

Міністерство освіти і науки України  
Криворізький національний університет  
Факультет інформаційних технологій  
Кафедра автоматизації, комп'ютерних наук і технологій

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на здобуття ступеня вищої освіти – бакалавр  
за освітньо-професійною програмою  
«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

зі спеціальності

151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

тема роботи:

***«Автоматизоване керування використанням альтернативної енергії  
побутовими споживачами з розробкою віртуального приладу для обліку  
гарячої води»***

Виконав студент гр. АКІТ-21ск	_____	Новенко Я. В.
Керівник	_____	Маринич І. А.
Нормоконтроль	_____	Маринич І. А.
Завідувач кафедри	_____	Рубан С. А.

Кривий Ріг – 2024

# КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: інформаційних технологій

Кафедра: автоматизації, комп'ютерних наук і технологій

Ступінь вищої освіти: Бакалавр

Спеціальність: 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Зав. кафедрою: к.т.н. Рубан С.А.

« 25 » березня 2024 р.

## ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

студентові групи АКІТ-21ск Новенко Ярославу Віталійовичу

**1. Тема кваліфікаційної роботи:** «Автоматизоване керування використанням альтернативної енергії побутовими споживачами з розробкою віртуального приладу для обліку гарячої води»

затверджено наказом по університету № 232с від 25.03.2024 р.

**2. Термін здачі кваліфікаційної роботи:** 05.06.2024 р.

**3. Склад кваліфікаційної роботи:** Пояснювальна записка обсягом 75с., презентація у Microsoft PowerPoint (11 слайдів) в електронному та друкованому вигляді

**4. Консультанти кваліфікаційної роботи:**

Розділ 1-2

доц. Маринич І. А.

Нормоконтроль

доц. Маринич І. А.

## 5. Календарний план:

№	Етапи роботи	Термін виконання
1	<i>Вступ</i>	<i>10.03.24</i>
2	<i>Розділ 1</i>	<i>25.03.24</i>
3	<i>Розділ 2</i>	<i>25.04.24</i>
4	<i>Висновки</i>	<i>25.05.24</i>
5	<i>Оформлення кваліфікаційної роботи</i>	<i>28.05.24</i>
6	<i>Підготовка презентації та графічного матеріалу</i>	<i>20.05.24</i>
7	<i>Підготовка доповіді до захисту</i>	<i>05.06.24</i>

6. Дата видачі завдання: 29.01.2024р.

Керівник \_\_\_\_\_ / Маринич І. А./

7. Запевнення: Я, Новенко Ярослав Віталійович, запевняю, що ця кваліфікаційна робота виконана самостійно, не містить академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про академічну доброчесність Криворізького національного університету ознайомлений.

Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі умисних порушень робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Студент \_\_\_\_\_ / Новенко Я. В./

## АНОТАЦІЯ

Новенко Я. В. Автоматизоване керування використанням альтернативної енергії побутовими споживачами з розробкою віртуального приладу для обліку гарячої води.

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеню вищої освіти – бакалавр, за спеціальністю 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. – Криворізький національний університет, Кривий Ріг, 2024.

Робота складається зі вступу, двох розділів, висновків, списку літератури з 22 позицій. Загальний обсяг роботи становить 82 сторінках, з яких основний зміст роботи викладено на 72 сторінках, робота включає 6 таблиць і 31 рисунок.

Метою роботи є створення системи автоматичного керування, яка використовуватиме альтернативні джерела енергії та включатиме розробку віртуального приладу для обліку споживання гарячої води.

У першому розділі розглянуто системи обліку споживання гарячої води та прилади, які застосовують альтернативну енергію для нагрівання води, вивчено принципи їх роботи та вплив на економію природних ресурсів і фінансів. Також було створено математичну модель регульованого об'єкта та підтверджено її адекватність на основі аналізу перехідних процесів.

У другому розділі виконано обґрунтування вибору програмного забезпечення було здійснено, а також розглянуто теоретичні аспекти створення пристроїв для обліку гарячої води, з прикладами їх архітектурних рішень. Описано алгоритми роботи приладів, які використовують альтернативні джерела енергії для забезпечення функціоналу обліку гарячої води.

АВТОМАТИЧНЕ КЕРУВАННЯ, АЛЬТЕРНАТИВНА ЕНЕРГІЯ, ОБЛІК ВОДИ, ВІТРОГЕНЕРАТОР, ВОДОПОСТАЧАННЯ, СОНЯЧНИЙ КОЛЕКТОР

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.00.ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>АНОТАЦІЯ</i>		
<i>Розроб.</i>		<i>Новенко Я.В.</i>					
<i>Перевір.</i>		<i>Маринич І.А.</i>					
<i>Н. Контр.</i>		<i>Маринич І.А.</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Тронь В.В.</i>					
					<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
						3	1
					<i>КНУ АКІТ-21ск</i>		

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРИСТРОЇВ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬ АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ.....	8
1.1 Сонячні колектори.....	<b>Ошибка!</b>
<b>Закладка не определена.</b>	
1.2 Вітрогенератори.....	<b>Ошиб ка! Закладка не определена.</b>
1.3 Аналіз пристроїв обліку гарячої води.....	21
1.3.1 Типи лічильників води.....	21
1.3.2 Недоліки приладів обліку гарячої води.....	28
Висновки до розділу.....	31
2 МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ТА МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ СИСТЕМИ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГОУСТАНОВКИ .....	33
2.1 Методика розрахунку обладнання сонячної енергоустановки для гарячого водопостачання .....	33
2.1.1 Розрахунок ємності водонагрівача.....	34
2.1.2 Розрахунок об'єму мембранного розширювального баку .....	35
2.1.3 Розрахунок МРБ по контуру нагріваємої води.....	36
2.2 Динаміка споживання гарячої води при проектуванні СЕУ.....	37
2.3 Розрахунок та моделювання системи гарячого альтернативного водопостачання.....	40

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.00.ПЗ</i>			
					<i>ЗМІСТ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Новенко Я.В.</i>					4	2
<i>Перевір.</i>		<i>Маринич І.А.</i>			<i>КНУ АКІТ-21ск</i>			
<i>Н. Контр.</i>		<i>Маринич І.А.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Тронь В.В.</i>						

2.4	Моделювання системи керування ВЕУ.....	50
2.5	Вибір необхідного обладнання для реалізації системи.....	62
2.5.1	Вибір лічильнику гарячої води.....	62

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.00.ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Новенко Я.В.</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Маринич І.А.</i>				4	2
<i>Н. Контр.</i>		<i>Маринич І.А.</i>			<i>КНУ АКІТ-21ск</i>		
<i>Затверд.</i>		<i>Тронь В.В.</i>					

*ЗМІСТ*

2.5.2 Вибір сонячного колектору.....	64
2.5.3 Вибір ВЕУ.....	66
2.6 Віртуальна модель приладу обліку гарячої води з використанням альтернативної енергії.....	68
Висновки до розділу.....	75
ВИСНОВКИ.....	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУР.....	79

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.00.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		6

## ВСТУП

В сучасному світі питання енергоефективності та зменшення викидів парникових газів стає все більш актуальним. Використання альтернативних джерел енергії, таких як сонячна, вітрова та геотермальна, набирає обертів. Проте, щоб ефективно інтегрувати ці джерела в побутове середовище, необхідно розробити системи автоматизованого керування, які забезпечать оптимальне використання наявної енергії.

