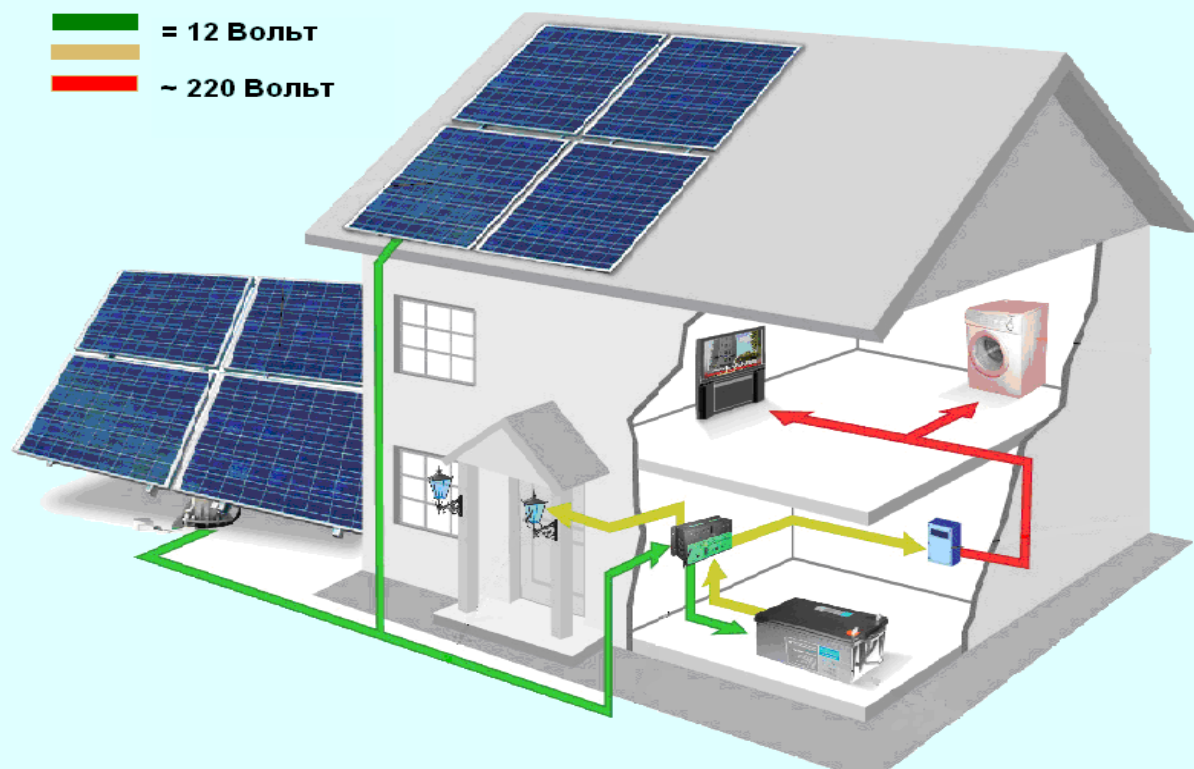


Міністерство освіти і науки України  
Таврійський державний агротехнологічний університет

ГАЛЬКО С. В., ЖАРКОВ В. Я., ЖАРКОВ А. В.

# ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЗАСОБИ ПЕРЕТВОРЕННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ПРИВАТНИХ ДОМОГОСПОДАРСТВ



Мелітополь  
2019

Міністерство освіти і науки України  
Таврійський державний агротехнологічний університет

ГАЛЬКО С. В., ЖАРКОВ В. Я., ЖАРКОВ А. В.

ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЗАСОБИ ПЕРЕТВОРЕННЯ  
ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ  
ДЛЯ ПРИВАТНИХ ДОМОГОСПОДАРСТВ

Монографія

Мелітополь

2019



**УДК 620.92**

**Г17**

*Схвалено і рекомендовано до друку методичною комісією Енергетичного факультету  
Таврійського державного агротехнологічного університету  
(протокол № 4 від «26» грудня 2018 р.)*

**Рецензенти:**

**Мірошник О. О.** - д.т.н., професор, завідувач кафедри «Електропостачання та енергетичного менеджменту», Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка

**Пазюк М. Ю.** - д.т.н., професор, завідувач кафедри «Автоматизованого управління технологічними процесами», Запорізька державна інженерна академія

**Назаренко І. П.** - д.т.н., професор, завідувач кафедри «Електротехнології і теплові процеси», Таврійський державний агротехнологічний університет

**Галько С. В.**

Технології та засоби перетворення відновлюваних джерел енергії для приватних домогосподарств: монографія / С. В. Галько, В. Я. Жарков, А. В. Жарков. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2019. - 215 с.

**ISBN**

У монографії наведена загальна характеристика енергетики України: структура виробництва електроенергії, її експорт, екологічні проблеми розвитку, види відновлюваних джерел енергії. Детально розглянуто питання перетворення енергії сонця та вітру в теплову та електричну: обґрунтовані засоби перетворення, їх види і типи, принципи роботи. Наведені розроблені та запатентовані авторами монографії засоби, способи і технології отримання відновлюваної енергії. Запропоновані заходи щодо підвищення енергоефективності споживачів відновлюваної енергії.

Монографія призначена для наукових та інженерно-технічних працівників, що спеціалізуються в галузі використання і виробництва відновлюваних джерел енергії, а також викладачів і студентів енергетичних факультетів закладів вищої освіти.

© Галько С. В., Жарков В. Я. Жарков А. В.

© «Таврійський державний

агротехнологічний університет», 2019

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	6
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ЕНЕРГЕТИКА УКРАЇНИ. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА.....	10
1.1 Структура виробництва електроенергії в Україні.....	10
1.2 Екологічні проблеми розвитку.....	13
1.3 Розвиток відновлюваної енергетики у світі.....	13
1.4 Відновлювана енергетика України.....	16
1.4.1 Виробництво електричної енергії об'єктами відновлюваної енергетики, що працюють за “зеленим” тарифом.....	16
1.4.2 Вітроенергетика.....	21
1.4.3 Сонячна електроенергетика.....	22
1.4.4 Окупність сонячних електростанцій в Україні.....	24
1.4.5 Причини переходу до відновлюваних джерел енергії.....	26
1.5 Мала вітроенергетика в Україні.....	28
1.6 Оцінка ефективності використання відновлюваних джерел енергії...	31
1.7 Експорт електроенергії.....	39
РОЗДІЛ 2. ЗАСОБИ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ СОНЦЯ В ТЕПЛОТУ.....	41
2.1 Обґрунтування засобів перетворення енергії сонця в теплоту.....	41
2.2 Сонячні опалювальні системи для обігріву будівель.....	41
2.3 Види і типи сонячних колекторів.....	42
2.4 Принцип роботи вакуумного сонячного колектора.....	45
2.5 Плоскі сонячні колектори.....	47
2.6 Сонячні колектори для власних будинків.....	48
РОЗДІЛ 3. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ЗАСОБІВ ПЕРЕТВОРЕННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРИЧНУ.....	51
3.1 Обґрунтування матеріалу для сонячних панелей.....	52
3.2 Будова присадибної СЕС.....	56
3.3 Особливості експлуатації присадибної СЕС.....	57
3.3.1 Експлуатація сонячних батарей.....	58
3.3.2 Система сонячного електропостачання домогосподарства.....	59
3.4 Підвищення ефективності присадибних СЕС.....	61
3.4.1 Залежність ККД фотоелектричного модуля від температури...	62
3.4.2 Обґрунтування конструкції фотоелектричних модулів з підвищеним ККД.....	63
3.5 Розробка присадибної СЕС з охолоджувальним ФЕМ циліндричної форми.....	69
3.6 Розробка присадибної когенераційної СЕС з гібридними фотомодулями.....	71
3.7 Використання тригенераційної технології.....	76

3.8 Розробка присадибної СЕС з системою автоматичного стеження фотопанелі за сонцем.....	79
3.9 Аналіз роботи приватних дахових СЕС.....	81
3.9.1 Використання СЕС на переробних підприємствах.....	81
3.9.2 Перспективи СЕС для зарядки екомобілів.....	85
<b>РОЗДІЛ 4. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ЗАСОБІВ</b>	
<b>ВИКОРИСТАННЯ ВІТРОВОЇ ЕНЕРГІЇ.....</b>	<b>89</b>
4.1 Обмежувальні властивості вітру як джерела енергії.....	89
4.2 Класифікація вітроустановок. Типи вітродвигунів.....	90
4.2.1 Еволюція вітродвигунів.....	90
4.2.2 Класифікація вітроенергетичних установок.....	92
4.2.3 Типи вітродвигунів.....	93
4.3 Будови і конструктивні схеми ВЕУ.....	98
4.3.1 Будова ВЕУ з крильчастим вітродвигуном.....	98
4.3.2 Будова ВЕУ з вертикальною віссю обертання.....	102
4.3.3 Порівняльна характеристика роботи ВЕУ.....	108
4.4 Основні принципи конструювання ВЕУ малої потужності.....	109
4.4.1 Кількість лопатей ВЕУ і їх конструкція.....	111
4.4.2 Кут установки лопатей.....	113
4.4.3 Тип трансмісії і частота обертання вітрової турбіни.....	113
4.4.4 Тип генератора.....	114
4.4.5 Система орієнтації на вітер і розташування ротора щодо башти.....	115
4.5 Аналіз роботи індукційних перетворювачів.....	115
4.6 Експериментальне і математичне дослідження параметрів магнітної системи ППЕВТ.....	129
4.6.1 Експериментальне дослідження параметрів магнітної системи.....	129
4.6.2 Математична обробка заміру параметрів магнітної системи....	132
4.6.3 Розробка програмного продукту та проведення розрахунків....	132
4.6.4 Методика розрахунку параметрів ППЕВТ.....	133
4.7 Когенераційна технологія перетворення енергії вітру.....	134
4.7.1 Розробка ППЕВТ когенераційного вітропарку.....	135
4.7.2 Безредукторний малопотужний ВЕГ.....	136
4.7.3 Малопотужний ВЕГ зі здвоєним ротором спрощеної конструкції.....	141
4.7.4 Розробка ефективних ВЕГ для когенераційного вітропарку.....	145
4.7.5 ВЕУ зі змінною оптимальною частотою обертання.....	146
4.7.6 Методика розрахунку вітроелектрогенератора на неодимових магнітах.....	149
4.7.7 Приклад розрахунку вітроелектрогенератора.....	152
4.7.8 Когенераційний вітропарк підвищеної продуктивності.....	153



4.8 Узгодження роботи автономної ВЕУ з електроспоживачами.....	158
<b>РОЗДІЛ 5. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕПЛОНАСОСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА</b>	
<b>ЗАСОБІВ.....</b>	<b>160</b>
5.1 Теплонасосна технологія.....	160
5.2 Вітротеплонасосна енергоустановка.....	166
5.3 Присадибна вітротеплонасосна установка.....	170
5.4 Тепловий насос спрощеної конструкції “Цезар”.....	174
5.5 Компресійний тепловий насос для охолодження напоїв.....	178
5.6 Використання теплових акумуляторів для обігріву домогосподарств..	180
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>186</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>191</b>
<b>СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....</b>	<b>201</b>

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ОЕС - об'єднана електроенергетична система  
ЕС – енергетична система  
СК – сонячний колектор  
ВЕС – вітроелектростанція  
ВЕУ – вітроелектроустановка  
ВЕГ - вітроелектрогенератор  
СГВ – сільськогосподарське гаряче водопостачання  
ВДЕ – відновлювані джерела енергії  
СЕС – сонячна електростанція  
ТО – теплообмінник  
ГВП – гаряче водопостачання  
ФЕП – фотоелектричний перетворювач  
СФЕС – сонячна фотоелектрична станція  
СБ – сонячна батарея  
ФЕМ – фотоелектричний модуль  
ШЕВТ – індукційний перетворювач енергії вітру в теплоту  
ТН – тепловий насос  
ВТУ – вітротеплова установка  
ВТНУ - вітротеплонасосна установка  
ВТНЕУ - вітротеплонасосна енергоустановка  
ДНТ – джерело низькотемпературної теплоти  
ВД – вітровий двигун  
НПТ – низькопотенціальна теплота

## ВСТУП

У всьому світі питання енергозбереження стає все більш актуальним. Це не тільки економічна вигода для споживачів та зменшення навантаження на електричні мережі, а також, збереження навколишнього середовища для наших нащадків. Європейський Союз зобов'язався знизити своє щорічне споживання первинної енергії на 20% до 2020 року [101].

Згідно з вимогами Європейського Союзу, частка ВДЕ у національному енерговиробництві країн, що прагнуть до вступу в Європейське співтовариство, повинна становити не менше 6%, або з врахуванням великої гідроенергетики – не менше 12%. За попередніми розрахунками, у 2017 році у світі було встановлено рекордні 160 ГВт потужностей з ВДЕ. З них 98 ГВт дають сонячні електростанції, 56 ГВт - вітрові [36].

За станом на кінець 2014 р. у всьому світі було встановлено 945000 малих ВЕУ потужністю 830 МВт [107]. Найбільша частка малих ВЕУ, як і раніше, знаходиться в трьох країнах: Китай - 41% нових потужностей, США - 30% і Великобританії - 15%. Китай продовжує залишатися лідером за доданими ВЕУ - близько 64000 од., досягнувши 689000 од., встановлених до кінця 2014 р.

WWEA прогнозує, що до 2020 р. загальна встановлена потужність малих ВЕУ у світі досягне 5 ГВт, а ринок нових невеликих ВЕУ - близько 1 ГВт [106].

В більшості розвинених країн заплановано у першій половині ХХІ ст. довести частку ВДЕ в загальному енергобалансі до 20...50 %. Адже енергонезалежність країни полягає у ефективності споживання енергоресурсів та диверсифікації джерел енергії [107].

Згідно Енергетичній стратегії України на період до 2030 року серед напрямків підвищення ефективності функціонування енергетики країни анонсовано впровадження заходів енергозбереження, збільшення використання ВДЕ, зокрема в системі енергозабезпечення приватних домогосподарств. Проблема підвищення енергетичної ефективності в усіх секторах економіки та



енергозберігаючої політики на рівні приватних домогосподарств в усьому світі розглядається як одна з найбільш актуальних.

До 2020 року Україна зобов'язалася збільшити частку “зеленої” генерації до 11%. Сьогодні ця цифра - близько 6% від виробництва електроенергії в Україні.

Паризька кліматична угода, яка набула чинності 4 листопада 2015 р. взамін Кіотського протоколу, має стримати глобальне потепління на планеті. Згідно з угодою, уряди всіх країн, які її ратифікували, і Україна зокрема, тепер зобов'язані стримувати зростання середньої температури на рівні не більше 2°C. При вирішенні питання узгодження потреб споживачів з можливостями ВДЕ значно поліпшиться енергобаланс сільськогосподарського виробництва і ОЕС України.

Останнім часом Україна, і Запорізька область зокрема, приєдналася до світової спільноти щодо впровадження відновлюваної енергетики. У 2014 році в Запорізькій області введена в експлуатацію найбільша вітроелектростанція України - Ботієвська ВЕС, потужністю 200 МВт, яка у 2014 р. виробила 651 млн. кВт·год електроенергії. Екологічний ефект роботи Ботієвської ВЕС еквівалентний скороченню викидів в атмосферу 730 тис. т вуглекислого газу на рік.

3 жовтня 2012 року в селі Нове Токмацького району працює перша в Запорізькій області сонячна електростанція “Токмак Солар Енерджі” потужністю 10 МВт. Надалі загальна потужність буде збільшена до 22...23 МВт.

3 2013 р. на даху приватного будинку в с. Семенівка Мелітопольського району працює вакуумний сонячний колектор “Altek” продуктивність 500...600 л за добу температурою 70...95°C.

Таким чином удосконалення та розробка технологій і засобів перетворення ВДЕ - актуальна науково-практична задача.

Значний внесок в розвиток ВДЕ та їхньої інтеграції в ОЕС України внесли вітчизняні вчені: Головка В. М., Кудря С. О., Немировський І. А., Кириленко О. В., Козирський В. В., Кулик В. В., Лежнюк П. Д., Резцов В. Ф., Тугай Ю.

І., Червінський Л. С., Яндульський О. С.; зарубіжні: Воронін С. М., Стребков Д. С., Юдаєв І. В., Jon W. Twidell, Anthony D. Weir та ін.

Новизна удосконалених авторами монографії технологій і засобів перетворення відновлюваної енергії підтверджена 30 патентами України на корисні моделі.

Вступ і розділ 1 написаний кандидатом технічних наук, доцентом С. В. Галько, підрозділи 3.3, 4.1 – інженером А. В. Жарковим, розділ 5 - кандидатом технічних наук, доцентом В. Я. Жарковим, інші розділи написані спільно.

У виготовлені та дослідженнях дослідних зразків розроблених і запатентованих пристроїв перетворення ВДЕ приймали участь магістранти: Верещагін Д. В., Новак Б. С., Лучанінов В. Ю. та інші.

Автори висловлюють щире подяку докторам технічних наук, професорам М. Ю. Пазюку, О. О. Мірошнику, І. П. Назаренку за ряд цінних зауважень зроблених під час рецензування рукопису.

Таблиця 1.2 - Атомні електростанції

Назва АЕС	Фактична потужність, МВт	Побудова першої черги
Рівненська	2835	1973-1980
Південноукраїнська	3000	1975-1982
Запорізька	6000	1981-1984
Хмельницька	2000	1981-1987

ОЕС України об'єднує в паралельну роботу ТЕС, АЕС, ГЕС, ВЕС та СЕС сумарною встановленою потужністю на 01.01.2018 р. - 54735,0 МВт, що наведено у таблиці 1.3, а структура виробництва електроенергії приведена на рисунку 1.1.

Структура виробництва електроенергії

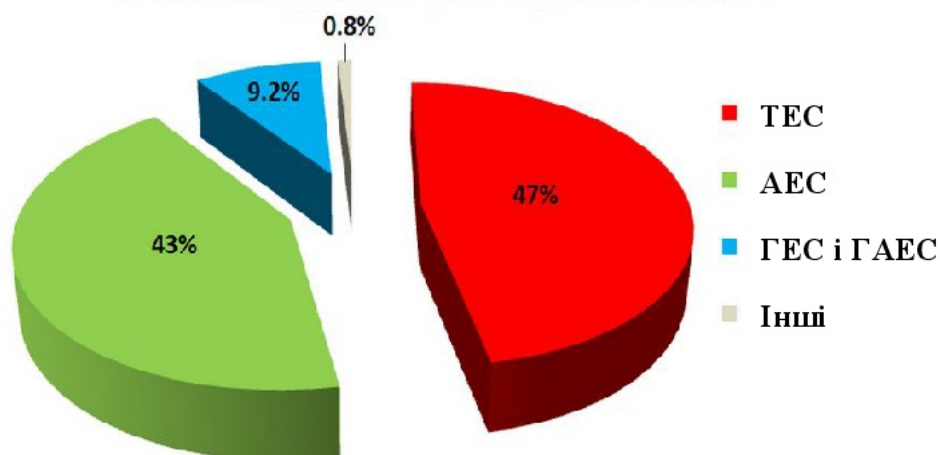


Рисунок 1.1 - Сегменти сучасної електроенергетики України

Таблиця 1.3 – Установлена потужність електростанцій України, МВт

Найменування показника	на 01.01.2016 р.	на 01.01.2017 р.	Очікувані на 01.01.2018 р.
Всього, у т.ч.	53 777,6	54 504,4	54 735,0
1.ТЕС ГК	27 408,0	27 616,0	27 700,0
2. ТЕЦ	3 138,6	3 140,1	3 140,1
3. ГЕС	4 544,7	4 544,0	4 563,4
4. ГАЕС(ген./спож.)	861,5/876	861,5/876	861,5/876
5. АЕС	13 835,0	13 835,0	13 835,0
6. Блок-станції і ін.	3 404,1	3 563,2	3 537,9
7. Електростанції на АДЕ, у т.ч.	585,7	944,6	1 097,1
7.1. ВЕС	262,8	371,7	498,2
7.2. СЕС	317,8	563,4	574,3
7.3. ЕС на біомасі	5,1	9,5	24,6



Фактичне виробництво електроенергії в Україні в 2017 році в рамках ОЕС:

ТЕС і ТЕЦ - 45,7% (87,01 ТВт·год)

АЕС - 44,6% (84,9 ТВт·год)

ГЕС і ГАЕС - 5,1% (9,6 ТВт·год)

Блок-станції і комунальні ТЕЦ - 4,5% (8,71 ТВт·год)

Таблиця 1.4 - Обсяги виробництва електричної енергії на електростанціях ОЕС України у 2010-2017 роках, млрд. кВт·год

Найменування	Рік							
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Виробництво	195,3	191,9	173,1	188,1	194,1	198,1	193,6	181,9
Відхилення: (+, -) до попереднього року, %	+1,6	-1,7	-9,8	+8,7	+3,2	+2,1	-2,3	-6,0

Фактичне виробництво електроенергії в Україні до 2017 р. подано на рисунку 1.2.

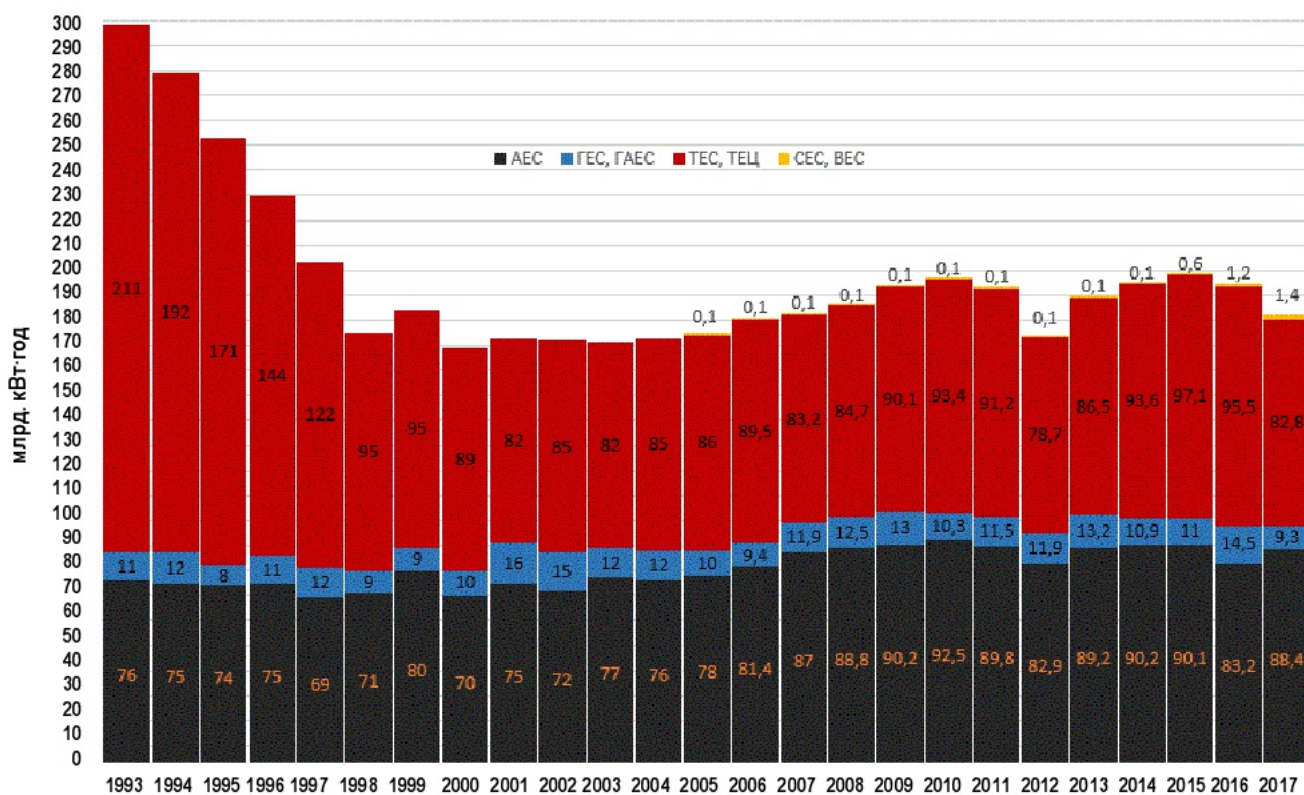


Рисунок 1.2 – Виробництво електроенергії в Україні за 1993-2017 роки [100]

## 1.2 Екологічні проблеми розвитку

Одним з основних факторів, що обмежує розвиток електроенергетики на Україні є екологічний. Викиди від роботи цієї галузі становлять близько 30% всіх твердих часток, що надходять в атмосферу внаслідок господарської діяльності людини. За цим показником електростанції зрівнялися з підприємствами металургії, і випереджають всі інші галузі промисловості. Крім того, енергетика виробляє до 63% сірчаного ангідриду і понад 53% окису азоту, що надходять у повітря від стаціонарних джерел забруднення. Вони є основним джерел кислотних дощів на Україні. Негативний вплив на навколишнє середовище зробило будівництво гідроелектростанцій. Будівництво ГЕС на Дніпрі (крім Дніпрогесу) призвело до затоплення значних територій. Водосховища підняли рівень ґрунтових вод, що стало причиною інтенсивного руйнування крутих берегів [8].

Важливою для України є безпека. Катастрофа на Чорнобильській АЕС перетворила значну частину країни в зону екологічного лиха. Найбільш забрудненими виявилися Київська, Житомирська, Вінницька, Рівненська, Чернігівська та Черкаська області. Крім ґрунту, радіаційному забрудненню піддалися лісові та водні ресурси, важливі для життєдіяльності громадян України.

## 1.3 Розвиток відновлюваної енергетики у світі

Світові енергетичні потужності за типом енергетики та глобальні світові інвестиції у ВДЕ до 2017 р. наведені на рисунках 1.3-1.4.

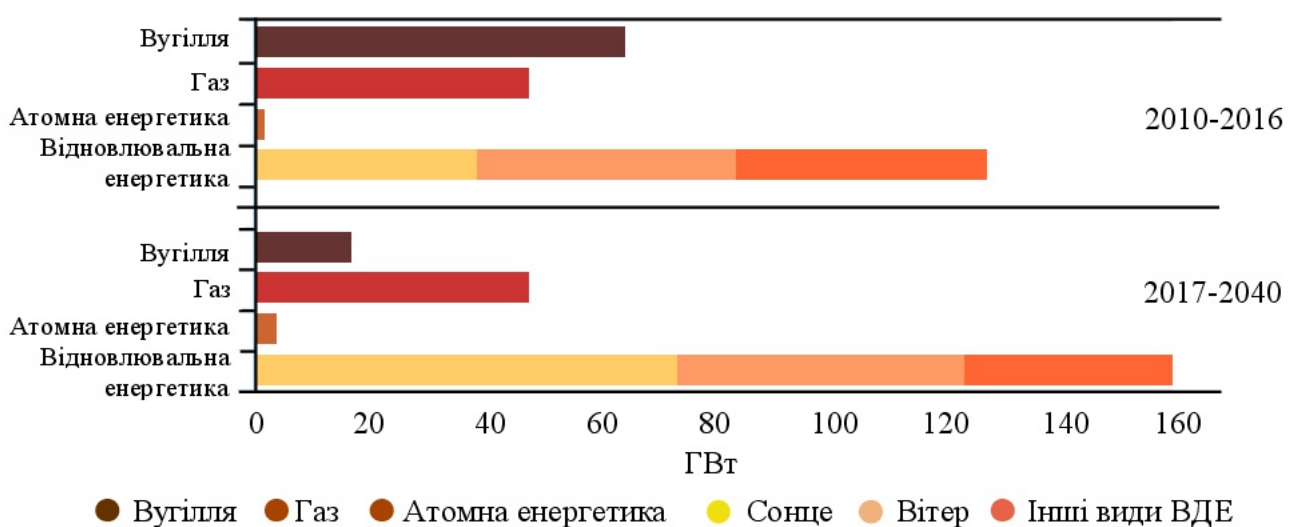


Рисунок 1.3 - Світові енергетичні потужності за типом енергетики

За попередніми розрахунками, у 2017 році у світі було встановлено рекордні 160 ГВт потужностей з ВДЕ. З них 75 ГВт дають сонячні електростанції, 51 ГВт - вітрові (рисунок 1.3). Глобальні світові інвестиції у ВДЕ у 2017 році зросли на 3% у порівнянні з 2016 роком і досягли 333,5 млрд. дол., проте, рекордний показник 2015 року (360 млрд. дол.) побитий не був (рисунок 1.4).

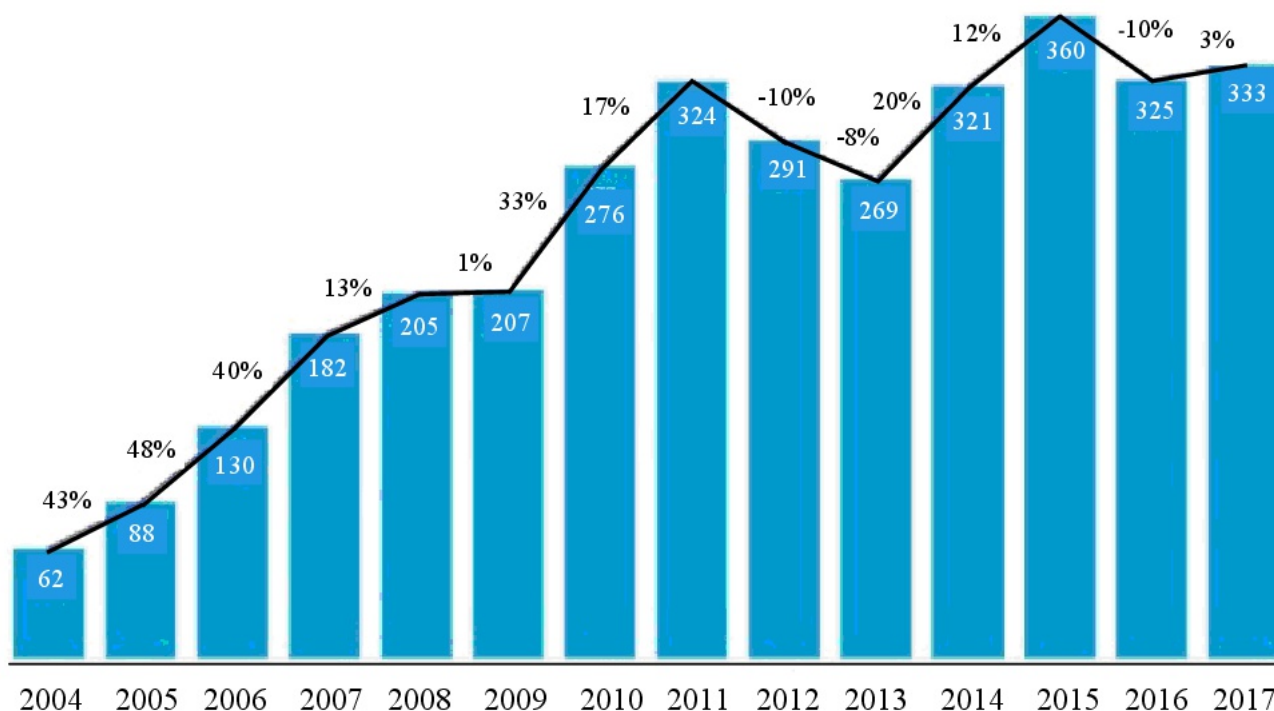


Рисунок 1.4 - Глобальні світові інвестиції (млрд. дол.) у чисту енергетику за 2004-2017 роки

Зміни у світовій енергетиці прискорюються. Наприклад, ціни на сонячну енергію продовжують швидко падати. За розрахунками Bloomberg New Energy [94], у 2017 році ціна 1 МВт·год виробленої із сонця енергії подешевшала на 25% порівняно з 2015 роком. Лише у сонячну енергетику було вкладено 160,8 млрд. дол. - на 18% більше порівняно з 2016 роком. При цьому вартість впровадження таких проектів невпинно падає.

Міжнародне агентство відновлюваної енергетики (IRENA) підрахувало середню вартість відновлюваної енергії у світі і в окремих країнах. В середньому, в порівнянні з 2010 р., сонячна енергія подешевшала в 4 рази, вітрова енергія - на чверть.



Зростання інвестицій у ВДЕ в значній мірі забезпечив Китай, в якому вкладення в сонячну енергетику зросли на 58%. Значне зростання інвестицій у ВДЕ були зареєстровані у Франції (зростання на 15% до \$5 млрд.), в Бразилії (на 10% до \$6,2 млрд.), в Швеції (на 109% до \$4 млрд.), в Нідерландах (на 30% до \$3,5 млрд.), в Канаді (зростання за рік: 45% до \$3,3 млрд.).

Сонячна енергетика в структурі відновлювальної займає чинне місце. Її темпи інвестицій в неї просто шалені. Наприклад, лише за рік в Мексиці збільшили інвестиції в сонячну енергетику на 800% - до \$ 6 млрд. Це дозволяє здешевлювати сонячні панелі, щороку вони дешевшають на 5...10%. До 2040 року їхня вартість може впасти на 66% від теперішньої.

За розрахунками дослідників, сонячні електростанції СЕС можуть перевершити АЕС за потужністю вже в 2020 році.

З 2000 р. виробництво сонячних батарей у світі зросло у 6 разів, у 2006-му досягло понад 17000 МВт, і продовжує зростати. У 2005 р. загальна потужність приєднаних до мережі сонячних батарей збільшилася на 55%, склавши 3,1 ГВт, що дозволило сонячній енергетиці стати найбільш розвинутим сектором енергетики. В Каліфорнії до 2017 р. планувалося установити сонячні панелі загальною потужністю 3000 МВт на 1 млн. дахів житлових будинків, підприємств і адміністративних будівель.

Знижка середньозваженої глобальної вартості (LCOE) в сонячній промисловій енергетиці за 2010...2017 рр. склала 73%, і досягла 10 центів за кВт·год.

В материковій вітроенергетиці LCOE знизилася за той же період на 23%. Сьогодні LCOE становить 6 центів за кВт·год, а в багатьох проектах реалізується по 4 цента за кВт·год. Рекордно низькі ціни зафіксовані в сонячній енергетиці в Абу-Дабі, Чилі, Дубаї, Мексиці, Перу та Саудівській Аравії (3 цента за кВт·год і нижче). До 2019 р. кращі проекти в сонячній і вітровій енергетиці будуть поставляти електроенергію по 3 цента і нижче.

У 2020 р. вартість (LCOE) ВДЕ буде знаходитися в інтервалі від 3 до 10 центів за кВт·год. При цьому сьогоднішній вартісний інтервал в генерації на

основі викопного палива в країнах G20 становить від 5 до 17 центів за кВт·год “в залежності від країни і палива”.

Країни Європейського союзу поставили ціль добитися мінімум 27% відновлюваної енергії до 2030 р., а на транспорті 14%-вої частки палива з ВДЕ.

За даними звіту World Energy Outlook 2017, з 2004 року у відновлювальну енергетику в світі вклали вже \$3 трлн. доларів, це 30 ВВП України за 2017 рік.

## 1.4 Відновлювана енергетика України

Україна пішла шляхом розвитку технологій відновлюваної енергетики, якими живе весь світ.

### 1.4.1 Виробництво електричної енергії об'єктами відновлюваної енергетики, що працюють за “зеленим” тарифом

У 2015 році в Україні встановлена потужність об'єктів ВДЕ, яким встановлено “зелений” тариф, становила 1469,21 МВт, з яких у цьому році було введено 7,062 МВт. 1,7 млрд. кВт·год “зеленої” електроенергії в 2014 році виробили вітро-, геліо- і електростанції на біомасі. Ще 9 млрд. кВт·год забезпечила “велика” гідроенергетика (ГЕС і ГАЕС).

Таблиця 1.5 - Виробництво електроенергії об'єктами ВДЕ за “зеленим” тарифом у 2010 - 2012 рр., млн. кВт·год [8]

Напрямок ВДЕ	Кількість об'єктів ВДЕ			Наявна потужність, МВт, у т.ч.:			Вироблено електроенергії, млн. кВт·год		
	2010	2011	2012	2010	2011	2012	2010	2011	2012
Вітроенергетика	8	11	14	76,6	146,4	193,8	49,2	89,0	257,5
Сонячна енергетика	2	18	41	2,5	188,2	371,6	0,5	30,1	333,6
Мала гідроенергетика	57	73	80	63,2	70,8	73,5	192,5	203,4	171,9
Біоенергетика	2	2	3	4,2	4,2	6,2	0,0	9,6	17,1
<b>Всього</b>	<b>69</b>	<b>104</b>	<b>138</b>	<b>146,5</b>	<b>409,7</b>	<b>645,1</b>	<b>242,2</b>	<b>332,1</b>	<b>780,7</b>

У 2014 році об'єктами відновлюваної енергетики, в тому числі ГЕС потужністю понад 10 МВт, вироблено 11,3 млрд. кВт·год, що становить 6,8 % від загального обсягу споживання електроенергії в Україні (165,97 млрд. кВт·год).

Таблиця 1.6 - Встановлена потужність та обсяг виробленої електроенергії об'єктами ВДЕ у 2010-2014 рр. [8]

Напрямок відновлюваної енергетики	Встановлена потужність, МВт					Виробництво електроенергії, млн. кВт·год				
	2010	2011	2012	2013	2014	2010	2011	2012	2013	2014
Вітроенергетика	76,6	146,4	193,8	334,1	513,9	49,2	89	257,5	636,5	1171,5
Сонячна енергетика	2,5	188,2	371,6	748,4	818,9	0,5	30,1	333,6	562,8	485,2
Мала гідроенергетика	62,5	70,8	73,5	75,3	80,3	192,5	203,4	171,9	286	250,7
Біомаса	4,2	4,2	6,2	17,2	35,2	0,002	9,6	17,7	32,4	60,9
Біогаз	-	-	-	6,5	13,9	-	-	-	5	39,3
<b>Всього</b>	<b>145,8</b>	<b>409,6</b>	<b>645,1</b>	<b>1181,5</b>	<b>1462,2</b>	<b>242,2</b>	<b>332,1</b>	<b>780,7</b>	<b>1522,7</b>	<b>2007,6</b>

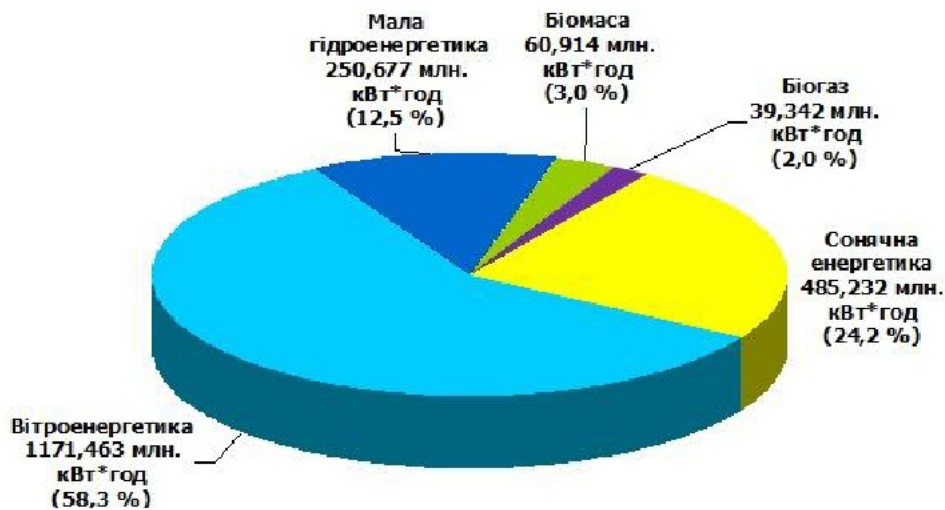


Рисунок 1.5 - Структура виробництва електроенергії об'єктами ВДЕ за 2014 р.

Загальна характеристика ВДЕ в Україні за даними 2017 р. представлена в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Характеристика ВДЕ в Україні за даними 2017 р. [89]

Напрямок відновлюваної енергетики	Кількість установок $N$ , шт	Встановлена потужність $P_{вст}$ , МВт	Вироблення електроенергії $W$ , млн. кВт·год	Частка в загальному виробленні електроенергії, %
Вітроенергетика	19	328,4	949	0,6
Сонячна енергетика	147	758,4	408	0,5
Мала гідроенергетика	136	94,6	189	0,13
Біоенергетика	27	96,9	352,1	0,1
<b>Всього</b>	<b>329</b>	<b>1278,3</b>	<b>1898,1</b>	<b>1,33</b>

Аналізуючи таблицю 1.7, слід зазначити, що загальний відсоток вироблення електричної енергії з використанням ВДЕ у 2017 р. становить лише 1,33% від сумарного вироблення по ОЕС України.

Найбільшими із введених в експлуатацію, починаючи з 2010 року, об'єктами відновлюваної енергетики є [9]:

- СЕС встановленою потужністю 110 МВт (АР Крим, Кіровський р-н., 2013 р.);
- СЕС “Перово” - 105,56 МВт (АР Крим, Сімферопольський р-н, 2011 р.);
- СЕС “Охотніково” - 82,65 МВт (АР Крим, Сакський р-н, 2011 р.);
- СЕС “Миколаївка” - 69,7 МВт (АР Крим, Сімферопольський р-н, 2013 р.);
- СЕС “Приозерна” - 54,84 МВт (Одеська обл., м. Кілія, 2013 р.);
- СЕС - 53,4 МВт (Миколаївська обл., смт Березанка, 2014 р.);
- СЕС “Лиманська” - 43,44 МВт (Одеська обл., м. Рені, 2012 р.);
- СЕС “Дунайська” - 43,14 МВт (Одеська обл., 2012 р.);
- СЕС “Старокозаче” - 42,95 МВт (Одеська обл., 2012 р.);
- Ботієвська ВЕС - 200 МВт (Запорізька обл., 2012-2014 рр.);
- Вітропарк “Новоазовський” - 57,5 МВт (Донецька обл., 2011-2012 рр.);
- Останінська ВЕС - 25,0 МВт (АР Крим, Ленінський р-н, 2013 р.);
- Краснодонська ВЕС встановленою потужністю 25,0 МВт (Луганська обл., 2013 р.);
- Дмитрівська ВЕС - 25,0 МВт (Миколаївська обл., 2011 р.);
- Лутугинська ВЕС - 25,0 МВт (Луганська обл. 2013 р.);
- Теплова електростанція, що виробляє електроенергію з біомаси, встановленою потужністю 18,0 МВт (Київська обл., смт Іванків, 2013-2014 рр.).

Також станом на 01.01.2015 р. без “зеленого” тарифу працювало 25 об'єктів енергетики, що виробляють електроенергію з ВДЕ встановленою потужністю 28,4 МВт та 15 об'єктів – з вторинних енергетичних ресурсів загальною потужністю 585,9 МВт. Цими об'єктами у 2014 році було вироблено 1486,5 млн. кВт·год.

Всього по ОЕС України планується побудувати генеруючі потужності на ВДЕ (ВЕС, СЕС, енергія біомаси) загальним обсягом 3841 МВт, вартість яких оцінюється в сумі 123,8 млрд. грн., у т.ч.: ВЕС – 2089 МВт, СЕС – 1746 МВт.

Крім того, у 2015 році на об'єктах ВДЕ, планується приєднання потужностей в обсязі 2401 МВт, з яких: 1178 МВт – на об'єктах вітроенергетики; 1198 МВт – на об'єктах сонячної енергетики; 5 МВт – на об'єктах малої гідроенергетики; 20 МВт – на об'єктах біоенергетики.

За даними Держенергоефективності, за перший квартал 2018 року в Україні введено в експлуатацію 159,4 МВт потужностей об'єктів, що генерують електроенергію з відновлюваних джерел за “зеленим” тарифом. Цей показник перевищує весь обсяг потужностей, встановлених протягом усього 2016 року.

В 2017 році Україна приєдналася до Міжнародного агентства IRENA, тож це дає нам ширші можливості для залучення найкращих світових практик та технологій, а головне - “зелених” інвестицій в економіку.

Україна пішла шляхом розвитку технологій відновлюваної енергетики, якими живе весь світ. Прогнозована структура енергетики України на 2035 р. подана на рисунку 1.6 [111]. До 2020 року Україна зобов'язалася збільшити частку “зеленої” генерації до 11%, до 2035 року - 25%.

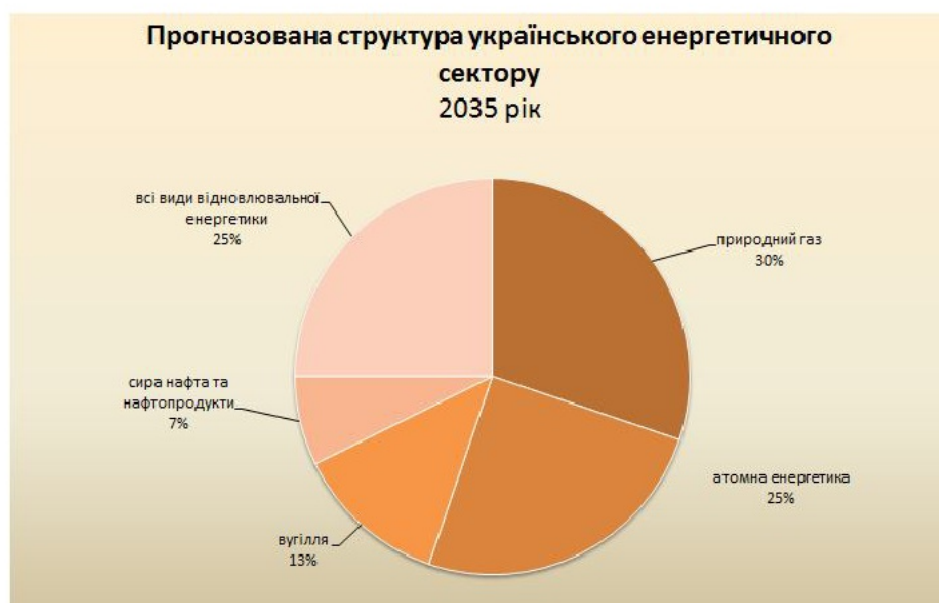


Рисунок 1.6 – Прогнозована структура енергетики України на 2035 р.

Обсяг інвестицій, необхідний для реалізації Національного плану дій до 2020 р. становить 16 млрд. євро (рисунок 1.7). Інвестиції будуть спрямовані на наступні заходи:



- будівництво заводів з виробництва пелет в Україні;
- будівництво заводів з виробництва котлів, що працюють на біопаливі (потужністю від 7 кВт до 5 МВт);
- будівництво заводів з виробництва біоетанолу другого покоління;
- вирощування енергетичних культур в Україні;
- будівництво когенераційних установок в Україні;
- сміттєпереробні заводи.

Потужність об'єктів відновлюваної електроенергетики в Україні, що працювали за “зеленим” тарифом у 2016 р. наведені на рисунку 1.8. Це в 4 рази більше ніж у 2015 р.



Рисунок 1.7 – Обсяг інвестицій, необхідний для реалізації Національного плану дій до 2020 р.

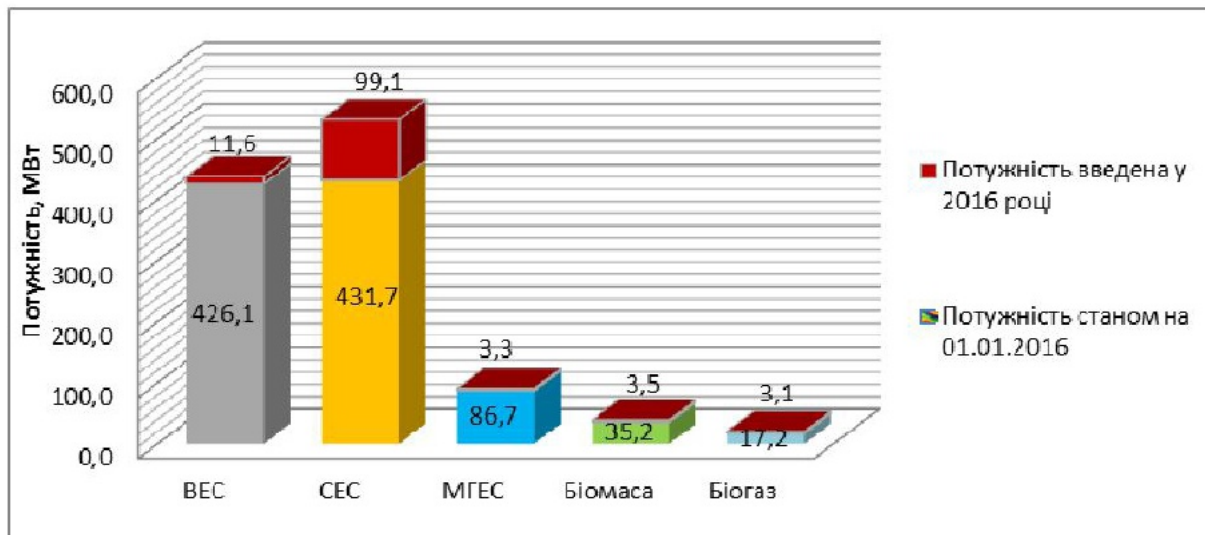


Рисунок 1.8 – Потужність об'єктів відновлюваної електроенергетики, що працювали за “зеленим” тарифом у 2016 р.

### 1.4.2 Вітроенергетика

З кінця XX ст. роботи з розвитку вітроенергетики в Україні активізувалися. Цьому сприяли Закони України: “Про енергозбереження” (1994 р.), “Про електроенергетику” (1998 р. із змінами і доповненнями 2009 р.), “Про альтернативні джерела енергії” (2003 р.), Укази Президента України “Про будівництво вітроелектростанцій” (1996 р.), “Про утворення Національного агентства України з питань використання енергетичних ресурсів” (2006 р.).

