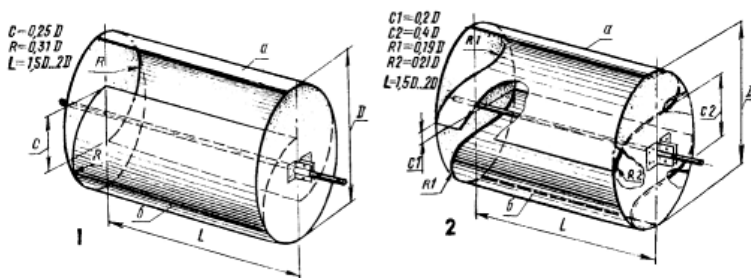


Рисунок. 3.8 – Ротори Савоніуса:
а, б – лопаті; 1 – поперечний, 2 – торцевий.

Особливо великий досвід накопичений у виготовленні і експлуатації ковшових і похило струменевих гідротурбін, які можуть працювати при порівняно малій витраті води, але при високому напорі, що характерно для гірських річок.

3.5. Мала гідроенергетика України

У 50-60-ті роки ХХ ст. кількість збудованих малих гідроелектростанцій в Україні становила 956 із загальною потужністю 30 тис. кВт. Однак через розвиток централізованого електропостачання та стійку тенденцію до концентрації виробництва електроенергії на потужних теплових та гідроелектростанціях

будівництво малих ГЕС було зупинено. Почалася їх консервація, демонтаж, сотні малих ГЕС було зруйновано.

До кінця 1980-х років зберігалось діючих лише 49 малих гідроелектростанцій (93 МВт), усі вони напрацювали експлуатаційний ресурс 35-70 років і потребували реконструкції. На кінець 2004 р. в Україні знаходилося в експлуатації 72 малих ГЕС (з врахуванням відновлених за період 1994-2004 рр.), у тому числі 7 мікро-ГЕС. У післявоєнний період електрифікація сільського господарства теж ґрунтувалася на збільшенні потужностей та поліпшенні техніко-економічних показників малих електростанцій.

Мала енергетика України, маючи незначну питому вагу (0,2%) у загальному енергобалансі, не може істотно впливати на умови енергозабезпечення країни.

Однак експлуатація малих ГЕС дає можливість виробляти близько 250 млн. кВт·год електроенергії на рік, що еквівалентно щорічній економії до 75 тис. тонн органічного палива.

Технічний стан діючих малих ГЕС характеризується:

- значно або повністю зношеним основним гідросиловим, гідротехнічним і електротехнічним обладнанням;
- наявністю несправностей у гідротехнічних спорудах, які можуть стати причиною виникнення аварійних ситуацій; замуленням водоймищ;
- зростання забору води на неенергетичні потреби;
- розмивами кріплень водозливних і берегових ділянок нижніх б'єфів тощо.

Гідроелектростанції малої енергетики за виконанням поділяються на:

- стаціонарні пригребельні з поєднанням греблі й будинку ГЕС;
- стаціонарні безгребельні з напірним трубопроводом;
- переносні потужністю до 10 кВт, які застосовуються на невеликих греблях та напірних трубопроводах;
- заглибні безгребельні потужністю до 5 кВт (при швидкості потоку води близько 3 метрів на секунду).

В Україні діє кілька фірм, які тою чи іншою мірою спроможні задовольнити потреби ринку в згаданому обладнанні.

3-посеред вітчизняних виробників обладнання для малої гідроенергетики вирізняється ВАТ «Турбоатом». Згідно з перспективним планом розвитку малої гідроенергетики до 2030 р. треба побудувати понад 1000 одиниць малих ГЕС для використання зазначеного потенціалу. Сучасний стан малої гідроенергетики України наведений в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Сучасний стан малої гідроенергетики України (дані Інституту відновлювальної енергетики НАН України)

Область	Кількість в т.ч. мікро ГЕС	Знаходиться в експлуатації МГЕС	
		Потужність, МВт	Виробництво ел. енергії, млн. кВт·год/рік
Вінницька	13 (2)	21,62	78,8
Волинська	-	-	-
Дніпропетровська	-	-	-
Донецька	-	-	-
Житомирська	6 (1)	1,57	3,5
Закарпатська	4 (1)	5,21	23,8
Запорізька	-	-	-
Івано-Франківська	2	1,11	5,2
Київська	3 (1)	1,84	8,8
Кіровоградська	4	12,54	40,9
Луганська	-	-	-
Львівська	1	0,45	1,5
Миколаївська	4	15,52	40,2
Одеська	-	-	-
Полтавська	4	1,23	3,1
Рівненська	2	1,22	5,3
Сумська	4	1,24	3,9
Тернопільська	10	9,77	22,0
Харківська	2 (1)	3,68	12,1
Херсонська	-	-	-
Хмельницька	10	6,25	14,3
Черкаська	6	5,61	20,3
Чернігівська	1	0,23	0,7
Чернівецька	1	1	3,0
АР Крим	(5)	0,8	0,3
Разом	82 (11)	91	287,7

Примітка: в дужках позначені мікро- ГЕС у перспективі на майбутнє.

Будівництво малих ГЕС як автономних джерел енергії в сільській місцевості має велике соціальне значення. При порів-

няно низькій вартості встановленого кіловата і короткому інвестиційному циклі малі ГЕС дозволяють виробляти електроенергію у віддалених від мереж поселеннях.

3.6 Мала гідроенергетика розвинутих країн світу

Сумарна потужність малої гідроенергетики у світі на нині становить більше 70 ГВт. Мала гідроенергетика за останнє десятиліття зайняла стійке положення в електроенергетиці багатьох країн світу.

В ряді розвинених країн установлена потужність малих ГЕС перевищує 1000 МВт (США, Канада, Швеція, Франція, Італія). Частка електроенергії, яка виробляється на малих ГЕС, від загального виробництва електроенергії на всіх ГЕС становить:

- Японія – 23,4 %;
- Чехія і Словаччина – 12,6 %;
- Китай – 8,3 %;
- Австрія – 6,5 %;
- Україна – близько 5 %.

Устаткування для малих ГЕС сьогодні виробляють численні фірми США, Японії, Швеції, Швейцарії, Франції, Австрії, Великобританії. Виробництво такого устаткування розпочато і в державах Східної Європи.

Стандартизоване устаткування для малих ГЕС виробляють в широкому діапазоні параметрів:

- потужність – від 2 до 15000 кВт;
- діаметр робочого колеса турбіни – від 190 до 3000 мм;
- частота обертання – від 50 до 2000 об./хв.;
- напір – від 1 до 1000 м,
- витрати води – від 0,01 до 0,75 м³/с.

Серйозну увагу приділяють підвищенню економічної ефективності малих ГЕС за рахунок спрощення їх проектування, будівництва та експлуатації, типізації проектних рішень, стандартизації устаткування та повної автоматизації роботи ГЕС.

Енергетичні установки використовують, як правило, потенціальну або кінетичну енергію річок. Лідуюча роль у розвитку малої гідроенергетики належить Китаю. За останні 25 років тут має місце стрімке зростання малої гідроенергетики, що привело до появи на просторах сільськогосподарських угідь 100000 станцій сумарної встановленої потужності більше 13000 МВт. Вони постачають 18-20% річного виробництва електроенергії по країні і забезпечують 33 % її потреби у сільському господарстві.

Широке розповсюдження отримали мініатюрні турбогенератори номінальною потужністю від 0,6 до 12 кВт для забезпечення електроенергією гірських селищ, розсіяних по країні. В Японії 1300 малих ГЕС забезпечують 20% річного виробництва електроенергії. Удвічі збільшиться парк малих ГЕС у Чехії та Словаччині. В Індії, де потенціал малої гідроенергетики оцінюється в 15 млн. кВт, експлуатуються 420 малих ГЕС сумарною потужністю більше 0,5 млн. кВт і планується будівництво більше 4000 малих ГЕС. У Бразилії потужність малих ГЕС – більше 1,9 млн. кВт, будуються – потужністю 1,0 млн. кВт і планується будівництво малих ГЕС потужністю 6,9 млн. кВт.

3.7 Міні та мікро- ГЕС

Міні і мікро гідроелектростанції отримали велику популярність серед населення. В тих місцевостях, де присутні невеликі водоймища, установка міні, або мікро- ГЕС стане чудовим рішенням для автономного або резервного електропостачання.

3.7.1 Різновид міні та мікро- ГЕС

На сьогоднішній день використання міні і мікро ГЕС дозволяє заощадити витрати на електроенергію, або ж, стати повністю незалежним.

Міні і мікро- ГЕС мають безліч переваг, найголовнішу з яких – екологічність. Так, на відміну від великих гребель ГЕС, ці станції ніяк не впливають на довкілля – якість води, напрям і

швидкість потоку, розвиток біосистеми в оді і на навколишніх землях. Крім того, міні або мікро-ГЕС – це надійне, компактне і таке, що швидко окупається джерело електроенергії, яке доступне кожному.

Для його роботи потрібний лише струм води – це може бути струмок, річка, перепад рівнів в озері іригаційна система, стічні води і так далі.

Міні і мікро- ГЕС відрізняються своїми габаритами і своєю потужністю. Так, міні ГЕС – це електростанція з потужністю до 5000 кВт, а мікро-ГЕС – від 3 до 100 кВт. Вони мають перевагу і перед іншими альтернативними джерелами енергії вітряними й сонячними електростанціями.

За величиною використання напору малі ГЕС класифікують наступним чином [47]:

- низьконапірні (мікро-ГЕС – до 15 м, мініГЕС - до 20 м, малі - до 25 м);
- середньонапірні (мікро-ГЕС – 15-50 м, міні ГЕС - 20-100 м, малі - 25-130 м);
- високонапірні (мікро-ГЕС – більше 25 м, мініГЕС - більше 100 м, малі - більше 130 м).

Справа в тому, що ГЕС можуть працювати при будь-яких погодних умовах, які не впливають на струм води. Для багатьох районів важливим є і те, що міні і мікро-ГЕС можуть значно зменшувати шкоду щорічних паводків, за рахунок регулювання рівня води у водоймі.

Міні і мікро- ГЕС – це чудове рішення для віддалених від ліній електропередач селищ, господарств, млинів. Часто такі станції встановлюють в гірських або важкодоступних районах Мікро- ГЕС «Водяне колесо» (рис. 3.9) – це колесо з лопатями, встановлене перпендикулярно поверхні води. Колесо занурене в потік менше ніж наполовину. Вода тисне на лопаті і обертає колесо. Існують також колеса-турбіни зі спеціальними лопатками, оптимізованими під струмінь рідини. Але це досить складні конструкції швидше заводського, ніж саморобного виготовлення.

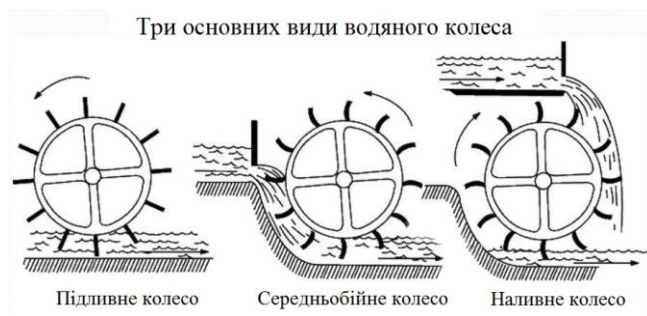
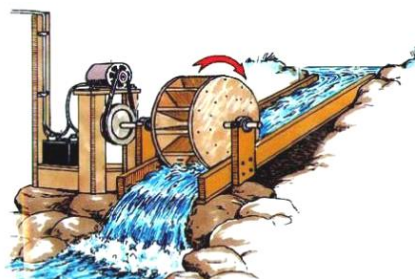


Рисунок 3.9 – Мікро- ГЕС «Водяне колесо»

Гірляндна мікро- ГЕС (рис. 3.10) уявляє собою трос, з жорстко закріпленими на ньому роторами. Трос перекинуто з одного берега ріки на інший.

Ротори як намисто нанизані на трос і повністю занурені у воду. Потік води обертає ротори, ротори обертають трос. Один кінець троса з'єднаний з підшипником, другий з валом генератора.

При зануренні троса в потік води внаслідок різниці гідралічних тисків на його поверхні створюється скрутний момент (щодо осі обертання). Одночасно гідровінгатор робить і значний лобовий опір потоку, завдяки чому трос гірлянди 1 натягується і вигинається в напрямку течії річки.

Гідровінгатори кріпляться до троса попарно, при цьому кожна пара має загальний вузол кріплення і в кожній з них один гідровінгатор розгорнуто по відношенню до іншого на 90° . Це

необхідно для створення рівномірного обертання троса, а отже, і вала генератора.

Реакція сил натягу троса сприймається береговими опорами укріплених в ґрунті. На рамі встановлено редукторна і генераторна частини станції



Рисунок. 3.10. Гірляндна Мікро- ГЕС

. Вільна опора на протилежному березі має гак і вузол опорного підшипника і забезпечує вільне обертання троса під різними кутами до напрямку потоку води.

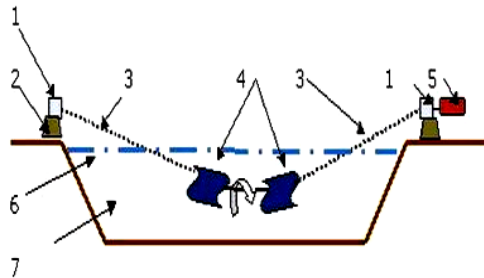


Рисунок 3.11 – Схема и принцип роботи гірляндної мікро- ГЕС:

1– підшипник; 2– опора, 3– металевий трос; 4– гідроколесо (турбіна),
5– електрогенератор, 6 – рівень верхньої течії річки; 7– русло річки.

Потужність P , яку можна отримати від такої гідростанції, підраховується за формулою:

$$P = 0,1 \cdot D \cdot L \cdot V \cdot 3 \cdot K, \quad (3.4)$$

де P – потужність: кВт, D – діаметр ротора в м; L – активна довжина гірлянди в м; V – швидкість течії в м/сек, K – кількість гірлянд; 3 – коефіцієнт узгодження.

Число оборотів n гірлянди приблизно дорівнює:

$$n = 0,3 \cdot V/D. \quad (3.5)$$

Мікро- ГЕС «Пропелер» – підводний «вітряк» з вертикальним ротором. Кінетичної енергії в квадратному метрі потоку води, що йде зі швидкістю 2,5 м/с, стільки ж, скільки в вітрі, «справи» 260 км/год. Вітер непостійний, а припливи регулярні.

Але припливні електростанції все одно залишаються екзотикою, а вітрові ферми завойовують планету. На відміну від повітряного, підводний пропелер має лопаті мінімальної ширини. Для води достатньо ширини лопаті всього в 2 см. При такій ширині буде мінімальний опір і максимальна швидкість обертання. Така ширина лопатей вибиралася для швидкості потоку 0,8-2 метра в секунду. При великих швидкостях, можливо, оптимальні інші розміри.

Шведсько-британська компанія Minesto розробила оригінальний проект електростанції Deep Green. В основі системи – крило махом 12 метрів (рис. 3.12), яке плаває під водою, будучи прикріпленим до дна довгим тросом.



Рисунок 3.12 – Підводне крило

Натхненні піруетами, які здатні проробляти в небі кайти повітряні, інженери Minesto придумали підводний кайт. Це дивовижний принцип роботи

станції за рахунок гідродинамічної сили: кайт починає випливати в товщі моря гігантські вісімки, в чому допомагає автоматично-кероване кермо (рис. 3.13).

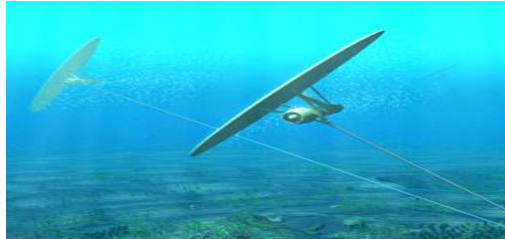


Рисунок . 3.13 – Підводний кайт

Швидкість руху кайта за його замкнутої траєкторії виявляється в 10 разів вище, ніж швидкість приливного течії, в яке він занурений, – 16 метрів в секунду проти 1,6 м /с.

Рукавні мікро- ГЕС – складається з енергоблоку, блоку управління, блоку збудження, блоку навантаження і рукавного водовода. При використанні каскадного монтажу дані рукавні мікроГЕС можуть використовуватися як в малих господарствах так і для промислового виробництва електроенергії, особливо в місцях, віддалених від ЛЕП. Енергоблок виконаний у вигляді рами, на якій розташовані направляючий апарат, двократна турбіна і електричний генератор (рис. 3.14).



Рисунок 3.14 – Рукавна мікро- ГЕС

Дериваційні мікро- ГЕС – є екологічно чистим джерелом електроенергії і може працювати без постійної присутності

людини. Пристрій складається з енергоблоку, генератора, блоку баластної навантаження, які розміщені на опорній рамі. Також в комплект входить водозабірний пристрій, пристрій автоматичного регулювання напруги і частоти, напірний трубопровід.

Конструкція гідроелектростанції передбачає кілька варіантів установки. Так, можливо горизонтальне, вертикальне та похиле положення (рис. 3.15).



Рисунок 3.15 – Дериваційні мікро-ГЕС

На рис. 3.16. зображена конструкція гідротурбіни дериваційної мікро-ГЕС.

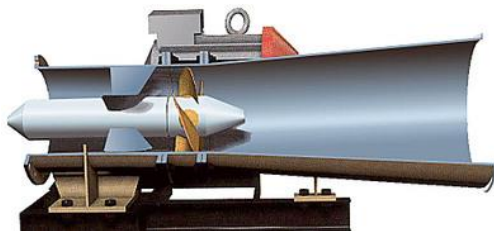


Рисунок 3.16 – Гідротурбіна

Вільно-потоківі мікро-ГЕС. Вони з успіхом можуть працювати паралельно з дизельними електростанціями, істотно скорочуючи витрату дизельного палива або замінюючи останні в разі аварії.

Вільно-потоківі заглибні мікро-ГЕС найбільш економічні й мобільні, практично не вимагають земляних робіт.

Особливістю мікро- ГЕС є низька частота обертання турбіни, обумовлена швидкістю вільного потоку води.

В залежності від швидкості річки і потужності установки турбіна вільно-потокової мікро- ГЕС обертається з частотою 60-150 об/хв. Це зумовлює наявність низькошвидкісного генератора, ротор якого обертався б з тією ж частотою 60-150 об/хв, а сам генератор з'єднаний безпосередньо з валом турбіни.

Аналіз показує, що найбільш швидкохідною турбіною у вільному водному потоці є ортогональна турбіна. Таким чином, науково-технічна проблема – створення вільнопоточної мікро-ГЕС, економічної та надійної для споживача, рентабельною для виробника.

На даний час виготовлені дослідно-промислові зразки мікро- ГЕС потужністю 3 і 10 кВт, проведені їх стендові та натурні випробування (рис. 3.17).

Вільно-потокові мікро- ГЕС виробляють електричну енергію напругою 220/380 В змінного трифазного струму, частотою 50 Гц.

При необхідності, енергія автоматично направляється на баласт навантаження, в якості якого може служити нагрівач приміщення або води.



Рисунок 3.17 – Вільно-потокова заглибна мікро- ГЕС

Енергія вільного потоку води знімається за допомогою секціонування ортогональної турбіни, в якій лопаті секцій

рівномірно розподілені по колу для забезпечення рівномірності крутного моменту. Вал ортогональної турбіни за допомогою муфти передає обертання генератор, що виробляє електричну енергію при циркуляції магнітного поля, збуджуваного постійними магнітами.

Ротор Дар'є – це вертикальний ротор, що обертається за рахунок різниці тисків на його лопатях. Різниця тисків створюється за рахунок обтікання рідиною складних поверхонь. Ефект подібний до підйомної сили суден на підводних крилах або підйомній силі крила літака. Ротор Дар'є (рис. 3.18) складний у виготовленні, на початку його потрібно розкрутити. Але він привабливий тим, що вісь ротора розташована вертикально і відбір потужності можна проводити над водою без додаткових передач. Такий ротор обертатиметься за будь-якої зміни напрямку потоку.



Рисунок 3.18 – Ротор Дар'є

3.8 Інноваційні джерела енергії

Споруда, що використовує енергію коливань хвиль (рис. 3.19), була введена в експлуатацію на північному заході Шотландії в 1995 р. Вона має масу 8 000 т, висоту 20 м і розташована за 100 м від берега на глибині 15 м.

Це перша промислова станція, що працює на енергії морських хвиль і дає енергію потужністю 2 МВт, достатню для забезпечення електрикою 400 будинків.



Рисунок. 3.19 – Споруда використання енергії хвиль

У більшості сучасних перетворювачів енергії використовуються водно-повітряні колони (рис. 3.20). У широкій вертикальній трубі при проходженні хвилі рівень води піднімається та опускається, наче поршень у циліндрі. При підйомі води повітря у верхній частині колони стискається і спрямовується до турбіни – пов'язаної з електрогенератором.



Рисунок. 3.20 – Водоповітряна колона

Невдовзі можливо використовувати тихохідні морські і річкові хвилі для нових, надійних і доступних джерел альтернативної енергії. Інженер Мічиганського університету

розробив пристрій, який діє, як риба, яка перетворює потенційно руйнівні коливання води для, поновлювання джерел енергії. Ця машина названа VIVACE (Vortex вібратор для чистої енергії води). Це перший відомий пристрій (рис. 3.21), який може черпати енергію від більшості водних течій по всьому світу, говориться в заяві від Мічиганського університету. При використанні 0,1 відсотка енергії в океані – могли б підтримати потреби в енергії на 15 мільярдів осіб.

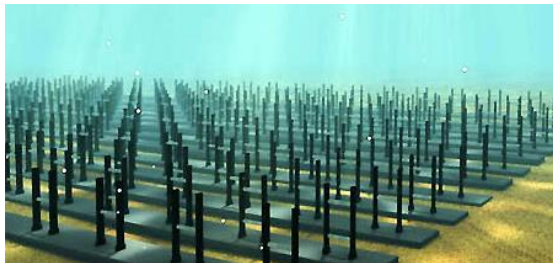


Рисунок. 3.21 – Вібратор для чистої енергії

VIVACE може працювати в проточній воді яка рухається повільніше, ніж 2 вузлів, або близько 2 мильна годину. Тут слід зазначити, що більшість пристроїв не можуть генерувати енергію, якщо течія буде рухатись повільніше, ніж 3 вузла, а турбінам і водяним млинам необхідно в середньому 5 або 6 вузлів, щоб працювати ефективно. VIVACE не потрібні хвилі, припливи, турбіни і дамби.

Розвиток водних турбін (рис. 3.22) дуже новий в альтернативній енергетиці і вже дуже перспективний, адже вони можуть мати набагато більшу потужність при набагато менших розмірах у порівнянні з вітрогенераторами.

Це пов'язано з тим, що енергія морської течії у 800 разів більша, за енергію вітру. Зміни напрямку океанічних течій також значно менші, ніж зміни напрямку вітру.

Основним недоліком водних турбін є їх вплив на морське середовище (турбіни створюють великі області турбулентності, що перешкоджають розвитку живої природи і морської флори на великих відстанях від них).

Турбіни знаходяться під водою, де ерозія металу дуже сильна, і через це термін експлуатації водних турбін обмежений.

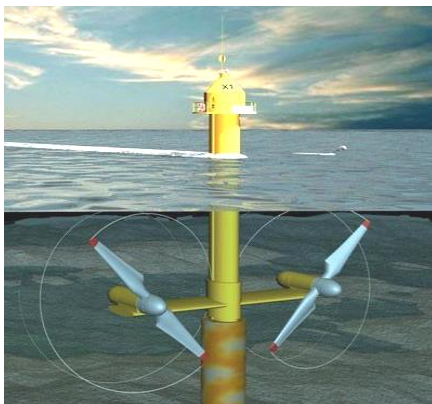


Рисунок 3.22 – Водяна турбіна

3.9 Обґрунтування вибору виду міні та мікро- ГЕС

Вибір виду мікро- ГЕС у першу чергу трактується гідроресурсами місцевості її експлуатації. Теоретичні основи вибору та обґрунтування виду мікро- ГЕС потрібно розпочати з питань:

- визначення швидкості потоку;
- визначення швидкості течії води з урахуванням розподілу по живому перетину;
- визначення витрати та напору води.

Визначення швидкості потоку, в початок вибраної ділянки кидають поплавки і вимірюють час, за який він пропливе 10 м.

Визначення швидкості течії води з урахуванням розподілу по живому перетину. Швидкості течії в ріках неоднакові в різних точках потоку – вони змінюються по глибині і ширині живого перерізу.

На кожній окремо взятій вертикалі найменші швидкості спостерігаються біля дна, що пов'язано з впливом шорсткості русла. Від дна до поверхні наростання швидкості спочатку

відбувається швидко, а потім сповільнюється, і максимум у відкритих потоках досягається у поверхні або на відстані 0,2 Н від поверхні. Наочне уявлення про розподіл швидкостей в живому перерізі можна отримати побудовою *ізотак* – ліній, що сполучають в живому перерізі точки з однаковими швидкостями (рис. 3.23).

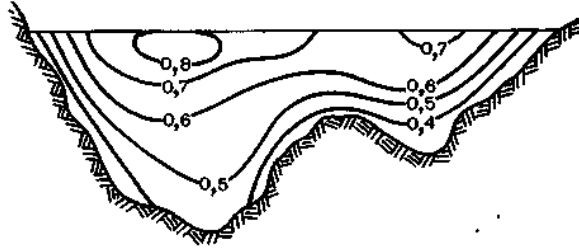


Рисунок 3.23 – Ізотак в живому перерізі річкового потоку

Область максимальних швидкостей розташована звичайно на деякій глибині від поверхні. Лінія, що з'єднує по довжині потоку точки окремих живих перетинів з найбільшими швидкостями, називається динамічною віссю потоку.

Середня швидкість на вертикалі обчислюється діленням площі епюри швидкостей на глибину вертикалі або при наявності вимірюваних швидкостей в характерних точках по глибині ($v_{нов}$, $v_{0,2}$, $v_{0,6}$, $v_{0,8}$, $v_{дон}$) за однією з емпіричних формул, наприклад:

$$v_{сер. верт.} = 0,5 Н (v_{0,2} + v_{0,8}), \quad (3.6)$$

Середня швидкість в живому перерізі. Для обчислення середньої швидкості потоку при відсутності безпосередніх вимірювань широко застосовується формула Шезі:

$$v_{cp} = C \sqrt{R \cdot i} = C \sqrt{H_{cp} \cdot i}, \quad (3.7)$$

де $H_{\text{ср}}$ – середня глибина, R – гідравлічний радіус, C – швидкісний коефіцієнт, що залежить від шорсткості русла та гідравлічного радіусу, i – ухил водної поверхні на ділянці річки.

Величина коефіцієнта C не є величиною постійною. Для її визначення існує декілька емпіричних формул:

$$\text{формула Манінга} - C = \frac{1}{n} R^{0,67},$$

$$\text{формула Базена} - C = \frac{87}{1 + \frac{n}{\sqrt{R}}},$$

де n – коефіцієнт шорсткості, знаходиться за спеціальними таблицями.

Збільшення гідравлічного радіусу призводить і до збільшення коефіцієнта C . З формули Шезі випливає, що швидкість потоку зростає із збільшенням ухилу, але цей ріст при турбулентному русі виражений в меншій мірі, ніж при ламінарному.

Для вимірювання витрати води поплавковим методом вибирають таке місце, де русло довжиною близько 10 м найбільш рівне по глибині і ширині, і вода в ньому тече спокійно. Глибину і ширину потоку визначають як середнє значення з декількох вимірювань. Для визначення швидкості потоку, в початок вибраної ділянки поплавки і вимірюють t час, за який вони пропливуть 10 м.

Витрата води (літрів в секунду) залежить від поперечного перерізу водотоку і швидкості води, в місці вимірювання поперечного перерізу водотоку, і визначається за формулою

$$Q = f \cdot h \cdot b \cdot v, \text{ л / с}, \quad (3.8)$$

де Q – витрата води, л / с; f – коефіцієнт потоку; h – глибина потоку, дециметрів; b – ширина потоку, дециметрів; v – швидкість потоку, дециметрів в секунду.

Потужність мікро- ГЕС визначається за формулою:

$$P = Q \cdot (H_v - H_n) \cdot \eta \cdot g, \quad (3.9)$$

де P – потужність, кВт;

Q – витрата води через турбіну, куб. м / с;

H_v – геометрична висота від верхнього до нижнього бар'єру, м;

H_n – гідравлічні втрати в напірних трубопроводах, м;

η – коефіцієнт корисної дії (0,5 – 0,7);

g – прискорення вільного падіння (9,8 м/сек).

Якщо з'ясовується, що мікро-ГЕС повинна працювати на постійне навантаження, з незмінною (протягом доби) потужністю споживання, витрату води регулюється обмежувачем дебіту. У разі ж істотної різниці в споживанні електроенергії вкрай бажаною стає акумуляторна батарея.

Дебіт води і висота, з якої потік спрямовується до турбіни, є головними факторами потужності мікро-ГЕС. Щоб від енергії води на мікро-ГЕС не був загублений жоден ват, вдаються до того, що турбіна забезпечується лопатями, закріпленими під кутом, сприятливим максимальному використанню кінетики спадаючого потоку. Внутрішня поверхня у кожної з сформованих лопатями і барабаном турбіни (своєрідних «чаш») дбайливо відполірована.

Зробивши всі заміри та розрахунки вибираємо промислову мікро-ГЕС у відповідності до надходження води на лопаті гідротурбіни мікро-ГЕС,

Потужність колеса просто зануреного в річку залежить від кінетичної енергії потоку. Приблизна потужність, яку можна одержати з такого колеса, може бути обчислена за формулою:

$$P = 500 \cdot A \cdot V^3 \cdot \eta, \quad (3.5)$$

де A – площа занурених лопатей, м²; V – швидкість потоку, м/с; η – коефіцієнт корисної дії (близько 20%);

Швидкість обертання колеса:

$$V_{ок} = 9 \cdot V/D \text{ об/хв}; \quad (3.6)$$

де D – діаметр, м.

Для середнього або верхньобійного колеса маса води, що протікає через колесо, множиться на висоту між верхнім та нижнім рівнями води:

$$P = 9,8 \cdot Q \cdot H \cdot \eta, \quad (3.7)$$

де Q – масова витрата води (кілограм за секунду); H – висота падіння між верхнім і нижнім рівнями води, м; η – коефіцієнт корисної дії.

Оптимальна швидкість обертання середньо- або верхньобійного колеса становить наближено:

Дебіт води і висота, з якої потік спрямовується до турбіни, є головними факторами потужності мікро- ГЕС,

Вимірювання дебіту води проводиться за допомогою секундоміра і поплавка, на фіксованому ділянці річки (каналу і т.д.). Контрольна довжина цієї ділянки повинна бути не менш 10 м. Поплавкова деталь вимірювання (легкий м'яч, шматочок пінопласту і т.п.) повинна бути встановлена на стромовині, та повинна переміщатися без перешкод. А захронометрована величина, протягом якої поплавок пройде ці 10 м, дозволить легко обчислити швидкість самого потоку.

За усередненими даними знаходять поперечний переріз русла водойми (річка, струмок тощо). Знаючи до того ж і швидкість, розраховують сам дебіт. Швидкість обертання колеса:

$$V_{ок} = 21/\sqrt{D}, \quad (3.8)$$

де D – діаметр колеса в метрах.

Створення потрібного перепаду рівнів води (транспортного каналу) вимагає певних гідротехнічних робіт; досить об'ємних, але цілком необхідних відповідних констру-

кцій (рис. 3. 24). Енергетичний потенціал гідропотоку обчислюють за формулою:

$$W_n = mgh, \quad (3.9)$$

де W_n – потенційна енергія; m – маса води, що накопчується за одну секунду на турбіну;

g – прискорення вільного падіння, яке дорівнює $9,8 \text{ м/с}^2$;

h – висота падіння води (до виходу з турбіни).

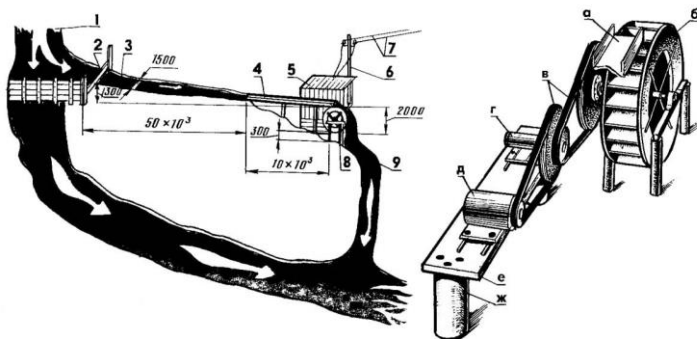


Рисунок 3.24 – Схема розташування та склад мікроГЕС:

1 – річка з дебітом основного потоку (варіант) $1,2 \text{ т/с}$; 2 – обмежувач дебіту (подробіці див. в тексті); 3 – канал транспортний з дебітом $0,4 \text{ т/с}$; 4 – лоток-напрямна на палях (з підручних матеріалів); 5 – технічне приміщення (з бруса і та пластика); 6 – стояк електропередачі (з укріпленими на ньому фарфоровими ізоляторами); 7 – лінія електропередачі (двопро-відна повітряна); 8 – гідроелектроагрегат в роботі (а – спадаючий потік води, б – турбіна в зборі, в – передача клинопасова двоступенева, г – вузол проміжного валу, д – електрогенератор, е – плита-основа сталева, ж – палі металеві або з деревини); 9 – стік відпрацьованої води.

Для вимірювання витрати води поплашковим методом вибирають таке місце, де русло довжиною близько 10м найбільш рівне по глибині і ширині, і вода в ньому тече спокійно.

Глибину і ширину потоку визначають як середнє значення з декількох вимірювань.

Для визначення швидкості потоку, на початок вибраної ділянки, містять поплавки і вимірюють t час, за який він пропливе 10 м. Витрата води (літрів в секунду) залежить від поперечного перерізу водотоку і швидкості води, в місці вимірювання поперечного перерізу водотоку, і визначається за формулою:

$$Q = f \cdot h \cdot b \cdot v, \text{ л / с}, \quad (3.10)$$

де Q – витрата води, л / с; f – коефіцієнт потоку; h – ширина потоку, дециметрів; b – глибина потоку, дециметрів; v – швидкість потоку, дециметрів в секунду.

Коефіцієнт потоку $f = 0,5-0,8$. Менше значення f характеризує потік з шорсткими берегами, кам'янистим дном, малою глибиною і великою шириною русла.

Потужність мікро- ГЕС визначається за формулою:

$$P = Q \cdot (H_e - H_n) \cdot \eta \cdot g, \quad (3.11)$$

де P – потужність, кВт; Q – витрата води через турбіну, м³/с; H_e – геометрична висота від верхнього до нижнього бар'єру, м; H_n – гідравлічні втрати в напірних трубопроводах, м; η – коефіцієнт корисної дії (0,5 – 0,7); g – прискорення вільного падіння (9,8 м/сек).

3.10 Шляхи прискорення темпів розвитку малої гідроенергетики

На сьогоднішній день в Україні діють декілька сотень малих, міні та мікро- ГЕС (МММГЕС). Крім того, значна кількість ГЕС цього класу проектується і споруджується. Станом на січень 2014 року 90 МММГЕС продають вироблену електроенергію за пільговими «зеленими» тарифами.

Згідно з перспективним планом розвитку малої гідроенергетики до 2030 р. треба побудувати понад 1000 одиниць малих

ГЕС для використання зазначеного потенціалу. Зведені показники впровадження установок малої гідро-енергетики до 2030 року наведено в табл. 3.2.

Виконання заходів розвитку малої гідроенергетики дасть змогу довести встановлену потужність до 1040 МВт.

Напрями розвитку малої гідроенергетики України:

- оновлення та реконструкція наявних і діючих міні-ГЕС;
- будівництво нових міні- ГЕС у районах децентралізованого енергопостачання;
- будівництво міні- ГЕС у регіонах централізованого енергопостачання на наявних перепадах водосховищ та водотоків;
- нове будівництво з концентрацією напору.

Таблиця 3.2 – Зведені показники впровадження установок малої гідроенергетики

Басейн	Гідроенергетичні ресурси, млн кВт-год/рік	Технічний гідропотенціал, млн. кВт-год/рік
Південний Буг	53	10,6
Дністер	3751	1500
Тиса	8196	3278
Серет	38	15
Прут	2400	960
Річки Криму	211	84
Інші малі річки в басейнах Дніпра, Сіверського Дінця, Південного Бугу	2716	543
Разом	17365	6390

Для прискорення темпів розвитку малої гідроенергетики в Україні запропоновано створити карту та базу даних, які будуть відображати інформацію про всі без винятку малі ГЕС.

База даних повинна складатися з трьох груп малих ГЕС:

- 1) діючі;

- 2) ті, які споруджуються (незалежно від етапу будівництва чи проектування);
- 3) ті, які можна і потрібно буде спорудити.

3.11 Екологічні аспекти малої енергетики

Мала гідроенергетика є технологічно освоєним способом виробництва електроенергії, що має досить гарантований поновлюваний енергоресурс та найменшу собівартість виробництва електроенергії серед традиційних паливних і більшості нетрадиційних технологій її виробництва.

Освоєння потенціалу малих річок з використанням малих та мікроГЕС допомагає вирішити проблему покращення енергозабезпечення споживачів. Найбільш ефективними є малі ГЕС, що створюються на існуючих гідротехнічних спорудах.

Вплив малої енергетики на довкілля. Приставка «міні» або «мікро» до слова гідроелектростанція лише звучить так лагідно, а насправді може принести за собою чималі проблеми. Тобто вже приносить. Так, на ріці Білий Черемош у Верховинському районі вже діють дві міні- ГЕС, щоправда відкритого типу, але це не покращує ситуації. На відміну від великих водотоків малі ріки тісніше пов'язані з навколишнім природним середовищем. Кожна зміна в ландшафті водозбору малої річки знищення лісу, оранка землі й інше господарське освоєння) швидко відбивається на поверхневому стоці й, як наслідок, на режимі її живлення. У зв'язку із цим зменшилося рибогосподарське значення малих річок, на багатьох з них у минулому перебували нерестовища не тільки постійних, але й прохідних риб. При утворенні водоймищ малих ГЕС відбувається процес акумуляції наносів.

Недоліки прогнозування цього процесу привели до замулення багатьох раніше побудованих водоймищ малих ГЕС, особливо в гірських і передгірних районах, на річках з високим змістом наносів. Такі ГЕС мають відносну ємність менш 0,01%.

Регулювання стоку водоймищами малих ГЕС змінює режим річки в нижньому б'єфі, що має деякі наслідки. При добовому й тижневому регулюванні стоку постійні коливання рівнів води в нижньому б'єфі підсилюють деформацію берегів

на ділянках річки, особливо в перші роки. Надалі ці процеси загасають.



Запитання для самоконтролю

1. До об'єктів малої гідроенергетики відносяться...
2. Де в першу чергу варто використовувати малу гідроенергетику?
3. Батьківщиною водяного млина вважається...
4. Які два типи водяних млинів характерні для України?
5. Яку водяну турбіну розробив англійський інженер Джеймс Френсіс?
6. В 1886 р. американець Лестер Пелтон винайшов турбіну, яка призначена для...
7. Який принцип дії турбіни, яку винайшов австрієць Віктор Каплан?
8. Ротор Савоніуса використовується для...
9. Технічний стан діючих малих ГЕС характеризується...
10. Який принцип роботи гірляндної мікро- ГЕС?
11. Рукавні мікро- ГЕС. Принцип роботи...
12. Дериваційні мікро- ГЕС. Пристрій складається...
13. З якими електростанціями може працювати вільно-потоківі мікро- ГЕС?
14. Які існують споруда, що використовує енергію коливань хвиль?
15. Міні і мікро- ГЕС мають безліч переваг...
16. Потенціальна енергія при падінні тіла з прискоренням вільного падіння буде становити...
17. За якою формулою визначається енергія, яка вивільняється за певний час і залежить від кількості води що пройшла за цей час?
18. За якою формулою обчислюють енергетичний потенціал гідропотока?
19. Які основні проблеми малої гідроенергетики?

Розділ 4

СОНЯЧНА ЕНЕРГЕТИКА



*Загальні відомості. Історична довідка
Енергія Сонця. Сонячна енергетика
Стан сонячної енергетики на Україні
Стан сонячної енергетики у Світі
Способи та засоби отримання електроенергії
з сонячного випромінювання
Технічні рішення підвищення ефективності сонячних
електростанцій*

Сонячна енергетика залишається диковиною для України, не часто зустрінеш на вулицях міст, на підприємствах чи в державних закладах сонячні батареї. Але тим не менш, енергію Сонця українці починають використовувати, й сонячні батареї поступово проникають на наш ринок.

Сучасний розвиток світової економіки невід’ємно пов’язаний із зростанням темпів виробництва енергії. Це зумовлюється багатьма факторами: загальним збільшенням світового товаровиробництва, розвитком транспорту та телекомунікацій, розробкою віддалених родовищ корисних копалин, утилізацією відходів, зростанням споживання енергії у побуті (опалення, освітлення, живлення побутової техніки), технічним переозброєнням армій тощо.

4.1 Загальні відомості. Історична довідка

Ще тисячоліття тому людина зрозуміла що життєву енергію дає Сонце. Вважається, що першим, хто сформулював деякі основні положення, якими слід керуватися при використанні сонячної енергії стосовно до будівель, був філософ Сократ (470- 399 рр. до н. е.).

У «Записках Ксенофонта» про це мовиться таке: «У будинках, орієнтованих на південь, взимку промені сонця проникають у портик, але влітку, коли сонце знаходиться прямо над нашими головами і дахами, там тінь. Тому, якщо вважати таке розташування найкращим, то слід будувати південну частину будівлі вище, щоб перешкоджати холодним вітрам».