Питання збереження водних ресурсів зараз актуальне не лише для кожної сім'ї, а й на рівні країни та світової спільноти. Використання альтернативної енергії для підігріву води сприяє збереженню природних ресурсів і зменшує забруднення довкілля.

Для нагріву води використовують альтернативні джерела енергії, що дозволяє протягом року заощадити до 60-70% енергії, необхідної для гарячого водопостачання, і до 30-40% енергії, яка йде на опалення і забезпечення гарячої води в системах центрального опалення.

Контроль споживання води має вирішальне значення для ефективного використання водних ресурсів, як у житлових будинках, так і на підприємствах. Для моніторингу обсягів використаної води застосовуються спеціальні прилади-водоміри, які вимірюють кількість спожитої води.

У цьому контексті з'являється потреба у розробці пристрою для нагріву води, що використовує альтернативні джерела енергії, та передбачає можливість обліку водоспоживання. Такий підхід стає все більш актуальним, оскільки він дозволяє ефективно контролювати і зберігати витрати води.

Дана робота присвячена розробці системи автоматизованого керування використанням альтернативної енергії побутовими споживачами. Особлива увага приділена створенню віртуального приладу для обліку гарячої води, що

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.00.ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Новенко Я.В.</i>			<i>ВСТУП</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Маринич І.А.</i>					6	2
<i>Н. Контр.</i>		<i>Маринич І.А.</i>			<i>КНУ АКІТ-21ск</i>			
<i>Затверд.</i>		<i>Тронь В.В.</i>						



дозволяє не лише контролювати споживання ресурсів, але й оптимізувати використання альтернативних джерел енергії. Віртуальний прилад для обліку гарячої води представляє собою програмне рішення, яке інтегрується з існуючими системами керування енергією та забезпечує точний облік і аналіз споживання води.

Метою цієї роботи є дослідження можливостей і розробка методів автоматизованого керування енергоспоживанням з використанням альтернативних джерел енергії, а також створення ефективних інструментів для моніторингу та управління ресурсами у побутових умовах. Розробка автоматизованої системи управління для побутових споживачів, яка використовує альтернативні джерела енергії, з додатковим створенням віртуального приладу для обліку гарячої води.

Щоб досягти цієї мети, необхідно виконати наступні завдання:

1. Проаналізувати наявні пристрої для обліку гарячої води, які використовують альтернативні джерела енергії.
2. Скласти математичну модель динаміки споживання гарячої води при проектуванні вітряних та сонячних установок.
3. Провести моделювання системи керування вітряно-сонячної установки та оцінити роботу системи альтернативного гарячого водопостачання.
4. Розробити віртуальну модель приладу для обліку гарячої води.

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.00.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		8

РОЗДІЛ 1  
АНАЛІЗ ПРИСТРОЇВ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬ АЛЬТЕРНАТИВНІ  
ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

1.1 Сонячні колектори

Сонячні водонагрівачі вже давно вважаються символом розкоші та сучасного життя не лише в Європі, але й в Америці, Японії та інших розвинених країнах. Останнім часом виробництво сонячних установок для нагрівання води зросло багаторазово по всьому світу. Щорічно вводиться в експлуатацію понад 3 мільйони таких установок, і це не лише в країнах з теплим кліматом. Вакуумні сонячні колектори довели свою ефективність навіть у суворих кліматичних умовах, таких як на Алясці.

Цей стрімкий розвиток сонячних водонагрівачів став можливий завдяки винаходу вакуумних трубок, які здатні ефективно працювати при низьких температурах, досягаючи  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  або навіть  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . На зростання популярності цього типу енергії також вплинули підвищення цін на традиційні енергоносії та зниження вартості обладнання.

Використання сонячних водонагрівачів допомагає забезпечити автономне гаряче водопостачання, часткове або повне опалення, а також обігрів теплиць. Сонячні нагрівачі можуть використовуватися як у приватних будинках, так і в готелях, їдальнях чи інших закладах, де необхідне постійне постачання гарячої води.

Завдяки використанню сонячної енергії можна зменшити витрати на нагрівання води на дві третини, а витрати на опалення — до 30% на рік. На етапі будівництва будинку можна одразу запланувати встановлення сонячної системи. Окрім стандартної системи опалення, встановлюють сонячний нагрівач, а на

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.01.ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Новенко Я.В.</i>			<i>РОЗДІЛ 1</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Маринич І. А.</i>					8	25
<i>Н. Контр.</i>		<i>Маринич І.А.</i>			<i>КНУ АКІТ-21ск</i>			
<i>Затверд.</i>		<i>Тронь В.В.</i>						

даху розміщують модульний сонячний колектор. Це дозволяє оптимізувати гаряче водопостачання або зменшити використання традиційного палива для опалення за рахунок сонячної енергії.

Сонячні водонагрівачі діляться на дві основні категорії: пасивні (термосифонні) та активні (спліт-системи).

Пасивні водонагрівачі працюють за принципом природної циркуляції, який базується на різниці густини гарячої та холодної води. Цей тип водонагрівача найкраще підходить для використання при температурах вище 0°C, тобто в період весни, літа та осені. У зимовий сезон воду з системи зливають, а вакуумні трубки демонтують, щоб уникнути пошкоджень через замерзання.

Існують також водонагрівачі проміжного типу, що працюють під тиском. Вони мають ту перевагу, що можуть монтуватися не обов'язково вище точки відбору води, як це потрібно в термосифонних системах. Це робить їх більш гнучкими у плані розташування та встановлення.

На рисунку 1.1 представлено схему роботи сонячної водонагрівальної установки (СВУ).