Фактична потужність і рік побудови першої черги найпотужніших ВЕС України наведені у таблиці 1.8.

Таблиця 1.8 - Потужні ВЕС України [8]

Вітрові електростанції	Фактична потужність, МВт	Побудова першої черги
Ботієвська ВЕС	200	2012
Донузлавська ВЕС	17,2	1992
Краснодонська ВЕС	25	2013
Мирновська ВЕС	20,8	2004
Новоазовська ВЕС	79,3	1998
Останинська ВЕС	25	2011
Очаківська ВЕС	37,5	2012
Тарханкутська ВЕС	15,5	2001

У 2014 році ДТЕК завершила введення в експлуатацію найбільшої ВЕС України - Ботієвську ВЕС в Запорізькій області, встановленою потужністю 200 МВт, яка у 2014 році виробила електроенергії 651 млн. кВт·год (рисунок 1.9). Інвестиції в проект склали 340 млн. євро. Ботієвська ВЕС - найбільша вітрова електростанція України, розташована поряд з селом Приморський Посад Приазовського району Запорізької області. Будівництво здійснювалося у дві черги: у 2012 році було запущено 30 установок, в 2014 році - ще 35. Загальна кількість і марка генераторів - 65, Vestas V-112 потужністю по 3,075 МВт. Після виходу на проектну потужність Ботієвська ВЕС буде щорічно генерувати в середньому близько 686 млн. кВт·год електроенергії на рік. Екологічний ефект роботи Ботієвської ВЕС еквівалентний скороченню викидів в атмосферу 730 тис. т вуглекислого газу на рік [3].

Ботієвська ВЕС - перша станція вітропарку “ДТЕК Приазовський”, проект-на потужність якого становить 550 МВт. Компанія почала будівництво Приморської ВЕС потужністю 200 МВт.



Рисунок 1.9 – Офіс Ботієвської ВЕС

**Екологія.** 3 січня 2013 року за участю громадської екологічної організації “Лагуна” проводився річний моніторинг впливу Ботієвської ВЕС на птахів і кажанів. Вплив вітротурбін Ботієвської ВЕС на птахів і тварин оцінено як низький. Крім території Ботієвської ВЕС проаналізована ситуація на прилеглих ділянках, розташованих в 3-7 км, де зафіксовано відсутність негативного впливу на птахів і рукокрилих на цих територіях як у період будівництва другої черги, так і під час експлуатації станції. Дослідження показали знаходження в межах допустимих значень рівнів шуму, інфразвуку, електромагнітного випромінювання біля підстави вітротурбін, на відстані 10 метрів і 500 метрів, на робочих місцях персоналу станції [3].

#### **1.4.3 Сонячна електроенергетика**

До 2010 року Україна не мала жодної великої сонячної електростанції, а у 2011-му в країні вже працювали батареї потужністю 67,55 МВт. У Криму було



збудовано найбільший сонячний парк Європи та світу. За короткий час Україні вдалося зробити ривок і вийти в перші ряди за темпами розвитку фотовольтаїки.

26 жовтня 2012 р., в селі Нове Токмацького району була запущена перша в Запорізькій області сонячна електростанція. Після запуску третьої черги (червень 2013 р.) потужність Токмацької СЕС досягла 10 МВт (рисунок 1.10). Надалі загальна потужність “Токмак Солар Енерджі” буде збільшена до 22-23 МВт [30].



Рисунок 1.10 – Перша СЕС в Запорізькій обл. “Токмак Солар Енерджі”

Таблиця 1.9 - Сонячні електростанції України [27]

Назва СЕС	Потужність, МВт	Побудова першої черги
Болград Солар	34,14	2013
Дунайська	43,14	2012
Митяєво	31,6	2012
Охотникове	80	2011
Перово	105,56	2011
Родникове	7,5	2011
Старокозаче	42,95	2012
Токмак Солар Енерджі	10	2012

За темпами розвитку сонячної енергетики у 2017 р. Україна посіла 7-ме місце серед країн Європи (рисунок 1.11), і темпи зростання зберігаються, зокрема, за 1-й квартал 2018 р. в Україні встановлено 100 МВт потужностей сонячної енергетики, що на 66 % більше ніж за відповідний період 2017 р.

## ТОП-10 країн Європи за темпами розвитку сонячної енергетики у 2017 році



Рисунок 1.11 – Розвиток сонячної енергетики в країнах Європи за 2017 р.

### 1.4.4 Окупність сонячних електростанцій в Україні

Не секрет, що останні роки сонячна енергетика в Україні розвивалася в основному за рахунок високого “зеленого тарифу”, який зробив фінансово привабливими інвестиції в промислові мережеві СЕС. Однак глобальна тенденція така, що в довгостроковому періоді часу вартість кіловат-години від традиційних джерел енергії неминуче зростає, тоді як капітальні витрати на будівництво СЕС постійно знижуються. Причому, до останнього часу зниження цін на кремнієві сонячні модулі відбувалося значно швидше підвищення цін на електроенергію. Ще в 2012 році в Україні був досягнутий паритет цін між вартістю 1 кВт·год., виробленої за допомогою фотоелектричних батарей і отриманої з мережі.

При аналізі окупності серед іншого необхідно враховувати тип і цільове призначення СЕС, а також вартість альтернативних рішень, з якими вона буде порівнюватися. Розрахунки для СЕС потужністю 50, 250 і 1000 кВт при поточному рівні цін на обладнання та будівельно-монтажні роботи показують, що окупність подібних проектів змінюється від 8,5 років для наземних СЕС, побудованих на півночі України, до 5 років для СЕС, розташованих на дахах будівель в південних областях (рисунок 1.12) [27].

На рисунку 1.12 позначено: ЗТС - сонячні електростанції наземного типу, що працюють за “зеленим тарифом” і встановлені в північних областях України; ЗТЮ - електростанції наземного типу, що працюють за “зеленим тарифом” і

побудовані в південних областях України; КТС - сонячні електростанції, що працюють за “зеленим тарифом” і встановлені на дахах будівель в північних областях України; КТЮ - електростанції, що працюють за “зеленим тарифом” і встановлені на дахах будівель в південних областях України; КС - дахові ФЕС, побудовані в північних областях України з метою генерації електроенергії для власного споживання; КЮ - дахові ФЕС, побудовані в південних областях України для власного споживання електроенергії. По вертикальній осі вказано термін окупності в роках, а по горизонтальній осі - встановлена потужність СЕС [30].

Мережеві СЕС, що виробляють електроенергію для власних потреб, зазвичай встановлюються на дахах будівель (виробничі цехи, логістичні, торгово-розважальні та офісні центри і т.д.). Відмова від “зеленого тарифу” дозволяє істотно знизити капітальні витрати за рахунок використання більш дешевих імпортованих сонячних модулів. При оцінці окупності проектів такого типу необхідно враховувати вартість традиційної електроенергії, яка буде замінюватися за рахунок використання “сонячної”.

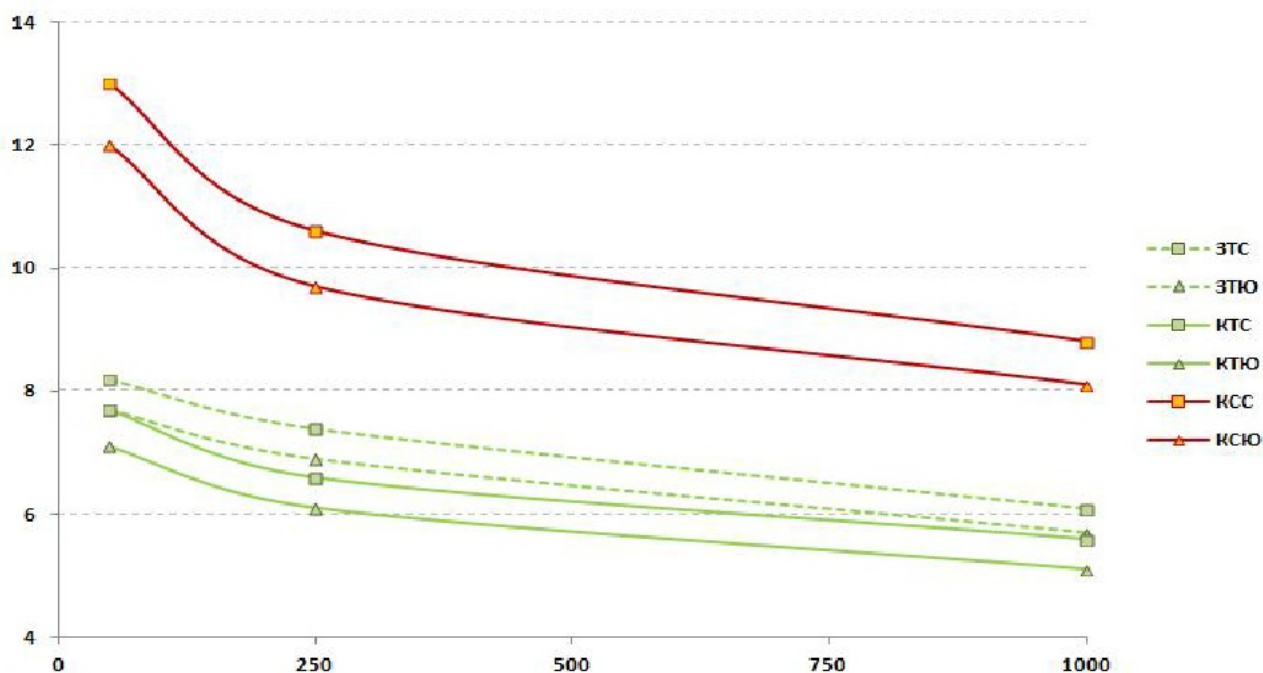


Рисунок 1.12 – Термін окупності (в роках) різного типу СЕС в залежності від потужності (в кВт)



## РОЗДІЛ 2.

### ЗАСОБИ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ СОНЦЯ В ТЕПЛОТУ

#### 2.1 Обґрунтування засобів перетворення енергії сонця в теплоту

Сонячно-колекторне теплопостачання відноситься до технологій утилізації енергії сонячної радіації і нині масштабно використовується в багатьох країнах світу. Щороку в країнах ЄС в експлуатацію вводиться 2-3 млн. м<sup>2</sup> плоских СК, що еквівалентно тепловій потужності 1,0-1,5 тис. МВт. В плоских СК залежно від швидкості відбору води вона може нагріватись до 95<sup>0</sup>С. За ціною СК - на рівні до 100 дол. США/м<sup>2</sup> [22].

В більшості країн ЄС СК інтегруються в системи теплопостачання окремих будинків і мікрорайонів ще з початку 90-х років. СК-системи застосовують і для теплопостачання індивідуальних будинків, але лише після того, як їх оснастять тепловим насосом, а підлогу, вікна, стіни та стелю будинку добре теплоізолюють [22].

#### 2.2 Сонячні опалювальні системи для обігріву будівель

Сонячні опалювальні системи поділяються на пасивні і активні. Пасивні сонячні опалювальні системи зображені на рисунку 2.1 і є найпростішими [22].

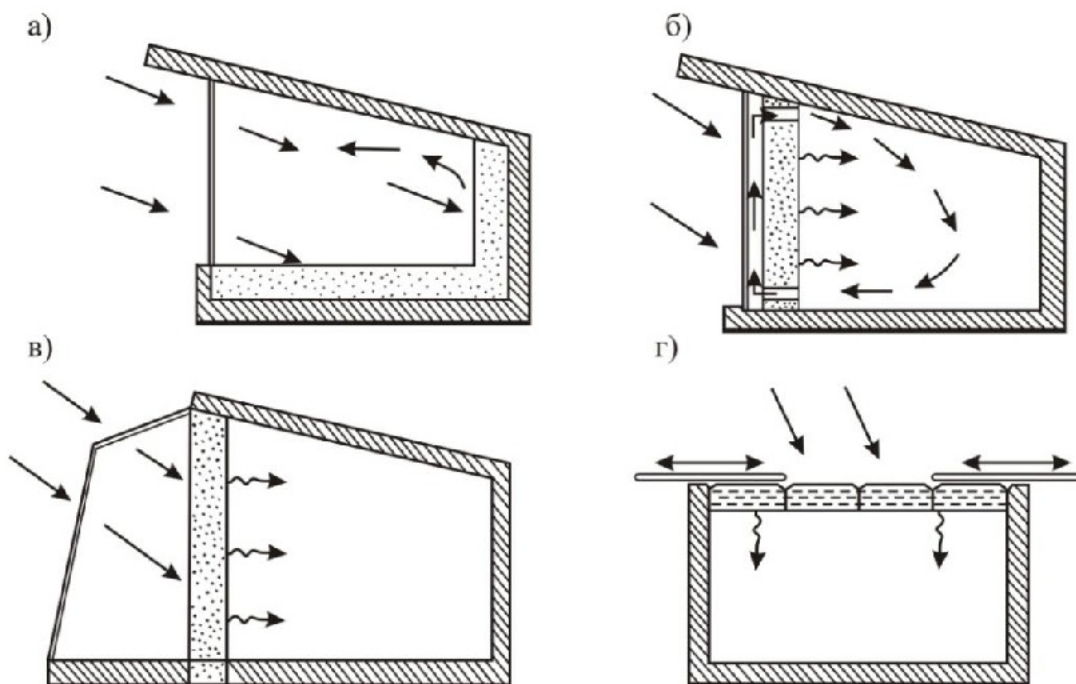


Рисунок 2.1 – Пасивні сонячні системи

Найпростіша із таких систем – орієнтоване на південь вікно (рисунок 2.1,а). Сонячні промені, що проникають через вікно, підігрівують повітря, що знаходиться у приміщенні, а також стіни. Досвід показує, що без додаткових витрат можна підвищити температуру повітря у приміщенні на 10°C у весняно - осінній період і від 5 до 8°C у зимовий час.

Більш складною є система, що наведена на рисунку 2.1,б з акумулюючою зафарбованою чорним кольором стінкою, яка розігрівується за рахунок поглинання сонячних променів, а потім передає тепло приміщенню, що обігрівується. Щоб скоротити втрати тепла, стіну звичайно склять (отримуємо ізолятор разом з повітряним прошарком). Дана схема має суттєві переваги перед першою, оскільки має найпростіший акумулятор, який може віддавати тепло навколишньому простору після заходу сонця. Практично аналогічна побутова система, зображена на рисунку 2.1,в. Тільки тут збільшено скляне огороження, що дозволяє розширити тривалість дії сонячного випромінювання на стіну, що акумулює. Ця схема знайшла широке використання у сонячних теплицях.

Трохи відрізняється від попередніх, схема з теплоакumuлюючою покрівлею. Вона застосовується як для підігріву приміщень, так і для їх охолодження (рисунок 2.1,г). Звичайно такі покрівлі обладнують жалюзями і закритими резервуарами (балонами) з водою, які виконують роль теплових акумуляторів. У прохолодний час року вдень жалюзі залишаються відкритими і за рахунок сонячної радіації балони з водою підігрівуються. Вночі тепло від балонів передається приміщенню, жалюзі закриваються.

До активних сонячних систем відносяться колектори, які мають у своєму складі трубчаті чи плоскі ТО. Теплоносії у ТО нагріваються за рахунок поглинання поверхнями теплової сонячної енергії.

### **2.3 Види і типи сонячних колекторів**

СК - пристрій для збору теплової енергії сонця, що переноситься видимим світлом і інфрачервоним випромінюванням. На відміну від сонячних батарей, які виробляють безпосередньо електрику, СК нагріває теплоносії [22].



Рисунок 2.2 – Види сонячних колекторів [22]

*Вакуумний СК* орієнтований в першу чергу на зниження теплових втрат за рахунок вакууму між тілом нагріву і зовнішньою оболонкою колектора. Виглядає цей колектор як набір скляних трубок, з яких викачали повітря, а всередині мідна тепла трубка, яка власне і нагрівається.

*Плоскі СК* простіші у виготовленні і, як наслідок, дешевші і менш крихкі, ніж вакуумні, але теплові втрати плоских колекторів вище ніж у вакуумних. Виглядають вони як прямокутна панель з прозорим покриттям зовні і трубками з теплоносіями всередині, задня стінка покрита теплоізолятором.

*Повітряні СК* - окремий випадок плоского СК, в якості теплоносія використовуються повітря. Такий колектор можна зробити в домашніх умовах.

Сонячні колектори виготовляються з доступних матеріалів: сталь, мідь, алюміній тощо, тобто без застосування рідкісного і дорогого кремнію. Це дозволяє значно скоротити вартість устаткування і отриманої від нього енергії.

Сонячні теплові колектори, Інформаційним управлінням з енергетики США, поділяються на:

- *низькотемпературні колектори* є плоскими плитами і використовуються для підігріву плавальних басейнів;
- *середньотемпературні колектори* також, як правило, це плоскі плити, але використовуються для підігріву води для житлового та комерційного використання;

- **високотемпературні колектори** зосереджують сонячні промені за допомогою дзеркал і лінз і, як правило, використовуються для виробництва електроенергії.

Сонячна енергія для обігріву, охолодження, вентиляції та технологічних потреб, може бути використана для покриття частини витрат на енергію. Теплова маса матеріалів зберігає сонячну енергію протягом дня, і звільняє цю енергію коли стає холодніше. Загалом до теплової маси, відносяться кам'яні матеріали, бетон і вода. За розміщення теплових мас слід розглянути низку чинників, таких як клімат, рівень денного світла, тіней та інших умов. За умов правильного підключення теплової маси можуть пасивно підтримувати затишну температуру при скороченні споживання. Теплова енергія маси ґрунту, також може бути використана для зберігання тепла між сезонами і дозволяє використовувати сонячну теплову енергію для опалення приміщень у зимовий час.

Типова конструкція побутової сонячної системи опалення складається з сонячної панелі (або сонячного колектору) з теплообмінною рідиною, що проходить через нього, транспортуючи зібрану теплову енергію для корисного застосування, як правило, до гарячої води цистерни або домашніх радіаторів. Сонячні панелі розташовані в місці з гарним рівнем освітлення протягом дня, найчастіше на даху будівлі. Насос штовхає теплообмінну рідину (часто щойно очищену воду) за допомогою панелі управління. Тепло таким чином збирається та передається на ошадний контейнер.

Також можливе використання пасивного сонячного опалення, яке не потребує електричного або механічного обладнання, і може розраховувати на дизайн і структуру будинку для збирання, зберігання і розподілення тепла будівлею. Деякі пасивні системи, використовують незначну кількість звичайної енергії для керування заслінками, віконницями, нічними ізоляційними та іншими пристроями, що підвищують рівень збору, зберігання, використання та зниження небажаного теплообміну сонячної енергії.

## 2.4 Принцип роботи вакуумного сонячного колектора

Кожна вакуумна трубка складається із двох скляних колб [22, 41]. І зовнішня і внутрішня трубки виконані з міцного боросилікатного скла, яке витримує удари граду, що падає зі швидкістю 18 м/с і має 25 мм в діаметрі. Внутрішня трубка покрита спеціальним трирівневим покриттям з поступовою зміною поглинаючих шарів ALN/AIN-SS/CU.

Основна інтенсивність сонячного випромінювання в наземних умовах знаходиться у спектральному інтервалі 0,28... 3 мкм. Боросилікатне скло пропускає хвилі сонячної радіації у діапазоні 0,4... 2,7 мкм. Проникаючи крізь зовнішню колбу, енергія затримується на другій колбі, на яку нанесено високоселективний непрозорий шар абсорбенту. В результаті поглинання світла абсорбентом і подальшого випромінювання довжина хвилі збільшується до 11 мкм. Абсорбент сильно нагрівається (до 80°C) і випромінює теплову енергію, яка проникаючи через тіло другої колби, передається на мідну теплову трубку. За рахунок виникнення парникового ефекту, який базується на накопиченні енергії під склом, всередині другої колби температура підіймається до 180°C. Тепло нагріває ефір, який перетворюючись на пару, переносить тепло в робочу частину мідної трубки, де і відбувається теплообмін з антифризом. Віддача тепла змушує пар конденсуватися і текти в нижню частину мідної трубки, і цикл повторюється знову [22, 41].

Всесезонний трубчастий вакуумний СК ефективний для застосування в цілорічному режимі в будь-якому регіоні України. ККД колектора - до 95%. Має високу продуктивність в умовах низької сонячної інсоляції. Термоізоляція теплообмінника 75 мм. Універсальна конструкція рами розрахована на установку СК на будь-який тип покрівлі – від горизонтальної до вертикальної. СК монтується під кутом, що відповідає географічній широті місця його установки (Мелітополь – 47° п.ш.).

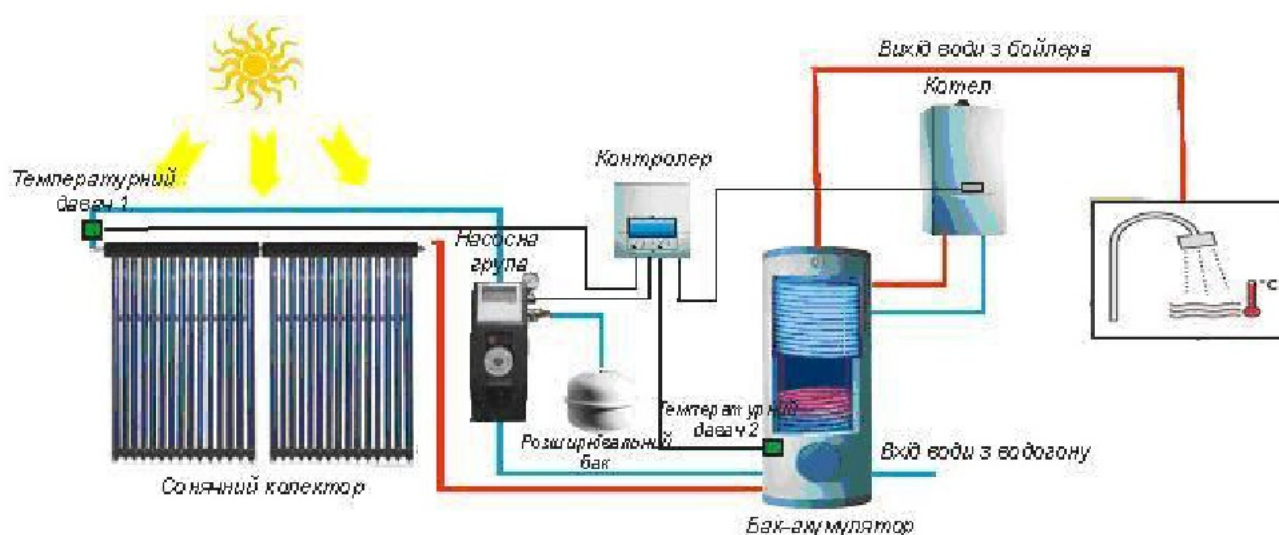
Для підтримки оптимальної температури в системі ГВП застосовується буферний бак-теплообмінник, який являє собою автоматизовану систему перетворення, підтримки та збереження тепла, отриманого від енергії сонця, а також



від інших джерел енергії (в нашому випадку від електронагрівача), які підтримують геліосистему при недостатній кількості сонячного випромінювання [13]. Нагріта від доступних джерел тепла вода може використовуватися і як теплоносій для існуючої системи опалення.

Контролер автоматично підтримує оптимальні параметри циркуляції і забезпечує комфортну задану температуру системи ГВП (рисунок 2.3). Він отримує інформацію від датчиків температури (один з яких обов'язково знаходиться в СК) і вибирає необхідний режим роботи [41].

Ефективність і безпека геліосистеми в значній мірі залежать від контролера: правильності закладених алгоритмів роботи геліосистеми, надійності елементів.



Досвід експлуатації вакуумного СК в Московській області (56° п.ш.) показує, що в травневий день з мінливою хмарністю продуктивність однієї реальної вакуумної трубки - близько 1кВт·год теплоти. На пологовому будинку м. Мелітополь встановлено 6 секцій по 15 вакуумних трубок і 4 - по 25 трубок. Всього 190 вакуумних трубок. За один весняний день вони, з врахуванням московського досвіду, повинні видавати не менше 190 кВт·год теплоти. Нажаль, на пологовому будинку цього не відбувається [41].

Ідеальна комбінація вакуумної та теплової мідної трубок дають наступні переваги перед плоскими колекторами [22, 41]:

1. Висока теплова ефективність, завдяки сучасним методам передачі тепла, високоякісне поглинаюче покриття.

2. Широкий спектр роботи: завдяки малій тепловій ємності вона здатна працювати при високій хмарності (в інфрачервоному діапазоні променів, які проходять крізь хмари).

3. Кожна трубка працює незалежно одна від іншої. Так як антифриз або не затікає в середину трубки, або його доступ обмежується теплообмінником, то у випадку фізичного пошкодження колектор продовжує працювати.

4. Менша маса при кращій ефективності роботи самого колектора.

5. Краща ефективність роботи взимку завдяки вакууму. Трубка витримує морози до  $-30^{\circ}\text{C}$ .

Дослідження показують, вироблена теплова потужність вакуумного сонячного колектора ES 58/1800-30 RUS становить 1...2 кВт·год, залежно від кута нахилу СК і сонячної активності. У день в середньому за рік вакуумний колектор ES 58/1800-30 RUS виробляє від 10 кВт·год тепла. Таким чином, за рік один вакуумний СК ES 58/1800-30 RUS виробляє близько 3200 кВт·год тепла [41].

Вакуумні СК з тепловою трубкою нагрівають воду протягом усього року і за своєю тепловіддачею на  $1\text{m}^2$  площі абсорбера на 25...40% ефективніші ніж колектори інших типів. Термін служби вакуумного СК становить від 20 до 25 років.

## 2.5 Плоскі сонячні колектори

Принципова схема плоского СК наведена на рисунку 2.4.

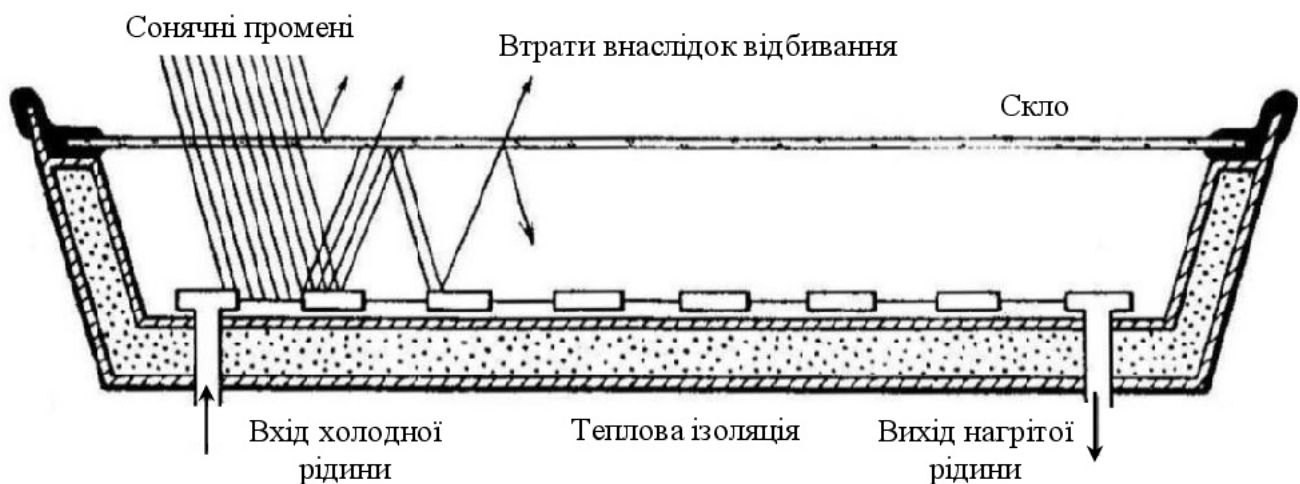
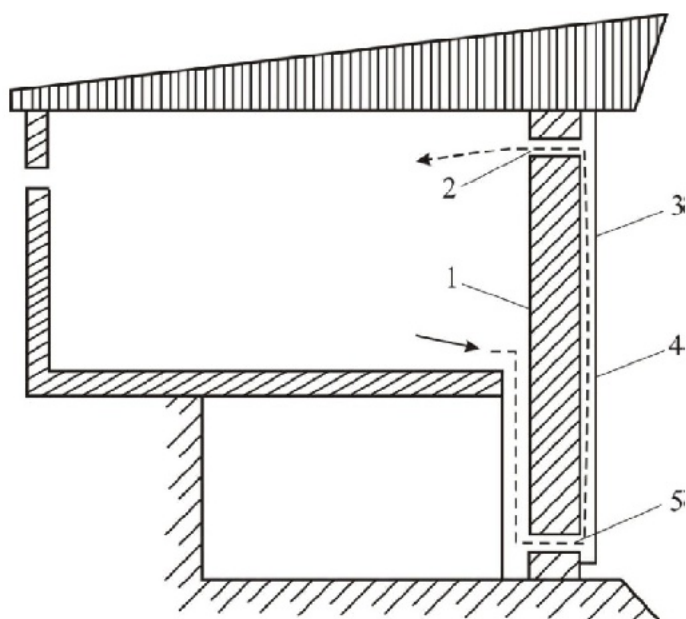


Рисунок 2.4 – Плоский СК [45]

Плоскі СК використовуються в опалювальних системах будинків. Найбільш розповсюджені схеми “пасивна” і “сонячний будинок” з так званою активною системою [45]. Пасивна схема працює за принципом термосифонного ефекту, коли розігріта у колекторі рідина, маючи меншу щільність, рухається вгору і надходить у приміщення, яке обігрівається (рисунок 2.5). Сонячна система ГВП може мати дублюючу систему (рисунок 2.6).



1 – стіна акумулятора; 2 – верхній вентиляційний отвір; 3 – вітраж;  
4 – променево-поглинаюча поверхня; 5 – нижній вентиляційний отвір

Рисунок 2.5 – Нагрівальна циркуляційна стіна

## 2.6 Сонячні колектори для власних будинків

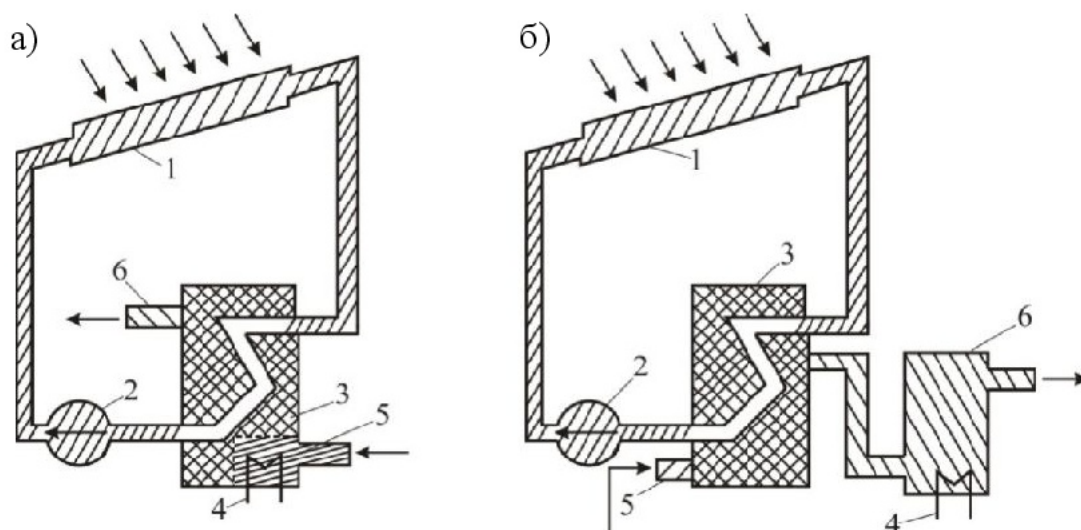
Для Запорізької області доцільно-економічний потенціал сонячної енергії становить  $2,6 \cdot 10^5$  МВт·год/рік [22]. Останній визначається рівнем розвитку науки і техніки, і задача науковців сприяти його збільшенню. Один із способів збільшення цих показників - це широке застосування СК.

Вакуумний СК “Altek” встановлений нами, з 2013 р. працює на даху будинку в с. Семенівка Мелітопольського району (рисунок 2.7) [22]:

- вакуумних трубок -15 шт. довжиною по 180 см;
- об’єм бака – 150 л;
- контролер: напруга живлення 220 В, потужність –до 5 Вт.

### Інформація від господаря:

- продуктивність - 500... 600 л за добу температурою 70... 98<sup>0</sup>С (увечері 98<sup>0</sup>С, остиває за ніч - вранці - 70... 75<sup>0</sup>С);
- заправка – у квітні, злив – у восени (перед заморозками);
- вартість – 5600 грн. разом з монтажем (2013 р.).



а) – з суміщеними акумуляторами і дублюючою системою;

б) – з окремими акумулятором і дублюючою системою підігрівання;

1 – сонячний водонагрівач; 2 – насос; 3 – акумулятор; 4 – дублююча система підігрівання; 5 – холодна вода; 6 – гаряча вода

Рисунок 2.6 – Схема сонячного ГВП з дублюючою системою підігрівання

На основі проведеного аналізу нами розроблена і виготовлена конструкція компактного плоского СК для власної квартири (дачі). Корпус компактного СК (Додаток 1) зібраний із двох здвоєних віконних рам з подвійним склінням. В якості абсорбера взято плоску батарею водяного опалення. Холодна вода підведена до батареї знизу, а з верхньої частини гнучким пластмасовим шлангом гаряча вода подається в бак-накопичувач, розташований над СК.

Гаряча вода з бака-накопичувача відбирається знизу і самопливом поступає до споживача. Компактний СК може бути розташований на балконі або на зовнішньому боці стіни, що виходять на південь. У більш складному варіанті у контур СК включається насос для циркуляції теплоносія. Тоді бак може розташовуватися як поряд з колектором, так і всередині будівлі.





Рисунок 2.7 - Сонячний колектор на даху будинку, с. Семенівка

**Висновок.** Найбільш економічною та доступною для широкого вжитку є система ГВП на основі розробленого нами плоского СК. Використання запропонованої системи ГВП економить кошти споживача на оплату енергоносія (електроенергії чи газу), і значно зменшує викиди парникових газів (1 кг CO<sub>2</sub> на зекономлену кіловат-годину), які сприяють потеплінню клімату на планеті. Отже виграють усі: споживач, країна і світова спільнота [22, 41].

### РОЗДІЛ 3.

## УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ЗАСОБІВ ПЕРЕТВОРЕННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРИЧНУ

Сонячна енергетика розвивається у напрямках генерування електрики і тепла. Для селянської садиби найбільш прийнятними на сьогоднішній день є перетворення сонячного випромінювання в електрику за допомогою ФЕП і в теплоту за допомогою сонячних колекторів СК. Мапа сонячного випромінювання у світі приведена на рисунку 3.1. Аналіз рисунку 3.1 показує, що в Україні завдяки сонячному випромінюванню можна отримувати 100... 150 Вт/м<sup>2</sup> енергії.

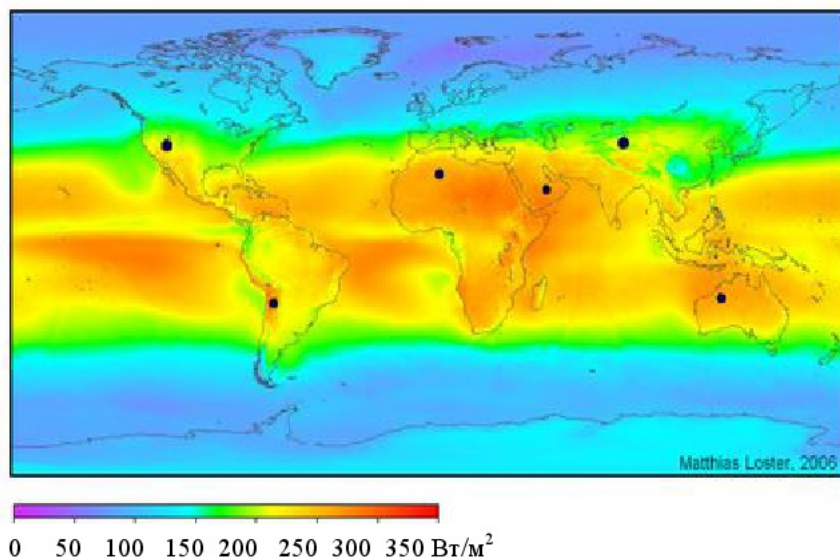


Рисунок 3.1 – Мапа сонячного випромінювання у світі [92]

Потік сонячного випромінювання, що проходить крізь площу 1 м<sup>2</sup>, розташовану перпендикулярно потоку випромінювання на відстані однієї астрономічної одиниці від центру Сонця (тобто зовні атмосфери) Землі, дорівнює 1367 Вт/м<sup>2</sup> - сонячна постійна.

Через поглинання атмосферою Землі, максимальний потік сонячного випромінювання на рівні моря - 1020 Вт/м<sup>2</sup>. Середньодобове значення потоку сонячного випромінювання як мінімум втричі менше (через зміни дня і ночі і

зміни кута Сонця над обрієм). Взимку в помірних широтах, це значення удвічі менше. Ця кількість енергії з одиниці площі, визначає можливості сонячної енергетики.

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

### 3.1 Обґрунтування матеріалу для сонячних панелей

Є оптимістичні прогнози, що фотоенергетика у найближчий час за темпами абсолютного приросту може перегнати вітроенергетику і стане конкурентоспроможною як з вітроенергетикою, так і з більшістю інших енергетичних технологій [85].

*Сонячні панелі (сонячні батареї).* Під сонячною панеллю розуміють набір сполучених між собою фотомодулів. Фотомодуль в свою чергу складається із ФЕП. Сонячні панелі є складовою СФЕС (рисунок 3.2).

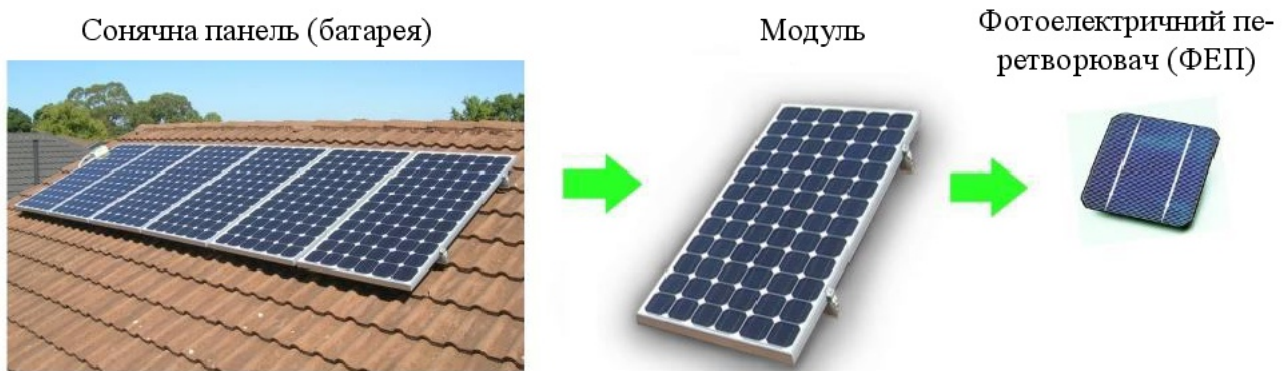


Рисунок 3.2 – Складові СФЕС

Для виготовлення ФЕП енергії сонячного випромінювання в електрику нині найбільше використовуються різні типи кремнію: аморфний, моно- і полі- (мульти-) кристалічний, ККД яких невисокий і становить для аморфного кремнію від 8% до 15...16%. Але вартість отримання чистого кремнію досить велика. Кремній, в якому на 10 кг продукту припадає не більше 1 грама домішок коштує стільки ж, скільки збагачений уран для електростанцій, хоча запаси ос-

таннього в 100000 разів менше запасів кремнію. У той же час, якісного кремнію у світі добувають в 6 разів менше, ніж такого ж урану [92].

З однієї тонни піску, в якому міститься 500 кг кремнію отримують від 50 до 90 кг сонячного сіліціуму. При цьому на отримання 1 кг витрачається близько 250 кВт·год електроенергії [92]. За новою технологією, розробленою німецькою фірмою Siemens ще у 1979 році, енерговитрати падають на порядок, і вихід продукту збільшується в 10... 15 разів. Вартість отримання кремнію при цьому знижується до 10... 15 \$ за кілограм. Простий пісок для цієї технології не підходить. Тут потрібні “особливо чисті кварцити”, поклади яких в значному обсязі, в основному, знаходяться в Росії.

Термін служби ФЕП становить до 30 років. За цей час елемент, на виготовлення якого пішов 1 кг сонячного кремнію, може дати стільки ж електроенергії, скільки її може бути отримано при використанні 100 т нафти на ТЕС або 1 кг збагаченого урану на АЕС [92].

Останнім часом починає активно розвиватися виробництво тонкоплівкових фотоелементів, у складі яких міститься всього близько 1% кремнію. Завдяки низькому вмісту кремнію тонкоплівкові фотоелементи дешевші у виробництві, але поки мають меншу ефективність. Так, наприклад, в 2005 р. компанія “Shell” ухвалила рішення зосередитися на виробництві тонкоплівкових елементів, і продала свій бізнес з виробництва кремнієвих фотоелектричних елементів.

*СБ* - це пристрій, що складається з послідовно з'єднаних ФЕП та служить для перетворення світлової енергії у електричну.

**Матеріали.** ФЕП виготовляють з напівпровідникових матеріалів [83]. На сьогодні існує три найбільш вживаних варіанти виготовлення ФЕП (рисунк 3.3): на основі монокристалу, на основі полікристалу, на основі аморфного кремнію.

**Монокристалічні** ФЕП найбільш складні і дорогі. Для їх виготовлення використовується цільний кристал кремнію. Монокристалічні панелі мають найбільший ККД перетворення світла у електричну енергію (14... 20%).



*Полікристалічні* ФЕП дешевші у виготовленні, але ККД - 10... 16%.

*Тонкоплівкові* ФЕП використовують тонкі плівки, що є найбільш дешевою технологією. Для їх виготовлення використовується аморфний (розплавлений) кремній, що наноситься шляхом напилювання на різні поверхні: полімерну плівку, скло, пластик. Завдяки чому є можливість виготовлення ФЕП з різним ступенем прозорості та забарвлення, а це в свою чергу створює більш широкий спектр їх застосування. Такі ФЕП найменш ефективні (ККД становить від 4 до 9%). Процес виготовлення ФЕП близький до процесів виготовлення інших напівпровідникових приладів, наприклад мікросхем [83].

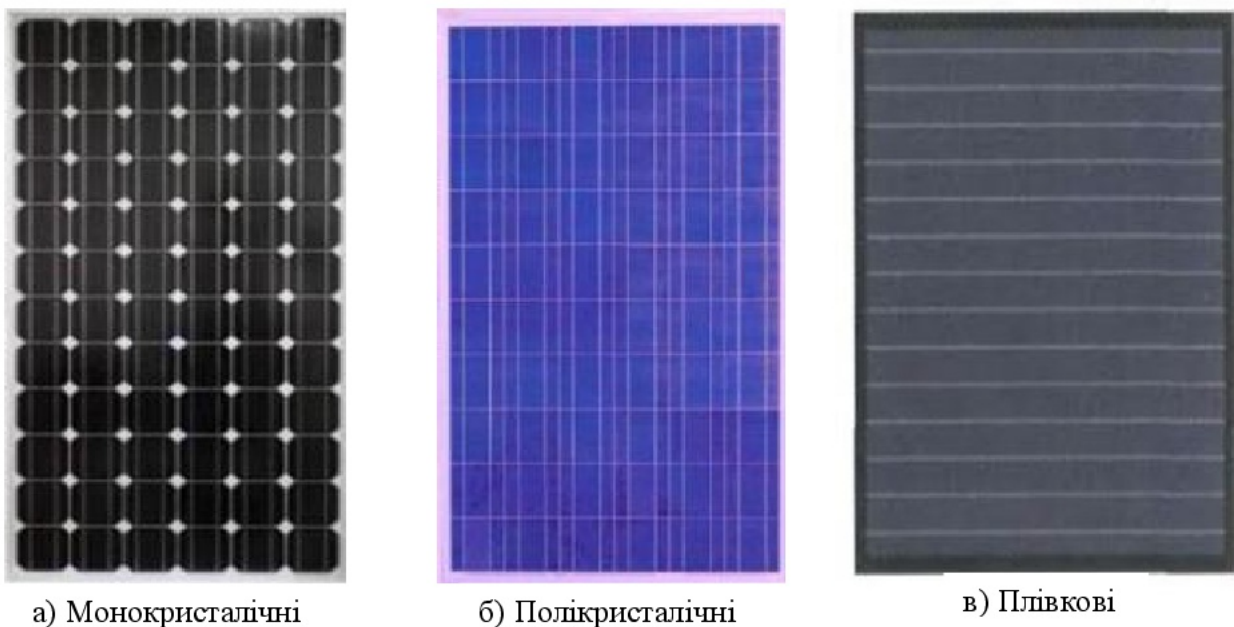


Рисунок 3.3 – Типи сонячних модулів (за матеріалом ФЕП)

Нині в багатьох країнах світу інтерес до спорудження ФЕС великої потужності на базі ФЕП із монокристалічного кремнію різко падає. Водночас зростає інтерес до СФЕС малої потужності (до 100 кВт) і особливо до встановлення сонячних батарей на дахах приватних, комунальних, житлових і адміністративних будинків. Логічно, що цей напрям розвитку фотоенергетики є цілком раціональним і вигідним для держави, зокрема для ОЕС, оскільки дозволяє залучати у цю сферу значні кошти населення, і, крім того, скоротити втрати електрики

в мережах при її трансформуванні та передачі до малопотужних споживачів, де вони за відносним показником є найбільшими [43].

Для виводу ФЕС на конкурентоспроможні позиції з ВЕС необхідно досягти значного підвищення ККД ФЕП і зниження капітальних витрат в 2... 3 рази. Світова, у тому числі й українська, наука для цього виконує НДДКР, які передбачають використовувати для виготовлення ФЕП арсенід галію й досягти на них ККД перетворення більший від 40% [14].

#### **Основні переваги сонячних панелей [83]:**

- **Висока надійність.** Конструкція на сонячних панелях не має механічних, рухомих частин, внаслідок чого має високий запас надійності.

- **Мінімальні експлуатаційні витрати.** Після монтажу сонячні панелі, не вимагають великої уваги, регламентних робіт і сервісного обслуговування. Це дозволяє використовувати панелі у важкодоступних місцях.

- **Екологічна чистота.** При роботі сонячних панелей немає ніяких шкідливих викидів і відходів. Сонячні панелі працюють безшумно.

- **Термін експлуатації.** На сьогоднішній день, термін служби сонячних панелей доведений до 20... 25 років.

- **Простота установки.** Монтаж системи досить простий. Нарощування вихідної потужності досягається простим додаванням або демонтажем модулів.

**Недоліком усіх ФЕС** є те, що генерування електроенергії відбувається стохастично, і електрична потужність віддана в мережу, не регулюється [83], крім того

- залежність від погоди і часу доби;
- сезонність в середніх широтах і неспівпадання періодів вироблення енергії і потреби в ній;
- нерентабельність у високих широтах, і як наслідок, необхідність акумуляції енергії;
- при промисловому виробництві - необхідність дублювання СЕС маневреними ЕС порівняної потужності;

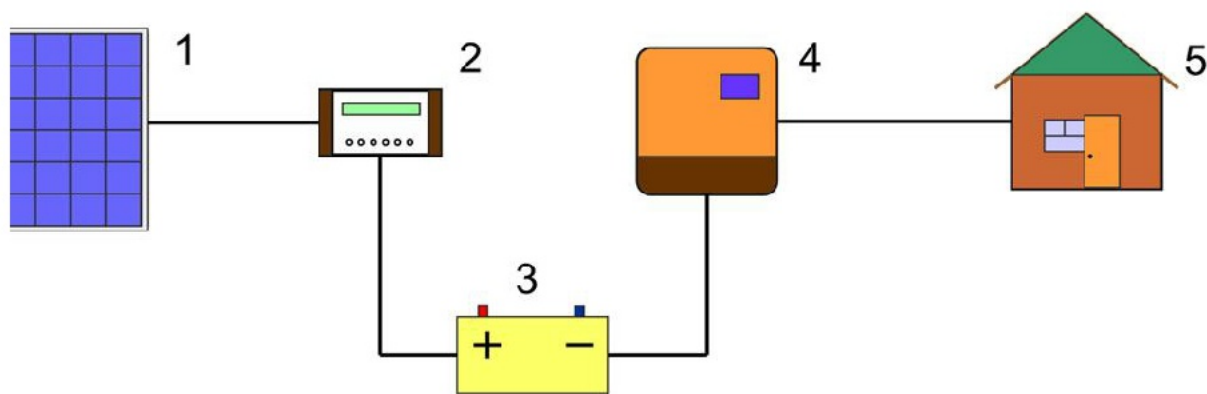
- висока вартість конструкції, пов'язана із застосуванням рідких елементів (наприклад, індій і телур);
- необхідність періодичного очищення відбиваючої/поглинаючої поверхні від забруднення;
- нагрівання атмосфери над електростанцією.

### 3.2 Будова присадибної СЕС

Автономна сонячна електростанція може бути основним або додатковим джерелом електроенергії для садиби чи дачі. Функційна схема присадибної автономної СЕС наведена на рисунку 3.4.

Сонячне випромінювання мінливо в часі, тому вироблення фотопанелей (1) не завжди відповідає споживанню енергії. Для накопичення надлишкової електроенергії та використання її у випадках, коли споживання перевищує вироблення, використовують акумуляторні батареї (3).