Іншим прикладом використання енергії Сонця в давнину вважається атака Архімеда на флот римлян в Сіракузах в 214 р. до н.е. Припускають, що він виготовив велику кількість добре відполірованих фокусуючих металевих дзеркал, поставив їх уздовж берега таким чином, щоб відбиті промені сонця фокусувались на корпусах і снасті римських кораблів, що знаходилися у гавані або біля берега. Деякі з суден загорілися, і римський флот звернувся у втечу. Практика застосування сонячної енергії в давнину в основному пов'язана з використанням різних фокусуючих пристроїв, таких як дзеркала або лінзи.

У 1600 р. у Франції був створений перший сонячний двигун, який працював на нагрітому повітрі і використовувався для перекачування води.

В кінці XVII ст. провідний французький хімік А. Лавуазьє створив першу сонячну піч, в якій досягалася температура в 1650 °С і нагрівалися зразки досліджуваних матеріалів у вакуумі і захисній атмосфері, а також були вивчені властивості вуглецю і платини.

У 1866 р. француз А. Мушо побудував в Алжирі кілька великих сонячних концентраторів і використовував їх для дистиляції води і приводів насосів. На всесвітній виставці в Парижі в 1878 р. А. Мушо продемонстрував сонячну піч для

приготування їжі, в якій 0,5 кг м'яса можна було зварити за 20 хвилин.

В 1833 р. в США Дж. Еріксон побудував сонячно-повітряний двигун з параболоциліндричними концентраторами великих розміром.

Перший плоский колектор сонячної енергії був побудований французом Ш. А. Тельєром. Він мав площу 20 м² і використовувався в тепловому двигуні, який працював на аміаку.

Перша великомасштабна установка для дистиляції води була побудована в Чилі в 1871 р. американським інженером Ч. Вілсоном. Вона експлуатувалася протягом 30 років, постачаючи питну воду для копальні.

У 1890 р. професор В. К. Церасский в Москві здійснив процес плавлення металів сонячною енергією, сфокусованої параболоїдним дзеркалом, у фокусі якого температура перевищувала 3000 °С.

У далекому 1839 Олександр Едмон Беккерель відкрив фотогальванічний ефект. Через 44 роки Чарльзу Фріттсу вдалося сконструювати перший модуль з використанням сонячної енергії, а основою для нього послужив селен, покритий тонким шаром золота. Вчений встановив, що таке поєднання елементів дозволяє, хоч і в мінімальному обсязі (близько 1%), перетворювати енергію сонця в електрику.

Саме 1883 прийнято вважати роком народження ери сонячної енергетики. Однак так думають не всі. У науковому світі існує думка, що «батьком» епохи сонячної енергії є не хто інший, як сам Альберт Ейнштейн. У 1921 році Ейнштейн був удостоєний Нобелівської премії за пояснення законів зовнішнього фотоелефекту.

Протягом ста років розвиток галузі переживало то різкі, стимульовані вченими, інвестиціями приватних і державних структур, підйоми, то грізні падіння, що змусили суспільство забути про «сонячні технології» на роки.

Одна з них – це перетворення сонячної енергії в електричну, в так звану сонячну електрику. Для перетворення сонячного світла в електрику використовують сонячні батареї.

Вперше сонячні батареї застосували при освоєнні Космосу в 1957 році. Вони були встановлені на супутнику і виробляли електричну енергію для його роботи. Основним елементом для виробництва батарей є кремній.

З однієї тонни піску, в якому міститься 500 кг кремнію, отримують 50-90 кг сонячного силіцію. При цьому на отримання 1 кг сонячного силіція – витрачається близько 250 кВт·годин електроенергії.

За новою технологією, розробленою німецькою фірмою Siemens ще в 1979 р. енерговитрати падають на порядок, і вихід продукту збільшується в 10-15 разів. Простий пісок для цієї технології не підходить. Тут потрібні «особливо чисті кварцити», поклади яких в значному обсязі, в основному, знаходяться в Росії.

Широко відомі мікрокалькулятори, годинники, радіоприймачі і багато інших електронних апаратів, що працюють на сонячних батареях. Сонячна батарея являє собою фотоелектричні перетворювачі – напівпровідниковий пристрій, безпосередньо (одноступінчатий «перехід»), що перетворює сонячну енергію в електрику в неоднорідних напівпровідникових структурах при дії на них сонячного світла.

4.2 Енергія Сонця. Види і параметри сонячної радіації

Джерелом енергії Сонця є термоядерні реакції в його ядрі. Активність Сонця проявляється, зокрема, у кількості плям і спалахів на ньому.

Ще 1908 р. було доведено, що в плямах є сильні магнітні поля, індукція яких досягає 0,5 Тл. Сильне магнітне поле гальмує вихід гарячої сонячної речовини з його надр, і саме тому температура поверхні Сонця у цьому місці знижується.

Випромінювання з поверхні Сонця характеризується широким енергетичним спектром, що приблизно відповідає енергетичному спектру випромінювання “чорного тіла” при температурі 5800К. Максимум інтенсивності лежить у видимій

області спектра (0,35-0,75мкм), в якій зосереджена майже половина всієї енергії. Решта сонячного випромінювання розподіляється між ультрафіолетовою частиною спектра з довжиною хвиль меншою за 0,3 мкм (менша частина) і інфрачервоною з довжиною хвиль більшою 0,75 мкм (більша частина).

Сонце являє собою віддалений від Землі термоядерний реактор, в якому відбувається поєднання двох ядер водню в ядро гелію (рис.4.1). За приблизними розрахунками, якщо енергію сонячного випромінювання прийняти за 100 %, то лише 15 % її досягає поверхні Землі.



Рисунок 4.1 – Енергія сонця:

1 – ядра водню (протони);

2 – ядро гелію (2 протони + 2 нейтрони)

Не вся радіація, що випромінюється Сонцем у напрямку до Землі, доходить до неї. Потoki сонячної енергії проникаючи крізь атмосферу частково поглинаються і розсіюються газами та аерозолями атмосфери. Частина сонячної радіації відбивається від хмар. А та частина сонячної радіації, яка доходить до земної поверхні також поглинається та відбивається нею. Таким чином розрізняють пряму, розсіяну, відбиту та поглинуту радіації.

Пряма сонячна радіація – радіація, яка надходить перпендикулярно до поверхні Землі у вигляді паралельних променів. Потік прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню Землі називають інсоляцією $\dot{S}$.

Інсоляцію визначають за формулою:

$$\dot{S} = S \sin h_c, \quad (4.1)$$

де S – пряма сонячна радіація, Вт·м⁻²; h_c – висота Сонця над горизонтом.

Розсіяна сонячна радіація – частина сонячної радіації, яка після розсіювання атмосферою і відбиття від хмар надходить на горизонтальну поверхню Землі (D).

Сумарна радіація (Q) – сукупність прямої та розсіяної радіації:

$$Q = \dot{S} + D = S \sin h_c + D, \quad (4.2)$$

В системі СІ сумарна радіація вимірюється в Дж·м⁻² (за годину, на добу).

Відбита сонячна радіація (R_k) – частина сонячної радіації, яка відбивається від поверхні Землі. Відбиваюча здатність поверхні Землі, або альbedo A_k визначається за співвідношенням:

$$A_k = \frac{R_k}{Q} \cdot 100\%, \quad (4.3)$$

Поглинута сонячна радіація – частина сонячної радіації, яку поглинає земна поверхня.

Радіаційний баланс – це різниця між величиною сонячної радіації, що надходить на поверхню Землі та величиною відбитих від неї потоків сонячних променів. Радіаційний баланс визначається за рівнянням:

$$B = \dot{S} + D - R - E_{ef}, \quad (4.4)$$

де B – радіаційний баланс, Вт·м⁻²; R – відбита сонячна радіація; E_{ef} – ефективне випромінювання Землі.

Відбита сонячна радіація визначається за формулою:

$$R = \frac{A_k \cdot Q}{100}, \quad (4.5)$$

Ефективне випромінювання Землі це різниця потоків тепла поверхні Землі (E_3) та атмосфери (E_a);

$$E_{ef} = E_3 - E_a.$$

Вдень радіаційний баланс статичний. В хмарну погоду пряма радіація відсутня, вночі баланс стає від'ємний – баланс дорівнює ефективному випромінюванню Землі.

Фотосинтетична активна радіація (ФАР) – радіація (короткохвильова), яка найактивніше поглинається рослинами. Для визначення ФАР за складовими частинами радіації з відповідними коефіцієнтами використовують рівняння:

$$\sum \Phi AP = 0,43 \sum \dot{S} + 0,57 \sum D, \quad (4.6)$$

де $\sum \dot{S}$ – сума інсоляцій, тобто радіація, що падає на горизонтальну поверхню Землі; $\sum D$ – сума розсіяної радіації за певний період (вегетація, календарний місяць, декада).

Радіаційний баланс підстилаючої поверхні – це різниця між кількістю сонячної радіації, яка досягає земної поверхні, і тією, що випромінюється Землею.

Радіаційний баланс у світлу, сонячну погоду становить:

$$B = S + D - R - E_3 - E_a, \quad (4.7)$$

де B – радіаційний баланс підстилаючої поверхні.

За одиницю сонячної енергії в системі СІ прийнято канделу (КД), енергетичної випромінюваної здатності – ($\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$).

Інтенсивність сонячної радіації визначають за величиною сонячної сталої. Це кількість теплоти, що поглинається перпендикулярною до сонячного випромінювання поверхнею см^2 за хвилину. Сонячна стала становить $1377 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$.

В сонячній енергетиці можна виділити два основних практичних напрями використання сонячної енергії [46]:

1) перетворення сонячної енергії в електричну енергію, в тому числі:

- фотоелектричний метод перетворення (електромагнітне випромінювання оптичного діапазону Сонця перетворюється в електроенергію постійного струму);

- термодинамічний метод перетворення (сконцентрована сонячна енергія використовується для одержання пари, яка, обертаючи турбогенератор, виробляє електроенергію);

2) перетворення сонячної енергії в теплову енергію, в тому числі:

- опалення;

- гаряче водопостачання.

Сонячні електростанції поділяються на термодинамічні та фотоелектричні (рис. 4.2).

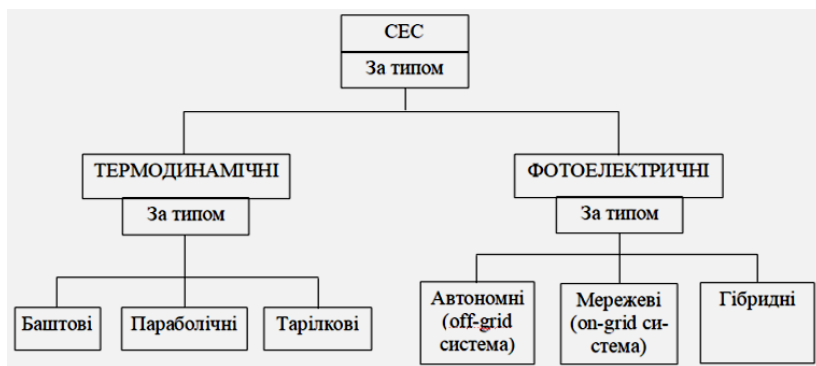


Рисунок 4.2 – Класифікація сонячних електростанцій

У термодинамічних – теплова енергія сонця перетворюється у механічну, а механічна у електричну, застосовуються при великих інвестиціях та на великі потужності.

Фотоелектричні станції перетворюють сонячну енергію напряму у електроенергію.

4.3 Перетворення сонячної енергії в електричну

Серед зазначених альтернативних джерел одним із найбільш перспективних є пряме перетворення сонячного випромінювання в електричну енергію за допомогою батарей фотогальванічних елементів.

4.3.1 Фотогальванічний елемент

Фотогальванічний елемент – це прямий перетворювач світлової енергії в електричну. Будова найпростішого сонячного елемента зображена на рис. 4.3. Береться звичайний напівпровідник – дві пластини, приєднані одна до одної, вони виготовлені з кремнію. В кремній додаються певні домішки, завдяки яким виготовляються елементи з потрібними властивостями. Перша пластина має надлишок валентних електронів, друга ж, навпаки, їх нестачу.

У підсумку, в напівпровіднику є шар негативно заряджений і шар позитивно заряджений, тобто шари «n» і «p» переходів.

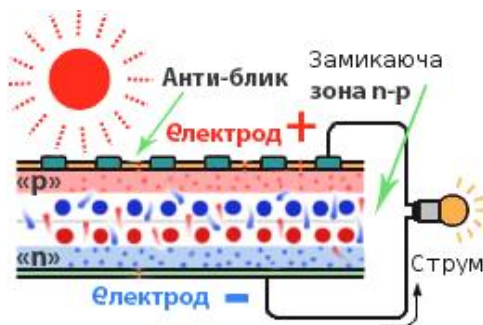


Рисунок 4.3 – Структура фотоелементу

На самій межі дотику цих пластин є зона замикаючого шару. Цей шар протидіє переходу надлишкових електронів з шару «n» у шар «р», де даних електронів не вистачає (місця з відсутніми електронами називають дірками). Якщо підключити до подібного напівпровідника зовнішнє джерело живлення («+»

до «р» і «-» до «п»), то зовнішнє електричне поле змусить електрони подолати замикаючу зону і через провідник потече струм.

Щось подібне відбувається і при дії сонячного випромінювання на сонячний елемент. Коли фотон світла влітає в шари «п» і «р», він передає свою енергію електронам (що знаходяться на зовнішній оболонці атомів), котрі вивільняються, а на їх місці з'являється дірка.

Електрони з отриманою енергією вільно долають замикаючий шар напівпровідника і переходять з шару «р» в шар «п», а дірки, навпаки, переходять з шару «п» у шар «р».

Цьому переходу електронів їх області «р» в область «п» і дірок з області «п» у область «р», також сприяють електричні поля позитивних зарядів, що знаходиться в зоні «п» провідника і негативних – в зоні «р», які ніби втягують в себе, одні – електрони, інші – дірки.

У підсумку, шар «п» набуває додаткового негативного заряду, а «р» – позитивного. Результатом цього явища буде поява в напівпровіднику різниці потенціалів (напруги) між двома пластинами близької до 0,5 В.

Сила електричного струму, який може генерувати сонячний елемент, змінюється пропорційно кількості захоплених поверхнею фотоелемента фотонів. Цей показник, у свою чергу, також залежить від безлічі додаткових чинників:

- інтенсивності світлового випромінювання;
- площі, що має фотоелемент;
- часу експлуатації;
- ККД пристрою, що залежить від температури (при її підвищенні, провідність фотоелемента значно падає).

Ось чому потрібно пам'ятати про наступне: сонячні елементи (фотоелементи, батареї) не здатні бути дуже потужними, вони не можуть працювати в безперервному режимі (через природну зміну дня і ночі), для стабілізації основних параметрів – сили струму і напруги – з'являється необхідність у використанні додаткових пристроїв (стабілізатори, акумулятори тощо).

4.3.2 Сонячний елемент та сонячні батареї

На рис. 4.4 зображений сонячний елемент, який є невід'ємною частиною сонячної батареї. Верхній шар p - n переходу, який має надлишок електронів, з'єднаний з металевими пластинами, які виконують роль позитивного електрода, пропускаючи світло і додаючи елементу додаткову жорсткість. Нижній шар в конструкції сонячного елемента має нестачу електронів, до нього приклеєна суцільна металева пластина, що виконує функцію негативного електрода.

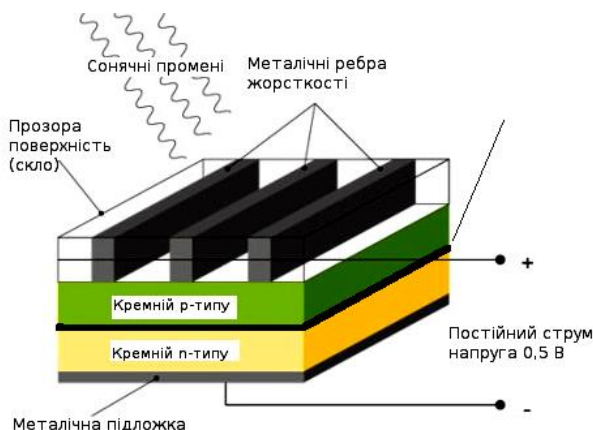


Рисунок 4.4 – Будова сонячного елемента

Сучасні кремнієві фотоелементи поки не знаходять собі широкого застосування лише внаслідок надзвичайної дорожнечі. Незважаючи на те, що кремнію дуже багато в земній корі, він виявляється лише в поєднанні з іншими елементами. Його витягають із з'єднання, очищають від домішок і з розплаву вирощують монокристали.

Останні розрізаються на тонкі пластинки, з яких, власне, і виготовляються самі фотоелементи. Всі ці технологічні операції трудомісткі, вимагають спеціального обладнання, висококваліфікованого персоналу і виконання ряду інших складних умов. Тому вартість монокристалічного кремнію необхідної чистоти вельми висока.

Кількість надчистого кремнію, необхідного для виготовлення одного фотоелектричного модуля потужністю 50 Вт, вистачає для інтегральних схем приблизно двох тисяч комп'ютерів. Поки кремнієві фотоелементи використовуються там, де необхідно мати надійне джерело електроенергії, а вартість не відіграє суттєвої ролі.

Найбільш вживаними та такими, що мають найбільший відсоток ККД, продовжують бути сонячні батареї, виготовлені на основі монокристалу або полікристалу кремнію. Причому другі через відносну дешевизну стають дедалі поширенішими. До якого типу конструкції сонячна батарея відноситься можна визначити неозброєним оком.

Монокристалічні мають виключно чорно-сірий колір, а моделі на основі полікристалу кремнію виділяє синя поверхню.

Полікристалічні сонячні батареї, що виготовляються методом лиття, виявилися дешевшими у виробництві.

Проте є один недолік – конструкції сонячних батарей на їх основі не мають гнучкості.

Ситуація змінилась з появою в 1975 році сонячної батареї на основі аморфного кремнію, активний елемент якої має товщину від 0,5 до 1 мкм, забезпечуючи їй гнучкість. Товщина звичайних кремнієвих елементів досягає 300 мкм. Однак, незважаючи на властивість аморфного кремнію поглинати світло, яка приблизно в 20 разів вище, ніж у звичайного, ефективність сонячних батарей такого типу не перевищує 12%. Для моно- і полікристалічних варіантів він може досягати 17% і 15% відповідно.

Розрізняють кілька типів сонячних кремнієвих батарей:

1. В тонкоплівкових модулях з аморфного кремнію шар напівпровідника лягає на тонку підкладку зі сталі або скла.

2. В основі приладів, які демонструють найбільшу ефективність, – монокристалічний кремній. Герметичність такої конструкції забезпечується технологічним полімером. Окрім його незначного потемніння, сонячні батареї такого типу протягом усього терміну експлуатації практично не змінюють своїх характеристик.

3. Щодо полікристалічного кремнію, то термін використання приладів, виготовлених з нього, наближається до монокристалічного матеріалу, а рівень КПД сягає 15%.

4. Вартість обох матеріалів практично не відрізняється, проте полікристалічний кремній трішки дешевший. Технічною характеристикою для порівняння фотоелектричних модулів є коефіцієнт корисної дії (ККД).

Якщо потужність сонячного випромінювання на м^2 становить 1000 Вт за годину, то при ККД сонячної панелі площею 1м^2 – 12-16%, вона зможе виробити відповідно за цю годину 120-160 Вт електричного струму.

Панелі, що виробляються в промислових масштабах перетворюють від 8 до 20% сонячної енергії, в лабораторних умовах ККД доходить до 44,7%. Тонкоплівкові панелі відрізняються тим, що вони мають ККД 8-10%, але й мають переваги – краще вловлюють розсіяне світло та менш залежні від кута падіння світла.



Рисунок 4.5 – Загальний вигляд сонячних панелей

Для географічної локації із невисоким рівнем інсоляції, таких як Житомирська область, доцільні модулі DАH Solar НСМ78Х9 – 450 Вт. Під час виробництва монокристалічних сонячних панелей НСМ78Х9-450 Вт використовуються такі новітні технології як “Half cell”.

Данні сонячні панелі чудово підходять для дахових сонячних електростанцій, оскільки дозволяють максимально ефективно використати кожен метр корисної площі.

Вся конструкція розміщується в легкій рамі із анодованого алюмінію, що забезпечує міцність та високу стійкість до корозії при будь якому розміщенні фотомодулів.

Характеристики:

Потужність – 445 Вт.

Допуск потужності –0/+5 Вт.

Тип –mono.

Максимальна напруга – 45,8В.

Максимальний струм – 9,72 А

Струм короткого замикання – 10,29 А

Ефективність модуля – 20,45 %

Максимальна системна напруга – 1000 В / 1500 В DC.

Максимальний струм запобіжника – 20А.

Габарит – ДхШхВ2172х1002х40 mm.

Вага – 24,8 кг.

Допустиме навантаження – 5400 па.

Гарантії на брак – 12 років.

Гарантія лінійної потужності – 82,5% (25 років).

4.3.3 Сонячна фотоелектрична система

Сонячна фотоелектрична система, яка складається з однієї та більше сонячних панелей – це сонячна електростанція, в якій використовується спосіб прямого перетворення сонячного випромінювання в електричну енергію. З'єднувати панелі можна паралельно або послідовно між собою.

Панелі розміщуються на опорній конструкції або рамі на даху житлового будинку або на землі, набору акумуляторних батарей, контролера заряду-розряду акумулятора, і інвертора, якщо необхідно мати напругу змінного струму (рис. 4.6).

Принцип роботи сонячної електростанції аналогічний до вітрової. На рис. 4.7 зображено СЕС, яка працює на «зелений тариф».

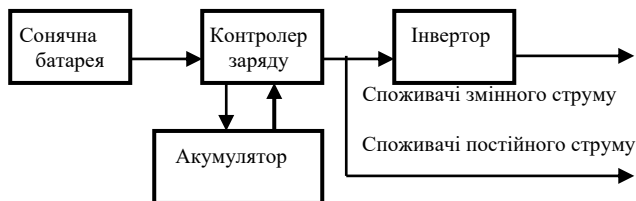


Рисунок 4.6 – Структурна схема сонячної фотоелектричної системи (станції)

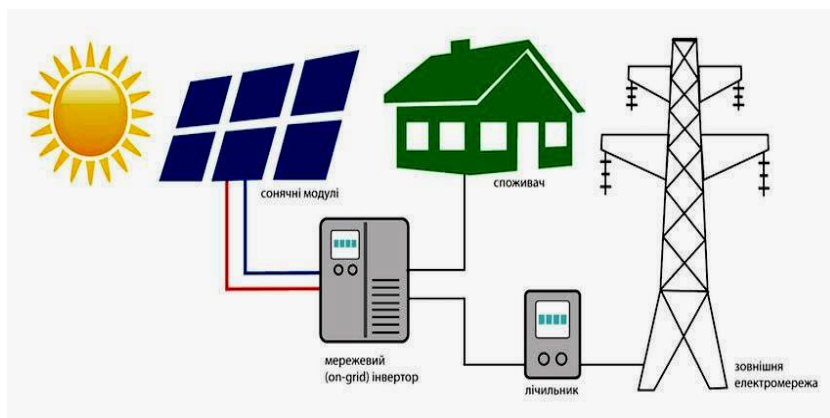


Рисунок 4.7 – СЕС, яка працює на «зелений тариф».

4.4 Сонячна енергетика

Сонячна енергетика – використання сонячної енергії для отримання енергії в будь-якому зручному для її використання вигляді.

На сьогодні сонячна енергетика широко застосовується у випадках, коли малодоступність інших джерел енергії в

сукупності з достатньою кількістю сонячного випромінювання виправдовує її економічно.

Потік сонячного випромінювання, що проходить через площу в 1 м^2 , розташовану перпендикулярно до потоку випромінювання на відстані однієї астрономічної одиниці від центру Сонця (на вході в атмосферу Землі), дорівнює 1367 Вт/м^2 (сонячна постійна).

Через поглинання, при проходженні атмосферної маси Землі, максимальний потік сонячного випромінювання на рівні моря (на Екваторі) – 1020 Вт/м^2 .

Проте слід врахувати, що середньодобове значення потоку сонячного випромінювання через одиничну горизонтальну площину як мінімум в три рази менше (через зміни дня і ночі і зміни кута сонця над горизонтом).

Взимку в помірних широтах це значення ще в два рази менше.

4.4.1 Стан та перспективи сонячної енергетики на Україні

Надра Сонця володіють температурою, достатньою для постійного синтезу водню в гелій, тобто для термоядерної реакції, яка і є джерелом колосальних енергетичних потоків, що випускаються Сонцем у вигляді електромагнітного випромінювання.

Розрахунки стверджують, що сучасні світові енергетичні потреби можна було б забезпечити за рахунок сонячної енергії, одержуваної щорічно площею 20 тис. км^2 , що становить 0,005% земної поверхні. Сумарна енергія сонячного випромінювання зазвичай вимірюється за більш триваліший період часу: день, тиждень, місяць, рік. Максимальна сумарна сонячне випромінювання за день в Україні сягає $8 \text{ кВт} \cdot \text{год/м}^2$ влітку і $3 \text{ кВт} \cdot \text{год/м}^2$ – в сонячний зимовий день.

За даними багаторічних спостережень, середньорічна сумарна сонячне випромінювання в Україні змінюється від $1350 \text{ кВт} \cdot \text{год/м}^2$ рік на півдні до $1000 \text{ кВт} \cdot \text{год/м}^2$ рік на півночі і в центральній частині, що відповідає аналогічним показникам для країн центральної Європи.

Середньорічний потенціал сонячної енергії в Україні ($1235 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$), що відповідає енергоємності приблизно 100 літрів дизельного палива або 100 м^3 природного газу, є достатньо високим і набагато вищим ніж наприклад в Німеччині – $1000 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$ чи навіть Польщі – $1080 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$. Для ефективного використання теплоенергетичного обладнання – Україна має хороші можливості.

У липні 2012 року компанія «Енергоінвест» (Вінницька область) завершила будівництво Слобода-Бушанської сонячної електростанції (СЕС) потужністю 1,875 МВт в Ямпільському районі Вінницької області.

Сонячна електростанція складається з 2432 сонячних батарей. На рівній ділянці розташовано 32 ряди, по 76 сонячних батарей у кожному. За роботою, зовнішнім станом та цілісністю сонячних батарей стежитимуть всього п'ять робітників та спеціалістів, що працюють та обслуговують гідровузол на відновленій поряд ГЕС.

В Україні працює 15 665 (875 промислові та 14 790 СЕС домогосподарств) об'єктів відновлюваної електроенергетики, яким встановлено «зелений» тариф. Наша держава входить в десятку країн Європи за темпами розвитку сонячної енергетики, тому ми пропонуємо вам дізнатись більше про 10 найпотужніших СЕС України. В таблиці 4.1. здійснений перелік 10 найпотужніших СЕС побудованих в Україні.

Таблиця 4.1 – Сонячні електростанції України

н/п	Область	Назва СЕС	Потужність, МВт	Рік запуску
1	Дніпропетровська	Покровська	240	2019
2	Дніпропетровська	Нікопольська	200	2019
3	Львівська	"Яворів-1"	72	2018-2019
4	Хмельницька	Кам'янець-Подільська	63,8	2019
5	Запорізька	Токмак	50	2018
6	Одеська	Дунайська	43,14	2038
7	Одеська	Старокозача	43	2012
8	Львівська	Терновиця	20	2017

9	Івано-Франківської	Modus Group	14	2019
10	Миколаївська	Калинівська	13,5	2019

У грудні 2012 року на території приміського села Ралівка Самбірського району запрацювала перша на Львівщині сонячна електростанція потужністю 1,1 МВт (рис. 4.8).

Вона складається з 3888 сонячних елементів. Побудована сонячна електростанція завдяки ТзОВ «Еко-Оптіма» спільно з чеськими інвесторами.

У травні 2013 року відкрито другу чергу потужністю 2,08 МВт. Загальну потужність станції було заплановано довести до 9,98 МВт у 2013 році.

Під будівництво виділено земельну ділянку площею 22 га. Станція матиме 10 тисяч сонячних панелей. Річне виробництво електроенергії – 8,82 млн кВт·год.

В результаті заміщення сонячною генерацією електроенергії в ОЕС України, що виробляється з викопних ресурсів зменшення викидів CO₂ сягне 16 тис. тонн. в рік.



Рисунок. 4.8 – Самбірська СЕС

У селищі Підгородне у Дніпропетровській області запрацювала єдина у Східній Європі сонячна електростанція, яка має трекерну систему (рис.4.9).

Такі рухомі сонячні батареї виробляють на 50% більше енергії, ніж звичайні стаціонарні установки. Загалом тут працює 10 400 модулів потужністю понад 2,5 тисячі кВт на годину.



Рисунок 4.9 – Загальний вигляд трекерних СЕС

У місті Борислав на Львівщині відкрили нову сонячну електростанцію ТОВ «Синтез Солар». Електростанція складається із двох – наземної та дахової, яка на сьогодні є найпотужнішою в Україні.

Наземна електростанція має загальну потужність – 326,12 кВт, а дахова – 1,114 МВт.

На даху звичайної житомирської 5-поверхівки з'явилася сонячна електростанція. Її встановив мешканець цього ж будинку за власні 15 тисяч доларів і на час, витрачений на оформлення документації та дозволів.

В Україні працює 15 665 (875 промислові та 14 790 СЕС домогосподарств) об'єктів відновлюваної електроенергетики, яким встановлено «зелений» тариф.

Наша держава входить в десятку країн Європи за темпами розвитку сонячної енергетики, тому ми пропонуємо вам дізнатись більше про 10 найпотужніших СЕС України.

Покровська, друга за потужністю в Європі, та Нікопольська сонячні станції (СЕС) потужністю 240 та 200 МВт, відповідно, запущені в експлуатацію 2019 року (рис. 4.10) [59].



Рисунок 4.10 – Найпотужніші СЕС України

4.4.2. Стан сонячної енергетики у Світі

В 2013 році сонячна енергетика вперше випередила вітрову темпами свого розвитку, середня ціна генерованої електроенергії склала 0,15-0,35 USD/кВт·год для систем промислового масштабу. Хоча, наприклад, в Данії вітрова енергетика є вигіднішою навіть за вугільні електростанції. Світовий приріст потужностей СЕС в 2013 році склав 38 ГВт, 2014 рік має побити цей рекорд.

Варто зазначити, що в 2013 році лідером розвитку сонячної енергетики в світі став саме Китай. Завдяки реформам в енергетичній сфері, державі вдалось досягти щорічного приросту потужностей в 27,4 ГВт, що майже в чотири рази більше, ніж у Японії, яка знаходиться на другому місці.

Сучасною тенденцією є швидке розширення сфер використання сонячної електроенергетики як для централізованого вироблення електроенергії на сонячних електростанціях, так і в індивідуальних системах електропостачання громадських і власних будівель.

У країнах, де має місце високий рівень розвитку сонячної енергетики, існують відповідні державні програми, які забезпечують сприятливі умови, в тому числі економічні, для її використання і розвитку.

У Німеччині, яка лідирує в ЄС за сумарною потужністю сонячних установок, використання системи сонячного теплопостачання, наприклад для опалення, супроводжується підсиленням теплозахисту будівель, утилізацією теплових викидів і в цілому зниженням енерговитрат. Так, застосування сонячно-теплопомпової системи теплопостачання індивідуальних житлових домів з вакуумними сонячними колекторами забезпечує до 70% енергоспоживання.

За даними агентства вже у 2021 році сумарна встановлювана потужність сонячних електростанцій у світі склала 849 ГВт (843 ГВт фотоелектричної та трохи більше 6 ГВт сонячної теплової генерації). Такі дані оприлюднило Міжнародне енергетичне агентство (IEA). В даний час частка сонячної енергії в світовому споживанні становить близько 1%, а загальна потужність встановлених СЕС у світі не перевищує 180 ГВт. Так, згідно Даним Національної енергетичної адміністрації КНР, тільки за першу половину поточного року в Китаї встановлено близько 35,8 ГВт сонячних фотоелектричних модулів. Згідно з прогнозами IEA, до 2050 року електроенергії, виробленої на СЕС, вистачить на забезпечення 20-25% потреб людства, зменшить викиди вуглекислого газу на 6 млрд. тонн на рік.

У 2007 р. в США введена в експлуатацію сонячна електростанція потужністю 64 МВт, в Іспанії – потужністю 11 МВт з геліостатичним полем з 624 дзеркал площею 120 м² кожне і баштою висотою 115 м.

У 2019 році в США запустили сонячну електростанцію потужністю 280 МВт (рис. 4.11). Станція Solana складається з 2700 параболічних дзеркал, жолоби яких займають площу у 7,7 кв. км. В Арізоні планують побудувати ще 4 сонячні електростанції з дзеркальними концентраторами потужністю 470 МВт [60].

Адміністрація Байдена-Гарріса схвалила будівництво двох сонячних проєктів у Каліфорнії станом на червень 2022 року. Міністерство внутрішніх справ видало остаточний дозвіл на будівництво сонячних проєктів Arica та Victory Pass поблизу Desert Center у східному окрузі Ріверсайд. Проєкти Arica Solar від Clearway Energy Group, LLC на 265 МВт та Victory Pass Solar на 200 МВт підтримуватимуть до 1000 робочих місць та вироблятимуть до 465 мегават електроенергії [59].



Рисунок 4.11 – Сонячна електростанція
в штаті Арізона

На півночі Франції з'явилася «зелена» дорога – її побудували з допомогою сонячних батарей. Автошлях має протяжність 1 кілометр та коштує 5 мільйонів євро. Сонячні батареї не псуватимуться під вагою машин, адже вони захищені спеціальним міцним пластиком (рис. 4.12)



Рисунок. 4.12 – Дорога з сонячних батарей

До того ж, пластикове покриття прозоре, тому пропускає сонячне світло. Відповідно до плану, дорога здатна генерувати 280 000 Ватт електроенергії в годину. Таких потужностей вистачить, щоб забезпечити енергією вуличне освітлення селища з населенням в 3,4 тис жителів.

4.5 Сонячна тепла енергія. Способи та засоби отримання

Сонячна радіація може бути перетворена в корисну енергію, використовуючи так звані активні і пасивні сонячні системи низькотемпературного опалення. До активних сонячних систем відносяться:

- сонячні колектори;
- фотоелектричні елементи.

Пасивні системи виходять за допомогою проектування будівель і підбору будівельних матеріалів так, щоб максимально використовувати енергію Сонця.

Сонячна енергія перетворюється в корисну енергію і непрямим чином, трансформуючись в інші форми енергії, наприклад, енергію біомаси, вітру або води. Велика частка сонячної радіації поглинається океанами і морями, вода в яких нагрівається, випаровується і у вигляді дощів випадає на землю, “живлячи” гідроелектростанції.

4.5.1 Сонячні системи теплопостачання

На сьогодні найбільш актуальним в Україні є отримання теплової енергії для обігріву помешкань та гарячого водопостачання. Особливо це стосується приватних осель – як котеджів, так і багатоквартирних будинків.

Головна складова геліосистем для нагріву води – сонячні колектори, які перетворюють енергію Сонця в тепло. В колекторі відбувається нагрів спеціального теплообмінника, який протікаючи по нижньому змійовику бойлера віддає тепло воді, нагріваючи її для побутового використання, в найпростішому випадку – для забезпечення потреб в гарячій воді, в більш

складних випадках – і для обігріву домівки, і (або) для підігріву води в басейні.

Сонячні колектори класифікуються за наступними ознаками:

- за призначенням – для гарячого водопостачання, опалення;

- за видом теплоносія – рідинні та повітряні;

- за терміном експлуатації – сезонні та цілорічні;

- за технічними рішеннями – одно-, дво- і багатоконтурні.

Сучасні сонячні системи гарячого водопостачання здатні на 60-80% забезпечити потребу в гарячій воді на широті Києва, а в Криму – і на всі 100%. Використання таких геліосистем роблять енергетично незалежним від підвищення цін на газ і електроенергію.

4.5.2 Основні види сонячних нагрівачів води

До основних видів сонячних нагрівачів води відносяться: колектори плоскі та трубчасті вакуумні, термосифонні геліосистеми.

Плоскі колектори широко використовуються в усьому світі, вони дещо дешевші за вакуумні трубчасті колектори.

Трубчасті вакуумні колектори – дорожчі та більш продуктивніші, ніж плоскі колектори, і використовуються у Європі вже впродовж кількох десятиріч.

Вакуумні колектори встановлюють у випадках, коли потрібна висока температура, або для комплексних систем для нагріву води і опалення приміщень.

Сьогодні в Україні встановлюють і трубчасті вакуумні колектори, вони мають трохи вищий ККД і нижчий рівень тепловтрат, і плоскі колектори.

Термосифонні геліосистеми використовують в основному для сезонного використання – з весни по осінь. Але існують вже конструктивні модифікації термосифонних систем для використання протягом всього року, але в умовах відсутності великих морозів.

Плоский колектор – це добре теплоізолювана та засклена панель (рис. 4.13), у якій розміщена пластина поглинача сонячного тепла, і встановлені трубки з циркулюючою рідиною, яка відводить отримане тепло.

Така пластинка має спеціальне високоселективне покриття, що добре поглинає сонячну енергію. Нижня площина та бокові стінки колектора вкриті тепло ізолюючим матеріалом. Під дією сонячної радіації теплосприймаючі панелі розігріваються до температур 70-80 °С.

Але незважаючи на це, теплові втрати плоских колекторів із заскленого боку досить значні, особливо в зимову пору року при значній різниці температур теплоносія в колекторі та зовнішнього повітря. Блокування частини малих трубок у плоских колекторах кристалами нерозчинних солей, що створює додаткові “незручності” при експлуатації.

Це знижує продуктивність колектора, та ускладнює процес обслуговування – промивання великої кількості малих паралельних трубок є проблематичним.

При чому монтаж плоского колектора треба проводити з дотриманням певних правил – колектор достатньо важкий, він має встановлюватися на площину без перекосів. В інакшому випадку це істотно впливає на герметичність і скорочує термін експлуатації.

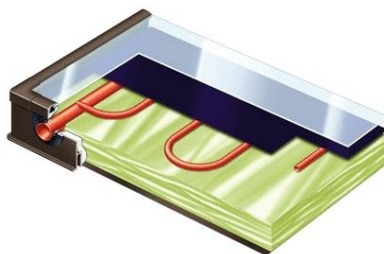


Рисунок 4.13 – Плоский колектор

Плоскі колектори – найпоширеніший вид сонячних колекторів, що використовуються в побутових водонагрівальних і опалювальних системах.

Вакуумний трубчастий колектор. Конструктивні рішення вакуумного трубчастого колектора мають різні модифікації але в принципі схожі на будову термоса: одна скляна трубка знаходиться в іншій, більшого діаметра, а між ними – вакуум, самий кращий теплоізолятор (рис. 4.14). Завдяки цьому втрати на теплові випромінювання при підвищенні температури робочої рідини дуже низькі. В кожній внутрішній трубці вбудована мідна пластина поглинач з геліотитановим покриттям, це гарантує високий рівень поглинання сонячної енергії й дуже малу емісію теплового випромінювання. Всередині встановлена тепла труба, заповнена спеціальною рідиною, яка випаровується при нагріванні. Через з'єднувальні елементи “сухого” типу тепла труба приєднана до конденсатора у теплообміннику типу “труба в трубі”. Це дає змогу міняти вакуумні трубки. Завдяки такій конструкції вакуумні колектори з тепловою трубкою можуть працювати за температур до -35°C .

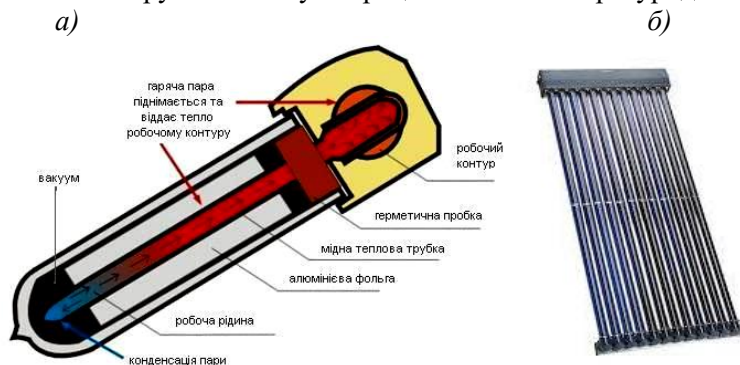


Рисунок 4.14 – Вакуумний трубчастий колектор:

а – склад колектора; б – загальний вигляд.

Вакуумний колектор із дванадцятишаровим селективним покриттям, яке поглинає сонячне випромінювання і теплоізолює вакуумом, затримує 98% сонячної енергії. В вакуумному колекторі повністю відсутні втрати по теплопровідності або конвекції. Оскільки повний коефіцієнт втрат у вакуумному колекторі низький, – менше 2%, то теплоносії у ньому може нагріватися до температури $+250^{\circ}\text{C}$. Таке

селективне дванадцятишарове покриття у вакуумних трубок забезпечує максимальне поглинання енергії, завдяки чому колектори працюють також у несонячну погоду. Крім того, вакуумні колектори мають незаперечні переваги.

Завдяки циліндричній формі трубок сонячні промені впродовж дня падають на однакову за площею поверхню – це як плоский колектор, що повертається за сонцем. Це дає змогу колекторам працювати стабільно з максимальною потужністю протягом дня. Кругла форма елементів колекторів не накопичує бруду, стійка до атмосферного впливу. Максимальна робоча температура системи може бути керована завдяки фізичним властивостям рідини у тепловій трубці та спеціальній конструкції накопичувача.

Термосифонні геліосистеми використовуються для компенсації сезонних теплових навантажень – роботи в теплі місяці року, для приготування гарячої води на обігрів води у відкритих басейнах, літніх пансіонатах та будинках відпочинку та ін.

Дана установка (рис. 4.15) може встановлюється на будь-який освітлений сонцем майданчик в південному напрямку, підключається до звичайної системою трубопроводів (як звичайний електричний бойлер).



Рисунок 4.15 – Термосифонна геліосистема

Застосування вакуумних труб з багатошаровим покриттям і тепловою трубкою більш ефективно забезпечує передачу тепла воді від сонця і забезпечить безперервність роботи пристрою навіть при виході з ладу кількох вакуумних труб.