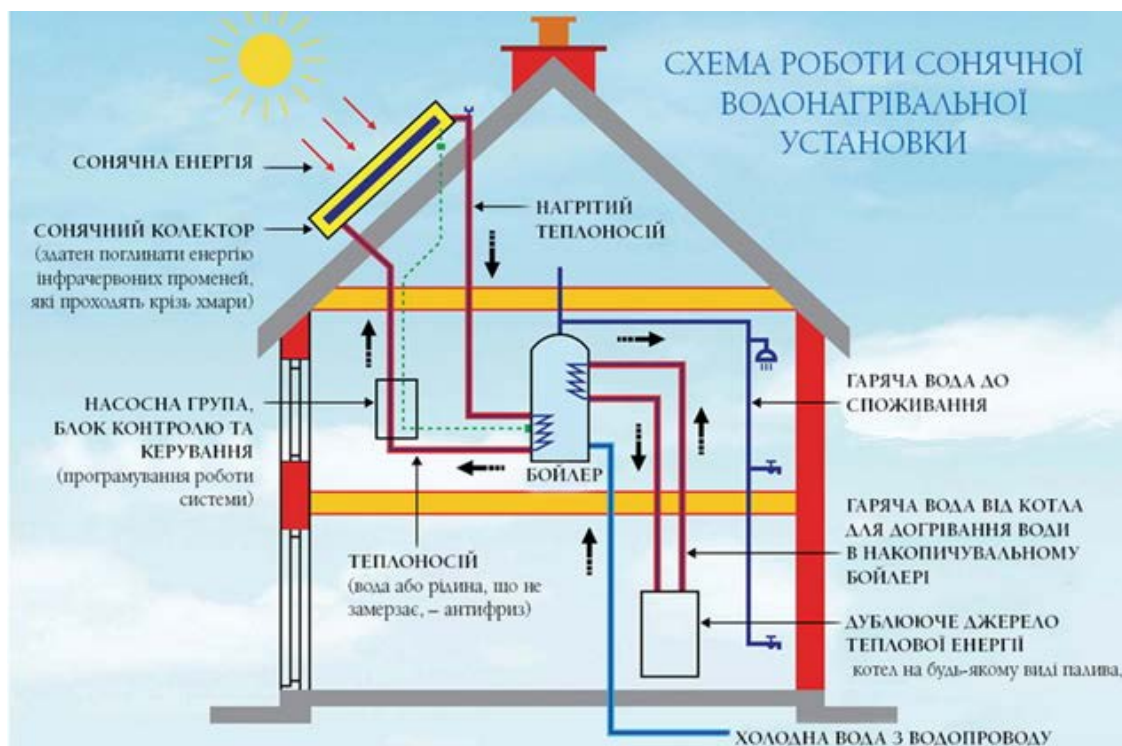


Рисунок 1.1 - Схема роботи сонячної водонагрівальної установки.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Активні водонагрівачі використовують електронні блоки керування, набір клапанів і циркуляційні насоси для забезпечення циркуляції теплоносія через колектор. Вони зазвичай коштують дорожче за пасивні системи, але відрізняються вищою ефективністю. Характерна особливість спліт-систем полягає в тому, що їх можна експлуатувати при дуже низьких температурах, аж до  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Це досягається використанням антифризу, який не замерзає на морозі, забезпечуючи безперервну роботу системи навіть у суворих зимових умовах.

В залежності від пори року і рівня забруднення повітря, енергія, що падає на земну поверхню опівдні, коливається в межах від 800 до 1000 Вт/м<sup>2</sup>. Загальне сонячне випромінювання включає в себе прямі і дифузійні компоненти. Влітку близько 50% від загального випромінювання становить дифузійне, тоді як взимку ця частка значно більша через більш високе розсіювання світла у атмосфері.

Чим більша частка дифузійного випромінювання, тим менше загальне енергетичне значення випромінювання. Співвідношення між прямим випромінюванням та дифузійним і загальне випромінювання залежать від пори року, погодних умов та широти. Тільки середні значення, отримані в результаті довготривалих вимірювань, можуть бути надійними.

Наприклад, середня тривалість сонячного освітлення на широті Одеси становить 2000 годин на рік. При цьому, на літню половину року припадає 3/4 всього сонячного випромінювання. У той же час, у період з найбільшими потребами в енергії (листопад-лютий) використовується лише 1/8 частина річного обсягу сонячної енергії.

Існують два основні типи сонячних колекторів (СК): плоскі та дзеркальні (концентруючі). Дзеркальні колектори використовують параболічні дзеркала для концентрації сонячного випромінювання в одній точці або на трубопроводі, що дозволяє досягти дуже високих температур.

Однак головний недолік цих систем - це необхідність постійного і точного фокусування, щоб забезпечити ефективну роботу.

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.01.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		11

У плоских колекторів такого недоліку немає, оскільки вони просто монтуються на даху будинку або на землі і не потребують складних систем фокусування. Хоча плоскі колектори можуть збирати менше енергії, ніж дзеркальні, вони мають перевагу в тому, що можуть використовувати як пряме, так і дифузійне випромінювання, що робить їх більш ефективними за хмарної погоди.

Таким чином, для побутових потреб, особливо у регіонах з нестабільною погодою, плоскі колектори є кращим вибором. Вони забезпечують більш стабільне та надійне джерело енергії навіть при змінних умовах освітлення.

Найпростіші сонячні енергетичні установки (СЕУ) зазвичай використовуються в країнах Північної Африки та Південної Європи для отримання гарячої води. Вони включають лише колектор та акумулятор. Принципова схема такої системи показана на рис. 1.2 а). Ці установки працюють без насоса: вода в акумуляторі нагрівається, доки різниця температур між колектором і вмістом акумулятора залишається значною.

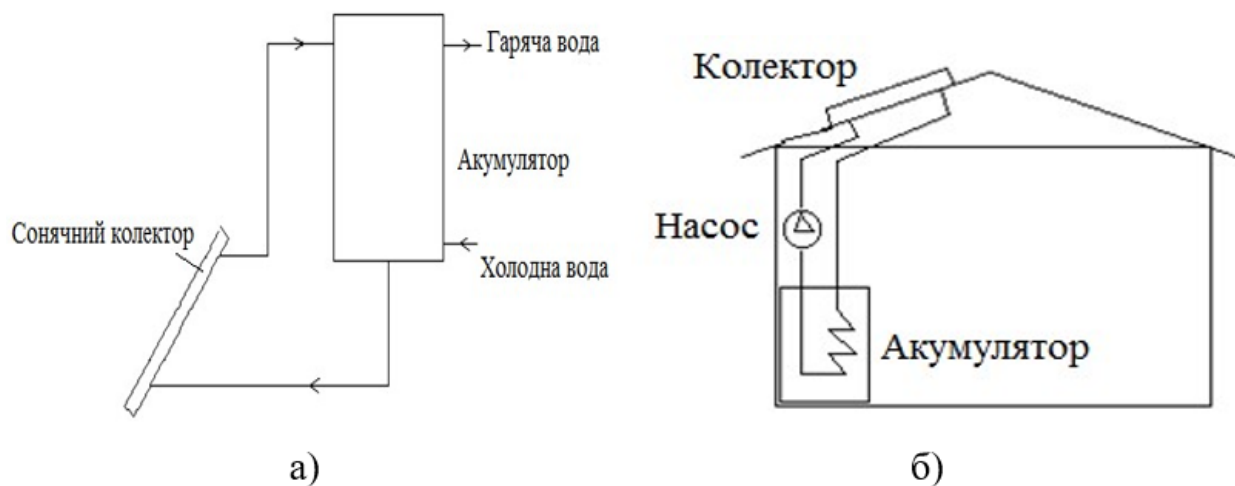


Рисунок 1.2 – Типи структур СЕУ

У цій простій системі природна циркуляція забезпечує потік теплоносія між колектором і акумулятором. Коли вода в колекторі нагрівається і стає гарячішою за воду в акумуляторі, вона природним шляхом піднімається вгору в акумулятор, де передає тепло. Цей процес триває, поки різниця температур між

колектором і акумулятором є достатньою для забезпечення циркуляції теплоносія.

Щоб запобігти охолодженню ізольованого акумулятора вночі, необхідно роз'єднати колектор і акумулятор, коли температура в колекторі стає нижчою, ніж в акумуляторі. Це легко зробити за допомогою зворотного клапана, який запобігає зворотній циркуляції теплоносія.

Зворотний клапан дозволяє теплоносію рухатися тільки в одному напрямку. У разі, коли температура в колекторі опускається нижче температури в акумуляторі, клапан закривається, запобігаючи потраплянню холодного теплоносія назад в акумулятор. Таким чином, система залишається ефективною, оскільки не відбувається втрати накопиченого тепла, що сприяє збереженню енергії і підтримці стабільного рівня нагріву.

Більш зручна і часто використовувана конструкція сонячної енергетичної установки представлена на (рис.1.2 б). У цій схемі споживана вода нагрівається через теплообмінник, який також виконує роль акумулятора. Контур колектору заповнюється морозотривкою рідиною, такою як суміш води з технічним спиртом або антифриз. Такий підхід має кілька переваг.