Підключення фотопанелей (1) напряму до акумуляторних батарей (3) для їх заряду неприпустимо, оскільки це може привести до їх пошкоджень. Саме для захисту акумуляторних батарей від перезарядження і для підтримки їх оптимальної роботи використовують контролер заряду (2).



1 - фотопанелі, 2 - контролер заряду, 3 - акумуляторні батареї, 4 - інвертор

Рисунок 3.4 - Автономна присадибна СЕС для споживачів змінного струму

Оскільки більшість споживачів електроенергії використовують змінний струм, а фотопанелі (1) і акумуляторні батареї (3) видають постійний, виникає

необхідність у перетворенні постійного струму у змінний. Цю функцію виконує інвертор (4). У разі необхідності підключення навантаження постійного струму - її можна безпосередньо підключити до вихідних клем контролера заряду (2).

### 3.3 Особливості експлуатації присадибної СЕС

Звичайно, для автоматичного контролю процесу зарядки-розрядки використовують контролер. Залежність струму одного елемента сонячної батареї типу БСК-2 від напруги на ньому показана на рисунку 3.5. Цей графік знятий при оптимальному освітленні сонячного елемента, і є типовим і для інших сонячних елементів. Звичайно, значення максимального струму буде залежати від потужності сонячного елемента [34].

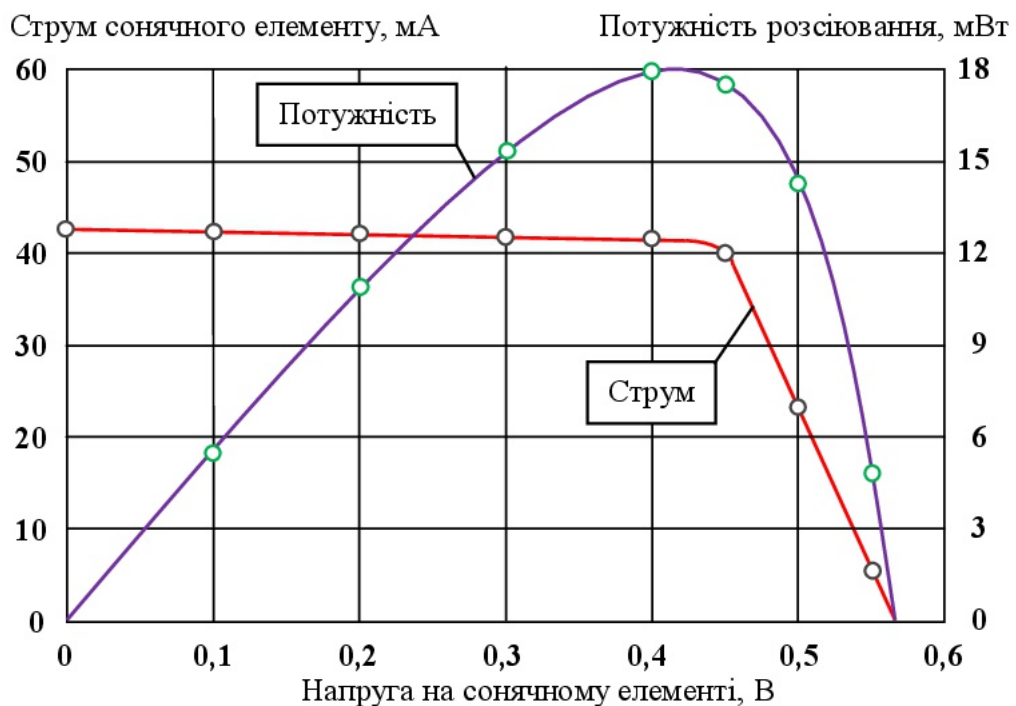


Рисунок 3.5 – Вольт-амперна характеристика та залежність потужності розсіювання від напруги сонячного елемента

При роботі сонячного елемента без навантаження фото-ЕРС на ньому складе близько 0,6 В (рисунок 3.5). При підключенні навантаження, а потім при зменшенні його опору, струм у навантаженні почне збільшуватися. Напруга на



навантаженні при цьому почне знижуватися. Напруга  $U \approx 0,42 \dots 0,45$  В на навантаженні є оптимальним режимом роботи сонячного елемента [34].

При спробах збільшити відбір струму, напруга на сонячному елементі падає, а струм, який він генерує, продовжує залишатися практично незмінним (рисунок 3.5). Це говорить про те, що сонячна батарея є майже ідеальним джерелом струму, те, що якраз і треба для зарядки акумуляторів.

Для схеми вимірювання струму сонячного елемента побудований графік залежності відбору потужності від напруги на сонячній фотобатарей, отриманий при доброму освітленні (рисунок 3.5). З цього графіка видно, що максимальна віддана потужність буде при оптимальній напрузі на навантаженні  $U \approx 0,42$  В, що становить 75% від фото-ЕРС (0,6 В) [34].

Отже, для зарядки акумуляторів можна застосувати сонячну батарею, яка має максимальний генерований струм приблизно рівний струму зарядки акумуляторів. У цьому випадку сонячна батарея автоматично буде заряджати акумулятори необхідним зарядним струмом при своєму освітленні. Батарей необхідно підключати до акумуляторів через діод Шоттки, з низьким значенням падіння прямої напруги, та дуже швидким перемиканням. Це необхідно для того, щоб не сталося розрядки акумулятора через внутрішній опір сонячної батареї при несприятливому сонячному освітленні, коли напруга на сонячній батареї може впасти нижче, ніж напруга на акумуляторах, що заряджаються. Якщо, акумулятори будуть використовуватися для роботи під час своєї зарядки-підзарядки, то знадобиться ще й буферний конденсатор.

### **3.3.1 Експлуатація сонячних батарей**

При використанні сонячних батарей необхідно прагнути до того, щоб вони були розміщені на максимально освітленому місці і були освітлені однаково. Необхідно дотримуватися температурного режиму сонячних батарей, який вказаний в їх паспорті, зазвичай, це  $-40^{\circ}\text{C} \dots + 50^{\circ}\text{C}$ . Влітку, в жарку погоду необхідно розташовувати сонячні батареї на поверхні, мало схильною до нагрівання, наприклад, на блискучій алюмінієвій фользі.

Необхідно звернути увагу споживача, що в деяких випадках сонячна батарея може зробити перезаряд акумуляторної батареї. А це призведе до переплюсовки елементів акумуляторної батареї і до виходу її з ладу [29, 34].

### 3.3.2 Система сонячного електропостачання домогосподарства

Система сонячного електропостачання будинку складається з чотирьох основних частин.

**1) Сонячна батарея** - це комплекс невеликих за розмірами ФЕП, в завдання яких входить перетворення сонячного світла в потік позитивно і негативно заряджених електронів (електричний струм). Один ФЕП генерує близько 0,5 В. У завдання сонячних батарей входить вироблення електроенергії напругою 18 В - цього цілком достатньо, щоб зарядити дванадцятивольтову акумуляторну батарею. Це і є другий елемент системи сонячного електропостачання. Технічна характеристика сонячної батареї потужністю 10 Вт наведена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Технічна характеристика сонячної батареї на 10 Вт

Розмір, мм	Потужність, Вт	$U_{xx}$ , В	$I_{кз}$ , А	$U_p$ , В	$I_p$ , А	Маса, кг	Ціна, USD (опт)
370x310x25	10,0	21,3	0,63	17,5	0,57	1,2	17,50 (14,50)

**2) Акумулятори.** В одній системі їх може використовуватися понад 10 шт. Все залежить від кількості і потужності, одночасно використовуваних споживачів (принаймні, кількість цих елементів системи можна з часом збільшувати). Але слід розуміти, що одночасно доведеться виконувати підключення додаткових сонячних батарей.

**3) Інвертор** для СБ - в завдання цього пристрою входить перетворення постійного струму напругою 12 В у змінну напругу 220 В (рисунок 3.6). Для енергопостачання будинку знадобиться інвертор з вихідною потужністю не менше 4 кВт.

**4) Контролер** – прилад призначений для керування процесом зарядки-розрядки акумулятора від СБ на електроприймачі.

Технічні дані діода:

Корпус

- С-16



Тип діода за призначенням	- Шотткі
Максимальна зворотна напруга діода	- 30 В
Пряме падіння напруги	- 570 мВ
Прямий струм діода (середній)	- 3А
Кількість діодів в корпусі	- 1.

Схема електропостачання приватного будинку від СБ приведена на рисунку 3.7.

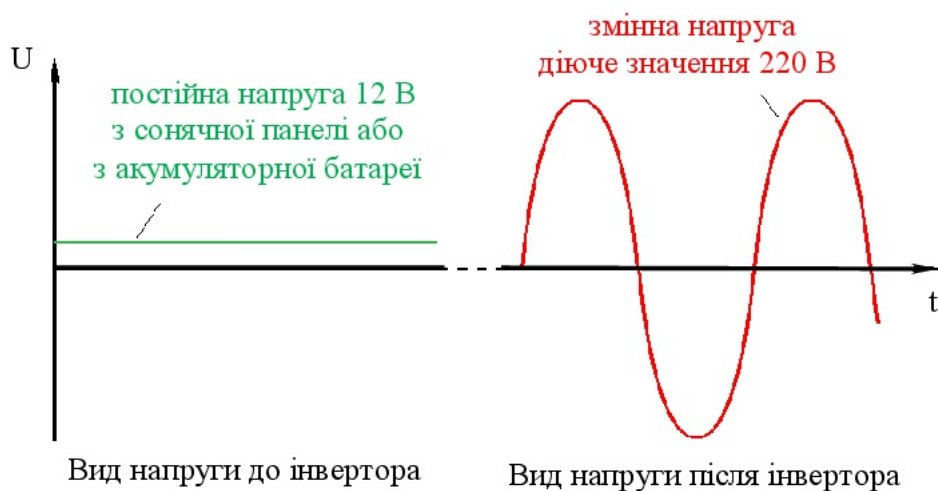


Рисунок 3.6 – Принцип роботи інвертора

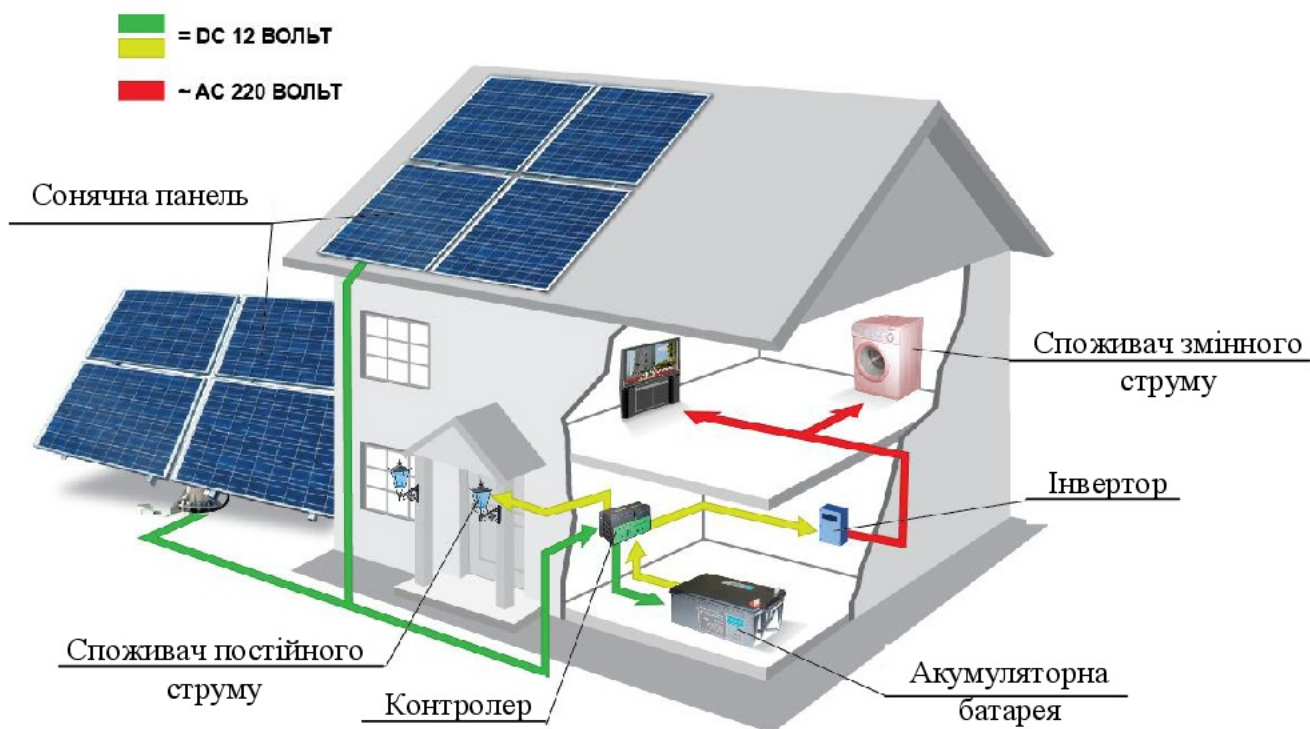


Рисунок 3.7 - Схема електропостачання приватного будинку від СБ

Для зменшення капітальних вкладень у систему на СБ, необхідно використовувати електрообладнання з високою енергоефективністю. При виборі побутових електроприладів необхідно звертати увагу на клас енергоефективності.

Наприклад, для освітлення рекомендуємо використовувати світлодіодні лампи, які в 10 разів ефективніші ніж лампи розжарювання, і більш ніж в 2 рази ефективніші від енергозберігаючих люмінесцентних ламп. Максимальну ефективність СБ мають при “падінні” сонячних променів перпендикулярно до поверхні модуля. Так як сонце весь час “переміщається” по небу, для ефективного використання панелі можливе застосування пристроїв стеження панелі за сонцем. Для збільшення ККД ФЕП можна застосовувати їх охолодження, а для збільшення ефективності роботи побутових СБ в цілому можна використовувати концентратори сонячних променів або перейти до когенераційної технології.

### 3.4 Підвищення ефективності присадибних СЕС

В результаті багаторічної модернізації структури ФЕП у світі було досягнуто найвище значення ККД - 24% (рисунок 3.8) [14].

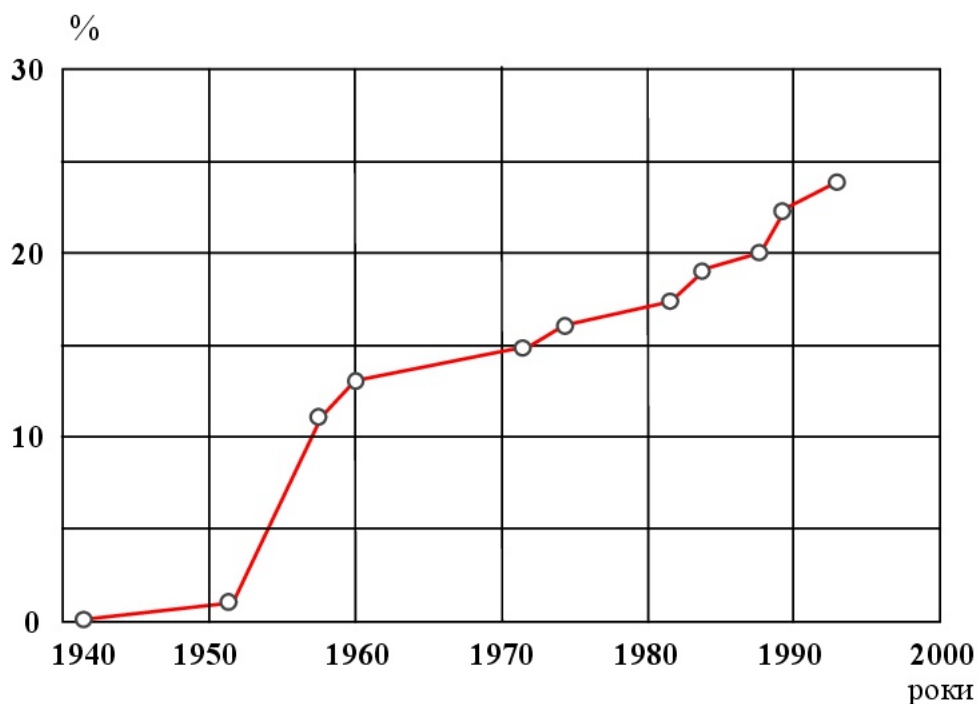


Рисунок 3.8 – Еволюція ефективності ФЕП (%)

### 3.4.1 Залежність ККД фотоелектричного модуля від температури

Ефективність роботи СЕС в значній мірі визначається ККД ФЕП і суттєво залежить від їхньої температури. Для виготовлення ФЕП наземних СЕС найбільш придатними вважаються напівпровідники Si, CdTe, GaAs, InP. В якості найбільш ймовірних матеріалів для ФЕП розглядаються кремній і арсенід галію [1, 29]. Потрібне підвищення ККД ФЕП і зниження їх собівартості.

При нагріві ФЕП на один градус зверх  $25^{\circ}\text{C}$  він втрачає в напрузі  $0,002\text{ В}$ , тобто  $0,4\%/^{\circ}\text{C}$ . У яскравий сонячний день елементи нагріваються до  $60\dots 70^{\circ}\text{C}$  втрачаючи  $0,07\dots 0,09\text{ В}$  кожен. Це і є основною причиною зниження ККД, що приводить до падіння напруги, генерованої кожним ФЕП. За проведеними дослідженнями ФЕП типу НІТ (heterojunction with intrinsic thin layer) - гетероперехід з тонким шаром  $\alpha\text{-Si:H}$  власної провідності складена математична модель і побудована залежність від температури: напруги х.х. -  $V_{OC}$ , струму к.з. -  $I_{SC}$ , ККД - (рисунок 3.9) [29, 91].

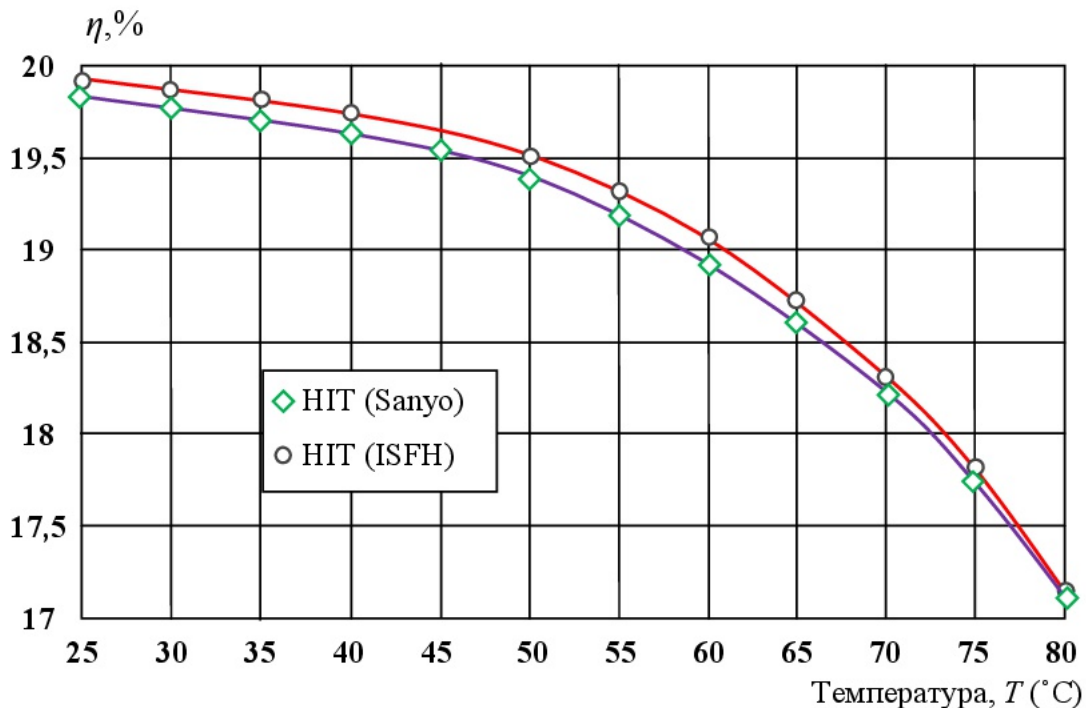


Рисунок 3.9 – Залежності ККД ФЕП від температури

Світовий рекорд ККД кремнієвої сонячної батареї - 42,8%, гнучких ФЕП - 17,7%. Для розширення впровадження СЕС потрібне підвищення ККД ФЕП і зниження їх собівартості [29].

### 3.4.2 Обґрунтування конструкції фотоелектричних модулів з підвищеним ККД

Відомий сонячний фотоелектричний модуль циліндричної форми Solyndra (від англійських слів «сонячний» і «циліндр»), що містить дві скляні трубки, трубка меншого діаметра покрита тонкою плівкою напівпровідникового матеріалу і поміщена в таку ж трубку більшого діаметра (рисунок 3.10). Така форма дозволяє збільшити кількість поглинутого світла (а отже і електроенергії) на протязі дня без зміни положення конструкції фотомодуля [29, 34].

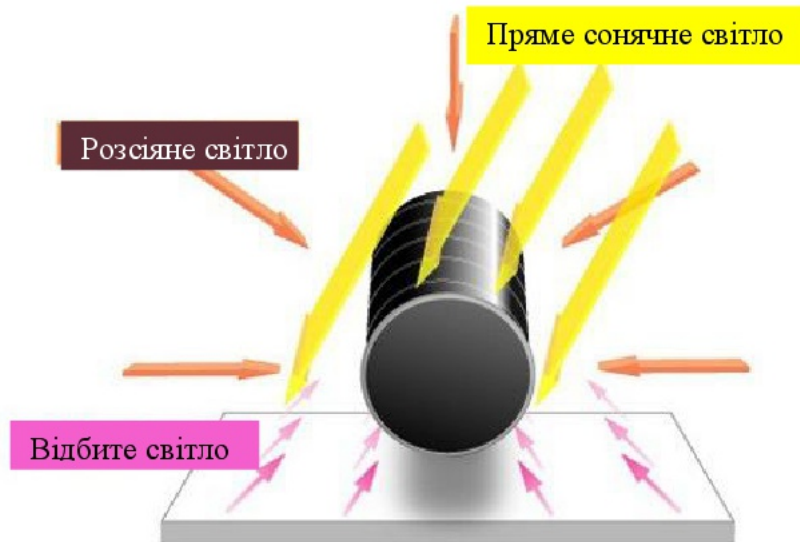


Рисунок 3.10 – Поглинання сонячних променів циліндричним ФЕМ на протязі дня

Недоліком сонячного фотоелектричного модуля Solyndra є зниження ККД ФЕП при зростанні його робочої температури. При нагріві ФЕП на один градус зверх 25°C він втрачає в напрузі 0,002 В, тобто 0,4 %/градус. У яскравий сонячний день елементи нагріваються до 60... 70°C втрачаючи 0,07... 0,09 В кожен. Це і є основною причиною зниження ККД, що приводить до падіння напруги, генерованої кожним ФЕП [14].



В Таврійському державному агротехнологічному університеті (ТДАТУ) розроблено і запатентовано декілька удосконалених конструкцій ФЕМ циліндричної форми [54, 56, 57].

Корисна модель [54] відноситься до альтернативної енергетики з використанням сонячної енергії. В основу корисної моделі поставлена задача вдосконалення сонячного ФЕМ циліндричної форми шляхом утворення із двох скляних трубок вакуумної колби типу судини Дьюара [93], з виведеними електричними гермоконтактами від плівки напівпровідникового ФЕП. Охолодження ФЕП здійснюється за рахунок наповнення внутрішньої трубки охолоджуючою рідиною, що приводить до зниження робочої температури ФЕП і збільшення ККД і ефективності ФЕМ.

Технічна сутність корисної моделі [54] пояснюється на рисунку 3.11. Сонячний ФЕМ циліндричної форми містить дві скляні трубки 1, 2, які з'єднані між собою за типом судини Дьюара. Внутрішня трубка 1 покрита тонкою плівкою 3 напівпровідникового ФЕП і коаксіально, з зазором, поміщена в зовнішню прозору скляну трубку 2 більшого діаметра з електричними гермоконтактами (не показаними), схожими на ті, що використовуються в люмінесцентних лампах. Вакуумна порожнина 4 між скляними трубками 1, 2 забезпечує теплоізоляцію плівки 3 напівпровідникового ФЕП від конвекційного нагріву за рахунок доквілля. Простір внутрішньої скляної трубки 1 наповнений охолоджуючою рідиною 5, з накопичувальним баком 6 у верхній частині. Трубки 1, 2 виготовлені із боросилікатного скла, що забезпечує їхню механічну міцність.

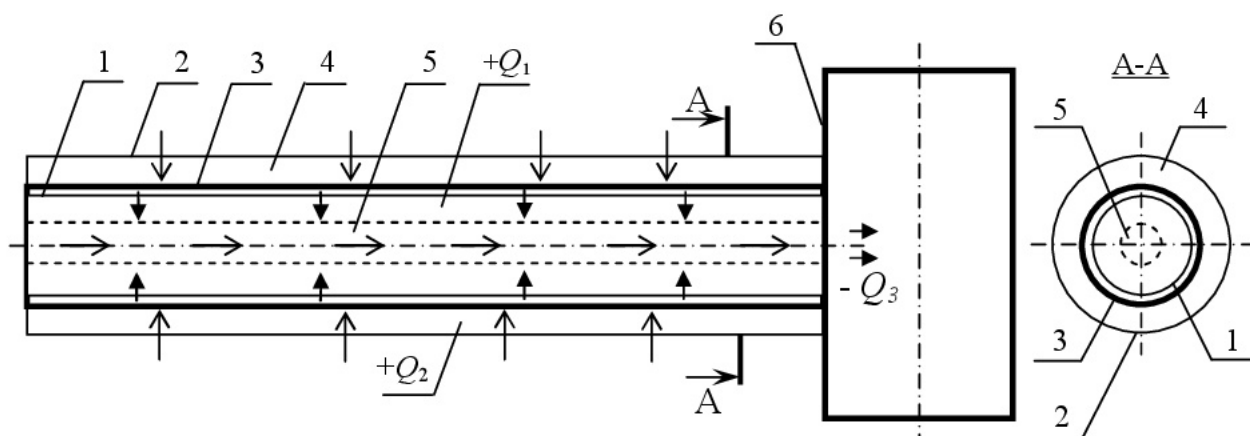


Рисунок 3.11 - Сонячний ФЕМ циліндричної форми, пат. 97080 [54]

З'єднання між собою двох скляних трубок з утворенням вакуумної колби, забезпечує теплоізоляцію плівки ФЕП від конвекційного нагріву за рахунок до-вкілля. виготовлення трубок з міцного боросилікатного скла забезпечує їхню механічну міцність і пропуск хвиль сонячної радіації в діапазоні 0,4... 2,7 мкм. наявність електричних гермоконтактів забезпечує герметичність вакуумної кол-би при їх виведенні назовні. Заповнення простору внутрішньої скляної трубки охолоджуючою рідиною забезпечує охолодження ФЕП, а отже і збільшення його ККД. Установка фотоелектричного модуля на даху будівлі під кутом до горизон-ту, рівним географічній широті місцевості, забезпечує максимальне освітлення фотоелектричного модуля прямими сонячними променями протягом року.

Сонячний ФЕМ циліндричної форми працює наступним чином. Сонячне світло вільно проходить через зовнішню прозору трубку 2 виготовлену з міцно-го боросилікатного скла, яке забезпечує пропуск хвиль сонячної радіації в діа-пазоні 0,4... 2,7 мкм, і попадає на тонку плівку 3 ФЕП, розташовану на внутрі-шній скляній трубці 1 меншого діаметра, яка генерує електричну енергію. ФЕП виготовлений із аморфного кремнію, який можна наносити тонкою плівкою безпосередньо на скло. Така конструкція ФЕМ забезпечує збільшення кількості поглинутого світла (а отже і кількості генерованої електроенергії) протягом дня, без зміни його положення. Річ в тому, що найбільше поглинання має місце, якщо світло падає на ФЕП під прямим кутом. Тому для плоских ФЕП необхідні спеціальні системи стеження за сонцем (а це додатковий простір, складність механізмів і, як наслідок, кошти). На поверхню плівки ФЕП циліндричної фор-ми світло попадає під прямим кутом у вигляді трьох складових: прямого світла, розсіяного світла і відбитого світла від поверхні, на якій розташовано ФЕМ. Сонячне світло, що попадає на тонку плівку 3 викликає нагрів ФЕП ( $+Q_1$ ,  $+Q_2$ ), а охолоджуюча рідина 5 відбирає тепло ( $-Q_3$ ), знижує робочу температуру, чим забезпечує збільшення ККД ФЕП, і за принципом термосифона поступає до на-копичувального бака 6, де охолоджується в нічний час. Якщо в якості охоло-джуючої рідини 5 використовується вода, то після підігріву вона може викори-стовуватися для господарчих потреб, наприклад, зрошення рослин, для душу, миття посуду тощо, а у ФЕМ поступатиме свіжа вода з водопроводу.



Технічний результат корисної моделі полягає в удосконаленні її конструкції шляхом утворення вакуумної колби типу судини Дьюара і охолодження ФЕП охолоджуючою рідиною у внутрішній трубці 1, за рахунок чого підвищується ККД ФЕП, що важливо при використанні їх в складі присадибних СЕС. Відстань між циліндрами також збільшує загальний ККД, так як світло, що проходить крізь щілини, відбивається від даху будівлі, а її здатність до відбиття можна штучно збільшити за допомогою спеціального білого покриття і попадає на ту частину ФЕП, що знаходиться протягом дня в тіні. На стійкість сонячного ФЕМ циліндричної форми практично не впливає вітер (за технічними даними, до швидкості 200 км/год) і град діаметром до 25 мм. Встановлювати їх на дахах простіше і дешевше, ніж ФЕП з системами стеження за сонцем. Отже надійне охолодження ФЕП значно збільшує їхній загальний ККД і додатково дає підігріту воду, яку можна використовувати для господарських потреб, зокрема для зрошення рослин.

На основі розробленого сонячного ФЕМ циліндричної форми [54], розроблено і запатентовано сонячний когенераційний модуль циліндричної форми (рисунок 3.12) [56], який додатково генерує теплову енергію, на відміну від попереднього ФЕМ, що також підвищує загальний ККД. Сонячний когенераційний модуль містить дві скляні трубки 1, 2. Трубка меншого діаметра 1 покрита тонкою плівкою напівпровідникового матеріалу 3 (на основі міді, індію, галію і селену) і поміщена в таку ж трубку 2 більшого діаметра з електричними контактами (не показаними). У порожнині скляної трубки 1 меншого діаметра коаксіально розташована теплова трубка 4 з циліндричним герметичним корпусом із теплопровідного матеріалу та капілярною структурою 6 внутрішньої поверхні. Теплова трубка 4 наповнена робочим тілом з фазовим переходом. В зоні випару установлена перегородка 5, що розділяє корпус 4 на дві герметичні частини 7, 8, наповнені робочим тілом з фазовим переходом, від рідини до газу і навіпаки, наприклад етанолом ( $C_2H_5OH$ ) або його водним розчином. Конденсатори 9 розташовані в зонах конденсації на протилежних кінцях корпусу 4 і контактують з колектором 10, наповненим рідким теплоносієм 11.

В інших конкретних формах виконання:

- в зоні центру випару циліндричного корпусу установлена перегородка, яка розділяє корпус на дві герметичні частини, конденсатозбірники розташовані в зонах конденсації на протилежних кінцях циліндричного корпусу;

- в якості робочого тіла використаний етанол ( $C_2H_5OH$ ) або його водний розчин.

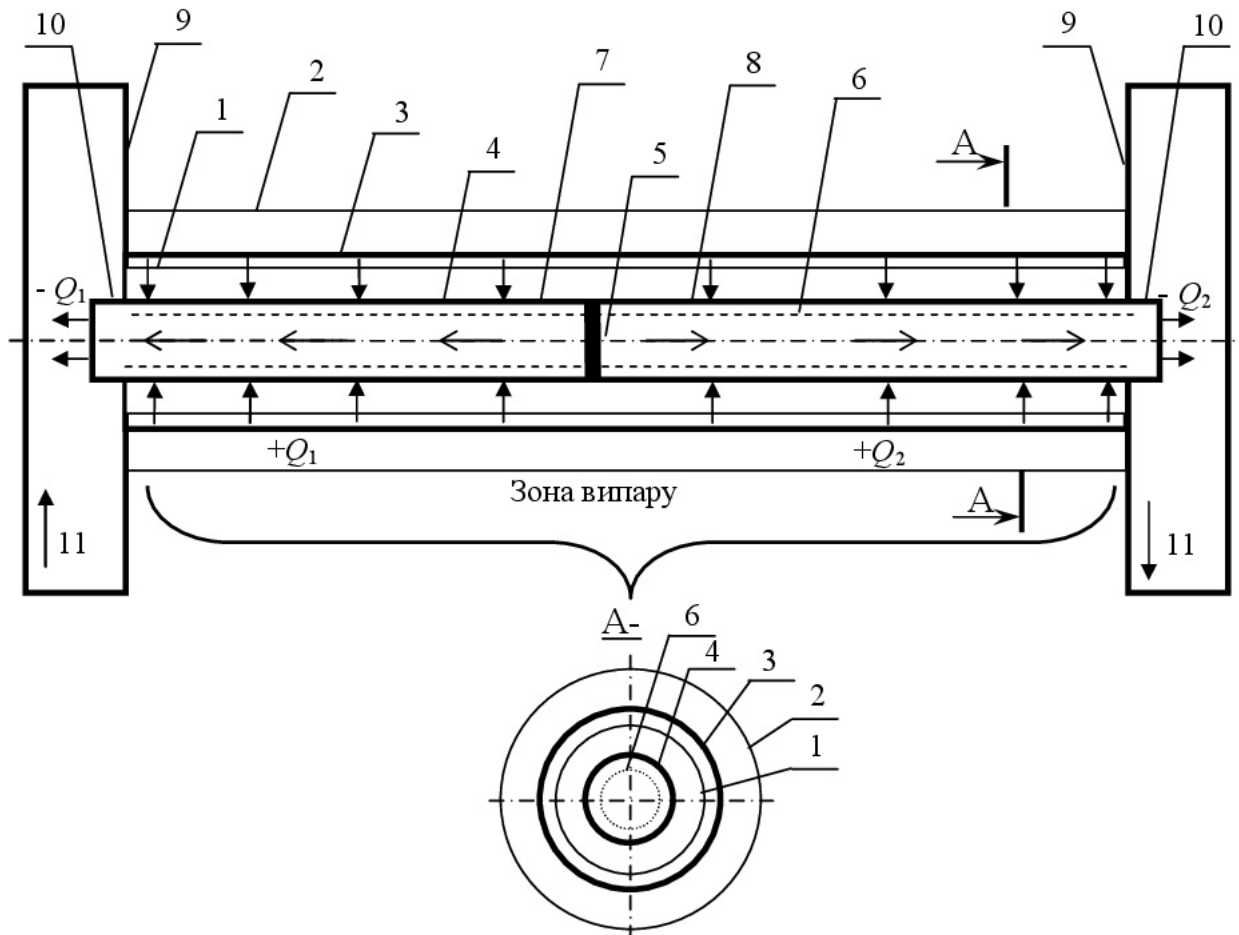


Рисунок 3.12 – Сонячний когенераційний модуль циліндричної форми, пат. 97782 [56]

Коаксіальне розташування теплової трубки з циліндричним герметичним корпусом в порожнині скляної трубки меншого діаметра максимально наближає її до тонкої плівки циліндричного ФЕП, що збільшує конвективну складову теплопередачі між ними. Виготовлення циліндричного герметичного корпусу теплової трубки із теплопровідного матеріалу (наприклад, із червоної міді) збільшує теплопередачу за рахунок теплопровідності. Наповнення корпусу теплової трубки робочим тілом з фазовим переходом, забезпечує “сховану” складову

теплопередачі від зони випару до зон конденсації. Контакт конденсатозбірників з колектором, наповненим рідким теплоносієм, прискорює процес конденсації і робить його більш ефективним. Капілярна структура внутрішньої поверхні циліндричного герметичного корпусу забезпечує транспортування конденсату вздовж поздовжньої осі. Установка перегородки в центрі зони випару, яка розділяє корпус на дві герметичні частини, забезпечує повернення конденсату від конденсатозбірників, розташованих на протилежних кінцях циліндричного корпусу, до зони випару, незалежно від розташування сонячного когенераційного модуля циліндричної форми в просторі і впливу сил гравітації. Використання в якості робочого тіла з фазовим переходом етанолу ( $C_2H_5OH$ ) або його водного розчину, забезпечує безпеку і екологічність сонячного когенераційного модуля.

Сонячний когенераційного модуль циліндричної форми працює наступним чином. Сонячне світло вільно проходить через скляну трубку 2 більшого діаметру і попадає на тонку плівку 3 ФЕП, розташовану на скляній трубці 1 меншого діаметру. Така конструкція сонячного когенераційного модуля забезпечує збільшення кількості поглинутого світла (а отже і кількості генерованої електроенергії) протягом дня, без зміни його положення. Сонячне світло, що попадає на тонку плівку 3 визиває нагрів ФЕП ( $+Q_1, +Q_2$ , рисунок 3.12), що призводить до випару робочого тіла, наприклад етанолу ( $C_2H_5OH$ ) або його водного розчину, в циліндричному герметичному корпусі 4. Утворена пара (показано стрілками на рисунку 3.12) переміщується в центрі порожнини вздовж поздовжньої осі циліндричного корпусу 4 від перегородки 5, що розділяє корпус 4 на дві герметичні частини 7, 8, до конденсатозбірників 9 в його торцях. Пара конденсує з виділенням теплоти ( $-Q_1, -Q_2$ ). Теплота конденсації відбирається теплоносієм 11, що протікає по колектору 10 і омиває конденсатозбірники 9. Утворений конденсат повертається назад, в зону випару, за рахунок капілярної сили по капілярній структурі 6 внутрішньої поверхні циліндричного герметичного корпусу 4.

Технічний результат корисної моделі полягає у збільшенні ККД сонячного когенераційного модуля циліндричної форми за рахунок удосконалення його конструкції. Крім того, запропонована корисна модель додатково генерує теплову енергію, що також підвищує загальний ККД, що немаловажно при вико-

ристанні їх в складі присадибних сонячних електростанцій. Відстань між циліндрами також збільшує загальний ККД, так як світло, що проходить крізь щілини, відбивається від даху будівлі (а її здатність до відбиття можна штучно збільшити за допомогою спеціального білого покриття) і попадає на ту частину ФЕП, що знаходиться протягом дня в тіні.

Аналіз розробок [28, 54, 56] показав, що для автономної присадибної СЕС із споживачами електричного струму найбільш прийнятним є запатентований ФЕМ циліндричної форми з охолоджуючою рідиною, наприклад, водою [25, 54].

### **3.5 Розробка присадибної СЕС з охолоджувальним ФЕМ циліндричної форми**

Технічна сутність запатентованої присадибної СЕС [10, 25] пояснюється графічним матеріалом, де на рисунку 3.13 зображена структурна схема присадибної СЕС з ФЕМ циліндричної форми (пат. 103043) [59], а на рисунку 3.14 - повздовжній і поперечний розрізи доопрацьованого сонячного ФЕМ циліндричної форми.

Присадибна СЕС з ФЕМ циліндричної форми містить батарею 1 із декількох ФЕМ 2 циліндричної форми, об'єднаних спільним охолоджувальним колектором 3, акумулятор 4, контролер 5, інвертор 6, споживачі постійного струму 7 приєднані до виходу контролера безпосередньо, а споживачі змінного струму 8 приєднані через інвертор 5. Об'єднання ФЕМ 2 в батарею 1 з спільним охолоджувальним колектором 3, збільшує продуктивність СЕС при підвищеному ККД. Наявність контролера 5 забезпечує керування процесом заряду-розряду акумулятора 4 і живлення електроприймачів 7 постійного струму, наявність інвертора 6 забезпечує живлення електроприймачів 8 змінного струму.

Присадибна СЕС з ФЕМ циліндричної форми працює наступним чином [10, 25, 59]. Батарея 1 із ФЕМ 2 встановлена на даху будівлі під кутом до горизонту, рівним географічній широті місцевості. Сонячне світло вільно проходить через зовнішню прозору трубку 10 виготовлену з міцного боросилікатного скла, яке забезпечує пропуск хвиль сонячної радіації в діапазоні 0,4... 2,7 мкм, і попа-

дає на ФЕП 11, розташований на внутрішній скляній трубці 9 меншого діаметра, які генерують електричну енергію. ФЕП 11 виготовлений із напівпровідникового матеріалу, який можна наносити тонкою плівкою безпосередньо на скло [54].

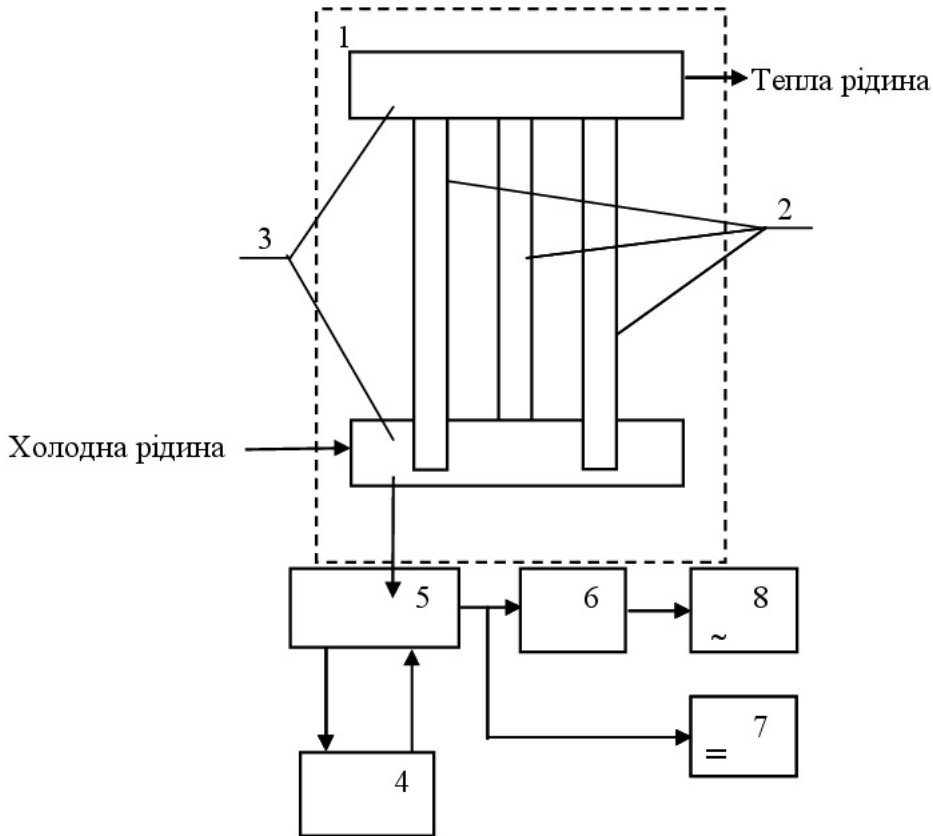


Рисунок 3.13 – Схема присадибної СЕС, пат. 103043

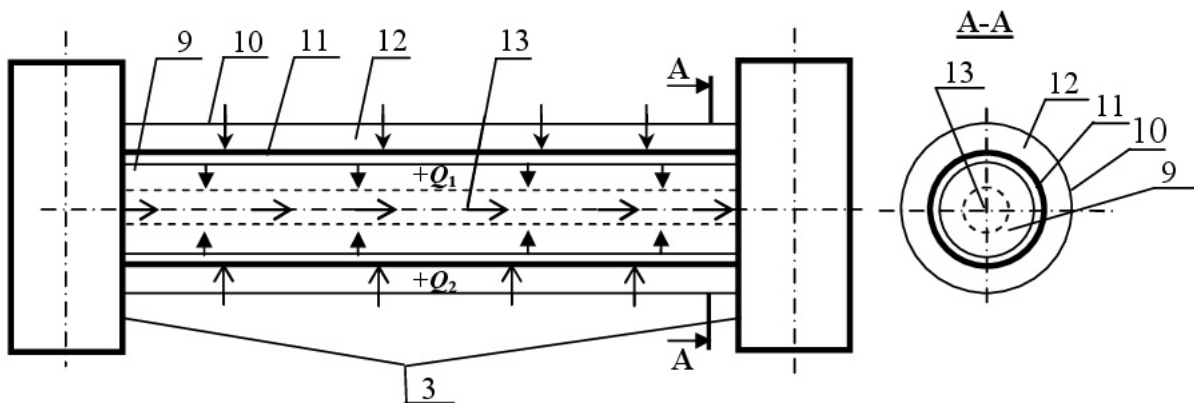


Рисунок 3.14 – Фотоелектричний модуль циліндричної форми



Така конструкція ФЕМ 1 забезпечує збільшення кількості поглинутого світла (а отже і кількості генерованої електроенергії) протягом дня, без зміни його положення.

На поверхню ФЕМ 1 циліндричної форми світло попадає під прямим кутом у вигляді трьох складових: прямого світла, розсіяного світла і відбитого світла від поверхні, на якій розташовано ФЕМ 1. Сонячне світло, що попадає на ФЕМ 1 визиває нагрів ФЕП 11 ( $+Q_1, +Q_2$  на рисунку 3.14), а охолоджуюча рідина 13 відбирає тепло  $Q_3$ , знижує робочу температуру ФЕП 11, чим забезпечує збільшення його ККД, і за принципом термосифона поступає до верхньої частини колектора 3.

Якщо в якості охолоджуючої рідини 13 використовується вода, то після підігріву вона може використовуватися для господарчих потреб, наприклад, зрошення рослин, для душу, миття посуду тощо, а до нижньої частини колектора поступатиме свіжа вода з водопроводу.

Запропонована схема присадибної СЕС [59] з використанням запатентованих фотомодулів [54], які охолоджуються рідиною, характеризується високим ККД при відносно низькій вартості.

### **3.6 Розробка присадибної когенераційної СЕС з гібридними фотомодулями**

В основу корисної моделі [63] поставлена задача збільшення ефективності автономної когенераційної енергоустановки з гібридними ФЕМ циліндричної форми [57], шляхом відбору теплоти конденсації робочого тіла в термосифоні, і підвищення ККД ФЕП за рахунок їхнього охолодження.

Поставлена задача вирішується за рахунок того, що автономна когенераційна енергоустановка з гібридними ФЕМ циліндричної форми, об'єднаними в батарею, зі спільним охолоджувальним колектором, кожен модуль містить дві коаксіально розташовані скляні трубки, з'єднані між собою з утворенням вакуумної колби, внутрішня трубка покрита ФЕП, з'єднаними в послідовний ланцюг з виведеними електричними гермоконтактами, акумулятор, контролер, інвертор, послідовні ланцюги із ФЕП кожного ФЕМ приєднані через контролер

до акумулятора, до іншого виходу контролера приєднані споживачі постійного струму безпосередньо, а споживачі змінного струму приєднані через інвертор. Згідно з корисною моделлю, гібридний ФЕМ циліндричної форми містить термосифон у вигляді окремого металевого корпусу, запаяного з обох сторін, наповненого під вакуумом робочим тілом з фазовим переходом і низькою температурою замерзання, розташований у вакуумній колбі типу посудини Дьюара. Герметичний корпус термосифона, виконаний із чистої червоної міді, з конденсатором, контактуючим з спільним охолоджувальним колектором, наповненим рідким незамерзаючим теплоносієм, бак-акумулятор з теплообмінником, вхідним і вихідним трубопроводами, з термодатчиком на вхідному трубопроводі і вихровим насосом на вихідному трубопроводі.

На рисунку 3.15 наведена присадибна когенераційна СЕС з гібридними фотомодулями [63], а на рисунку 3.16 - повздовжній і поперечний розрізи гібридного ФЕМ циліндричної форми з термосифоном [57]. Автономна когенераційна енергоустановка з гібридними ФЕМ циліндричної форми містить: батарею 1 із декількох гібридних ФЕМ 2 циліндричної форми, об'єднаних спільним охолоджувальним колектором 3, діоди Шоттки 17, акумулятор 4, контролер 5, інвертор 6, споживачі постійного струму 7, приєднані до виходу контролера 5 безпосередньо, споживачі змінного струму 8, приєднані через інвертор 6, бак-акумулятор 9 з теплообмінником 10 і трубопроводами 11, 12, термодатчик 13 на вхідному трубопроводі 11 і вихровий насос 14 на вихідному трубопроводі 12 з рідким теплоносієм 15, електроклапан 16.