Сучасні побутові сонячні колектори здатні нагрівати воду до температури кипіння навіть при негативній навколишній температурі. Окрім підігріву води, в зимовий період, їх можна використовувати для опалення приміщення. Але для того щоб опалювати було ефективно, сонячні колектори потрібно використовувати в парі з котлами (твердопаливними, газовими, електричними) і акумуляційними ємкостями. В цьому випадку сонячні колектори працюють цілорічно в автоматичному режимі паралельно зі звичайними опалювальними приладами. Для найбільш ефективного підбору треба зробити попередній аналіз, щоб мінімізувати витрати. Існує багато схем по впровадженню сонячних систем, як окремо функціонуючих, так і таких які приєднуються до існуючої системи гарячого водопостачання та опалення. В кожному конкретному випадку необхідно провести аналіз існуючої системи та отримати консультації спеціалістів.

На рис. 4.16 зображена схема системи гарячого водопостачання/опалення із примусовою циркуляцією, реалізована на базі вакуумного сонячного колектора.

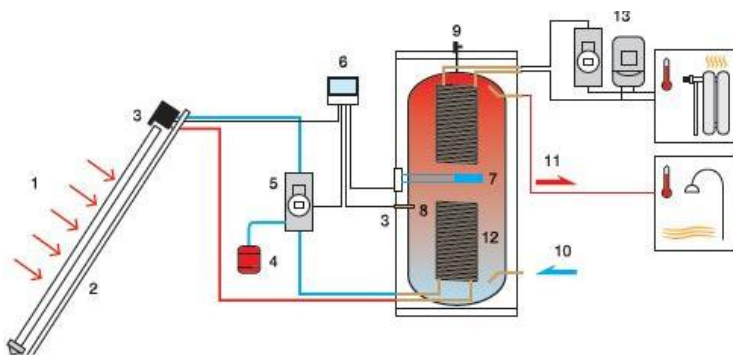


Рисунок 4.16 – Сонячна системи гарячого водопостачання:

1. Сонячні промені; 2. Сонячний колектор; 3. Датчик температури № 1; 4. Розширювальний бак; 5. Насосна станція; 6. Контролер; 7. Електронагрівач (ТЕН); 8. Датчик температури № 2; 9. Запірний клапан; 10. Вхідний отвір (холодна вода); 11. Вихідний отвір (гаряча вода); 12. Накопичувальний резервуар (бойлер) з одним/двома мідними теплообмінниками; 13. Основна система опалення на основі газового, електричного або твердопаливного котла.

Зазвичай це – теплоізовльована металева конструкція зі скляною або пластмасовою кришкою, в який поміщена пофарбована в чорний колір пластина абсорбера (поглинача).

У плоских колекторах зазвичай використовується матове, що пропускає тільки світло, скло з низьким вмістом заліза (воно пропускає значно більше сонячного світла, що надходить на колектор).

Принципова схема системи сонячного теплопостачання приведена на рис. 4.17. Вона включає три контури циркуляції :

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

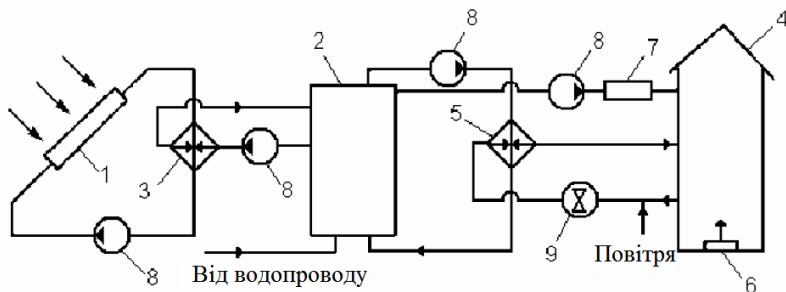


Рисунок 4.17 – Принципова схема системи сонячного теплопостачання :

1 -сонячний колектор; 2 - бак-акумулятор; 3 - теплообмінник; 4 - будівля; 5 - калорифер; 6 - дублер системи опалювання; 7 - дублер системи гарячого водопостачання; 8 - циркуляційний насос; 9 - вентилятор.

Функціонує система сонячного теплопостачання наступним алгоритмом:

Теплоносій (антифриз) теплоприймального контура, нагріваючись в сонячних колекторах 1, поступає в

теплообмінник 3, де теплота антифризу передається воді, циркулюючій в міжтрубному просторі теплообмінника 3 під дією насоса 8 другого контуру. Нагріта вода поступає в бак-акумулятор 2. З бака-акумулятора вода забирається насосом гарячого водопостачання 8, доводиться при необхідності до необхідної температури в дублерові 7 і поступає в систему гарячого водопостачання будівлі. Підживлення бака-акумулятора здійснюється з водопроводу. Для опалювання вода з бака-акумулятора 2 подається насосом третього контуру 8 в калорифер 5, через який за допомогою вентилятора 9 пропускається повітря і, нагрівшись, поступає в будівлю 4. У разі відсутності сонячної радіації або нестачі теплової енергії, що виробляється сонячними колекторами, в роботу включається дублер 6.

Вибір і компонування елементів системи сонячного тепlopостачання у кожному конкретному випадку визначаються кліматичними чинниками, призначенням об'єкту, режимом теплоспоживання, економічними показниками [48].

Сучасні колектори поглинають до 97% сонячної енергії, а зворотне випромінювання зменшене до 10-14% – і до 3-7% у більш дорогих моделях.

4.6 Сонячні теплоелектростанції

Існують сонячні теплоелектростанції трьох типів:

- баштового типу з центральним приймачем-парогенератором, на поверхні якого концентрується сонячне випромінювання від плоских дзеркал-геліостатів;
- параболічного (лоткового) типу, де в фокусі параболоциліндричних концентраторів розміщуються вакуумні приймачі-труби з теплоносієм;
- тарілкового типу, коли в фокусі параболічного тарілкового дзеркала розташовується приймач сонячної енергії з робочою рідиною.

Станції баштового типу. Енергію Сонця можна перетворити в електроенергію за допомогою геліоенергетичних установок. В експериментальних системах величезна

кількість керованих комп'ютером дзеркал спостерігають Сонце і фокусують сонячне світло на центральному пункті збору сонячної енергії, розташований зазвичай на горі, або високій вежі.

Це висококонцентроване сонячне світло забезпечує розігрів теплоносія який під високим тиском подається на лопаті турбіни, яка виробляє електричний струм.

Станції баштового типу (рис. 4.9) складаються з п'яти основних елементів: оптичної системи, автоматичної системи управління дзеркалами і станцією в цілому, парогенератора, башти і системи перетворення енергії, яка включає теплообмінники, акумулятори енергії і турбогенератори.

Принципова схема сонячної електростанції баштового типу показана на рис. 4.18.

Оскільки у такій електростанції використовується пряме сонячне випромінювання, концентруючі геліостати повинні мати систему слідування за Сонцем, при цьому кожний з геліостатів орієнтується в просторі індивідуально.

Температура, яку можна отримати на вершині башти з допомогою дзеркальних концентраторів, складає 300–1500°C. В одному модулі можна отримати потужність, яка не перевищує 200 МВт, що пов'язано зі зниженням ефективності перенесення енергії від найбільш віддалених концентраторів на вершину башти.

Найбільша в світі сонячна станція функціонує в Піренейських горах на півдні Франції з 1970 р. В ній досягається температура до 2000 °С.

Ця енергія використовується для виробництва чистих металів, а надмірне тепло використовується для виробництва електричного струму. Існують експериментальні геліоенергетичні установки в Італії, Японії, США. Але їх вартість в 4-6 разів дорожче ніж вартість нової АЕС.

Світова практика експлуатації станцій баштового типу довела їх технічну можливість і працездатність. Основним недоліком таких установок є значна площа, яку вони займають. Так, для розміщення баштової електростанції потужністю 100 МВт необхідна площа 200 га.

Пуск сучасної сонячної електростанції баштового типу відбувся 30 березня 2007 року в районі Санлукар-ла-Майор недалеко від Севільї (Іспанія).

Чудова бетонна башта висотою 115 м і 624 дзеркала геліостатів площею 120 м² кожне забезпечує парою паротурбінну установку потужністю 11 МВт, що достатньо для постачання електроенергією 6000 будівель, економлячи тим самим 18000 тонн вуглеродних викидів за рік.

Демонстраційна сонячна термодинамічна електростанція «Solar Two» (рис. 4.19) працювала з 1981 по 1999 роки в пустелі Мохаве (Каліфорнія, США). Її потужність перевищувала 10 МВт. Сонячну башту цієї станції оточували 1926 геліостатів загальною площею 83000 м².

Цікаво, що сонячне світло гріло не воду, а проміжний теплоносіє – розплавлену суміш натрію і калію. Від неї вже закипала вода, що давала пару для турбін.

У 1999 році вчені перебудували цю станцію у гігантський детектор черенковського випромінювання для вивчення дії космічних променів на атмосферу.

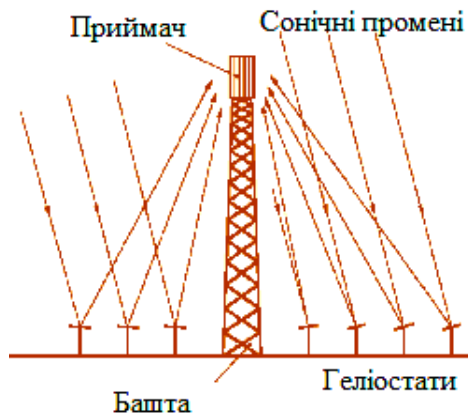


Рисунок 4.18 – Схема електростанції баштового типу



Рисунок 4.19 – Сонячна термодинамічна електростанція «Solar Two»

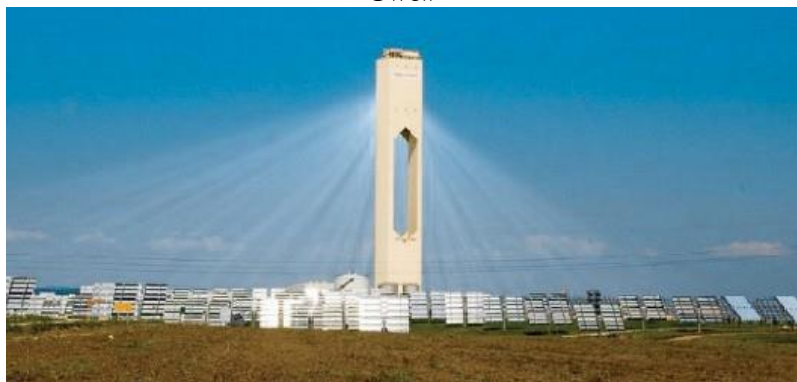


Рисунок 4.20 – Сонячна електростанція в Севільї (PS1), Іспанія (фото «Solucar»)

Світло від сотень великих дзеркал настільки яскраве, що викликає свічення пилу і вологи в повітрі, завдяки чому і помітні промені, оточуючі красиву білу башту. На передньому плані бачимо розташовані поряд з дзеркалами фотоелектричні

панелі з концентраторами. Дзеркала ж, направлені на сонячну башту, з цього ракурсу не видні.



Рисунок 4.21 – Вид на станцію PS1 з висоти пташиного польоту. На задньому плані видна площадка, яку готують під PS2 (фото «Solucar»)

Поруч зі станцією станцію PS1 (рис. 4.20, 4.21) відбувається будівництво ще однієї подібної станції (PS2), але більш потужної. Буде встановлено приблизно 1255 дзеркал. Розрахункова потужність електростанції – 20 МВт. Пуск другої станції зменшить викиди CO₂ в атмосферу на 54000 тонн за рік і забезпечить електроенергією біля 18000 будівель. А всього до 2013 року різні за принципом дії сонячні установки, які будуть встановлені на площадці в Санлукар-ла-Майор, матимуть сумарну електричну потужність 300 МВт, що достатньо для задоволення потреб в електроенергії такого міста, як Севілья.

Станції параболічного типу

У сонячних електростанціях параболічного типу (рис. 4.22) використовуються параболічні дзеркала (лотки), що концентрують сонячну енергію на приймальних трубках, які розташовані в фокусі конструкції і вміщують в собі рідинний теплоносі. Ця рідина нагрівається приблизно до 400°C і прокачується через ряд теплообмінників, при цьому

виробляється перегріта пара, яка приводить в дію звичайний турбогенератор для вироблення електричної енергії.

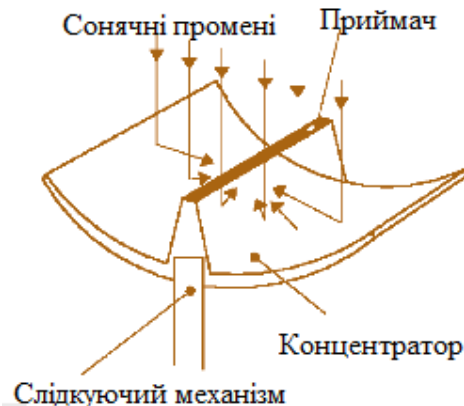


Рисунок 4.22– Схема сонячної електростанції параболічного типу

Станції параболічного типу використовуються все ширше завдяки більш простій системі слідкування за Сонцем і меншій металоємності. Питома вартість станцій параболічного типу близька до питомої вартості АЕС.

Концентруючі геліоприймачі. Концентруючі геліоприймачі є сферичними або параболічними дзеркалами (рис. 4.23), виконаними з полірованого металу, у фокус яких поміщають теплосприймаючий елемент (сонячний котел), через який циркулює теплоносії.

Як теплоносії використовують воду або незамерзаючі рідини. При використанні як теплоносії води вночі і в холодний період систему обов'язково спорожняють для запобігання її замерзання.

Для забезпечення високої ефективності процесу уловлювання і перетворення сонячної радіації концентруючий геліоприймач має бути постійно спрямований строго на Сонці.

З цієї метою геліоприймач забезпечують системою стеження, що включає датчик напряму на Сонце, електронний блок перетворення сигналів, електродвигун з редуктором для повороту конструкції геліоприймача в двох площинах.

Перевагою систем з концентруючими геліоприймачами є здатність вироблення теплоти з відносно високою температурою (до 100 °C) і навіть пара.

До недоліків слід віднести високу вартість конструкції; необхідність постійного очищення відзеркалюючих поверхонь від пилу; роботу тільки у світлий час доби, а отже, потреба в акумуляторах великого об'єму; великі енерговитрати на привід системи стеження за ходом Сонця, сумірні з енергією, що виробляється.

Ці недоліки стримують широке застосування активних низькотемпературних систем сонячного опалювання з концентруючими геліоприймачами.

Останнім часом найчастіше для сонячних низькотемпературних систем опалювання застосовують плоскі геліоприймачі.

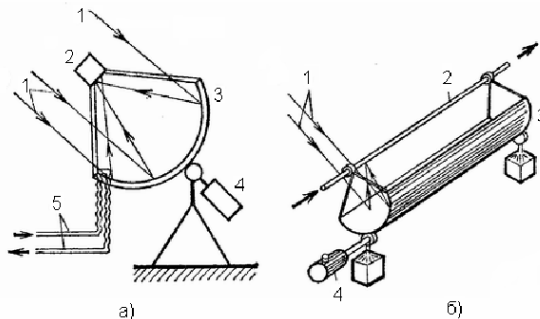


Рисунок 4.23 – Концентруючі геліоприймачі:

а – параболічний концентратор; б – параболоциліндричний концентратор; 1 – сонячні промені; 2 – теплосприймаючий елемент (сонячний колектор); 3 – дзеркало; 4 – механізм приводу системи стеження; 5 – трубопроводи, що підводять і відводять теплоносії.



Рисунок 4.24 – Довгі параболічні (в поперечному перерізі) дзеркала з трубами для розігрівання теплоносія (фото «Solucar»)

Сонячна електростанція компанії «Solucar» в Санлукар-ла-Майор перевіряє на ділі різні технології. Наприклад, параболічні концентратори з двигунами Стирлінга і довгелезні параболічні (в поперечному перерізі) дзеркала з трубами для розігрівання теплоносія (фото «Solucar») (рис. 4.24).

Сонячні електростанції найбільш ефективні в районах з високим рівнем сонячної радіації і малою хмарністю. Їх к.к.д. може досягати 20%, а потужність 100 МВт [44].

Станції тарілкового типу. В установках тарілкового типу (рис. 4.25) використовуються параболічні тарілкові дзеркала (схожі за формою на супутникову тарілку), які фіксують сонячну енергію на приймачі, розташованому в фокусі кожної тарілки. Рідина в приймачі нагрівається до 1000°C і її енергія використовується для вироблення електричної енергії в двигуні Стирлінга або в установці, що працює за циклом Брайтона. Установки мають систему слідування за Сонцем. Внаслідок ефекту аберації при відхиленні від ідеальної форми та інших конструктивних факторів максимальний діаметр тарілок не перевищує 20 м при потужності до 60–75 кВт. Питома вартість сонячної

електростанції тарілкового типу може бути меншою, ніж електростанцій баштового і параболічного типів.



Рисунок 4.25 – Сонячна установка тарілкового типу:
а – схема сонячної установки тарілкового типу;
б – сонячна установка потужністю 10 кВт на сонячній електростанції в Almeria (Іспанія)

4.7 Сонячний транспорт

До найбільш перспективним транспортними засобами прийдешнього століття можна віднести: *електромобіль, літак на сонячній енергії та судно на сонячній енергії*.

Сонячні батареї, перетворюючи енергію сонячного світла в електричну енергію, заряджають акумуляторні батареї. Ті, в свою чергу, за допомогою електродвигуна приводять у рух транспортні засоби.

Автомобіль на сонячних батареях – джерело енергії — акумуляторні батареї (рис. 4.26). Поки що вони не можуть конкурувати з бензином і дизельним паливом.

Без якісного стрибка їх характеристик електромобілі будуть мати обмежене застосування (перевезення за визначеними маршрутами, виставкові, паркові та інші закриті зони). Поки вони не порівнянні з традиційними автомобілями ні за технічними даними, ні по вартості, ні за зручністю експлуатації.

Перше серйозне випробування автомобіль на сонячних батареях одержав в 1982 році, коли інженер-винахідник Ханс

Толstrup на своє дітище «Quiet Achiever» проїхав поперек Австралії, при цьому середня швидкість його була 20 км/год.

З тих пір на автомобілі на сонячних батареях звернули серйозну увагу і інші інженери ентузіасти, які почали створювати ще більш досконалі моделі.

У 1996 р. переможець IV Міжнародного ралі сонцемобілей – «Dream» (Мрія), на створення якого японська компанія "Honda" не пошкодувала 2 млн дол, пройшов 3000 км між Дарвіном і Аделаїда з середньою швидкістю майже 90 км/год, на окремих ділянках досягає 135 км/ч.



Рисунок 4.26 – Один з варіантів сонцемобіля

Існує багато конструкцій сонцемобілів, але їхньою спільною проблемою є низький ККД сонячних батарей (зазвичай біля 10-15 %, передові розробки дозволяють досягти 30-40 %). Що не дає змогу запасати значну кількість енергії за день – скорочуючи добовий пробіг, до того ж, від сонячних елементів нема користі вночі та в похмуру погоду.

Друга проблема – висока ціна сонячних батарей.

Також існують гібридомобілі, що приводяться до руху як сонячною енергією, так і педалями. В основному це саморобні машини, але розробляються проекти серійного випуску подібного транспорту, наприклад, *SolarLab rickshaw* та угорський *Antro Solo*.

На вантажівку (рис. 4.27) встановлені фотоелектричні панелі потужністю 3,5 кВт, вітрова установка, дизель-генератор потужністю 10 кВт.

Джерела енергії доповнюють одне одне, забезпечуючи повну автономність при максимальних навантаженнях.



Рисунок 4.27– Гібридний електромобіль

Літак на сонячній енергії – літак з електросиловою установкою, в якому електродвигуни живляться за рахунок енергії, отримуваної із сонячних елементів, встановлених на фюзеляжі та крилах. Надлишок електроенергії накопичується в акумуляторних батареях і може використовуватись при частковій або повній нестачі сонячної енергії.

У Швейцарії був сконструйований екологічно чистий гвинтовий літак Solar Impulse (рис. 4.28). Розмах його крил – 72 м, загальна вага – 2,35 т. Від розміщених на фюзеляжі та крилах 17 тис. літєвих сонячних батарей працює чотири електродвигуни з загальною потужністю 7,35 кВт. Накопиченої ними за світлий час доби електроенергії вистачає на нічні польоти. Крейсерська швидкість – 70 км/год.



Рисунок 4.28 – Літак Solar Impulse

Плавзасіб на сонячній енергії (рис. 4.29) – судно з електросиловою установкою, в якому електродвигуни повністю або частково живляться за рахунок енергії, отримуваної з сонячних елементів, встановлених на верхній палубі та надбудові судна. Надлишок електроенергії накопичується в акумуляторних батареях і може використовуватись при частковій або повній нестачі сонячної енергії.

На 2012 рік найбільшим плавзасобом, що працює виключно на сонячній енергії є катер «PlanetSolar». У 2012 році цей катер завершив навколосвітнє плавання.



Рисунок 4.29 – Катер «PlanetSolar»

Першим у світі вантажним судном, яке використовує сонячну енергію для живлення головного силового двигуна є японське судно «Auriga Leader», на якому 10% – близько 40 кВт. – споживаної енергії виробляють 328 сонячних панелей.

4.8. Технічні рішення підвищення ефективності сонячних електростанцій

З досвіду відомо, що сонячні елементи генерують максимальну енергію, тільки коли вони розташовуються точно перпендикулярно напрямку сонячних променів, а це може трапитися тільки один раз на день. В інший час ефективність роботи сонячних елементів становить менше 10%. Значно підвищити ефективність сонячного модуля можна, якщо забезпечити його поворотним механізмом, оснащеним автоматичною системою стеження за сонцем.

Стеження за сонцем – це система для орієнтування панелі сонячних батарей, або для утримання сонячного відбивача або лінзи поверненими до сонця, подібно геліостатам. Також, це один із способів підвищення продуктивності сонячних батарей.

Існує два основних типи поворотних механізмів для сонячних модулів: одноосовий і двохосовий (рис. 4.30).

Одноосовий реалізує поворот сонячного модуля навколо єдиної центральної осі, що досить зручно для сонячної електростанцій великого масштабу.

Двохосовий дозволяє більш гнучко відслідковувати положення сонця, контролюючи як азимутний, так і кут нахилу сонця над горизонтом. Пристрої, забезпечені системою стеження за сонцем, також можуть відрізнятися за типом і видом використовуваних датчиків, принципом функціонування системи управління, конструктивним особливостям.

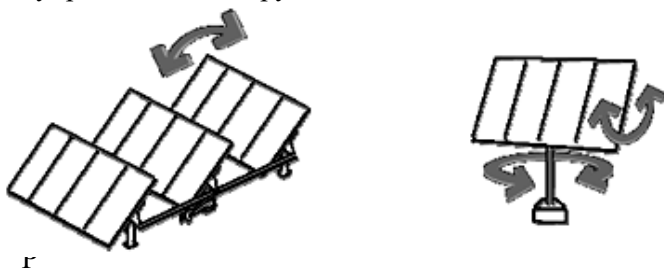


рис. 4.30 – Одноосові та двохосові сонячні установки

Система стеження за сонцем, сонячних батарей 01ARX1 (рис. 4.31), з фотодетектором, блоку управління та GPS – приймача. Вона може працювати з одним актуатором (рух по одній осі) або двома актуаторами (рух по двох осях) для повороту панелі сонячних батарей слідом за сонцем. Горизонтальні одноосові системи стеження зазвичай використовуються в сонячних електростанціях і широко масштабних проектах.

Покращення енергоефективності, низьку вартість і простоту монтажу призводить до значної економії.

Горизонтальні одновісним пристрої стеження також значно підвищують продуктивність протягом весни і літа, коли сонце високо в небі.

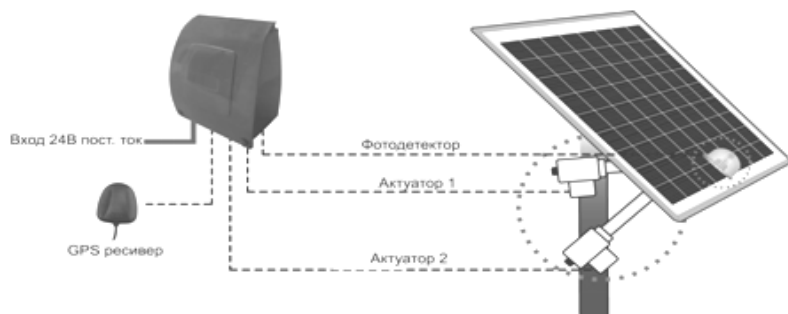


Рисунок 4.31 – Схема системи стеження за Сонцем 01ARX1

Вертикальні одноосові системи обертаються тільки навколо вертикальної осі, панелі на них закріплюються вертикально під фіксованим, регульованим або відслідковується, кутом нахилу. Такі системи стеження з фіксованим або (сезонно) регульованим кутом нахилу підходять для високих широт, де верхня точка видимої сонячної траєкторії не надто висок, але що призводить до довгим літнім дням, коли сонце рухається по довгій дузі. Великої уваги заслуговує поворотний механізм автоматичного стеження за сонцем TITAN TRACKER (Іспанія). Поворотний механізм автоматичного стеження за сонцем (рис. 4.32).



Рисунок 4.32 – Поворотний TITAN TRACKER

Це рамна поворотна конструкція для модулів сонячних батарей, яка динамічно орієнтується щодо видимого положення Сонця, зберігаючи оптимальне положення сонячних батарей.

Переваги сонячної установки:

1. Велика продуктивність енергії: двохосьове стеження, починаючи з 10 градусів, що на 45 % більше, ніж у фіксованих нерухомих систем (в 40 ° широти).
2. Висока потужність установки: 219 м² поверхні модулів.
3. Точність наведення – близько 0,01 градуси .

4.9 Інвертори для систем альтернативної енергетики

Однак для ефективної роботи альтернативних систем електропостачання необхідно наявність у його комплектації різних елементів, причому, одним з основних її вузлів перетворювач напруги – інвертор. Він дозволяє отримувати змінний струм напругою 220В, який необхідний для роботи різної побутової техніки. Тому вибирати пристрій потрібно з урахуванням специфіки застосування.

Інвертор (англ. *inverter*, нім. *Inverter m*, *Negator m*, *Invertor m*, *Wechselrichter m*, *Umkehrrohre f*) – перетворювач постійного струму в змінний однофазний або багатофазний струм, силовий генератор змінного струму. На відміну від джерел безперебійного живлення, інвертори забезпечують значно більший час автономної роботи при меншій або порівнянній вартості.

У перетворювальних пристроях режим інвертування дуже часто чергується з режимом випрямлення, тобто один і той же перетворювач може працювати і у випрямних і інверторних режимах. Спільно з одним, або декількома акумуляторами він може працювати як автономне джерело безперебійного живлення для будинку, котельної, пожежних і охоронних систем. Інвертори бувають чотирьох типів:

Модифікована синусоїда – перетворює струм в змінний з напругою 220В з модифікованою синусоїдою (ще одна назва: квадратна синусоїда).

Придатний тільки для устаткування, яке не чутливе до якості напруги: освітлення, обігрів, заряд пристроїв і тощо.

Чиста синусоїда – перетворює струм в змінний з напругою 220В з чистою синусоїдою. Придатний для будь-якого типу електроприладів: електродвигуни, медичне устаткування та ін. Чиста синусоїда має малу величину гармонічних спотворень, і практично не відрізняється від стандартної напруги мережі 220 вольт. (коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги $K_u < 3\%$, англійською – THD $< 3\%$). «Чисту» синусоїду видають дизельні чи бензинові генератори.

Трифазний – перетворює струм в трифазний з напругою 380В. Можна використовувати для трифазного устаткування.

Мережевий – на відміну від попередніх типів дозволяє системі працювати без акумуляторних батарей, але його можна використовувати тільки для виведення електроенергії в громадську електромережу. Форми струму на виході інвертора зображені на рис. 4.33.

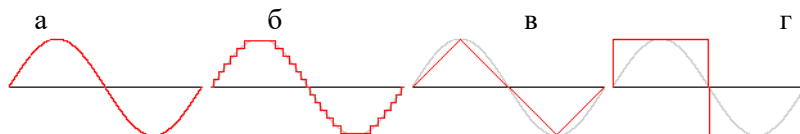


Рисунок 4.33 – Схеми форми струму на виході інвертора (зліва направо):

а – чистий синус; б – модифікований синус; в – трикутник;
г – меандр

В якості приклад у розглянемо мережевого інвертор Growatt 5000TL3-S (рис. 4.34), який призначений для забезпечення споживачів, протягом світлового дня, електроенергією, яка призначена для продажу за «зеленим» тарифом. Це в свою чергу компенсує енергозатрати теплового насоса «повітря-вода».

Інвертор Growatt 5000TL3-S – багатофункціональний пристрій. Він поєднує в собі функції мережевого інвертора з вбудованим сонячним MPPT-контролером.

Функції мережевого інвертора передбачають перетворену світлову енергію в електричну, яка призначена для живлення споживачів.



Рисунок 4.34 – Загальний вигляд інвертора
Growatt 5000TL3-S

Вбудований MPPT контролер, підвищує ефективність відбору електроенергії від світлових панелей до 30% і більше.

Коефіцієнт корисної дії 98%. Інвертор вирізняється достатньо високою надійністю [26].

Технічні характеристики інвертора наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Технічні характеристики

Максимальна потужність світлових модулів	6000Вт
Максимальна вхідна напруга постійного струму	1000В
Мінімальна напруга для включення інвертора	140В
Номінальна напруга	620В
Макс. вхідний струм	11А/11А
Номінальна потужність змінного струму	5000Вт
Макс. потужність	5000ВА
Макс. змінний струм на виході	8,5А
Діапазон змінної напруги на виході	230В/400В 320-478В

Частота змінного струму на виході	50Гц/60Гц
Коефіцієнт реактивної потужності	0,8 випереджаючий, 0,8 відстаючий
Кількість фаз	3W+N+PE
Макс. ККД	98,0%
Європейський ККД	96,9%
Захист від зворотної полярності	
Вимикач постійного струму	
Захист від перенавантаження змінним струмом	
Відслідковування заземлення	Присутній
Захист від перенапруги	
Відслідковування наявності мережі	
Інтегрований всеполюсний чутливий блок витоку струму контролю	
Розміри, мм	480/448/200 мм
Вага	21.2 кг
Діапазон робочих температур	-25 °C ... +60 °C
Рівень шуму	≤ 35 дБ(А)
Власне споживання	<0,5 Вт
Тип інвертора	Трансформаторний
Спосіб охолодження	Конвекційне
Клас захисту	IP65
Висота над рівнем моря	3000 М
Відносна вологість	0~100%
Дисплей	Графічний LCD
Інтерфейс: RS232/RS485/RF/Ethernet/Wi-Fi	Присутній
Гарантія: 5 років / 10 років	

4.10 Екологічні аспекти сонячної енергетики

Сонячна енергетика – використання сонячної енергії для отримання енергії в будь-якому зручному для її використання вигляді.

Сонячна енергетика використовує поновлюване джерело енергії і в перспективі може стати екологічно чистою, тобто такою, що не виробляє шкідливих відходів.

Сьогодні для перетворення сонячного випромінювання в електричну енергію існує дві можливості: використовувати сонячну енергію як джерело тепла для вироблення електроенергії традиційними способами (наприклад, за допомогою турбогенераторів) або ж безпосередньо перетворювати сонячну енергію в електричний струм в сонячних елементах.

Сонячна енергетики і довкілля. Сонячні теплові- та електростанції викликають великі за площею затінення земель, що призводить до сильних змін ґрунтових умов, рослинності тощо.

Небажаний екологічний вплив в районі розташування станції викликає нагрівання повітря при проходженні через нього сонячного випромінювання, сконцентрованого дзеркальними відбивачами. Це призводить до зміни теплового балансу, вологості, напрямку вітрів, а в деяких випадках можливі перегрів і загоряння систем, що використовують концентратори.

Застосування низькокиплячих рідин і неминучі їх витоки в сонячних енергетичних системах під час тривалої експлуатації можуть привести до значного забруднення питної води.

Особливу небезпеку становлять рідини, що містять хромати і нітроти, які є високотоксичними речовинами.

Не дивлячись на екологічну чистоту отримуваної енергії, самі фотоелементи містять отруйні речовини, наприклад, свинець, кадмій, галій, миш'як і т. д., а їх виробництво споживає масу інших небезпечних речовин).



Запитання для самоконтролю

1. Хто, перший і коли, сформулював деякі основні положення, якими слід керуватися при використанні сонячної енергії?
2. Коли у Франції був створений перший сонячний двигун?
3. Рік народження сонячної енергетики...
4. Де і коли вперше були застосовані сонячні батареї?
5. Якій на сьогодні стан сонячної енергетики в Україні?
6. Якій на сьогодні стан сонячної енергетики в світі?
7. Які існують способи та засоби отримання теплової сонячної енергії?
8. Основні види сонячних нагрівачів води ...
9. Що собою уявляє термосифонна геліосистема?
10. Фотогальванічний елемент – це...
11. Накресліть структурну схему сонячної фотоелектричної системи.
12. Які перспективи сонячного транспорту?
13. Які основні технічні рішення підвищення ефективності сонячних електростанцій?

Розділ 5

АЛЬТЕРНАТИВНА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА



Загальні відомості

Геотермальна енергетика

Геотермальні електростанції

Геотермальні теплові насоси

Теплові насоси

*Переваги та недоліки альтернативної
теплоенергетики*

Головна гідність тепла, одержуваного з надр - екологічна чистота та відновлюваність. Звичайно, неконтрольований забір може призвести до виснаження джерел.

Вже давно працюють електростанції, що використовують гарячі підземні джерела. Підземні води, як “жива кров” планети, переносять природне тепло Землі на поверхню. Володіючи великою рухливістю і високою теплоємністю, вони грають роль акумулятора і теплоносія.

5.1 Загальна інформація

В умовах функціонування досить активного ринку тепло-генеруючого устаткування з широким спектром конструктивних рішень, режимних параметрів, опцій і цін необхідно сформулювати комплексний підхід і певну базу знань для вибору раціональних рішень в області теплопостачання в будь-якому секторі економіки і побуту.

Для використання максимуму потенціалу теплових енергоресурсів необхідна реалізація когенераційного вироблення механічної роботи і теплоти, як це має місце при функціонуванні теплоелектроцентралей (ТЕЦ).

Проте централізоване теплопостачання від ТЕЦ пов'язане із значними втратами теплоти при її транспортуванні до віддаленого споживача.

Для зниження вказаних втрат доводиться використовувати велику кількість систем автономного тепло-постачання, в яких у переважній більшості, енергетичний потенціал спалюваного палива витрачається тільки на середньо-температурний нагрів теплоносія (50-100°C) без генерації механічної роботи.

Одним із перспективних напрямів у сфері заощадження енергоресурсів як у рамках національної економіки, так і в межах енергоспоживання окремих підприємств є застосування природних та штучних джерел тепла.

До природних альтернативних джерел відносяться – Сонце, геотермальні ресурси, до штучних – всі альтернативні джерела – теплові насоси.

5.2 Геотермальна енергетика

Геотермальна енергетика – напрямок енергетики, заснований на виробництві електричної і теплової енергії за рахунок теплової енергії, що міститься в надрах землі, на геотермальних станціях. Зазвичай відноситься до альтернативних джерел енергії, які використовують поновлювані енергетичні ресурси.

В Україні визначено шість пріоритетних напрямків розвитку геотермальної енергетики:

- 1) створення геотермальних станцій для теплопостачання міст, населених пунктів і промислових об'єктів;
- 2) створення геотермальних електростанцій;
- 3) створення систем теплопостачання з підземними акумуляторами теплоти;
- 4) створення сушильних установок;
- 5) створення холодильних установок;
- 6) створення геотермального теплопостачання теплиць.

5.2.1 Геотермальна енергія

Геотермальна енергія – це тепло Землі, яке переважно утворюється внаслідок розпаду радіоактивних речовин у земній корі та мантії. Температура земної кори углиб підвищується на 2,5-3 °С через кожні 100 м (так званий геотермальний градієнт).

Так, на глибині 20 км вона становить близько 500 °С, на глибині 50 км – 700-800 °С.

У певних місцях, особливо по краях тектонічних плит материків, а також у так званих “гарячих точках”, температурний градієнт вище майже в 10 разів, і тоді на глибині 500-1000 метрів температура порід сягає 3000С. Однак і там де температура земних порід не така висока, геотермальних енергоресурсів цілком достатньо.

Масштаб використання геотермальної енергії визначають декілька факторів: капітальні витрати на спорудження свердловин, ціна яких зростає зі збільшенням глибини. Оптимальна глибина свердловин 5 км.

Геотермальні води використовують двома способами:

- 1) фонтанним (теплоносій викидається в навколишнє середовище);
- 2) циркуляційним (теплоносій закачується назад в продуктивну товщу).

Перший спосіб дешевше, але екологічно небезпечний, другий дорожчий, але забезпечує збереження навколишнього середовища.

5.2.2 Гідротермальні ресурси України

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

- 1) пара, вода, газ;
- 2) розігріті гірські породи.

Гідротермальні джерела енергії це: термальні води, пароводяні суміші і природна пара.

Основним показником придатності геотермальних джерел для використання є їх природна температура, за якою вони поділяються на низькотермальні води з температурою 40-70°C, середньотермальні з температурою 70-100°C, високотермальні води і пара з температурою 100-150°C, парогідротерми і флюїди з температурою вище від 150°C.

Велика частина термальних вод – це жорсткі (із жорсткістю 2,8–11,7 мг-екв/л і вище) та високо мінералізовані води (із вмістом солей від 1 до 35 г/л і вище та температурою води від 30 до 90 °C), які не відповідають вимогам, що ставлять до теплофікаційних вод. При використанні звичайних радіаторних опалювальних приладів температура термальних вод у середніх кліматичних умовах повинна бути не нижчою 90-75°C. У панельних системах опалення мінімальна температура знижується до 60-70°C (селище Термальне, Паратунське родовище, Камчатка). Отриманий у Махачкалі досвід геотермального підлогово-стельового опалення підтверджує можливість використання вод із температурою 40-50°C.

У системах гарячого водопостачання застосовуються термальні води з температурою 60 і навіть 40°C при мінералізації не більше 10 г/л. Її зниження до 5 г/л дозволяє догрівати ці води у звичайних паливних котельнях.

Існує проблема скидання використаної води, оскільки:

по-перше, її температура відносно висока (може досягати 60–70 °C);

по-друге, у ній можуть міститися шкідливі речовини (феноли тощо).

Всі джерела геотермальної енергії можна поділити на гідро- та петротермальні. Гідротермальні джерела, у свою чергу, поділяють на водяні, пароводяні та парові.

Водяні геотермальні джерела залягають на різній глибині. Одна із основних умов їх існування – наявність непроникного для води шару води гірських порід, який передає тепло від мантиї до формацій, що містять у великих кількостях воду. Перебуваючи під тиском, вищим від атмосферного, вода тут може нагріватися до температури, що перевищує 100 °С, і виходити на поверхню звичайно у вигляді пароводяної суміші.

Температура води або пари у всіх геотермальних джерелах залежить від їх відстані до мантиї землі. Термальні води, котрі підігріті до температур, необхідних для енергетичного використання, часто зустрічаються на глибинах 2-6 км.

Петротермальні родовища розміщені у районах земної кори, де нема води. При температурному градієнті 20-40 °С на 1 км у товщі землі на глибинах понад 3 км досягаються температури, достатні для підігріву води або одержання пари.

Великі запаси термальних вод виявлено і на території Чернігівської, Полтавської, Харківської, Луганської та Сумської областей. Сотні свердловин, які виявили термальну воду і знаходяться в консервації, можуть бути відновлені для їх подальшої експлуатації в якості системи видобування геотермального тепла.

При розрахунку кількості можливих обсягів споживання низькотемпературних геотермальних ресурсів в геокліматичних умовах різних регіонів України необхідно врахувати, що інтенсивна їх експлуатація може привести до зниження температури ґрунтового масиву та їх швидкому виснаженню.

Необхідно підтримувати такий рівень використання геотермальної енергії, який дозволив би експлуатувати джерело енергетичних ресурсів без шкоди для довкілля.

Для кожного регіону України існує певна максимальна інтенсивність видобування геотермальної енергії, яку можна підтримувати тривалий час. Згідно прогнозної регіональної оцінкою геологів, ресурси термальних вод по Україні становлять:

- фонтануючі родовища – 23 тис. м³ на добу з сумарною гідротермальною енергією 0,6 млн. Гкал на рік;

- родовища, ресурси яких можна витягти насосним способом, - 137 тис. м³ на добу з сумарною енергією 2,14 млн. Гкал на рік;

- родовища, ресурси яких можна витягати, підтримуючи пластовий тиск, – 27,166 млн. м³ із сумарною енергією 453 млн. Гкал на рік.

Найбільш сприятливі умови для отримання термальних вод існують в межах рівнинної частини Закарпаття. У цьому районі енергія підземних вод використовується вже відносно широко (у порівнянні з іншими регіонами України).

Добові експлуатаційні можливості 8-ми геотермальних площ Закарпаття становлять близько 240 тис. м³ на добу термальних вод температурою близько 60 °С, що дозволяє на їх основі освоїти насосним способом енергетичні теплові потужності близько 493 МВт.

Техніко-економічний аналіз показує, що при сучасній технології вилучення тепла гідротермальних ресурсів економічно обґрунтованими є системи з глибиною свердловин до 3 км. Тепловий потенціал 90 % термальних вод на даній глибині не перевищує 100 °С. При цьому переважним є гідротермальне теплопостачання, в результаті застосування якого заміна органічного палива більше, ніж при виробництві електроенергії.

Поліпшити ситуацію з теплопостачанням населення дозволить використання навіть слаботермальні води (до 40 °С), запаси яких у багатьох регіонах досить значні.

Схеми установок для виробництва електроенергії в геотермальних перетворювачах можна розділити на 4 основні групи:

- а) паротурбінні;
- б) гідропаротурбінні;
- в) турбокомпресорні;
- г) комбіновані (паливно-геотермальні).