По-перше, використання морозостійкої рідини дозволяє уникнути проблем зі зливом звичайної води взимку, оскільки антифриз не замерзає при низьких температурах. По-друге, це дає змогу використовувати установку протягом усього року, зберігаючи ефективність навіть у холодних кліматичних умовах. Ця конструкція з теплообмінником і морозостійким контуром робить систему більш універсальною і надійною, що підходить як для регіонів із суворою зимою, так і для використання в цілорічному режимі.

У більшості випадків сонячні енергетичні установки використовуються для систем гарячого водопостачання (ГВП), що поряд з обігрівом басейнів є їх основною сферою застосування. У цьому контексті енергоспоживання найбільше співпадає з можливістю використання сонячної енергії. У перехідний період і зимові місяці сонячної енергії достатньо лише для часткового підігріву води, що допомагає зменшити витрати на електроенергію або паливо.

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.01.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		13

На випадок похмурих днів система передбачає використання запасу гарячої води в акумуляторі. Об'єм акумулятора зазвичай розраховують на дво- або триденний запас гарячої води, виходячи з середнього споживання ~50 літрів на людину на день. Акумулятор повинен мати належну теплову ізоляцію, що допоможе зменшити тепловтрати до 2–3 градусів на добу.

Варто зазначити, що нинішні норми споживання гарячої води значно завищені, і якщо їх використовувати при проектуванні СЕУ, це суттєво підвищує вартість системи. Тому в реальних умовах, як у побутовому, так і в комунальному секторах, часто застосовують більш економічні значення питомого споживання гарячої води. Це вказує на необхідність перегляду нормативів для проектування систем ГВП з урахуванням більш раціонального використання енергії.

При розгляді можливостей використання сонячної енергії для опалення приміщень слід враховувати дисбаланс між потребою і пропозицією, а також звернути увагу на такі аспекти:

– Площа колекторів: Для систем гарячого водопостачання площа колекторів зазвичай менша, але для опалення приміщень вона має бути значно більшою, зазвичай 30-50% від площі, що підлягає обігріву. Також акумулятор теплоти повинен бути значно більшим, його обсяг може варіюватися від 2000 до 5000 літрів.

– Температура опалювальної води: Оскільки температура води для систем опалення, як правило, відносно низька, потрібна система з великою поверхнею нагрівання. Це дозволяє ефективно обігрівати добре ізольовані будівлі за допомогою систем обігріву підлоги при температурі води близько 30 °С.

– Сезонні обмеження: Сонячна енергія може зробити значний внесок у забезпечення тепла в перехідний період (весна, осінь), але взимку необхідне додаткове джерело теплоти, оскільки сонячної енергії недостатньо для повного забезпечення опалення.

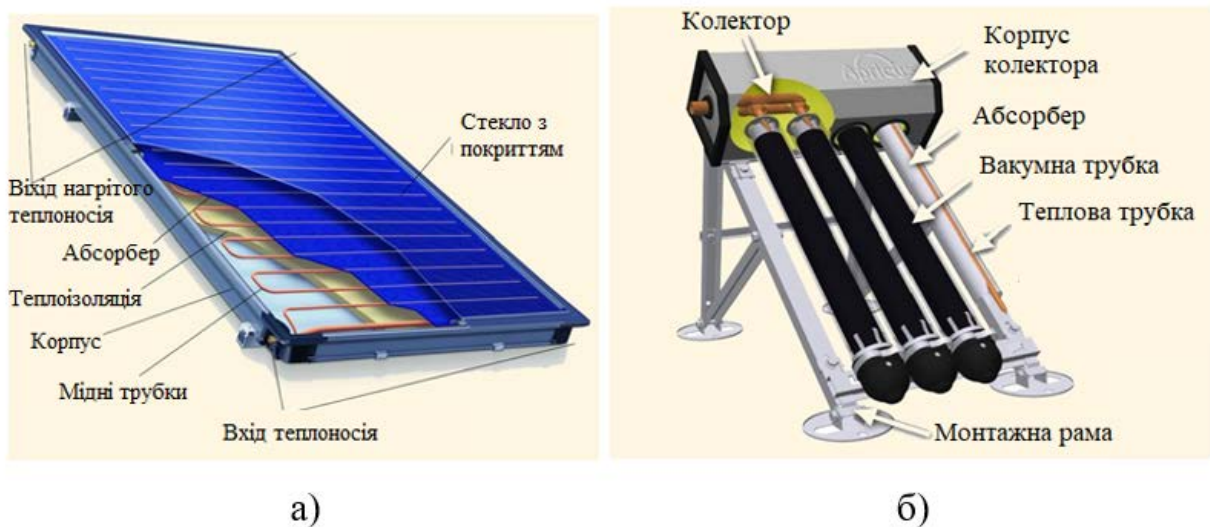
					<i>КНУ КРБ.151.24.01.01.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

– Повітряне опалення: Можливе використання системи повітряного опалення, де вентилятор багаторазово циркулює повітря з приміщення через колектор, підвищуючи ефективність обігріву.

При проектуванні та впровадженні систем сонячного опалення необхідно враховувати ці фактори, щоб забезпечити надійне та ефективне опалення, особливо у холодні місяці, коли сонячна енергія є менш доступною.

Сонячні колектори можна умовно поділити на плоскі та вакуумні. Плоскі СК складаються з абсорбера, елемента, який поглинає сонячну радіацію та пов'язаний з системою теплопередачі. Зовнішня сторона СК захищена шаром прозорого матеріалу, зазвичай спеціального загартованого скла з низьким вмістом металів і мінімальним коефіцієнтом відбиття.

Задня сторона колектору закрита теплоізоляційним шаром, щоб зменшити тепловтрати. Якщо тепло не відводиться, плоский колектор (як показано на рис. 1.3 а) здатний нагрівати проміжний теплоносій до 140 °С. Зараз розробляються і застосовуються спеціальні оптичні оболонки, які підвищують ефективність поглинання та зменшують втрати тепла.



а) плоский, б) вакуумний

Рисунок 1.3 – Типи колекторів

Оскільки з усіх використовуваних матеріалів мідь має найвищу теплопровідність, вона стала основним матеріалом для виробництва абсорберів.

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.01.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15



Мідні абсорбери забезпечують високу ефективність передачі тепла від сонячного випромінювання до теплоносія, що робить плоскі сонячні колектори ефективним і популярним вибором у системах сонячного енергопостачання.

Вакуумні сонячні колектори (рис. 1.3 б) мають основний елемент - спеціальну вакуумну трубку, яка покрита чорним покриттям для поглинання сонячної енергії. Усередині трубки знаходиться вода або антифриз, які нагріваються під впливом сонячної радіації. Конструкція вакуумного колектору нагадує термос: навколо трубки створюється вакуумна камера, що мінімізує тепловтрати та підвищує ефективність. Такий пристрій дозволяє нагрівати воду навіть при низьких температурах зовнішнього середовища, включаючи умови морозу.

Використання систем на основі вакуумних сонячних колекторів може забезпечити приблизно третину енергії, необхідної для опалення в осінньо-весняний період, і покривати до 60% потреб у гарячій воді, що дозволяє їх використовувати 8-9 місяців на рік у більшості регіонів України. Це робить вакуумні сонячні колектори особливо цінними в умовах помірного та холодного клімату, де ефективність традиційних плоских колекторів може знижуватися через низькі температури.