Гібридний ФЕМ 2 циліндричної форми (рисунки 3.16) містить дві скляні трубки 17, 18 із боросилікатного скла. Внутрішня трубка 17 розташована в прозорій трубці 18 більшого діаметра (одна в одній), з'єднані між собою подібно посудині Дьюара [93], з вакуумною порожниною 19 між ними. Зовнішня поверхня внутрішньої трубки 17 вкрита плівкою із напівпровідникових ФЕП 20, яка наноситься безпосередньо на скло, з'єднаних електрично послідовно (не показано). Всередині внутрішньої трубки 17 розташований термосифон у вигляді герметичного корпусу 21 з чистої червоної міді, з конденсатором 22, контактуючим з охолоджувальним колектором 3, з рідким незамерзаючим теплоносієм 15, наприклад, антифризом. Герметичний корпус 21 і конденсатор 22 наповнені

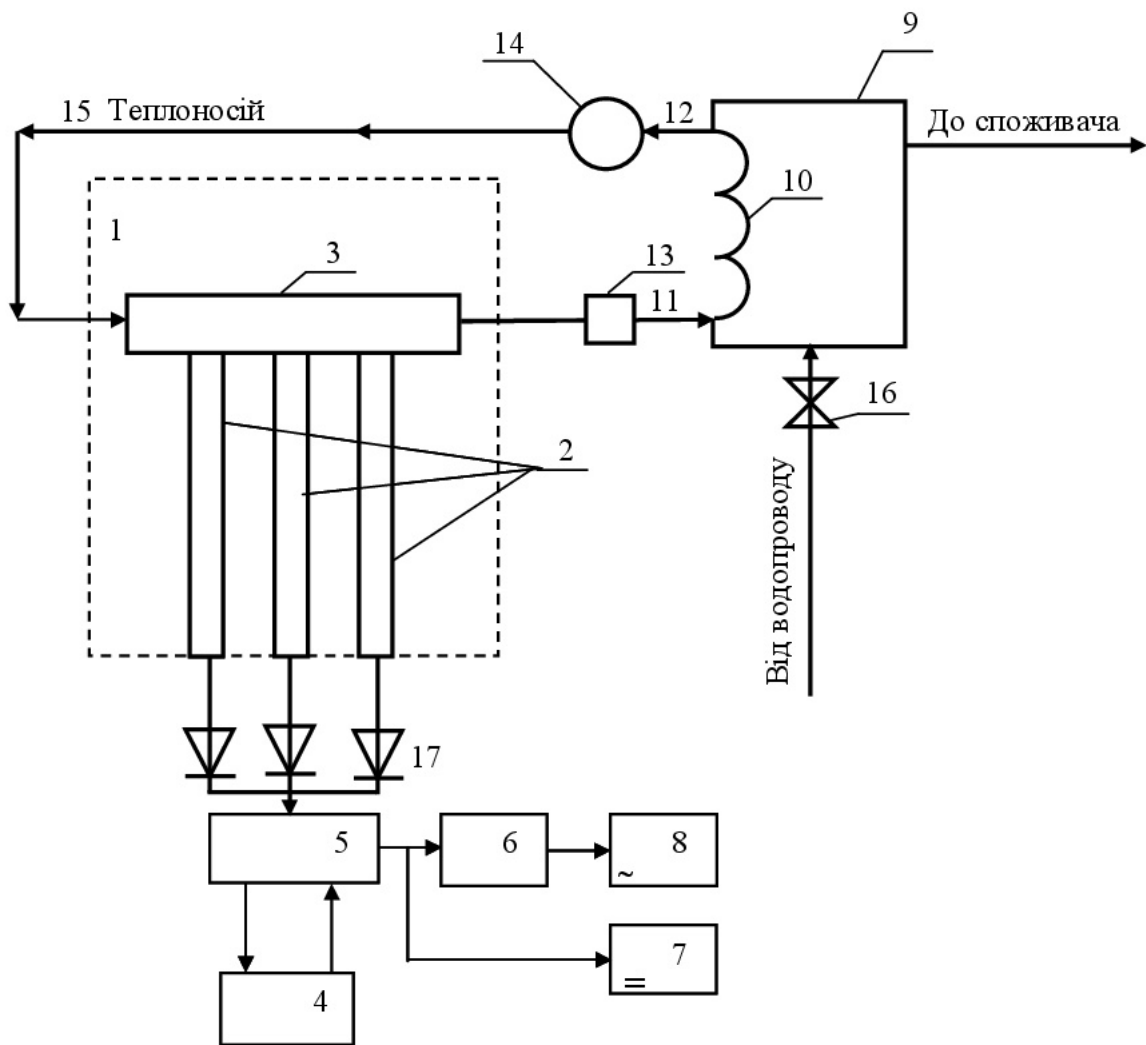


Рисунок 3.15 - Присадибна когенераційна СЕС з гібридними фотомодулями, пат. 107991 [63]

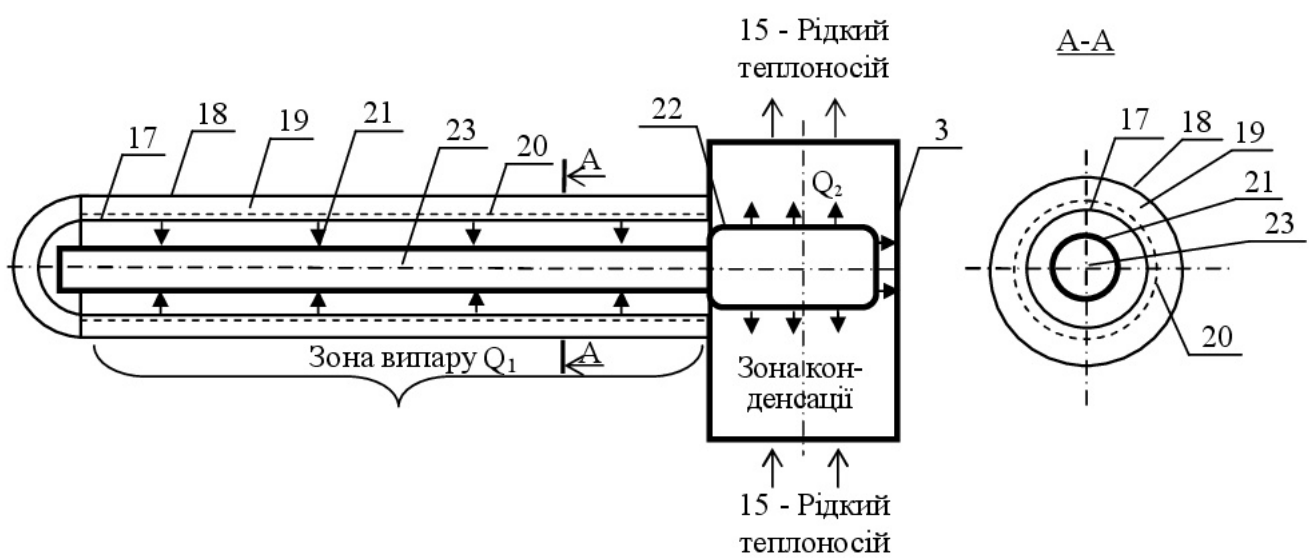


Рисунок 3.16 - Повздовжній і поперечний розрізи гібридного ФЕМ циліндричної форми з термосифоном, пат. 100635 [57]

робочим тілом 23, з фазовим переходом, від рідини до газу і навпаки, з низькою температурою замерзання, з зоною випару та зоною конденсації. В якості робочого тіла 23 можуть бути використані: етанол або його водний розчин, і/або ацетон, і/або ефір або їхня суміш.

Сонячний когенераційний модуль з термосифоном має вигляд окремого металевого корпусу, запаяного з обох сторін, і наповненого під вакуумом робочим тілом з фазовим переходом та низькою температурою замерзання, з зоною випару та зоною конденсації.

В інших конкретних формах виконання: в якості робочого тіла з фазовим переходом, від рідини до газу і навпаки, використані етанол або його водний розчин, і/або ацетон, і/або ефір або їхня суміш; плівкові ФЕП виконані з аморфного кремнію. Параметри етанолу  $C_2H_5OH$ : критична температура  $T_{кр} = 516,1K$  ( $243,1^\circ C$ ), критичний тиск  $P_{кр} = 63,9$  Па, температура кипіння при атмосферному тиску ( $P = 0,1$  МПа)  $T_{кип} = 351,3$  К ( $78,3^\circ C$ ), питома теплота випаровування  $r = 840$  кДж/кг, теплоємність газоподібного етанолу в діапазоні температур від 0 до  $100^\circ C$  становить  $C_p = 1,34 \dots 1,69$  кДж/кг·град. При тиску  $P = 20$  кПа, етанол конденсує при  $T_{кип} = 224,6$  К ( $41,7^\circ C$ ). При  $P = 10$  кПа -  $T_{кип} = 301,9$  К ( $28,9^\circ C$ ). Параметри ацетону – С  $(CH_3)_2O$ : критична температура  $T_{кр} = 508$  К ( $235^\circ C$ ), критичний тиск  $P_{кр} = 47,6$  Па, температура кипіння при атмосферному тиску ( $P = 0,1$  МПа)  $T_{кип} = 329,1$  К ( $56,1^\circ C$ ), теплоємність при кипінні  $r = 524$  кДж/кг. При зниженні тиску відповідно знижується і температура кипіння. Вибір легкокиплячої речовини або їхньої суміші в якості робочого тіла 23 і ступеню вакууму для наповнення герметичного корпусу 21 дозволяє вибрати оптимальну величину температури кипіння для охолодження плівки ФЕП 20.

Вакуумна порожнина між скляними колбами зменшує конвекційні втрати тепла. Виготовлення корпусу із чистої червоної міді збільшує його теплопровідність і виключає появу домішок в робочому тілі, що погіршують теплопередачу. Наявність конденсатора забезпечує віддачу тепла теплосбірнику з рідким теплоносієм. Тонка плівка ФЕП, з'єднаних послідовно, генерує електроенергію. Використання аморфного кремнію забезпечує економічність і технологічність виготовлення термосифону - напилення його безпосередньо на скляну трубку. Напов-

нення корпусу легко киплячими екологічно безпечними речовинами забезпечує транспортування пари від зони випару до конденсатора, віддачу тепла при конденсації, повернення конденсату за рахунок сил гравітації і повторення циклу. Теплозбірник з рідким теплоносієм забезпечує охолодження конденсатора і відбір теплоти за рахунок схованої теплоти конденсації.

Сонячний когенераційний модуль з термосифоном працює наступним чином. Між двома скляними колбами 17, 18 викачується повітря, щоб створити вакуум, який перешкоджає зворотній теплопровідності і конвекційним втратам тепла. Сонячне світло вільно проходить через прозору колбу 18 із боросилікатного скла і попадає на тонку плівку ФЕП 20, нанесену на зовнішню поверхню скляної колби 17 меншого діаметра, який генерує електроенергію. В якості робочого тіла 23 герметичний корпус 21 наповнений легко киплячою рідиною ( $T_{кип}$  - близько  $30^{\circ}\text{C}$ ) під вакуумом. За рахунок конвекційної теплопередачі теплота  $Q_1$  нагріває робоче тіло 23 в мідному герметичному корпусі 21. В результаті нагріву утворюється пара. Пара піднімається вгору до конденсатора 22, який омивається рідким теплоносієм, наприклад, антифризом, з віддачею теплоти  $Q_2$ . Віддача тепла змушує пару конденсуватися і текти назад, в зону випару, в нижній частині герметичного корпусу 21, охолоджуючи плівку ФЕП 20, і цикл повторюється знову. Теплота конденсації відбирається теплоносієм, що протікає по колектору 3 і омиває конденсатори 22. Високий коефіцієнт передачі тепла робочим тілом 23, незначна його кількість і відносно невеликі розміри герметичного корпусу 21 із чистої червоної міді дають ефективну термічну теплопровідність. Герметичний мідний корпус 21 працює як термічний діод. Теплопровідність дуже висока в одному напрямку (вгору) і низька в зворотному (вниз). Наповнення герметичного корпусу 21 робочим тілом 23 під вакуумом дозволяє знизити температуру кипіння для обраної речовини і забезпечити охолодження плівки ФЕП 20.

Удосконалення енергоустановки призводить до комбінованої генерації електричної енергії і теплоти, збільшують її загальний ККД і ефективність.

Авторами монографії розроблена сонячна когенераційна установка для рухомого об'єкта (наприклад, для баржі, яхти чи збирального комбайна) [61].



### 3.7 Використання тригенераційної технології

Тригенераційна технологія є більш вигідною в порівнянні з когенераційною, оскільки дає можливість ефективно використовувати утилізоване тепло не лише взимку для опалення, але і влітку для кондиціонування приміщень або для технологічних потреб. З цією метою можна використовувати абсорбційні бромистолітєві холодильні установки. Такий підхід дозволяє використовувати установку, що генерує, увесь рік, тим самим не знижуючи високий ККД енергетичної установки в літній період, коли потреба в теплоті, яку виробляє таке устаткування, знижується [76].

Корисна модель, що запропонована авторами монографії, відноситься до відновлюваної енергетики з використанням сонячної енергії для тригенерації – одночасного виробництва холоду, теплової та електричної енергії. В основу корисної моделі поставлена задача створення автономної тригенераційної енергоустановки рухомого об'єкта за рахунок установки абсорбційного холодильника, приєднаного до бака-акумулятора [77].

Автономна тригенераційна енергоустановка складається з сонячних модулів циліндричної форми, акумулятора, контролера заряду-розряду, інвертора, абсорбційного холодильника, вихрового насосу, термодатчика і контролера температури. Кожен сонячний модуль містить дві коаксіально розташовані трубки із боросилікатного скла, з'єднані між собою з утворенням вакуумної колби. Трубка меншого діаметра покрита послідовно з'єднаними ФЕП з виведеними електричними гермоконтактами. Сонячні модулі об'єднані в батарею з паралельним з'єднанням пар електричних гермоконтактів, приєднаних через контролер заряду-розряду до акумулятора. До іншого виходу контролера приєднані споживачі постійного струму безпосередньо, а споживачі змінного струму - через інвертор. В порожнині скляної трубки меншого діаметра коаксіально розташована теплова труба з циліндричним герметичним корпусом із теплопровідного матеріалу, наприклад, із чистої червоної міді, та капілярною структурою внутрішньої поверхні, наповненим робочим тілом з фазовим переходом, наприклад, етанолом ( $C_2H_5OH$ ). В центрі зони випару циліндричного корпусу встановлена перегородка, яка розділяє циліндричний корпус на дві герметичні части-

ни. Конденсатозбірники розташовані в зонах конденсації на протилежних кінцях циліндричного корпусу, що контактують зі спільним збирачем теплоти, який наповнений рідким незамерзаючим теплоносієм. Абсорбційний холодильник приєднаний до бака-акумулятора.

Виготовлення циліндричного герметичного корпусу теплової трубки із чистої червоної міді збільшує теплопередачу за рахунок теплопровідності. Наповнення корпусу теплової труби робочим тілом з фазовим переходом, наприклад, етанолом ( $C_2H_5OH$ ) під вакуумом ( $T_{кип}$  - близько  $30^{\circ}C$ ), забезпечує “сховану” складову теплопередачі від зони випару до зон конденсації. Механічний контакт конденсатозбірників зі збирачем теплоти, наповненим рідким теплоносієм, прискорює процес конденсації і робить його більш ефективним. Капілярна структура внутрішньої поверхні циліндричного герметичного корпусу забезпечує транспортування конденсату вздовж повздовжньої осі назад, до зони випару. Установка перегородки в центрі зони випару, яка розділяє корпус на дві герметичні частини, забезпечує повернення конденсату від конденсатозбірників, розташованих на протилежних кінцях циліндричного корпусу, до зони випару, незалежно від орієнтації сонячного когенераційного модуля в просторі і впливу сил гравітації. Використання в якості робочого тіла з фазовим переходом, етанолу ( $C_2H_5OH$ ) забезпечує безпеку і екологічність автономної тригенераційної установки для рухомого об'єкта.

Функціональна схема автономної тригенераційної енергоустановки рухомого об'єкта наведена на рисунку 3.17. Енергоустановка працює наступним чином. Батарея 1 із сонячних когенераційних модулів 2 встановлена на рухомому об'єкті (яхті, баржі, рухомій пасіці, збиральному комбайні тощо).

В автономній тригенераційній установці використані сонячні когенераційні модулі циліндричної форми, пат. 97782 (рисунок 3.12) [56]. Теплота конденсації з сонячних когенераційних модулів 2 відбирається теплоносієм 16 (рисунок 3.17), що протікає по спільному збирачу теплоти 3. Струм, генерований охолодженими ФЕП від кожного модуля 2 через низькоомні діоди Шотткі 29 і контролер заряду-розряду 5 поступає на заряд акумулятора 4, до споживачів постійного струму 7, або через інвертор 6 – до споживачів змінного струму 8.

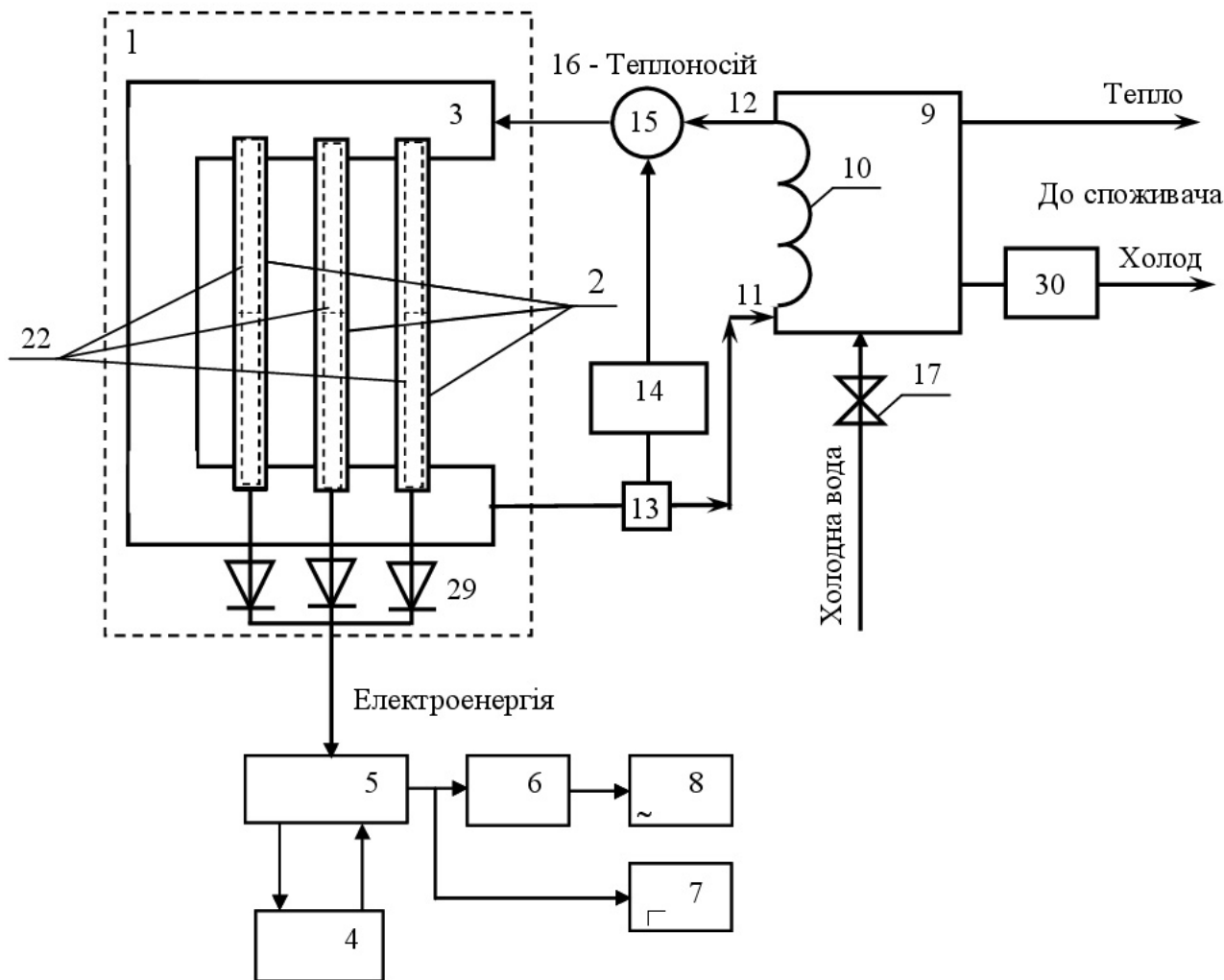


Рисунок 3.17 – Функціональна схема автономної тригенераційної енергоустановки рухомого об'єкта [77]

При досягненні температури теплоносія 16 в спільному збирачу тепла 3 заданої величини за сигналом термодатчика 13 контролер температури 14 вмикає вихровий насос 15, і той проганяє теплоносіє 16 по трубах 11, 12, який через теплообмінник 10 віддає генеровану теплоту до бака-акумулятора 9, до якого приєднаний абсорбційний холодильник 30. Холодна вода поступає до бака-акумулятора 9 через електрореле 17 знизу, а до споживача поступає "тепло" і "холод".

Технічний результат полягає у збільшенні завантаження і продуктивності автономної генераційної енергоустановки за рахунок додаткової генерації холоду.

### 3.8 Розробка присадибної СЕС з системою автоматичного стеження фотопанелі за сонцем

Для підвищення ефективності роботи побутової ФЕС (на 25...30%) розроблена функціональна схема системи автоматичного стеження фотопанелі за сонцем (рисунок 3.18), та дослідний зразок пульта керування (Додаток 2) [6, 7]. Автоматизована система містить послідовно з'єднані сонячну фотопанель 1 із ФЕП, блок управління зарядки-розрядки 2, акумулятор 3, підключений до споживача 4 постійного струму, блок фотодатчиків 5 положення сонця, через підсилювач-формував сигнал 6, підключений до блока 7 керуючої логіки, який за допомогою драйвера 8 азимутального та зенітального каналу крокових двигунів 9 забезпечує поворот фотопанелі 1 за сонцем, інфрачервоні (ІЧ) переривники 10, дисплей 11, блок 12 введення інформації, поворотний механізм 13, блок фотодатчиків 5 положення сонця, розташованих на чотирьох гранях приймальної піраміди 14, кут нахилу яких становить  $45^\circ$  [6].

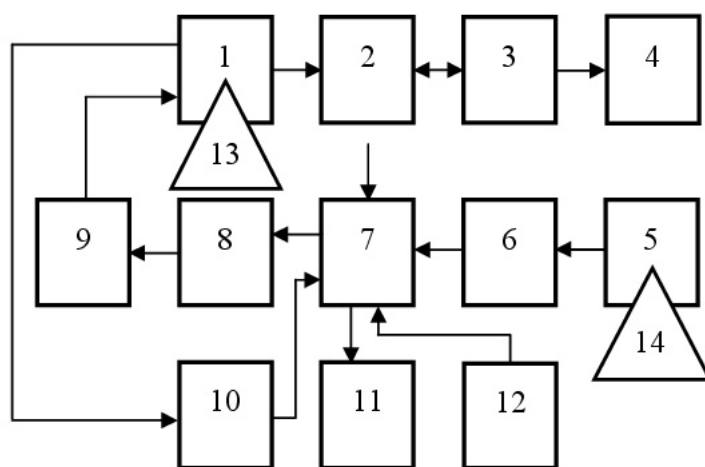


Рисунок 3.18 - Система автоматичного стеження фотопанелі побутової СЕС за сонцем

Для контролю кінцевих положень фотопанелі 1 встановлені ІЧ переривники 10, сигнал яких поступає до блока 7 керуючої логіки. Інформація щодо поточної генерованої потужності виводиться на дисплей 11. Ручний режим роботи та налаштування пристрою забезпечується за допомогою блока 12 введення інформації. Напруга з виходу фотопанелі 1 поступає на блок 2 управління

зарядки-розрядки, який подає інформацію про поточне генерування потужності на мікроконтролер 7. При наявності достатнього рівня генерованої потужності починається заряд акумуляторної батареї 3.

В пристрої реалізований принцип пошуку положення сонця за допомогою блока фотодатчиків 5, розташованих на чотирьох гранях приймальної піраміди 14, кут нахилу яких становить  $45^\circ$ . Сигнал фотодатчиків 5 поступає на підсилювач-формував сигнал 6, де відбувається його обробка для сумісності з мікроконтролером 7. Мікроконтролер 7 виконує розрахунок положення сонця, формує керуючий сигнал драйверу 8 азимутального та зенітального каналу шагових двигунів 9, і тим самим забезпечує поворот фотопанелі 1 за сонцем. Зміна положення робочої точки відбувається, якщо кут положення сонця різниться з кутом нахилу фотопанелі більш ніж на  $10^\circ$ . Пристрій являє собою два незалежних модуля, які з'єднані між собою шлейфами [6, 7]. Перший модуль містить 4 фотодатчика. Кожен з фотодатчиків спрямований під кутом  $45^\circ$  до денного сонцестояння і фіксує кут положення сонця по відношенню до Землі (рисунок 3.19).

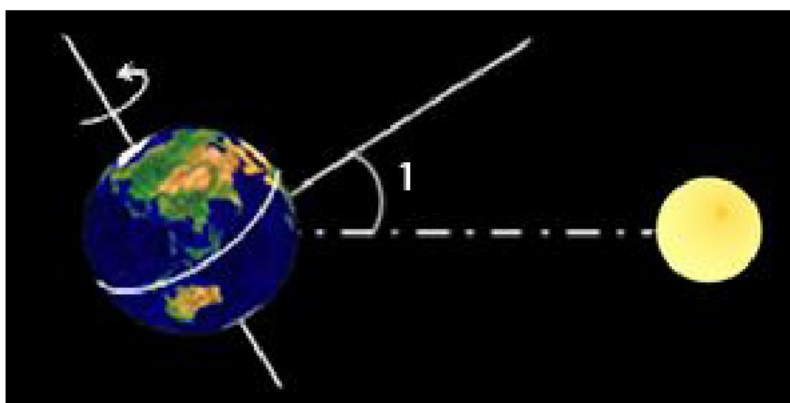


Рисунок 3.19 – Зміна кута положення сонця по відношенню до Земної поверхні

Другий модуль - система управління поворотним механізмом, до складу якої входять три основних функціональних блоки:

- 1) блок керування живленням і розподілом накопичуваної енергії;
- 2) блок керуючих сигналів з індикацією;
- 3) драйвера крокових двигунів.



У робочому режимі на дисплей виводиться інформація про стан, джерела сигналів, поточна напруга та струм заряду батареї. Дослідний зразок пульта керування зібраний в корпусі: 140x70x180 мм наведений у Додатку 2, а блок-схема та схема електрична принципова керування поворотним механізмом міні-СЕС у Додатку 3 [6].

Пульт оснащено власним акумулятором, від якого може живитися схема і крокові двигуни, призначені для повороту панелі за сонцем. У пристрої використані фотодатчики типу APDS-9007-020 (на пульті, праворуч).

Попередні дослідження і досвід наших партнерів показали, що ефективність рухомих фотопанелей зростає на 25... 30% [58], але відповідно зростають і витрати на власні потреби, зокрема на роботу електропривода для обертання фотопанелей за сонцем. Крім того, робота діючих установок потребує збільшення відчуження земельної території. Тому для впровадження поворотних СЕС у виробництво знадобиться індивідуальне обґрунтування кожної установки.

### **3.9 Аналіз роботи приватних дахових СЕС**

#### **3.9.1 Використання СЕС на переробних підприємствах**

За останні роки в Україні спостерігається стрімке зростання приватних СЕС. На сьогодні всього в Україні налічується 6,5 млн. приватних домогосподарств. З них на кінець 2017 року тільки 3010 оснащені сонячними енергоустановками. В таблиці 3.2 наведена динаміка зростання приватних СЕС [26].

Таблиця 3.2 - Кількість приватних СЕС в Україні, що працюють за “зеленим” тарифом

Рік	Кількість	Потужність, МВт
2015	244	2,2
2016	1109	16,7
2017	3010	51

Найбільша кількість СЕС у приватних домогосподарствах у наступних регіонах України: Київська обл. та м. Київ – 516; Дніпропетровська обл. – 297; Тернопільська обл. – 227. Загалом, за три роки приватними домогосподарствами інвестовано у встановлення СЕС майже 52 млн. євро [108].

Стрімкий попит населення на “сонячну” електроенергію пояснюється прийнятим у 2015 р. Законом України № 514-VIII, яким надано вигідний “зелений” тариф із прив’язкою до курсу євро. Це означає, що домогосподарство може продавати надлишок генерованої “чистої” електроенергії в мережу і швидко повертати кошти, вкладені у СЕС без застережень щодо інфляції. НКРЕКП затвердила нові “зелені” тарифи для населення. Протягом минулих 10 років ціни на СЕС зменшились більше ніж у 30 разів, враховуючи той факт що їхня ефективність зростає. Тільки за останні 2 роки вартість сонячних панелей знизилася у 2 рази. Таке зниження цін обумовлено новими технологічними рішеннями та значною конкуренцією між фірмами виробниками [26].

На рисунку 3.20 подані добові графіки навантаження (ДГН) за три робочі дні і еквівалентний молокозаводу м. Мелітополь [19].

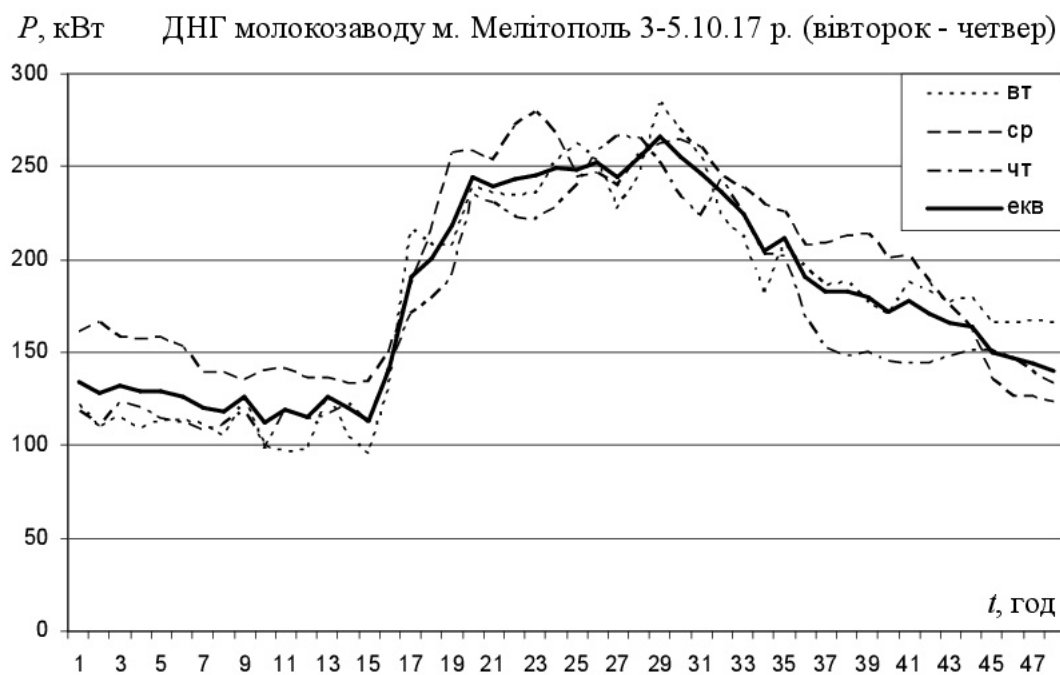


Рисунок 3.20 - ДГН молокозаводу м. Мелітополь за робочі дні

За даними АСКОВЕ побудовані ДГН перших трьох приватних дахових СЕС різної потужності, розташованих у різних місцях м. Мелітополь [19]: СЕС1,  $P_{вст} = 20$  кВт, СЕС2,  $P_{вст} = 5,2$  кВт і СЕС3,  $P_{вст} = 30$  кВт. На рисунку 3.21 подані ДГН кожної СЕС і сумарний СЕС<sub>екв</sub> за 3 дні жовтня 2017 року. Усі ДГН СЕС добре корелюються між собою та з ДГН молокозаводу.

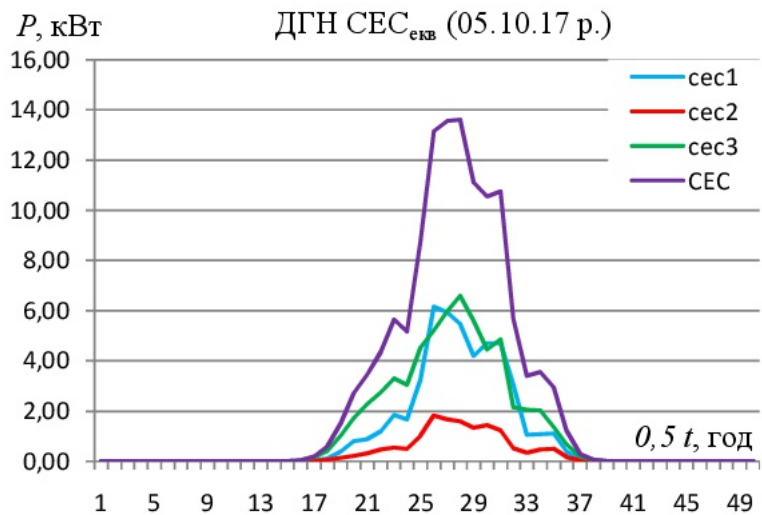
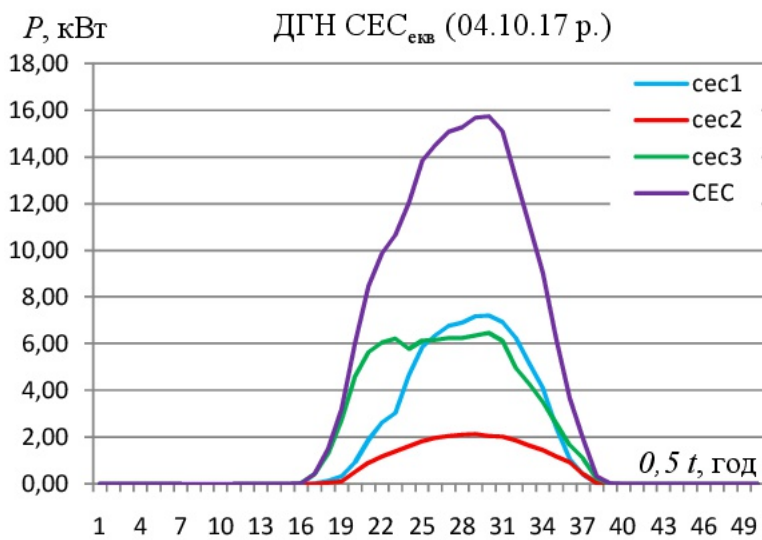
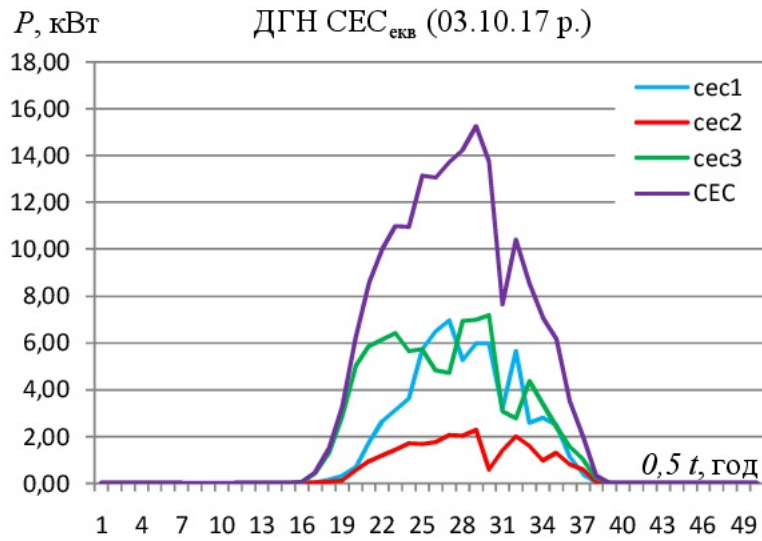


Рисунок 3.21 - ДГН перших приватних СЕС у м. Мелітополь,

$P_{\text{нік}}$  о 14<sup>00</sup> - 15<sup>00</sup> год [19]

Пік потужності ДГН СЕС в часі, близько 14<sup>00</sup> год., практично співпадає з піком молокозаводу, м'ясокомбінату і місцевої електромережі. Отже приватні дахові СЕС без проблем інтегруються в електромережу і ОЕС України [19].

В таблиці 3.3 наведене помісячне споживання (+) і відпуск (-) електроенергії домогосподарством №1. Найбільший відпуск (генерація) електроенергії припадає на серпень.

Таблиця 3.3 - Помісячне споживання (відпуск) електроенергії домогосподарством №1, кВт·год [26]

Місяць	Споживання (+)	Відпуск (-)
Березень	2047,275	627,536
Квітень	279,439	1335,630
Червень	105,299	2267,051
Липень	133,306	2269,624
Серпень	197,750	<b>2310,067</b>
Вересень	234,402	1905,131
Жовтень	288,279	857,176

Визначення енергетичних показників за експериментальними ДГН приватних дахових СЕС м. Мелітополь приведені у таблиці 3.4 [19].

Таблиця 3.4 - Енергетичні показники приватних СЕС, станом на 03.10.17 р.

Показник	СЕС1	СЕС2	СЕС3
Орієнтація	південь	південь	схід-захід
$P_{вст}$ , кВт	20	5,2	30
$P_{max}$ , кВт	7	2,25	7,1
$W_{\partial}$ , кВт·год	60,88	25,07	88,77
$K_{max} = P_{max} / P_{вст}$	0,35	0,43	0,237
$K_{ВВП} = W_{\partial} / 24P_{вст}$	0,126	0,201	0,123
Коефіцієнт парної кореляції з СЕС1, $r_{xy}$	$r_{xy} =$	0,986945	-
	$r_{xy} =$	-	0,936412

В таблиці 3.5 наведені дані про продаж електроенергії за “зеленим” тарифом, як різниця між генерацією і споживанням.

Таблиця 3.5 - Продаж електроенергії домогосподарствами в енергосистему за “зеленим” тарифом за жовтень 2017 р., кВт·год

Домогосподарство	Споживання (+)	Відпуск (-)	Продаж
№1	288,279	857,176	569
№2	141,332	296,590	155
№3	242,395	1257,199	1015
<b>Разом за жовтень</b>	<b>672,006</b>	<b>2410,965</b>	<b>1739</b>

Коефіцієнт максимальної потужності визначався за формулою

$$K_M = P_M / P_{вст}, \quad (3.1)$$

де  $P_M$  і  $P_{вст}$  – відповідно, максимальна і встановлена потужність, кВт.

Коефіцієнт використання встановленої потужності дорівнює

$$K_{ВВП} = W_{\partial} / 24P_{вст}, \quad (3.2)$$

де  $W_{\partial}$  – електроенергія відпущена за добу, кВт·год.

Коефіцієнт кореляції  $r_{xy}$  визначався за формулою

$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \times \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3.3)$$

де  $x_i$  - значення змінної  $x$ ;

$y_i$  - значення змінної  $y$ ;

$\bar{x}$  – середнє арифметичне значення для змінної  $x$ ;

$\bar{y}$  – середнє арифметичне значення для змінної  $y$ .

Із аналізу таблиці 3.4 слідує: - найбільш високі енергетичні показники у найменш потужної СЕС2 з орієнтацією на південь,  $K_{ВВП} = 0,201$ , у СЕС1  $K_{ВВП} = 0,139$  - менший на 45%, а у СЕС3 з орієнтацією схід-захід  $K_{ВВП} = 0,123$  - менший на 63%; - кореляція ДГН у приватних дахових СЕС дуже сильна, у СЕС1 і СЕС2 з орієнтацією на південь кореляція сильніша ( $r_{xy} = 0,986945$ ), з різною орієнтацією - у СЕС1 і СЕС3 кореляція дещо менша ( $r_{xy} = 0,936412$ ).

### 3.9.2 Перспективи СЕС для зарядки екомобілів

Світові продажі електричних і гібридних авто з кожним роком збільшуються мінімум удвічі. Найбільше (електромобілів) в Китаї. На другому місці – Європа, особливо скандинавські країни. За результатами продажів 2017 року на



дорогах Землі роз'їжджало 3,1 млн. екомобілів. Перше півріччя 2018 року додало до цієї цифри ще 800 тисяч. До кінця поточного року очікується, що кількість екомобілів перетне позначку в 5 млн [110].

Україна - в п'ятірці країн щодо ринку екомобілів. У 2017 р. українці купили 2697 авто – це в 2,3 рази більше ніж в 2016-м. Загалом в Україні за даними МВС станом на 1.05.2018 р. зареєстровано 7439 екомобілів (рисунок 3.22), що майже вдвічі перевищує показник минулого року (до 2016 р. - 418 од., 2016 р. – 1521 од., 2017 р. - 3818 од.), повідомляє Autogeek.

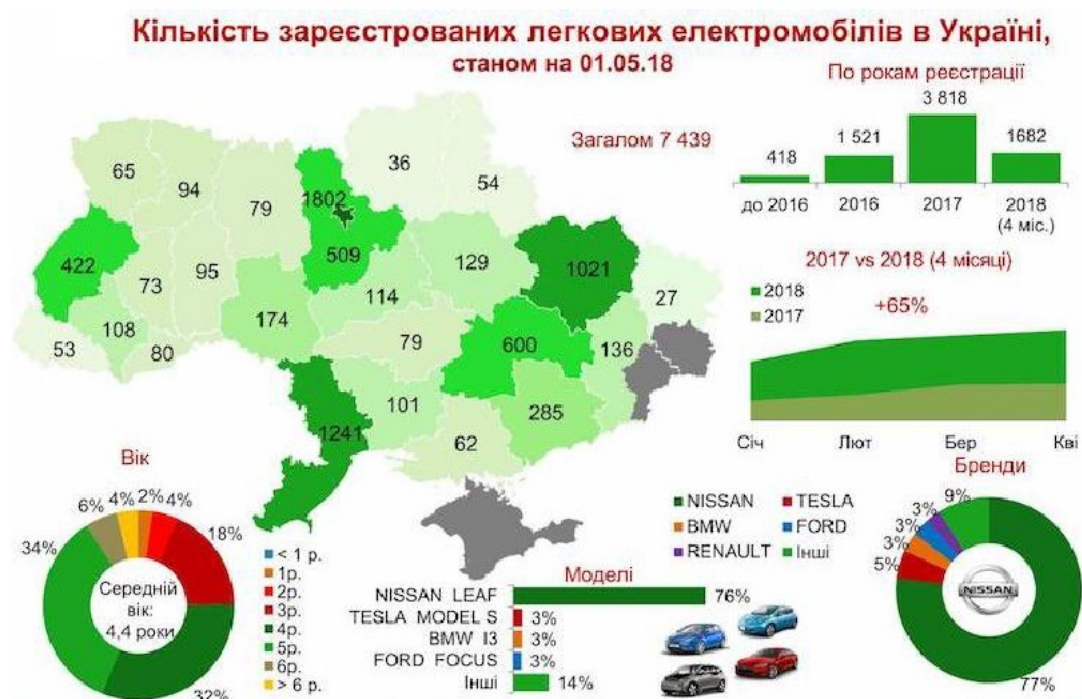


Рисунок 3.22 - Кількість зареєстрованих електромобілів в Україні

Близько 56% екомобілів були зареєстровані в Києві, 1106 машин - в Одеській області і 949 - в Харківській. Водночас зазначається, що в Україні відчувається гостра нестача швидких зарядних станцій - їх в десять разів менше, ніж звичайних [110].

Відсутність інфраструктури є одним із головних бар'єрів для розвитку ринку екомобілів в Україні. Та й вартість самих "батареї" завелика. Але вже помітні зміни на краще – заправок стає все більше. За їх будівництво взялися великі корпорації, зокрема – ДТЕК. По Одеській, Київській та Харківській об-

ластях вже є непогане охоплення. Напевно, саме тому “зелені авто” тут продаються успішніше [86].

Головною перевагою електромобілів є можливість заряджати їх в будь-якому місці, де є звичайна побутова електромережа. Для цього використовується зарядний пристрій, вмонтований в кожен електромобіль і зарядний шнур. Самий простий спосіб зарядки електромобіля в гаражі від звичайної розетки 220/230 Вольт, 16 Ампер. Розрізняють 4 режими “заправки бака” електромобіля (в англійській термінології “Mode”) [110].

**Mode 1** - самий базовий. Зарядка змінним струмом від побутової електромережі. Він не гарантує безпеки у випадку перегріву кабелю/розетки чи короткого замикання, а тому не рекомендований в сучасних електромобілях. Час зарядки стандартного електрокара з батареєю в 20-25 кВт·год становить 6-8 годин.

**Mode 2** те ж саме, але з застосуванням фірмового кабелю з захистом, який за допомогою простих світових індикаторів інформує про протікання зарядки.

**Mode 3** - зарядка більшим змінним струмом з використанням окремої спеціальної розетки, яка по суті є зарядною станцією. В залежності від типу кабелю і розетки, може видавати від 7,2 до 43 кВт. Відповідно, тривалість “заправки” стандартного електрокара становить від 4 годин до декількох хвилин.

**Mode 4** - самий швидкий спосіб зарядки електромобіля з використанням джерела постійного струму, але не більше 1-2 швидкої зарядки на тиждень [110].

В Україні нараховується 1179 станцій підзарядки електромобілів (в 2015 р. було 62 станції, в 2016 р. – 287, в 2017 р. – 577). Особливо активно мережа електрозаправок розвивається в Чернігівській, Полтавській і Харківській областях. Також відносно рівномірно покрита зарядками Західна Україна. Наявність електрозаправок уже чітко простежується вздовж головних автомагістралей: траси Київ-Полтава-Харків, Київ-Одеса, Харків-Дніпро-Запоріжжя-Мелітополь-Азовське море. Інфраструктуру зарядних станцій в Україні складають як станції, спеціалізовані тільки на підзарядці електрокарів, відомих АЗС, так і поза-

мережні зарядки біля ресторанів, готелів та ін. закладів. Окремим способом зарядки електрокара є система зарядки від сонячних батарей [86].

З метою використання СЕС приватних домогосподарств на АЗС для “заправки” екомобілів, проведено кореляційний аналіз ДГН приватних СЕС м. Мелітополь та еквівалентного ДГН СЕС<sub>екв</sub> (рисунок 3.21) [19] з ДГН автозаправочної станції “WOG” з 3 жовтня по 5 жовтня 2017 р. (рисунок 3.23) [86].

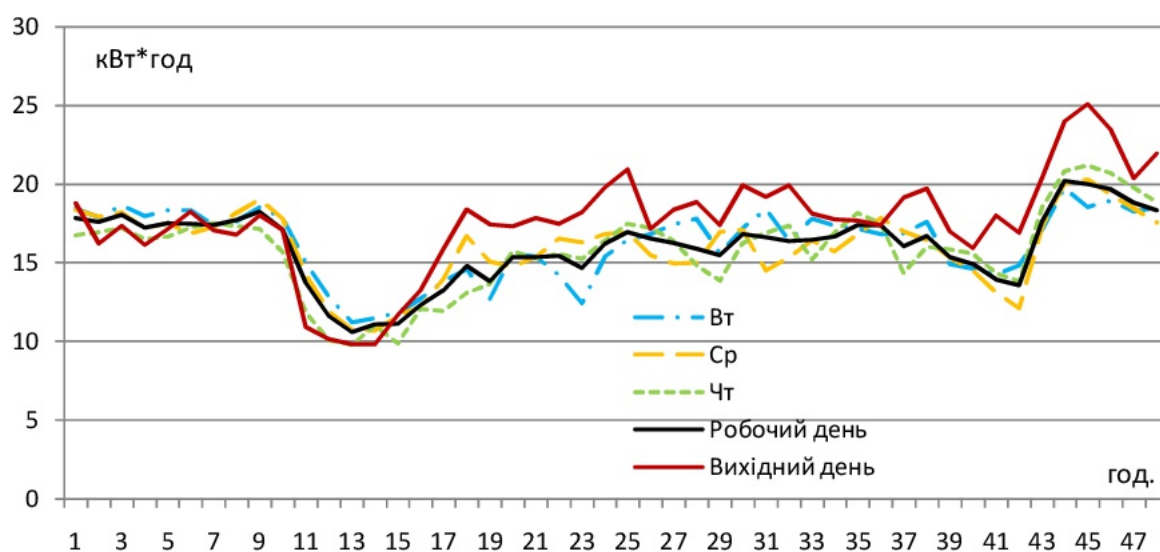


Рисунок 3.23 - ДГН автозаправочної станції “WOG”

В таблиці 3.4 наведені розраховані енергетичні показники кожної СЕС: коефіцієнт максимальної потужності  $K_{max}$  та коефіцієнти використання встановленої потужності за добу  $K_{ВВП}$ , а також коефіцієнт парної кореляції СЕС2 і СЕС3 з СЕС1.

Коефіцієнт парної кореляції Пірсона за світовий день між ДГН СЕС<sub>екв</sub> (рисунок 3.21) та автозаправочною станцією “WOG” (рисунок 3.23) розрахований за (3.3), становить  $r_{xy} = 0,8536$ , тобто маємо високий кореляційний зв'язок.

**Висновки.** На базі приватних СЕС може бути створена локальна мережа ефективних станцій для заряду акумуляторів екомобілів.

## РОЗДІЛ 4.

### УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ЗАСОБІВ ВИКОРИСТАННЯ ВІТРОВОЇ ЕНЕРГІЇ

#### 4.1 Обмежувальні властивості вітру як джерела енергії

Вітряні двигуни (ВД), один з найдавніших засобів отримання механічної енергії, може бути, так і залишилися б історичною диковинкою, якби не енергетична криза 70-х років. Пошук джерел енергії, які могли б замінити нафту, привів до того, що ВД пережили своє друге народження. В результаті вони стали заявлятися у ряді країн у вигляді одиночних споруд або цілих комплексів, тобто груп ВД, які підключаються до місцевої енергомережі. Їхній вклад у виробництво електроенергії поки невеликий, але по мірі неминучого росту дефіциту нафти та технічного вдосконалення самих ВД їхнє значення буде зростати.

Непередбачуваність зміни поведінки вітру у часі та просторі - не єдина проблема. Інша пов'язана з великою величиною діапазону швидкостей вітру. Вона посилюється тим, що сила вітру (тиск, який він чинить) пропорційна квадрату швидкості ( $V^2$ ), а його потужність (здібність чинити корисну роботу) пропорційна кубу швидкості ( $V^3$ ). Таким чином, коли швидкість вітру при поривах збільшується у 2 рази у порівнянні із середнім значенням (що буває під час шторму), сила вітру змінюється в 4 рази, а його потужність змінюється у 8 разів, тобто  $- 2^3$ .