У класі паротурбінних геотермальних установок найбільш перспективними для реалізації в Україні є:

- установки зі східчастим розширенням, що можуть бути застосовані для використання помірно-мінералізованого, слабогазонасиченого і некорозійно-активного геотермального теплоносія при температурах понад 400 К (123 С°);

- двоконтурні установки з низькокиплячим робочим тілом – для теплоносія з температурою 370-400 К (100-130 С°); можливе застосування високомінералізованих, газонасичених термальних вод.

У класі комбінованих паливно-геотермальних енергетичних установок найбільш перспективними для реалізації в Україні є:

- 1) ГеоТЕС на базі газотурбінних установок (ГТУ), що можуть бути змонтовані на газово-геотермальних родовищах (наприклад, Руські Комарівці на Закарпатті), або на родовищах геотермального теплоносія з високою газонасиченістю горючим природним газом.

- 2) ГеоТЕС на базі газодизельгенераторних установок (ГДГУ) – для аналогічних умов видобутку термальної води разом з горючим природним газом (наприклад, Гадяцьке родовище Полтавської області.

5.3 Геотермальні електростанції

Сьогодні геотермальні ресурси як альтернативне джерело для виробництва електроенергії використовують в близько 60-ти країнах світу.

Перша електростанція, що працює на гідротермальних ресурсах, була побудована в 1904 р. в невеликому італійському містечку Лардерелло, названому так на честь французького інженера, який ще в 1827 р. склав проект використання численних в цьому районі гарячих джерел. Нині потужність станції досягла досить значної величини – 360 МВт. Згодом, у 1911, там же, було збудовано першу у світі промислову геотермальну електростанцію (гео-ТЕС).

Експериментальні генератори у 1920-х були запущені також, у Японії та США, але Італія залишалась єдиною країною, що промислово виробляла електроенергію з використанням геотермальних джерел а у 1920-х аж до 1958.

У 1958 році в Новій Зеландії запущена Вепракейська геоТЕС (англ. Wairakei Power Station), яка стала другою країною, що запровадила промислове виробництво геотермальної. Це була перша станція у світі, що працювала на родовищі термальної гарячої води під тиском.

У 1960, компанія «Pacific Gas and Electric» розпочала виробництво електроенергії на першій промисловій геоТЕС у США на геотермальному родовищі Великі гейзери у Каліфорнії. В Долині гейзерів розташовано 19 діючих гео- ТЕС загальною потужністю 1300 МВт.

У 2006 стала до ладу геоТЕС з бінарним циклом у Чіна-Хот-Спрінгс (англ. *Chena Hot Springs* (Аляска) з рекордно низькою температурою води у 57 °С на вході.



Рисунок 5.1. Загальний вигляд гео- ТЕС:
а– у Каліфорнії; б – у Ісландії

Провідне місце у світі за кількістю гео- ТЕС і потужності вироблюваної на них електроенергії займають США (3,7 тис. МВт, більше 40% діючих потужностей у світі). У 120 км від м. Сан-Франциско знаходиться геотермальна станція потужністю 500 МВт.

Ісландія повністю забезпечує себе енергією, одержуваної з надр Землі. Інших джерел енергії в Ісландії практично немає. Потужність геотермальної опалювальної системи складає 350 МВт. У даний час існує три схеми виробництва електроенергії з використанням гідротермальних ресурсів:

- 1) пряма з використанням сухого пара;
- 2) непряма з використанням водяної пари;
- 3) змішана схема виробництва (бінарний цикл).

Тип перетворення залежить від стану середовища (пар або вода) і її температури.

Першими були освоєні електростанції на сухому парі.

У них суха пара зі свердловини надходить у турбіну або генератор для вироблення електроенергії.

Електростанції з непрямим типом виробництва електроенергії на сьогоднішній день є найпоширенішими.

Вони використовують гарячі підземні води (температурою до 182 °С) яка закачується при високому тиску в генераторні установки на поверхні. Геотермальні електростанції зі змішаною схемою виробництва відрізняються від двох попередніх типів геотермальних електростанцій тим, що пар і вода ніколи не вступають в безпосередній контакт з турбіною /генератором.

Головні напрями теплоенергетичного використання геотермальних ресурсів можна визначити таким чином:

А. Виробництво електроенергії на: ГеоТЕС з одноконтурними схемами ступінчастого розширення високопотенційного геотермального теплоносія, або ті, які реалізують т.з. “трикутний” термодинамічний цикл із застосуванням гідропарових турбін; ГеоТЕС із двоконтурними, в тому числі, бінарними схемами; комбінованих паливно-геотермальних теплових електростанціях.

Б. Системи геотермального теплопостачання (опалення та гарячого водопостачання – ГВП комунально-побутових та

промислових об'єктів): - власне геотермальні; комбіновані (з піковим догрівачем, або теплонасосними установками (ТНУ) різних типів).

В. Теплотехнологічні процеси на підприємствах промислового та агропромислового комплексу:

- сушіння матеріалів і продуктів;
- виробництво холоду і теплоти за допомогою тепловикористовуючих абсорбційних термотрансформаторів;
- теплова обробка матеріалів і продукції з метою виробництва і зберігання харчової продукції;
- забезпечення умов для вирощування рослинної продукції в теплично- парникових господарствах.

5.3.1 Гео- ТЕС, що працюють на сухому парі

Пара надходить безпосередньо в турбіну, яка живить генератор, що виробляє електроенергію (рис. 5.2). Використання пара дозволяє відмовитися від спалювання викопного палива (також відпадає необхідність в транспортуванні і зберіганні палива).

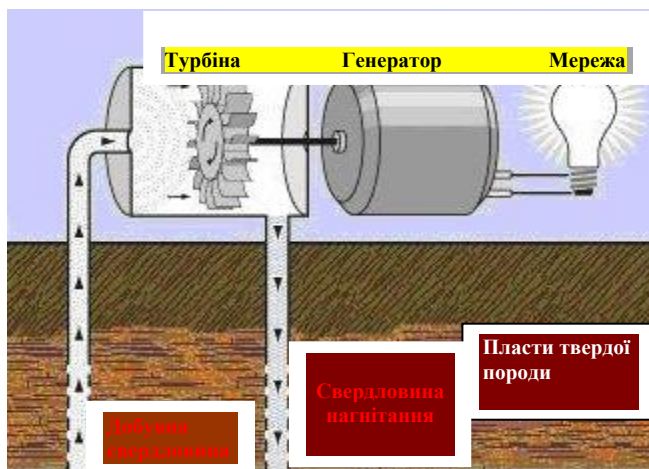


Рисунок 5.2 – Гео- ТЕС, що працюють на сухому парі

5.3.2 Гео- ТЕС на парогідротермах та з бінарним циклом виробництва електроенергії

Для виробництва електрики на таких заводах використовуються перегріті гідротерми (температура вище 182°C). Гідротермальний розчин нагнітається в випарник для зниження тиску, через це частина розчину. Отриманий пар пускає в хід турбіну. Якщо в резервуарі залишається рідина, то її можна випарувати в наступному випарнику для отримання ще більшої потужності.

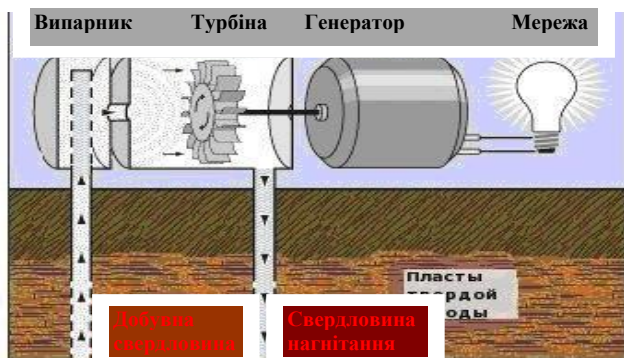


Рисунок 5.3 – Гео- ТЕС на парогідротермах

Більшість геотермальних районів містять воду помірних температур (нижче 200°C).

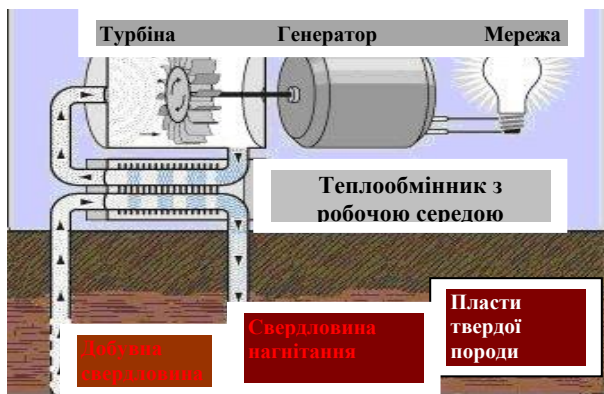


Рисунок 5.4 – Гео- ТЕС з бінарним циклом виробництва електроенергії

На електростанціях з бінарним циклом виробництва ця вода використовується для отримання енергії. Гаряча геотермальна вода і друга, додаткова рідина з більш низькою точкою кипіння, ніж у води, пропускаються через теплообмінник. Тепло геотермальної води випарює другу рідину, пари якої приводять у дію турбіни. Так як це замкнута система, викиди в атмосферу практично відсутні.

На рис. 5.5. наведена розширена технологічна схема геотермальної електростанції.

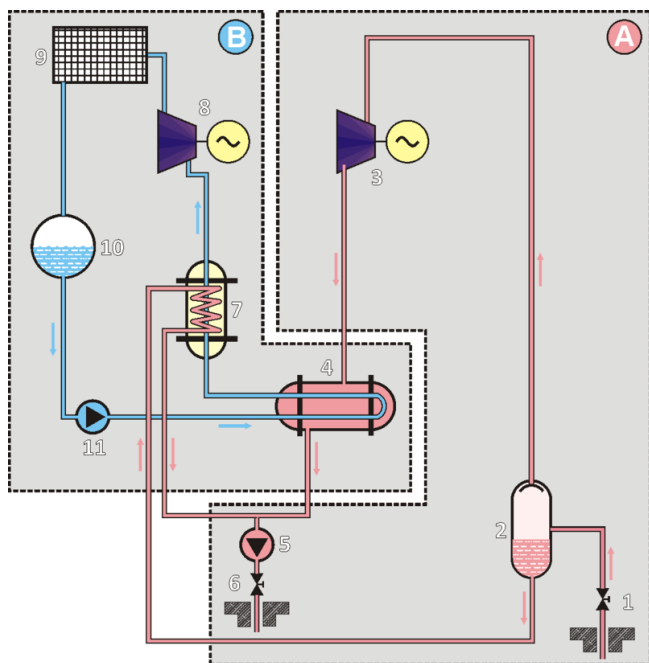


Рисунок 5.5 – Технологічна схема геотермальної електростанції:

(А) – перший (паровий) контур; (В) – другий контур (на ізобутані);
 1– експлуатаційна свердловина, 2 – сепаратор вода/пара, 3 – парова турбіна, 4- теплообмінник, 5 – насос накачки, 6 – нагнітальна свердловина, 7 – перегрівач, 8 – турбіна на ізобутані, 9 –повітряний/водяний конденсатор, 10 – конденсатозбірник, 11 – насос

5.4 Тепловий насос. Принцип дії

Тепловий насос – термодинамічна установка, в якій теплота від низькопотенціального джерела передається споживачеві при більш високій температурі. При цьому витрачається механічна енергія.

Велику перспективу представляє використання теплових насосів в системах гарячого водопостачання (ГВП) будівель. Відомо, що в річному циклі на ГВП витрачається приблизно стільки ж тепла, як і на опалення будівель. Джерелом низькопотенціальної теплової енергії може бути тепло як природного, так і штучного походження.

Для масового споживача одним з найбільш бажаних варіантів використання нетрадиційних джерел енергії є використання низькопотенціального тепла за допомогою теплових насосів.

В якості природних джерел низькопотенціального тепла можуть бути використані:

- тепло землі (тепло ґрунту);
- підземні води (ґрунтові, артезіанські, термальні);
- зовнішнє повітря.

В якості штучних джерел низькопотенціального тепла можуть виступати:

- вентиляційне повітря;
- каналізаційні стоки (стічні води);
- промислові скиди;
- тепло технологічних процесів;

Таким чином, існують великі потенційні можливості використання енергії навколо нас, і тепловий насос представляється найбільш вдалим шляхом реалізації цього потенціалу.

Концепцію теплових насосів було розроблено ще в 1852 британським фізиком та інженером Вільямом Томсоном (Лордом Кельвіном) і в подальшому вдосконалено та деталізовано австрійським інженером Петером фон Ріттінгером.

Петера Ріттера фон Ріттінгера вважають винахідником теплового насосу, оскільки саме він спроектував і встановив перший відомий тепловий насос у 1855 році.

Практичного застосування тепловий насос набув значно пізніше, а точніше у 40-х роках XX століття, коли винахідник-ентузіаст Роберт Вебер (Robert C. Webber) експериментував з морозильною камерою. Одного разу Вебер випадково доторкнувся до гарячої труби на виході камери і зрозумів, що тепло просто викидається назовні. Винахідник замислився над тим, як використати це тепло, – і вирішив помістити трубу в бойлер для підігріву води.

У результаті Вебер забезпечив свою родину такою кількістю гарячої води, що її вони просто не могли використати, – і при цьому частина тепла потрапляла у повітря.

Це наштовхнуло його на думку, що від одного джерела тепла можна підігрівати і воду, і повітря одночасно.

Вебер удосконалив свій винахід і почав проганяти гарячу воду по спіралі (через змійовик) і за допомогою невеликого вентилятора розповсюджувати тепло по будинку з метою його опалення.

Згодом саме у Вебера з'явилась ідея «викачувати» тепло із землі, де температура не надто змінювалась протягом року. Він помістив у ґрунт мідні труби, якими циркулював фреон, що «збирав» тепло землі. Газ конденсувався, віддаючи своє тепло у домі, та знов проходив через змійовик, щоб підібрати наступну порцію тепла. Повітря приводилося в рух за допомогою вентилятора і розповсюджувалось по будинку.

У 40-х роках тепловий насос був відомим через свою надзвичайну ефективність, але реальна потреба у ньому виникла за часів Арабського нафтового ембарго у 70-х роках, коли, незважаючи на низькі ціни на енергоносії, з'явився інтерес до енергозбереження.

Виробництво теплових насосів в кожній країні, насамперед, орієнтовано на задоволення потреб внутрішнього ринку.

У Японії і США найбільше застосування отримали теплові насоси класу «повітря-повітря» для опалення та охолодження повітря. У Європі – теплові насоси класу «вода – вода» і «вода -повітря».

У США дослідженнями і виробництвом теплових насосів займаються понад шістдесят фірм.

У Японії щорічний випуск теплових насосів перевищує 500 тисяч одиниць. У Швеції вже до 2000 року експлуатувалося понад 110

У Німеччині щорічно вводиться понад 5 тисяч установок. тисяч теплонасосних станцій (ТНС), 100 з яких мали потужність близько 100 МВт і вище. Найбільш потужна ТНС-320 МВт працює в Стокгольмі.

В Україні, що має обмежені запаси паливних ресурсів, застосування теплових насосів повинне розглядатися як один з пріоритетних напрямів енергозбереження.

Ефективнішим є застосування теплонасосної техніки при комплексній інтеграції до структури теплопостачання міст і промислових районів.

Принцип дії теплового насосу. Тепловий насос витягує тепло з навколишнього середовища – землі, повітря або води (на глибині понад 30 м.). Достатня температура для роботи теплового насоса – $0 \dots 7^{\circ}\text{C}$ див. рис. 5.6.

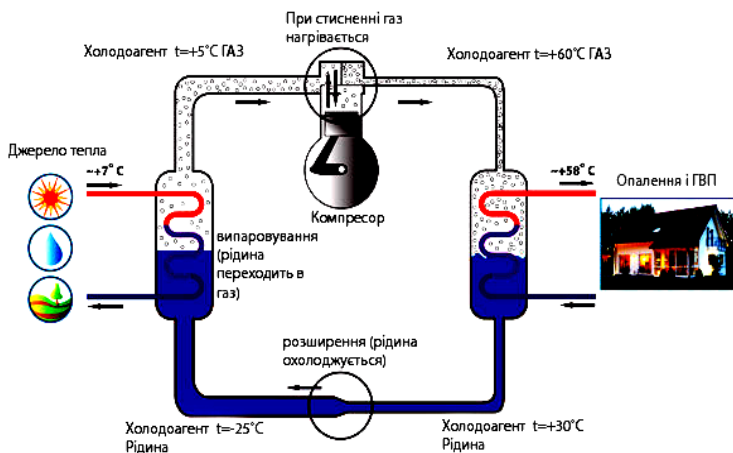


Рисунок 5.6 – Ілюстрація принципу дії теплового насосу

Усередині насоса встановлений випарник з холодоагентом. Це особлива рідина, яка закипає при температурі близькій до 0 °С. За рахунок тепла, отриманого з навколишнього середовища, холодоагент закипає і приймає газоподібну форму. У вигляді газу холодоагент надходить у компресор. Тут він стискається, в результаті чого збільшується його тиск і зростає температура. Далі вже нагрітий газ надходить у конденсатор, де віддає тепло системі опалення. Після чого він охолоджується і знову приймає рідкий стан.

Цей процес називається конденсацією – перетворення з пари в рідину, яке відбувається при температурі +55 °С. Рідкий холодоагент надходить в розширювальний клапан, де його тиск знижується до початкового низького значення. Після цього холодоагент повертається у випарник. Контур замикається. Процес повторюється безперервно.

5.5. Види теплових насосів

На сьогоднішній день теплові насоси – геотермальні, повітряні чи водяні, є найбільш ефективним, екологічним та енергозберігаючим видом теплотехнічного обладнання, що використовується для опалення, вентиляції приміщень та гарячого водопостачання.

Навіть в умовах відсутності державної підтримки та стимулювання впровадження такої енергоефективної техніки для населення України, при високих первинних інвестиціях – реальних кращих за теплові насоси альтернатив на сьогоднішній день не існує.

По виду затрачуваної енергії теплові насоси поділяють на:

- Компресійні теплові насоси – споживають механічну енергію.
- Теплоізолюючі теплові насоси – теплову енергію джерел тепла з температурою вище навколишнього середовища.
- Термоелектричні теплові насоси використовують безпосередньо електричну енергію.

У насосах перших 2-ох типів перенесення тепла досягається в результаті вчиненого робочим тілом в машині зворотного кругового процесу (зворотний цикл).

У термоелектричній машині перенесення тепла відбувається при впливі потоку електронів на атоми.

5.5.1. Геотермальні теплові насоси

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

Для цього в землі за певною схемою прокладають канали для руху повітря або заривають труби, у які подається вода (чи інший теплоносіє).

Незалежно від того, що циркулює в такій системі, за рахунок теплообміну з землею такий тепловий насос може поглинати тепло землі й передавати його в будинок у холодну пору року або переміщувати тепло з будинку в землю в спекотну пору.

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

Термальну воду використовують для опалення за однією із таких принципових схем:

- воду із свердловин подають безпосередньо в опалювальні прилади;
- здійснюють попередню обробку води;
- застосовують двоконтурну систему, за якої вода, котра циркулює у системі опалення або гарячого водопостачання, нагрівається водою у проміжному теплообміннику.

Одноконтурна система може бути застосована лише для слабо-мінералізованих вод.

За другою схемою здійснюють хімічну підготовку води з тим, щоб термальна вода відповідала властивостям теплофікаційної води.

Найбільш рекомендованою є третя схема теплопостачання об'єктів від термальних вод. Як проміжні теплообмінники застосовують розбірні пластинчасті теплообмінники. Україна має певний потенціал розвитку геотермальної енергетики.

Це обумовлено термогеологічними особливостями рельєфу та особливостями геотермальних ресурсів країни. Експлуатація першого теплопостачальної геотермальної установки в Україні почалася в 1999 р. Це були 2 свердловини Березівського родовища, тепло води використовувалося для опалення санаторію.

Свердловини глибиною від 900 м до 1300 м пробурені ще в 1988 р. і забезпечують добовий видобуток в обсязі 750 м³ термальної води температурою +32 °С. Загальна потужність теплоустановки становить 1,2 МВт. Експлуатація гідротермальних ресурсів забезпечує санаторію економію в розмірі 143 т у. п. на рік.

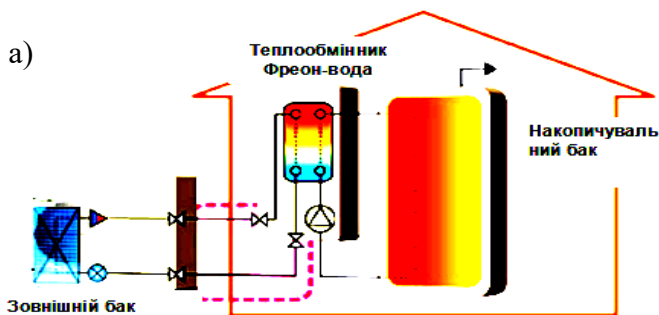
5.5.2. Теплові насоси повітря / вода

Європейські дослідження довели, що найвигіднішим на сьогодні способом опалення в будинках площею 80-250 м², а також в ресторанах і офісах, які не підключені до міської теплотережі, є теплові насоси. Їх монтаж не вимагає дозволів і великих капіталовкладень. Так, повітряно-водні теплові насоси здатні забезпечувати 4-кратне зниження опалювальних витрат – при цьому обладнання, що дозволяє не тільки опалювати, але і охолоджувати будинок з одночасним нагрівом води, відрізняється компактністю і безумовною надійністю.

На рис. 5.7. ілюстровано роботу теплового насоса повітря/вода. Зовнішній блок, за допомогою холодоагента, відбирає теплову енергію із зовнішнього атмосферного повітря. Після цього холодоагент надходить у компресор де він проходить процес стиснення, після чого його температура значно збільшується.

Гарячий холодоагент (у формі газу) надходить в теплообмінник внутрішнього блоку «фреон-вода» – передачі тепла воді. Вода самостійно переносить тепло до елементів системи опалення.

Холодоагент (повернений в рідку форму) надходить у зовнішній блок, і цикл повторюється доки не буде досягнуто необхідної температури в приміщенні.



б)



Рисунок 5.7 – тепловий насос

а - ілюстрації роботи теплового насосу повітря/вода;
б – застосування.

Такі теплові насоси знаходять все більшого поширення як у приватних будинках так і у багатоповерхових житлових комплексах (рис. 5.8).



Рисунок 5.8 – Приклади установки теплових насосів

Даний агрегат не вимагає монтажу підземного чи підводного контуру. Як правило, установки даного типу використовуються в тому випадку, коли інші варіанти відбору тепла не можуть бути реалізовані. Теплова енергія повітря використовується до позначки -20 градусів. Якщо вдарили сильні морози, і температура опустилася нижче цього показника, за справу береться додатковий теплогенератор.

З огляду на той факт, що температура повітря опускається нижче -20 градусів не більше ніж на 10-30 днів в році, застосування такого насоса стає гарною підмогою для економії на газі й електриці [45].

5.5.3 Теплові насоси ґрунт /вода

Одним із найбільш екологічних та найефективніших видів опалення є використання енергії землі, що міститься у ґрунті та воді. Оскільки температура ґрунту на певній глибині відносно постійна протягом усього року та має позитивне значення, теплові насоси (ТН) типу «ґрунт-вода» працюють зі сталими високими показниками ефективності. За опалювальний сезон ґрунтові ТН можуть заощадити до 80% у порівнянні із традиційною системою опалення з газовим котлом, що є

вигідною інвестицією на майбутнє. Можна використовувати два джерела теплової енергії з-під землі: тепло із шарів під поверхнею та глибинне тепло.

Грунтові зонди. Використовують глибинне тепло землі. Вони вводяться вертикально у ґрунт на глибину до 150 метрів. Довжина труб та відстані між ними залежать від характеристик ґрунту та від потужності відбору тепла, тобто від кількості енергії, необхідної для опалення будинку. Як теплоносій часто використовуються спеціальні розсоли.

Грунтові колектори. Використовують тепло безпосередньо з-під поверхневих шарів землі. Вони укладаються горизонтально у ґрунт нижче рівня промерзання, який для умов України розташований приблизно на глибині 1,2 м. Колектори зазвичай мають нижчу вартість монтажу у порівнянні з ґрунтовими зондами, але потребують значного вільного місця.

Геотермальний насос “ґрунт-вод” із земляним контуром. В даному випадку джерелом тепла служить ґрунт (рис. 5.9). На глибину замерзання ґрунту заковується трубопровід з розрахунку: один метр труби 20-30 Вт теплової віддачі. Відстань між трубами повинно бути не менше 0,8-1,2 метрів. Після нескладних математичних підрахунків визначаємо, що для отримання 10 кВт енергії, буде потрібно контур довжиною 333-500 метрів. Контур укладається досить компактно, займаючи приблизно до 600 квадратних метрів площі



Рисунок 5.9 – Геотермальний насос “ґрунт-вода” із земляним контуром

Теплова помпа “ґрунт -вода” із бурінням свердловин.

Такий підхід використовується в тих місцях, де замість ґрунту представлена скеляста порода. Трубопровід опускається в заздалегідь вибурені свердловини. Кількість свердловин і їх глибина залежатимуть від загальної розрахункової довжини контуру. Відзначимо, що скельна порода має більшу теплоємність, ніж ґрунт, тому кожен метр труби буде дорівнювати 50-60 Вт енергії.

Для нормальної роботи геотермального насоса потужністю 10 кВт, буде потрібно створити контур загальною глибиною 170-200 метрів.

Теплова помпа “ґрунт-вода” з контуром в проточній водоймі. Для монтажу цієї системи (рис. 5.10), укладання контуру проводиться на дно водойми.



Рисунок 5.10 – Теплова помпа “ґрунт-вода” з контуром в проточній водоймі

Такий варіант є ідеальним за всіма показниками: короткий контур, найбільш висока температура навколишнього середовища, як наслідок висока ефективність роботи. Один метр труби підводного контуру дорівнює 30 Вт теплової енергії. Для отримання 10 кВт тепла, потрібно 300 метрів загальної траси.

Використання ґрунтових вод. Також використовуються як джерело тепла. Теплоносій (вода) прокачується через геотермічну колодязну установку, і після відбору тепла вода повертається у водоносні шари ґрунту.

Така технологія також дозволяє отримати високий коефіцієнт ефективності теплового насоса. Використання ґрунтових вод із свердловини і повернення їх у водоносний горизонт є доволі ефективним методом.

Практично постійна позитивна температура води протягом року дозволяє досягти високого коефіцієнта перетворення енергії. У комбінації з баком-водонагрівачем теплові насоси “ґрунт-вода” працюють не лише на опалення, але й для приготування гарячої води (рис. 5.11).

Бівалентно-паралельний режим передбачає використання як додаткового джерела тепла окремого газового або електричного котла, який також розрахований для покриття лише пікових навантажень.



Рисунок 5.11 – Тепловий насос “ґрунт-вода”

Теплова помпа “вода-вода” з використанням ґрунтових вод. Ґрунтові води є кращим джерелом енергії, завдяки тому, що навіть в зимовий час температура цього ресурсу не опускається нижче негативної позначки (рис. 5.12). Насоси, які отримують енергію від ґрунтових вод, мають найбільш високий ККД. Проходячи через тепловий насос, вода віддає своє тепло, і повертається назад у свердловину.



Рисунок 5.12 – Теплова помпа “вода-вода”
з використанням ґрунтових вод



Запитання для самоконтролю

1. Для використання максимуму потенціалу теплових енергоресурсів необхідна реалізація ...
2. Якій перспективних напрям у сфері заощадження енергоресурсів?
3. Геотермальна енергетика – це напрямок...
4. Що уявляє собою геотермальна енергія?
5. Якими способами використовують геотермальні води?
6. Що відноситься до геотермальних ресурсів?
7. Всі джерела геотермальної енергії можна поділити на...
8. Де на території України виявлено геотермальні води?
9. Перша електростанція, що працює на гідротермальних ресурсах, була побудована...
10. Провідне місце у світі за кількістю Гео-ТЕС займає...
11. Який принцип роботи геоТЕС, що працюють на сухому пару?
12. Що уявляє собою гео- ТЕС з бінарним циклом виробництва електроенергії?
13. Геотермальні теплові насоси це...
14. Яка різниця між тепловим насосом та геотермальним?
15. В якості природних джерел низькопотенційного тепла можуть бути використані...
16. Парокомпресійні теплові насоси це...
17. Що уявляє собою повітряне теплопостачання це?
18. Ґрунтовий колектор це..
19. Які перспективи впровадження геотермальної енергетики?
20. Які переваги та недоліки альтернативної теплоенергетики?

Розділ 6

БІОЕНЕРГЕТИКА



Загальні відомості

Біомаса та вторинні ресурси

Біопаливо

Технічні рішення виробництва біопалива

Перспективи розвитку біоенергетики в Україні

Для України біоенергетика – один із стратегічних напрямків розвитку сектору відновлюваних джерел енергії, враховуючи високу залежність країни від імпортованих енергоносіїв, в першу чергу, природного газу, і великий потенціал біомаси, доступної для виробництва енергії. На жаль, темпи розвитку біоенергетики в Україні досі істотно відстають від європейських.

На сьогоднішній день частка біомаси у валовому кінцевому енергоспоживанні становить 1,78%. Щорічно в Україні для виробництва енергії використовується близько 2 млн. т. у.п./рік біомаси різних видів. На деревину припадає найвищий відсоток використання економічно доцільного потенціалу – 80%, тоді як для інших видів біомаси (за винятком лушпиння соняшника) цей показник на порядок нижче. Найменш активно (на рівні 1%) реалізується енергетичний потенціал соломистих зернових культур та ріпаку.

6.1 Загальні відомості

Економічний аналіз свідчить про загальну світову тенденцію до підвищення цін на енергоресурси. До того ж залежність України від постачання нафтопродуктів із Росії та інших країн робить її уразливою щодо забезпечення паливом автотранспорту, сільськогосподарських та інших машин. Тому розширення площ для вирощування ріпаку та організація виробництва біодизельного пального із застосуванням новітніх світових технологій та обладнання є одним із пріоритетних стратегічних завдань держави в галузі енергетики.

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

Україна має необхідні умови для виробництва рідких біопалив, як за земельними ресурсами і рослинним потенціалом, так і за наявністю власних виробничих потужностей. Вже на сьогодні потенціал біомаси в Україні, придатний для рентабельного виробництва рідких біопалив (біоетанолу і біодизелю) дає підстави стверджувати про перспективність цього напрямку.

Річний технічно-досяжний енергетичний потенціал рідкого біопалива в Україні є еквівалентним 1 млн. т н.е. Його використання дає змогу щорічно заощаджувати близько 1,2 млрд. м. куб. природного газу. Найбільший потенціал рідкого біопалива зосереджений у Вінницькій та Полтавській областях, де він становить понад 90 тис. т н.е./рік.

Найважливіший шлях економії паливно-енергетичних ресурсів це – використання вторинних енергетичних ресурсів (ВЕР), що неминуче виникають практично в будь-якому виробництві.

Під ВЕР розуміється хімічно зв'язана теплота, фізична теплота і потенціальна енергія надлишкового тиску продукції, відходів, побічних і проміжних продуктів, що утворюються в технологічних агрегатах (установках, процесах), які не викорис-

товуються в самому агрегаті, але можуть бути частково або повністю використані для енергопостачання інших агрегатів.

До категорії ВЕР можна також віднести гарячу нафту і попутний газ, що стискається, при нафтовидобутку та ін.

6.2 Біомаса

Біомаса – біологічно відновлювальна речовина органічного походження, що зазнає біологічного розкладу (відходи сільського господарства (рослинництва і тваринництва), лісового господарства та технологічно пов'язаних з ним галузей промисловості, а також органічна частина промислових та побутових відходів.

Біомасу можна використовувати в енергетичних цілях шляхом безпосереднього спалювання (деревини, соломи, стічних відкладень), а також у переробленому вигляді рідких (ефіри ріпакової олії, спирти, рідкі продукти піролізу) або газоподібних біопалив (біогаз з відходів сільського господарства та рослинництва, осаду стічних вод, твердих побутових відходів, продукти газифікації твердих палив) (рис. 6.1). Конверсія біомаси в інші види енергоносіїв або кінцевої енергії (теплову або електричну) може відбуватись фізичними, хімічними і біохімічними методами [79].

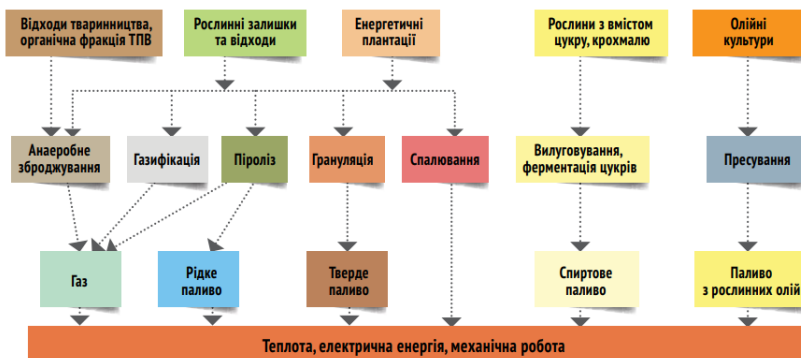


Рисунок 6.1 – Способи виробництва енергії з біомаси

Таблиця 6.1 - Класифікація біомаси для енергетичних потреб

Сторона утворення	Група походження	Сторона споживання
Деревина, відходи деревини, вторинна деревина, відновлювальна деревина	ДЕРЕВНІ ПАЛИВА	Тверді: необроблена деревина, тирса тріска, гранули Рідкі: чорний луг, метанол, піролізні смоли Газоподібні: продукти газифікації та піролізу
Відходи агрокультур, відходи тваринництва, відходи переробки агропродукції, енергетичні культури	АГРОПАЛИВА	Тверді: солома, стебла, лушпиння, енергетичні трави Рідкі: етанол, метанол, піролізні смоли, жом, олії Газоподібні: біогаз, продукти газифікації та піролізу
Муніципальні відходи, промислові відходи	ВІДХОДИ	Тверді: побутові відходи Рідкі: стоки, піролізні смоли Газоподібні: біогаз з полігонів ТПВ, біогаз зі стоків

До найбільш поширених видів біомаси, які використовують в Україні в якості сировини для отримання палива і використання його з метою генерування електричної або теплової енергії відносять:

- солома, стебла кукурудзи, соняшника та ін.(тюки, гранули (пелети), брикети);
- лушпиння та інші відходи переробки соняшника, зернових та інших сільськогосподарських культур (пелети, брикети);
- деревина, її відходи і продукти її переробки (пелети, тріска, брикети, дрова);
- відходи тваринництва та птахівництва;
- відходи овочевих культур і їх переробки;
- рослинні відходи харчової промисловості, торф;
- одно- і багаторічна трав'яна біомаса (енергетична верба, сорго, міскантус, просо, лозоподібне тощо);
- плодова біомаса.

На сьогоднішній день частка біомаси у валовому кінцевому енергоспоживанні становить 1,78%. Щорічно в Україні для виробництва енергії використовується близько 2 млн. т. у.п./рік біомаси різних видів.

На деревину припадає найвищий відсоток використання економічно доцільного потенціалу – 80%, тоді як для інших видів біомаси (за винятком лушпиння соняшника) цей показник на порядок нижче.

Найменш активно (на рівні 1%) реалізується енергетичний потенціал соломи зернових культур та ріпаку.

В Україні щорічно збирається понад 50 млн. т. зернових культур. У значних обсягах солома і рослинні відходи, як побічні продукти сільськогосподарського рослинництва.

Річний технічно-досяжний енергетичний потенціал твердої біомаси в Україні є еквівалентним 18 млн. т н.е., а його використання дає змогу щорічно заощаджувати близько 22 млрд. м³ природного газу.

Найбільший потенціал твердої біомаси зосереджений у Полтавській, Дніпропетровській, Вінницькій та Кіровоградській областях і становить понад 1,0 млн. т н.е./рік.

Для визначення виходу соломи і рослинних залишків використовують коефіцієнт відходів/відношення урожаю соломи або стебел рослин до урожаю зерна.

За різними оцінками, на кожну тону зерна можна отримати 1,5-2,0 т соломи або рослинних залишків. 50-60% соломи пшениці, ячменю, жита використовується для утримання худоби та удобрення ґрунтів, а стебла кукурудзи та соняшнику залишаються на полях після збирання врожаю.

Таким чином, в Україні є достатній енергетичний потенціал соломи і рослинних відходів. Значна частина соломи після збирання пресується у тюки, брикети та пелети і використовується для опалення.

На 14 підприємствах олійної промисловості спалюється понад 500 тис. т лушпиння соняшнику і 120 тис. т його гранулюється.

Лісистість території України становить близько 16% її загальної площі. Щорічно заготовлюється 16-17 млн. м ділової деревини; відходи переробки деревини складають до 10 млн. м. куб.

На даний час близько 70% відходів деревини у вигляді тирси, трісок, пелет і брикетів використовується як біопаливо.

Енергетичні культури – окремі види дерев та рослин, що спеціально вирощуються для виробництва твердого біопалива.

Вони поділяються на три окремі групи:

- швидкоростучі дерева;
- багаторічні трави (міскантус, щавнат);
- однорічні трави (сорго, тритикале).

До енергетичних рослин також належать традиційні сільськогосподарські культури, що вирощуються з метою виробництва біодизельного пального (ріпак, соняшник), біоетанолу (кукурудза, пшениця) та біогазу (кукурудза).

Одним із напрямків використання біомаси є її переробка у рідке біопаливо: біодизель та біоетанол. На рис. 6.2. зображений механізм утворення біомаси.

При використанні біомаси для вироблення теплової енергії необхідно враховувати її особливості: залежність властивостей (наприклад, вологість) від атмосферних умов при її заготівлі і зберіганні; залежність кількості біомаси від обсягу врожаю; періодичність природних циклів відтворення біомаси.

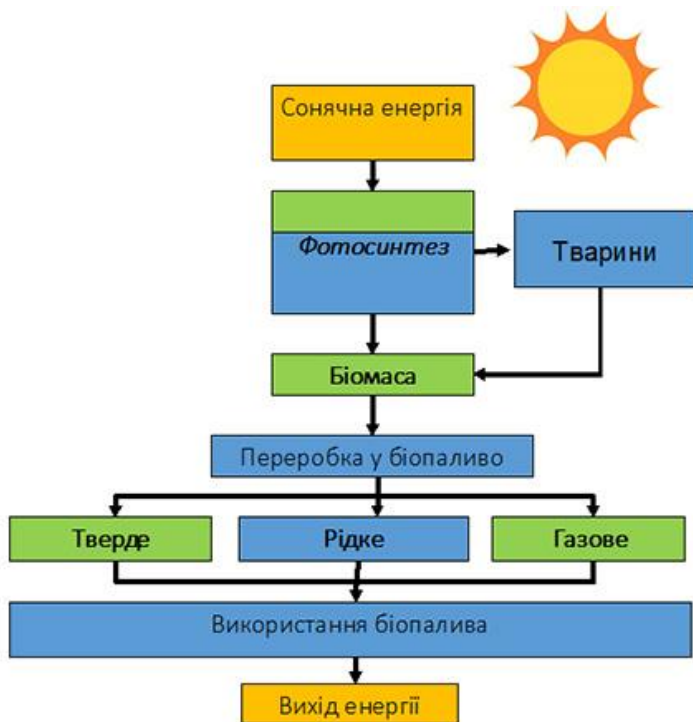


Рисунок 6.2 –Механізм утворення біомаси

6.3 Біопаливо

Біопаливо – це паливо, яке отримують, як правило, з біологічної сировини. В якості якої використовують стебла цукрової тростини або насіння ріпаку, кукурудзи, сої, а також целюлоза і різні типи органічних відходів.

Розрізняють тверде біопаливо (дрова, солома), рідке біопаливо (етанол, метанол, біодизель), і газоподібне біопаливо (біогаз, водень).

6.3.1 Тверде біопаливо

Дрова – найдавніше паливо. Нині для виробництва дров або біомаси вирощують енергетичні ліси, які складаються з

швидкозростаючих рослин. Через значне зростання цін на нафту останнім часом населення багатьох країн скорочує споживання нафтового палива і збільшує використання дров. Це призводить до винищення лісів.

Тверді енергоносії біологічного походження (головним чином гній, відходи деревина, торф) брикетують, сушать і спалюють в камінах житлових будинків і топках теплових електростанцій, виробляючи дешеву електрику для побутових і виробничих потреб. На рис. 6.3. зображені види біомаси для виробництва твердого біопалива.



Рисунок 6.3 – Види біомаси для виробництва твердого біопалива.

Відходи деревини з мінімальним ступенем підготовки до спалювання (тирса, кора, лушпиння, солома тощо) пресують в паливні брикети або в пелети, які мають форму циліндричних або сферичних гранул діаметром 8-23 мм і довжину 10-30 мм.

6.3.2 Рідке біопаливо

Біоетанол – це звичайний етанол, який отримують шляхом переробки рослинної сировини і використовують як біопаливо. Етанол (етиловий спирт) – C_2H_5OH або CH_3-CH_2-OH , другий представник гомологічного ряду одноатомних спиртів

Етанол у порівнянні з бензином є менш «енергонасиче-

ним» джерелом енергії. Пробіг машин, що працюють на E85 (суміш 85% етанолу і 15% бензину; буква «E» від англійського Ethanol), на одиницю об'єму палива складає близько 75% від пробігу стандартних машин.

Звичайні машини не можуть працювати на E85, хоча двигуни внутрішнього згоряння працюють на E10. На «справжньому» етанолі можуть працювати лише т. з. «Flex-Fuel» машини. Ці автомобілі можуть працювати на звичайному бензині або на довільній суміші того й іншого.

Серйозним недоліком біоетанолу є те, що при згорянні етанолу у вихлопних газах двигунів з'являються альдегіди (формальдегід і ацетальдегід), які завдають живим організмам не менший збиток, ніж ароматичні вуглеводні.

Біометанол – вид рідкого біопалива на основі метилового (деревного) спирту, одержуваного шляхом сухої перегонки відходів деревини і конверсією метану з біогазу.