Щоб підвищити ефективність вакуумних сонячних колекторів, внутрішні теплообмінні поверхні роблять у формі термосифону з ребристими або гранованими гранями. Також теплообмінну трубку часто роблять у формі букви "U", щоб оптимізувати циркуляцію теплоносія. Зовнішня оболонка вакуумних колб зазвичай виготовляється з боросилікатного скла, яке відрізняється підвищеною міцністю та стійкістю до перепадів температур.

Останнім часом набувають популярності сонячні колектори, оснащені тепловими трубами. У цих трубах міститься рідина з низькою температурою кипіння, наприклад, аміак. Один кінець такої трубки вставлений у теплообмінний бак, а інший знаходиться в зоні нагрівання. Коли рідина нагрівається від сонячного випромінювання, вона закипає, утворюючи пару, яка

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.01.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		16

піднімається і передає тепло в бак із водою. Після віддачі тепла пара конденсується та повертається назад, що дозволяє процесу повторюватися.

Сонячні колектори з тепловими трубами є більш ефективними порівняно з іншими типами. Вони демонструють підвищений коефіцієнт корисної дії (ККД) та мають кращу стійкість до механічних пошкоджень, що робить їх надійними і довговічними. Ці колектори можуть бути більш ефективними в різних кліматичних умовах і забезпечують стабільну роботу навіть за екстремальних погодних умов.

Сонячні колектори мають максимальну ефективність, коли кут падіння сонячних променів на теплопоглинальну поверхню під час максимальної сонячної радіації становить 90 градусів. Однак сонце описує дугу протягом дня і піднімається на різну висоту в різний час року. Ідеальним варіантом була б система, де колектор слідує за рухом сонця, підтримуючи постійно прямий кут відносно падаючих променів. Такий механізм можливий, але значно підвищує вартість сонячної енергетичної системи.

Найчастіше сонячні колектори встановлюють нерухомими і залежно від призначення та географічного розташування, обирають відповідний кут нахилу. Під час встановлення колектор зазвичай орієнтують на південь, проте необхідно враховувати особливості рельєфу місцевості. В загальних рекомендаціях пропонують відхилення від орієнтації на південь на кут менший ніж тридцять градусів, щоб зберегти оптимальну ефективність виробництва тепла.

У північних регіонах може бути корисно встановлювати колектори під кутом, близьким до вертикального, оскільки в цьому випадку колектор зможе краще вловлювати відбиті від снігу промені, що збільшує ефективність системи. Вибір кута нахилу та орієнтації колектору є критично важливим для максимальної ефективності використання сонячної енергії, враховуючи як рух сонця протягом дня, так і сезонні зміни.

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.01.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		17

## 1.2 Вітрогенератори

Вітросонячні системи електроспоживання (ВССЕ) використовують вітроенергетичні установки (ВЕУ) як один із джерел генерування електричної енергії (ЕЕ). ВЕУ за конструкцією бувають двох різних типів:

- з вертикальною віссю обертання (ВВО);
- з горизонтальною віссю обертання (ГВО).

Обидва типи широко застосовуються у світі, проте ВЕУ з ВВО користуються більшим попитом у великій електроенергетиці. Вони є складовими вітрових парків, що генерують електроенергію для загальнодержавної або навіть світової енергосистеми, а також можуть забезпечувати електроенергією окремі містечка, поселення, острови тощо.

За даними статистичної інформації на 2013 рік, поданої в [2], світовими лідерами в цій галузі є США, Німеччина, Китай та Іспанія. Ці країни активно розвивають вітроенергетику та мають великі вітрові парки, які забезпечують значну частину їхньої енергетичної потреби.

Для вітросонячних систем електроспоживання (ВССЕ) малопотужних споживачів, які розташовані в густонаселених районах, використання вітроенергетичних установок (ВЕУ) з вертикальною віссю обертання (ВВО) виявляється більш доцільним, ніж з горизонтальною віссю обертання (ГВО). Ця перевага базується на ряді причин:

- Можливість приймати вітер з будь-якого напрямку, що виключає потребу в механізмах повороту ВЕУ до вітропотoku.
- Відсутність редуктора для передачі механічної енергії обертального руху від валу ВВО до валу генератора.
- Генератор можна розмістити в нижній частині установки, що спрощує обслуговування і підвищує економічність.
- Легкість монтажу, оскільки ВЕУ з ВВО можуть бути встановлені на дахах будинків, у дворах, на автозаправках або на палубах кораблів.
- Нижча вартість виробництва, порівняно з ВЕУ з ГВО.

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.01.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		18

- Простота виготовлення лопатей з постійним аеродинамічним профілем, тоді як для ВЕУ з ГВО потрібні лопаті конічної та скрученої форми для оптимальної продуктивності.

- Краща робота в турбулентних вітрових режимах та здатність працювати при низькій швидкості вітру.

- Відсутність потреби у дослідженні вітрового кадастру, що може займати роки при встановленні ВЕУ з ГВО.

- Низький рівень шуму під час роботи, що особливо важливо в густонаселених районах.

- Значно менша ймовірність стробоскопічного ефекту, оскільки відсутність швидко рухомих лопатей зменшує ризик створення тіней, що може негативно впливати на людей і тварин.

- Менший вплив на міграцію птахів, що робить ці установки екологічно більш безпечними.

Ці фактори роблять ВЕУ з ВВО особливо привабливими для використання в міських умовах та густонаселених районах, де важливі компактність, низький рівень шуму та зниження екологічного впливу.

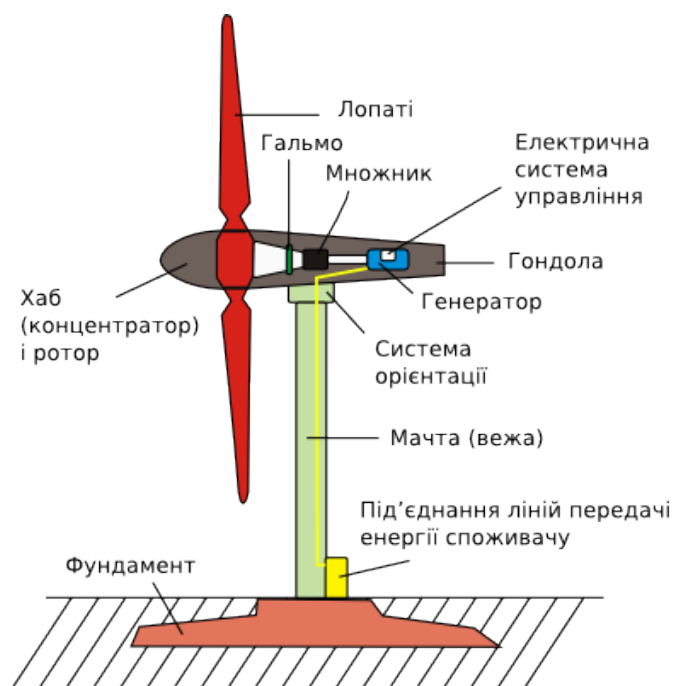


Рисунок 1.4 - Конструкція вітрогенератора

Серед вітроенергетичних установок (ВЕУ) з вертикальною віссю обертання (ВВО) найбільш популярними є три основні типи (рис. 1.5):

- ротор Дар'є;
- ротор Савоніуса;
- ротор Н-типу.