Мінливість вітру породжує ряд технічних проблем, обумовлених необхідністю узгодження навантаження з вихідною потужністю та захисту установки від сильних вітрів. Кілька століть тому перша проблема вирішувалась шляхом зміни навантаження у відповідності зі зміною потужності вітру. Сучасні ВД поєднують з іншими установками, що генерують, щоб виключити перерви в роботі. В минулому при сильних вітрах з метою безпеки знімали частини вітряків, подібно тому, як на судні перед бурею прибирали вітрила. Сучасні ВД оснащені різними механізмами, які запобігають їх пошкодженню під час сильних поривів вітру.



Окрім мінливості вітер має ще одну особливість, яку не можна не враховувати, - це розрідженість енергії. При звичайних швидкостях тиск, який він чинить, не дуже великий (хоча може бути значним при ураганних вітрах); потік енергії також дуже малий - він приблизно дорівнює потоку сонячної радіації. При більш сильних поривах потік енергії істотно більший (наприклад, при швидкості вітру 6 м/с він дорівнює  $130 \text{ Вт/м}^2$ ), але використати цю енергію не вдається. Якщо мати на увазі застосування ВД для вироблення електроенергії, треба признати, що ці показники дуже малі в порівнянні з енергетичними показниками струмка або домашньої пічки, не кажучи вже про теплові електростанції. Тому, для того щоб генерувати значну кількість енергії, ВД повинні “вловлювати” енергію з більшої площі вітрового потоку.

На початку ХХ сторіччя російський вчений М. Є. Жуковський розробив теорію вітродвигуна, на основі якої могли бути створені високопродуктивні установки, спроможні одержувати енергію навіть від самого слабкого вітру [94]. З'явилася множина проектів ВЕУ, незрівнянно більш досконалих, чим старі вітряні млини. У нових проектах використовуються досягнення багатьох галузей знання. У наші дні до створення конструкцій вітроколеса (ВК) - серця будь-якої ВЕУ - залучаються спеціалісти-літакобудівельники, що уміють вибрати найбільш доцільний профіль лопаті, досліджувати його в аеродинамічній трубі. Зусиллями вчених і інженерів створені найрізноманітніші конструкції сучасних ВЕУ.

Принцип дії ВД залишається незмінним з давніх часів, але матеріали, з яких вони будуються, та їх конструкції вже інші. Розглянемо фізичні основи використання потенційної енергії вітру і перспективи у використанні ВЕУ.

## **4.2 Класифікація вітроустановок. Типи вітродвигунів**

### **4.2.1 Еволюція вітродвигунів**

Елементи ВД майже не змінились за останні 500 років. Башта служить опорою для крильчастого ВК, яке створює аеродинамічні сили, подібні тим, які виникають на крилі літака. Ці сили приводять у обертання ведучий вал. За допомогою зубчастих кілець обертання передається жорнам, насосу або (як на сучасних вітроелектричних установках) електрогенератору. Елементи керування,



такі як віндроза, служать для установки ВК на вітер, регулювання потужності та запобігання розгону до занадто великих швидкостей. У сучасних ВД ці функції виконуються більш сучасними механізмами, і в цьому, напевне, їхня єдина відмінність від давніх вітряків.

Конфігурація лопатей на протязі часу вдосконалювалася (рисунок 4.1). Розробники вітряних двигунів вчилися більш ефективно використовувати аеродинамічні сили та витягувати більше енергії з вітру. Спочатку лопаті були плоскими (а). Угнутість профілю, яка збільшує підйомну силу (б), вперше стала застосовуватися у XVII ст. Профіль лопатей сучасних вітроколес (в) подібний профілю крила літака, яке володіє ще більшою підйомною силою та меншим лобовим опором [103].



Рисунок 4.1 - Конфігурація лопатей

Лопаті перших вітряних двигунів обтягувались парусиною; у теперішній час обшивка лопатей робиться із скловолокна, металу або фанери.

Заповнення ВК, яке дорівнює відношенню площі лопатей до площі обмаху ВК, у сучасних двигунів має тенденцію до зниження. ВК з широкими лопатями або з більшою кількістю лопатей відхиляє більшу частину повітряного потоку, не пропускаючи її через площину обертання. Така конфігурація з більшим заповненням має значний крутильний момент та невисоку швидкість обертання, так що істотна частина енергії вітру уходить на закручування струменя повітря за вітроколесом. ВК з малим заповненням (з невеликою кількістю лопатей), працює більш ефективно. Ефективність ВК з лопатями різних типів порівнюється за кривими залежності коефіцієнту використання енергії вітру від швидкохідності. Коефіцієнт використання енергії вітру - це відношення енергії,

яка витягується з вітру, до повної енергії, яка переноситься вітром через площу обмаху ВК. Швидкохідність ВК показує, у скільки разів швидкість кінцевих точок лопаті більше швидкості вітру. На рисунку 4.2 зображені порівняльні аеродинамічні характеристики типових вітро двигунів  $C_p = f(Z)$ ,  $Z = \omega R/V$  [103].

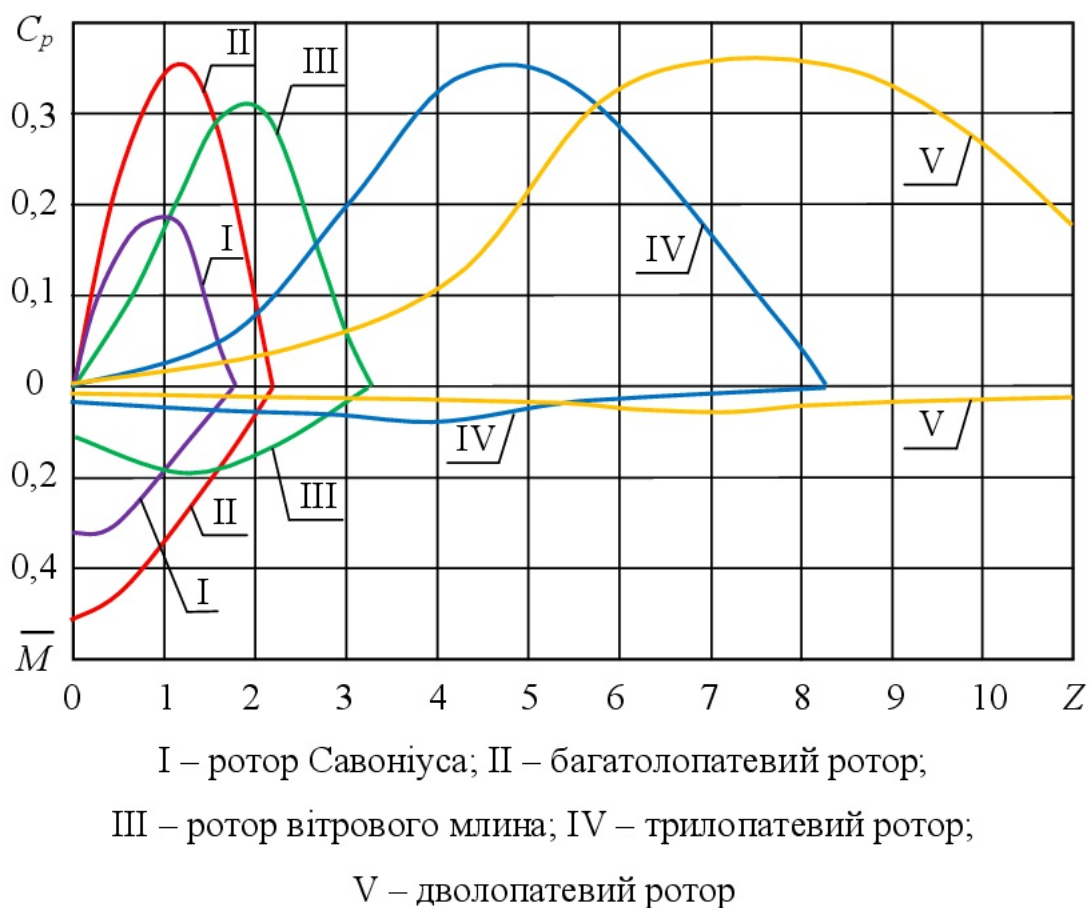


Рисунок 4.2 - Аеродинамічні характеристики типових вітро двигунів

Для сучасних ВЕУ характерна тенденція до зменшення кількості лопатей та їхньої ширини, за рахунок цього вони мають більшу швидкість обертання. Застосування швидкохідних ВК з малим заповненням дозволило зняти втрати потужності, які обумовлені закручуванням повітряного струменя за ВК, а також зменшити вагу вузлів та здешевіти експлуатацію ВД.

#### 4.2.2 Класифікація вітроенергетичних установок

Будь-яка класифікація умовна, проте вона допомагає краще зрозуміти властивості об'єкту дослідження. На рисунку 4.3 наведена класифікація ВЕУ за такими ознаками:

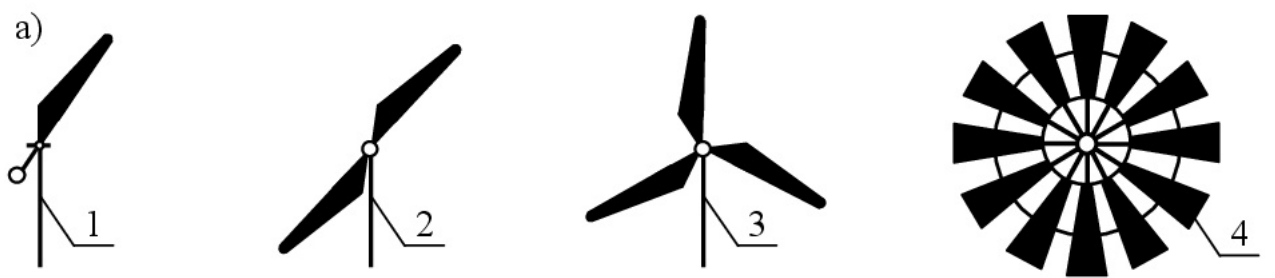
- 1) за розташуванням валу:
  - з горизонтальним валом (рисунок 4.4,а);
  - з вертикальним валом (рисунок 4.4,б);
- 2) за швидкохідністю:
  - тихохідні;
  - швидкохідні;
- 3) за призначенням: вітроелектрогенератори, водопідіймальні, помел зерна та ін.



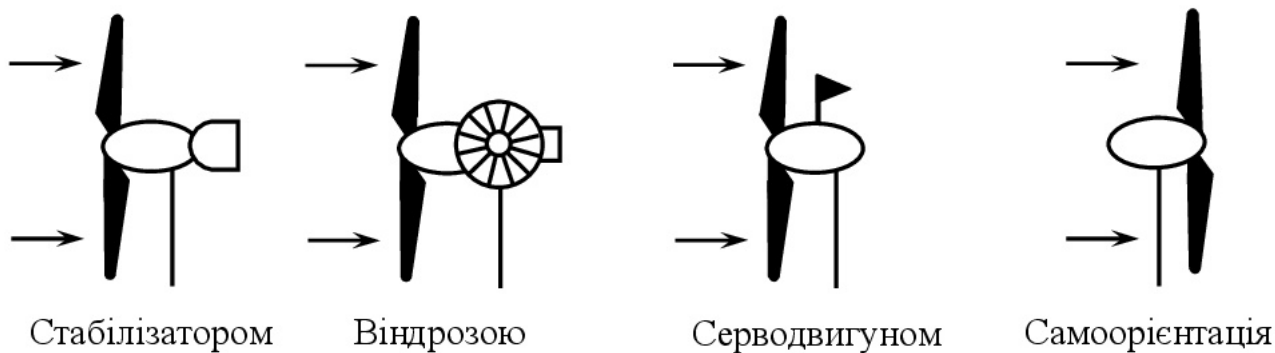
Рисунок 4.3 - Класифікація вітроенергетичних установок

#### 4.2.3 Типи вітродвигунів

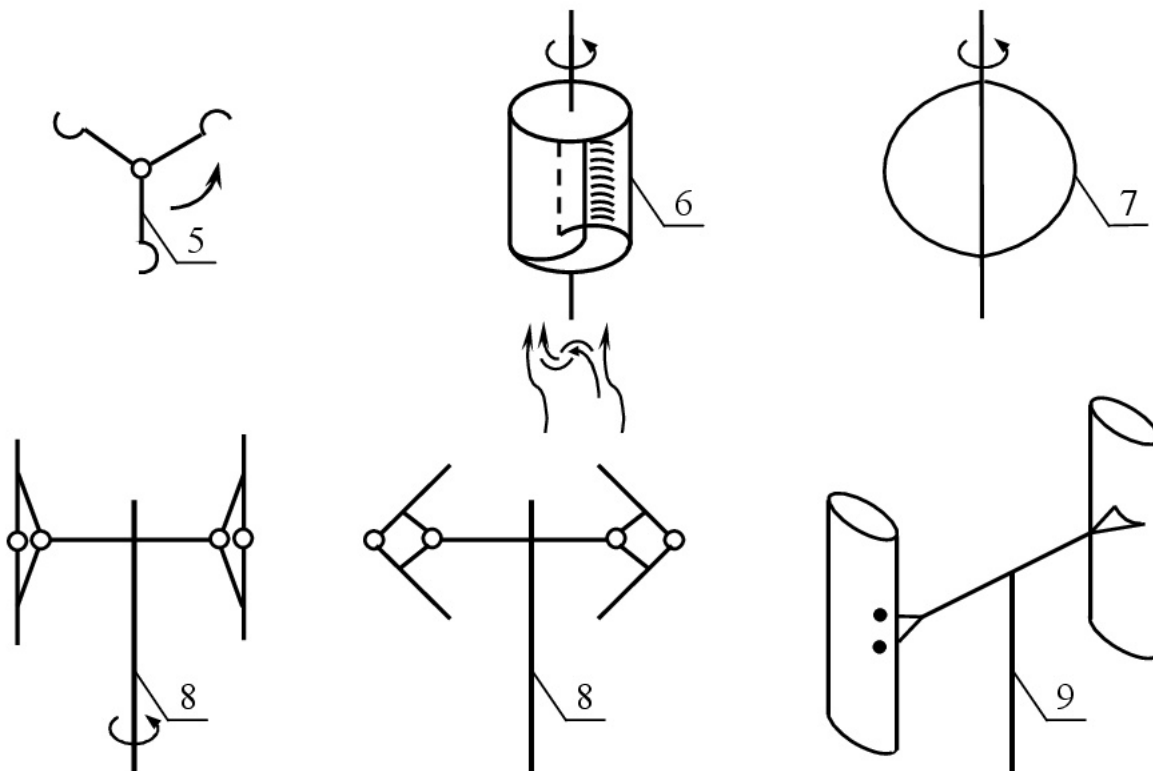
Різноманітні конструкції сучасних ВД подані на рисунку 4.4. До тихохідних ВД відносяться: багатолопатевий крильчастий ВД 4 з горизонтальною віссю обертання, ВД з вертикальною віссю (чашковий) 5 і ротор Савоніуса 6; до швидкохідних: одно-, трилопатеві ВД 1-3 з горизонтальною віссю обертання і 7-9 з вертикальною віссю.



Орієнтація за вітром



б)



Робоче положення      Відключене положення

а) Вітрова двигун з горизонтальним валом: 1 – однолопатевий, 2 – дволопатевий, 3 – трилопатевий, 4 – багатолопатевий;

б) Вітрова двигун з вертикальним валом: 5 – чашковий ротор (анемометр), 6 – ротор Савоніуса, 7 – ротор Дар'є, 8 – ротор Масгрува, 9 – ротор Еванса

Рисунок 4.4 - Типи вітрових двигунів [39]

Принцип дії усіх ВД один: під напором вітру обертається ВК з лопатями, передаючи крутний момент через систему передач валу генератора або водяному насосу. Чим більше діаметр ВК, тим більший вітровий потік воно захоплює і тим більше енергії виробляє. Основні різновиди ВД зображені на рисунку 4.5:

- 1) ВД з горизонтальною віссю обертання (крильчасті) (2...5);
- 2) ВД з вертикальною віссю (лопатові 1 і ортогональні 6).

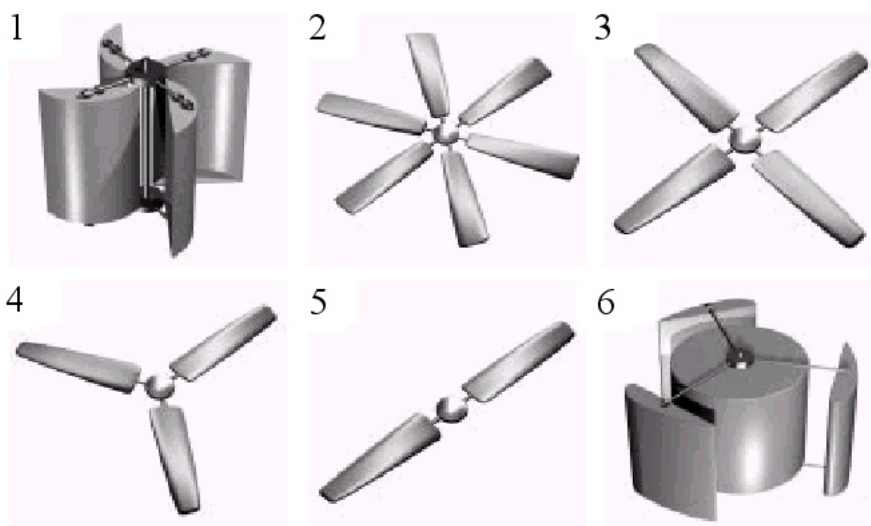


Рисунок 4.5 - Типи вітродвигунів

### *Крильчасті вітродвигуни*

Поширення крильчастих ВД (рисунок 4.5, 2-5) пояснюється швидкістю їх обертання. Вони можуть безпосередньо з'єднуватися з генератором електричного струму без мультиплікатора. Швидкість обертання крильчастих ВД обернено пропорційна кількості крил, тому ВД з кількістю лопатей більше 3-х практично не використовуються (рисунок 4.6).

Двигун із гребним колесом не використовує підйомну силу, яка виникає при вітрі. Його принцип дії заснований на використанні сили лобового тиску, яка змушує рухатись вітрильне судно, коли вітер дує в корму. Двигуни з крильчастим ВК отримали розповсюдження після того, як стало ясно, що підйомна сила може в 10-50 разів перевищувати лобовий тиск, якщо лопатям надати форму крила. Типи крильчастих ВД відрізняються тільки кількістю лопатей.



Традиційне компонування вітряків із горизонтальною віссю обертання непогане рішення для агрегатів малих розмірів і потужностей. Коли ж розмах лопатей виріс, таке компонування виявилось неефективним, тому що на різній висоті вітер дує в різні сторони. У цьому випадку не тільки не вдається оптимально орієнтувати агрегат за вітром, але і виникає небезпека руйнації лопатей. Крім того, кінці лопатей великої установки, рухаючись із великою швидкістю, створюють шум.

### ***Карусельні вітродвигуни***

Розходження в аеродинаміці дає карусельним установкам (рисунок 4.7) перевагу в порівнянні з традиційними вітряками. При збільшенні швидкості вітру вони швидко нарощують силу тяги, після чого швидкість обертання стабілізується. Його конструкція забезпечує максимальний момент при запуску ВД й автоматичне саморегулювання максимальної швидкості обертання в процесі роботи. Із збільшенням навантаження зменшується швидкість обертання і зростає обертаючий момент аж до повної зупинки.

### ***Однолопатеві карусельні вітродвигуни***

Карусельні вітродвигуни тихохідні і це дозволяє використовувати прості електричні схеми, наприклад, з асинхронним генератором, без ризику потерпіти аварію при випадковому пориві вітру. Однак тихохідність висуває одну обмежувальну вимогу - використання багатополосного генератора працюючого на малих обертах.



Рисунок 4.6 - Крильчастий вітродвигун



Рисунок 4.7 - Вітродвигун карусельного типу

Тільки за 2017 рік нами розроблено і запатентовано декілька варіантів тихохідного ВЕГ на неодимових магнітах з аксіальним магнітним потоком (пат. 116122 [65], 116497 [67], 116510 [68], 116576 [69]).

Ще більш важливою перевагою карусельної конструкції стала її спроможність без додаткових хитрощів стежити за тим “відкіля дує вітер”, що дуже істотно для приземних потоків, що нишпорять. Карусельні ВД мають перевагу в тім, що можуть працювати при будь-якому напрямку вітру, не змінюючи свого положення.

ВД можуть не тільки виробляти енергію. Їхня здатність привертати увагу обертанням без витрати енергії використовується для реклами. Найбільш простий в експлуатації - карусельний однолопатевий ВД являє собою прямокутну пластину з відігнутими краями (рисунок 4.8), на якій можна розміщати рекламні плакати. При достатній площі лопатей такий ВД може обертати не тільки рекламні плакати, а й невеличкий генератор. Запасена в акумуляторі електроенергія може освітлювати лопаті з рекламою в нічний час, а в безвітряну погоду і обертати їх.

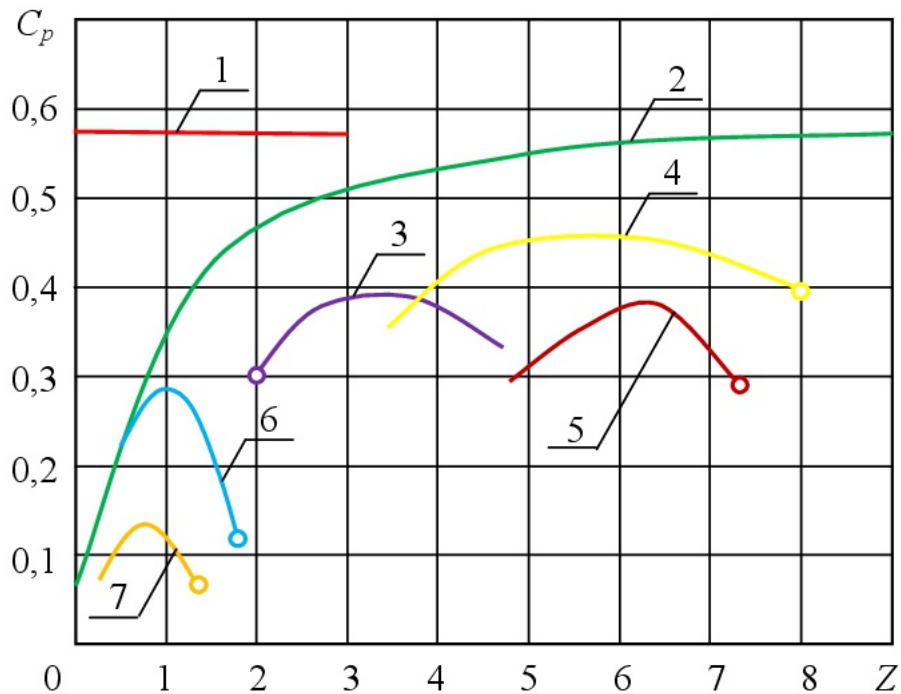


Рисунок 4.8 - Однолопатевий карусельний ВД

Ортогональні вітроагрегати (вісь яких перпендикулярна напрямку вітру) на думку спеціалістів перспективні для великої енергетики. Сьогодні перед вітропоклонниками ортогональних конструкцій стоять визначені труднощі. Серед них, зокрема, проблема запуску.

У ортогональних установках використовується той же профіль крила, що й у дозвуковому літаку (рисунок 4.4,б). Літак, перед тим, як “обпертися” на піднімальну силу крила, повинний розбігтися. Так само стоїть справа й у випадку з ортогональною установкою. Спочатку до неї потрібно підвести енергію - розкрутити і довести до визначених аеродинамічних параметрів, а вже потім вона сама перейде з режиму двигуна в режим генератора. Коефіцієнт використання енергії вітру (рисунок 4.9) у крильчастих ВД набагато вищий, чим у карусель-

них. У той же час, у карусельних - набагато більший момент обертання. Він максимальний для карусельних лопатевих агрегатів при нульовій відносній швидкості вітру.



- 1 - критерій Бетца, 59%; 2 - критерій Глаурта;  
 3 - трилопатеве вітроколесо; 4 – дволопатеве вітроколесо;  
 5 - вертикально-осьові вітроколеса типу Дар'є;  
 6 - багатолопатеві вітронасоси; 7 - ротор Савоніуса

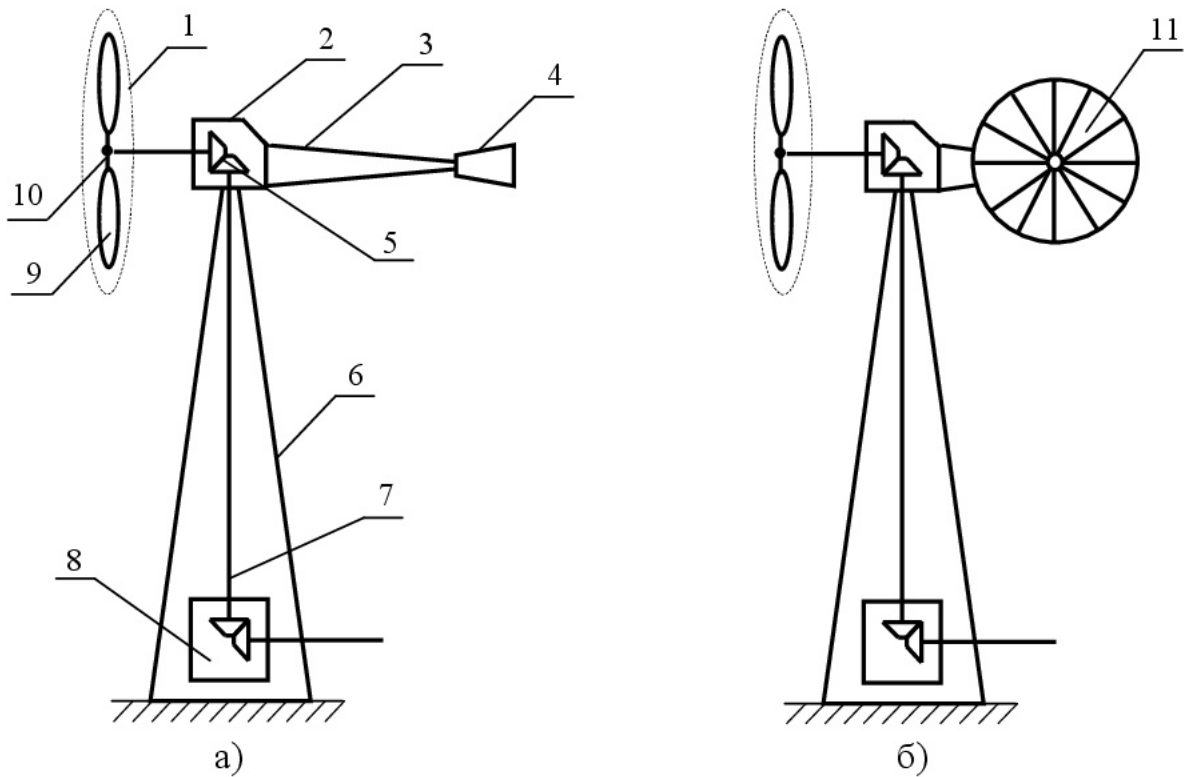
Рисунок 4.9 - Залежність коефіцієнта потужності  $C_p$  від швидкості  $Z$  [103]

## 4.3 Будови і конструктивні схеми ВЕУ

### 4.3.1 Будова ВЕУ з крильчастим вітродвигуном

На рисунку 4.10 зображено будову ВЕУ із крильчастим ВД. Характерною особливістю цих ВД є наявність хвоста та з'єднаної з головкою пружини. При нормальній погоді хвіст і пружина автоматично встановлюють вітроколесо на вітер, а під час урагану виводять його з-під вітру. Такі ВЕУ широко використовувалися як автономні у сільському господарстві і в приватних домогосподарствах, а також в промислових ВЕС.

*Вітроколесо* – основний робочий орган, який ловить енергію повітряного потоку і перетворює її в механічну роботу. ВК складається із окремих лопатей або крил, розташованих радіально і закріплених до махів.



а) - з хвостовою лопаттю; б) - з віндрозою

1- вітроколесо, 2 - головка (гондола), 3 – ферма хвоста,  
 4 – хвостова лопать, 5 – верхній редуктор, 6 – башта,  
 7 – вертикальний вал, 8 – нижній редуктор, 9 – лопать,  
 10 – мах, 11 – віндроза.

Рисунок 4.10 – Будова ВЕУ з крильчастим вітродвигуном

*Махи* закріплені на валу. На лопатях під дією вітрового потоку виникає підймальна сила, яка діє в площині ВК і заставляє його обертатися. Діаметр ВК сучасних швидкохідних ВД досягає 100 м, тихохідних – 8... 10 м.

*Головка* або гондола являє собою опору, на якій монтується вал ВК, верхній редуктор, пристрій регулювання швидкості обертання ВК. Вона вільно повертається навколо вертикальної вісі.

**Хвіст** – це ферма із закріпленням до неї щитом (хвостовою лопаттю) (рисунк 4.10,а). Він встановлює площину ВК перпендикулярно напрямку вітру і застосовується на ВЕУ потужністю до 10 кВт.

**Віндрозний механізм** (віндроза) застосовується для установки ВК перпендикулярно напрямку вітру і використовується на ВЕУ потужністю понад 10 кВт. Він складається із двох багатолопатевої ВК - віндроз, площини обертання яких розташовані перпендикулярно до площини обертання основних ВК (рисунк 4.10,б). При перпендикулярному положенні основного ВК до напрямку вітру віндрози стоять ребром до повітряного потоку і не обертаються. При боковому вітрі віндрози починають обертатися і за допомогою спеціального механізму повертають головку до нормального (перпендикулярного) положення основного ВК до напрямку вітру. Віндрози при цьому стають ребром до напрямку вітру і зупиняються.

**Башта** (вежа)– слугує для виносу ВК на висоту, на якій мало впливають перешкоди, що порушують прямолінійність руху повітря (вітру). Башта виготовляється у вигляді металевій чотиригранній, трубчастій або бетонній опори, висотою до 100 м.

**Редуктори** (верхній і нижній) – призначені для передачі обертів ВК робочій машині. Інколи генератор розташовують на одному валу з ВК з редуктором або без нього.

Швидкість обертання ВК регулюють одним із наступних способів:

- поворотом лопатей ВК або їхньої частини відносно своєї вісі за допомогою відцентрових механізмів;
- ексцентричним положенням вісі обертання ВК відносно вісі головки із пружиною повертання в попереднє положення;
- виводом ВК із-під вітру боковою лопаттю;

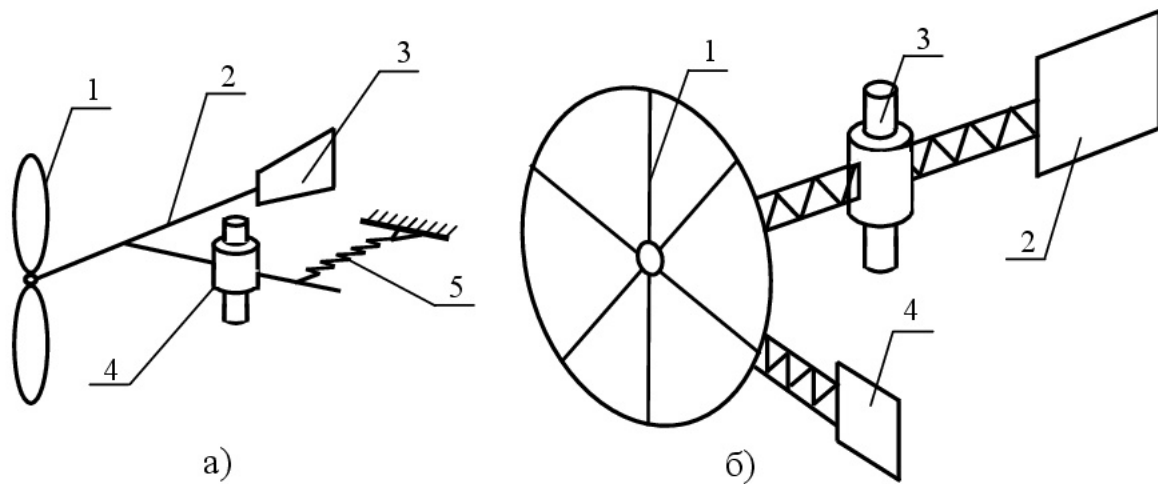
Розглянемо **принципи реалізації** цих способів.

**Принцип повороту лопатей** – застосовується для великих швидкохідних ВД. Виконується він декількома методами. Один із них – поворот лопатей відцентровими регуляторами (вантаж із пружиною). При збільшенні частоти обертання



вантаж під дією відцентрової сили повертає лопаті в напрямку установки їх перпендикулярно вітру, повертання лопатей в попереднє положення – пружиною.

**Принцип ексцентричного положення осі** ВК відносно осі повороту головки полягає в тому, що при великій швидкості обертання за рахунок ексцентриситету посадки вісь ВК виводиться із під вітру, повертаючись в попереднє положення пружиною 5 (рисунок 4.11,а); принцип виводу ВК із-під вітру боковою лопаттю відбувається за рахунок відхилення вісі ВК при збільшенні тиску на бокову лопать 4 (рисунок 4.11,б).



а – з ексцентричною посадкою вісі ВК; б – з боковою лопаттю:

Рисунок 4.11 - Схеми регулювання швидкості обертання ВК

На рисунку 4.11,а позначено: 1 - вітроколесо, 2 - вісь обертання ВК, 3 - хвостова лопать, 4 - вісь обертання головки, 5 - пружина повертання, а на рисунку 4.11,б: 2 – хвостова лопать, 3 – вісь обертання головки, 4 - бокова лопать.

У ВД з горизонтальною віссю є один **головний недолік**: для одержання оптимальної потужності вони повинні бути встановлені на вежі. Це зв'язано не тільки з забезпеченням вільного простору для лопатей, а головним чином з тим, що швидкість вітру з ростом висоти, як правило, зростає. Необхідність будівництва вежі стає при цьому найважливішим фактором, що впливає на економічну доцільність установки ВД в тому чи іншому місці.

### 4.3.2 Будова ВЕУ з вертикальною віссю обертання

У загальному випадку для ВД в якості активної поверхні, що сприймає енергію вітрового потоку, на практиці використовують такі основні види роторів з вертикальною віссю (рисунок 4.4,б): ротор Савоніуса (6); ротор Дар'є (7); ротор Масгрува (8), лопаті якого складаються або йдуть ребром проти вітру; ротор Еванса (9) - ротор ортогонального типу.

Із рисунка 4.12 видно, що при вдалому виборі місця установки ВД на протязі більше половини часу своєї роботи він видає необхідну потужність. ВД з вертикальною віссю обертання в цьому має перевагу, однак і в нього є ряд своїх недоліків. Існує кілька типів ВД з вертикальною віссю обертання.

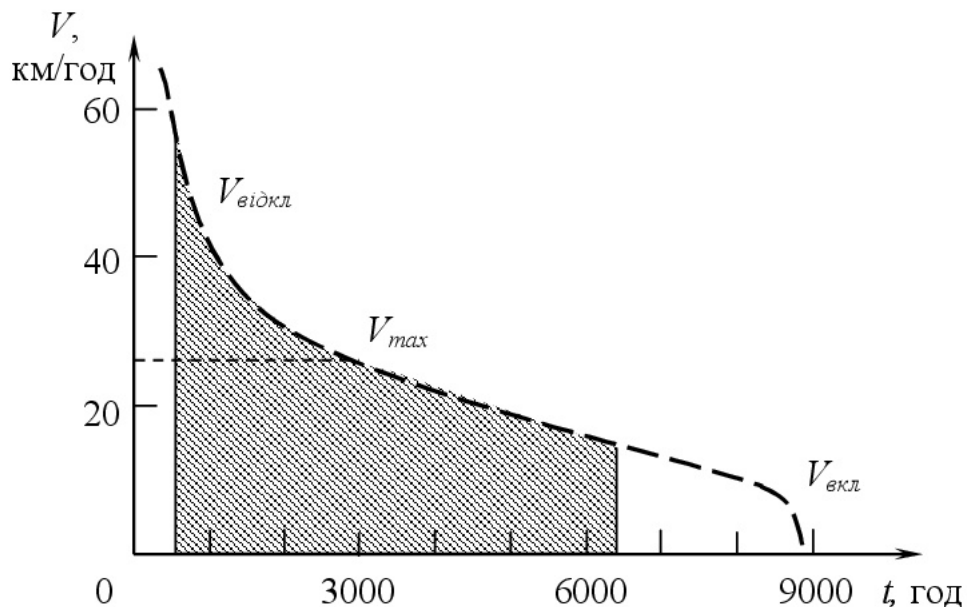


Рисунок 4.12 - Можлива енергія ВЕУ при вдалому виборі місця її установки

**Переваги вертикально-осьового ротору** у порівнянні з горизонтально-осьовим ротором:

- незалежність функціонування від напрямку поширення вітрового потоку усуває необхідність установки додаткових механізмів орієнтації на вітер;
- наявність вертикального вала, що дозволяє розміщувати електромеханічне обладнання в основі ВЕУ, що знижує вимоги до міцності і жорсткості опори і не обмежує масогабаритні показники обладнання;

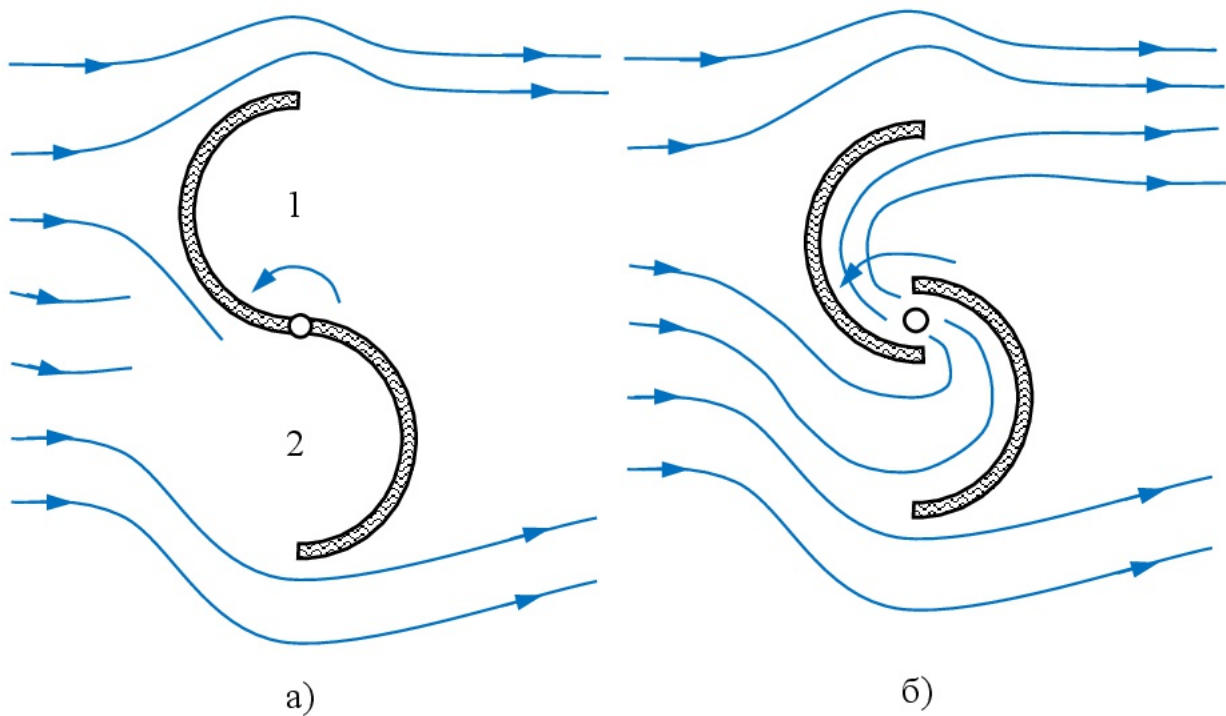
- зручність механічного обслуговування і ремонту;
- рівномірне геометричне збільшення масштабів вертикально-осьового ротора, який чинить незначний вплив на міцнісні характеристики;
- можливість кріплення лопатей в декількох точках;
- відносно просте виготовлення лопатей.

Як *недоліки вертикально-осьових* ВЕУ слід зазначити наступне:

- набагато більша схильність утомним руйнуванням, через автоколивальні процеси, що часто виникають;
- пульсація крутного моменту призводить до пульсацій потужності та інших параметрів генераторів.

**Ротор Савоніуса.** Винайдений ротор фінським інженером Савоніусом у 1929 році. Робота ротора побудована на різниці опорів, яка створюється при обтіканні повітряним потоком крил ротора. Рух лопатей навколо центральної осі досягається за рахунок випукло-увігнутою форми лопатей. Конструкція ротора проста, тому відрізняється міцністю і довговічністю. При правильному виготовленні має відносно велику швидкість обертання. Конструкція виконана так, що незалежно від напрямку повітряного потоку, ротор завжди орієнтований на вітер, також йому не страшна турбулентність.

На рисунку 4.13 схематично показана конструкція ротора Савоніуса. Він, як правило, виготовляється з циліндричної труби, розрізаної уздовж і закріпленої між верхнім і нижнім фланцями. Обидві половини цієї труби трохи розсунуті (рисунок 4.13,б), так що зазор між ними може мінятися. При відсутності зазору (рисунок 4.13,а) зона низького тиску, що створюється за “крилом”, гальмує обертання і тим самим зменшує крутний момент. Потужність, що розвивається, буде максимальною, якщо відстань між половинами циліндра дорівнюватиме приблизно половині діаметра труби. Незважаючи на вигоди, зв'язані з простотою конструкції, такий агрегат не може зрівнятися за потужністю з ВД з горизонтальною віссю обертання, що працює з гарним ККД.



1- область розрідження; 2 – область високого тиску

Рисунок 4.13 - Конструкція ротора Савоніуса (вид зверху)

Ротор Савоніуса, на жаль, малоефективний, він видає лише 15% енергії. Але, незважаючи на цей недолік, ротор має переваги в простій і дуже надійній конструкції. Лопаті досить простої форми і не вимагають особливих технологій при виготовленні (рисунок Д4.1).

Ротор має великий пусковий момент, тому не вимагає початкового примусового розкручування. Працює при малих швидкостях, що позначається на безпеці його обслуговування. І, головне, повністю не залежить від напрямку повітряного потоку.

**Ротор Дар'є.** Іншим типом вітроприймального пристрою з вертикальною віссю обертання є ротор Дар'є (рисунок 4.14, рисунок Д4.2). Він оснащений двома чи трьома тонкими лопатями, що нагадують за формою віночок для збивання білка, що обертається з дуже великою швидкістю (у три-чотири рази перевищує швидкість вітру).

У конструкції ротора французького інженера (Dargieus) обертовий момент створюється підйомної силою. Це вітроприймальний пристрій, який використо-

вуг підйомну силу. Ротор складається з двох або декількох крил закріплених на балках, які симетрично розташовані. Крила виготовлені без профілю з простої пружної стрічки. Вони дуже прості у виготовленні і монтажі.

### *Принцип роботи ротора Дар'є.*

Ротор починає обертатися із-за різниці аеродинамічного опору - утворюється циркуляція, і він стає швидкохідним. Запатентований ротор Дар'є французьким інженером 08.12.1931 р. (рисунок Д4.3.) [103].

На кожну лопать впливає підйомна сила під час їхнього руху відносно потоку вітру. Величина підйомної сили повністю залежить від кута між векторами швидкостей повітряного потоку і лопаті. Момент сили, який розвиває ротор не постійний, а змінний, з-за того, що вектор миттєвої швидкості циклічний і змінюється разом з рухом крила.

Із-за того, що для створення підйомної сили, потрібен постійний рух лопатей, ротор Дар'є важко самозапускається. Цю характеристику можна поліпшити шляхом використання декількох лопатей, проте для нормального пуску все одно потрібен примусовий попередній розгін.

**Недоліки ротора Дар'є.** Під час роботи ротора щогла вітрогенератора відчуває сильні навантаження. Також одним з негативних факторів є те, що обертовий механізм розташований на периферії. Це призводить до того, що на механізм діє велике відцентрове навантаження, і він швидко зношується. Ротор швидко виходить з ладу (ламаються механічні вузли) навіть при рівному вітрі. Щоб зменшити масу конструкції, а з нею і дію відцентрової сили, лопаті виготовляються кривої форми. Ще до істотних недоліків можна віднести його гучність. Ротор Дар'є дуже шумливий, при різких потоках вітру шум зривається в

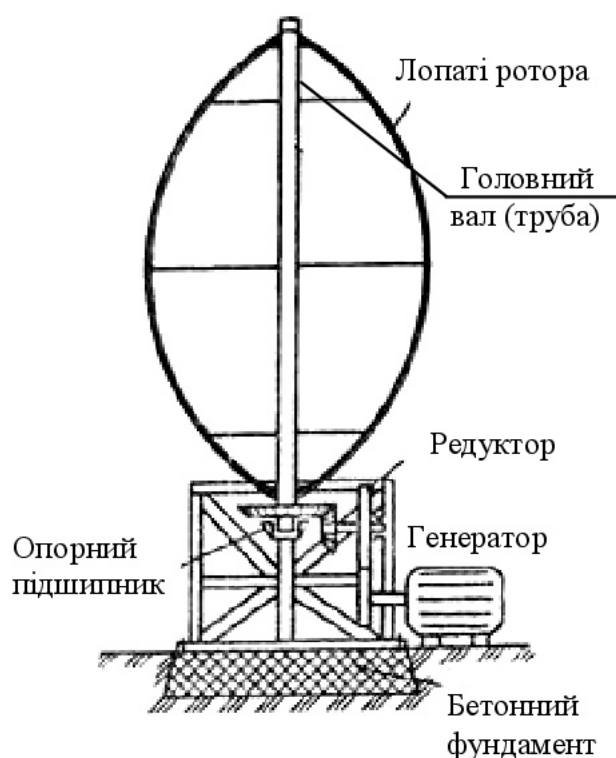


Рисунок 4.14 – Вітроустановка з ротором Дар'є



завивання або вереск. Доходить до того, що із-за вібрації, яка виникає, рветься стрічка лопаті.

**Переваги ротора Дар'є.** Однією з головних переваг ротора є те, що він абсолютно не залежить від напрямку вітру. Тому турбіни, які оснащені ротором не потребують пристрою орієнтації, що відбивається на вартості вітрогенератора. Ротор Дар'є навіть при мінімальному потоці вітру досить швидкохідний. Також у ротора великий коефіцієнт використання енергії вітру.

**Ротор Дар'є Н-подібного типу.** Це найбільш поширений і технологічний тип ротора. Він відрізняється високою швидкохідністю, практично безшумний, а інфразвук повністю відсутній. Ротор Н-подібного типу має просту конструкцію (рисунок Д4.4) і він надійніший звичайного ротора Дар'є.

Н-ротор Дар'є має ряд незаперечних переваг, але також і багато недоліків. Існують моделі ротора з гвинтоподібними поверхнями, але такі моделі є менш технологічними (турбіна Горлова).

Принцип дії Н-ротора Дар'є (рисунок 4.15), усунення і мінімізація недоліків дадуть можливість конкурувати йому з роторами горизонтальної орієнтації.

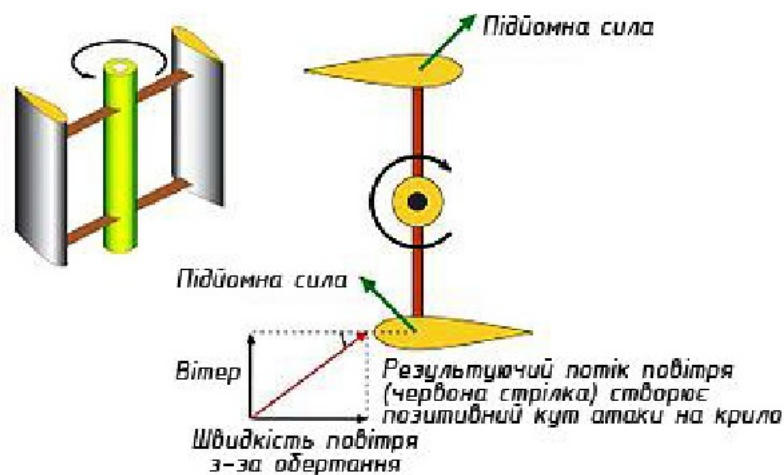


Рисунок 4.15 – Принцип дії Н-ротора Дар'є з вертикальними лопатями

Ротор Дар'є почати обертатися самостійно не може, тому для його запуску використовується або генератор в режимі двигуна, або спеціальний двигун.

Необхідність мати незалежне джерело живлення для запуску істотно знижує можливість поширення даного типу ВЕУ. Але враховуючи те, що у ро-

тора Савоніуса великий початковий крутний момент, його часто використовують в парі з ротором Дар'є (рисунок Д4.5), щоб забезпечити другому високий пусковий момент. Проте наявність ротора Савоніуса знижує загальну ефективність ВЕУ.

Розвиток ВД з вертикальним валом можна зіставити за патентами ХХ ст. на конструкції, які успішно знаходять застосування і у теперішній час (рисунок 4.16):

- ротор Савоніуса (С. Ж. Савоніус, Фінляндія, 1922 р., рисунок 4.16,а);
- ротор Дар'є (Ж. Ж.-М. Дарріус, Франція, 1931 р., рисунок 4.16,б);
- ротор “Віндсайт” (Р. Йутсініємі, Фінляндія, 1979 р., рисунок 4.16,в);
- ротор Масгрува (Великобританія, 1975 р., рисунок 4.16,г);
- гелікоїдна турбіна Горлова (А. Горлов, США, 2001 р., рисунок 4.16,д).