Незважаючи на високе октанове число – більше ніж 100, теплотворна здатність метанолу вдвічі менша, ніж у бензині. Це, а також недостатня летючість чистого спирту, пояснює необхідність змішування метанолу з бензином. Стандартом є біометанол M85 (літера «M» від англ. Methanol), що містить 85% метилового спирту і 15% бензину. Біометанол M85 не отримав поширення як внаслідок низького енерговмісту, так і через виключну корозійну активність метанолу, яка вимагає застосування спеціальних матеріалів. З точки зору отримання енергії дана біосистема має істотні економічні переваги в порівнянні з іншими способами перетворення сонячної енергії.

Біобутанол – $C_4H_{10}O$ – бутиловий спирт. Безбарвна рідина з характерним запахом. Широко використовується у промисловості. Виробництво бутанолу почалося на початку XX століття. У 50-х роках через падіння цін на нафту бутанол почали виробляти з нафтопродуктів.

Бутанол не володіє корозійними властивостями, може передаватися існуючою інфраструктурою. Може, але не обов'язково повинен, змішуватися з традиційним паливом. Енергоємність бутанолу близька до енергоємності бензину.

Бутанол може використовуватися в паливних елементах, а також як сировина для виробництва водню.

Сировиною для виробництва біобутанолу можуть бути цукрова тростина, буряк, кукурудза, пшениця, а в майбутньому і целюлоза.

Диметиловий ефір (ДМЕ) – C_2H_6O – може вироблятися як з вугілля, природного газу, так і з біомаси. Велика кількість диметилового ефіру виробляється з відходів целюлозно-паперового виробництва. Скраплюється при невеликому тиску.

Диметиловий ефір – екологічно чисте пальне без вмісту сірки, вміст оксидів азоту у вихлопних газах на 90% менший, ніж у бензині. Застосування диметилового ефіру не вимагає спеціальних фільтрів, але необхідна переробка систем живлення (установка газобалонного обладнання, коректування сумішотворення) та запалювання двигуна. Без переробки можливе застосування на автомобілях з LPG-двигунами при 30% вмісті в паливі.

Біодизель – паливо на основі жирів тваринного, рослинного і мікробного походження, а також продуктів їх етерифікації. Для отримання біодизельного палива використовуються рослинні або тваринні жири.

Сировиною можуть бути рапсове, соєве, пальмове, кокосове масло, або будь-яке інше масло-сирець, а також відходи харчової промисловості. Розробляються технології виробництва біодизеля з водоростей.

Біопаливо другого покоління – паливо, яке отримане різними методами піролізу біомаси, або інші палива, відмінні від метанолу, етанолу, біодизеля.

Джерелами сировини для біопалива другого покоління є лігніт-целюлозні сполуки, які залишаються після виділення придатної для використання у харчовій промисловості біологічної сировини. Використання біомаси для виробництва біопалива другого покоління спрямовано на скорочення кількості використаної землі, придатної для ведення сільського господарства. Рослини – джерела сировини другого покоління представлені:

- водорості – прості організми, пристосовані до росту в забрудненій або солоній воді (містять у 200 разів більше олії, ніж джерела першого покоління, такі як соєві боби);

- рижій (рослина) – рослина, яка росте в ротації з шеницею та іншими зерновими культурами.

- *Jatropha curcas* або Ятрофа – рослина, яка росте в посушливих ґрунтах; вмістом олії в якій складає від 27 до 40 % залежно від виду.

Швидкий піроліз дозволяє перетворити біомасу на рідину, яку легше і дешевше транспортувати, зберігати і використовувати. З рідини можна зробити автомобільне паливо або паливо для електростанцій.

Досить перспективним є також використання рідких продуктів піролізу деревини хвойних. Наприклад, суміш із 70 % живичного скипидару, 25 % метанолу і 5 % ацетону, тобто фракцій сухої перегонки смолистої деревини сосни, з успіхом може застосовуватися як заміна бензину марки А-80. При цьому для перегонки застосовуються відходи дереводобувних процесів: сучки, пеньки, кора. Вихід паливних фракцій складає до 100 кілограмів від 1 тонни відходів.

В останні роки за кордоном вивчається можливість використання *ацетилену* (C_2H_2) як моторного палива. Ацетилен має високі енергетичні показники і його можна виробляти з нафтової сировини. Проводились поодинокі експериментальні дослідження роботи поршневих ДВЗ на ацетилені, які до того ж виконані переважно на одноциліндрових установках.

Токсичні показники двигуна, який працює на ацетилені, покращуються, в основному, через зниження вмісту у ВГ оксиду вуглецю і сумарних вуглеводнів.

Так в режимах максимальної потужності отримано зменшення викидів CO у 2-2,5 рази, а C_mH_n в 2,5-3,5 рази, в порівнянні з мінімальними значеннями викидів цих компонентів під час роботи на бензині. Разом з тим, внаслідок високої температури згоряння ацетилену вміст оксидів азоту у ВГ, знаходиться на рівні найбільших викидів NO_x бензинових двигунів. Основним недоліком ацетилену та ацетилено-повітряної суміші є їх висока вибухонебезпечність.

Останнім часом в нашій країні і за кордоном вивчається проблема заміни бензину і дизельного палива *рослинною олією*. Такою може бути олія ріпаку.

Ріпак – невибаглива культура, його врожайність 15-25 центнерів насіння з гектару. Шляхом екструзії (пресування) вилучається до 40 % олії від маси посівів. Більш глибока екстракція (вилучення) дозволяє отримати до 70 % олії.

Ріпакову олію можна використовувати у вигляді добавок до дизельного палива або продукувати з неї *метилефір*, який безпосередньо використовується як паливо для дизелів.

Метилефір отримують з ріпакової олії трансетерифікацією (хімічним перетворенням). Для одержання 1000 літрів метилефіру потрібно 1000 літрів олії, 110 літрів метанолу та 16 літрів каталізатору (гідрооксиду калію або натрію).

У результаті додатково одержують 110 кг гліцерину, та відбувається часткове повернення метанолу. Ріпакова олія, як олива для систем змащування за своїми властивостями не поступається нафтовим.

Вона має цілком прийнятну температуру застигання. За антикорозійними та протизношуваними властивостями ріпакова олія перевищує нафтові оливи.

За умови роботи дизеля на сумішах ріпакової олії і дизельного палива зміна концентрацій шкідливих компонентів відпрацьованих газів (CO , C_mH_n , NO_x , CO_2) і їх димність мають такий же характер як і для звичайних дизелів.

Під час роботи дизеля на ріпаковій олії викиди оксиду вуглецю на один кілометр шляху дещо зростають, порівнюючи з дизельним паливом (2,48 і 1,67 г/км відповідно), вуглеводнів оксидів азоту менше. Окрім того ВГ такого дизеля не містять сірки і важких металів.

Біодизельне паливо виробляється з ріпаку та сої і на сьогодні коштує дорожче за традиційне дизельне пальне.

Для отримання біодизельного палива можна використовувати також соняшникову і кукурудзяну олію, але найчастіше використовують ріпакову, оскільки собівартість виробництва зерна ріпаку, порівняно з іншими олійними культурами, найнижча.

Біопаливо на основі рослинної олії ще у 1853 р. винайшли англійці. Двигун для нього був винайдений пізніше.

10 червня 1893 р. у місті Аугсбург, Німеччина, відомий інженер і конструктор Рудольф Дизель випробував свій перший одноциліндровий двигун, який був завдовжки 3 м та важив 4,5 т. Двигун вибухнув і ледь не вбив винахідника. На згадку про подію, 10 червня проголошено “Міжнародним днем біодизеля”.

У 1900 р. на Всесвітній виставці в Парижі Р. Дизель про демонстрував свій винахід і отримав головну нагороду.

Винахідник вірив, що майбутнє для його двигунів – за використанням біопалива. У 1912 р. він передбачав, що: “Використання рослинних жирів для виробництва палива може видаватись несуттєвим на той момент, але з плином часу такі жири можуть стати настільки ж важливими, як продукти з нафти та вугільної смоли”.

6.3.3 Газоподібне біопаливо

Біогаз – це продукт зброджування органічних відходів (біомаси), що представляє суміш метану і вуглекислого газу. Розкладання біомаси відбувається під впливом бактерій класу метаногенів.

Склад газу нестабільний і залежить від багатьох факторів : курячий послід, коров’ячий та свинячий гній мають в своєму складі бактерій здатних підтримувати метанове бродіння , але залишковий матеріал не сприяє особливо високому вмісту метану.

Склад біогазу: 55-75% метану, 25-45% CO₂, незначні домішки водню (H₂) і сірководню (H₂S), азоту, ароматичних вуглеводнів, галогеноароматичних вуглеводнів.

Отриманий в результаті метанового бродіння біогаз, як правило, поступається за теплотворними властивостями природному газу. Проте після відповідної технологічної сепарації (поглинання і використання на інші технологічні потреби наявного вуглекислого газу) перевершує природний газ за теплотворністю.

6.3.4 Біопаливо третього покоління

Крім відомих джерел поновлювальної енергії існують й інші. Зокрема, нова технологія виробництва біопалива з водоростей може допомогти вирішити проблеми нестачі сировини. Її цінність величезна. Ці біологічні об'єкти можуть рости у дуже жорстких умовах: у соляних озерах, у пустелі, де рослинництво не практикується і неможливе.

Біопалива третього покоління – це паливо, отримане з водоростей. Крім вирощування водоростей у відкритих ставках існують технології вирощування водоростей в малих біореакторах, розташованих поблизу електростанцій.

Скидне тепло ТЕЦ здатне покрити до 77% потреб в теплі, необхідному для вирощування водоростей. Ця технологія не вимагає спекотного тропічного клімату.

Технологія ґрунтується на тому, що у водоростях в процесі росту накопичуються речовини, молекули яких мають структуру, схожу зі звичайною нафтою. Однак, водорості, які містять більшу кількість цих речовин, ростуть повільніше.

Департамент Енергетики США з 1978 року по 1996 роки досліджував водорості з високим вмістом олії за програмою «Aquatic Species Program».

Дослідники прийшли до висновку, що Каліфорнія, Гаваї і Нью-Мексико придатні для промислового виробництва водоростей у відкритих ставках. Протягом 6 років водорості вирощувалися в ставках площею 1000 м². Ставок в Нью-Мексико показав високу ефективність в захопленні CO₂. Врожайність склала більше 50 г. водоростей з 1 м² в день.

Двісті тисяч гектарів ставків можуть виробляти паливо, достатнього для річного споживання 5 % автомобілів США. Причому 200 тисяч гектарів – це менше 0,1 % земель США, придатних для вирощування водоростей. У цій технології ще залишаються актуальними безліч проблем.

Наприклад, водорості потребують високої температури, для їх культивування добре підходить пустельний клімат, але також потрібна певна температурна регуляція при нічних перепадах температур. В кінці 1990-х років технологія не

потрапила в промислове виробництво через низьку вартість нафти.

6.4 Вторинні енергоресурси та їх утилізація

Використання вторинних енергоресурсів (ВЕР) для енергоживлення агрегатів називається утилізацією ВЕР. Нині питання економії палива шляхом використання ВЕР перетворилися на актуальну проблему для України, зважаючи на низький рівень корисного використання енергії в технологічних процесах промислового виробництва країни, на частку якого припадає 65-70% споживаних енергоресурсів.

При оцінці доцільності утилізації ВЕР користуються їх класифікацією за двома основними ознаками:

- за цільовим призначенням;
- за температурним рівнем.

У свою чергу, за цільовим призначенням ВЕР поділяються на паливні, теплові і ВЕР надлишкового тиску.

Паливними ВЕР є горючі відходи технологічних процесів переробки вуглецевої і вуглеводневої сировини, непридатні для подальшої технологічної переробки, наприклад, відходи деревини, біогази, а також побічні горючі гази металургійних та інших виробництв (доменний і коксовий газ, горючі гази підприємств нафтової промисловості та ін.).

Теплові ВЕР можуть розглядатися як:

- фізична теплота газів, що відходять з технологічних агрегатів;
- фізична теплота гарячої води і пари, відпрацьованих у технологічних установках;
- попутне вироблення теплоти (у вигляді пари і гарячої води) в технологічних і енерготехнологічних агрегатах, де, необхідно зазначити, має місце найбільший ступінь утилізації порівняно з іншими джерелами ВЕР.

ВЕР надлишкового тиску називають потенціальну енергію газів і рідин, що залишають технологічний агрегат з надлишковим тиском, який необхідно понизити перед подальшим ступенем використання цих речовин або при викиді їх в атмосферу.

За температурним рівнем ВЕР поділяються на низькопотенціальні, середньопотенціальні та високопотенціальні.

ВЕР низького потенціалу мають температуру 0-70°C. До них належать природні джерела теплоти (атмосферне повітря, ґрунт, водоймища, геотермальна вода) і виробничі джерела теплоти (водопровідна, технологічна і оборотна вода, каналізаційні стоки та ін.).

ВЕР середнього потенціалу характеризуються температурами 70-150°C і, як правило, це відпрацьовані або скидні газові і парові потоки технологічних установок.

ВЕР високого потенціалу мають температури в діапазоні 150...400°C, наприклад, продукти згорання газотурбінних двигунів, печей та ін.

Аналіз об'ємів генерації ВЕР за температурним рівнем показує гіперболічний характер даного зв'язку: чим нижче температура ВЕР, тим у великих кількостях вони генеруються, а, отже, пріоритет в утилізаційних проектах повинен відводитися низькопотенціальним джерелом ВЕР.

6.5 Виробництва біопалива

При використанні біомаси для вироблення теплової енергії необхідно враховувати її особливості: залежність властивостей (наприклад, вологість) від атмосферних умов при її заготівлі і зберіганні; залежність кількості біомаси від обсягу врожаю; періодичність природних циклів відтворення біомаси.

Щоб забезпечити надійність теплопостачання при використанні в якості палива біомаси, необхідно мати дублюючі потужності на традиційних видах енергоресурсів.

Крім того, для виробництва тієї ж кількості теплової енергії, що й при використанні природного газу, біомаси треба спалити за об'ємом у два рази більше. Тверде, рідке та газове паливо, що виготовлене з біомаси і може використовуватися як паливо або компонент інших видів палива, називають біопаливом.

6.5.1 Технологія виробництва деревних паливних гранул

Весь процес виробництва умовно можна розділити на кілька етапів:

- подрібнення;
- сушіння;
- водопідготовка;
- пресування;
- охолодження;
- розфасовка й упаковка.

Подрібнення деревної сировини. Сировина (деревина, тирса, солома тощо) поступає в дробарку. Де подрібнюють деревну сировину до фракції з розмірами не більше 25х25х2 мм для подальшої сушки. Найкраще для зниження енерговитрат на сушіння подрібнювати до більш дрібної фракції.

Сушка. Отримана маса поступає в сушарку, з неї – у прес-гранулятор, де деревну муку пресують у гранули. Деревна сировина перед пресуванням повинно мати вологість $10\% \pm 2\%$. Сировина з більшою або меншою вологістю вимагає додаткового зволоження або додаткової сушки.

Стиснення під час пресування підвищує температуру матеріалу, лігнін, що міститься в деревині розм'якшується і склеює частки в щільні циліндри. Сушарки діляться на два типи: барабанного і стрічкового. Стрічкового типу: дорожче, але безпечніше. За типом вживаного сушильного агента вони поділяються на сушарки на топкових газах, гарячому повітрі і водяній парі. За типом вживаного виду палива для виробництва ДТГ: газові і на деревних відходах.

Водопідготовка. Сировина з вологістю менше 8% погано піддається пресуванню, тому потрібно, пристрій додаткового зволоження сировини – це шнекові змішувачі, що мають можливість подачі води або пари. Пар застосовують для зниження міцності і збільшення пластичності деревної сировини твердих порід та старої, злежаної сировини, але з такої сировини складно отримати гранули хорошої якості.

Пресування. В основі всього процесу гранулювання використовують прес. Сьогодні існує кілька десятків виробни-

ків пресів з різних країн світу (CPM, Andritz, Salmatec, Amandus Kahl, Buhler, Munch та багато інших). В основному преси конструктивно розрізняються за видами матриць: круглою та плоскою (рис. 6.4).



Рисунок 6. 4 – Матриці пресів:
а – кругла; б – плоска

Прес з круглою матрицею розроблявся для комбікормової, харчової та хімічної промисловості. А прес з плоскою матрицею спочатку для утилізації промислових і побутових твердих відходів. Матричні преси обох модифікацій, що використовуються в гранулюванні, працюють за однаковим принципом. Біжучі катки створюють контактне напруження зминання сировини на матриці, і через отвори в матриці продавлюють сировина, яка обрізається ножами.

Преси виконані з особливо міцних матеріалів з жорсткими могутніми корпусами. Матриця і катки виготовлені із спеціальних загартованих зносостійких сплавів. Гранулювання деревини, як матеріалу має високу щільність, вимагає підвищеної зусилля для пресування. При пресуванні відбувається ущільнення деревної сировини до 3 разів. Питоме споживання електроенергії складає від 30 до 50 кВт в годину на тонну. Через сили тертя і адіабатичних процесів, що відбуваються при різкому стисненні сировини, температура в робочій зоні преса сягає 100 ° С.

Охолодження. Охолодження необхідно для кондиціювання гранул після пресування. Після охолоджувача існують системи для очищення готових гранул від пилу, що істотно покращує якість продукції, що випускається. Чим вище зусилля

пресування і вище температура сировини, тим краще гранули по якості. При збільшенні температури пресування понад 120 °С відбуваються незворотні процеси в гранульованій сировині, які призводять до погіршення якості гранул.

Розфасовка і упаковка. Розфасовка і упаковка паливних гранул залежить від того, яка система зберігання існує у споживача у:

- вільному вигляді – насипом;
- мішках біг-бег, від 500 до 1200 кг;
- дрібній розфасовці по 10 ... 20 кг.

У вільному вигляді – насипом. Підрозділяється на дві групи:

- *перша* йде на великі ТЕЦ, вимоги щодо якості невисокі, ціна також невелика: промислові пелети.

- *друга* – високої якості для котлів невеликої потужності і подальшої фасування в дрібну упаковку, вимоги високі, ціна також досить висока.



Рисунок 6.5 – Розфасовка насипом

Фасування в біг-бегі. Розфасовка в біг-бегі застосовується для індустріальної транспортування сипучих продуктів. Біг-бегі виготовляються з міцного полімеру, мають петлі для механізації вантажно-розвантажувальних робіт, а також дозволяють зберігати постійну необхідну вологість ДТГ при відкритому складуванні. Ціна ДТГ в біг-бегах вище, ніж при доставці насипом.



Рисунок 6.6 – Фасування в біг-беги

Дрібна розфасовка. Найдорожча група. Ціни на гранули в дрібній розфасовці найбільш високі, і перевищують 200 Євро за тону. До даної групи ДТГ пред'являються підвищені вимоги по якості.

Дуже зручна для тих замовників, хто не може мати складу для зберігання в насипному вигляді. Перевозиться на піддонах. Масою до однієї тонни. На рис. 6.5 показані варіанти транспортного пакета і мішка 20 кг.

На виробництво однієї тонни гранул йде 3-5 кубометрів деревних відходів природної вологості. Готові гранули охолоджують, пакують у великі біг-беги (по кілька тонн) або дрібну упаковку від декількох кг до декількох десятків кг. Розрізняють промислові (доставляються насипом без упаковки або в біг-бегах) і споживчі гранули (у дрібній розфасовці, орієнтовані на приватних і невеликих промислових споживачів).

Деревні паливні гранули (пелети, ДТГ) – це невеликі циліндричні пресовані деревні вироби діаметром 4-12 мм, завдовжки 20-50 мм, перероблені з висушених залишків деревообробного та лісопильного виробництва: тирса, стружка, деревне борошно, тріска, деревний пил і т. д.

Гранули використовуються в котлах для отримання теплової та електричної енергії шляхом спалювання. Для кожного виду палива існує своя технологія спалювання, обґрунтована, як технічно, так і економічно. Максимальної ефективності можна досягти лише за допомогою котлів та пальників, спеціально для цього призначених.

Процес отримання теплової енергії з гранул – це горіння з великою напругою, оскільки гранули не горять у прямому розумінні цього слова, а тліють. При цьому котел, вичерпавши паливо в контейнері, може продовжувати постачання теплом протягом 24 годин за рахунок малої швидкості протікання процесу.

У Європі більше половини котлів на деревних гранулах мають середню потужність від 100 кВт до 1 МВт. Зазвичай такі печі встановлюються у великих приватних будинках, школах, на невеликих підприємствах.

6.5.2 Технологія виготовлення паливних брикетів

В основі технології виробництва паливних брикетів лежить процес пресування шнеком агровідходів (лушпиння соняшнику, гречки та ін.) і дрібно подрібнених відходів деревини (тирси) під високим тиском, а в ряді випадків і при нагріванні від 250 до 350 С °. Одержувані паливні брикети не включають в себе ніяких зв'язувальних речовин, крім одного натурального – лігніну, що міститься в клітинах рослинних відходів. При використанні агросировини можливе додавання сполучних елементів. Температура пресування, сприяє опалвленню поверхні брикетів, яка завдяки цьому стає більш міцною, що важливо для транспортування брикет.



Рисунок 6.7 – Паливні брикети

Сировиною для виробництва брикетів є той самий матеріал, що і для виготовлення гранул. Технологія виробництва брикетів

схожа з технологією гранулювання, але більш проста. Брикети бувають різних форм (рис. 6.7) – у вигляді цегли, циліндра або шестикутника з отвором всередині. Стандартних розмірів у даній продукції немає. Основним чинником, що визначає механічну міцність, водостійкість і калорійність брикету, є його щільність. Чим щільніше брикет, тим вище показники його якості. Чим нижче щільність брикетів, тим менше їх калорійність. Наприклад, при щільності брикету $650\text{--}750\text{ кг/м}^3$ калорійність брикетів дорівнює 12-14 МДж / кг; при щільності $1200\text{--}1300\text{ кг/м}^3$ – 25-31 МДж / кг.

Процес брикетування – процес стискування матеріалу під високим тиском, з виділенням температури від сили тертя. За рахунок даного впливу в деревині відбувається виділення лігніну, який є сполучною речовиною для формування брикету. Для брикетів не з деревної сировини, можуть застосовуватися екологічно чисті добавки (не більше 2%). При слід звернути особливу увагу на вологу – дуже важливий параметр, що впливає на щільність брикету.

У разі перевищення 14% вологості сировини брикет розвалюється на довільні шматки через надлишок води. Обсяг брикету складає 1/10 від обсягу затраченої на його виробництво сировини, що дає значну економію при транспортуванні і зберіганні біопалива. Для виробництва деревних брикетів застосовують поршневі і шнекові преси, сировина – тирсу і стружки. Перед пресуванням матеріал додатково подрібнюють і підсушують (вологість не повинна перевищувати 12-14%).

Поршневий прес (рис. 6.8) працює циклічно – при кожному ході поршня продавлюють певна кількість матеріалу через кінцеве сопло, на брикетах чітко помітні відповідні циклам шари.

У приводі завжди застосовується маховик, який дозволяє вирівняти навантаження двигуна. Знос поршня невеликий, оскільки відносно переміщення між пресованим матеріалом і поршнем мало, швидко зношується сопло. Поршневі преси відносно дешеві і тому широко поширені.

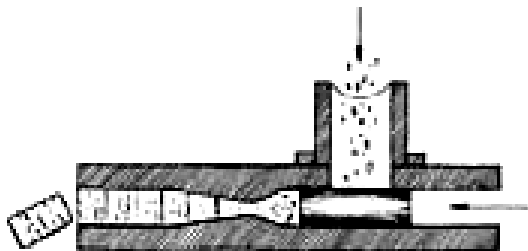


Рисунок 6.8 – Поршневий прес

Шнековий прес (рис. 6.9) легше поршневого, оскільки відсутні масивні поршні і маховики. Продукція виходить безперервно, тому її можна розрізати на потрібні шматки. Щільність вище, ніж у поршневих пресів. Шнекові преси менш галасливі, завдяки відсутності ударних навантажень. До недоліків можна віднести більший витрата енергії і швидкий знос шнека.

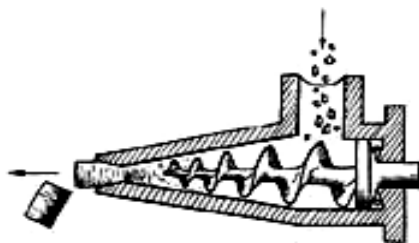


Рисунок 6.9 – Шнековий прес

Технологія виробництва деревного вугілля. Деревне вугілля, це нелетка частина продуктів термічного розпаду деревини. Історично – деревне вугілля один з найперших продуктів цілеспрямовано виготовлялися людьми.

Деревне вугілля використовують не тільки в побуті, широке застосування воно знайшло і у металургійній та хімічній промисловості. Також воно служить в якості кормової добавки тваринам і ізоляційним матеріалом в будівництві.

Особливість деревного вугілля, невластива ніякому іншому паливу, це відсутність в продуктах горіння чадного газу. Тому, деревне вугілля почали спершу збирати на згарищах, а потім і виготовляти ще печерні люди.

Примітивні способи приготування вугілля, що складаються в розігріві по особливому складених дров, накритих дерном за рахунок спалювання частини дров в різних варіантах проіснували до кінця 19 століття як єдина технологія. Вони продовжують існувати, як кустарний метод, особливо широко в країнах Африки і Латинської Америки.

В інших країнах, не стурбованих екологічною чистотою процесів, цю технологію модернізували шляхом заміни дерну на метал, цегла і т.п.

Досить багато таких апаратів досі існує і в Росії. Загальний їх недоліки – викид отруйних парів і газів у навколишнє середовище, низький вихід товарного продукту і неефективне використання обсягу апаратів.

Для виробництва деревного вугілля використовуються спеціальні печі (рис. 6.10) для випалювання, які бувають мобільні та стаціонарні.



Рисунок 6.10 – Піч для виготовлення вугілля

Сучасні технології дозволяють отримувати вугілля з різним ступенем прогартування – більш багатий летючими речовинами для побуту та більш прожарений для промисловості.

Міцність вугілля залежить не тільки від технології виготовлення, але і від породи. З твердолистяних порід деревини вугілля виходить більш міцний, ніж з інших.

Порівняно недавно освоєно виробництво вугілля з екструдерних тирсових брикетів. В Азії та Південній Європі його вважають за краще звичайному вугіллю.

6.5.3 Технологія виробництва тріски та дров

В основі технології отримання тріски лежить подрібнення деревини на спеціальній техніці. Розрізняють паливну та технологічну тріску. Технологічна тріска виробляється з окорної стовбурної деревини хвойних і листяних порід, а також з обапелів без кори, рейок, кускових відходів деревини на ножових машинах дискового типу.

Паливна щепи може вироблятися з необкорованих стовбурів, з низькоякісної тонкомірної деревини від рубок догляду за лісом, вершин і сучків різних деревних порід на рубильних машинах дискового і барабанного типів.

Дрова – шматки дерева, призначені для спалювання в печі, каміні, топці або багатті для отримання тепла і світла.

Відповідно до вимог ГОСТ 3243-88 якість дров нормується за породою деревини, номінальною довжиною і обліковою градацією, за площею ядрової гнилі (у відсотках від площі торця), за кількістю дров в партії з гниллю від 30 до 65% площі торця, і по висоті залишків сучків.

Тепло, що виділяється при згорянні дров, залежить від породи дерева і вологості деревини. Вологість знижує теплоутворення дров, оскільки випаровування води забирає частину теплової енергії. Втрати від вологості незначно залежать від початкової температури дров (точніше, води в них) і приймаються рівними 0,63 кВт·год на кілограм води. Абсолютно сухі дрова листяних порід видають близько 5 кВт·год тепла на кілограм дров.

Абсолютно сухі дрова хвойних порід дають близько 5,2 кВт·год тепла на кілограм дров, у зв'язку з хімічною відмінністю їх деревини.

Технологія виробництва дров пов'язана з лісозаготівлею. Низькоякісну деревину, яка не може бути використана в якості ділової (фанкряж, пиловник, баланси) перетворюють в дрова шляхом розпилювання розколювання.

Технологія виготовлення полін проста: стовбури дерев і товсті гілки пиляють на відрізки довжиною 40-60 см (цурки) і потім розколюють сокирою в поздовжньому напрямку на дрібніші частини з площею торця до 100 см². Для рубання зручніше використовувати спеціальну сокиру-колун, лезо якої має форму клина з кутом приблизно в 30°. Кубометр сухих листяних дров здатний замінити 200 літрів нафти, 200 кубометрів природного газу. Найбільш «калорійними» вважаються дрова з берези, «некалорійними» – з осики.

6.5.4 Технологія торефікації деревини

Торефікація деревини – це низькотемпературний піроліз, поліпшуючий властивості деревини. Температура процесу 200-300 °С, тиск – атмосферний, швидкість нагріву <50 °С /хв., відсутність кисню, час перебування – 6-30 хв., Розмір часток <4 см, теплотворна здатність – 19-22 МДж /кг. При температурі 230 ... 300 оС геміцелюлоза розщеплюється і утворюється торефікована деревина.

Брикети та пелети з торефікованої деревини з точки зору палива мають основні властивості кам'яного вугілля, низьку зольність та є, в той же час, поновлюваним джерелом енергії. Очікується, що з часом торефікат замінить собою інші види твердого біопалива.

В процесі торефікації вихідна деревина з одного боку втрачає у вазі, набуваючи паралельно нові властивості. З іншого отримує більш високу енергетичну цінність у перерахунку на масу.

Відповідно, в порівнянні зі звичайними пелетами, з одного боку вихід готової продукції зменшується, що негативно впливає на її собівартість, з іншого боку енергетична цінність кілограма вище, тому транспортування стає ефективніше.

Тверде біопаливо з торефікату (рис. 6.11) добре підходить до спалювання у великих котельнях сумісно з вугіллям, і є

поновлюваним джерелом енергії, тому урядами Європейських країн на ці розробки звернено пильну увагу.

Виділено безліч грантів компаніям в різних країнах на розробку установок для торефікації, а також пелетних та брикетних пресів для цього матеріалу. Технологія виготовлення пелет та брикетів з торефікованої деревини, як і технології самої торефікації зовсім нові і в даний час знаходяться в активній розробці.



Рисунок 6.11 – Тверде біопаливо з торрефікату

6.6. Технологія виробництва рідкого біопалива

У 2007 році сумарний обсяг виробленого у всьому світі рідкого біопалива склав 54 мільярди літрів. Якщо оцінювати літраж споживання, втім, цифри не виглядають настільки вже переконливо: це всього 1,5 відсотка від загального споживання рідкого пального всіх типів.

Цікаво, що на той час більшою частиною виробленого біопалива був етанол: 46 мільярдів літрів. Найбільші виробники - США і Бразилія. На їх частку припадає 95% світового виробництва.

У Швеції існує три сотні заправок, де можна заправляти дизельні машини... сосновим маслом. 8 березня 2013 року був виконаний перший трансатлантичний рейс на біопаливі.

Сучасна промислова технологія отримання *етилового спирту* з харчової сировини включає наступні стадії:

- підготовка і подрібнення крохмалистою сировини – зерна (жита, пшениці і т.п.);

- ферментація. На переважній більшості спиртових виробництв світу ферментативне розщеплення крохмалю до спирту за допомогою дріжджів залишено. Для цих цілей застосовуються рекомбінантні препарати альфа-амілази, отримані біоінженерним шляхом – глюкамілаза, амилазобіліліна.

- брагоректифікація. Здійснюється на розгінних колонах (наприклад, «Комсомолец»). Відходами бродильного виробництва є барда і сивушні масла. Барда використовується для виробництва кормів.

Реальною альтернативою етанолу в наші дні стає біобутанол, так як він має більш високим енергетичним потенціалом, менш леткий і може використовуватися в автомобілях без будь-яких змін в конструкції їх двигунів. Так, гібридне паливо БЮ100 являє собою суміш 65% біоетанолу з додаванням третбутилового ефіру. Таке моторне паливо знижує на 1/3 теплове навантаження на двигун, підвищуючи тим самим терміни його експлуатації.

В основі технології отримання *біодизельного палива* лежить реакція перетерифікації будь-якого рослинного масла, або тваринного жиру, в присутності каталізатора в метилові ефіри жирних кислот. В якості сировини використовують олії ріпаку та інших культур. Собівартість біодизельного палива свідомо вище, ніж аналогічних нафтопродуктів, але в регіонах з теплим кліматом, що забезпечує успішне вирощування олійних культур, і не мають свого мінеральної сировини, таке виробництво може існувати і займати обмежений сектор ринку.

Є технології, що дозволяють отримати рідке паливо (т. зв. біо-ойл) з деревини шляхом піролізу.

Піроліз – це хімічна реакція, що підкоряється законам кінетики. Швидкісного або уповільненої піролізу не існує.

Liquid-to-biofuel (біопаливо другого покоління). Різні види палива, одержувані різними методами піролізу біомаси. Швидкий піроліз дозволяє перетворити біомасу на рідину, яку легше і дешевше транспортувати, зберігати і використовувати. З рідини можна зробити автомобільне паливо, або паливо для

електростанцій. З біопалив другого покоління, що продаються на ринку, найбільш відомі BioOil виробництва канадської компанії Dyna-motive і SunDiesel німецької компанії CHOREN Industries GmbH. Однак поки ці проекти виявилися фінансово нестійкими.

Ряд фахівців вважає, що суміші фірми Dynamotive ніяк не можуть розглядатися як дизельне паливо. Їх висока кислотність і вміст важких смол призводить до швидкого руйнування двигунів. Фірма SunDiesel (Німеччина) робить спроби виготовляти дизельне паливо з рослинних матеріалів через синтез Фішера-Тропша. Технічно це можливо, але економічно не може конкурувати з мінеральними аналогами.

6.6.1 Технологія виробництва біогазу

Біогаз утворюється за допомогою бактерій в процесі розкладання органічного матеріалу при анаеробних (без доступу повітря) умовах і являє собою суміш метану та інших газів в наступних пропорціях (табл. 6.2).

Таблиця 6.2 – Суміш метану та інших газів

Газ	Хімічна формула	Об'ємна частка
Метан	CH ₄	40 - 70%
Вуглекислий газ	CO ₂	30 - 60%
Інші гази		1 - 5%
Водень	H ₂	0 - 1%
Сірководень	H ₂ S	H ₂ S

Технологічні процеси виробництва біогазу полягають в наступному. Біомаса (відходи або зелена маса) періодично подаються за допомогою насосної станції або завантажувача в реактор. Реактор являє собою підігрівається і утеплений резервуар, обладнаний міксерами.

Будматеріалом для промислового резервуара найчастіше служить залізобетон або сталь з покриттям. У малих установках іноді використовуються композиційні матеріали. У реакторі живуть корисні бактерії, що харчуються біомасою. Продуктом життєдіяльності бактерій є біогаз.

Для підтримки життя бактерій потрібна подача корму, підігрів до 35-38 ° С і періодичне перемішування. Утворюється біогаз скупчується в сховищі (газгольдері), потім проходить систему очищення і подається до споживачів (котел або електрогенератор).

Реактор працює без доступу повітря, герметичний і безпечний. Для зброджування деяких видів сировини в чистому вигляді потрібна особлива двостадійна технологія. Наприклад, пташиний послід, спиртова барда не переробляються в біогаз в звичайному реакторі. Для переробки такої сировини необхідний додатково реактор гідролізу.

Такий реактор дозволяє контролювати рівень кислотності, таким чином бактерії не гинуть через підвищення вмісту кислот або лугів. Можлива переробка цих же субстратів по одно стадійної технології, але при коферментації (змішуванні) з іншими видами сировини, наприклад, з гноєм або силосом. Існують промислові та кустарні установки.

Промислові установки відрізняються від *кустарних* наявністю механізації, систем підігріву, гомогенізації, автоматики. Найбільш поширений промисловий метод – анаеробне зброджування в метантенках.

Одним із шляхів раціонального використання енергії рідкого гною тваринницьких ферм є його метанове зброджування, при якому знешкоджуються стоки, утворюється біогаз (метан) та зберігається гній як органічне добриво.

Тривалість зброджування гною залежить від виду біомаси і температури зброджування.

Для гною великої рогатої худоби та курячого посліду тривалість становить приблизно 20 діб, для свинячого гною – 10 діб. Активність мікробної реакції значною мірою визначається співвідношенням вуглецю та азоту.

Найбільш сприятливі умови створюються при співвідношенні $C/N = 10-16$. За добу від однієї тварини можна одержати таку кількість біогазу:

- велика рогата худоба (масою 500-600 кг) – 1,5 м³;
- свиня (масою 80-100 кг) – 0,2 м³,
- курка, кріль – 0,015 м³.

Одна свиноматка із 20-24 поросятами дає у рік приблизно 25 м³ гною. У газовому еквіваленті це становить у середньому 1000 м³ біогазу. Економічно вигідно встановлювати біогазову установку на свинокомплексах з поголів'ям не менше 10-2 тис. свиней (650 свиноматок).

Одна дійна корова щодня дає від 30 до 70 кг гною, що у середньому на рік дорівнює 20 м³, а це 800 м³ біогазу. БГУ буде економічно ефективною для ферм із поголів'ям від 800 дійних корів. Для одержання біогазу можуть бути використані силос, солома, харчові відходи та ін.

У середньому 1 м³ біогазу може дати 21-29 МДж енергії, яку можна використовувати для різних потреб сільського господарства.

Сьогодні підраховано, що кожна корова може забезпечити електричне освітлення невеликого приміщення протягом 10 тис. год. Цей напрям утилізації гною в умовах поступового виснаження традиційних енергетичних ресурсів (нафти, газу, вугілля тощо) має особливо велике значення.

Метанове зброджування рідких гнойових стоків здійснюється у біогазових установках, в яких за рахунок анаеробної біоконверсії тваринницьких відходів, а також рослинних решток одержують біогаз метан та органічне добриво.

Такі установки, з одержанням біогазу з відходів тваринництва, використовують в США, Данії, Японії, Китаю, Індії Великобританії та ін.

Залежно від особливостей технології отримання біогазу розрізняють три типи біогазових установок (БГУ): *безперервні*, *періодичні* та *акумулятивні*.

У безперервних установках свіжий субстрат завантажують у камеру зброджування безперервно або через певні проміжки часу (від 2 до 10 разів за добу), видаляючи при цьому збриджену масу. Ця система дає можливість одержати максимальну кількість біогазу, але вимагає більших матеріальних витрат.

Біогазові установки складаються з: камери зброджування (прийняті також назви – реактор, ферментатор, метантенк),

нагрівального пристрою (теплообмінника), пристрою для перемішування і газгольдера (рис. 6.12).

Метантенки виконують надземними, напівзаглибленими і заглибленими в ґрунт.

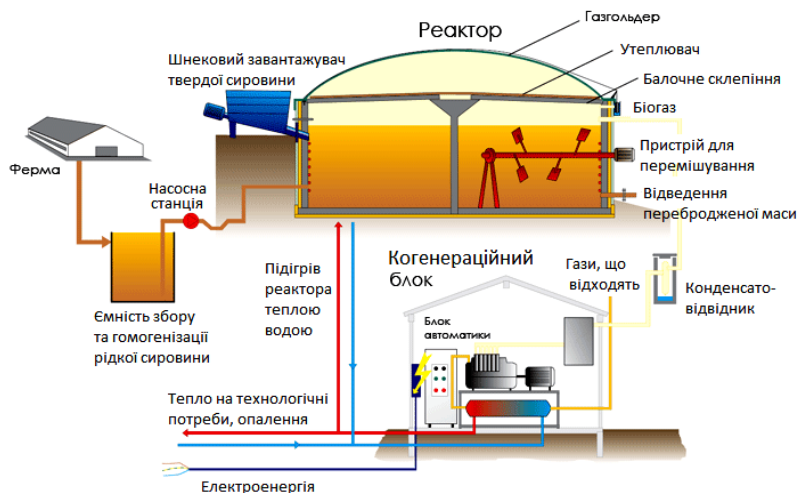


Рисунок 6.12 – Технологічна схема біогазової установки з використанням когенераційної установки

Камери зброджування виготовляють різної форми: циліндричні, кубічні, у вигляді паралелепіпеда і більш складної конструкції. Вони бувають одно- та двосекційними, встановлюються вертикально, горизонтально, горизонтально-похило.

Метантенки виготовляють з металу, пластмаси, залізобетону. Схема заглибленого односекційного метантенка зображена на рис. 6.13.

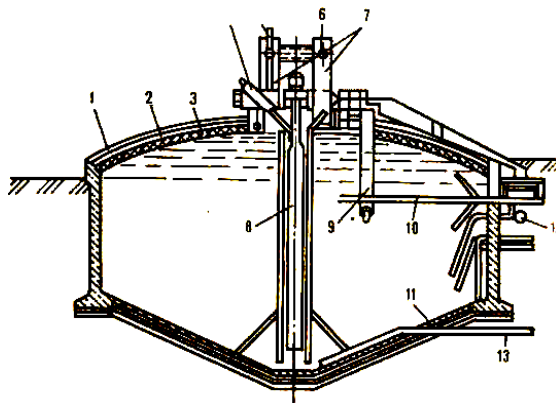


Рисунок 6.13 – Схема заглибленого метантенка:

1 – дах; 2 – цегла; 3 – теплоізоляція; 4 – люк; 5, 9 – труби відповідно для випуску газу в атмосферу і переливання; 6 – газопровід для газового ковпака; 7 – газові ковпаки; 8 – перемішувач; 10, 13 – трубопровід для завантаження сирого осаду та випорожнення метантенка; 11 – днище метантенка; 12 – паровий інжектор для підігріву метантенків

Газгольдини – призначені для збирання та зберігання біогазу. Найпростіші газгольдини поєднують із метантенком (рис.6.14, а). Зручний в експлуатації і тому перспективний у сільському господарстві “мокрый” газгольдин низького тиску (рис. 6.14,б).

Теплотворна здатність одного кубометра біогазу становить залежно від вмісту метану 20-25 МДж/м³, що еквівалентно згорянню 0,6-0,8 літра бензину, 1,3-1,7 кг дров або використанню 5-7 кВт електроенергії.

Підготовка й очистка біогазу є важливою передумовою для того, щоб закачувати його в газову мережу в промислових об’ємах і отримати вигідну альтернативу імпортованому природному газу.