Останній ще називають ротор Дар'є з прямими лопатями. Робота ротора Савоніуса базується на різниці сил опору між ввігнутою та випуклою частинами його лопатей. Це призводить до того, що при обертанні ротора вітер створює різну силу опору з обох боків, що й змушує ротор обертатися. ВЕУ з ротором Савоніуса мають просту та надійну конструкцію, що дозволяє їм працювати на різних швидкостях вітру.

Ротор Савоніуса характеризується низьким рівнем шуму, що робить його привабливим для встановлення в міських районах і на дахах будинків. Він також має хороші стартові характеристики, тобто може легко розпочинати обертання навіть при невеликій швидкості вітру. Це дозволяє використовувати ВЕУ з ротором Савоніуса як у міських умовах, так і на відкритих просторах, забезпечуючи надійне джерело електроенергії за допомогою вітру.

Попри простоту та надійність конструкції, ротори Савоніуса мають деякі обмеження. Оскільки принцип їх роботи базується на різниці сил опору, вони мають низький коефіцієнт відбору потужності від вітру, що становить лише третину ліміту Бетца (59,3%), найвищого теоретичного коефіцієнта ефективності вітрової енергії. Крім того, ротори Савоніуса характеризуються малою швидкохідністю, що зумовлює або великі розміри генератора у разі прямого приводу, або необхідність використання підвищувального механічного редуктора (мультиплікатора).

На відміну від ротора Савоніуса, ротори Дар'є і Н-ротори обертаються за рахунок сил тяги, які виникають завдяки підйомним силам, що діють на їхні аеродинамічні профілі. Така конструкція забезпечує вищий коефіцієнт ефективності і дозволяє цим роторам працювати на більш високих швидкостях обертання, що робить їх потенційно більш ефективними та економічними в

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.01.ПЗ</i>	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

експлуатації. Ротори Дар'є і Н-ротори можуть використовувати підвищену швидкість обертання для більш ефективного генератора та, в результаті, отримати більший коефіцієнт відбору потужності від вітру.

Ротори Дар'є та Н-ротори мають вищі коефіцієнти відбору потужності від вітру порівняно з ротором Савоніуса, але вони все ж поступаються іншим типам вітроенергетичних установок. Н-ротор відрізняється від класичного ротора Дар'є тим, що використовує прямі аеродинамічні профілі, а не вигнуті. Це робить його простішим у виготовленні та більш надійним, а також полегшує транспортування від місця виробництва до місця встановлення. Через ці переваги Н-ротори стали дуже популярними.

Ці ротори можуть мати одну або більше лопатей, але найбільш поширеними є трилопатеві Н-ротори, оскільки вони забезпечують оптимальне поєднання стартових та робочих характеристик для роботи на невеликих швидкостях вітру. Трилопатеві Н-ротори також є більш швидкохідними порівняно з роторами Савоніуса, що дозволяє електричним генераторам бути безпосередньо з'єднаними з вітроенергетичною установкою, утворюючи прямий привід. Ця особливість спрощує конструкцію ВЕУ, підвищує її надійність і забезпечує кращі стартові можливості.



*а) ротор Дар'є*



*б) ротор Савоніуса*



*в) Н-ротор*

Рисунок 1.5 - Основні типи роторів з ВВО

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.01.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		21

Таким чином, трилопатеві Н-ротори є популярним вибором для вітроенергетичних установок завдяки їх простоті, надійності, оптимальному поєднанню швидкості і стартових характеристик, а також можливості створення прямого приводу, що сприяє підвищенню ефективності та зниженню вартості системи.

Для покращення стартових характеристик Н-ротора можна використовувати лопаті з гелікоподібною (спіральною) формою. Цей дизайн дозволяє більш плавно стартувати і покращує продуктивність при змінних вітрових умовах. Однак виробництво гелікоподібних лопатей складніше і дорожче, що може збільшити вартість установки.

Якщо головною метою є мінімізація терміну окупності та економічність установки, то Н-ротори з прямими лопатями є більш привабливим варіантом. Вони простіші у виготовленні, що знижує виробничі витрати і робить такі установки більш доступними. При цьому вони залишаються ефективними, хоча й можуть мати дещо гірші стартові характеристики порівняно з гелікоподібними лопатями.

Отже, вибір між гелікоподібними і прямими лопатями в Н-роторах залежить від пріоритетів проекту: якщо потрібні кращі стартові характеристики та вища ефективність, можна розглядати гелікоподібні лопаті; якщо ж головним є зниження витрат та швидке повернення інвестицій, тоді прямі лопаті стають більш привабливим вибором.

### 1.3 Аналіз пристроїв обліку гарячої води

#### 1.3.1 Типи лічильників води

Існує багато різних типів лічильників води, кожен з яких має свої переваги і недоліки, а також особливі вимоги до монтажу та експлуатації. Таке різноманіття може ускладнити вибір навіть для досвідчених фахівців. Сьогодні найбільш поширені наступні види лічильників води: механічні, ультразвукові, електромагнітні та резонансні.

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.01.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		22

Механічні лічильники води можна розділити на два типи: турбінні та крильчасті. У турбінного лічильника (рис. 1.6 а) вісь обертання крильчатки співвісна з трубопроводом, на якому він встановлений. Турбінні лічильники зазвичай випускаються з діаметром умовного проходу від  $Du=40$  мм і призначені для вимірювання великих обсягів гарячої або холодної води. Для зменшення впливу потоку на крильчатку турбінного лічильника перед ним встановлюють обтічник, що спрямовує потік під потрібним кутом.



а) турбінний, б) крильчатий

Рисунок 1.6 – Типи лічильників

Такі турбінні лічильники часто використовуються в промислових і комерційних системах водопостачання, де потрібні точні вимірювання великих обсягів води. При виборі лічильника важливо враховувати умови його експлуатації, включаючи тип рідини, температурний режим, швидкість потоку та інші фактори, які можуть вплинути на точність та надійність вимірювання.

У крильчатому лічильнику (рис. 1.6, б) вісь обертання крильчатки перпендикулярна до осі трубопроводу, на якому встановлено водомір. Зазвичай такі лічильники випускаються в розмірах до  $Du=50$  мм і використовуються для вимірювання невеликих обсягів холодної та гарячої води.



Механічні лічильники води, включаючи крильчаті та турбінні, мають низку переваг:

– Простота в обслуговуванні: Механічні лічильники зазвичай мають просту конструкцію, що робить їх легкими в обслуговуванні та ремонті.

– Не потребують електроживлення: Оскільки вони працюють за принципом механічного обертання, ці лічильники не потребують додаткового джерела електроенергії, що робить їх енергонезалежними.

– Невисока ціна: Механічні лічильники зазвичай дешевші за ультразвукові та електромагнітні аналоги, що робить їх економічним вибором.

– Можливість встановлення у вологих умовах: Деякі механічні лічильники можуть працювати навіть у приміщеннях, заповнених водою, що підвищує їхню універсальність.

– Стійкість до забруднень Деякі конструкції механічних лічильників здатні вимірювати витрати навіть дуже забрудненої рідини, що робить їх підходящими для складних умов.