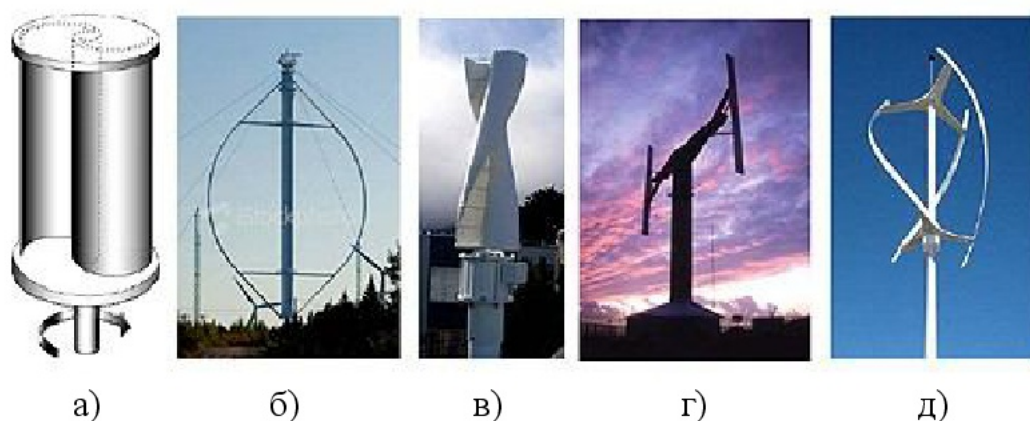


Рисунок 4.16 - ВЕУ з вертикальним валом, запатентовані у ХХ ст.

Як показали останні результати випробувань ВЕУ типу Дар'є і Н-ротора, головною слабкістю є під'ятник-підшипник головного вала ВЕУ. Саме завдяки його руйнуванню припинено спроби спорудження потужних ВЕУ з вертикальною віссю, хоча розробки ВЕУ середньої і невеликої потужності успішно тривають.

Продаж вітрогенераторів з вертикальною віссю зараз набирає обертів, через екологічність та надійність автономного енергопостачання, а так само в простоті експлуатації і швидкої окупності обладнання. На даний момент спів-

відношення вітроенергетичних установок з горизонтальною і вертикальною осями обертання у світі становить приблизно 90% і 10% відповідно.

**Турбіна Горлова** - це більш досконала модель ротора Дар'є - шляхом гвинтового повороту лопаток турбіни зменшена нерівномірність крутного моменту. Патент на свій винахід Олександр Горлов, професор Північно-Східного університету Бостона, США, отримав в 1995 році, але продовжував удосконалювати свій пристрій. Розробки завершилися зовсім недавно. А в травні 2011 р. О. Горлов отримав престижну європейську премію "Винахідник року".

Гелікоїдна турбіна Горлова працює так (рисунок 4.16,д). Її вісь розташована перпендикулярно потоку води або повітря, а лопаті турбіни - по спіралі уздовж осі. Самі лопаті за формою нагадують крило літака - таким чином, ротор обертається тільки в одному напрямку. Потоки води або повітря, за рахунок спіралевидної форми турбіни, з максимальною ефективністю обертають лопаті. Швидкість їх обертання в два рази вище, ніж швидкість потоку.

**Вітротурбіна фірми Windside** з вертикальним валом, ротор якої утворений двома лопатями, зігнутими подібно шнеку, подано на рисунку Д4.6. Турбіна в комплекті з генератором може встановлюватися на опорі (а) або підвішуватися на кронштейні опори (б).

#### **4.3.3 Порівняльна характеристика роботи ВЕУ**

Істотною хвилюючою енергією вітру є її мінливість у часі, але її можна компенсувати за рахунок розташування вітроагрегатів. Якщо в умовах повної автономії об'єднати декілька десятків потужних вітроагрегатів, то середня їхня потужність буде постійною. При наявності інших джерел енергії вітрогенератор може доповнювати існуючі. І, нарешті, від ВД можна безпосередньо одержувати механічну або теплову енергію.

Дволопатева ВК забезпечує більшу економічність, чим трилопатева, однак перше в ряді випадків піддано значним вібраційним навантаженням, відсутнім у другому випадку. Скловолокно витримує шторми, робочі навантаження і, крім того, винятково технологічне. Вітродвигуни, що використовуються для

приводу водяних насосів, мають велику кількість лопатей і тому мають більший ККД при малих швидкостях вітру.

Відцентрову силу, що діє на лопать, можна звести до мінімуму, зменшивши її масу. Для виготовлення лопатей придатні дерево, пластик і особливо армоване скловолокно, що має гарні характеристики міцності.

Для ВД існує також мінімально допустима швидкість вітру. ВК з горизонтальною віссю обертання повинно обертатися, починаючи з деякої мінімальної швидкості вітру, але максимальна потужність виробляється лише при номінальному значенні швидкості, яке вибирається на 2,5... 4,5 м/с (9... 16 км/год) більше середньорічної швидкості вітру для даної місцевості. Захист від руйнування лопатей при надмірній силі вітру здійснюється за допомогою поворотного механізму. Існує ще немало альтернативних варіантів ВД. Уваги заслуговують установки, що складаються під час ураганів (ротор Масгрува), хитрі пристрої, що повертають лопаті у відповідності із силою вітру, а також інші типи ВД з вертикальною віссю. Дякуючи конструктивній простоті та легкості експлуатації (всі механічні вузли та механізми розташовані в основі, тобто на рівні землі) вона може конкурувати з двигунами, які обладнані крильчастими ВК.

ВД з вертикальною віссю обертання мають перевагу в тому, що вони допускають установку безпосередньо на землі, незалежні від напрямку вітру, не вимагаючи спорудження вежі і необхідних опорних конструкцій.

Відмінною особливістю вертикально-осьових ВЕУ є те, що практично у всьому робочому діапазоні вітрів підтримується оптимальна швидкохідність, коли реалізується максимальний коефіцієнт використання енергії вітру. Стабільність швидкохідності забезпечується зміною швидкості обертання вітротурбіни відповідно до зміни швидкості вітру. При цьому за кожного вітру вітротурбіна розвиває максимальну потужність.

#### **4.4 Основні принципи конструювання ВЕУ малої потужності**

Використовування ВЕУ малої потужності (від декількох десятків ватів до 20... 100 кВт) економічно виправдане для енергопостачання автономних споживачів.

вачів, віддалених від ліній електропередачі, особливо в районах, куди дорого обходиться доставка палива. Вони можуть бути успішно застосовані в сільському господарстві для механізації трудомістких робіт, водопідйому, зрошування, механізації, освітлення і опалювання різних виробничих і житлових приміщень. Перспективним є використання ВЕУ невеликої потужності спільно з дизельенергетичними установками. Розробкою і виробництвом ВЕУ малої потужності займається досить велика кількість закордонних фірм. ВЕУ малої потужності характеризується різноманіттям конструкторських рішень, проте, в цілому, зусилля розробників, як і в області крупних ВЕУ і ВЕУ середньої потужності, направлені на рішення проблем ефективності, безпеки, надійності і економічності. Важливими аспектами їх розробок є простота конструкції і системи управління.

Як і ВЕУ середньої і великої потужності, ВЕУ малої потужності розділяються на установки горизонтально-пропелерного типу і вертикально-осьового типу. Найбільше розповсюдження до недавнього часу мали ВЕУ горизонтально-пропелерного типу, проте ВЕУ вертикально-осьового типу починають знаходити все більше застосування, і багато фірм направляють свої зусилля на дослідження і розробку саме таких машин. Великий внесок в створення вертикальних ВЕУ внесли дослідники національної лабораторії *Sandia* (США, Нью-Мексіко), України, Росії, Казахстану, Молдови.

Для зменшення згинаючого моменту лопаті вертикальних ВЕУ можуть бути виконані з коротких прямих секцій. Замість штампованого алюмінію можуть бути застосовані композитні матеріали. Проблема запуску таких ВЕУ розв'язується використанням високого відношення поверхні лопатей до поверхні обмаху невеликих турбін Савоніуса або допоміжної електричної машини. Конструкція, запропонована лабораторією *Sandia*, так звана ВЕУ типу *troposkien*, має фіксований кут установки лопаті і, отже, вимагає захисту від перевищення максимальної частоти обертання при роботі автономно або сумісно з енергосистемою. Найпростіше і ефективне рішення в цьому випадку – наван-



тажені пружиною спойлери, що розташовані в області зовнішньої периферійної частини лопатей і спрацьовують під дією відцентрових сил.

При розробці конструкції ВЕУ обох типів предметом вибору є:

- число лопатей (звичайно одна, дві або три);
- матеріал лопаті, метод виготовлення і профіль перетину;
- кут установки лопаті (фіксований або змінний);
- частота обертання вітрової турбіни (фіксована або змінна);
- трансмісія (зубчата, ремінна, ланцюгова або гідравлічна) або безпосередній привід;
- генератор (синхронний, асинхронний або іншого типу);
- спосіб орієнтації на вітер.

#### **4.4.1 Кількість лопатей ВЕУ і їх конструкція**

Традиційно невеликі ВЕУ звичайно мають три лопаті, але є машини з двома, чотирма або шістьма лопатями. Була розроблена і досліджена однолопатєва ВЕУ. Для даного діаметра ВК при збільшенні числа лопатей (при однаковому відношенні поверхні лопатей до поверхні обмаху) коефіцієнт використання енергії вітру збільшується, але незначно. Збільшення цього коефіцієнта при переході від однієї до двох лопатей складає 10% і при переході від двох до трьох лопатей – біля 5%. Це збільшення стає менш прогресивним у разі переходу від трьох до чотирьох і більш лопатей. Із збільшенням кількості лопатей додатково підвищується вартість ВЕУ, при цьому ускладнюється конструкція втулки і також її дорожчання. З другого боку, із збільшенням кількості лопатей відбувається зменшення циклічного навантаження, а також, особливо для машин з вільною орієнтацією на вітер, зменшення прецесійного або гіроскопічного моменту. Отже вибір кількості лопатей є для розробника складною задачею, оскільки повинні враховуватися показники вартості і ефективності.

Основними характеристиками конструкції лопаті є профіль перетину і форма, матеріал і метод виготовлення. Звичайно застосовуються секції лопаті з профілем крила для досягнення високого відношення підйомної сили до лобового опору і, отже, високого коефіцієнта використання енергії вітру. Зви-

чайно вибираються профілі NASA 0012, 0015 44 XX. Матеріал лопаті різноманітний: дерево, алюміній, сталь, склопластик і т.д. Найбільш часто як дерево використовується ялина, хоча, наприклад, ВЕУ фірми *Aerowatt* (Франція) мають букові лопаті. Дерев'яні лопаті часто посилюються використанням алюмінію, сталі і навіть міді. Алюміній має ряд переваг, проте його властивості в умовах тривалого циклічного навантаження недостатньо вивчені.

Ряд виробників вважають за краще виготовляти лопаті з композитних матеріалів, що включають скловолокно, оскільки вони мають високу питому міцність (відношенням міцності до маси) і відносно низьку вартість в умовах масового виробництва. Неметалічні композитні матеріали мають високі антикорозійні властивості, але їх втомні характеристики в процесі тривалого застосування важко піддаються розрахункам і звичайно необхідно велику увагу приділяти внутрішній конструкції лопаті і матеріалам втулки.

Для лопатей знаходять застосування різні види сталі. М'яка сталь має високі втомні характеристики, але низьку питому міцність, і вимагає спеціального захисту в умовах тривалої експлуатації. Нержавіюча сталь відносно дорога і використовується в тих випадках, коли вартість не має першорядного значення. Наприклад, фірмою *Bristol Aerospace* (Канада) була розроблена серія машин *Licus* із лопатями з нержавіючої сталі, призначених для надійної роботи у віддалених і важкодоступних районах.

Метод виготовлення лопатей тісно пов'язаний з матеріалом, що використовується. Дерев'яні лопаті вирізаються з цілої заготовки або виконуються з тонких листів, при цьому часто використовуються додаткові металеві елементи для посилення конструкції і для зменшення ерозії.

Алюмінієві лопаті часто мають постійну хорду без крутки і можуть складатися з штампованих секцій (двох або трьох: носова кромка, середня частина і хвостова кромка), які штампуються окремо і потім з'єднуються. Це один з найдешевших способів виготовлення лопатей.

Ряд виробників використовують твердий полістирол або поліуретан для тіла лопаті і покриття з скловолокна або смоли для додаткової міцності, захисту від вологи і забезпечення гладкої поверхні.

Таким чином, можливі різні форми конструкції лопаті і використання різних матеріалів, що залежить від багатьох чинників, включаючи кваліфікацію і досвід виробників, область застосування ВЕУ і її розміри.

#### **4.4.2 Кут установки лопатей**

Для невеликих ВЕУ, працюючих автономно, змінний кут установки лопаті забезпечує захист від перевищення максимальної частоти обертання і регулювання потужності. Остання обставина важлива у разі зарядки акумуляторної батареї. Приклад – ВЕУ фірми *Aerowatt*. Проте зміна кута установки лопаті ускладнює конструкцію, підвищує вартість ВЕУ і збільшує вірогідність пошкоджень. Для невеликих ВЕУ використовуються лопаті з фіксованим кутом установки в тих випадках, коли перевищення максимальної частоти обертання не може призвести до серйозних наслідків або може бути усунене іншими засобами. Механізм зміни кута установки лопаті в невеликих ВЕУ заснований на дії відцентрових сил і використовує принцип рухомої маси, що вільно переміщається у втулці турбіни.

#### **4.4.3 Тип трансмісії і частота обертання вітрової турбіни**

Ряд машин розроблений з метою роботи з генератором, включеним безпосередньо в місцеву розподільну енергосистему з частотою 50 або 60 Гц. При використанні звичайних синхронних або асинхронних генераторів це приводить до роботи вітрової турбіни з постійною частотою обертання. Робота із змінною частотою обертання у разі з'єднання з енергосистемою може бути досягнута застосуванням трансмісії із змінним передавальним відношенням, генераторів спеціальних типів або систем випрямляч-генератор. Переваги цього рішення – можливість турбіни працювати з оптимальною або близькою до неї швидкістю на великому діапазоні швидкостей вітру, можливість поліпшення загальної ефективності і збільшення виробництва електроенергії.

ВЕУ може мати безпосереднє з'єднання вітрової турбіни з генератором. Генератор у таких ВЕУ має частоту обертання порядку декількох сотень оборотів в хвилину. Такі ВЕУ, наприклад, випускає фірма *Bergey Windpower* (США). Для з'єднання вітрової турбіни з генератором можуть використовуватися ремені, гідравлічні системи, але найбільш широко і успішно застосовується зубчата передача різних видів – від гелікоїдального циліндричного прямозубого колеса до епіциклічної передачі.

#### **4.4.4 Тип генератора**

Тип генератора визначається номінальною потужністю і режимом роботи ВЕУ (автономний режим роботи або робота паралельно з енергосистемою). У випадку з'єднання з енергосистемою звичайно застосовується асинхронний генератор, який не вимагає синхронізації з мережею і регулювання напруги. Асинхронний генератор з короткозамкненим ротором найдешевший, простий за конструкцією і надійний. Проте його використання може викликати ряд проблем, пов'язаних з пусковим струмом і регулюванням реактивної потужності, особливо за наявності енергосистеми з відносно високим повним опором. Такий генератор застосовують для своїх ВЕУ фірми *Aerowatt* (Франція), *H. Energie Systemen* (Нідерланди), *Koster* (Німеччина), *Lakestate* (США), *MAN* (Німеччина), *MBB* (Німеччина), *West Wind* (США).

Найбільш прийнятний для ВЕУ, що працюють в автономному режимі (або у разі з'єднання ВЕУ з мережею через інвертор), синхронний генератор, оскільки для нього можна отримати незалежне збудження.

В порівнянні з традиційним генератором постійного струму, безщітковий синхронний генератор вимагає менше обслуговування. Тому в більшості існуючих ВЕУ малої потужності, призначених для виробництва постійного струму в умовах автономної роботи, використані безщіткові синхронні генератори. Застосування постійних магнітів для збудження в цих генераторах може давати більш високі ККД.

Для малопотужних автономних ВЕУ приватних домогосподарств найбільш перспективними є синхронні генератори на неодимових магнітах з аксіальним магнітним потоком, зокрема розроблені авторами цієї монографії.

#### **4.4.5 Система орієнтації на вітер і розташування ротора щодо башти**

ВЕУ горизонтально-пропелерного типу вимагають механізму орієнтації для слідування ротора вітрової турбіни за змінами у напрямі вітру. Застосовуються різні системи. Найпростіша, коли вітрова турбіна обертається за баштою. В цих умовах вітрова турбіна працює стабільно і слідування за зміною напрямку вітру є автоматичне. Принциповий недолік роботи ВЕУ з установкою ротора вітрової турбіни за баштою – лопаті проходять через вихровий потік повітря за баштою і це приводить до збільшених циклічних навантажень на лопать. Інший недолік – під дією маси турбіни і натиску вітру створюється згинаючий момент, діючий на вершину опорної конструкції, і може виникнути потреба в посиленні опорної конструкції і в більш міцних підшипниках гондоли в порівнянні з установкою ротора вітрової турбіни перед баштою.

У разі установки ротора вітрової турбіни перед баштою необхідні засоби орієнтації на вітер. В невеликих ВЕУ застосовують прості пристрої, такі як хвостова лопать і віндроза. Хвостова лопать – найдешевший і простий спосіб. Віндрози забезпечують управління орієнтацією на вітер в умовах бурі. ВЕУ можуть мати окремий датчик високої швидкості вітру в системі управління хвостової лопаті.

#### **4.5 Аналіз роботи індукційних перетворювачів**

В Швеції запатентована установка для отримання гарячої води. Вода циркулює в замкнутому об'ємі з досить високою швидкістю, при цьому енергія руху за рахунок тертя перетворюється в теплову енергію, і може бути досягнута висока температура води [78].

На о. Гримсей (біля північних берегів о. Ісландія) випробовувалася установка прямого перетворення енергії вітру в теплоту за допомогою водяного га-



льма [102]. Недоліком таких установок є їх громіздкість, що ускладнює їх використання у фермерських господарствах.

Більш прийнятною, на наш погляд, є ВТУ, що перетворює енергію вітру в теплоту при переміщенні густої рідини через невеликі отвори або щілини [104]. До складу такої ВТУ входить ВЕУ і шестерінчастий насос, який переміщає в'язку рідину через малі отвори, нагріваючи її при цьому. Приведена порівняльна оцінка ефективності ВТУ з фіксованими розмірами отворів і регульованими отворами для переміщення рідини [104]. Відмічений позитивний досвід застосування ВТУ з вертикальною віссю обертання для обігріву і гарячого водопостачання теплиць площею 1000 м<sup>2</sup> в пункті з середньорічною швидкістю вітру 4,5 м/с за результатами річних її випробувань [105].

У ТДАТУ запропонований індукційний спосіб перетворення енергії вітру в теплоту, який вигідно відрізняється від попередніх, та установки для його реалізації [16]. Останні засновані на збудженні вихрових струмів в магнітопроводах (МП). Розроблено декілька конструкцій ВТУ з ШЕВТ, які захищені патентами України: 771, 921, 6070, 43711А, 47216А. В результаті аналізу виявлені недоліки [23] і намічені шляхи усунення динамічних навантажень між магнітопроводами ШЕВТ [21].

Індукційна вітрогенераторна установка (пат. 6070) [47] відноситься до індукційних нагрівних пристроїв, призначених для перетворення механічної енергії в теплову. В основу корисної моделі поставлена задача удосконалення індукційної вітрогенераторної установки, в якій за рахунок коаксіального розташування циліндричних магнітопроводів усувається пульсуюче навантаження на підшипники і за рахунок цього підвищується надійність її роботи [88].

Поставлена задача вирішується тим, що індукційна вітрогенераторна установка, що містить вітродвигун з вихідним валом і індукційний перетворювач, розміщений в резервуарі з теплоакumuлюючою рідиною, у вигляді рухомого та нерухомого магнітопроводів з зубчастою будовою прилеглих поверхонь, розташованих співвісно з зазором між прилеглими поверхнями, і кільцевої індукційної обмотки, збудженої постійним струмом, розташованої в кільце-

вій канавці на нерухомому магнітопроводі, що ділить його зубці навпіл, рухомий магнітопровід зв'язаний з валом вітродвигуна. Згідно корисної моделі магнітопроводи виготовлені в формі коаксіальних циліндрів з повздовжніми зубцями, паралельними спільній осі магнітопроводів. Рухомий магнітопровід розташований всередині порожнистого нерухомого магнітопроводу з можливістю обертання в підшипниках, які закріплені в підшипникових щитах з немагнітного матеріалу. Кільцева канавка виконана на внутрішній поверхні нерухомого магнітопроводу в площині, перпендикулярній спільній вісі магнітопроводів.

Особливість корисної моделі в тому, що при коаксіальному розташуванні циліндричних магнітопроводів пульсуюча магнітна сила між магнітопроводами не створює пульсуючого навантаження на підшипники, в яких обертається рухомий магнітопровід [88].

Таким чином, запропонована корисна модель забезпечує підвищення надійності роботи за рахунок виконання магнітопроводів циліндричними коаксіальними, в результаті чого усувається пульсуюче навантаження на підшипники.

Технічна сутність і принцип дії запропонованої індукційної вітротеплогенераторної установки пояснюється на рисунку 4.17. Індукційна вітротеплогенераторна установка містить вітродвигун 1 з вихідним валом 2 і індукційний перетворювач 3.

Індукційний перетворювач 3 поміщений в резервуар 4 з теплоакумуючою рідиною 5, у вигляді рухомого 6 та нерухомого 7 магнітопроводів, розташованих співвісно з радіальним зазором 8, з зубчастою будовою прилеглих поверхонь і кільцевої індукційної обмотки 9, розташованої в кільцевій канавці 10 на нерухомому магнітопроводі 7. Рухомий магнітопровід 6 зв'язаний з валом 2 вітродвигуна 1.

Магнітопроводи 6, 7 виготовлені в формі коаксіальних циліндрів. Рухомий магнітопровід 6 розташований всередині полого нерухомого магнітопроводу 7 з можливістю обертання в підшипниках 11, 12 які закріплені в підшипникових щитах 13, 14 з немагнітного матеріалу.

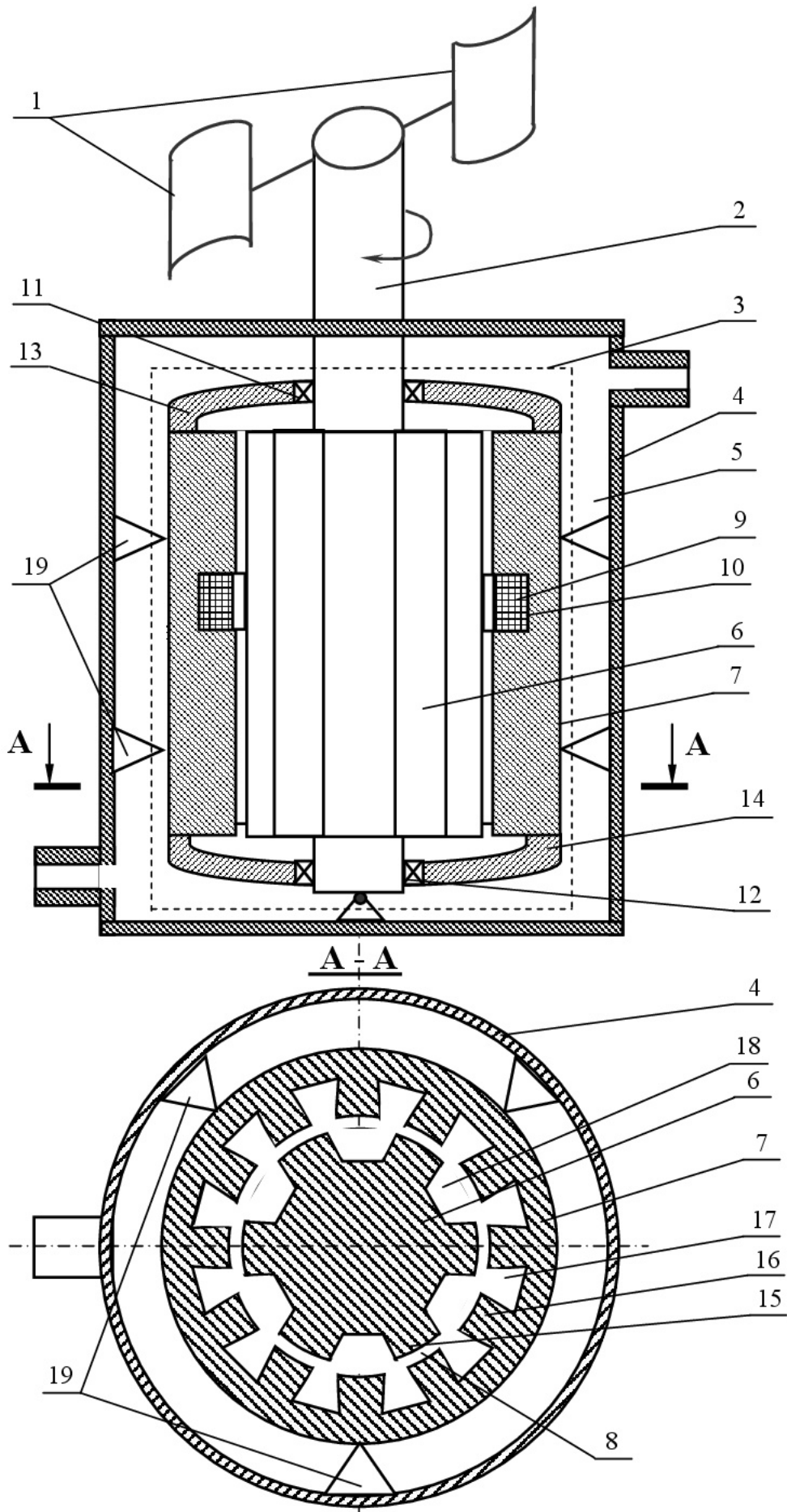


Рисунок 4.17 - Індукційна вітротеплогенераторна установка, пат. 6070

Повздовжні зубці 15, 16 утворені повздовжніми пазами 17, 18, розташовані на зовнішній поверхні рухомого 6 і внутрішній поверхні нерухомого 7 магнітопроводів паралельно спільній вісі магнітопроводів. Кільцева індукційна обмотка 9 збуджується постійним струмом. Індукційний перетворювач 3 закріплено в резервуарі 4 на магнітоізоляційних опорах 19.

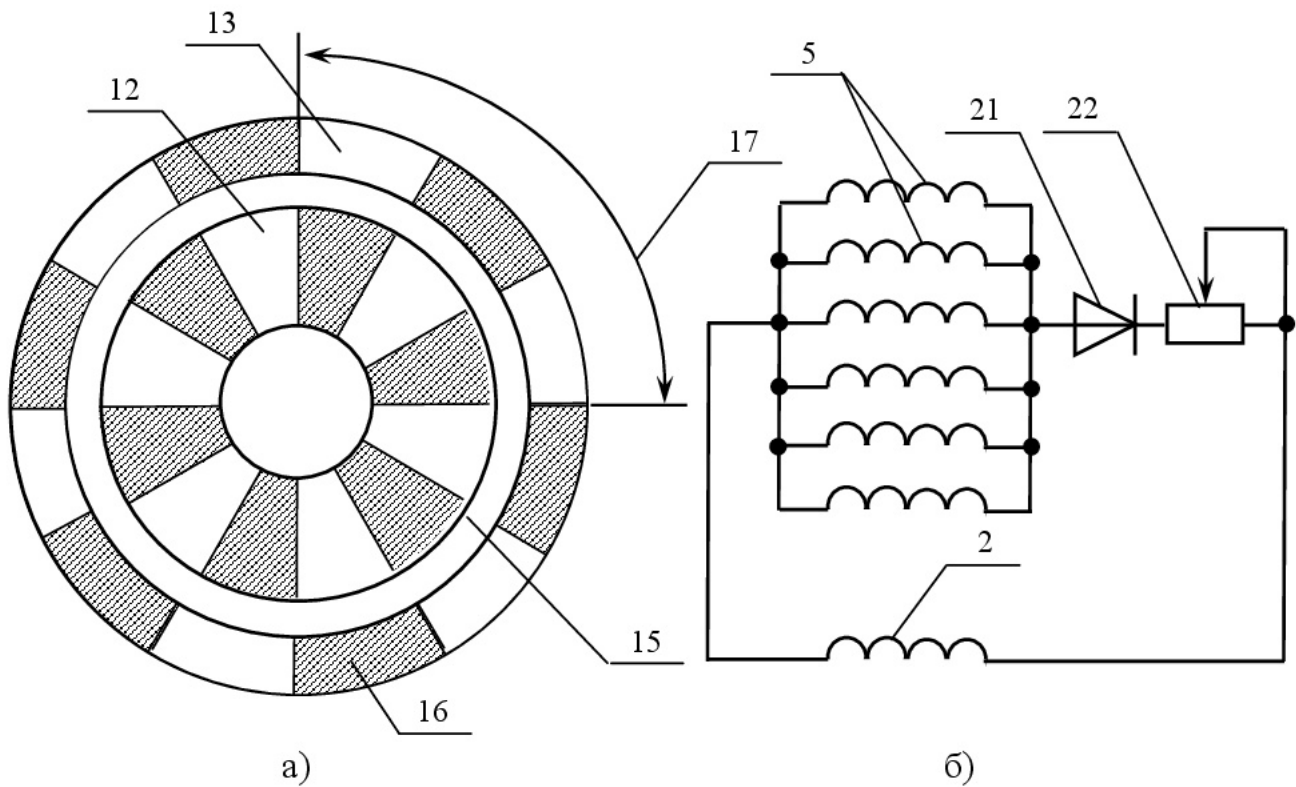
Пристрій працює таким чином. За рахунок енергії вітру вал 2 вітродвигуна 1, а разом з ним і рухомий магнітопровід 6 обертаються. Зубці 15, 16 магнітопроводів 6, 7 намагнічуються магнітним полем збудження в одному напрямі одночасно. Із-за зубчастої будови прилеглих поверхней магнітопроводів 6, 7 магнітний потік, що замикається через них, не буде розподілятися рівномірно. Більша його частина проходить через ділянки, де зубець 15 рухомого магнітопроводу 6 розташується під зубцем 16 нерухомого магнітопроводу 7, а найменша – на ділянці, де зубець 15 рухомого магнітопроводу 6 розташується під пазом 17 нерухомого магнітопроводу 7. При цьому між зубцями 15, 16 змінюється зазор 8, а отже і магнітна індукція в ньому. В результаті цього крива розподілу магнітної індукції в зазорі 8 між зубцями 15, 16 набуде пилковидного характеру і матиме вигляд, поданий на рисунку 4.19.

Для даного моменту часу в зазорі 8 під зубцем 16 індукція має максимальне значення  $B_{\delta max}$ . При обертанні рухомого магнітопроводу 6, коли над його зубцем 15 розташується паз 17 нерухомого магнітопроводу 7, індукція зменшується до  $B_{\delta min}$ .

Вихрові струми за законом Джоуля - Ленца нагрівають магнітопроводи 6, 7, а ті нагріватимуть теплоакumuлюючу рідину 5 в резервуарі 4, яка може використовуватися для обігріву споруд, парників та теплиць. Виконання підшипникових щитів 13, 14 і опор 19 із немагнітного матеріалу виключає можливість шунтування магнітного потоку.

Для усунення динамічних навантажень на магнітопроводи (МП) (рисунк 4.18) запропоновано нерухомий МП виготовляти з зубцями 15, 16, розташованими в шаховому порядку, розділеними канавкою на рівні за площею (Додаток 4) [21]. Якщо на зовнішні зубці 16 нерухомого МП з шаховим розташуванням

зубців установити додаткові обмотки 5, з'єднані паралельно, і через випрямляч 21 приєднати до основної індукційної обмотки збудження 2, то отримуємо запатентований нами вітровий теплогенератор з самозбудженням (пат. 64568А) [49].



а) нижній нерухомий магнітопровід;  
 б) схема електрична принципова

Рисунок 4.18 - Елементи вітрового теплогенератора з самозбудженням, пат. 64568А

Запропонований ППЕВТ містить індуктор у вигляді індукційної обмотки збудження, розташованої на нерухомому кільцевому МП, збудженої постійним струмом, та рухомий кільцевий МП, жорстко зв'язаний з валом ВД, що обертається за рахунок енергії вітру. Кільцеві МП установлені співвісно з фіксованим зазором між прилеглими торцями в резервуарі з теплоакумуючою рідиною. У прилеглих торцях МП виконано по кільцевій канавці і радіальні пази з постійним кроком. За рахунок енергії вітру вал ВД, а разом з ним і рухомий МП обертаються. Зубці МП намагнічуються магнітним полем збудження в одному напрямі одночасно. Із-за зубцевої будови торців магнітний потік,



що замикається через них, буде змінюватися у часі: магнітний потік збільшуватиметься, коли зубець рухомого МП розташовується над зубцем нерухомого, і буде зменшуватися, коли зубець рухомого МП буде розташований над пазом нерухомого. При цьому між зубцями МП змінюється зазор, а отже і магнітна індукція в ньому [16]. Індукція в зазорі пульсує, не змінюючи знаку від  $B_{\delta_{max}}$  до  $B_{\delta_{min}}$  (рисунок 4.19).

Індукцію у зазорі можна представити у вигляді двох складових:

- змінної з амплітудою

$$B_{\delta\sim} = 0,5 (B_{\delta_{max}} - B_{\delta_{min}}), \quad (4.1)$$

- і постійної, рівної

$$B_{\delta=} = 0,5 (B_{\delta_{max}} + B_{\delta_{min}}). \quad (4.2)$$

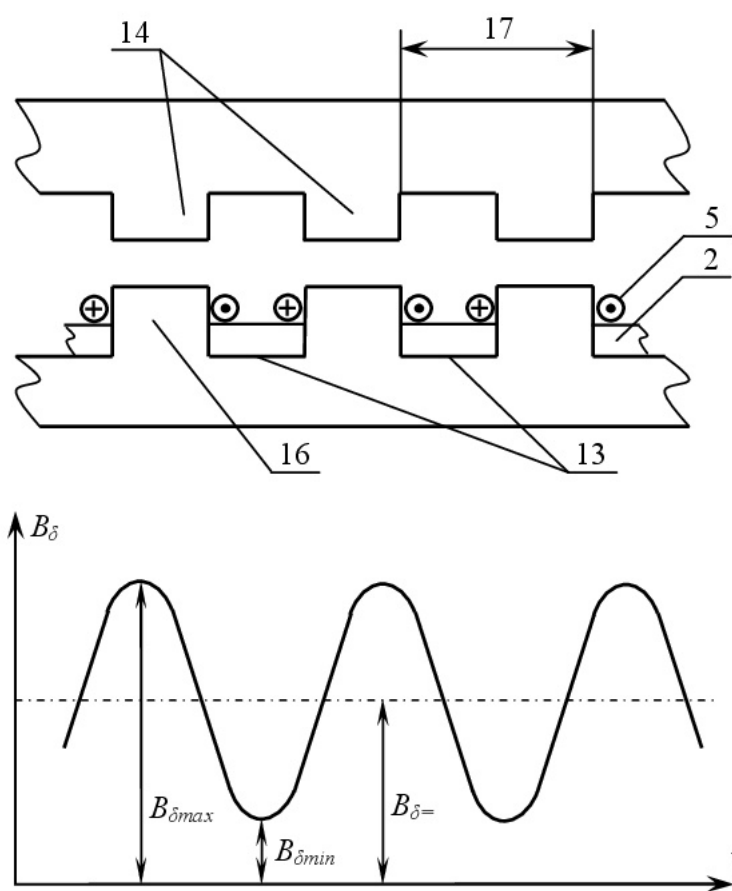


Рисунок 4.19 – Зміна магнітного потоку в повітряному зазорі теплогенератора

Змінна складова магнітного поля індукує в магнітопроводах ЕРС і вихрові струми частотою

$$f = Zn, \quad (4.3)$$

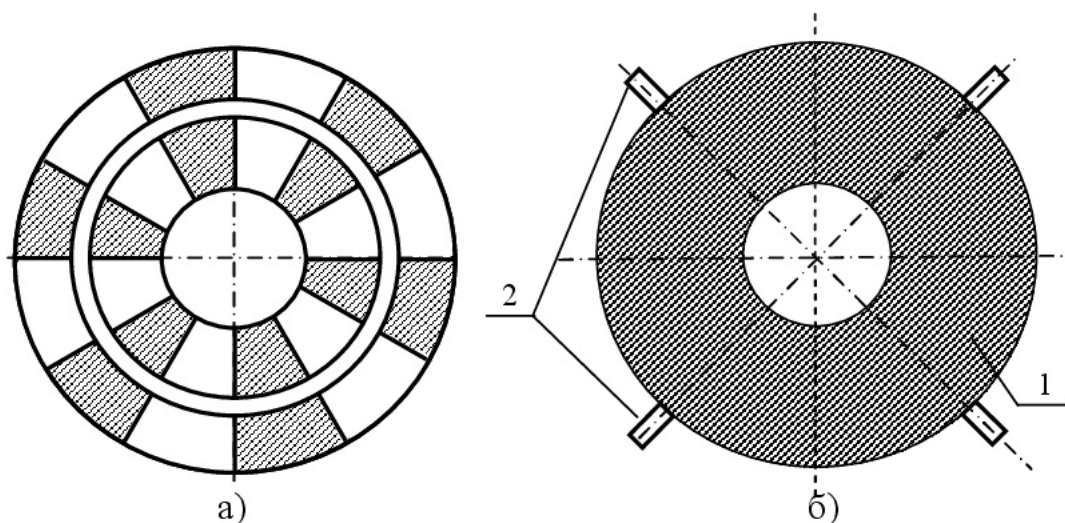
де  $Z$  і  $n$  – кількість зубців і частота обертання рухомого МП,  $\text{с}^{-1}$ .

Вихрові струми за законом Джоуля - Ленца нагрівають МП, а ті нагріватимуть теплоакumuлюючу рідину в резервуарі, яка може використовуватися для обігріву споруд, парників та теплиць [16].

Постійна складова магнітного потоку ніяких ЕРС не індукує, тому ця частина магнітного потоку не приймає участі в перетворенні вітрової енергії в теплову. Чим більша швидкість вітру і швидкість обертання вала ВД, тим більшою буде величина і частота індукованої ЕРС і вихрових струмів, що нагрівають МП, тим більше теплоти виділятиметься в них, а останні нагріватимуть теплоакumuлюючу рідину в резервуарі.

Для усунення ЕРС самоіндукції в індукційній обмотці збудження запропоновано збільшити кількість зубців в рухомому МП в число разів кратне двом по відношенню до нерухомого МП. В результаті, змінний магнітний потік в зазорі індукує ЕРС тільки в рухомому МП. При цьому через обмотку збудження буде проходити постійний магнітний потік, який ЕРС в ній не індукує [16]. Недолік таких конструкцій ІПЕВТ є його початкова інерційність із-за збільшення моменту зрушення ротора при залипанні намагнічених зубців.

Цей недолік усунений у малоінерційному ІПЕВТ, (пат. 22765), що містить нерухомий індуктор (рисунок 4.20) у вигляді нерухомих МП (рисунок 4.20,а) ідентичного виконання з зубчастою будовою прилеглих поверхонь та індукційними обмотками збудження, розташованими в кільцевих канавках своїх МП та дисковий ротор (рисунок 4.20, б) з немагнітного електропровідного матеріалу, розташований між МП і жорстко зв'язаний з валом ВД [48].



а) нерухомий МП з зубчастою поверхнею, б) дисковий ротор з лопатями

Рисунок 4.20 - Малоінерційний ШЕВТ, пат. 22765

Проте виконання дискового ротора із немагнітного провідникового матеріалу призводить до збільшення магнітного опору магнітному потоку, що замикається через протилежні зубці магнітопроводів, а отже – до збільшення струму намагнічування індуктора. Для усунення останнього недоліку запропоновано виконати дисковий ротор ШЕВТ у вигляді „Сандвічу” – сталюого диску із маловуглецевої сталі з відносно великою магнітною проникливістю, наприклад сталі 10, покритого з обох сторін шаром немагнітного матеріалу з високою електропровідністю, наприклад, сплаву на базі алюмінію чи міді (рисунок 4.21).

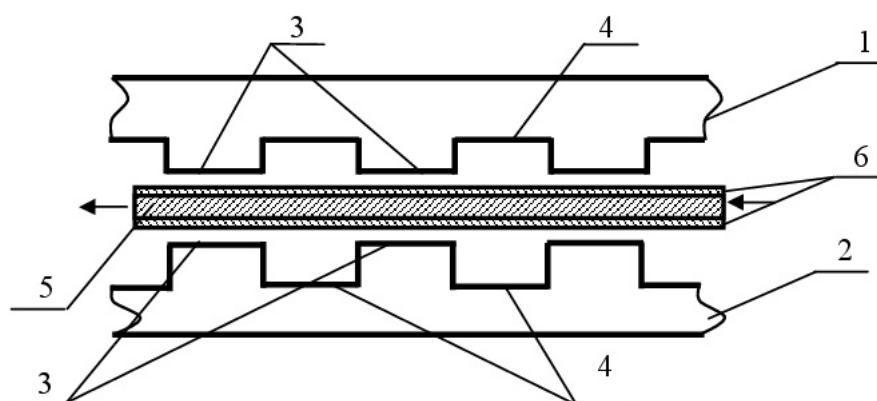


Рисунок 4.21 - Схематичне зображення малоінерційного ШЕВТ з ротором

При обертанні дискового ротора 5 в його елементарних замкнутих контурах буде індукуватися вихрова ЕРС

$$e = \frac{d\Phi}{dt}, \quad (4.4)$$

тобто ЕРС пропорційна швидкості зміни магнітного потоку  $\Phi$  між полюсами 3 (зубцями) МП 1, 2. Якщо ж розглядати наведення ЕРС в елементарних провідниках ротора 5, то буде справедлива формула

$$e = Blv, \quad (4.5)$$

де  $l$  - активна довжина провідника, що дорівнює довжині полюса;

$v$  - швидкість переміщення якоря відносно полюса.

Якщо величину магнітного потоку полюса  $\Phi$ , що пронизує розглянутий контур, записати як

$$\Phi = Blx, \quad (4.6)$$

а швидкість переміщення як

$$v = \frac{dx}{dt}, \quad (4.7)$$

де  $x$  – координата переміщення якоря відносно полюса,

то вирази (4.4) і (4.5) дадуть однакові результати.

Під дією елементарних ЕРС в якорі утворюються вихрові струми, які за законом Джоуля-Ленца нагрівають дисковий ротор (якір)

$$P = \frac{e^2}{R}. \quad (4.8)$$

Причому верхні шари ротора типу „Сандвіч” будуть нагріватися більш інтенсивно, оскільки вони виготовлені із матеріалу з більшою електропровідністю. Для покращення тепловіддачі і примусового переміщення теплоносія по ободу диска 1 розміщені лопаті 2 (див. рисунок 4.20,б).

Для усунення динамічних навантажень на МП і фундамент запропоновано, нерухомий МП виготовляти з зубцями розташованими в шаховому порядку, розділеними канавкою на рівні за площею [49]. Якщо на зовнішні зубці нерухомого МП, установити додаткові обмотки збудження, з'єднати їх паралельно і через випрямляч підключити до кільцевої обмотку збудження, то отримаємо вітровий теплогенератор з самозбудженням, пат. 64568А [49].

Недоліком попередніх ВТУ з ІПЕВТ є великі масогабаритні розміри. Вони придатні для обігріву парників та теплиць і проблематичні для обігріву інших с.г. будівель і житлових будинків.

Відома також ВТУ [79], запатентована в США, до складу якої входить електронагрівач, дія якого заснована на збудженні вихрових струмів. Вертикально розташований ротор електронагрівача приводиться в обертання від горизонтального вала крильчастого ВД через конічний редуктор, розміщеними на даху житлового будинку. Недоліком відомої ВТУ [79] є її низька надійність і негативний вплив на самопочуття мешканців, обумовлений розташуванням конструкції з конічним редуктором на даху житлового будинку.

Розроблений нами проточний коаксіальний вітроелектромеханічний нагрівач (рисунок 4.22) [71] містить ВД 1 з вихідним валом 2, ІПЕВТ 3 у вигляді рухомого МП 4 і нерухомого МП 5 циліндричної форми, розташованих коаксіально, з зубчастою будовою прилеглих поверхонь, і кільцевої обмотки збудження 6, розташованої в кільцевій канавці 7, підшипники 8, 9, які закріплені в підшипникових щитах 10, 11 з немагнітного матеріалу. На прилеглих поверхнях МП 4,5 розташовані повздовжні зубці 12, 13, утворені повздовжніми пазами 14, 15. По периферії нерухомого МП 5 виконані наскрізні вертикальні отвори 16, в які поміщені охолоджувальні трубки 17 із антикорозійного матеріалу, герметично сполучені нижнім 18 і верхнім 19 трубчатими колекторами прямокутного перерізу з вхідним 20 і вихідним 21 патрубками холодної і нагрітої рідини (води). В пазах 15 нерухомого МП 5 розташовані якірні котушки 23 (рисунок 4.23), з'єднані паралельно і через регулювальний випрямляч 24 приєднані до обмотки збудження 6.

Пристрій працює таким чином [71]. Перед установкою в експлуатацію МП 4, 5 намагнічуються обмоткою збудження 6 від стороннього джерела живлення. Надалі МП залишаються в намагніченому стані за рахунок остаточного магнетизму. За рахунок енергії вітру вал 2 ВД 1 і рухомий МП 4 обертаються. Зубці 12, 13 МП 4, 5 намагнічуються магнітним полем збудження в одному напрямі одночасно.



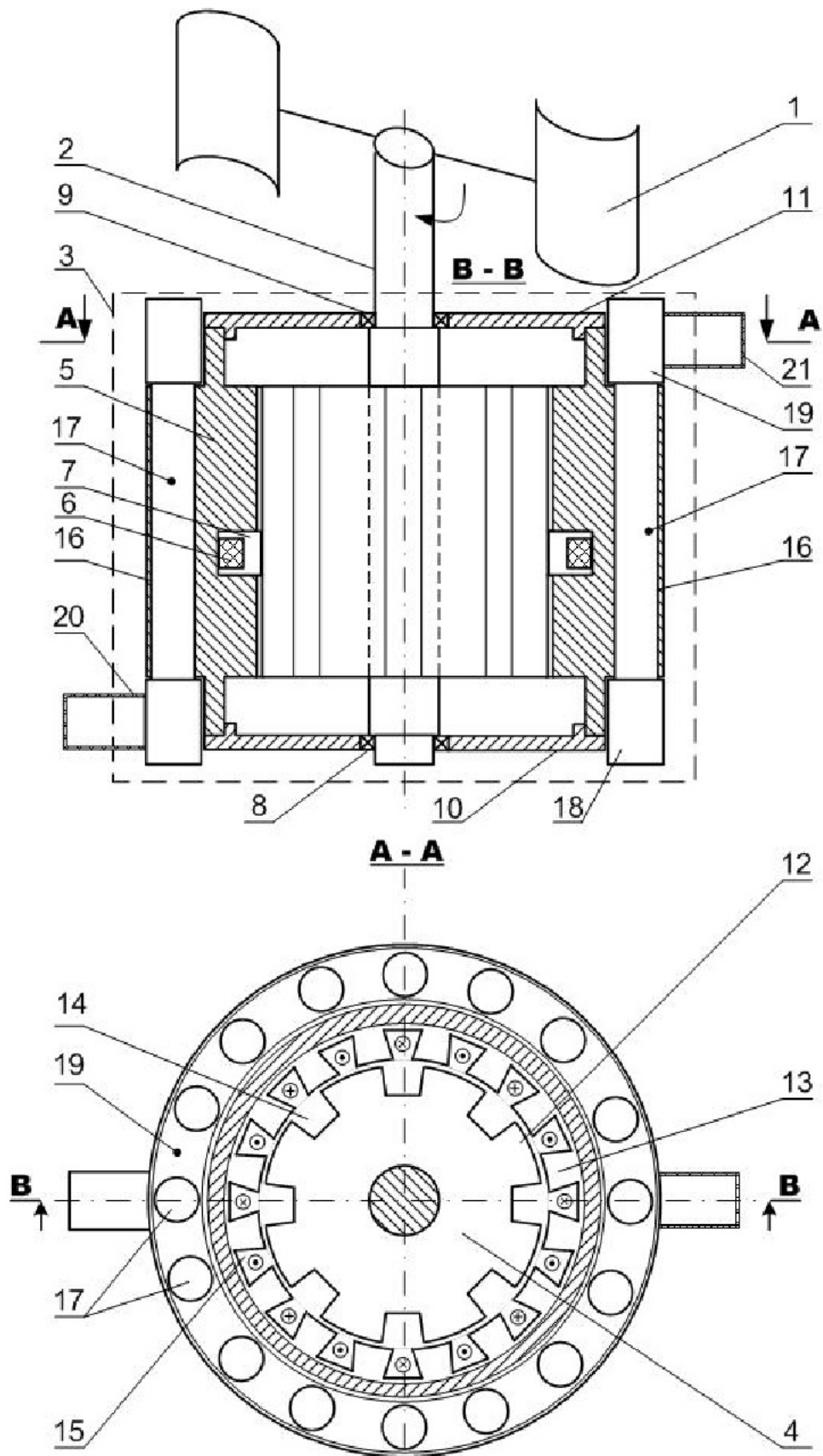


Рисунок 4.22 - Проточний коаксальний вітроелектромеханічний нагрівач, пат. 118880

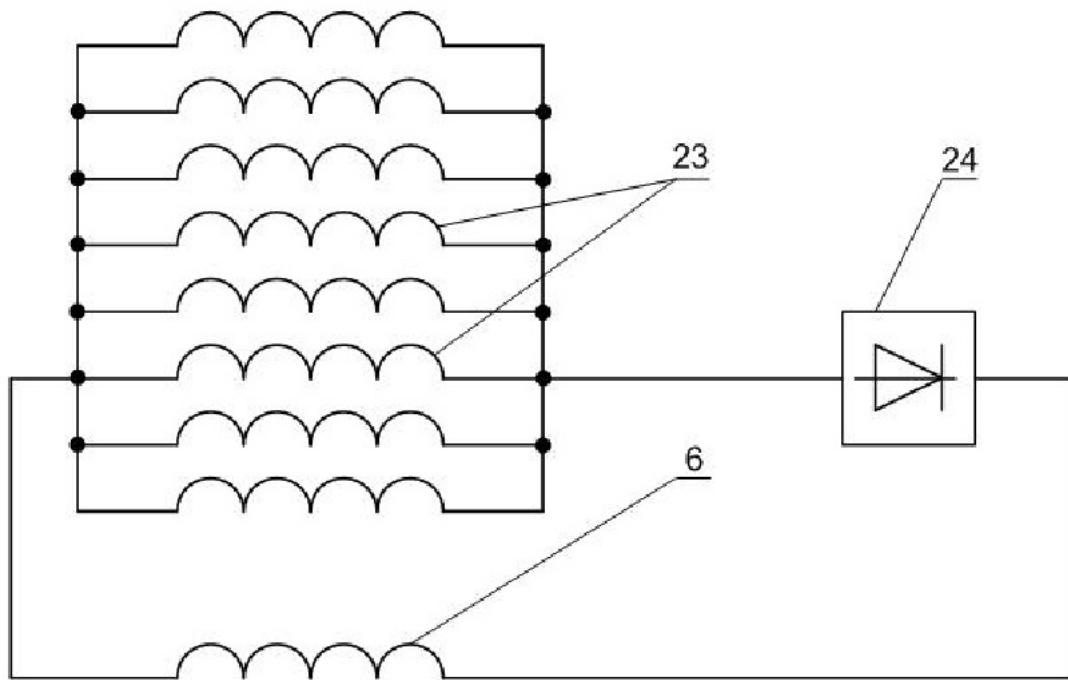


Рисунок 4.23- Схема з'єднань обмоток збудження ІПЕВТ, пат. 118880

Із-за зубчастої будови прилеглих поверхонь МП 4, 5 магнітний потік, що замикається через них, не буде розподілятися рівномірно. Більша його частина проходить через ділянки, де зубець 12 рухомого МП 4 розташується проти зубця 13 нерухомого МП 5, а найменша - на ділянці, де зубець 12 МП 4 розташується проти паза 15 нерухомого МП 5. При цьому між зубцями 12 і 13 змінюється зазор, а отже і магнітна індукція  $B$  у ньому. В результаті цього крива розподілу магнітної індукції в зазорі між зубцями 12, 13 набуде пилковидного характеру, і матиме вигляд, поданий на рисунку 4.24. Змінний магнітний потік між зубцями МП 4, 5 індукуює в якірних обмотках 23 ЕРС, в результаті чого сумарний випрямлений струм через регульовальний випрямляч 24 поступає на ОЗ 6 і додатково підмагнічує МП 4,5 [71].