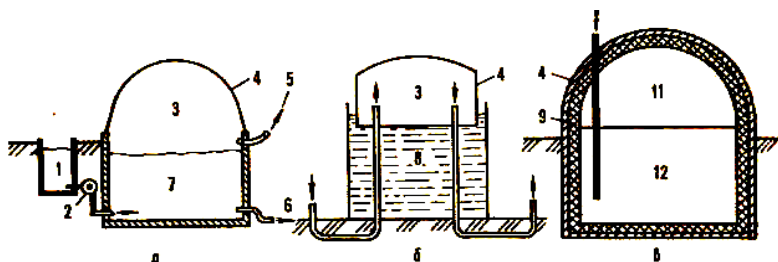


Рисунок 6.14 – Схеми газгольдерів:

а – суміщений з метантенком; *б* – “мокрый” однопідйомний;
в – заглиблений для зрідженого газу; 1 – гноєнакопичувач;
 2 – насос; 3 – біогаз; 4 – ковпак; 5, 6 – випуск газу і шлаку;
 7 – зброджений субстрат; 8 – вода; 9 – шар ізоляції;
 10 – труби для заповнення і випорожнення газгольдера;
 11 – повітря; 12 – зріджений біогаз

6.7 Виробництво електроенергії з використанням біогазової установки

6.7.1 Загальна характеристика КГУ

Технологічна схема біогазової установки може містити когенераційну установку для виробництва електроенергії з біогазу.

Згідно ЗУ 2509-IV від «Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання скидного енергопотенціалу» комбіноване виробництво електричної та теплової енергії (когенерація) - спосіб одночасного виробництва електричної та теплової енергії в межах одного технологічного процесу у результаті спалення палива.

Когенераційна установка (КГУ) - комплекс обладнання, що працює за способом комбінованого виробництва електричної і теплової енергії або перетворює скидний енергетичний потенціал технологічних процесів в електричну та теплову енергію [61]. На рисунку 6.15 показано загальний вигляд КГУ.



а)



б)

Рисунок 6.15 – Зображення КГУ:

а) Відкрите виконання для встановлення в будівлі, наприклад, в існуючій котельні КГУ MWM TCG 3016 V16 S 1000 кВт [71]; б) КГУ Jenbacher Контейнерне виконання у всепогодному шумозахисному кожусі модульного типу для розміщення на території [72]

Приєднання КГУ до тепломереж здійснюється відповідно до Закону України «Про затвердження Правил приєднання когенераційних установок до теплових мереж» [63].



Рисунок 6.16 – Структура енергетичної складової когенераційної установки

Якщо зазначити коротко, то когенерація (Coexistence generation або CHP) – це спільне вироблення теплової і електричної енергії в одній енергетичній установці, що

використовує органічне паливо [62]. На рисунку 6.16 наведено умовне зображення розподілу енергетичних складових когенераційної установки.

Створення когенераційних установок здійснюється за двома напрямками: електрогенеруючим та теплогенеруючим.

На рис. 6.17 зображені схеми реалізації цих підходів на базі використання газових та парових турбін, а також теплообмінного обладнання в пасивному варіанті (без спалювання палива в тракті утилізації) та з спалюванням палива з вертикальним та горизонтальним компонуванням теплообмінних поверхонь.

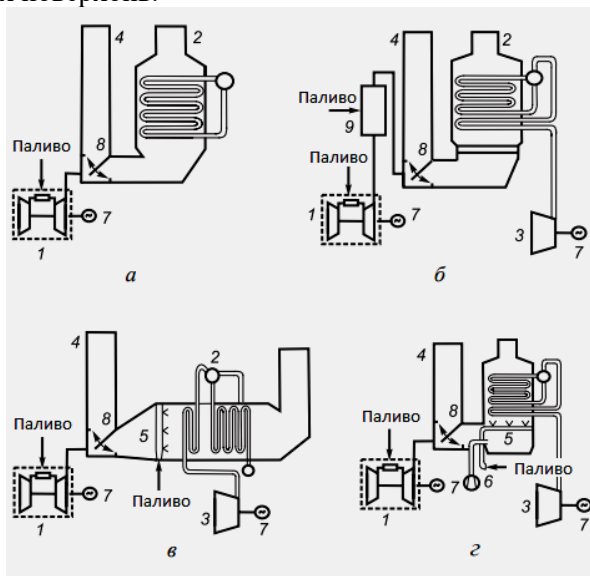


Рисунок 6.17 – Схеми реалізації когенераційних технологій на базі використання парових і газових турбін [64-66]:

а – ГТУ-ТЕЦ з водогрійним (паровим) котлом вертикального компонування; б – ПГУ з котлом-утилізатором вертикального компонування і допалюванням палива; в – ПГУ з котлом-утилізатором горизонтального компонування і допалюванням палива; г – ПГУ з допалюванням палива і наддувом свіжого повітря; 1 – ГТУ; 2 – котлом-утилізатором; 3 – парова турбіна; 4 – скидна свічка; 5 – горілки камери допалювання; 6 – повітродувка; 7 – генератор; 8 – шибер; 9 – підігрівач вихлопних газів ГТУ.

Схема показана на рис. 6.17 а використовується, головним чином, для виробництва гарячої води і насиченої пари в технологічних цілях. У схемі, що показана на рис. 6.17 б використовують зовнішній підігрів потоку вихлопних газів ГТУ (газотурбінна установка), завдяки чому підвищуються параметри пари, в тому числі і за рахунок його перегріву, а в схемах таких КГУ вже можуть бути використані парові турбіни.

На рис. 6.17 в і г представлені схеми з допалюванням палива в котлі в потоці вихлопних газів двигуна і з додатковою подачею свіжого повітря, відповідно [65]. В Україні виробництво КГУ представлено рядом висококваліфікованих фірм з міжнародним виробництвом. КГУ можуть бути як відкритого виконання так і закритого для різних потреб.

На рис. 6.18, 6.19 показано зовнішній вигляд КГУ для різних застосувань та приклад готового комплексу.



а)



б)



в)



2)

Рисунок 6.18 – Газопоршнева когенераційна установка загальної вихідної електричної потужністю 66 кВт і тепловою потужністю 91 кВт (Міні-ТЕЦ) PowerLink [73]: а) загальний вигляд; б) встановлена КГУ в приміщенні; в) контейнерне виконання відкритий вигляд; г) контейнерне виконання на об'єкті, закритий вигляд

На рис. 6.19 зображено Найбільший в Україні та світі біогазовий комплекс із 18 когенераційними установками Jenbacher загальною потужністю 26,1 МВт. Теофіполь, Хмельницька область[72].



Рисунок 6.19 –Біогазовий комплекс

6.7.2 Методи когенерації

Когенераційні електростанції забезпечують одночасне виробництво теплової і електричної енергії. У табл. 6.3 представлені різні методи когенерації і характерне для них співвідношення вироблюваної електричної і теплової енергії.

Важливою характеристикою процесу когенерації є відношення кількості виробленої електроенергії до кількості виробленої теплової енергії. Ця величина менше 1 в тому випадку, якщо установка виробляє менше електричної енергії, ніж теплової. При аналізі установок слід використовувати значення співвідношення електричної і теплової енергії, засновані на фактичних даних.

Таблиця 6.3 – Технології когенерації і характерні для них величини співвідношення електричної і теплової енергії

Технологія когенерації	Характерне співвідношення електричної і теплової енергії
Парогазові установки (газові турбіни у поєднанні з утилізацією тепла, що відходить, і паровою турбіною одного з типів, перерахованих нижче)	0,95
Паротурбінні установки (з протитиском)	0,45
Конденсаційні турбіни з відбором пари (з протипротиводавленням, регульованим або нерегульованим відбором пари)	0,45
Газові турбіни з утилізацією тепла, що відходить	0,55
Двигуни внутрішнього згорання (поршневі двигуни Отто або дизельні двигуни з утилізацією тепла)	0,75
Мікротурбіни	
Двигуни Стірлінга	

Паливні елементи (з утилізацією тепла)
Парові двигуни
Органічний цикл Ренкіна
Інші типи

При виборі технології когенерації і масштабу установки можуть використовуватися дані про динаміку потреб в енергії протягом року.

Газотурбінні системи з утилізацією тепла

У газотурбінних системах з утилізацією тепла теплова енергія виробляється за рахунок енергії гарячих димових газів турбіни в котлі-утилізаторі (рис. 6.20). Як паливо для таких установок, як правило, використовуються природний газ, нафта або поєднання цих видів палива. Крім того, як паливо для газових турбін можуть використовуватися продукти газифікації твердого або рідкого палива.

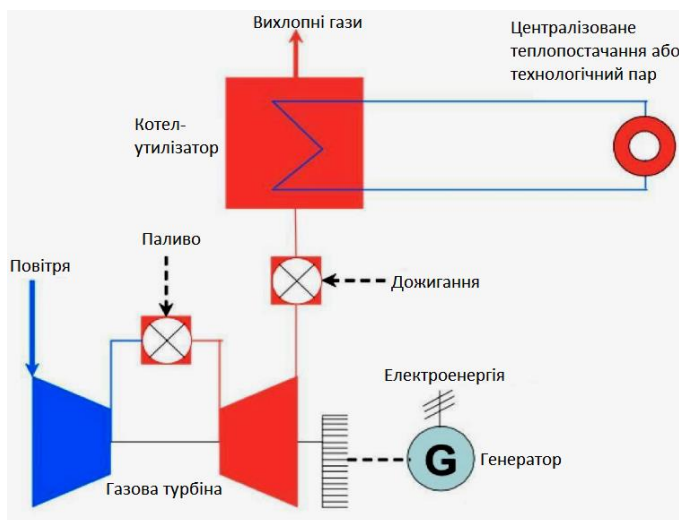


Рисунок 6.20 – Газотурбінна когенераційна установка з утилізацією тепла

Парогазові системи

Парогазова установка (установка комбінованого циклу) складається з однієї або декількох газових турбін, сполучених з однією або декількома паровими турбінами (рис. 6.21). У багатьох випадках такі установки використовуються для комбінованого виробництва теплової та електричної енергії. Тепло вихлопних газів газової турбіни утилізується і використовується для виробництва пари, що приводить в дію парові турбіни. Як правило, тепло, отримане в результаті утилізації, використовується для виробництва додаткової електроенергії, а не для опалювання або нагріву. Перевагами подібних систем є високе відношення електричної до теплової енергії, а також високий ККД. Газифікація твердого палива – один з перспективних напрямів розвитку технологій спалювання – також використовується у поєднанні з парогазовими системами когенерації. Газифікація палива дозволяє значно знизити викиди оксидів сірки та азоту в порівнянні з традиційним спалюванням твердого палива завдяки очищенню газу після газифікації, але до спалювання в турбіні [67,68,70].

Двигуни внутрішнього згорання

При використанні двигунів внутрішнього згорання можлива утилізація тепла змащувального масла, що охолоджує воду, а також вихлопних газів, як показано на рис. 6.22.

У двигунах внутрішнього згорання енергія хімічних зв'язків палива перетворюється в теплову енергію в результаті спалювання. Гази, що утворюються при згоранні, розширюються в циліндрі, приводячи в рух поршень. Механічна енергія руху поршня передається маховику за допомогою колінчастого валу, а потім перетворюється в електроенергію за допомогою генератора змінного струму. Завдяки безпосередньому перетворенню енергії високотемпературного теплового розширення в механічну, а потім електричну енергію, двигуни внутрішнього згорання характеризуються найбільшим тепловим ККД (виробництвом електроенергії на одиницю використаного палива) серед одноступінчатих (первинних) двигунів. Як наслідок, вони відрізняються і найменшими питомими викидами CO_2 на одиницю виробленої енергії.

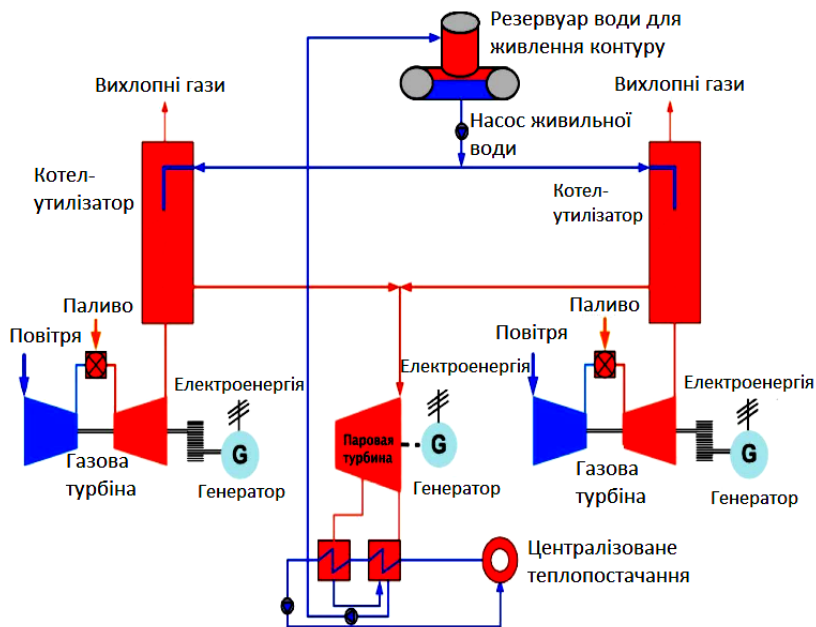


Рисунок 6.21 – Когенераційна парогазова установка

Потужність існуючих установок на основі двотактних двигунів з низькими обертами (<300 об./хв.) може досягати 80 МВт_e . Потужність існуючих чотиритактних систем з середніми обертами ($300 < n < 1500$ об./хв.) досягає 20 МВт_e . Такі установки, як правило, використовуються як базові системи для постійного виробництва енергії. Чотиритактні системи з високими обертами (>1500 об./хв.) мають потужність 3 МВт_e і зазвичай використовуються як пікові джерела електроенергії.

Найбільш поширеними типами двигунів внутрішнього згорання є дизель, двигун з іскровим запаленням і двофазний двигун. Установки внутрішнього згорання можуть використовувати широкий діапазон видів газоподібного і рідкого палива, включаючи природний, попутний, і шахтний гази, газ, біогаз, продукти піролізу, рідке біопаливо, дизельне паливо, сиру нафту, важкий мазут, паливні емульсії і відходи нафтопереробки.

Як правило, стаціонарна ДВЗ-електростанція (тобто, станція, що не є пересувним генератором) складається з декількох енергоблоків, що працюють паралельно. Ряд незалежно працюючих установок у поєднанні з високим ККД в умовах неповного навантаження забезпечують надійність і гнучкість енергопостачання, дозволяючи найкращим чином задовольняти швидкі змінні потреби. Час запуску подібних систем з холодного стану невеликий в порівнянні з аналогічною характеристикою парогазових або парових електростанцій на вугільному, нафтовому або газовому паливі. Запущена система на основі ДВЗ здатна оперативно реагувати на зміни навантаження, при необхідності забезпечуючи швидку стабілізацію параметрів мережі [70].

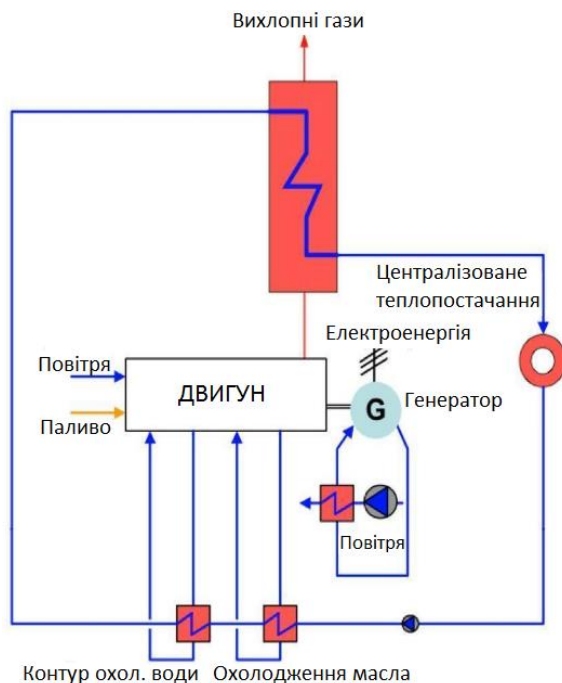


Рисунок 6.22 – Когенераційна установка на основі двигуна внутрішнього згорання

З двигунами внутрішнього згорання можуть використовуватися замкнуті системи водяного охолодження, що робить водоспоживання відповідних електростанцій вкрай низьким.

Компактна конструкція ДВЗ-систем робить їх придатними для організації розподіленого виробництва тепла і електроенергії в безпосередній близькості до кінцевих споживачів в міських і промислових районах. Це дозволяє понизити пов'язані з розподілом втрати в трансформаторах, лініях електропередач і трубопроводах. Типові втрати в розподільних і передавальних мережах при централізованому виробництві електроенергії складають 5–8% виробленої енергії; втрати тепла в муніципальних мережах централізованого тепlopостачання складають близько 10%. Слід мати на увазі, що найбільші втрати мають місце в мережах низької напруги, а також в з'єднаннях на рівні кінцевого споживача. З іншого боку, виробництво електроенергії на великих централізованих електростанціях, як правило, є ефективнішим.

Високий ККД одноступінчатої генерації на основі ДВЗ у поєднанні з відносно високою температурою вихлопних газів і води, що охолоджує, робить цю технологію ідеальним рішенням для когенерації. Як правило, у вихлопних газах міститься близько 30% енергії, що виділяється при спалюванні палива, а в потоках води, що охолоджує, – близько 20%. Енергію вихлопних газів можна утилізувати за допомогою котла-утилізатора або теплообмінника, що використовуються для виробництва пари, гарячої води або гарячого масла. Крім того, гарячі вихлопні гази можуть бути безпосередньо або побічно (за допомогою теплообмінника) використані в різних технологічних процесах, наприклад, для сушки.

Потоки води, що охолоджує, можуть бути розділені на високотемпературний і низькотемпературний контури.

Потенціал утилізації енергії води залежить від мінімальної температури, що відповідає потребам споживача тепла. Потенціал води, що охолоджує, може бути використаний практично повністю в централізованій системі тепlopостачання з низькими температурами повернення. Утилізація тепла, що відводиться при охолодженні двигуна, у поєднанні з котлом-

утилізатором енергії вихлопних газів і економайзером, здатна забезпечити використання (у формі електроенергії і тепла) до 85% енергії рідкого палива і до 90% енергії газоподібного палива.

Теплова енергія може поставлятися кінцевому споживачеві, залежно від його потреб, у формі пари (аж до перегрітої пари з тиском до 20 бар), гарячої води або гарячого масла. Тепло може також використовуватися в процесі абсорбції охолодження для виробництва охолодженої води.

Можливо також використання теплових насосів абсорбції для підвищення температури води низькотемпературного контура, що охолоджує, до більш високого рівня, що дозволяє використовувати цю воду в системах централізованого теплопостачання з високою температурою повернення.

Для компенсації короткострокових розузгоджень між графіком потреб в електроенергії і теплі/холоді можуть використовуватися акумулятори гарячої і холодної води.

Типовий ККД (по відношенню до енергії палива) при використанні двигунів внутрішнього згорання для виробництва електроенергії знаходиться в діапазоні 40–48%; у схемах когенерації з ефективною утилізацією тепла ККД може досягати 85 – 90%. У схемах тригенерації необхідна гнучкість може бути досягнута за рахунок підтримки запасів гарячої і охолодженої води, а також резервних (пікових) потужностей – компресорних холодильних установок, що працюють за рахунок безпосереднього спалювання палива резервних водогрійних котлів.

Використання когенерації пов'язане із значними економічними і екологічними перевагами. Когенераційні установки комбінованого циклу забезпечують максимально ефективне використання енергії палива за рахунок одночасного виробництва електричної і теплової енергії з мінімальними втратами. Подібні установки забезпечують ефективність використання енергії палива (ККД) до 80–90 %, тоді як для традиційних конденсаційних ТЕС (теплоелектростанцій) аналогічна величина знаходиться в діапазоні 35–45 %, а для

електростанцій комбінованого циклу (без когенерації) вона не перевищує 58 %.

Застосування когенерації

Принципове рішення про використання когенерації і вибір конкретного методу визначаються рядом факторів; навіть підприємства з аналогічними потребами в енергії не можуть вважатися абсолютно однаковими в цьому відношенні. У багатьох випадках принципове рішення про впровадження когенерації визначається наступними чинниками:

- принциповою є наявність достатніх потреб в теплі, що відповідають можливостям когенерації з погляду кількості, температури і т.п.;

- наявність у підприємства базисного навантаження, тобто рівня, нижче за яке споживання електроенергії опускається рідко;

- схожий характер графіків потреб в тепловій і електричній енергії;

- співвідношення цін на паливо і тарифів на електроенергію, що забезпечує економічну ефективність когенерації;

- високий очікуваний рівень завантаження (бажано більше 4 тис. години роботи при повному навантаженні в рік).

В цілому, застосування когенерації виправдане на тих підприємствах, де є значні потреби в теплі при температурах, відповідних низькому або середньому тиску пари.

При оцінці потенціалу виробництва з погляду когенерації важливо переконатися в тому, що немає підстав чекати істотного скорочення потреб в теплі. Інакше експлуатація системи, розрахованої на виробництво надмірного тепла, виявиться неефективною.

Вибір типу когенераційної системи [69,67].

У когенераційних системах максимізація співвідношення електричної і теплової енергії вимагає мінімізації рівня протитиску і максимізації рівня високого тиску.

Використання газових турбін може бути доцільне при виконанні наступних умов:

- передбачається довести до максимуму відношення електричної енергії, що виробляється, до теплової;
- доступність природного газу (проте його відсутність не є лімітуючим чинником);
- існує значна потреба в парі середнього/високого тиску або в гарячій воді, зокрема, з температурою, що перевищує 500°C;
- наявність застосування для гарячих димових газів з температурою 450°C або вище – гази можуть розбавлятися холодним атмосферним повітрям або пропускатися через газо-повітряний теплообмінник.

Використання когенераційних систем на основі двигунів внутрішнього згорання може бути доцільне на підприємствах, де виконуються наступні умови:

- потреба в енергії носить циклічний характер або не є постійною;
- існує потреба в парі низького тиску або гарячій воді середньої/низької температури;
- потрібне високе значення співвідношення електричної і теплової енергії;
- якщо доступний природний газ, переважним є використання двигунів внутрішнього згорання на цьому виді палива;
- якщо природний газ недоступний, можуть використовуватися дизельні двигуни на мазуті або зрідженому нафтовому газі;
- при електричному навантаженні менше 1 МВт_е – іскрове запалення (доступні системи потужністю від 0,003 до 10 МВт_е);
- при електричному навантаженні більше 1 МВт_е – займання від стиснення (доступні системи потужністю від 3 до 20 МВт_е).

6.7.3 Тригенераційні системи

Окрім використання біогазу для виробництва електроенергії та тепла за допомогою КГУ, розглядається також застосування поняття тригенерації. Якщо когенерація – це виробництво двох видів енергії, тепла і електричної енергії, то

тригенерація – це виробництва тепла, холоду та електричної енергії (рис. 6.23).

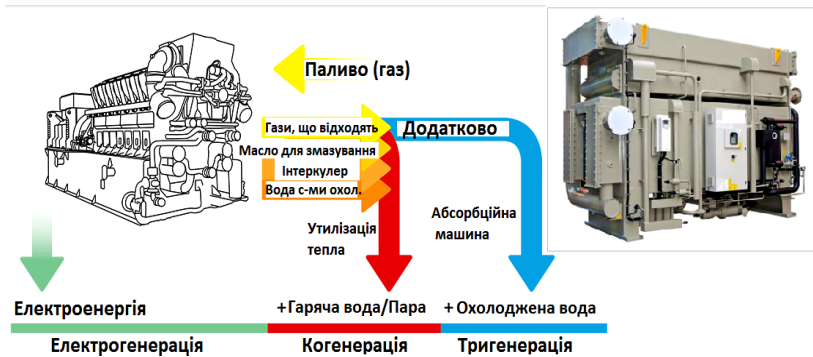


Рисунок 6.23 – Схема тригенерації в літньому режимі

Системи комбінованого виробництва охолодження, тепла і електроенергії (СШНР), також звані тригенераційними системами, є сумішшю комбінованих станцій і абсорбційних холодильних установок (рис. 6.24) [76].

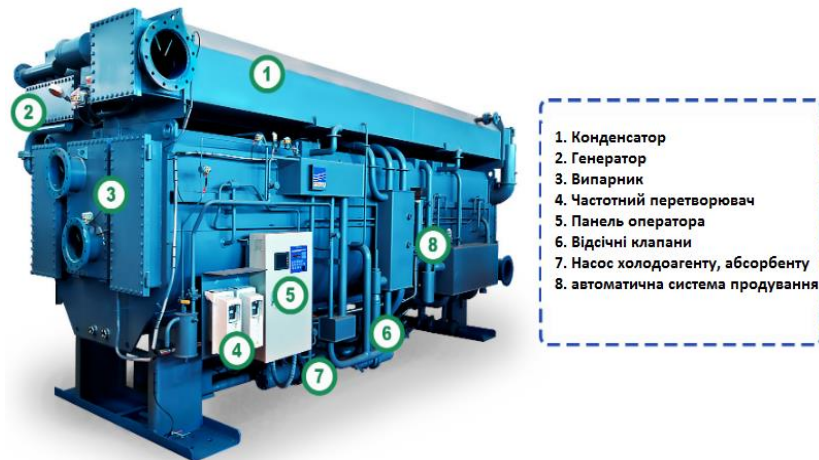


Рисунок 6.24 – Схема АБХМ [74]

Об'єднання когенераційної установки з абсорбційною холодильною системою (рис. 6.25) дозволяє використовувати потужності міні – ТЕЦ ефективніше.

Адже для охолодження використовується надлишок тепла, коли в літній період немає необхідності в опаленні. Гаряча вода, отримана при охолодженні установки, служить рушійною енергією для абсорбційного охолоджувача.

Вихлопні гази двигуна використовуються для виробництва пари, який стає джерелом енергії для пароохолоджувача подвійної дії. В результаті, до 80% теплової потужності ТЕЦ може використовуватися для охолодження води.

Холод виробляється при доповненні когенераційної установки абсорбуючим охолоджуючим агрегатом, який дозволяє перетворити тепло від когенерації на холод [75].

У порівнянні зі звичайними холодильними технологіями, абсорбційні системи для кондиціонування повітря набагато ефективніше і виробляють набагато менше викидів NOx. При роботі з теплом тригенерація використовує відносно недорогу «надлишкову енергію».

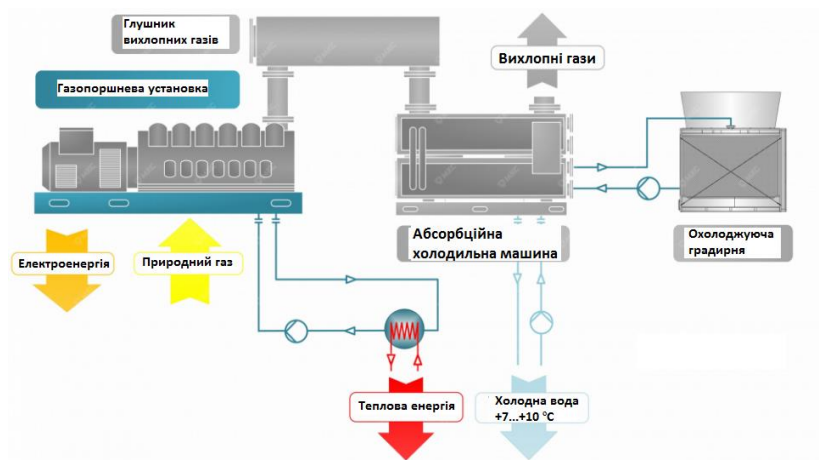


Рисунок 6.25 – Спрощена технологічно схема тригенерації (з'єднання газопоршневої установки з абсорбційною холодильною машиною)

Вироблена електроенергія може бути подана в громадську мережу або використана для покриття власних потреб станції. У холодну пору року тепло можна використовувати для покриття потреб в опаленні. Використання води в якості холодоагенту позбавляє від необхідності використовувати озоноруйнівні речовини.

Є різні типи АБХМ (абсорбційних холодильних машин), як то: АБХМ на вихлопних газах і гарячій воді, на гарячій воді, на енергії прямого горіння, на енергії пару/гарячої води, на пару та ін.

Можливість працювати на різних джерелах тепла (гаряча вода, водяна пара, газ, що йдуть від генераторних установок, котлів і печей, а також паливо (природний газ, дизельне паливо тощо)) дозволяє використовувати АБХМ на абсолютно різних об'єктах, задіявши саме той ресурс, який є у розпорядженні підприємства.

При виборі основного обладнання слід виходити із необхідності покриття розрахункового холодильного навантаження, доцільності забезпечення всього електричного навантаження, можливості цілорічного використання пропонованого для встановлення обладнання [77].

Холод може бути використаний на технологічне охолодження, на СКП (систему кондиціонування повітря) адміністративного блоку підприємства та інші виробничі і невиробничі потреби [78].

6.8 Перспективи розвитку біоенергетики в Україні

Для України біоенергетика є одним із стратегічних напрямків розвитку сектору відновлюваних джерел енергії, враховуючи високу залежність країни від імпортованих енергоносіїв, в першу чергу, природного газу, і великий потенціал біомаси, доступної для виробництва енергії.

Нажаль, темпи розвитку біоенергетики в Україні досі істотно відстають від європейських. Згідно з Національного

плану дій з розвитку відновлюваної енергетики на період до 2030 року, потужність біогенерації має зрости до 1,5 ГВт (зараз 244 МВт).

Основними напрямками реалізації енергетичного потенціалу біомаси та біогазу в Україні є виробництво теплової та електричної енергії. Відповідні концепції розвитку енергогенерації на біомасі/біогазі до 2030 р. були розроблені Біоенергетичною асоціацією України.

При існуючих цінах на викопні палива (у першу чергу, природний газ), теплову енергію та на біомасу впровадження котлів на біопаливі для виробництва теплової енергії є економічно доцільним і може рекомендуватися для об'єктів теплоенергетики в промисловому і бюджетному секторах.

Реалізація таких проектів у житлово-комунальному господарстві перебуває сьогодні на межі рентабельності. Термін окупності проектів із впровадження котлів на деревині та соломі становить 2-3 роки для промислового та бюджетного секторів і 8-10 років – для ЖКГ.

До 2030 р. біомаса може замінити біля 7,5 млрд. м³ /рік природного газу для виробництва теплової енергії в Україні. Одним із ключових положень концепції є поступове збільшення частки потужностей ТЕЦ на біомасі та твердих побутових відходах.

Для 2030 року оптимальним видається такий розподіл теплових потужностей: ТЕЦ на біомасі – 25%, ТЕЦ на ТПВ – 10%, котельні та побутові котли – 65%.

У секторі електроенергії потужність об'єктів на біомасі може скласти більше 2100 МВт до 2030 року. Прогнозується, що в структурі електричної потужності значні частки будуть припадати на ТЕЦ на біомасі, когенераційні установки на біогазі і електрогенерацію шляхом спільного спалювання біомаси з вугіллям на існуючих вугільних електростанціях.

Європейський досвід свідчить: енергія, вироблена з біомаси та інших відновлювальних джерел, відіграє все більш провідну роль у загальному енергетичному балансі.

Згідно зі сценарієм розробленим NGFS за допомогою групи відомих академічних дослідницьких установ розробила 6

кліматичних сценаріїв, один з яких Net Zero 2050. Чистий нуль 2050 – це амбітний сценарій, який обмежує глобальне потепління до 1,5 °C завдяки суворій кліматичній політиці та інноваціям, досягаючи чистого нуля викидів CO₂ приблизно до 2050 року. Деякі юрисдикції, такі як США, ЄС і Японія, досягають чистого нуля для всіх парникових газів до цього моменту [80].

Згідно звіту International Energy Agency Сучасна біоенергетика є найбільшим джерелом відновлюваної енергії у світі, на яку припадає 55% відновлюваної енергії та понад 6% світового енергопостачання. Сценарій чистих нульових викидів до 2050 року передбачає швидке зростання використання біоенергії для витіснення викопного палива до 2030 року. Використання сучасної біоенергії зросло в середньому приблизно на 7% на рік між 2010 і 2021 роками та має тенденцію до зростання. Багато юрисдикцій роблять кроки, які свідчать про те, що вони бачать значну довгострокову роль біоенергетики в енергетичному переході. До них належать:

Понад 80 країн наразі мають політику підтримки рідкого біопалива.

Низка країн, зокрема Канада , Китай , Литва та Сполучені Штати , з 2021 року оголосили, що інвестують значні кошти в дослідження та впровадження біопалива.

Крім того, у серпні 2022 року Сполучені Штати прийняли Закон про зниження інфляції , який передбачає розширену та нову політику підтримки біопалива, зокрема сучасного біопалива та екологічно чистого авіаційного палива.

У 2021 році Індія оновила свою політику спільного спалювання біомаси, зосередившись на утилізації сільськогосподарських відходів і з метою зменшення забруднення повітря в сільській місцевості.

З 2021 року Бразилія, Швеція та Велика Британія запровадили політику подальшого розвитку біопалива у своїх економіках [81].

Щоб відповідати цілям щодо відновлюваних джерел енергії або мати право на субсидії з боку країн ЄС, відновлювана енергія, отримана з біомаси, повинна відповідати

критеріям сталості. Перероблена Директива про відновлювані джерела енергії 2018/2001 розширює критерії стійкості, щоб охопити також великомасштабну біомасу для виробництва тепла та електроенергії, на додаток до біопалива та біопалива для транспорту. Вона також додає нові критерії для

- сільськогосподарських відходів та залишків, вимагаючи доказів захисту якості ґрунту та вуглецю в ґрунті, а для сільськогосподарської біомаси, вимагаючи доказів того, що сировина не походить із лісів із високим біологічним різноманіттям

- лісової біомаси, вимагаючи від генераторів біоенергії продемонструвати, що в країні походження діють закони: а) уникнення ризику нестабільної заготівлі та б) облік викидів від заготівлі лісу. Якщо такі докази не можуть бути надані, виробники біоенергії повинні продемонструвати відповідність екологічності на рівні джерела біомаси.

- нові біопаливні заводи повинні забезпечувати принаймні на 65% менше прямих викидів парникових газів (ПГ), ніж альтернативне викопне паливо. Нові теплоелектростанції, що працюють на біомасі, повинні забезпечувати принаймні на 70% (80% у 2026 році) менше викидів парникових газів, ніж альтернативне використання викопного палива.

- біоелектрика, вимагаючи, щоб великі установки (понад 50 МВт) застосовували високоефективну когенераційну технологію, або застосовували найкращі доступні технології (ВАН), або досягали ефективності 36% (для установок понад 100 МВт), або використовували технологію уловлювання та зберігання вуглецю [82].

Враховуючи потенційні можливості України щодо кількості сировини для виготовлення біомаси, наша держава має усі шанси обійняти лідируючі позиції в галузі біоенергетики.

В Україні існує ряд бар'єрів для успішного розвитку сектору біоенергетики. До них можна віднести недосконалість існуючого законодавства за «зеленим» тарифом, недостатня увага діючої Енергетичної стратегії до можливостей сектору, недолік дієвих механізмів стимулювання відновлювальної енергетики та інші.

Біоенергетична асоціація України розробила комплекс заходів, спрямованих на подолання цих бар'єрів і активне залучення біомаси в енергетичний баланс країни.

Реалізація цих заходів зробить істотний внесок у зміцнення енергетичної незалежності України.

Біопаливо, органічні матеріали, такі як деревина, відходи та спирти, що використовуються для виробництва енергії. Офіційне визначення біопалива – будь-яке паливо мінімум з 80 % вмістом (за об'ємом) матеріалів, отриманих від живих організмів, зібраних в межах десяти років перед виробництвом.

6.9 Біоенергетика та довкілля

Використання біодизельного палива не дає гарантії зменшення викидів в атмосферу токсичних і парникових газів.

Викиди від згоряння біопалива, виготовленого з кукурудзи або насіння ріпаку, є більш руйнівними для атмосфери планети, ніж викиди від згоряння аналогічної кількості природного газу, але менш руйнівними ніж спалювання вугілля і нафти.

Однак основний негатив від використання поживних решток на біопаливо лежить в екологічній площині, оскільки це призводить до деградації земель та зменшення їх родючості.

Родючість – це здатність ґрунту задовольняти потреби рослин в елементах живлення, воді, повітрі й теплі в достатніх кількостях для їхнього нормального розвитку, що в сукупності є основним показником якості ґрунту.

Позитивним є аспект використання БГУ в системах когенерації та тригенерації, що дозволить запобігти викидам в атмосферу від вугільних станцій та дасть змогу максимально ефективно використовувати сировину, враховуючи здатність її відновлення.



Запитання для самоконтролю

1. На чому заснована біоенергетика?
2. Найважливіший шлях економії паливно-енергетичних ресурсів це...
3. Яка користь від використання вторинних ресурсів?
4. Біомаса – це...
5. До поширених видів біомаси, які використовують в Україні відносяться...
6. Скільки можна отримати соломи на кожен тону зерна?
7. Які енергетичні культури використовують для виробництва твердого біопалива?
8. Які види палива відносяться до рідкого біопалива?
9. Які види палива відносяться до твердого біопалива?
10. Біопаливо другого покоління це...
11. Біопаливо третього покоління це...
12. Технологія виробництва деревних паливних гранул.
13. Технологія виготовлення паливних брикетів.
14. Технологія виробництва деревного вугілля.
15. Технологія виробництва тріски.
16. Технологія торрефікації деревини.
17. Технологія виробництва етилового спирту.
18. Технології отримання біодизельного палива.
19. Технологія виробництва біогазу.
20. Які перспективи розвитку біоенергетики в Україні?
21. Що таке конегерация установка?
22. Що таке тригенерація?

Розділ 7

ВОДНЕВА ТА ТЕРМОЯДЕРНА ЕНЕРГЕТИКА



Воднева енергетика

Воднева енергетика в Україні

Сучасні методи виробництва водню

Інфраструктура водневої енергетики

Економічні аспекти водневої енергетики

Термоядерна енергетика

Суть термоядерної енергетики

Термоядерний синтез. Термоядерні реактори

Аналіз сучасних досягнень майбутнього термоядерної енергетики

В Україні дослідження водневих технологій знаходяться в початковій стадії незважаючи на значну кількість наукових установ, які займаються цією проблемою.

Для успішному розвитку технологій використання водню Україна могла б раціонально використати свою ресурсну базу – значні поклади цирконієвих руд, рідкоземельних елементів та промисловість з їхньої переробки для організації виробництва паливних елементів та інших складових водневих систем.

7.1 Воднева енергетика

Воднева енергетика – це напрям вироблення та споживання енергії людиною, який базується на використанні водню як засобу для акумулювання, транспортування та вживання енергії населенням, транспортом та різними виробничими напрямками.

Використання водню як палива позитивно вплине на складові довкілля та економічне зростання енергетичного потенціалу України в цілому.

7.1.1 Основи водневої енергетики

Термін «воднева енергетика» був запропонований Джоном Бокрісом під час лекції, яку він прочитав у 1970 році в Технічному центрі General Motors (GM).

Водень – це енергоносіє (як, наприклад, електрика), а не основне джерело енергії (як, наприклад, вугілля, нафта).

Цей енергоносіє допоможе поліпшити енергетичну безпеку (тобто незалежність від країн-постачальників), тому що його можна отримувати із багатьох первинних джерел енергії, зокрема і відновлюваних. Таким чином, водень може стати повноцінною альтернативою нафті.

Водень можна отримувати використовуючи найрізноманітніші природні ресурси: газ, вугілля, органічні відходи, біопаливо, відходи сільського господарства.

Основна частина водню, що виробляється промисловістю, добувається з природного газу, але передбачається збільшення ролі інших джерел. Для отримання водню можна використовувати різноманітні джерела енергії: викопні копалини, ядерну енергію та відновлювані технології, такі як сонячна, вітрова, гідро-, біо-, та геотермальна енергії.

Завдячуючи такому різноманіттю ресурсів та технологій, водень можна буде виробляти у всіх регіонах країни.

Сьогодні із понад 50 млн тон водню, що виробляється, половина отримується шляхом конверсії водяної пари із природним газом (48%).

Також водень добувають із нафти (30%), вугілля (18%) та води (4%). У сучасній вуглеводневій енергетиці транспорту-

вання живиться насамперед нафтою. Запас економічно вигідних вуглеводневих ресурсів у світі обмежений, а попит на вуглеводневе паливо зростає, особливо в Китаї, Індії та інших країнах, що розвиваються.

Прихильники майбутнього впровадження водневої енергетики у світових масштабах стверджують, що водень може бути екологічно чистішим джерелом енергії для кінцевих споживачів, особливо у транспортній галузі, в місці кінцевого використання викидів забруднюючих речовин та твердих часток або діоксиду вуглецю не буде.

Водень має високу щільність енергії за вагою. Цикл Отто в двигуні внутрішнього згоряння, що працює на водні, має максимальний ККД близько 38%, що на 8% вище, ніж у двигуні внутрішнього згоряння на бензині.

Однією з основних властивостей водневої енергетики є те, що у пересувних конструкціях (в основному в автомобільному транспорті) виробництво і використання енергії відбувається окремо.

Якщо не брати до уваги виробництво необхідної енергії, виробництво водню може бути як централізованим, так і розгалуженим, або тим і іншим одночасно.

Виробництво водню на заводах, що використовують первинну енергію, обіцяє бути високоефективним, але у той же час труднощі, пов'язані з транспортуванням великих об'ємів водню (у зв'язку з дифузією водню крізь тверді матеріали та подальшим їхнім скрученням) роблять вигіднішим для водневої енергетики транспортування електричної енергії. За такої системи невеликі місцеві заводи чи навіть заправні станції можуть виробляти водень, використовуючи енергію, надану розгалуженою електромережею.

Хоча ефективність централізованого виробництва водню, ймовірно, вища, витрати енергії на транспортування водню роблять таку систему врешті-решт менш ефективною за розгалужену, якщо розрахувати витрати енергії на виробництво і надання кінцевому користувачу одного кілограму водню.