Ці характеристики роблять механічні лічильники води надійним і доступним варіантом для широкого спектру застосувань, особливо у побутових та комерційних системах водопостачання.

Ультразвукові лічильники води відрізняються від механічних тим, що для вимірювання витрат води вони використовують ультразвукові сигнали. Їх конструкція зазвичай включає витратомірну ділянку, обчислювач та два або чотири передатчики імпульсів, що розташовуються під кутом до вісі трубопроводу.

Переваги ультразвукових лічильників води:

– Висока точність вимірювання: Ультразвукові лічильники забезпечують точні вимірювання витрат чистої води, що робить їх популярними у комерційних та промислових застосуваннях.

– Широкий діапазон вимірювання: Вони можуть працювати в широкому діапазоні витрат, що дозволяє використовувати їх у різних умовах.

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.01.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

– Незначний гідравлічний опір: Завдяки відсутності рухомих частин у проточній частині, ультразвукові лічильники мають мінімальний вплив на потік води.

– Відсутність рухомих частин: Це знижує ризик зношування та підвищує надійність, а також зменшує потребу в регулярному обслуговуванні.

– Індикація миттєвих витрат: Ультразвукові лічильники можуть показувати миттєві витрати води, що дозволяє відстежувати споживання в реальному часі.

– Архівація даних: Багато ультразвукових лічильників можуть зберігати дані про споживання води, що корисно для аналізу та звітності.

– Тривалий термін служби: Завдяки відсутності рухомих частин і використанню якісних матеріалів, ультразвукові лічильники мають тривалий термін служби.

– Повірка без демонтажу: Деякі моделі дозволяють перевіряти точність вимірювань без необхідності знімати витратомірну ділянку з трубопроводу.

Ці переваги роблять ультразвукові лічильники води привабливим вибором для багатьох застосувань, особливо там, де потрібна висока точність, широкий діапазон вимірювань та мінімальний вплив на потік води.

Електромагнітні лічильники води використовують принцип електромагнітної індукції для вимірювання витрат води. Їх конструкція зазвичай включає обчислювач, котушки індуктивності, електроди для вимірювання ЕРС та витратомірну ділянку з немагнітного непровідного матеріалу, наприклад фторопласту або поліетилену.

Позитивні якості електромагнітних лічильників води:

– Висока точність вимірювання: Електромагнітні лічильники забезпечують точне вимірювання витрат води, зокрема для чистої води, що робить їх надійними для промислових і комерційних застосувань.

– Широкий діапазон вимірювання: Вони можуть вимірювати широкі діапазони витрат, забезпечуючи гнучкість використання в різних системах.

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.01.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		25

– Відсутність суттєвого гідравлічного опору: Оскільки електромагнітні лічильники не мають рухомих частин у проточній частині, вони не викликають значного гідравлічного опору.

– Тривалий термін служби: Ці лічильники зазвичай мають тривалий термін служби, оскільки в їхній конструкції відсутні рухомі або виступаючі частини, що підвищує надійність і зменшує необхідність обслуговування.

– Індикація миттєвих витрат води: Електромагнітні лічильники можуть показувати миттєві витрати, що дозволяє користувачам відстежувати поточне споживання води.

– Архівація даних про водоспоживання: Багато моделей можуть зберігати історичні дані про споживання води, що зручно для аналізу та звітності.

– Нечутливість до певних забруднень: Точність вимірювання не залежить від наявності певних забруднень у воді, якщо вони не впливають на її електропровідність. Це робить електромагнітні лічильники придатними для використання в системах, де вода може містити домішки.

Ці переваги роблять електромагнітні лічильники води ефективним і надійним вибором для широкого спектру застосувань, особливо там, де потрібна висока точність, тривалий термін служби та низький гідравлічний опір.

Резонансний лічильник води використовує п'єзоелектричний вимірювач частоти для визначення витрат води. Його конструкція зазвичай включає обчислювач, витратомірну ділянку та п'єзоелектричний сенсор. Цей тип лічильника має кілька переваг:

– Широкий діапазон вимірювання витрат: Резонансні лічильники можуть працювати в широкому діапазоні витрат, що робить їх універсальними для різних застосувань.

– Індикація миттєвих витрат води: Вони можуть надавати інформацію про поточні витрати води, що дозволяє користувачам контролювати та аналізувати споживання.

– Архівація даних про водоспоживання: Резонансні лічильники можуть зберігати історичні дані про водоспоживання, що зручно для аналізу тенденцій та звітності.

– Відсутність рухомих або виступаючих частин: У проточній частині лічильника немає рухомих елементів, що зменшує ризик зносу та підвищує надійність.

– Самоочищення: Резонансні лічильники мають властивість самоочищення від незначних забруднень, що підвищує їхню надійність та зменшує потребу в регулярному обслуговуванні.

Резонансні лічильники води можуть використовуватися для обліку як гарячої, так і холодної води, що робить їх універсальними для різних систем водопостачання. Ці переваги роблять резонансні лічильники привабливим варіантом для застосування в різних галузях, де потрібна точність, надійність та низький рівень обслуговування.

Тахометричні одноструйні водолічильники (рис.1.7) є популярними пристроями для вимірювання кількості води, що протікає через водопровідні системи. Їхня робота заснована на використанні крильчатки, яка обертається під впливом потоку води, і механізму, що підраховує кількість обертів цієї крильчатки.

Важливою особливістю таких лічильників є те, що їхній основний механізм 2, відповідальний за підрахунок і індикацію, не контактує з водою 3. Це досягається завдяки використанню магнітної передачі або інших методів, що забезпечують розділення механізму підрахунку і води. Такий підхід мінімізує знос механізму і зменшує ризик пошкодження через контакт з водою або її домішками. Через це такі лічильники часто називають "сухоходовими".

Основні компоненти тахометричного одноструйного водолічильника включають:

- Крильчатку: Розташовану всередині проточної частини лічильника, яка обертається під дією потоку води.

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.01.ПЗ</i>	Арк.
						27
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

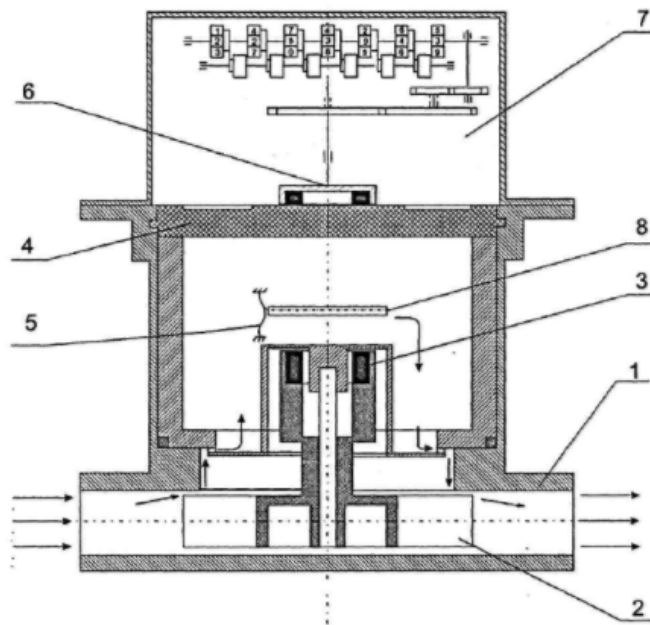


Рисунок 1.7 - Схема лічильника води

- Передавальний механізм 2: Сполучає обертання крильчатки з механізмом підрахунку. Це може бути магнітний або механічний передавач.