Для даного моменту часу в зазорі під зубцем 13 індукція має максимальне значення  $B_{\delta_{max}}$ . При обертанні рухомого МП 4, коли проти його зубця 12 розташується паз 15 нерухомого МП 5, індукція зменшиться до  $B_{\delta_{min}}$ . Таким чином, при обертанні рухомого МП 4, зв'язаного з валом 2 ВД 1, індукція в зазорі

пульсує, не змінюючи знаку від  $B_{\delta max}$  до  $B_{\delta min}$ . Її можна представити у вигляді двох складових: змінної з амплітудою  $B_{\delta\sim}$  (4.1) і постійної  $B_{\delta=}$  (4.2).

Змінна складова магнітного поля індукує в МП 4, 5 ЕРС і вихрові струми частотою  $f$  (4.3). Вихрові струми за законом Джоуля-Ленца нагрівають МП 4, 5. Нерухомий МП 5 за рахунок конвекції передає теплоту охолоджувальним трубкам 17 з проточною рідиною (водою), яка може використовуватися для обігріву споруд, миття посуду, для поливу рослин, або наповнювати резервуар.

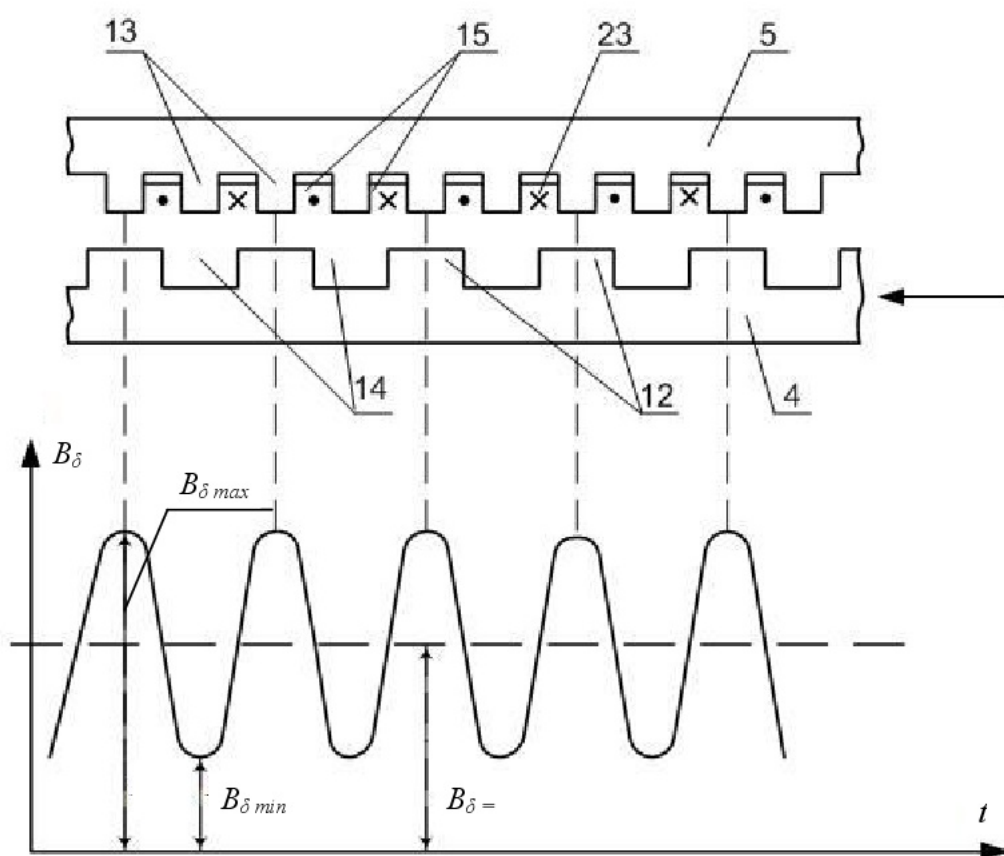


Рисунок 4.24 - Зміна магнітного потоку в повітряному зазорі, пат. 118880

Постійна складова магнітного потоку ніяких ЕРС не індукує, тому ця частина магнітного потоку не приймає участі в перетворенні енергії вітру в теплоту. Виконання підшипникових щитів 10, 11 із немагнітного матеріалу виключає можливість шунтування магнітного потоку [71].

## 4.6 Експериментальне і математичне дослідження параметрів магнітної системи ІПЕВТ

### 4.6.1 Експериментальне дослідження параметрів магнітної системи

Для обґрунтування параметрів ІПЕВТ досліджені зміни магнітного потоку  $\Phi$  і магнітної індукції  $B$  у зубцях при різних параметрах магнітної системи (рисунок 4.25). Дослідження проводилися для зубцевих зон, які мали співвідношення в межах:

$$\delta_o = \delta/\tau; b_{zo} = b_z/\tau = 0,5 \dots 1; h_{zo} = h_z/\tau = 0,3 \dots 1,5. \quad (4.9)$$

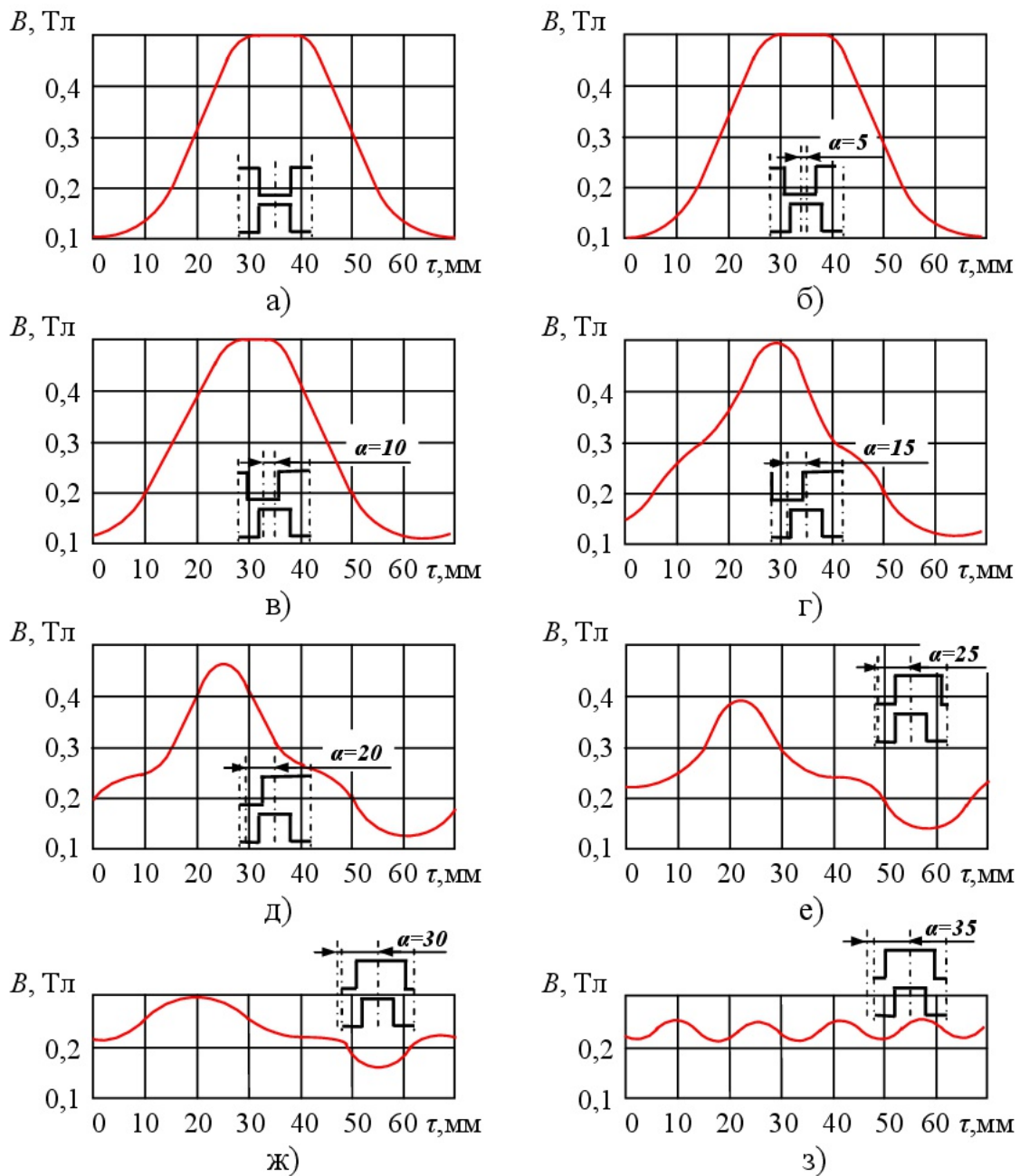


Рисунок 4.25 – Розподіл магнітної індукції  $B$  у зазорі  $\delta$

в межах полюсного ділення  $\tau$

Для фізичного моделювання використаний електромагнітний макет магнітної системи і з'ємні пакети зубцевих зон з різною конфігурацією зубців набраних із електротехнічної сталі (рисунок 4.26).

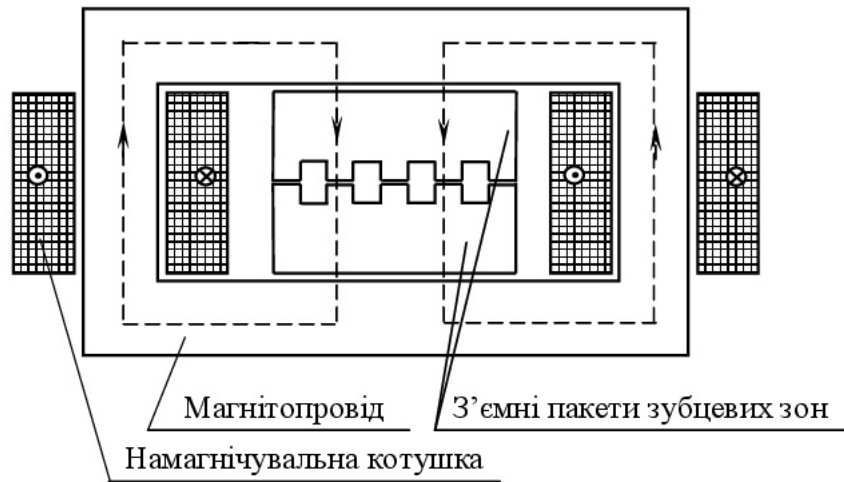


Рисунок 4.26 - Електромагнітний макет магнітної системи ПІЕВТ

Повітряний зазор між верхнім и нижнім пакетом можна змінювати від 0 до 10,5 мм, що відповідає  $\delta_0$  від 0 до 0,3. Дослідження проведені для зубцевих зон, які мали співвідношення в межах:  $\delta_0 = \delta/\tau = 0,04...0,3$ .

В літературі [16, 42] наведені залежності повного магнітного потоку зубцевого ділення в зазорі від переміщення зубців якоря відносно зубців індуктора при різних значеннях величини зазору  $\delta$ , форми і ширини зубця  $b_{z0}$ : а) для прямокутного зубця  $b_{z0} = 0,8$ ; б) для прямокутного зубця  $b_{z0} = 1$ ; в) для трапецеїдального зубця з кутом нахилу  $\gamma = 10^\circ$  і  $b_{z0} = 0,715$ . Оптимальна відносна ширина зубця знаходиться в досить вузьких межах:  $b_{z0} = (0,65...0,8)\tau$ .

На рисунку 4.25 наведена зміна магнітної індукції  $B$  у зазорі для восьми положень зубців прямокутної форми шириною  $b_{z0} = 0,715$ , висотою  $h_{z0} = 1$ , при величині зазору  $\delta_0 = 0,3$ . Із рисунку 4.25 видно, що магнітна індукція в зазорі пульсує від максимального значення  $B = 0,5$  Тл, коли зубці МП розташовані один проти одного, до  $B \approx 0,23$  Тл, коли зубець якоря розташований проти паза індуктора.

Магнітний потік у визначеній області створювався двома котушками при проходженні по них струму. Індукція в повітряному зазорі на ділянці зубцевого ділення  $2\tau$  визначалася балістичним методом. Під час дослідів положення одного зубця відносно іншого в межах одного зубцевого ділення змінювалося з дис-



Наявність другого циркуляційного насоса забезпечує відкачування теплоти від теплообмінника-конденсатора до системи опалювання.

Конструктивна схема ТН “Цезар” приведена на рисунку 5.8. ТН містить корпус 1, у якому розміщений контур ТН, до складу якого входить: компресор 2, теплообмінник-конденсатор 3, дросель 4, теплообмінник-випарник 5. Контур ТН функціонально пов'язаний із зовнішнім контуром та контуром опалювання. Термосифон 6 містить герметичний вертикальний корпус 7, заповнений робочим тілом, із пустотілою коаксіальною вставкою 8, встановленою у вертикальний корпус 7 з кільцевим зазором 9 та конденсаторну камеру 10 у верхній частині герметичного вертикального корпусу 7 (зона конденсації). Пустотіла коаксіальна вставка 8, накрита кришкою 11 з патрубком 12 в центрі. Конденсаторна камера 10 через отвори 13 по периферії у кришці 11 і кільцеві зазори 9, сполучена конденсатом із зоною випару в нижній частині герметичного вертикального корпусу 7, зануреної в скидну воду міського колектора (не показаного). В конденсаторній камері 10 розташований теплообмінник 14 відбору конденсаційної теплоти, сполучений проміжним теплоносієм за допомогою циркуляційного насоса 15 з теплообмінником-випарником 5. Теплообмінник-конденсатор 3 сполучений теплоносієм і другим циркуляційним насосом 16 з опалювальною системою 17. В якості робочого тіла в контурі ТН і термосифона циркулює холодоагент, який може бути обраний з групи хладонів, з відповідними параметрами [5].

Працює тепловий насос “Цезар” таким чином. Теплота  $Q_1$  скидної води міського колектора підводиться до нижньої частини герметичного вертикального корпусу 7 (зона випару), зануреної в скидну воду. Утворена пара робочого тіла через порожнину коаксіальної вставки 8 і через патрубок 12 в кришці 11 поступає в конденсаторну камеру 10, де конденсує, виділяючи теплоту конденсації. Утворений конденсат через отвори 13 в кришці 11 і кільцевий

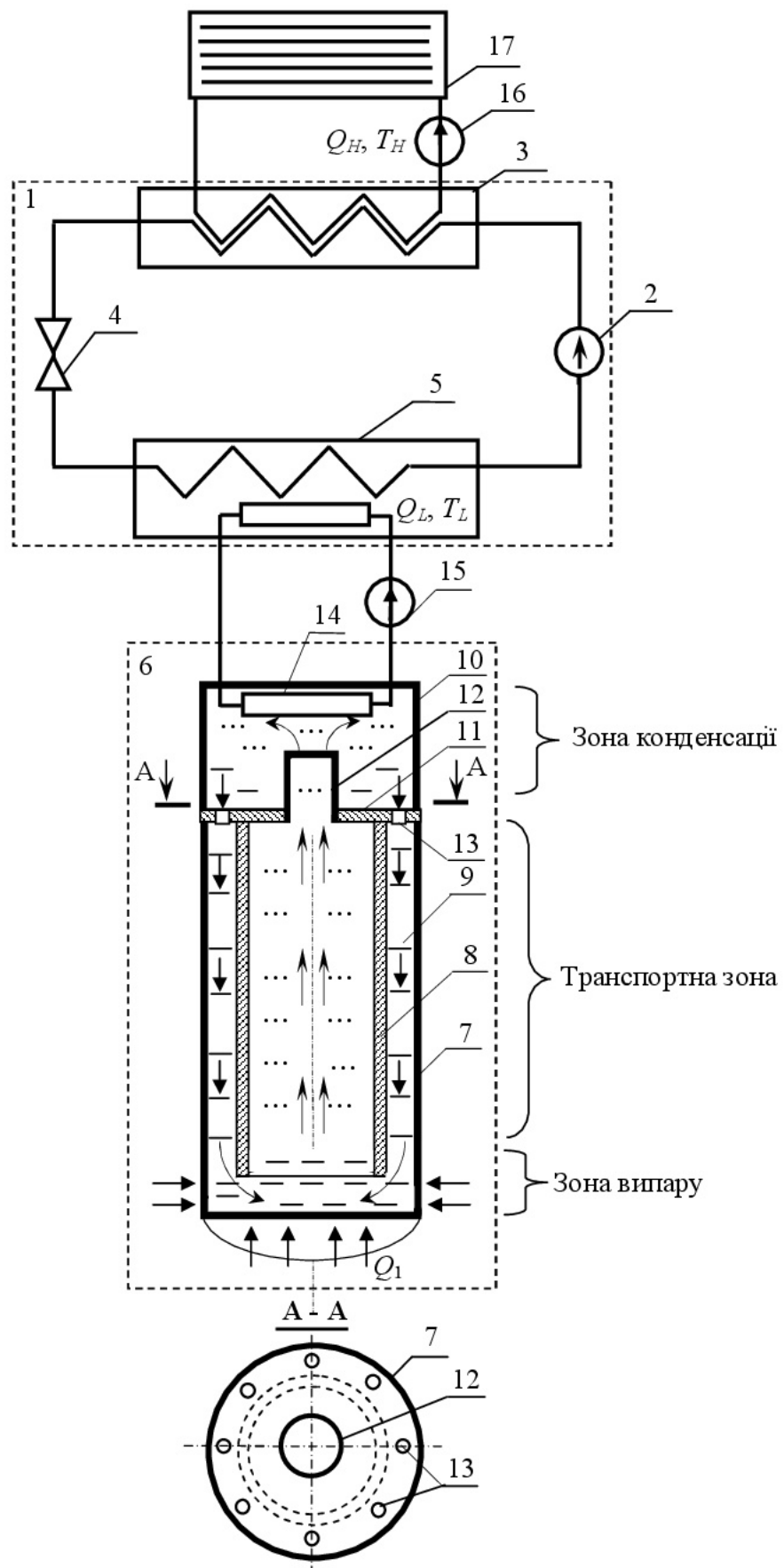


Рисунок 5.8 – Конструктивна схема ТН "Цезар" пат. 97774

зазор 9 стікає по внутрішній стінці герметичного вертикального корпусу 7 до зони випару, де утворена рідина безперервно підігривається за рахунок теплоти скидної води і випаровує. Із конденсаторної камери 10 конденсаційна теплота  $Q_L$  за температури  $T_L$  відбирається теплообмінником 14, і циркуляційним насосом 15 за рахунок прокачування проміжного теплоносія передається на вхід теплообмінника-випарника 5, де він сприяє перетворенню холодоагенту, який циркулює у контурі ТН, з рідкого стану до газоподібного. Холодоагент у газоподібному стані поступає до компресора 2, де за рахунок стискання його температура підвищується, і він подається до входу теплообмінника-конденсатора 3. У теплообміннику-конденсаторі 3 нагрітий холодоагент віддає частину свого тепла теплоносію, який за рахунок прокачування другим циркуляційним насосом 16 передає теплоту  $Q_H$  за температури  $T_H$  у опалювальну систему 17 типу “тепла підлога”. Температура холодоагенту знижується і з газоподібного стану перетворюється у рідину. Надалі холодоагент поступає до дроселя 4, який знижує тиск та температуру його, а потім знову поступає на вхід теплообмінника-випарника 3, і цикл повторюється.

### **5.5 Компресійний тепловий насос для охолодження напоїв**

Запатентований нами, пат.108003, компресійний ТН для охолодження напоїв являє собою металевий корпус коробчастого типу з роз'ємними стінками і з'ємною кришкою (на схемі не показані) [64]. Усередині розташований компресійний ТН (рисунок 5.9), складовими частинами якого є: компресор 1, вентилятор 2, повітряний конденсатор 3, фільтр-осушувач 4, випарник 6, теплообмінник 7 для безпосереднього охолодження напою, насос-мішалка 8 для заповнення водою ванни 5, терморегулятор 9 з термодатчиком, дросель, мідні трубки для з'єднання елементів ТН між собою пайкою в замкнену герметичну систему, заповнену холодильним агентом [112], продуктопровід для подачі напою через теплообмінник 7 до споживача.

Компресійний ТН для охолодження напоїв працює за теплонасосною технологією наступним чином [64]. Після увімкнення компресор 1 відкачує

пари холодоагенту із випарника 6 і нагнітає в конденсатор 3. В конденсаторі 3 пари холодоагенту охолоджуються і конденсуються. Далі рідкий холодоагент через фільтр-осушувач 4 і дросель у вигляді капілярної трубки попадає до випарника 6, розміщеного всередині ванни 5, виконаної з ударостійкого пластику, і теплоізолюваний зовні пінополіуретаном. На вході до випарника 6 тиск падає від величини тиску конденсації до тиску кипіння (іде дроселювання).

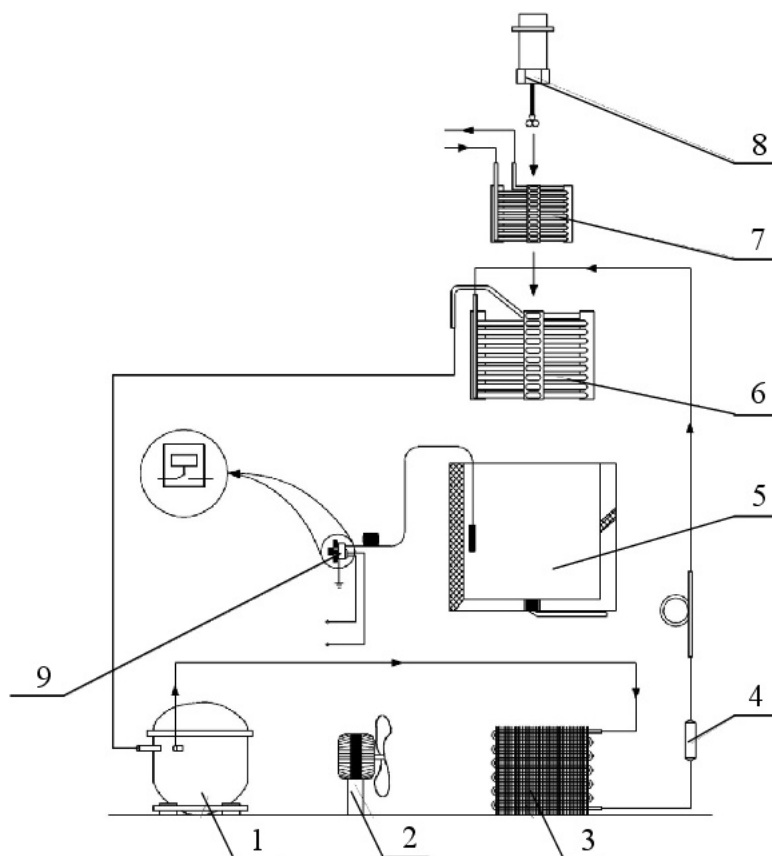


Рисунок 5.9 - Схема компресійного ТН для охолодження напоїв,  
пат. 108003

При цьому відбувається закипання холодоагенту, поступаючи в канали випарника 6 холодоагент кипить, енергія необхідна для кипіння у вигляді теплоти, забирається від поверхні випарника, охолоджуючи воду у ванні 5, і вода на трубках випарника 6 перетворюється в лід. Пройшовши через випарник 6 рідкий холодоагент перетворюється в пару, яка відкачується компресором 1, віддає свою теплоту повітряному конденсатору 3 і довіллю вентилятора 2 при її конденсації після стискання компресором 1, далі процес повторюється. Рабо-

та вентилятора 2 сприяє інтенсивному охолодженню конденсатора 3. Товщина крижаного поля контролюється термодатчиком (капіляром) в середині ванни 5, і регулюється поворотом ручки терморегулятора 9 [20].

Корисна модель може застосовуватися для охолодження коктейлів, соків, пива, при їх продажу. Як варіант, для підігріву води для миття використаного посуду, у бак-акумулятор з водою можна установити рідинний конденсатор з теплообмінником. Якщо ж забезпечити живлення ТН від ВДЕ, то отримаємо когенераційний ТН з генерацією як холоду, так і теплоти.

### **5.6 Використання теплових акумуляторів для обігріву домогосподарств**

Більш половини національного споживання теплової енергії Великобританії взимку припадає на обігрів житла ( $18\pm 3^{\circ}\text{C}$ ) [103] і для цього не обов'язково використовувати для обігріву високотемпературні джерела. Відомо, що сучасному фермеру близько 40% енергії потрібні теж у формі НПТ. НПТ можна накопичувати за рахунок ВДЕ (енергії сонця, вітру тощо). На рисунку 5.10 показано, як система акумуляування тепла знижує коливання потужності на обігрів житла [103]. Два стовпця для кожного сезону відповідають найбільш холодним дням (стовпець ліворуч) і нічним годинам (стовпець праворуч). Заштрихована область відповідає енергії, що витрачається на обігрів і гаряче водопостачання. Жирною лінією показана витрата енергії при наявності системи 7-добового акумуляування тепла.

Для обігріву житла більш підходять пасивні приймачі сонячного тепла в комбінації з тепловими акумуляторами, які підтримують комфортні умови вночі і в похмурі дні. Більш того, саме у таких випадках, коли енергія використовується при низьких температурах, характерних для середовища, її особливо цінно накопичувати у формі НПТ [103]. В літературі [40] наведені технічні характеристики поширених теплоакумуляюючих матеріалів (ТАМ) і конструктивні схеми теплових акумуляторів.



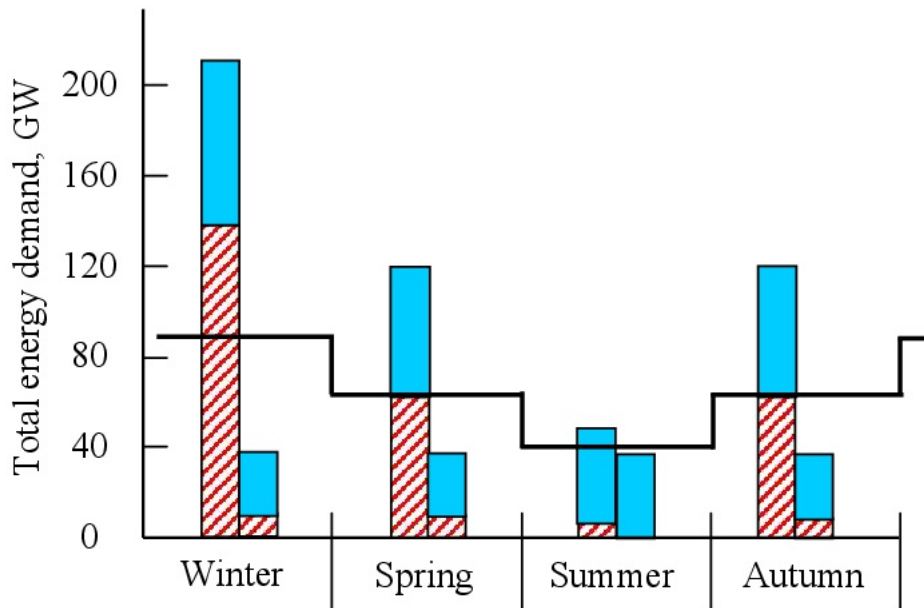


Рисунок 5.10 – Загальне енергоспоживання Великобританії з урахуванням її витрат на обігрів

Відомий ТАМ, який запатентований в США (Пат. 4465611 USA. C09K5/06. Heat storage material / Michio Janadori, Seigo Miyamoto, Keiichi Koike (Японія). - Опубл. 14.08.1984), що містить гексагідрат кальцію хлориду -  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , а також компоненти, що є ініціаторами кристалізації з температурою фазового переходу  $30^\circ\text{C}$ . Недоліком даного ТАМ є низька теплота фазового переходу, що зумовлює низьку густину запасання енергії (170 кДж/кг).

Також відомий ТАМ і спосіб його отримання (Пат. 2042695 RU. МПК<sup>6</sup> C09K5/06. Теплоаккумулирующий материал и способ его получения. - Опубл. 27.08.1995), який складається з пористої матриці з силікагелю з розміром пор від 10 до 100 нм, в яких розподілені кристали гексагідрату кальцію хлориду  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  того ж розміру. Недолік цього ТАМ полягають в низькій теплоті дегідратації гексагідрату кальцію хлориду до  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , при відщеплюванні тільки 4 молекул  $\text{H}_2\text{O}$ , а отже, в низькій густині запасання енергії та високій вартості робочої речовини.

Авторами монографії запропонований ТАМ фазового переходу для джерела НПТ приватного домогосподарства, в якому в якості ТАМ фазового пере-

ходу використаний мірабіліт - декагідрат натрію сульфат  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , зі стороннім джерелом кристалізації - тетраборатом натрію (бура) -  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ . Недоліком даного ТАМ є неможливість створення необхідного температурного режиму для конкретного контрольованого об'єкту [73].

Поставлена задача вирішувалася двома шляхами. Згідно корисної моделі [73], використано стороннє джерело кристалізації тетраборат натрію (бури)  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ . Оптимальна масова добавка бури – 3% мас. Використання мірабіліту  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  забезпечує його плавлення (гідратацію) при температурі  $32,4^\circ\text{C}$  [40, 103] з поглинанням надлишку тепла, не допускаючи перегріву вдень оточуючого середовища, а використання стороннього джерела кристалізації (домішки бури) забезпечує запуск процесу кристалізації (дегідратації) розчину з виділенням теплоти, не допускаючи переохолодження в нічний час, коли можливі заморозки [73]. В таблиці 5.1 наведена залежність розчинності  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  від температури.

Таблиця 5.1 – Залежність розчинності  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  від температури

Температура, $^\circ\text{C}$	Розчинність, г на 100 г води	Температура, $^\circ\text{C}$	Розчинність, г на 100 г води
0	4,5	38	49,8
10	9,6	40	48,4
20	19,2	60	45,3
25	27,9	80	43,3
30	40,8	100	42,3
32	49,8		

В корисній моделі [74] запропоновано використовувати перенасичений розчин мірабіліту (декагідрат натрію сульфат)  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , коли частина кристалів  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  так і не зможе розчинитися, їм просто не хватить власної кристалізаційної води. Ці кристали забезпечать неврівноваженість розчину мірабіліту, яка автоматично запусить кристалізацію при зниженні температури нижче меншої граничної величини.

Також запропоновано новий спосіб приготування ТАМ з фазовим переходом на базі природного мінералу – мірабіліту, простого в приготуванні, придатного для стабілізації температури в контрольованому об'єкті приватного домогосподарства на заданому рівні, при забезпеченні високої теплоємності і відсутності переохолодження, наприклад, в приватній неопалювальній теплиці, у збродзювальній ємності для отримання етанолу, в пташнику тощо [75].

Поставлена задача вирішується тим, що, згідно з корисною моделлю, попередньо насичений розчин мірабіліту (декагідрат натрію сульфат)  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , нагрівають або випарюють на сонці до зменшення масової частки % кристалізаційної води до заданого рівня, дещо меншої 56 % мас [75].

Плавлення мірабіліту у власній кристалізаційній воді відбувається при  $32,384^\circ\text{C}$  з поглинанням тепла і наступним його виділенням при кристалізації охолодженого розчину. Для усунення значного переохолодження звичайно використовують композиційні ТАМ із компонентами, які є ініціаторами кристалізації [40, 73, 103]. В корисній моделі запропоновано створювати перенасичений розчин мірабіліту, коли частина кристалів так і не зможе розчинитися, їм просто не хватить власної кристалізаційної води. Ці кристали забезпечать невірноваженість розчину мірабіліту, яка автоматично запусить кристалізацію при зниженні температури нижче меншої граничної величини. Тепло, під час цієї реакції гідратації-дегідратації становить  $250 \text{ кДж/кг}$ , або  $650 \text{ МДж/м}^3$  [103]. Це створює можливість підтримки в контрольованому об'єкті, наприклад, в приватній неопалювальній теплиці або в збродзювальній ємності оптимального температурного режиму, оберігаючи їх від перегріву в денні години і від переохолодження вночі.

Розміщення солі в теплиці в декількох спеціальних, відносно нескладних, контейнерах (пластикових каністрах чи навіть у пет-флягах) може забезпечити зниження температурних перевантажень в нічний час і в період максимальної сонячної активності вдень.

ТАМ готують наступним чином. Визначається процентний склад мірабіліту (декагідрат натрію сульфат)  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  і його молярна маса [11].

Молярна маса чистого сульфат натрію  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  [75] дорівнює

$$2 \cdot 23 + 32 + 4 \cdot 16 = 46 + 96 = 142 \text{ г.}$$

$$322 - 180 = 142 \text{ г.}$$

Визначаємо молярну масу декагідрат натрію сульфату  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  [75]

$$(46 + 96) + 10 \cdot 18 = 322 \text{ г.}$$

Процентний склад врівноваженого мірабіліту  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  [75]:

- частка % мас. сульфат натрію  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  в мірабіліті

$$100 \cdot (46 + 96) / (46 + 96 + 180) = 100 \cdot 142 / (322) = 44 \% \text{ мас,}$$

- частка % мас. кристалізаційної води у врівноваженому мірабіліті

$$100 \cdot 180 / 322 = 56 \% \text{ мас.}$$

При прокалюванні проби із 322 г врівноваженого мірабіліту  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  виділиться кристалізаційної води

$$(322 \cdot 56) / 100 = 180 \text{ г,}$$

і залишиться сульфат натрію  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ :  $322 - 180 = 142 \text{ г}$ . Беремо на пробу 322 г мірабіліту і нагріваємо його до повного випаровування кристалізаційної води. Якщо залишкова маса зневодненого мірабіліту становитиме дещо більше 142 г, наприклад 145 г, то процентний вміст  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  становитиме:  $100 \cdot 145 / 322 = 45 \% \text{ мас}$ . Отже мірабіліт перенасичений і придатний для використання як ТАМ [75].

Якщо залишкова маса зневодненого мірабіліту становитиме 142 г і менше, то процентний склад мірабіліту не відповідатиме вимогам до ТАМ [74].

**Приклад 1.** Беремо 322 г мірабіліту  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , насиченого при температурі  $32^\circ\text{C}$  і повільно нагріваємо до зменшення загальної маси до 320 г. Неврівноважений (перенасичений) мірабіліт при дегідратації на 2 г (зменшенні його маси до 320 г) містить частку кристалізаційної води:  $100 \cdot (180 - 2) / (322 - 2) = 55,6 \% \text{ мас}$ . і частку  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ :  $100 \cdot 142 / (322 - 2) = 44,4 \% \text{ мас}$ .

**Приклад 2.** Неврівноважений (перенасичений) мірабіліт при дегідратації на 5 г (зменшенні його маси до 317 г.) містить частку кристалізаційної води:  $100 \cdot (180 - 5) / (322 - 5) = 55,2 \% \text{ мас}$ . і частку  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ :  $100 \cdot 142 / (322 - 5) = 44,8 \% \text{ мас}$ .

**Приклад 3.** Неврівноважений (перенасичений) мірабіліт при дегідратації на 9 г (0,5 моль) (зменшенні його маси до 313 г.) містить частку кристалізаційної води:  $100 \cdot (180-9)/(322-9) = 54,6$  % мас. і частку  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ :  $100 \cdot 142/(322-9) = 45,4$  % мас.

Попередні розрахунки теплового балансу плівкових теплиць показали можливість регулювання температури в межах  $\pm 10$  °С від навколишнього середовища, забезпечуючи комфортні умови росту рослин при забезпеченні високої теплової ємності і відсутності переохолодження [37]. Так, наприклад, для зниження (підвищення) температури повітря на 10 градусів в теплиці  $3 \times 6 \times 3$  м з урахуванням акумулювання тепла в ґрунті і матеріалу теплиці, необхідно близько 25 кг мірабіліту, вартість якого становить близько 6000 грн./т.

Стосовно водяного електроопалення приватного будинку, то найбільш ефективним є поєднання електричного котла і теплового рідинного акумулятора в підвальному приміщенні, сонячного колектора на даху, договору з електропостачальником на пільговий тариф на опалювальний сезон і дифтарифного електрорічильника.

**Висновки.** Використання теплових акумуляторів з ТАМ на базі мірабіліту [73 - 75] створює можливість підтримки в приватних неопалювальних весняних теплицях температурного режиму, оптимального для вирощування рослин, оберігаючи їх від перегріву в денні години і від заморозків вночі.

Запропонована схема електроопалення дає суттєву економію коштів домогосподарю, позитивно впливає на ДГН ОЕС України, зменшує втрати електроенергії в локальній електромережі.

## ВИСНОВКИ

1. ОЕС України об'єднує в паралельну роботу ТЕС, АЕС, ГЕС, ВЕС та СЕС сумарною встановленою потужністю 54735 МВт. До 2020 року Україна зобов'язалася збільшити частку “зеленої” генерації до 11%. Сьогодні ця цифра - близько 6% від виробництва електроенергії в Україні.

2. У 2014 році в Запорізькій області введена в експлуатацію найбільша вітроелектростанція України - Ботієвська ВЕС, потужністю 200 МВт, яка у 2014 р. виробила 651 млн. кВт·год електроенергії. Інвестиції в проект склали 340 млн. євро. Екологічний ефект роботи Ботієвської ВЕС еквівалентний скороченню викидів в атмосферу 730 тис. т вуглекислого газу на рік. В межах допустимих значень знаходяться рівні: шуму, інфразвуку, електромагнітного випромінювання.

3. В селі Нове Токмацького району працює перша в Запорізькій області сонячна електростанція “Токмак Солар Енерджі” потужністю 10 МВт. Надалі загальна потужність буде збільшена до 22... 23 МВт.

4. Щороку в країнах ЄС в експлуатацію вводиться 2...3 млн. м<sup>2</sup> плоских СК, що еквівалентно тепловій потужності 1,0... 1,5 тис. МВт.

5. На даху приватного будинку в с. Семенівка Мелітопольського р-ну встановлено і з 2013 р. працює вакуумний СК “Altek”: 15 трубок довжиною по 180 см, об'єм бака – 150 л; продуктивність 500... 600 л за добу температурою 70... 95<sup>0</sup>С. Вартість – 5600 грн. разом з монтажем.

6. Найбільш економічною та доступною для широкого вжитку є система ГВП на основі розробленого авторами монографії плоского СК, яка економить кошти споживача на оплату і зменшує викиди парникових газів (1 кг СО<sub>2</sub> на зекономлену кіловат-годину). Отже виграють усі: споживач, країна і світова спільнота.

7. Для виготовлення ФЕП найчастіше використовуються різні типи кремнію: аморфний, моно- і полі- (мульти-) кристалічний, ККД яких невисокий і становить від 8% (для аморфного кремнію) до 15... 16%. Найвище у світі зна-



чення ККД - 24%. Проте ККД ФЕП залежить від їхньої температури. При температурі вище 40°C ККД ФЕП суттєво падає. Для виводу ФЕС на конкурентоспроможні позиції з ВЕС необхідно досягти значного підвищення ККД і зниження капітальних витрат у 2-3 рази.

8. Основні переваги сонячних панелей: висока надійність; мінімальні експлуатаційні витрати; екологічна чистота; великий термін експлуатації (20... 25 років); простота установки, нарощування вихідної потужності досягається простим додаванням або демонтажем ФЕМ.

9. Недоліком усіх ФЕС є те, що генерування електроенергії відбувається стохастично і електрична потужність, віддана в мережу, не регулюється.

10. Основними елементами сонячної системи є: фотопанелі, контролер заряду, акумуляторні батареї та інвертор. СБ необхідно підключати до акумуляторів через діод Шотткі, щоб не сталося розрядки акумулятора через внутрішній опір СБ при несприятливому сонячному освітленні, коли напруга на ній може впасти нижче, ніж напруга на акумуляторах, що заряджаються.

11. В ТДАТУ розроблено і запатентовано декілька конструкцій ФЕМ циліндричної форми, пат. 97080, 97782, 100635.

12. Розроблена і запатентована присадибна СЕС з ФЕМ циліндричної форми (пат. 103043), що охолоджуються рідиною, яка характеризується збільшенням ККД при відносно низькій вартості.

13. Розроблені та запатентовані автономна когенераційна енергоустановка з гібридними фотоелектричними модулями циліндричної форми (пат. 107991) і автономна сонячна когенераційна установка для рухомого об'єкта (пат. 107333). Удосконалення енергоустановки призводить до комбінованої генерації електричної енергії і теплоти, збільшує її ефективність.

14. Для підвищення ефективності роботи побутової ФЕС (на 25... 30%) розроблена функціональна схема та виготовлено дослідний зразок автоматизованої системи повороту фотопанелі побутової ФЕС за сонцем.

15. Ефективність рухомих фотопанелей зростає на 25... 30%, але відповідно зростають і витрати на власні потреби. Крім того, зростає відчуження земе-

льної території. Тому для впровадження поворотних СЕС у виробництво знадобиться індивідуальне обґрунтування кожної установки.

16. Удосконалена автономна сонячна когенераційна установка для рухомого об'єкта за рахунок установки абсорбційного холодильника та розроблена і запатентована тригенераційна установка рухомого об'єкта (пат. за заявками №201808400, №201808406), яка одночасно виробляє холод, теплову та електричну енергію, що є більш вигідною в порівнянні з когенераційною, оскільки дає можливість ефективно використовувати утилізоване тепло не лише взимку для опалення, але і влітку для кондиціонування приміщень або для технологічних потреб. Такий підхід дозволяє використовувати установку, що генерує, увесь рік, тим самим не знижуючи її високий ККД.

17. З метою використання СЕС приватних домогосподарств на АЗС для “заправки” екомобілів, проведено кореляційний аналіз ДГН приватних СЕС м. Мелітополь та еквівалентного ДГН СЕС<sub>екв</sub> з ДГН АЗС “WOG”. Визначений коефіцієнт парної кореляції Пірсона становить  $r_{xy} = 0,8536$ , що свідчить про високий кореляційний зв'язок, тому на базі приватних СЕС може бути створена локальна мережа ефективних станцій для заряду акумуляторів екомобілів.

18. У ТДАТУ запропоновано індукційний спосіб перетворення енергії вітру в теплоту та запатентовано декілька пристроїв для його реалізації, які захищені патентами України: 771, 921, 43711А, 47216А, 6070. В результаті аналізу виявлені недоліки і намічені шляхи усунення динамічних навантажень між МП ШЕВТ. Для усунення динамічних навантажень запропоновано нерухомий МП виготовляти з зубцями, розташованими в шаховому порядку, розділеними канавкою з основною обмоткою збудження і додатковими обмотками на зовнішніх зубцях. Запатентовано вітровий теплогенератор з самозбудженням (пат. 64568) та малоінерційний індукційний перетворювач механічної енергії вітру в теплову (пат. 22765, 50044). Більш досконалою є конструкція ШЕВТ, в якій МП виготовлені в формі коаксіальних циліндрів з повздовжніми зубцями, паралельними спільній осі МП (пат. 26300).

19. Проведена математична обробка результатів виміру величини магнітного потоку в зазорі МП для безпосереднього перетворення енергії вітру в теплоту за рахунок збудження вихрових струмів. Отримані результати будуть використані при побудові імітаційної моделі МП та обґрунтуванні їхньої конструкції.

20. Для когенераційної технології в ТДАТУ розроблено і запатентовано присадибну когенераційну ВЕУ (пат. 73286) і присадибний когенераційний вітропарк (пат. 95186), який складається з декількох ІПЕВТ і одного джерела збудження, в якості якого може бути розроблений і запатентований безредукторний малопотужний вітроелектрогенератор (пат. 104467).

21. Особливу увагу привертають ТН, які за рахунок незначної первинної енергії дають змогу підвищити потенціал низькотемпературних джерел до необхідного рівня. Розроблено і запатентовано присадибну вітротеплонасосну установку у вигляді ТН з приводом від присадибної ВЕУ, функціонально зв'язаного з зовнішнім циркуляційним контуром із теплообмінником, розташованого в землі, і циркуляційного насоса для прокачування теплоносія від зовнішнього низькопотенційного джерела (пат. 107616).

22. Недоліком багатьох відомих способів роботи ТН є використання шкідливого низькокиплячого робочого тіла (фреонів або аміаку) та примусове його стиснення, що викликає підвищення вимог до всіх елементів циркуляційного контуру, а отже - до збільшення матеріалоємності і вартості ТН. Запропоновано і запатентовано (пат. 70630) екологічно чистий і озонобезпечний спосіб роботи ТН, в якому в якості робочого тіла використані екологічно безпечні холодоагенти (наприклад етанол ( $C_2H_5OH$ ) або його водний розчин) з плюсовою температурою кипіння при атмосферному тиску ( $T_{кип} > 273 K$ ).

23. Робочий режим ТН слід вибирати індивідуально в залежності від температури  $T_L$  низькопотенційного джерела і потреб в температурі  $T_H$  споживача високопотенційного тепла. Занадто високі температури конденсації вибирати не слід, так як, по мірі приближення температури до критичної, схована теплота

пароутворення швидко зменшується, теплоту віддає тільки перегріта пара, але при суттєвому зменшенні КОП.

24. Розроблено і запатентовано компресійний ТН для охолодження напоїв, який містить компресор, конденсатор, випарник, дросель і фільтр-осушувач, об'єднані між собою контуром з холодоагентом (пат. 108003).

25. Для підтримки в приватних неопалювальних весняних теплицях температурного режиму, оптимального для вирощування рослин, оберігаючи їх від перегріву в денні години і від заморозків вночі, запропоновано використовувати теплові акумулятори з ТАМ на базі мірабіліту. Запропонована схема стабілізації температури дає суттєву економію коштів домогосподарю, позитивно впливає на ДГН ОЕС України, зменшує втрати електроенергії в локальній електромережі.

26. Попередні розрахунки теплового балансу плівкових теплиць показали можливість регулювання температури в межах  $\pm 10$  °С від навколишнього середовища, забезпечуючи комфортні умови росту рослин при забезпеченні високої теплової ємності і відсутності переохолодження. Для зниження (підвищення) температури повітря на 10 градусів в теплиці 3×6×3 м з урахуванням акумулявання тепла в ґрунті і матеріалу теплиці, необхідно близько 25 кг мірабіліту, вартість якого становить близько 6000 грн/т.

27. Розробки захищені патентами України і впроваджені в освітні процеси ТДАТУ, НТУ «ХП», НТУ «КП», ХНТУСГ, МДПУ і частково в приватному домогосподарстві (пат. 95186, 104467, 107616), деякі нагороджені Золотими медалями IX і XI Міжнародного Салона (2013 р., 2015 р.) винаходів і нових технологій “Новий час”, дипломами за зайняті призові місця на Всеукраїнських конкурсах наукових робіт студентів (2016 р., 2017 р.) під керівництвом авторів.