В майбутньому у водневій енергетиці сировина та первинні джерела енергії будуть використовуватися для одержання водню як резерву енергії для різних секторів економіки.

Виробництво водню з первинних джерел енергії, крім вугілля, нафти і природного газу, призведе до скорочення викидів парникових газів, які утворюються при горінні цих викопних енергоресурсів.

7.1.2 Воднева енергетика в Україні

Перевагою водневої енергетики для України могла б стати можливість значного зменшення енергетичної залежності країни за рахунок перетворення існуючих власних енергетичних ресурсів (вугілля, торфу, сланців, біомаси, промислових та сільськогосподарських відходів тощо) у водень з його подальшим використанням для задоволення енергетичних потреб країни.

Перспективним для України є спосіб одержання водню шляхом газифікації вугілля, запасів якого в Україні достатньо. Продукт газифікації (водень) може використовуватися в паливних елементах для виробництва електричної і теплової енергії на електростанціях як для децентралізованого, так і централізованого енергопостачання.

Широкі можливості для перетворення вугілля безпосередньо в надрах у горючий газ, який містить водень, має підземна газифікація вугілля. В Україні існує також можливість одержання водню як побічного продукту при хімічних, коксовімічних та нафтопереробних виробництвах, використання для одержання водню сквидних газів чи різних органічних сполук.

Дуже перспективним є метод отримання водню із води Чорного моря. Кількість сірководню, розчиненого у воді, оцінюється у 4,5 млрд тон.

У 2009 році було засновано Об'єднання «Воднева Енергетика», з метою розповсюдження водневих технологій та сприяння розвитку водневої енергетики в Україні.

Надзвичайно перспективним шляхом отримання горючих газів з великим вмістом водню, а значить можливості одержання великої кількості енергії є спалювання рідкого палива типу

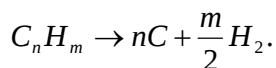
дизельного чи пічного палива світлого із додаванням перегрітого водяного пару (в пропорції мінімум 1 частина води і одна частина паливо). Що було продемонстровано на прикладі генераторів тепла потужністю 1 МВт відомого російського ученого і винахідника Аракеляна. В Україні подібна установка прототип потужністю 250 КВт була створена дослідницькою лабораторією GverLab (gver.tk) в 2014 році і на даний момент проводяться роботи по тестуванню більш потужного і більш економного пального пристрою 1МВт, на який отримали патент на корисну модель.

7.1.3 Сучасні методи виробництва водню

На Землі у звичайних природних умовах молекулярний водень майже не зустрічається. Більшість водню на Землі зв'язана з киснем у воді. Виробництво елементарного водню вимагає переробки носія водню, наприклад, викопного палива і води. Розкладання води вимагає витрат електроенергії або тепла, одержаного з будь-якого первинного джерела енергії (спалення викопного палива, атомної енергії або відновлюваних джерел енергії).

В промисловості водень виробляється через перетворення пари, з використанням викопних видів палива, наприклад, природного газу, нафти чи вугілля. Енергоємність виробленого водню менше, ніж енергія, що міститься у вихідному паливі, але завдяки високому ККД паливних елементів вона може бути використана повніше, ніж при безпосередньому використанні вихідного палива. Розглянемо декілька методів одержання водню.

Кварнер-процес або кварнер сажі та водню (C_v & H) – це метод, розроблений в 1980-х роках однойменною норвезькою компанією для виробництва водню з вуглеводнів, наприклад, з метану, природного газу і біогазу. Ендотермічна реакції розділяє вуглеводні на вуглець і водень в плазмовій пальнику при температурі близько 1600 ° С.



Розподіл енергії у речовині під час процесу приблизно такий: близько 48% енергії міститься в атомі водню, 40% – у вуглеці та 10% – у перегрітій парі.

Електроліз води. Водень може вироблятися електролізом за високого тиску або електролізом води за низького тиску. У сучасних ринкових умовах 50 кВт/год електроенергії, витраченої на виробництво одного кілограма стисненого водню, коштують приблизно стільки ж, скільки водень, вироблений за 8 центів/кВт. Так чи інакше, головним завданням водневої енергетики є отримання водню з інших джерел, тож в майбутньому планується не використовувати викопне паливо як сировину.

Електроліз за високого тиску – це електроліз води, при якому вода (H_2O) розкладається на кисень (O_2) і водень (H_2), внаслідок пропускання електричного струму через воду. Різниця між таким електролізером і звичайним, полягає у тому, що водень виводиться під тиском близько 120-200 бар.

При стисканні водню в електролізаторі потреба у зовнішньому компресорі водню зникає, середнє споживання енергії внутрішнім компресором становить близько 3%.

Фотоелектрохімічне розщеплення води. Найчистішим способом отримання водню є той, що базується на використанні електроенергії, виробленої фотоелектричними системами. Вода розкладається на водень і кисень шляхом електролізу – фотоелектрохімічного (PEC) процесу, який також називають штучним фотосинтезом. У фотоелектричній промисловості ведуться наукові дослідження, спрямовані на розвиток високоєфективної технології мультиперехідних елементів.

Для розкладання води на кисень і водень необхідні дуже високі температури. Щоб процес протікав за нижчих температур, необхідний каталізатор. Нагрівання води може відбуватись за рахунок концентрації сонячної енергії. Hydrosol-2 – це 100 кіловатний експериментальний завод на Plataforma Solar de Almería в Іспанії, який нагріває воду до необхідних 800-1200 °C за допомогою сонячного світла.

Hydrosol II введений в експлуатацію з 2008 року. Розробка цього 100 кіловатного експериментального заводу базується на

модульній концепції. Отже, цілком можливо, що діапазон дії цієї технології буде розширений до мегават шляхом збільшення кількості реакторних блоків і з'єднання заводу з геліостатними полями (поля дзеркал, що автоматично орієнтуються на сонце) відповідного розміру.

Фотоелектрокаталітичне виробництво. Метод, вивчений Томасом Нанном і його командою в Університеті Східної Англії, складається з золотого електрода, вкритого шарами наночасток фосфіду індію (InP). Вони ввели залізо-сірчаний комплекс в шари покриття, внаслідок чого після занурення у воду і опромінення світлом під невеликим електричним струмом, вироблявся водень з ККД 60%

Термохімічне виробництво – майбутнього. Є більш ніж 352 термохімічних цикла, які можуть використовуватись для розкладання води. Близько десятка з них (наприклад, цикл оксиду заліза, цикл церій (IV) - церій(III) оксид, цикл цинк – цинк-оксид, сульфур-йодний цикл, мідно-хлорний і гібридний сульфурний цикл) зараз досліджуються і знаходяться на фазі випробування з метою одержання водню і кисню з води за допомогою теплової енергії та без використання електрики. Ці процеси можуть бути ефективнішими, ніж електроліз за високих температур, діапазоні ефективності від 35% – 49% LHV.

Термохімічне виробництво водню з використанням хімічної енергії вугілля або природного газу, як правило, не розглядається, бо безпосередньо хімічний спосіб є ефективнішим.

Жоден з термохімічних процесів виробництва водню не був використаний на промисловому рівні, хоча деякі з них були продемонстровані в лабораторії.

Біологічне виробництво. Ферментативне виробництво водню – це ферментативне перетворення органічного субстрату в біоводень, що здійснюється групою бактерій за допомогою мультиферментативних систем в три кроки, аналогічно до анаеробного перетворення. Темнова ферментація не потребує світлової енергії, тому можливе неперервне виробництво водню з органічних сполук - вдень і вночі.

Фотоферментація відрізняється від темної ферментації тим, що вона протікає лише за наявності світла. Наприклад, фотоферментація з *Rhodobacter sphaeroides* SH₂C може бути використана для перетворення нижчих жирних кислот у водень.

Електрогідрогенезис використовується в мікробних паливних елементах, де водень виробляється з органічних речовин (наприклад, зі стічних вод або твердих речовин) при напрузі 0,2-0,8В. Біоводень може вироблятися у біореакторі, що містить водорості. Наприкінці 1990-х років було виявлено, що якщо з водоростей вилучити сірку, вони вироблятимуть водень замість кисню, як під час звичайного фотосинтезу.

Біоводень також може вироблятися в біореакторах, які використовують іншу сировину, найчастіше цією сировиною є відходи. Цей процес здійснюється бактеріями, що поглинають вуглеводні та виділяють водень і вуглекислий газ. Є кілька способів подальшого ізолювання CO₂, в результаті чого залишається лише водень. Прототип водневого біореактору на відходах введено в експлуатацію на заводі виноградних соків Уелч у штаті Пенсільванія.

7.1.4 Інфраструктура водневої енергетики

Структура постачання водню містить у собі промислові трубопровідні системи, призначені для транспортування водню, і водневі заправні станції, як, наприклад, ті, що знаходяться на так званому «водневому шосе» (шосе, вздовж яких розміщується низка водневих заправок).

У водневих заправках, які не розташовані поруч з водневою трубопровідною системою, постачання водню здійснюється через доставку цистерн із стисненим або зрідженим воднем вантажівками, або ведеться виробництво водню на місці.

В майбутньому у водневій енергетиці сировина та первинні джерела енергії будуть використовуватися для одержання водню як резерву енергії для різних секторів економіки. Виробництво водню з первинних джерел енергії, крім вугілля, нафти і природного газу, призведе до скорочення викидів парникових газів, які утворюються при горінні цих викопних енергоресурсів. Однією з основних властивостей водневої

енергетики є те, що у пересувних конструкціях (в основному в автомобільному транспорті) виробництво і використання енергії відбувається окремо.

Дотримання балансу між транспортуванням водню та передачею електроенергії на далекі відстані є надзвичайно важливим для водневої енергетики.

Але знову ж таки, можна уникнути складного вибору джерел виробництва і способу транспортування водню, якщо водень буде автономно вироблятися в місцях використання (в будинках, на промислових об'єктах, або на заправних станціях) з відновлюваних джерел.

Теоретично, транспортування водню трубопроводами можна уникнути при розгалуженій системі виробництва водню, у якій водень вироблятиметься на місці за допомогою генераторів середніх і малих розмірів, які будуть виробляти достатньо водню для особистого користування, або, можливо, для постачання сусіднім користувачам. Врешті-решт, найвдалішим може виявитися поєднання кількох варіантів транспортування і розповсюдження водню.

Мільйони тонн водню щороку розповсюджуються у всьому світу різними способами, але постачання водню окремим споживачам вимагатиме еволюції паливної інфраструктури.

7.1.5 Водень в якості автомобільного палива

Завдяки водневій енергетиці новий вид палива прийде на зміну викопному паливу, яке спалюється у двигунах внутрішнього згоряння і турбінах як основний метод перетворення хімічної енергії в кінетичну або електричну енергію, таким чином викиди парникових газів і забруднення навколишнього середовища, спричинені такими двигунами, припиняться.

Необхідно розрізняти так званий водень «технічного класу» (чистотою від 99,999%), який підходить для використання у паливних елементах, та водень «промислового класу», який містить вуглецеві та сульфурні домішки, але може вироблятися значно дешевшим способом – методом парового перетворення. Для живлення паливних елементів необхідний водень високої чистоти, адже домішки швидко виведуть його з ладу.

На рис.7.1. зображений автобус Mercedes Benz Citaro на водневих паливних елементах у Лондоні.



Рисунок 7.1– Автобус Mercedes Benz Citaro на водневих паливних елементах

Всебічне вивчення перспектив впровадження водневих технологій у транспортну галузь показало, що «на шляху розвитку водневої енергетики до відповідного рівня багато перешкод, цей шлях не буде простим і очевидним». Кілька внутрішніх автомобільних компаній США виділили ресурси на розробку автомобілів на водневому паливі. Дескрибція водню для транспорту наразі випробовується в усьому світі, зокрема в США, Німеччини, Японії, Ісландії, Португалії, Норвегії, Данії, Канаді тощо. Ісландія зобов'язалась стати першою у світі країною, що повністю забезпечить свої енергетичні потреби за допомогою водневої енергетики до 2050 року. Ісландія в унікальному положенні. Сьогодні вона імпортує всі нафтопродукти, необхідні для живлення автомобілів і риболовецького флоту.

Рейк'явік (Ісландія) має невеликий експериментальний автобусний парк, в якому міські автобуси працювали на стиснутому водні, а розробка проектів живлення національного риболовецького флоту воднем продовжується і зараз.

Експериментальний проект, що демонструє можливості водневої енергетики, працює на норвезькому острові Утсіра. Споруда виробляє енергію вітру і водневе паливо.

У періоди, коли виробляється надмірна енергія вітру, ця надлишкова енергія використовується для одержання водню шляхом електролізу. Водень накопичується, щоб бути використаним для вироблення електроенергії в періоди, коли вітер слабкий.

Подібне поєднання енергії вітру і водневої енергетики діє в штаті Колорадо на спільному підприємстві NREL і Xcel Energy.

Компанія Newfoundland and Labrador Hydro перетворює сучасні вітро-дизельні енергосистеми на ізольованому острові Рамеа у воднево-вітрові гібридні енергосистеми.

Аналогічний експериментальний проект на острові Стюарт використовує сонячну енергію замість енергії вітру для вироблення електроенергії. Якщо виробляється надлишкова електроенергія після повної зарядки акумуляторів, починає вироблятися водень шляхом електролізу, який зберігається для подальшого виробництва електроенергії паливними елементами.

7.1.6 Водневі технології

Водневе виробництво спирту

Енергетика метанолу – це проект виробництва синтетичного палива, який може починатись виробництвом водню. Джерелом CO_2 в такому проекті повинне буде повітря, біомаса, або викиди CO_2 в повітря з електростанцій, які не мають очисних споруд. Проміжне використання водню з метою виробництва палива, яке легше транспортується і зберігається (наприклад, спирт або метан), з введенням CO_2 , може однак розглядатися як штучний аналог використання біомаси, біодизеля і рослинної олії.

Спирт, вироблений за допомогою водню, при використанні буде способом отримання носія енергії з водню та CO_2 . Паливо, буде використане для задоволення потреб транспорту так само, як планувалось використовувати біоетанол.

Замість того, щоб транспортуватись з місця вироблення, водень в таких проектах буде використаний централізовано й одразу ж для виробництва рідкого палива, яке зможе бути впроваджено в сучасну транспортну інфраструктуру, не вимагаючи майже ніяких її змін.

Виробництво штучного метану за допомогою водню

Аналогічно до виробництва синтетичного спирту, водень можна використовувати для безпосереднього (небіологічного) виробництва газоподібного палива.

Водень і двоокис вуглецю може використовуватись на місці для синтезу метану, використовуючи реакцію Сабатьє.

ККД цього процесу становить близько 80%, при зворотному процесі ефективність знижується до приблизно 20-30%, залежно від методу використання палива. Це менше за ефективність водню, але витрати на зберігання менші принаймні в 3 рази через вищу температуру кипіння метану і більшу щільність енергії.

Рідкий метан має в 3,2 рази більшу щільність енергії, ніж рідкий водень і його легше зберігати. Крім того, інфраструктури трубопроводів (газопроводів природного газу) вже існує.

Транспортні засоби на природному газі вже існують, і, як відомо, можуть бути легше адаптовані до існуючої технології двигунів внутрішнього згорання, ніж водневі авто.

Досвід роботи з авто на природному газі показує, що зберігання метану недороге, якщо вартість перетворення палива вважати прийнятною. Витрати на зберігання спирту ще нижчі. Очікується, що технологія використання спиртів дасть можливість значно заощадити на розвитку інфраструктури в порівнянні з прямим використанням водню.

Описані вище змішані технології з проміжним використанням водню для створення інших, зручніших у використанні палив, можуть бути ефективнішими, ніж виробництво суто водневого палива.

Короткочасне зберігання енергії (мається на увазі, що енергія використовується скоро після вироблення) може бути найкраще втілена акумулятором або навіть суперконденсатором.

Довгострокове зберігання енергії (мається на увазі, що енергія використовується через кілька тижнів або місяців після вироблення), може бути краще втілена за допомогою синтетичного метану або спирту, які можуть зберігатись протягом невизначеного терміну за порівняно низьку ціну, і навіть можуть безпосередньо використовуватись в деяких паливних елементах у електромобілях.

Ці проекти пов'язані сьогоdnішнім інтересом до мережних гібридних електромобілях або PHEVs, які використовують гібридну технологію зберігання палива та електрики для задоволення своїх енергетичних потреб.

Зберігання водню буде оптимальним у вузькому часовому діапазоні, в межах від декількох днів до кількох тижнів. Цей діапазон буде в подальшому звужуватись з будь-якими покращеннями технологій акумуляторів. Завжди є можливість наукового прориву у зберіганні або виробництві водню, але це малоймовірно з огляду на фізичні та хімічні обмеження технічних рішень.

7.1.7 Економічні аспекти водневої енергетики

Вміст енергії в одиниці водневого палива повинен вироблятись, і, отже, має значну ціну, яка перевищує всі витрати на переробку, транспорт та доставку.

Системи, що використовують електроенергію безпосередньо за призначенням, наприклад, у тролейбусах або в електромобілях, мають значні економічні переваги, бо між первинним ресурсом і кінцевим місцем використання менше необхідних процесів перетворення.

Той факт, що для одержання кожного кілограму водню високої чистоти необхідно використати понад 35 кіловат-годин електроенергії, не дозволяє швидко знизити ціни на водень.

На виробництво та стиснення кілограму водню витрачається 60 кВт за годину, і його ціна становить близько \$ 6,00 за кг, в розрахунку на вартість електроенергії 10 центів / кВт·год.

Виробництво та стиснення кілограму водню із природного газу коштує у середньому 3 \$.

Трубопроводи для водню дорожчі навіть за міжміські лінії електропередач. Впровадження водневої енергетики потребуватиме величезних інвестицій в інфраструктуру для зберігання та розподілення водню. На противагу водневим автомобілям, електромобілі, які вже є загальнодоступними, не потребують негайного розширення існуючої інфраструктури для передачі і розподілу електроенергії, адже сьогодні велика частина електроенергії, що виробляється на електростанціях, вночі не використовується, а саме в цей час більшість електромобілів і буде перезаряджатись.

Різні методи виробництва по-різному пов'язані з фінансуванням і мають різну граничну собівартість.

Енергія та сировина можуть походити з різних джерел, наприклад, природного газу, біомаси, вугілля та інших викопних видів палива, енергії вітру, сонячної, ядерної та геотермальної енергії. Єдиного ідеального методу не існує. Тому прогнозують, що в майбутньому будуть використовувати поєднання всіх методів.

7.2 Термоядерна енергетика

Із 50-х років XX сторіччя небезпідставно вважалося, що майбутнє людства пов'язане з вирішенням термоядерної проблеми. Аргументи здавалися бездоганними – один літр води містить таку кількість дейтерію, що його участь у термоядерному синтезі забезпечує виробництво енергії, еквівалентне бочці нафти. А про реальність «термоядра» свідчить як Сонце, де відбуваються подібні реакції, так і вибухи термоядерних (водневих) бомб. У зв'язку з великою потенційною небезпекою АЕС для біосфери вчені та енергетики сьогодні покладають надії на добування енергії за допомогою термоядерних електростанцій (ТЯЕС). І хоча в світі не діє жодна ТЯЕС, є переконання, що цей спосіб добування енергії стане головним у XXI сторіччі і витіснить АЕС та ТЕС.

7.2.1 Суть термоядерної енергетики

Суть термоядерної енергетики – використання енергії, що виділяється при злитті (синтезі) легких ядер. Проблемою є утримання плазми і недопущення контакту зі стінками камери. До переваг ядерного синтезу слід віднести такі:

- ядерний синтез може забезпечити не тільки поточні енергетичні потреби людства (16 ТВт), але й виробити значно більшу кількість енергії;

- в якості палива необхідна зовсім невелика кількість речовин, які поширені у природі (наприклад, щоб забезпечити роботу ТЕС потужністю 1 ГВт, потрібно 10000 тонн вугілля щодня, а термоядерна установка такої самої потужності буде споживати на день 1 кг суміші дейтерію (легко видобувається з води) і тритію (виникає при роботі прямо в установці);

- термоядерна установка навіть з неідеальною ефективністю зможе виробляти 200 МВтч електроенергії, що еквівалентно спалюванню 70 тонн вугілля (потрібна кількість літію міститься в одній батареї ноутбуку, а дейтерію – в 45 літрах води). Більш ефективна модель установки за прогнозами буде давати 2,5 ГВт термоядерної енергії, яка після перетворення та використання певної частки для нагріву плазми і роботи надпровідних обмоток електромагнітів та інших систем буде давати 1,5 ГВт електроенергії на виході;

- висока внутрішня безпека термоядерної енергетики: плазма, що використовується в термоядрах, має дуже низьку щільність і, як наслідок, робоче середовище установок ніколи не буде містити в собі енергії, достатньої для виникнення серйозних загроз. Завантаження «паливом» ведеться безперервно, що дозволяє легко зупинити роботу установки (на відміну від АЕС);

- відсутність високорадіоактивних відходів, що довго живуть. Камера, де йде термоядерна реакція, стає м'яко радіоактивною, але побічних продуктів немає. Радіоактивний тритій має період напіврозпаду – 12 років, при цьому у плазмі завдяки її низькій щільності міститься дуже невелика кількість тритію, тому при гіпотетичному повному руйнуванні оболонки реактора в навколишнє середовище надійде мізерна кількість радіоактивного палива.

Недоліками термоядерних реакторів є:

- технологічна складність здійснення самопідтримної термоядерної реакції. Системи з магнітним утримуванням потребують величезних надпровідних магнітних котушок, глибокого вакууму і чистоти стінок реактора, вміння утилізувати високі теплові й нейтронні потоки, дистанційного обслуговування реактора;

- поки не існує ефективних технічних рішень, здатних перетворювати на електрику енергію, що звільнюється під час термоядерного синтезу

Робота ведеться вже давно (вже 50 років), існує декілька потенційно робочих концепцій, а саме:

- за схемою токамак (тороїдальна камера з магнітними котушками, що утримують плазму);

- мюонний каталіз;

- «холодний термояд» (наприклад, в електролітичних елементах);

- інерційний ядерний синтез або «лазерний термояд».

Три останні схеми відрізняються більш елегантними і потенційно менш затратними рішеннями, але й досі повністю ані фізично, ані технічно не вирішені. Прикладами термоядерних пристроїв, що вже створюються у розвинених країнах світу, можна вважати такі

На ТЯЕС енергія добуватиметься в наслідок злиття легких ядер ізотопів водню (дейтерію та тритію) та утворення зони ядер гелію. Над розробкою промислових термоядерних реакторів працюють в Росії, Канаді, США, Японії та в країнах Європейського Союзу. Більшість вчених, зайнятих цією проблемою, вважають, що перший прототип комерційного термоядерного реактора буде створено на початку XXI ст. Цей спосіб матиме безумовні переваги над тими, що використовуються сьогодні на АЕС та ТЕС:

- внаслідок термоядерної реакції не утворюються радіонукліди, оскільки продуктом реакції є нерадіоактивний газ – гелій;

- ТЯЕС мають бути безпечними в роботі, бо їх конструктивне рішення передбачає, що за будь-якого пошкодження чи

порушення автоматично зупиняється реакція і вимикається реактор;

- в термоядерному реакторі водночас міститиметься лише декілька грамів дейтерію та тритію (порівняно з 180 т. палива в реакторі АЕС).

Запаси дейтерію на Землі величезні, їх достатньо аби забезпечити людство електроенергією на кілька мільйонів років (у 500 л. води з будь-якої водойми дейтерію вистачить на те, щоб задовольнити всі енергетичні потреби однієї людини протягом усього життя).

До компонентів палива входить літій, запаси якого на Землі дуже невеликі, а родовища небагаті і трапляються дуже рідко, а тритій – штучний елемент, який виробляється з великими енергетичними затратами.

7.2.2 Термоядерний синтез. Термоядерні реактори

Встановлено, що суміш двох ізотопів водню, дейтерію та тритію, вимагає найменше енергії для реакції синтезу в порівнянні з енергією, що виділяється під час реакції. Однак, хоча суміш дейтерію та тритію (D-T) є предметом більшості досліджень синтезу, вона не є єдиним видом потенційного пального.

Інші суміші, що розглядаються, можуть бути простішими у виробництві, їх реакція може бути надійніше контрольованою, або, що теж важливо, продукувати менше нейтронів. Особливе зацікавлення викликає так зване анейтронне пальне, оскільки успішне промислове використання саме такого пального означатиме відсутність довготривалого радіоактивного забруднення матеріалів та конструкції реактору, що в свою чергу позитивно вплинуло би на громадську думку та на загальну вартість експлуатації реактору, суттєво зменшуючи затрати на його декомісування.

Проблемою залишається те, що реакція синтезу із використанням альтернативних видів пального набагато складніше підтримувати, тому реакція D-T вважається необхідним першим кроком.

Суть реакції термоядерного синтезу можна описати як «злиття» легких ядер дейтерію і тритію із здобуттям атомів гелію-4, вільних нейтронів і виділенням енергії в 17,6 мегаелектронвольт. Для запуску термоядерної реакції суміш дейтерію і тритію необхідно нагрівати в спеціальній камері до стану плазми і потім до температури понад сто мільйонів градусів, запобігаючи охолодженню і забрудненню стінками камери. «Ізоляцію» плазми забезпечує магнітне поле, нагріваючи до необхідної температури – електричний струм і радіочастотне випромінювання.

Для здобуття 200 тисяч кіловат електроенергії досить дейтерію, що в середньому міститься в 45 літрах води, і літій, який містить акумулятор материнської плати комп'ютера.

Термоядерна реакція відбувається в розрядній камері, розрідження в якій створюється вакуумною системою. Поверхня розрядної камери, з боку палива, є Конструкції систем і фізичні принципи, що покладені в їх основу, дозволяють класифікувати термоядерні реактори:

а) з магнітним, інерційним утримуванням плазми, які в свою чергу, поділяються на пастки з „магнітними пробками" і токамаки;

б) з ініційованим лазерним променем, пучком електронів або іонів і т.д.

В кожній установці є системи нагріву палива, а також криогенно-вакуумний комплекс. Криогенна система комплексу необхідна для охолодження обмоток магнітних котушок до стану надпровідності. Вакуумна система забезпечує необхідне розрідження в об'ємах конструкцій термоядерного реактора як шляхом відкачки газів, так і шляхом конденсації і „заморожування" на кріопанелях. Установку для термоядерного синтезу нобелівський лауреат по фізиці Ігор Тамм і академік Андрій Сахаров винайшли ще в 1950 році.

Згодом вона отримала назву «токамак» (Торієва Камера з Магнітними Котушками), а перший Токамак був побудований в Інституті атомної енергії ім. І.В. Курчатова в 1956 р. Реакторна установка Токамак (тороїдальна камера магнітна) - це

тороподібна розрядна камера, всередині якої замкнена плазма 5 (рис. 7.2).

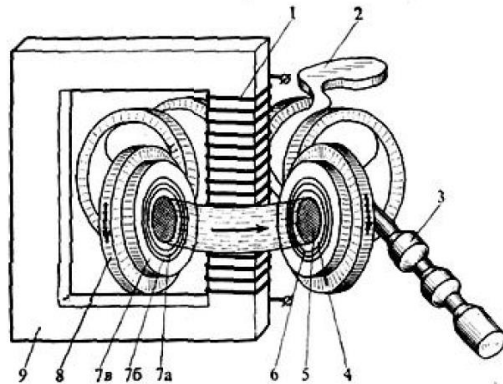


Рисунок 7.2 – Схема термоядерного реактора «Токамак»:

1 – індуктор (первинна обмотка трансформатора); 2 – дивертор; 3 – інжектор (або височастотний випромінювач); 4 – вакуумна щілина; 5 – вакуумна тороподібна камера для плазми; 6 – перша стінка камери; 7 – бланкет; 7а – шар поглиначів для виготовлення плутонію; 7б – шар для виготовлення тритію; 7в – шар радіаційного захисту; 8 – тороподібні котушки магнітної системи; 9 – магнітопровід.
воконтурна гібридна термоядерна електростанція

Плазма відіграє роль вторинної обмотки трансформатора, а індуктор 1 – роль первинної обмотки. Обидві обмотки об'єднані замкнутим магнітопроводом 9. Під час протікання змінного струму в індукторі у плазмі виникає струм, який її розігріває. Додатковий підігрів плазми і підтримання її температури на потрібному для реакції синтезу рівні можуть бути забезпечені інжектором (або височастотним випромінювачем) 3. Перша стінка 6 - розрядної камери відділена від плазми вакуумною щілиною 4 за допомогою магнітного поля тороподібних котушок 8. Між першою стінкою і котушками розташований бланкет 7. Під бланкетом розуміють сукупність декількох тороподібних шарів, що оточують вакуумну розрядну камеру. В напрямі від плазми в ньому

розташовуються шар для виготовлення плутонію. 7а. тритію 7б і радіаційний захист 7в. Домішки паливної суміші, а також деяка частка а-частинок, що утворюються в результаті синтезу, виводяться за допомогою спеціального пристрою – дивертора 2.

Основне призначення дивертора – поглинати більшу частину потоку частинок, що прямують від плазми на першу стінку і цим запобігти її руйнуванню внаслідок радіаційних пошкоджень. Потік частинок виводиться у дивертор 2 магнітним полем особливої конфігурації. Першу стінку, шар, де виробляється тритій і радіаційний захист, необхідно охолоджувати. Найбільша кількість теплоти генерується в шарі генерації плутонію, причому в 7-10 разів більше, ніж у плазмі при В-Т- реакції [42].

Гібридна термоядерна електростанція у двоконтурному виконанні з реактором “Токамак” (рис. 7.3), у якому теплоносієм може використовувати таз (гелій, двоокис вуглецю), розплав берилієвої солі, що містить літій і солі урану („флайб”), рідкий метал. Для схеми станції це не має принципового значення, але конструкції бланкета. парогенератора і іншого обладнання будуть відрізнятися. На рис. 7.3 зображена теплова схема двоконтурної термоядерної електростанції з токамаком. Станція має три призначення – на ній вироблятимуться електроенергія, штучне ядерне паливо для АЕС і тепло для теплопостачання промислових підприємств і побутових потреб. У першому контурі знаходяться урановий шар для виготовлення плутонію 3, тепловий акумулятор 4, парогенератор 5, нагнітач теплоносія першого контуру 16. перепускний клапан 17. До другого контуру відносяться – парогенератор 5, який дає перегріту пару високого тиску, турбогенератор 6, конденсатор 7, конденсатний насос 8, група регенеративних підігрівачів низького тиску 9, деаератор 11, живильний насос 12, група регенеративних підігрівачів високого тиску 13.

Низькопотенційне тепло, що генерується першою стінкою 2 і ділянкою, що містить літій 1, передається в систему регенеративного підігріву через водо-водяний 10 і газовадийний 14 теплообмінники (ТО), відповідно, насосом 18 і нагнітачем. Перетворення енергії керованого термоядерного синтезу

здійснюється таким чином. У розрядній камері створюється високий вакуум, і вона заповнюється паливом. Паливо нагрівається до температури близько 100 млн. град., а концентрація паливних частинок доводиться до 10^{14} в 1 см^3 . Додатковий підігрів атомів здійснюється інжекцією швидких атомів дейтерію, або будь яким іншим способом, після чого починається реакція синтезу. Кінетична енергія α - частинок витрачається на нагрів плазми, що охолоджується. Віддавши свою енергію, α - частинки залишають об'єм плазми. Деяка їх частина осідає на першій стінці, а інші виводяться у дивертор [43].

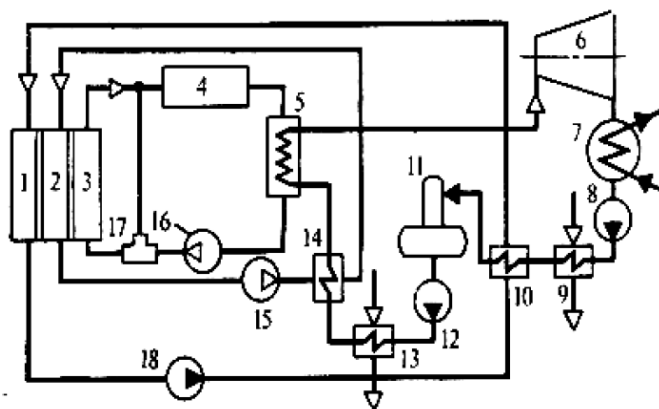


Рисунок 7.3 – Теплова схема двоконтурної гібридної термоядерної електростанції:

1 – шар зі вмістом літію для генерації тритію; 2 – перша стінка; 3 – урановий шар; 4 – тепловий акумулятор; 5 – парогенератор; 6 – парова турбіна; 7 – конденсатор; 8 – КН; 9 – група РПНТ; 10 – водо-водяний ТО; 11 – деаератор; 12 – ЖН; 13 – група РПВТ; 14 – газоводяний ТО; 15 – нагнітач теплоносія першої стінки; 16 – нагнітач теплоносія уранового шару; 17 – перепускний клапан; 18 – циркуляційний насос контуру охолодження літієвого.

Одноконтурна гібридна термоядерна електростанція.

Теплообмінна поверхня акумулятора фазового переходу розраховується на визначені величини. Маневрові можливості двоконтурної станції через цю обставину дуже обмежені.

Тому, незважаючи на високий термічний ККД і велику швидкість генерації товарного плутонію, складність термостабілізації двоконтурних станцій були розроблені одноконтурні схеми з киплячою водою 1 турбіною на насиченій парі (рис. 7.4).

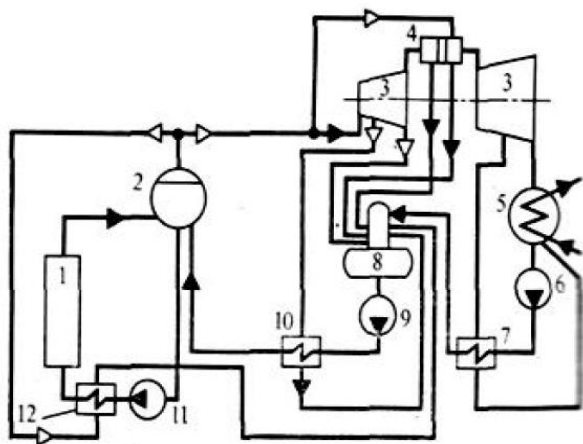


Рисунок 7.4 – Теплова схема одноконтурної гібридної термоядерної електростанції:

1 – урановий шар бланкета; 2 – барабан-сепаратор; 3 – парова турбіна; 4 – сепаратор-пароперегрівач; 5 – конденсатор; 6 – конденсаційний насос; 7 – група підігрівачів низького тиску; 8 – деаератор; 9 – живильний насос; 10 – група підігрівачів високого тиску; 11 – циркуляційний насос; 12 – додатковий теплообмінник.

Така схема дуже близька до одно контурної. АЕС. Працює схема таким чином. В урановому шарі 1 з води охолодження генерується пара і пароводяна суміш подається у барабан-сепаратор 2. Висушена насичена пара потрапляє на турбіну 3, після якої скидається у конденсатор 5. Між циліндрами середнього і низького тиску турбіни 3 розташований проміжний сепаратор-пароперегрівач 4.

Насосом 6 конденсат подається в деаератор 8 через групу підігрівачів низького тиску 7.

Насосом 9 живильна вода з деаератора через групу підігрівачів високого тиску 10 попадає в барабан-сепаратор 2. Циркуляційний насос 11 розвиває напір, необхідний для подолання гідравлічного опору теплообмінника 12 і уранового шару бланкета 1. Генерація пари під час паузи відбувається за рахунок зміни температури і тиску киплячої води в барабані-сепараторі від номінального до мінімально допустимого за умовами експлуатації турбіни [42].

З початку сімдесятих експериментальні установки стали створювати у всіх провідних країнах світу. Проте по справжньому крупний термоядерний реактор ITER (рис. 7.5, 7.6) експерименти на якому можуть відкрити перспективи комерційної термоядерної енергетики, ще лише почав будуватися, він буде запусканий не раніше 2018 року.



Рисунок 7.5— Вигляд “Токамак” з середини:

а) у центрі будівлі Токамак яма глибиною 30 метрів - місце для складання машини ITER.; б) на 3d-моделі показано, як платформи будуть встановлені всередині вакуумної камери.

Загальні витрати на міжнародний проект ITER передбачають розробку термоядерного реактору, який буде функціонувати на основі дейтерієво-трітієвого палива, загальною вартістю 10 млрд. дол. США (може збільшитись до 16 млрд. дол. США), що будуватиметься у Франції, в атомному центрі Кадараш (Ексан-Прованс).

Ідея проекту – у 1985 році прийняте рішення лідерів США, Франції, СРСР щодо спільного будівництва експериментального

реактора; 1992 р. – міжурядова угода Євросоюзу, США, Росії і Японії щодо розробки ITER, в 2003–2005 рр. – до проекту долучились Канада, Китай, Південна Корея, Індія; 2006 р. – угода про початок практичної фази реалізації (розпочато будівництво).

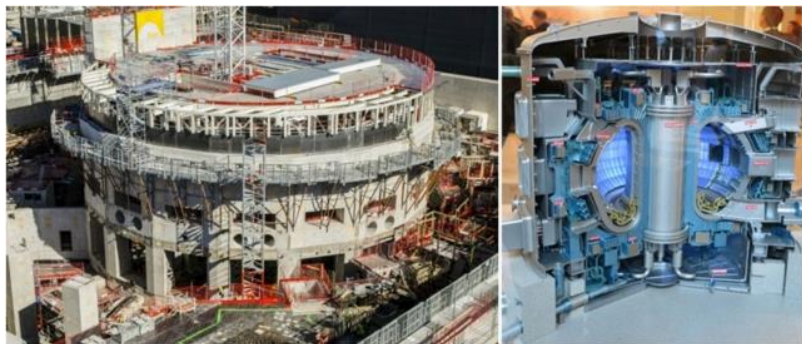


Рисунок 7.6 – Зовнішній вигляд піз час побудови та 3d-модель Токамака

Перший запуск плазми заплановано на 2025 рік, а експерименти із синтезу дейтерію та тритію мають розпочатися у 2035 році.

Якщо проект завершиться успішно, термоядерні електростанції можуть запрацювати вже приблизно через 40 років. ККД складе 90 відсотків, шкоди екології не буде жодного (якщо виключити крупні аварії).

Витрати на будівництво термоядерних станцій будуть порівнянні з ціною зведення АЕС (правда, якщо побудувати атомну станцію можна за чотири мільярди доларів, то термоядерну – вже за п'ять-десять).

Проте стовідсоткової упевненості в успіху у учених досі немає.

По-перше, для будівництва «робочих камер» термоядерних електростанцій необхідні матеріали, які протягом декількох

років зможуть безперервно витримувати «бомбардування» нейтронами і не руйнуватися.

Для повноцінних випробувань необхідно два спеціальні прискорювачі потужністю п'ять мегават. Розгін в них ядер дейтерію (дейтронів) до енергії в 40 мегаелектронвольт і напрям їх пучка в мішень з рідкого літію дозволить отримати нейтрони з необхідними характеристиками і тим самим змодельовати «бомбардування» ними оболонок робочих камер майбутніх термоядерних електростанцій.

Використовувати сам реактор ITER як випробувальний майданчик не вийде, оскільки він не «дотягне» по потужності до майбутніх станцій і не зможе працювати безперервно. Витрати на такі випробувальні прискорювачі додадуть до вартості проекту ще мільярд євро, а позитивний результат випробувань напевно не може передбачити ніхто.

По-друге, неоднозначною для перспектив термоядерної енергетики залишається виявлена вже після винаходу цих установок здібність гарячої плазми дейтерію і тритію до генерації власного струму.

З одного боку, можна чекати, що до 80 відсотків струму, необхідного для утримання плазми в реакторі (по розрахунках для реактора ITER), виникатиме на основі цього ефекту, що вимагає значно менше енергії на підтримку робочого режиму токамака.

Але з іншого, якщо цим струмом, не зможуть управляти, подібні проблеми взагалі можуть «поховати» перспективи даних установок в комерційній термоядерній енергетиці.

Досить швидким виходом з енергетичного тупика може бути пов'язаний з вирішенням проблеми LENR (low energy nuclear reactions) або «холодного ядерного синтезу», тобто перспективи створення та використання реальної альтернативи традиційному вуглеводневому паливу і не менш традиційній «урановій» ядерній енергетиці – процесу реалізації цілком безпечних ядерних реакцій при низькій енергії, наприклад, на основі нанопорошку нікелю й водню, здійснюваного в так званому тепловому генераторі E-Cat Андреа Россі (Andrea Rossi).

Термоядерні реактори переважно класифікуються відповідно до типу «утримування» (confinement) гарячої плазми.

Більшість досліджень стосуються магнітного утримання плазми, в такій конструкції потужні магніти утримують гарячу плазму в центрі камери, не даючи їй руйнувати камеру (температура плазми $\sim 100\,000\,000\text{ K}$).

Серед різноманітних типів реакторів із магнітним утриманням найкращі результати продемонстрував «Токамак». Інший популярний тип утримання – інерційний реактор, найінтенсивніші дослідження якого ведуть американські науковці. В ньому крихітні кульки пального («пелети») вистрілюються в центр камери та «обстрілюються» потужним лазером.

Оскільки камера є порівняно великою, густина енергії, що нагріває стінки камери, є недостатньою для їх руйнування. Існує також ряд менш поширених методів утримання плазми, наприклад з використанням самостягування розряду, в яких струм, що проходить через плазму, генерує власне магнітне поле, або електростатичне утримання, де іонізована плазма утримується силою електростатичного відштовхування, як у реакторі Фарнswortha-Хірша. Реактор із інерційним утриманням продукує плазму із найкращими характеристиками, та є найкращим типом реактору для досліджень, генерування рентгенівських променів, надмалих реакторів та, імовірно, в майбутньому для космічних польотів.

Реактори цього типу залежать на паливі у формі «пелет» ідеальної форми, внаслідок обстрілу потужним лазером ця форма дозволяє генерувати симетричну ударну хвилю, що розігріває пальне до стану дуже щільної плазми. На практиці це виявилось надзвичайно складним завданням.

7.2.3 Аналіз сучасних досягнень майбутнього термоядерної енергетики

Гонитва за контрольованою термоядерною реакцією триває вже багато десятиліть.

Головною проблемою термоядерної реакції є потреба у високих температурах. Для звичайної ядерної реакції потрібно

нагрівання вихідних елементів лише до кількох сотень градусів Цельсія. Для термоядерної – потрібно відтворення умов, які існують всередині зірок. Іншими словами, мова йде про мільйони градусів Цельсія.

Довгі роки вважалося, що основними учасниками цієї погоні є європейські фізики, які відпрацьовували технологію токомаком (реактор ITER у Швейцарії) і стелараторів (Wendelstein 7-X в Німеччині). Також серйозні дослідження в цій галузі проводяться в США. Власне, сама термоядерна реакція на Wendelstein 7-X, яка проходила при температурі 80 млн. градусів Цельсія, дозволила утримувати отриману з водню плазму магнітним полем протягом «лічених секунд». Таку інформацію автори експерименту давали в офіційному прес-релізі.

Німецькі фізики з Інституту плазми ім. Макса Планка змогли отримати і утримувати протягом часток секунди плазму з гелію в ході експерименту в грудні 2015 року. А 3 лютого була вперше отримана воднева плазма при температурі 80 млн. градусів Цельсія.

Тим не менш, «лічені секунди» утримання плазми – дуже малий результат, щоб говорити про початок практичного освоєння термоядерної реакції.

Якщо успіх німецьких фізиків можна було назвати успішним експериментом, то досягнення їхніх китайських колег вже є справжнім проривом. Оскільки їх робота не тільки доводить можливість отримання плазми з водню, але і наочно показує, що можливе утримання плазми в нагрітому стані протягом значного часу. А це і є ключ до термоядерної енергетики.

Китайські фізики з Інституту фізики в Хефей (провінція Янсі), здійснили реакцію, яка дозволила зробити плазму. На цьому тлі 102 секунди, отримані на китайському реакторі (рис. 7.7) з символічною назвою EAST, здаються вічністю. Навіть незважаючи на те, що температура реакції була майже вдвічі нижчою від тієї, яку досягли німецькі фізики – 49,9 млн. градусів Цельсія – температура верхніх шарів Сонця – також достатня для здійснення термоядерної реакції.

Власне, самі китайці не вважають свій експеримент вдалим. 50 млн. градусів Цельсія і 102 секунди – відчутно менше, ніж заявлені перед початком експерименту цілі – 100 млн. градусів Цельсія і 1000 с утримання плазми. Таку інформацію публікують китайські ЗМІ.



Рисунок 7.7– Реактор EAST

Постановою Президії НАН України від 18.03.2013 р. № 115 була затверджена Концепція цільової комплексної програми НАН України «Перспективні дослідження з фізики плазми, керованого термоядерного синтезу та плазмових технологій» на 2014-2016 роки. Головною метою вказаної програми є підвищення ефективності досліджень з фізики плазми, керованого термоядерного синтезу (КТС) та плазмових технологій, спрямованих на виявлення нових фізичних принципів будови складних плазмових систем та створення на цій основі фізичних засад нових високо- та низькотемпературних плазмових технологій. Основними завданнями програми є:

- розвиток та підвищення рівня досліджень з фізики плазми, КТС та плазмових технологій, що використовуються в установах НАН України, на основі їхньої координації та спрямовування на виконання конкретних розробок в інтересах національної економіки;

- забезпечення кооперації вчених НАН України щодо спільного використання наукового обладнання, в тому числі діагностичних засобів, та оригінальних програмних продуктів;

- виявлення та реалізація конкретних шляхів активізації участі науковців НАН України в міжнародних програмах і проектах;

- створення умов для участі дослідників, особливо молодих, у міжнародних конференціях, школах, семінарах, навчальних програмах і курсах, а також для здійснення подібної активності в Україні;

- забезпечення доступу українських науковців, що працюють у галузі фізики плазми, до платних міжнародних джерел наукової інформації (журнали, монографії тощо).

Таким чином, можна зробити висновки, що наслідком виконання вказаної програми досліджень стануть такі наважливіші результати за напрямками:

- здобуття нових знань про фізичні явища, що відбуваються у високотемпературній плазмі, у тому числі при її взаємодії з твердими поверхнями; розробка принципових аспектів термоядерної енергетики майбутнього;

- розробка фізичних засад та обладнання для перспективних іонно-плазмових технологій для промислової обробки матеріалів, сільського господарства, медицини, охорони довкілля тощо;

- розвиток плазмової електроніки, плазмодинаміки та фізичних основ колективних методів прискорення заряджених частинок.

7.3 Екологічні аспекти водневої та термоядерна енергетика

Водень виробляється або через електроліз води, або перетворенням викопного палива, останнім часом другий з цих методів був найрозповсюдженішим. При одержанні водню шляхом електролізу у генераторах, на викопному паливі,

утворюється вуглекислий газ, як і за прямого використання викопного палива.

Існують також деякі побоювання з приводу можливих проблем, пов'язаних з витоком водню. Молекулярний водень повільно витікає навіть з дуже герметичних ємностей.

Припускають, що внаслідок витoku великого об'єму водню (H_2) через ультрафіолетове випромінювання можуть утворитись вільні радикали (H) в стратосфері. Ці вільні радикали діятимуть як каталізатори стоншення озонового шару.

При достатньо великому збільшенні кількості водню в стратосфері з витоків H_2 процес стоншення озонового шару може пришвидшитись. Наприклад, у Німеччині витік водню становить лише 0,1%. Ймовірно, при використанні сучасних технологій такий витік становитиме не більше 1-2% навіть за поширеного вжитку водневих технологій.

Реакція синтезу продукує суттєво меншу кількість радіоактивного сміття ніж реакція ядерного поділу, що використовується у існуючих атомних електростанціях.

Слід, однак, зауважити, що у незаперечній формі це стосується продуктів самої реакції: єдиний побічний продукт реакції D-T – це нейтральний гелій, а реакція D-D продукує незначну кількість слаборадіоактивного тритію, період напіврозпаду котрого становить всього 12 років.

Особливістю як D-T- так і D-D-реакцій є інтенсивне нейтронне випромінювання, а отже радіоактивним забрудненням конструкцій станції, тому по закінченню їх експлуатації реактори треба буде розбирати та захоронювати (так само, як і реактори АЕС).

Також до суттєвих недоліків термоядерних реакторів можна віднести:

- невміння утилізувати високі теплові й нейтронні потоки;
- дистанційного обслуговування реактора тощо.

Теплота, яка у великій кількості виділяється внаслідок термоядерної реакції, не може бути цілком перетворена на електроенергію й спричиняє підігрів атмосфери і гідросфери Землі, тому на розвиток термоядерної енергії накладаються ті

самі обмеження що й на використання інших не відновлювальних джерел енергії – це тепловий режим.



Запитання для самоконтролю

1. Воднева енергетика – це напрям...
2. Коли і ким запропонований термін «воднева енергетика»?
3. Перевагою водневої енергетики для України могла б стати...
4. Коли було засновано Об'єднання «Воднева Енергетика»?
5. Кварнер-процес – це...
6. Яким чином водень може вироблятися електролізом?
7. Фотоелектрохімічне розщеплення води...
8. На чому ґрунтується фотоелектрокаталітичне виробництво водню?
9. Ферментативне виробництво водню – це...
10. В чому полягає ефективність водню як автомобільного палива?
11. Виробництво штучного метану за допомогою водню.
12. Економічні аспекти водневої енергетики.
13. Суть термоядерної енергетики...
14. До переваг ядерного синтезу слід віднести...
15. До переваг ядерного синтезу слід віднести...
16. Як можна описати суть реакції термоядерного синтезу?
17. Що заплановано міжнародний проєктом ITER?
18. Термоядерні реактори переважно класифікуються відповідно до типу...
19. Які досягнення Інституту плазми ім. Макса Планка?
20. Яка головною мета програми НАН України «Перспективні дослідження з фізики плазми, керованого термоядерного синтезу та плазмових технологій» на 2014-2016 роки?

ГЛОСАРІЙ

Автономна МГЕС (МкГЕС): Independent small hydroelectric power plant; ГЕС, призначена для роботи на ізольованого споживача електроенергії або місцеву ізольовану електричну мережу, потужність якої порівнянна з потужністю МГЕС (МкГЕС).

Альтернативна енергетика (альтернативна енергія) – сукупність перспективних методів отримання енергії, які розповсюдженні не так широко, як традиційні, проте представляють інтерес завдяки вигідності їх використання при низькому ризику спричинення екологічної шкоди району.

Анаеробне бродіння – процес бродіння в анаеробному середовищі (безкисневому середовищі). Результатом бродіння є метан, вуглекислий газ, інші продукти.

Атомна енергетика – галузь енергетики, що займається одержанням і використанням ядерної енергії.

Барда (спиртова барда, післяспиртова барда) – відходи виробництва етилового спирту.

Безплотинна МГЕС (мікроГЕС): Non-dam small hydroelectric power plant; ГЕС, що використовує переважно кінетичну енергію потоку на робочому колесі гідравлічної машини.

Безкисневе бродіння – процес бродіння в безкисневому середовищі. Результатом бродіння є метан, вуглекислий газ, інші продукти.

Біогаз – газ, що отримують шляхом метанового бродіння біомаси. Розкладання біомаси відбувається під впливом бактерій класу метаногенів. Склад: 55%-85 % метану, 15 % - 45 % CO₂, незначні домішки.

Біодизель – біопаливо на основі рослинних або тваринних жирів (масел), а також продуктів їх естерифікації.

Біовідходи – відходи бійні, жир, кишки, кров, книга, гній, птахофабрик – послід, спиртових заводів і пивзаводів – барда і дробина т.п.

Біопаливо – паливо з біологічної сировини.

Біоетанол – етанол, що отримується в процесі переробки рослинної сировини і використовується як біопаливо.

Бурти – валоподібні купи гною.

Валовий потенціал малої гідроенергетики: Total poten-tial; Енергетичний еквівалент запасів гідравлічної енергії, зосереджений в джерелах потенціалу малої гідроенергетики при повному її використанні.

Відстійники (вертикальні, конусні) – спеціальне устаткування для розділення осаду і рідкої фази оброблюваної рідини, гною.

Вітроенергетика – методи і засоби використання енергії вітру для отримання механічної, електричної і теплової енергії. Видалення посліду

Вітряк – споруда, що використовує силу вітру як джерело енергії, і використовується для того, щоб молоти зерно, а також в деяких місцевостях для pompування води тощо.

Витрата через турбіну: Turbine discharge; Об'єм води в одиницю часу, що протікає через гідротурбіну і залежить від типу турбіни, її розмірів і чинного напору.

Водневий двигун – двигун внутрішнього згоряння, який використовує водень як паливо.

Водоприймач МГЕС: Water intake; Гідравлічне пристрій, що забезпечує забір (відведення) води з водотоку або водоймища до гідромаши.

Воднева енергетика – це напрям вироблення та споживання енергії людиною, який базується на використанні водню як засобу для акумулювання, транспортування та вживання енергії населенням, транспортом та різними виробничими напрямками.

Встановлена потужність МГЕС: Installed power; Сума номінальних потужностей установлених на МГЕС гідро установок.

Газгольдер – великий резервуар для зберігання природного, побутового газу або біогазу. Розрізняють газгольдери змінного і постійного об'єму, металеві, гумові, плівкові.

Газопоршневі електростанції – система когенерації, що створена на основі газопоршневого двигуна, дозволяє перетворювати внутрішню енергію палива (газу) в енергію електрики і енергію тепла.

Гідроагрегат, ГА: Hydroaggregate; Комплекс пристроїв, призначених для перетворення енергії води в електричну енергію.

Гідроенергетична установка, ГЕУ: Hydropower plant; Комплекс взаємопов'язаного обладнання та споруд, призначених для перетворення гідравлічної енергії в інші види енергії.

Гідроенергетика: Hydropower engineering; Розділ гідроенергетики, пов'язаний з використанням енергії водних ресурсів для отримання електричної енергії.

Гідроелектростанція, ГЕС: Hydroelectric power plant; Комплекс споруд і устаткування, перетворюючих Гравітаційну енергію води в електричну енергію.

Гірядная МГЕС (МкГЕС): String small hydroelectric power plant; Бесплотинная або вільно-потокова ГЕС, що має загальний валопровод, в якій кілька співвісних гідравлічних машин працюють на одну або кілька електричних.

Гноєвидалення – прибирання гною в тваринницьких приміщеннях. Один з найбільш трудомістких процесів. Від роботи системи гноєвидалення залежить мікроклімат в приміщенні, здоров'я тварин і стан екологічної обстановки навколишньої місцевості.

Гумус – сукупність органічних сполук, що знаходяться в ґрунті, але що не входять до складу живих організмів або їх залишків, що зберігають анатомічну будову.

Джерела ресурсів малої гідроенергетики: Small hydropower engineering potential sources; Природні і штучні водотоки, водосховища, озера і ставки, водогосподарські або гідравлічні системи різного призначення, а також інші малі водні потоки потенціал яких може бути використаний для отримання електричної енергії за допомогою установок малої потужності.

Дериваційна МГЕС: Diversion system small hydroelectric power plant; Мала ГЕС, в якій напір створюється за рахунок природного перепаду рівнів водотоку при напірній або безнапірній деривації.

Декантер – центрифуга шнекова горизонтальна, безперервної дії. Пристрій для розділення твердої і рідкої фаз біомаси.

Електрична машина МГЕС (МкГЕС): Water-wheel generator; Електрична машина (синхронна, асинхронна, подвійного живлення, постійного струму), що приводиться в обертання від гідротурбіни і перетворює механічну енергію обертання в електричну енергію.

Економічний потенціал малої гідроенергетики: Economical potential; Частина технічного потенціалу малої гідроенергетики, використання якої економічно ефективно в сучасних умовах з урахуванням вимог соціально-екологічного характеру

Екскременти – це сукупність відходів життєдіяльності організму, що підлягають видаленню в зовнішнє середовище. Екскрементами є піт, сеча, кал, повітря, що видихається.

Енергетичні культури – спеціально вирошені рослинні культури, які використовуються для виробництва біогазу. Такими культурами є, кукурудза, силфія, седрати.

Енергія біомаси – та кількість енергії, яку можна отримати в процесі переробки біомаси.

Енергозбереження – комплекс заходів, які направлені на збереження і раціональне використання електрики і тепла.

Етанол – етиловий спирт, часто просто «спирт». Етанол легкозаймиста, безбарвна рідина з характерним запахом. Існує два основних способу отримання етанолу - спиртне бродіння і

Жом буряковий – екстрагована січка цукрового буряка, відходи цукрової промисловості. Використовують як корм для худоби в свіжому, сушеному (брикети і розсипом) і силосованому (кислий жом) вигляді.

Заглибна МГЕС (МкГЕС): Submerged small hydroelectric power plant; ГЕС, в якій використовуються заглибні, тобто розміщуються під водою гідроагрегати.

Змішана МГЕС: Mixed-type small hydroelectric power plant; Мала ГЕС, в якій напір створюється як за рахунок греблі, так і за рахунок природного перепаду рівнів, реалізованого за допомогою деривації.

Категорії потенціалу малої гідроенергетики: Potential category; Валовий (розрахунковий) потенціал; технічний потенціал; економічний потенціал.

Ковшева активна гідравлічна турбіна: Active hydraulic turbine bucket type; Гідравлічна турбіна (горизонтальна, вертикальна: одноколісна або двоколісна: односоплова або багатосоплова), що використовує кінетичну і потенційну енергію водного потоку.

Когенератор – генератор на основі газового і дизельного двигуна. Є джерелом енергії – теплової і електричної.

Компости – органічні добрива які утворюються в результаті розкладу різних органічних речовин під впливом діяльності мікроорганізмів.

Котли для спалювання соломи – це спеціальні котли обладнані для спалювання соломи в цілях опалювання і т.п.

Котли Лапса – використовуються для виробництва м'ясо-кісткового борошна.

Лагуни – спеціалізовані резервуари для зберігання біовідходів чи гною.

Локальні (місцеві) електричні мережі – електричні мережі, що перебувають у власності або повному господарському віданні електропередавальної організації.

Мала гідроенергетика: Small hydropower engineering; Складова частина гідроенергетики, пов'язана з використанням енергії водних ресурсів та гідравлічних систем за допомогою гідроенергетичних установок малої потужності.

Мала гідроенергетична установка МГЕУ: Small hydropower plant; гідроенергетичних установка номінальною потужністю до 10000 кВт.

Мала гідроелектростанція; МГЕС: Small hydroelectric power plant; ГЕС із встановленою потужністю від 100 до 30000 кВт.

Мережева МГЕС (МкГЕС): Network small hydroelectric power plant; ГЕС, призначена для роботи паралельно з електричними мережами федерального або регіонального значення, потужність якої вважається нескінченною по відношенню до потужності МГЕС (МкГЕС).

Мікрогідроелектростанція; мікроГЕС, МкГЕС: Micro hydroelectric power plant; МГЕС з встановленою потужністю до 100 кВт.

Мобільна МГЕС (МкГЕС): Mobile small hydroelectric power plant; ГЕС, конструктивне виконання якої передбачає можливість її переміщення на інше місце установки без порушення готовності до роботи її основних вузлів..

Мезофільне бродіння – це бродіння, яке відбувається при оптимальній температурі для розмноження метанових бактерій 30-40 °С. Мезофільне бродіння вважається більш економічним ніж термофільне бродіння.

Метан – найпростіший вуглеводень, безбарвний газ без запаху, хімічна формула - CH_4 . Маже не розчиняється у воді, легше за повітря.

Метаноутворюючі бактерії – бактерії, здатні отримувати енергію за рахунок відновлення CO_2 до метану. Деякі метаноутворюючі бактерії здатні зброджувати метиловий спирт чи оцтову кислоту, причому метан утворюється з вуглецю метилової групи.

Метаноутворення – процес, при якому відбувається утворення метану.

Метантенк – залізобетонний резервуар великого об'єму для біологічної переробки (зброджування) біомаси за допомогою бактерій та ін. мікроорганізмів в анаеробних умовах (без доступу повітря) .

Ортогональна гідравлічна турбіна: Orthogonal hydraulic turbine; Гідравлічна машина (напірна), що використовує в якості робочого колеса гідродинамічну систему з аеродинамічними профілями.

Очисні споруди (система очищення) – об’єкти комплексів по переробці і утилізації відходів або їх часткової фільтрації.

Напір геометричний МГЕС (МкГЕС) брутто: Gross head of a small hydroelectric power station; Різниця рівнів верхнього та нижнього б’єфів малої ГЕС.

Напір робочий нетто: Net head of a small hydroelectric power station; Різниця питомих енергій рідини на вході і виході з турбінної установки малих ГЕС (мікро- ГЕС), чисельно рівна напору брутто за вирахуванням всіх втрат напору в водопідвідних спорудах.

Номінальна потужність гідроагрегату: Nominal power; Активна електрична потужність на виводах генератора, відповідна номінальному режиму роботи електричної машини; Основні види малих гідроелектростанцій.

Паливні пелети (брикети) – біопаливо, що отримується з деревних відходів і відходів сільського господарства.

Паливна комірка (англ. *fuel cell*), також паливний елемент – електрохімічний генератор, який забезпечує пряме перетворення хімічної енергії на електричну.

Піроліз – це термічне розкладання органічних сполук (деревини, нафтопродуктів, вугілля і іншого) без доступу повітря.

Плавуча МГЕС (МкГЕС): Floated small hydroelectric power plant; ГЕС, гідроагрегати якій розташовуються на плавучих засобах.

Греблева МГЕС: Dam small hydroelectric power plant; Мала ГЕС, в якій для створення напору використовуються як гребля, так і будівля ГЕС.

Руслово-греблева МГЕС: Channel-type small hydroelectric power plant; Греблева мала ГЕС, в якій будівля ГЕС використовується для створення напору.

Попереочно-струменева активна гідравлічна турбіна: Cross-stream active hydraulic turbine; Гідравлічна турбіна з робочим колесом одноразового або дворазового дії, у якій осі лопатей робочого колеса розташовуються паралельно осі гідротурбіни.

Потенціал малої гідроенергетики: Small hydropower engineering potential; Складова частина гідроенергетичного

потенціалу, яка може бути використана на установках малої потужності.

Похило-струнна активна однократна гідравлічна турбіна: Inclined-stream active single hydraulic turbine; Гідравлічна турбіна, у якої осі лопатей робочого колеса розташовуються під кутом до осі гідротурбіни.

Передтурбінний затвор МГЕС: Pre-turbine gate valve; Пристрій, що забезпечує подачу або припинення подачі води на турбіну

Пригреблева МГЕС: Dam-type small hydroelectric power plant; Греблева мала ГЕС, в якій будівля ГЕС не бере участь у створенні напору

Проточний тракт МГЕС (МкГЕС): Water path; Сукупність каналів, утворених гідравлічними елементами малої ГЕС (мікроГЕС), по яких протікає вода, здійснюючи робочий процес.

Поля фільтрації – працюють як механічні, хімічні і біологічні очисні споруди.

Прес-фільтр – пристрій, через який методом пресування через сито, відбувається фільтрація сировини.

Реактивна гідравлічна турбіна: Reactive hydraulic turbine; Гідравлічна турбіна (горизонтальна, вертикальна, похила) з осьовим, радіально-осьові, діагональні робочим колесом, що використовує потенційну енергію водного потоку.

Роторна реактивна гідравлічна турбіна: Rotor reactive hydraulic turbine; гідротурбін, у якої лопаті робочого колеса виконані у вигляді циліндричних поверхонь, що утворюють яких паралельні осі турбіни.

Рукавна МГЕС (МкГЕС): Pressure intake small hydroelectric power plant; Різновид дериваційної ГЕС, на якій в якості деривації використовується нестационарний збірний або гнучкий рукав або шланг.

Свободнопоточная МГЕС (МкГЕС): Free-stream small hydroelectric power plant; ГЕС, що використовує кінематичну енергію водного потоку в його природному.

Свободнопоточная гідравлічна турбіна: Free-stream hydraulic turbine; Гідравлічна машина (активна або реактивна),

що використовує кінетичну енергію водного потоку в його природному стані.

Сепарація – процеси розділення сумішей різнорідних частинок твердих матеріалів, сумішей рідин різної щільності, емульсій; суспензій твердих частинок або крапельок в газі або парі.

Сепарація барди – процес розділення барди на рідку і тверду фракції. Рідка фракція 99% вод, тверда - 70% вод. Сепарацію застосовують для зменшення викидів активної органіки на поля фільтрації.

Сонячні батареї (сонячні елементи) – генератор альтернативного або поновлюваного виду енергії, що перетворює сонячне світло на електрику.

Сонячні панелі – набори сонячних батарей.

Станції флотацій – технологічні вузли призначені для ефективного очищення відпрацьованих вод, якими є, так звані, нерозчинні субстанції, напр. жири і целюлоза.

Стационарна МГЕС (МкГЕС): Stationary small hydroelectric power plant; ГЕС, не призначена для переміщення в інший створ водотоку.

Термофільне бродіння – оптимальна температура для розмноження метанових бактерій 50-55°C. Мезофільне бродіння вважається більш економічним за витратами тепла, ніж термофільне бродіння.

Технічний потенціал малої гідроенергетики: Technical potential; Частина валового потенціалу, яка може бути використана сучасними технічними засобами з урахуванням вимог соціально-екологічного характеру.

Ферментер (ферментатор, біореактор або дігестер) – ємкість, в якій протікає процес виробництва продукту (біогазу) за допомогою мікроорганізмів (ферментація).

Флотація – спосіб розділення сумішей твердих дрібних частинок, що належать різним речовинам. Флоатація можлива тільки при неповному змочуванні рідиною поверхні частинок, що виділяються.

Фотогальванічний елемент – це прямий перетворювач світлової енергії в електричну.

Фотоелектрична комірка – сонячний елемент, який діє як перетворювач, і служить для перетворення частини світлової енергії (як правило, видимих та інфрачервоних електромагнітних хвиль) у електричну за допомогою фотоелектричного ефекту.

Фронтальна реактивна гідравлічна турбіна: Frontal reactive hydraulic turbine; гідротурбін, у якої осі лопатей робочого колеса постійного перетину розташовані перпендикулярно осі турбіни.

Шахтна гідравлічна установка: Mine hydraulic power plant; Гідравлічна установка, що використовує в якості робочого напору природний перепад висот, створюваний в напірному водоводі шахтного типу.

Шнекова реактивна гідравлічна турбіна: Worm feeder reactive hydraulic turbine; гідротурбін, у якої лопаті робочого колеса виконані у вигляді гвинтової поверхні.

Яма для жому – спеціально обладнана яма для зберігання жому.

Ядерна енергія (атомна енергія) – внутрішня енергія атомних ядер, що виділяється при деяких ядерних перетвореннях.

Ядерний реактор – пристрій для одержання енергії за рахунок керованої реакції поділу ядра.

Ядерна реакція – явище перетворення ядер атомів хімічних елементів і елементарних частинок.

ОПРАЦЬОВАНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ДЖЕРЕЛА

1. Арсеньев В.М. Анализ энергоэффективности теплонасосной утилизации вторичных энергоресурсов //Сборник научных трудов 2-й Международной научно-технической конференции (приложение к журналу «Холодильная техника и технология». – Одесса: ОГАХ, 2002.- С.63-68.
2. Арсеньев. В.М. Теплонасосна технологія енергозбереження: Навчальний посібник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2009. – 303с.
3. Ветровые станции большой мощности. Обзорная информация / Лятхер В.М. – М.: Информэнерго, 1987. – 72 с.
4. Вторинні енергетичні ресурси та енергозбереження [Текст] : навч. посіб. / Віктор Самохвалов ; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т кораблебудування ім. адмірала Макарова, Херсонська філія. - К. : Центр учбової літератури, 2008. - 223 с
5. Заец И. Термоядерный век [Текст]/ И.Заец // Эксперт, 2009. – № 50. – С.46–50.
6. Вітроенергетика. Вітроенергетичні установки та вітроелектричні станції. Терміни та визначення понять. - Вид. офіц. - На заміну ДСТУ 3896-99; чинний від 2009-01-01. - К. : Держспоживстандарт України, 2008. - III, 23 с. - (Національний стандарт України).
7. Прокіп А. Організаційні та еколого-економічні засади використання відновлюваних енергоресурсів: [монографія] / А. Прокіп, В. Дудюк, Р. Колісник; за заг. ред. А. Прокіпа. – Львів: ЗУКЦ, 2015. – 337 с.
8. Возобновляемые источники энергии на службе человека/ Б.М. Берковский, В.А. Кузьминов. – М.: Наука, 1987. - 128 с.
9. Рабинович М. Альтернативна енергетика: проблеми класифікації та положення Кіотського протоколу / М. Рабинович // Проблеми загальної енергетики. – 2003. – № 9. – 387 с.
10. Гелехута Г.Г. Сучасний стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні. Ч.1. /Г.Г. Гелехута, Т.А. Желєзна // Пром. Техніка. – 2010. – Т. 32, №3. – С. 71-79.
11. Дероган Д.В., Щокін А.Р. Перспективи використання енергії та палива в Україні з нетрадиційних та відновлюваних

джерел. //Бюл. Новітні технології в сфері нетрадиційних і відновлюваних джерел.

12. Бабієв Г.М., Дероган Д.В., Щокін А.Р. Перспективи впровадження нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії в Україні. // Електричний журнал, – Запоріжжя: ВАТ «Гамма», 1998 №1, – С.63-64.

13. Войцицький А.П., Войцицький М.А. Технічні засоби обліку витрат енергоносіїв: Навч. посібник/ А.П. Войцицький, М.А. Войцицький. Житомир: ЖНАЕУ, 2016. – 160с.

14. Виссарионов, Г.В. Дерюгина, В.А. Кузнецова, Н.К. Малинин. Солнечная энергетика: учебное пособие для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. - 276 с. , 2014. – 214с.

15. Войцицький А.П., Дубровський В.П., Боголюбов В.М. Техноекоекологія: підручник. – К.: Аграрна освіта, 533с. –2009р.

16. Войцицький А.П., Муляр О.Д., Нездвецька І.В. Інженерна екологія: навч. посіб. – Житомир: ЖНАЕУ, 2014. – 496с.

17. Блюм Я.Б., Гелетука Г.Г., Григорюк І.П. та ін. Новітні технології біоенергоконверсії. – К: «Аграр Медіа Груп», 2010. – 326 стор.

18. Железна Т.А., Олійник Є.М., Гелетука А.І. Перспективи виробництва електричної енергії з біомаси в Україні // Промислова теплотехніка. – 2013, Т. 35, № 6. – С. 67-75.

19. Хайнрих Г., Найорк Х., Нестлер В. Теплонасосные установки для отопления и горячего водоснабжения. – М.: Стройиздат, 1985. – 351с.

20. Енергетична стратегія України на період до 2030 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: // zakon.rada.gov.ua/signal/kr06145a.doc.

21. Сучасні досягнення в галузі керованого термоядерного синтезу і фізики плазми та пріоритетні напрями міжнародного співробітництва / Постанова Президії НАН України від 22.03.2013 р. № 115 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www1.nas.gov.ua/infrastructures/Legaltexts/nas/2013/regulations/OpenDocs/130918_115.pdf

23. Альтернативні джерела енергії: підручник / А.П. Войцицький, Т.П. Резніченко, М.А. Войцицький [та ін.] ; Житомир : ЖНАЕУ, 2017. – 280 с.

24. Виробництво та використання дизельного біопалива на основі рослинних олій [Г.А. Голуб, М. Ю.Павленко, В.В.Чуба, С.М.Кухарець, за ред. Г.А.Голуба]. – К.:НУБіП України, 2015. – 119 с.
25. Теоретичні аспекти класифікації енергетичних ресурсів: Науковий вісник Ужгородського національного університету. Випуск 7, частина 2 • 2016. С10-14.
26. Твайделл Дж. Возобновляемые источники энергии / Дж. Твайделл, А. Уэйр. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 392 с.
27. Використання енергії сонця в сучасному енергозабезпеченні України: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/ophv_1/page5.html
28. Відновлювальні джерела енергії: теплові насоси «грунт-вода»: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://aw-therm.com.ua/teplovi-nasosi-grunt-voda-vidnovlyuvalni-dzherela-energiyi/>
29. Альтернативні джерела енергії: підручник / А.П. Войцицький, Т.П. Резніченко, М.А. Войцицький [та ін.]– Житомир : ЖНАЕУ, 2017. – 280 с.
30. Говорушко С.М. Воздействие ветровых электростанций на окружающую среду // International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology, - Scientific Technical Centre «ТАТА», 2011.- № 4 (96). С. 38-42.
31. Шмідт Г., Конеченков А., Гріцишина М. Відновлювана енергетика вітрові електростанції: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://uwea.com.ua/uploads/reviews/uwea_2019_ua_preview.pdf
32. Дурас М.В. Типи автономних джерел електричної енергії України та способи їх підключення до споживачів // Вчені записки таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2018. - Том 29 (68) № 4. Частина 2. С. 36-41.
33. Про альтернативні джерела енергії: Закон України від 20.02.2003 р. № 555-IV. Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2003, № 24, ст.155.

34. Дурас М.В. Визначення вагомості впливу факторів альтернативної електроенергетики на річне електроспоживання в областях України методом кореляційного аналізу Пірсона // XXVII Міжнародної науково-технічної конференції «Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві»: матеріали міжнар. наук.-практ. конф., Глеваха, 2019. С. 111-113.
35. Дурас М.В., Лавріщев О.О., Мельничук В.В. Визначення факторів впливу на прийняття рішення про доцільність використання відновлювальних джерел електричної енергії // Вчені записки таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Том 30 (69) № 1. 2019. Частина 2.
36. Final communication from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions. Energy Roadmap 2050. European Commission brussels, 15.12.2011 :[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://web.archive.org/web/20190626083553/https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0885&from=EN>
37. Kyoto Protocol to the united nations framework convention on climate change :[Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtid_sg_no=XXVII-7-a&chapter=27&clang=_en
38. Alister Doyle, Barbara Lewis With landmark climate accord, world marks turn from fossil fuels // Reuters, december 12, 2015 :[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.reuters.com/article/us-climatechange-summit-iduskbn0tv04l20151212#gvykudbatcd0egd1x.97>
39. Мхитарян Н.М. Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников. К., Наукова думка. 1999.-314 с.
40. Білодід В.Д. Відновлювані джерела енергії в енергетиці України / В. Д. Білодід // Наука та наукознавство. - 2006. - №3. - с. 87-94.
41. Гайдай А.В. Сучасні проблеми енергетики Конспект лекцій для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка» денної та заочної форми навчання Луцьк, НТУ 2016

42. Петунии В. П. Теплоэнергетика ядерных установок М: Атомиздат, 1960.

43. К. Ллуэллин-Смит. На пути к термоядерной энергетике. Материалы лекции, прочитанной 17 мая 2009 года в ФИАНе.

44. Сігал І.Я., Ландау Ю.О., Дунаєвська Н.І., Данилко Г.Д., Плачков І.В., Київський М.І. Функціонування енергетики в сучасному світі // 2012-2013 Енергетика: історія, сучасність і майбутнє. Частина 1 Книга 5. Електроенергетика та охорона навколишнього середовища

: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://energetika.in.ua/ua/books/book-5/part-1/section-2/2-1/2-1-2>

45. Як вибрати тепловий насос. Теплові насоси та їх переваги // Екосистем : [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ekosystem.lviv.ua/p-nasos>

46. Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії / С.О. Кудря. – К.: НТУУ, «КП», 2012. – 492.

47. Енергетика: історія, сучасність і майбутнє. Розвиток теплоенергетики та гідроенергетики / Базеев Є.Т., Білека Б.Д., Васильєв Є.П., Варламов Г.Б., Київ 2011. 400 с.

48. Костенко В.К., Колеснікова В.В., Зав'ялова О.Л. Альтернативні джерела енергії для студентів денної форми навчання / Конспект лекцій з вибіркової навчальної дисципліни циклу дисциплін за вибором ВНЗ, Донецьк, 2013.

49. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» / Розпорядження Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605-р : [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://mepr.gov.ua/files/images/news_2020/21012020/%D0%95%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B0%20%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%B3%D1%96%D1%8F%20%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B8%20%D0%BD%D0%B0%20%D0%BF%D0%B5%D1%80%D1%96%D0%BE%D0%B4%20%D0%B4%D0%BE%202035%20%D1%80%D0%BE%D0%BA%D1%83.pdf

50. Renewable energy statistics // Eurostat statistics explained :[Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics
51. Denmark - Commercial guide to the country:[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.trade.gov/country-commercial-guides/denmark-renewable-energy-products>
52. Distribution of electricity generation in Denmark in 2021, by source // Energy & Environment :[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.statista.com/statistics/1235360/denmark-distribution-of-electricity-production-by-source/>
53. Denmark commissions Scandinavia's largest wind farm // State of green :[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://stateofgreen.com/en/news/denmark-commissions-scandinavias-largest-wind-farm/>
54. Березина Д. Німеччина і Данія запускають проєкт із вітроенергетики//:[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://tokar.ua/read/50961>
55. Germany's Wind Energy Industry - Opportunities in a Sustainable Business Environment // GTAI Germany trade and invest Wind Industry :[Електронний ресурс]. – Режим доступу:<https://www.gtai.de/en/invest/industries/energy/wind-energy>
56. Worldwide Wind Capacity Reaches 744 Gigawatts -An Unprecedented 93 Gigawatts added in 2020 :[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://wwindea.org/worldwide-wind-capacity-reaches-744-gigawatts/>
57. Madhumitha Jaganmohan. Leading countries in installed renewable energy capacity worldwide in 2021 // 19.10. 2022 :[Електронний ресурс]. – Режим доступу:<https://www.statista.com/statistics/267233/renewable-energy-capacity-worldwide-by-country/>
58. Найпотужніші сонячні електростанції України//Інфографіка, 03.03.2020:[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ukrinform.ua/rubric->

other_news/2887951-najpotuznisi-sonacni-elektrostanicii-ukraini-infografika.html

59. The Biden-Harris administration approved the construction of two solar projects in California //

US Department of the Interior Conservation and Energy for Our Future, 13.06.2022 :[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.doi.gov/pressreleases/biden-harris-administration-approves-construction-two-solar-projects-california>

60. MIRROR ENERGY: a mirror power plant was launched in the USA // Agro Day :[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://agroday.com.ua/2019/06/24/korejska-kompaniya-vstanovyt-na-zakarpatti-ses-vartistyu-24-mln/>

61. Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання скидного енергопотенціалу: Закон України від 05.04.2005 р. № 2509-IV. Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2005, № 20, ст.278

62. Філоненко, В. М. Когенерація / В. М. Філоненко. – Київ : ЮНІДО, 2015. – 58 с.

63. Про затвердження Правил присудження когенераційних установок до теплових мереж: Наказ Міністерства з питань житлово-комунального господарства України від 24.07.2009 №223. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0778-09#Text>

64. Когенерационные системы с тепловыми двигателями: справочное пособие. – В 3-х частях / Клименко В. Н., Мазур А. И., Сигал А. И.; под ред. А. И. Мазира. – К.: ИПЦ АЛКОН НАН Украины, 2008. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uabio.org/materials/9369/>

65. Часть 1: Общие вопросы когенерационных технологий. – К.: ИПЦ АЛКОН НАН Украины, 2008. – 560 с.

66. Steam. Heat. Electricity. Информационные материалы фирмы Standartkessel. – 1996, № 4. – 19 р.; 1997, № 5. – 19 р.; см. также Cogeneration plants: gas turbines and diesel engines with SKG waste heat boilers and multi-purpose boilers. – 1993, № 3. – 7 р.

67. EUROPEAN COMMISSION Reference Document on Best Available Techniques for Energy Efficiency February 2009 :

- [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/ENE_Adopted_02-2009.pdf
68. Nuutila, M. (2005). «Energy Efficiency in Energy Production».
69. DIRECTIVE 2004/8/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 11 February 2004 on the promotion of cogeneration based on a useful heat demand in the internal energy market and amending Directive 92/42/EEC: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32004L0008&from=DE>
70. Kreith, F. a. R. E. W. (1997). «CRC Handbook of Energy efficiency», CRC Press. 1113 p.
71. Газопоршнева когенераційна установка СЕРІЯ MWM TCG 3016 V16 S. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://automotors.com.ua/products/tcg-3016-v16-s-uk/>
72. Способи отримання електроенергії й тепла за допомогою когенерації : [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.kts-eng.com/solutions/kogeneraciya/>
73. Газопоршневая когенераційна установка : [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://powerlink.com.ua/ua/p1249650821-mini-tets-powerlink.html>
74. Абсорбційні бромисто-літєві холодильні машини: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://powerlink.com.ua/ua/p1256045449-absorbtsionnye-bromisto-litievye.html>
75. Технології когенерації та Тригенерації: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://tedom-nkm.com.ua/ua/kogeneraciya_i_trigeneraciya
76. Системи комбінованого виробництва охолодження, тепла і електроенергії : [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.kts-eng.com/solutions/trygeneraczyya/>
77. Громов Б. Н., Сердюкова М. А., Панфилов А. Ю. Энергетическая эффективность тригенерации для зданий в

мегаполісах. «Енергосбереження» № 1, 2016. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6364

78. Павелко, В. І. Абсорбційні холодильні машини в системах теплохолодопостачання підприємств різних галузей промисловості та СКП / В. І. Павелко, А. І. Заславський, Я. І. Засядько // Мясное дело – 2008. - № 4. – С. 42-44. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://dspace.nuft.edu.ua/bitstream/123456789/9207/1/Zhurnal_myoasnoe_delo_4.pdf

79. Олійник Є., Антоненко В., Чаплигін С., Зубенко В., Железна Т., Гайдай О., Крамар В., Епик О. «Підготовка та впровадження проєктів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні». Практичний посібник/За ред. Г. Гелетука. – К.: «Поліграф плюс», 2015. – 72 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://saee.gov.ua/sites/default/files/secbiomass-booklet-heat-production%20%281%29.pdf>

80. Climatic scenarios: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ngfs.net/ngfs-scenarios-portal/explore/>

81. Bioenergy plays a crucial role in achieving the scenario Net Zero: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.iea.org/reports/bioenergy>

82. Biomass. Official website of the European Union: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/bioenergy/biomass_en

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ



Дурас Марія Володимирівна - викладач кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки ЖАТФК. Науково-педагогічний стаж понад 8 років. Автор та співавтор понад 30 наукових і навчально-методичних праць, у тому числі: 1 патент на корисну модель та 8 фахоаих статей. Сфера наукових інтересів: альтернативна енергетика, автоматизація технологічних процесів.



Войцицький Анатолій Павлович доцент – викладач кафедри електро-енергетики, електротехніки та електро-механіки ЖАТФК. Автор понад 120 наукових і навчально-методичних праць, у тому числі: 8 підручників, 25 навчального посібника, 2 авторські свідоцтва на винахід та дві типових програми тощо. Наукові компетенції – спеціалізовані силові імпульсні пристрої, альтернативна енергетика та захист довкілля.



Муляр Олександр Дмитрович – доцент, кандидат сільськогосподарських наук – викладач вищої категорії ЖАТФК. Науково-педагогічний стаж понад 20 років. Автор і співавтор 128 науково-методичних праць у т.ч. 1 підручник, 10 навчальних посібників, 2 патенти на винахід, 8 типових навчальних програм. Сфера наукових інтересів: технології (біотехнології) виробництва продукції рослинництва, та застосування нової високопродуктивної сільськогосподарської техніки.

Навчальне видання

**Дурас Марія Володимирівна
Войцицький Анатолій Павлович
Муляр Олександр Дмитрович**

Підручник

**ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ НЕТРАДИЦІЙНОЇ ТА
ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ**

Оригінал-макет – Дурас М.В.
Дизайн обкладинки – Войцицький А.П.

Надруковано з оригінал-макета авторів
Підписано до друку 5.4. 2014 Формат 60х90/16.
Гарнітура Times New Roman. Друк різнографічний.
Ум. друк. арк. 12. Наклад 300. Зам. № 47.
Вид-во ПНУ м. Житомир



Дурас М.В.



Войцицкий А.П.



Муляр О.Д.