## ДОДАТКИ

### Додаток 1

#### Плоский СК для власної квартири

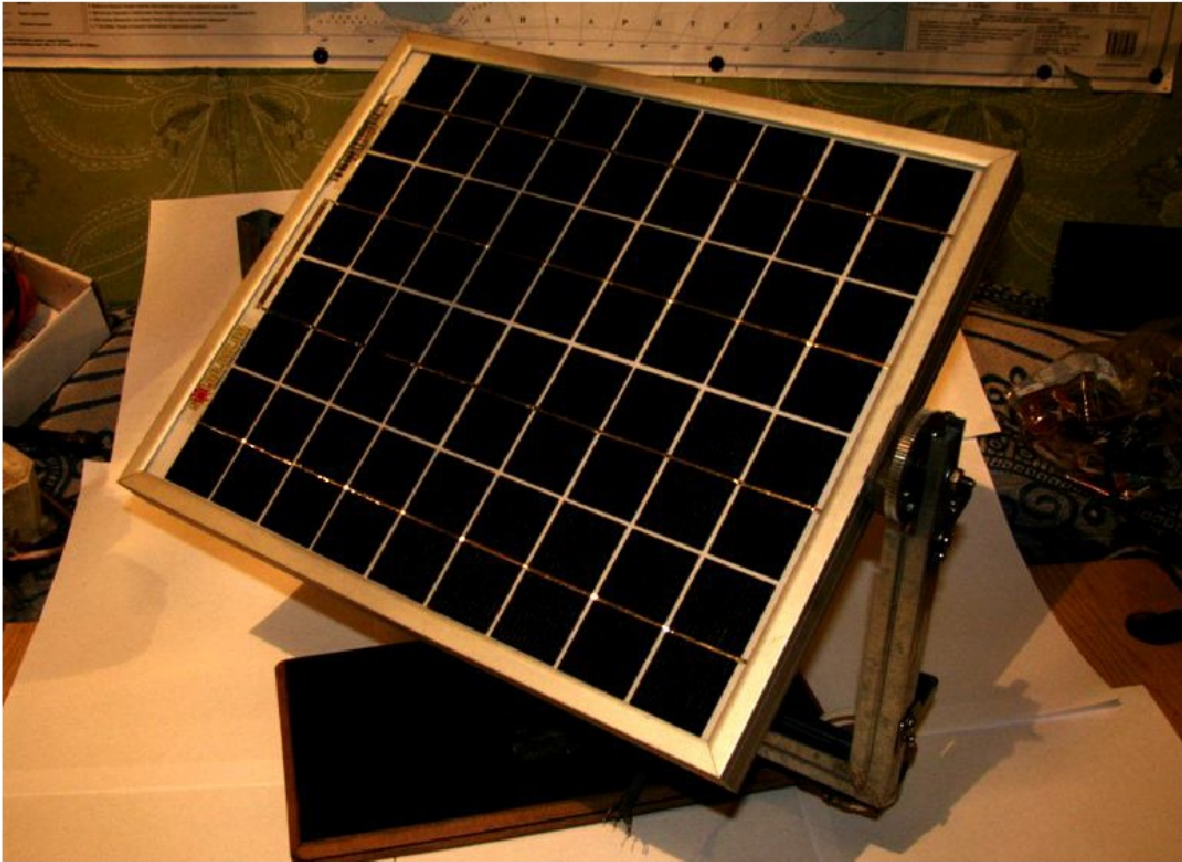


Корпус компактного СК зібраний з двох здвоєних віконних рам з подвійним склінням. В якості абсорбера взято плоску батарею водяного опалення. Холодна вода підведена до батареї знизу, а з верхньої частини гнучким шлангом гаряча вода подається в бак-накопичувач, розташований над СК.



## Додаток 2

### Діюча модель побутової СЕС з системою автоматичного стеження за сонцем



Загальний вигляд поворотної міні-СЕС



Дисплей пульта керування

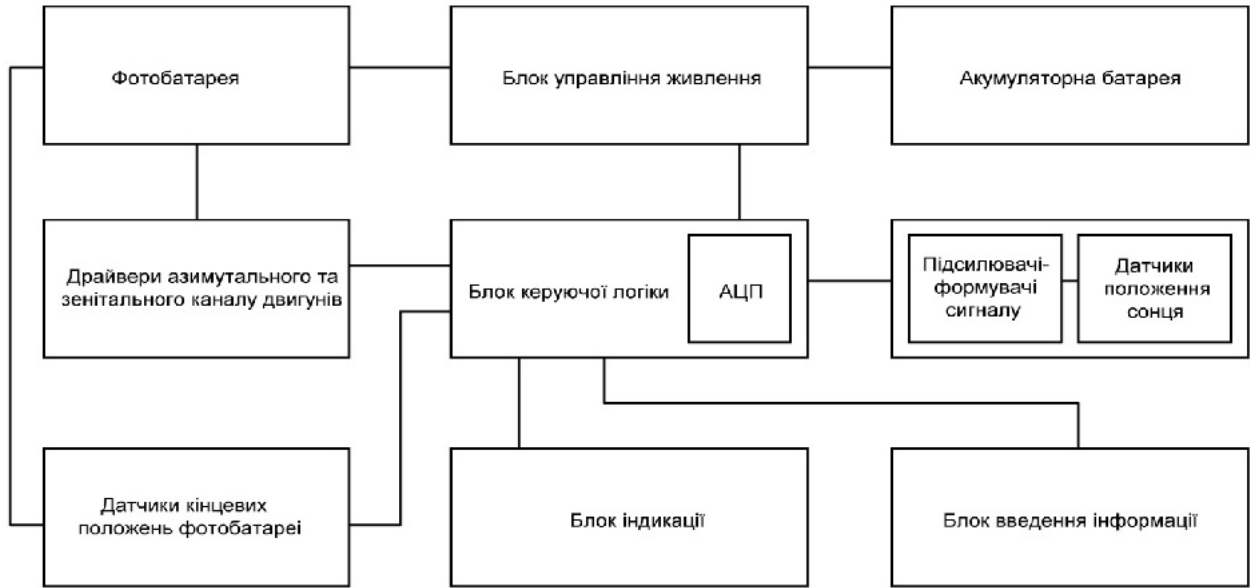


Пульт керування

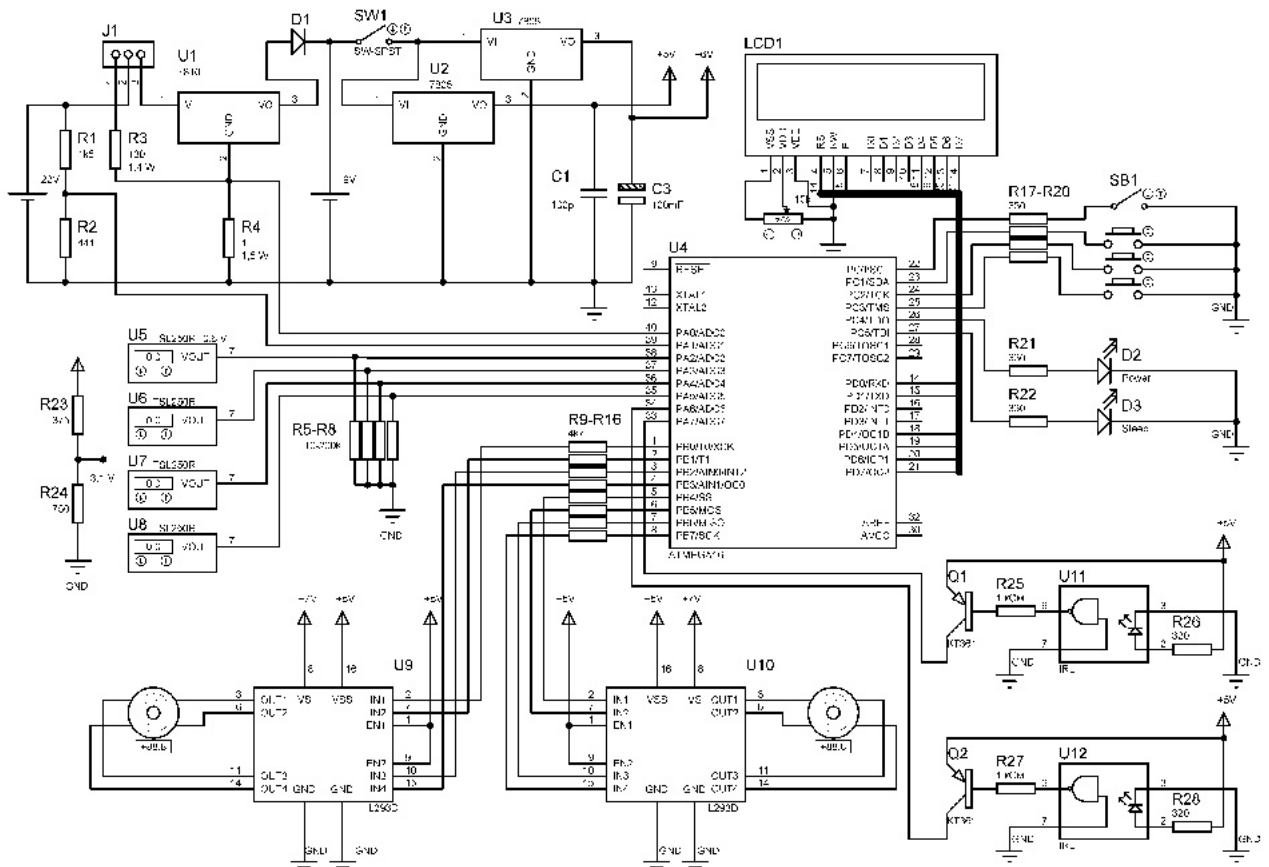


## Додаток 3

### Схеми поворотної міні-СЕС



### Спрощена блок-схема сонячної електростанції



### Схема електрична принципова пристрою керування

### поворотним механізмом міні-СЕС

## Додаток 4

### ВЕУ з вертикальним валом



а)

б)

в)

а) - ротор  $D = 1,9$  м,  $m = 40$  кг, 4 лопаті (1×0,8 м) із дахів;

б) - вал з півосей легкових авто; в) - помпа з гальмової камери авто

Рисунок Д4.1 - Ротор Савоніуса руками умільця

(вартість 190 грн, качає воду зі ставка (при  $V = 5$  м/с),  $q = 3$  л/хв,  $h = 1,5$  м,  $l = 40$  м



Рисунок Д4.2 - Вітроустановка з ротором Дар'є

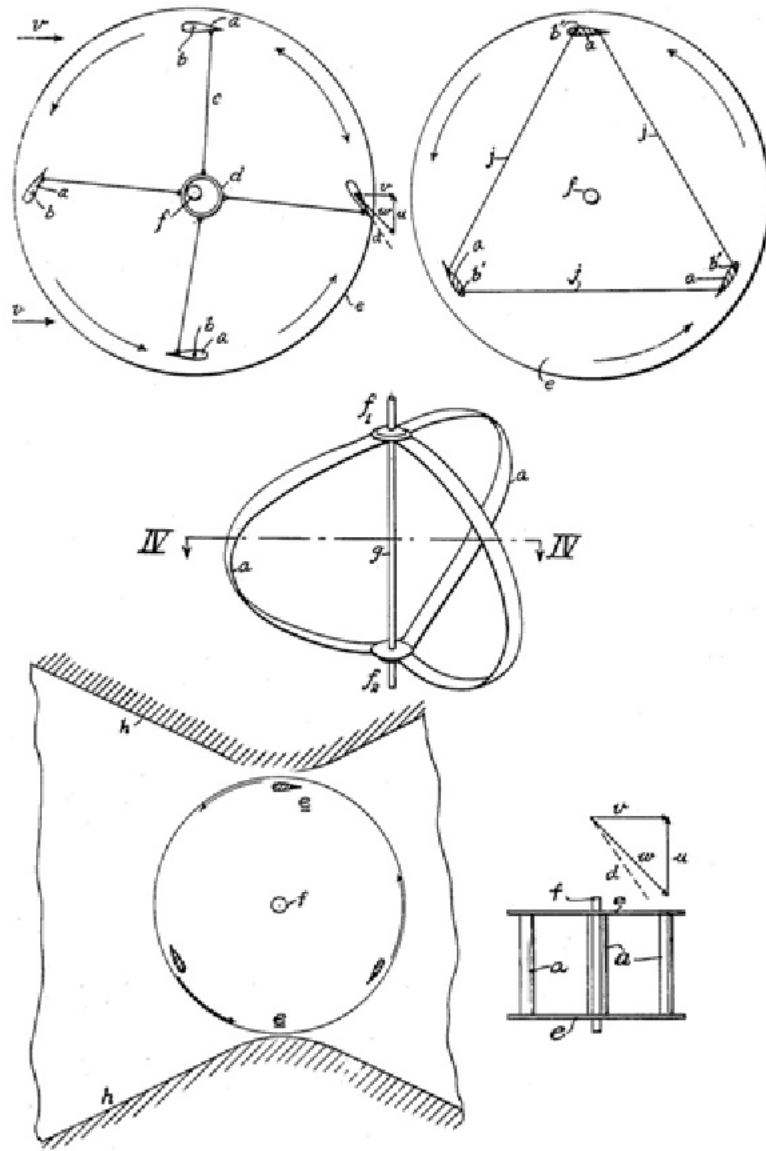
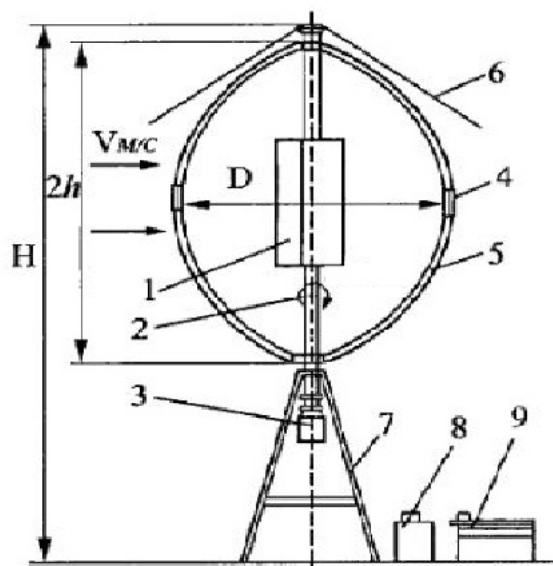


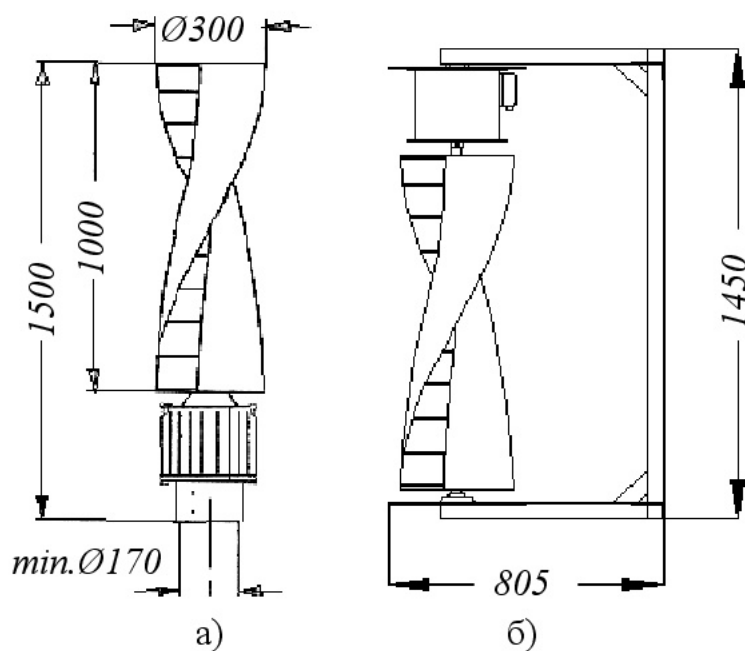
Рисунок Д4.3 - Патент G.J.M. Darrieus №1835018, 08.12.1931



Рисунок Д4.4 - Н-ротор Дар'є з вертикальними лопатями



1 – стартер (ротор Савоніуса) на валу в центрі; 2 – вал;  
 3 – електрогенератор; 4 – гальмовий пристрій; 5 – робоча лопать;  
 6 – розтяжки; 7 – рама; 8 – перетворювач енергії; 9 – акумулятор  
 Рисунок Д4.5 - Конструктивна схема ВЕУ з вертикальною віссю і  
 комбінованим ВД (а) і його фото (б)



а) установлена на опорі; б) підвішена

Рисунок Д4.6 - ВЕУ марки WS-0,30А фірми Windside зі шнековим ВД  
 в комплекті з генератором (модель 0,30А; робоча поверхня 0,30 м<sup>2</sup>;  
 клас стійкості до вітру: А - 60 м/с)



#### Додаток 4

#### Сталеві магнітопроводи індукційного перетворювача ІПЕВТ



Рисунок Д4.1 – Нерухомі магнітопроводи індукційного перетворювача ІПЕВТ



Рисунок Д4.2 – Магнітопроводи ІПЕВТ з дисковим ротором

## Додаток 5

Зведена таблиця вихідних даних, геометричних розмірів  
і розрахункових даних вітроелектрогенератора на неодимових магнітах

Параметри	Тип генератора		
	трифазний	однофазний	
Номінальна потужність $P_2$ , Вт	7142,8	5000	
Частота $f$ , Гц	50	50	
Режим роботи	S1	S1	
З'єднання фаз	Y	Y	
Фазна напруга $U_\phi$ , В	127	220	
Номінальний струм $I_n$ , А	23,4	28,4	
Частота обертання $n$ , об/хв	250	250	
	$D_{n1}$ , м	0,52	0,52
	$D_1$ , м	0,45	0,45
	$D_{n2}$ , м	0,4488	0,4488
	$D_{e2}$ , м	0,373	0,373
	$P_3$ , м	0,3	0,3
	$\delta$ , м	$0,6 \times 10^3$	$0,6 \times 10^3$
	$l_i$ , м	0,08	0,08
Число пазів	90	60	

Параметри	Тип генератора		
	трифазний	однофазний	
Ротор			
Число магнітів	24	24	
	$b_m$ , мм	40	40
	$l_m$ , мм	80	80
	$h_m$ , мм	38	38
	$R_1$ , м	0,2244	0,2244
	$R_2$ , м	0,187	0,187
Марка матеріалу магніту	Nd <sub>13</sub> Fe <sub>77</sub> B <sub>8</sub>		
Маса магнітів $G_{m2}$ , кг	24,5	24,5	
Втрати механічні $P_{мех}$ , Вт	80	80	
Додаткові втрати $P_{доод}$ , Вт	40	40	



Зведена таблиця вихідних даних, геометричних розмірів  
і розрахункових даних вітроелектрогенератора на неодимових магнітах  
(продовження)

Параметри	Тип генератора		
	трифазний	однофазний	
Статор			
	$b_{n1}$ , мм	5,3	5,3
	$h_{n1}$ , мм	18,1	18,1
	$b_{щ1}$ , мм	2,2	2,2
	$b_{щn1}$ , мм	1	1
	$h_{щ1}$ , мм	1,5	1,5
Допуск на розміри пазів у пакеті $\Delta b_{n1}$ , $\Delta h_{n1}$ , мм	0,1	0,1	
Одностороння товщина пазової ізоляції $\Delta i$ , мм	0,2	0,2	
Вид обмотки	петльова	двошарова	
Число пазів на полюс і фазу	1 1/4	2 1/2	
Розмір проводу оголеного/ізолюваного $d / d'$	1,32×3,55/ 1,62×3,85	1,32×3,55/ 1,62×3,85	
Число послідовних провідників у пазу $N_n$	12	12	
Число паралельних провідників у котушці $n_1$	1	1	
Число паралельних гілок $a_1$	1	1	
Коефіцієнт заповнення пазу $K'_m$	0,83	0,83	
Число витків у фазі $W_1$	180	360	
Довжина витків лобової частини $l_{\delta}$ , мм	82,46	82,46	
Середня довжина витка $l_{cp}$ , мм	325	325	
Опір фази при 20°C $r_1$ , Ом	0,23	0,44	
Вага міді $G_{m1}$ , кг	6,12	4,1	
Індуктивний опір розсіювання $x_{01}$ , Ом	0,261	1,044	
Синхронний індуктивний опір повздовжньої вісі $x_d$ , Ом	0,313	1,0967	
Синхронний індуктивний опір поперечної вісі $x_q$ , Ом	0,3124	1,0964	
Втрати у сталі осердя статора $P_{cm}$ , Вт	263,5	263,5	

Додаток 6  
Присадибна ВЕУ [84]



- діаметр ВК - 8 м; кількість лопатей - 3;
- висота башти - 13 м;
- потужність розрахункова – 5... 7,5 кВт;
- оптимальна частота обертання ВК - 76 об/хв.;  $n_d = 32$  м/с.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Алфёров Ж. И. Тенденции и перспективы развития солнечной фото-энергетики / Ж. И. Алфёров, В. М. Андреев, В. Д. Румянцев // Физика и техника полупроводников. – 2004. - Т. 38. - Вып. 8. - С. 937-948.
2. Борисов П. А. Расчет и моделирование выпрямителей / П. А. Борисов, В. С. Томасов. – СПб: СПб ГУ ИТМО, 2009. - 169 с.
3. Ботиевская\_ВЭС [Электронный ресурс].- Режим доступа: <https://www.spp-dtek.com.ua>.
4. Быков А. В. Программа перехода на озонобезопасные хладагенты / А. В. Быков, И. М. Калнинь, В. И. Сапронов // Холодильная техника. - 1991. - №10. - С. 2.
5. Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и гидкостей / Н. Б. Варгафтик. - изд 2-е доп. и перераб. - М.: Наука, 1972. - С. 407-415.
6. Верещагін Д. В. Розробка присадибної СЕС з системою автоматичного стеження фотопанелі за Сонцем / Д. В. Верещагін, В. Я. Жарков // Практичне природне землеробство: якість продукції, ефективність, перспективи: матер. Міжнародного семінару. – Мелітополь: Люкс. - 2013. - С. 262-265.
7. Верещагин Д. В. Система автоматического поворота панелей бытовой ФЭС за солнцем / Д. В. Верещагин, М. А. Пешков, В. Я. Жарков // Проблемы и перспективы инновационного развития животноводства: матер. Международной науч.-произв. конференции, (г. Белгород, 15–16 мая 2013 г.) / БелГСХА. – Белгород. - 2013. - С. 144.
8. Відновлювана енергетика - сучасний стан [Електронний ресурс].- Режим доступу: <http://saee.gov.ua/uk/activity/vidnovlyuvana-enerhetyka/suchasny-stand>.
9. Впровадження сонячних електростанцій в Україні [Електронний ресурс].- Режим доступу: <http://rencentre.com/obzor-rinka/solar-energy>.

10. Галько С. В. Приусадебная солнечная электростанция с охлаждаемыми фотоэлектрическими модулями / С. В. Галько, А. В. Жарков, А. М. Королев // Сб. науч. тр. СтГАУ.- Ставрополь: АГРУС. - 2015. - С. 18-24.

11. Гольдфарб Я. Л. Кристаллогидраты: сб. задач и упражнений по химии / Я. Л. Гольдфарб, Ю. В. Ходаков, Ю. Б. Додонов. - 3-е изд. - М.: Просвещение. - 1984. - С. 23-24.

12. Гребеников В. В. Електрогенератори з постійними магнітами для вітроустановок та мікроГЕС / В. В. Гребеников // Гідроенергетика України. - 2011. - № 1. - С. 43-48.

13. Довгалюк О. М. Оцінка ефективності використання відновлюваних джерел енергії в об'єднаній енергетичній системі України / О. М. Довгалюк, О. П. Лазуренко, Ш. Н. Саїдов, І. С. Яковенко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 196 "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України". – Харків: ХНТУСГ. - 2018. - С. 45-50.

14. Ефимов В. П. Фотопреобразователи энергии солнечного излучения нового поколения / В. П. Ефимов // Физика и техника полупроводников. - 2010. -Т. 8. - № 2. - С. 100-115.

15. Жарков А. В. Автономна вітротеплонасосна установка для приватного домогосподарства / А. В. Жарков // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 175 "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України". - Харків: ХНТУСГ. - 2016. – С. 25-26.

16. Жарков А. В. Когенераційні технології використання ВДЕ в АПК / А. В. Жарков, В. Я. Жарков. // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. - Мелітополь: ТДАТУ. - 2017. - Вип.7. - Т.1. - С. 109-117.

17. Жарков А. В. Когенерационный ветропарк для крестьянского хозяйства / А. В. Жарков // Вестник аграрной науки Дона. – 2017. – № 4(40). – С. 52-60.

18. Жарков А. В. Когенераційний вітропарк для приватного теплично-парникового комплексу / А. В. Жарков, В. Я. Жарков // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 186 “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. – Харків: ХНТУСГ. - 2017. - С. 16-17.

19. Жарков А. В. Кореляційний аналіз ДГН приватних дахових СЕС та переробних підприємств міста щодо їх інтеграції в локальну електромережу / А. В. Жарков // Розвиток науки в ХХІ столітті: зб. статей. - Харків: Знання. - 2018. 1ч. – С. 44-58.

20. Жарков А. В. Можливості виконання енергоекономічних пристроїв на базі аналога лямбда-діода для АПК / А. В. Жарков, І. О. Попова // Вісник Сумського національного аграрного університету: науковий журнал. Серія “Механізація та автоматизація виробничих процесів”. - 2016. - Вип. 10/1 (29). - С. 163-166.

21. Жарков А. В. Шляхи усунення динамічних навантажень між ротором і статором індукційного перетворювача енергії вітру в теплоту / А. В. Жарков, Г. М. Гончарова // Автоматизація технологічних об’єктів та процесів. - Донецьк: ДонНТУ. - 2005. - С.239-241.

22. Жарков В. Я. Аналіз сонячних колекторів для гарячого водопостачання / В. Я. Жарков/ Зб. Наук. праць I Міжнародної наук-техн. конф. викладачів, аспірантів і студентів “Сучасні проблеми систем електропостачання промислових та побутових об’єктів”.- Донецьк: ДонНТУ. - 2013. - С. 163-165.

23. Жарков В. Я., Жарков А. В Аналіз динамічних навантажень індукційних вітротеплових установок / В. Я. Жарков, А. В. Жарков // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 37 “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. – Харків: ХНТУСГ. – 2005. - Т.2. - С. 79-83.



24. Жарков В. Я. Применение теплонасосной технологии для повышения эффективности использования энергии ветра / В. Я. Жарков // Вестник аграрной науки Дона. – 2012. - Вып.3. – С. 18-25.

25. Жарков В. Я. Присадибна сонячна електростанція з фотоелектричними модулями циліндричної форми / В. Я. Жарков, С. В. Галько, А. В. Жарков // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 165 “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. - Харків: ХНТУСГ. - 2015. - С. 25-26.

26. Жарков В. Я. Проблема інтегрування приватних сонячних електростанцій в розподільні електричні мережі / В. Я. Жарков, А. В. Жарков // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 187 “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. - Харків: ХНТУСГ. - 2017. - С. 44-45.

27. Жарков В. Я. Развитие гелиоэнергетики в мире и в Украине / В. Я. Жарков // Энергосберегающие технологии. Проблемы их эффективного использования: сб. науч. тр. – Волгоград: ФГБОУ ВПО Волгоградский ГАУ. - 2014. - С. 81-89.

28. Жарков В. Я. Совершенствование фотомодулей приусадебных солнечных электростанций / В. Я. Жарков // Вестник аграрной науки Дона. – 2015. - Вып. 1. – С. 59-69.

29. Жарков В. Я. Сонячний модуль для присадибної СЕС / В. Я. Жарков // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 154 “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. – Харків: ХНТУСГ. - 2014. - С. 26-27.

30. Жарков В. Я. Стан розвитку світової геліоенергетики і в Україні [Електронний ресурс] / В. Я. Жарков, С. В. Галько, А. В. Жарков. - 2015. – 16 с. - Режим доступу: [http:// www.ndipvt.org.ua](http://www.ndipvt.org.ua).

31. Жарков В. Я. Теплові насоси – шлях до підвищення ефективності віротеплових установок / В. Я. Жарков // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. - Мелітополь: ТДАТУ. - 2011. - Вип.11. - Т.4. - С. 283-291.
32. Жуковский Н. Е. Ветряная мельница типа НЕЖ: полное собрание сочинений. - Т. VI / Н. Е. Жуковский. - М.-Л.: Главная редакция авиационной литературы, 1937. - С. 405-420.
33. Закон України “Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання скидного енергопотенціалу” / Відомості Верховної Ради України. – 2005. - №20. - ст. 278 (із змінами від 07.07.2011р.).
34. Зарядка аккумуляторов с помощью солнечных батарей / И. Н. Григоров. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.membrana.ru/particle/13126>.
35. Захарченко В. І. Інноваційний менеджмент. Теорія і практика в умовах трансформації економіки / В. І. Захарченко, Н. М. Корсикова, М. М. Меркулов. – Видавництво “Центр навчальної літератури”. – 2012. – 448 с.
36. Зінченко А., Михайленко О. «Зелена» революція в Україні: для усіх чи для обраних // газета «Економічна правда» №17 (30660) 16-19 січня 2018 р. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.epravda.com.ua/publications/2018/02/16/634141/>
37. Коган Б. С. Теплоаккумулирующий материал на основе сульфата натрия / Б. С Коган. К. В. Ткачев, В. М. Шамриков // АВОК. – 2001. – № 3. – С. 14-18.
38. Кокорин А. О. Киотский протокол: еще один шаг вперед // Энергосбережение. - 2007. - №3. - С.72-74.
39. Корчемний М., Федорейко В., Щербань В. Енергозбереження в агропромисловому комплексі. –Тернопіль: Підручники і посібники, 2001. - 984 с.
40. Левенберг В. Д. Аккумуляирование тепла / В. Д. Левенберг, М. Р. Ткач, В. А. Гольстрем. – К.: Техника, 1991. – 112 с.

41. Марманов. П. О. Сонячні колектори: Принцип роботи, порівняльний аналіз, технічні рішення / П. О. Марманов, В. Я. Жарков, М. О Дмитренко // Практичне природне землеробство: якість продукції, ефективність, перспективи: матер. Міжнародного семінару. – Мелітополь: Люкс, 2013. – С. 290-296.

42. Математическая обработка экспериментальных данных с использованием полинома Лагранжа / В. С. Еремеев, В. Э. Карпов, А. В. Жарков и др. // Университетская наука. "Современная наука. Теоретический и практический взгляд" // Журнал по матер. XXIII-й Международной науч.-практ. конференции. - Минеральные Воды: СКФ БГТУ им. В. Г.Шухова. - 2016. - №1. - С. 156-159.

43. Методы государственного стимулирования развития альтернативной энергетики. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://aenergy.ru/1552>.

44. Микитюк П. П. Інноваційний менеджмент: навч. посібник / П. П. Микитюк. – К.: Центр учбової літератури, 2007. – 400 с.

45. Новітні принципи теплонасосних та когенераційних технологій використання викидного тепла: монографія / М. М. Табаченко [та ін.]. – Д.: Національний гірничий університет, 2012. – 247 с.

46. Неодимовые магниты. Характеристики. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://tdm96.ru/?p=558>.

47. Пат. 6070 Україна, МПК F03D7/06. Індукційна вітротеплогенераторна установка / В. Я. Жарков; заявник і патентовласник Таврійська державна агротехнічна академія. – №20040806765; заявл. 12.08.04; опубл. 15.04.05, Бюл. №4.

48. Пат. 22765 Україна, МПК (2006) F03D7/06. Малоінерційний індукційний перетворювач механічної енергії вітру в теплову / В. Я. Жарков, А.В.Жарков, О.С. Йолкін, Є.П. Слєпкін; заявник і патентовласник Таврійська державна агротехнічна академія. – №200613584; заявл. 21.12.06; опубл. 25.04.07, Бюл. №5.

49. Пат. 64568А Україна, МПК<sup>7</sup> F03D7/06. Вітровий теплогенератор з самозбудженням / В. Я. Жарков, А. В. Жарков, О. О. Тищенко; заявник і патентовласник Таврійська державна агротехнічна академія. – №200312687; - заявл. 26.06.03; опубл. 16.02.04, Бюл. №2.

50. Пат. 64691 Україна, МПК (2011.01) F03D7/06, F24J3/00, F25B29/00. Вітропеліонасосна установка / В. Я. Жарков; заявник і патентовласник Таврійський державний агротехнологічний університет. – №201106205; - заявл. 8.05.11; опубл. 10.11.11, Бюл. №21.

51. Пат. 70630 Україна, МПК (2012.01) F25B30/00. Спосіб роботи теплового насоса / В. Я. Жарков; заявник і патентовласник Таврійський державний агротехнологічний університет. – №201112175; заявл. 18.10.11; опубл. 25.06.12, Бюл. №12.

52. Пат. 73286 Україна, МПК F03D9/00, F03D1/06, H05B6/06. Присадібна когенераційна вітроенергоустановка / В. Я. Жарков, В. Ю. Лучанінов, Д. М. Просвірін; заявник і патентовласник Таврійський державний агротехнологічний університет. – №201113903; заявл. 03.05.12; опубл. 25.09.12, Бюл. №18.

53. Пат. 95186 Україна, МПК (2013.01) F03D3/06, F03D9/00. Присадібний когенераційний вітропарк / В. Я. Жарков, В. С. Єремєєв, С. С. Червонченко, А. А. Риженко; заявник і патентовласник Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького, Таврійський державний агротехнологічний університет. – № 201407655; заявл. 7.07.14; опубл. 10.12.14, Бюл. №23.

54. Пат. 97080 Україна, МПК H01L31/00. Сонячний фотоелектричний модуль циліндричної форми // В. Я. Жарков, В. Т. Діордієв, О. С. Саніна, О. В. Піхтарь; заявник і патентовласник Таврійський державний агротехнологічний університет. – №.201411026; заявл. 09.10.14; опубл. 25.02.15, Бюл. №4.

55. Пат. 97774 Україна, МПК (2016.01) F25B30/06, F28D15/02, F24J3/06, F24J3/08. Тепловий насос “Цезар” / В. Я. Жарков; заявник і патентовласник Таврійський державний агротехнологічний університет. – №201409010; заявл. 11.08.14; опубл. 10.04.15, Бюл. №7.

56. Пат. 97782 Україна, МПК F24J3/06, F28D15/04. Сонячний когенераційний модуль циліндричної форми // В. Я. Жарков; заявник і патентовласник Таврійський державний агротехнологічний університет. – №201409416; заявл. 26.08.14; опубл. 10.04.15, Бюл. №7.

57. Пат. 100635 Україна, МПК F24J3/00, F28D15/02. Сонячний когенераційний модуль з термосифоном // В. Я. Жарков; заявник і патентовласник Таврійський державний агротехнологічний університет. – №201410473; заявл. 25.09.14; опубл. 10.08.15, Бюл. №15.

58. Пат. 102364 Україна, МПК F24J2/00, F24J2/52, F24J2/54. Однопровідна механічна система з математичною функцією орієнтації панелей сонячних батарей / О. О. Репкін, Л. П. Мекердичан; заявник і патентовласник Товариство з обмеженою відповідальністю “Токмак солар енерджі”. – №.201212660; заявл. 05.11.12; опубл. 25.06.13, Бюл. №12.

59. Пат. 103043 Україна, МПК (2015.01) H01L31/00, H02J7/35 (2006.01). Присадибна сонячна електростанція з фотоелектричними модулями циліндричної форми / В. Я. Жарков, А. В. Жарков, І. А. Орловський, О. В. Піхтарь, С. В. Галько; заявник і патентовласник Жарков В. Я. – №201506713; заявл. 07.07.15; публ. 25.11.15, Бюл. №22.

60. Пат. 104467 Україна, МПК F03D 7/06 (2006.01), F03D 1/06 (2006.01). Безредукторний малопотужний вітроелектрогенератор / В. Я. Жарков, В. А. Чорненький, Б. С. Новах, А. В. Жарков; заявник і патентовласник Жарков В. А., Чорненький В. А. – №201400015; заявл. 08.01.14; опубл. 10.02.16, Бюл. №3.

61. Пат. 107333 Україна, МПК (2015.01) F24J3/02, H01L31/00, B60L8/00. Автономна сонячна когенераційна енергоустановка для рухомого об'єкта / А. В. Жарков; заявник і патентовласник Жарков А. В. - №201600203; заявл. 11.01.16; опубл. 25.05.16, Бюл. №10.

62. Пат. 107616 Україна. МПК (2016.01) F25B29/00, F24J3/00, F03D1/00. Присадибна вітропеласосна установка / А. В. Жарков; заявник і патентовласник Жарков А. В. - №201600650, заявл. 27.01.16; опубл. 10.06.16, Бюл. №11.

63. Пат. 107991 Україна, МПК (2015.01) H01L31/00, H02J7/35, F24J2/00. Автономна когенераційна енергоустановка з гібридними фотоелектричними модулями циліндричної форми / В. Я. Жарков, А. В. Жарков. І. А. Орловський; заявник і патентовласник Жарков В. Я., Жарков А. В. - №201600201; заявл. 11.01.16; опубл. 24.06.16, Бюл. №12.



64. Пат. 108003 Україна, МПК (2016.01) F25B29/00, B67D1/08. Компресійний тепловий насос для охолодження напоїв / А. В. Жарков, О. Г. Гуменний; заявник і патентовласник Жарков А. В. - №201600328; заявл. 15.01.16; опубл. 24.06.16, Бюл.№ 12.

65. Пат. 116122 Україна, МПК H02K21/26, F03D7/06, F03D1/06. Малопотужний вітроелектрогенератор зі здвоєним дводисковим ротором спрощеної конструкції / А. В. Жарков, В. Я. Жарков, Б. С. Новах, С. В. Галько, А. В. Чепіжний; заявник і патентовласник Жарков А. В., Жарков В. Я. - №201611504; заявл. 14.11.16; опубл. 25.05.17, Бюл. №10.

66. Пат. 116482 Україна, МПК H02K21/26, F03D7/06, F03D1/06. Малопотужний вітроелектрогенератор з дводисковим ротором на постійних магнітах / А. В. Жарков, В. С. Ломиш, Б. С. Новах [та ін.]; заявник і патентовласник Жарков А. В. - №201611807; заявл. 22.11.16; опубл. 25.05.17, Бюл. №10.

67. Пат. 116497 Україна, МПК H02K21/26, F03D7/06, F03D1/06. Вітроенергоустановка зі зміною частоти обертання перекомутацією статорної обмотки / А. В. Жарков, В. Я. Жарков, Б. С. Новах; заявник і патентовласник Жарков А. В., Жарков В. Я. - №201612024; заявл. 28.11.16; опубл. 25.05.17, Бюл. №10.

68. Пат. 116510 Україна, МПК H02K21/26, H02K16/02, F03D7/06, F03D1/06. Двостаторний вітроелектрогенератор з дисковим зіставним ротором і постійними магнітами збудження / А. В. Жарков, В. Я. Жарков, Б. С. Новах; заявник і патентовласник Жарков А. В., Жарков В. Я. - №201612174; заявл. 01.12.16; опубл. 25.05.17, Бюл. №10.

69. Пат. 116576 Україна, МПК H02K16/00, H02K16/04, H02K21/00, H02K21/44. Електричний генератор плоскої конструкції / С. В. Галько, Б. С. Новах, А. В. Жарков; заявник і патентовласник Таврійський державний агротехнологічний університет. – №201612745; заявл. 14.12.16; опубл. 25.05.17, Бюл. №10.

70. Пат. 116602 Україна, МПК F03D3/06 (2006.01), F03D9/00, F03D 7/06 (2006.01), F03D1/06 (2006.01), H02K16/00, H02K21/26 (2006.01). Когенерацій-

ний вітропарк з автономним джерелом збудження індукційних перетворювачів / А. В. Жарков, Б. С. Новах, О. В. Шалигіна, С. М. Прийма, І. А. Горбунов; заявник і патентовласник Жарков А. В., Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького. - №201612945; заявл. 19.12.16; опубл. 25.05.17, Бюл. №10.

71. Пат. 118880 Україна, МПК. F03D3/06 (2006.01), F03D7/06 (2006.01), F03D9/00, H05B6/06 (2006.01). Проточний коаксіальний вітроелектромеханічний нагрівач / В. Я. Жарков, А. В. Вужицький, Є. П. Слєпкін, А. В. Жарков, О. М. Москальов, В. І. Ладика; заявник і патентовласник Жарков А. В. - №201703264; заявл. 05.04.17; опубл. 28.08.17, Бюл. №16.

72. Пат. 123117 Україна, МПК F03D3/06 (2006.01), F03D9/00, F03D7/06 (2006.01), F03D1/06 (2006.01), H02K16/00, H02K21/26 (2006.01). Когенераційний вітропарк підвищеної продуктивності з індукційними перетворювачами і спільним вітроелектрогенератором / А. В. Жарков, В. Я. Жарков, С. Ю. Шевченко, О. П. Лазуренко, Г. І. Черкашина, В. С. Єремєєв; заявник і патентовласник Жарков А. В., Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького. - №201708721; заявл. 29.08.17; опубл. 12.02.18, Бюл. №3.

73. Пат. 126818 Україна, МПК C09K5/00. Теплоакумуючий матеріал фазового переходу для джерела низькопотенційної теплоти приватного домогосподарства / В. Я. Жарков, А. В. Жарков, О. П. Лазуренко; заявник та патентовласник Жарков В. Я., Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького. - №201800222; заявл. 29.03.18; опубл. 10.07.18, Бюл. №13.

74. Пат. 127499 Україна, МПК C05K5/00, C05K5/06. Теплоакумуючий матеріал на базі мірабіліту / В. Я. Жарков, А. В. Жарков, О. П. Лазуренко; заявник та патентовласник Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького, Жарков В. Я. – №201800558; заявл. 18.04.18; опубл. 10.08.18, Бюл. №15.

75. Пат. України по заявці №201808344, МПК C09K5/00. Спосіб отри-

мання теплоакумуючого матеріалу з фазовим переходом / А. В. Жарков, О. П. Лазуренко, С. Ю. Шевченко, Ю. І. Тугай, В. О. Хромишев, С. В. Галько; заявник та патентовласник Жарков А. В., Хромишев В. О.; заявл. 30.07.18. - Рішення про видачу деклараційного патенту на корисну модель №29975/ЗУ/18 від 27.11.18.

76. Пат. України по заявці №201808400, МПК F02G5/00, F24S20/00, H01L31/00, H01J7/00. Автономна сонячна тригенераційна енергоустановка / А. В. Жарков, Ю. І. Тугай, В. Я. Жарков, С. В. Галько, Б. С. Новах, В. О. Хромишев; заявник та патентовласник Жарков А. В., Хромишев В. О.; заявл. 1.08.18; . - Рішення про видачу деклараційного патенту на корисну модель №29406/ЗУ/18 від 19.11.18.

77. Пат. 131432 Україна, МПК H01L31/00, B60L8/00, F28D15/00. Автономна тригенераційна енергоустановка рухомого об'єкта / А. В. Жарков, О. П. Лазуренко, С. Ю. Шевченко, В. Я. Жарков, С. В. Галько, В. О. Хромишев; заявник та патентовласник Жарков А. В., Хромишев В. О. - №201808406; заявл. 1.08.18; опубл. 10.01.19, Бюл. №1.

78. Пат. 385613 SE, МКИ F03D9/02. Установа для отримання гарячої води; опубл. 12.07.76.

79. Пат. 4421967 USA. Вітротеплова установка. Windmill driven eddy current heater. Birgel Warren J., Hajec Chester; опубл. 20.12.83.

80. Пат. 4664596 USA, МКИ F03D 7/06. Ветродвижитель с вертикальной осью вращения; опубл. 12.05.87.

81. Пат. 201403035Y CN, МПК H02K16/02, H02K15/02, H02K3/28, H02K1/22. Вітроелектрогенератор; опубл. 10.02.10.

82. Переосмислення ступеня відповідальності перед майбутнім: Національна доповідь з питань реалізації державної політики у сфері енергоефективності за 2009 рік / М. Пашкевич, В. Григоровський, В. Гавриленко [та ін.]. – К.: НАЕР-НАУ, 2010. – 254 с.

83. Пешков М. О. Обґрунтування типу фотоперетворювачів для побутової фотоелектростанції / М. О. Пешков, В. Я. Жарков // Сучасні проблеми сис-

тем електропостачання промислових та побутових об'єктів: зб. наук. праць I Міжнародної наук.-техн. конференції викладачів, аспірантів і студентів. - Донецьк: ДонНТУ, 2013. – С. 151-153.

84. Правила ринку: постанова НКРЕКП від 14.03.2018 № 307. - Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0307874-18>.

85. Прогноз мирового рынка фотовольтаики на 2013-2017 гг. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: Global Market Outlook for Photovoltaics 2013-2017.

86. Про перспективу використання приватних сонячних електростанцій для зарядки екомобілів в Україні / С. В. Галько, С. М. Довгальок, А. В. Жарков, В. Я. Жарков // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: матер. VI Міжнародної наук.-техн. Інтернет-конференції, (м. Харків, 19-20 листопада 2018 р.) / ДВНЗ “Харківський національний автомобільно-дорожній університет”. – Харків. – 2018. - С. 54-56.

87. Расчет и проектирование ветроэлектрических установок с горизонтально-осевой ветротурбиной и синхронным генератором на постоянных магнитах / Яковлев А. И. [и др.]. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2003. – 125 с.

88. Рей Д. Тепловые насосы / Д. Рей, Д. Макмайкл; пер. с англ. - М.: Энергоиздат, 1982. – 282 с.

89. Розвиток відновлюваних джерел енергії в Україні. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://energymagazine.com.ua/wp-content/uploads/2017/03/Rozvitok-VDE-v-Ukraini.pdf>.

90. Рубан-Максимець О. О. Особливості розрахунку показників енергетичної ефективності на базі статистичної звітності України / О. О. Рубан-Максимець // Проблеми загальної енергетики. – 2009. – № 20. – С. 21-26.

91. Сліпченко М. І. Пристрій контролю температурних характеристик сонячного елемента / М. І. Сліпченко, В. О. Письменецький, М. В. Герасименко, О. Д. Шереметьєв // Журнал нано- та електронної фізики. - 2013. - Т. 5. - № 3.

92. Сонячна енергетика: теорія та практика: монографія / Й. С. Мисак, О. Т. Возняк, О. С. Дацько, С. П. Шаповал. – Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2014. – 340 с.
93. Сосуд Дьюара [Электронный ресурс].- Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki>.
94. США: Возобновляемая энергетика - путь к энергетической безопасности // Электронный журнал энергетической компании «Экологические системы». - 2007. - №5.
95. Твайделл Дж. Возобновляемые источники энергии / Дж. Твайделл, А. Уэйр; пер. с англ. - М.: Энергоатомиздат, 1990.- 206 с.
96. Цилиндрические солнечные батареи претендуют на высокую эффективность [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.membrana.ru/particle/13126>.
97. Червонченко С. С. Присадибний когенераційний вітропарк для селянського господарства / С. С. Червонченко, В. Я. Жарков // Проблеми енергоресурсозбереження в промисловому регіоні. Наука і практика: зб. тез доповідей Всеукр. наук.-практ. конференції молодих учених, спеціалістів, аспірантів. - Маріуполь: ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет». - 2015.- С. 24-25.
98. Черноусенко О.Ю. Проблеми загальної енергетики, 2014. - Вип. 4 (39).
99. Экологобезопасный тепловой насос низкого давления / В. Я. Жарков, Л. Е. Никифорова // Вестник аграрной науки Дона. – 2013. - Вып.3. – С. 57-64.
100. Энергетика Украины [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>
101. GWEC Global Wind Report 2016 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.gwec.net/wp-content/uploads>.
102. Haslach H. W. A wind turbine driven heat conversion unit for maximal power extraction from the wind. [Оптимизация ветросиловой установки] “3rd ASME Wind Energy Symp.: 7<sup>th</sup> Annu. Energy-Sour. Technol. Conf. And exhib., New Orleans, La, Febr. 12-16, 1984” - New York, N.Y.,1984. 111-119 (англ.).

103. Jon Twidell and Tony Weir. Renewable Energy Resources. - London and New York: Taylor & Francis, 2006.- 601 p.

104. Seki K., Shimizu Y. A., Narita S. studi of direct heat exchange system for straight blade nonarticulated vertical axis wind turbine. [ИСПЫТАНИЯ ветросиловой установки для теплиц]. “3rd ASME Wind Energy Symp.: 7<sup>th</sup> Annu. Energy-Sour. Technol. Conf. And exhib., New Orleans, La, Febr. 12-16, 1984” - New York, N.Y.,1984. 93-97 (англ.).

105. Test at very high wind speed of a windmill controlled by a waterbrake. Helgason O., Sigurdsson A. S. “Wind Energy Convers, 1986:Proc. 8th Brit. Wind Energy Assoc. Conf., 19 -21 March, London, 1986, 101-106 (англ.).

106. World Wind Energy Report 2012\_final [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.wwindea.org/wwea-half-year-report-worldwind>.

107. <http://doe.com.ua/energoeffektivnost/>

108. <http://sae.gov.ua/uk>.

109. <http://sae.gov.ua/uk/ae/termo-energy>.

110. <https://ecotechnica.com.ua/stati/1718>.

111. <https://prel.prom.ua/n223975-statistika-privatnih-domogospodarstv.html>.

112. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Фреоны>.



Наукове видання

ГАЛЬКО С. В., ЖАРКОВ В. Я., ЖАРКОВ А. В.

**ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЗАСОБИ ПЕРЕТВОРЕННЯ  
ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ  
ДЛЯ ПРИВАТНИХ ДОМОГОСПОДАРСТВ**

---

Монографія