- Механічний редуктор 4 : Зменшує частоту обертання для точного відображення витрати води.

- Індикаторний пристрій 5 : Відображає показники у вигляді об'ємів води. Зазвичай використовуються ролики чорного кольору для відображення повних кубічних метрів і ролики червоного кольору та стрілочний покажчик для дробових частин кубічного метра.

Механізм магнітного зв'язку є однією з ключових особливостей тахометричних одноструйних водолічильників. Завдяки цьому підходу можна розділити рухому частину крильчатки, яка знаходиться в контакті з водою, від механізму підрахунку, розміщеного в сухій зоні, що сприяє довговічності та надійності приладу.

Ця магнітна взаємодія працює через герметичну перегородку 6, яка не пропускає воду, але дозволяє передавати обертання крильчатки на механізм підрахунку. Магніти, встановлені на крильчатці, створюють магнітне поле, яке впливає на магніти, що входять до механізму підрахунку, приводячи його в рух. Таке рішення зменшує ризик пошкодження механізму від впливу води або її

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.01.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

домішок. Крім того, використання годинникових каменів 7 і 8 у опорних частинах забезпечує підвищену зносостійкість і точність роботи лічильника.

Лічильники такого типу широко використовуються у житлових і комерційних системах водопостачання для обліку води та розрахунків за її споживання. Їхній надійний дизайн та відсутність контакту механізму з водою роблять їх довговічними та точними інструментами для вимірювання.

### 1.3.2 Недоліки приладів обліку гарячої води

Механічні лічильники води є найпоширенішими приладами для вимірювання водоспоживання у житлових та комерційних системах. Однак вони мають певні недоліки, які можуть впливати на їх точність, надійність і загальну ефективність. Розглянемо основні недоліки механічних водомірів детальніше:

– Малий діапазон виміру витрат: Механічні лічильники можуть бути менш точними при вимірюванні дуже низьких або дуже високих витрат. Це пов'язано з тим, що їх точність часто оптимізована для певного діапазону потоку.

– Високі втрати напору: Оскільки механічні водоміри мають крильчатку або інші рухомі частини в потоці води, вони можуть створювати додатковий опір. Це може призводити до зниження тиску води в системі, особливо в разі високих витрат.

– Відсутність індикації миттєвих витрат: Механічні водоміри зазвичай відображають лише загальний об'єм використаної води і не мають функції відображення миттєвої витрати. Це ускладнює моніторинг та оптимізацію водоспоживання в режимі реального часу.

– Наявність рухомих частин у проточній частині: Наявність рухомих частин, як-от крильчатки, збільшує ризик зносу та пошкодження через забруднення або тверді частинки у воді. Це також може призводити до зниження точності з часом.

– Необхідність установки сітчастого фільтра перед водоміром: Через наявність рухомих частин механічні лічильники води вимагають попередньої

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.01.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		29

фільтрації води, щоб запобігти пошкодженням від піску, іржі чи інших частинок. Це додає складності у встановленні та обслуговуванні системи.

– Малий строк служби та низька точність вимірів: Через знос рухомих частин механічні лічильники можуть мати обмежений термін служби, особливо у випадках інтенсивного використання або поганої якості води. Їх точність може знижуватися з часом, що вимагає регулярної перевірки або заміни.

Ультразвукові та електромагнітні лічильники води пропонують сучасні технології для вимірювання водоспоживання, але вони також мають свої недоліки, які потрібно враховувати при виборі системи вимірювання. Розглянемо ці недоліки детальніше.

Недоліки ультразвукових лічильників води:

– Необхідність зовнішнього або автономного джерела живлення: Ультразвукові лічильники потребують електричної енергії для роботи. Це може бути акумулятор, батарея або підключення до електричної мережі. Відповідно, це створює додаткові вимоги до інфраструктури та технічного обслуговування.

– Точність виміру залежить від наявності бульбашок повітря у воді: Ультразвукові лічильники працюють на основі передачі ультразвукових сигналів через воду. Якщо у воді присутні бульбашки повітря або суспензії, це може призвести до спотворення сигналів і зниження точності вимірювань.

– Високі вимоги до приміщень для установки: Для забезпечення надійності роботи, ультразвукові лічильники вимагають певних умов встановлення, зокрема, стабільної температури та вологості, відсутності електромагнітних перешкод, що може ускладнити їх встановлення в певних середовищах.

Недоліки електромагнітних лічильників води:

– Необхідність зовнішнього джерела живлення: Електромагнітні лічильники також вимагають електроживлення для створення магнітного поля. Відсутність джерела живлення або перебої з електроенергією можуть впливати на їхню роботу.

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.01.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

– Високі вимоги до якості монтажу: Неправильне встановлення або недостатнє калібрування може вплинути на точність вимірювань. Електромагнітні лічильники потребують дотримання вимог щодо монтажу, зокрема довжини прямих ділянок до і після лічильника для уникнення турбулентності.

– Високі вимоги до приміщень для установки: Як і ультразвукові лічильники, електромагнітні також мають певні вимоги до навколишнього середовища, включаючи стабільну температуру, відсутність електромагнітних перешкод та наявність захисту від вологи.

– Чутливість до турбулентності потоку: Електромагнітні лічильники особливо чутливі до турбулентності та нерівномірного розподілу швидкості води. Це може впливати на точність вимірювань.

– Скупчення металічного сміття у проточній частині: Магнітне поле, створюване лічильником, може притягувати металічне сміття або частинки, що може призвести до засмічення та зниження точності.

– Непридатність для виміру рідин з низькою електропровідністю: Електромагнітні лічильники використовують електропровідність води для вимірювання. Через це вони не підходять для рідин з низькою електропровідністю, таких як спирти або нафтопродукти.

Резонансні лічильники води використовують принципи резонансної механіки для вимірювання витрати води. Ці лічильники можуть запропонувати високу точність і стабільність, проте вони мають ряд недоліків, які слід враховувати при виборі типу лічильника для системи водопостачання. Давайте розглянемо ці недоліки детальніше.

Недоліки резонансних лічильників води:

– Необхідність зовнішнього джерела живлення: Резонансні лічильники води потребують зовнішнього джерела живлення для забезпечення функціонування електронних компонентів, які відповідають за створення і детектування резонансного ефекту. Це може ускладнити встановлення у віддалених місцях або в системах, де електроживлення нестабільне.

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.01.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						31
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		



– Проточна частина має формувач потоку: Формувач потоку, який використовується для стабілізації потоку води перед вимірюванням, може створювати додатковий опір або втрати напору. Це також може ускладнити очищення або обслуговування пристрою, особливо якщо на формувачі збирається сміття чи відкладення.

– Обов’язкова установка сітчастого фільтра перед витратомірною ділянкою: Через присутність рухомих або чутливих компонентів у проточній частині, резонансні лічильники вимагають попередньої фільтрації води для запобігання потрапляння твердих частинок або сміття, що може пошкодити прилад або знизити його точність.

– Високі вимоги до приміщень, у яких встановлюються резонансні лічильники: Резонансні лічильники вимагають певних умов щодо температури, вологості та захисту від вібрацій і електромагнітних перешкод. Це може обмежити місця їх встановлення і вимагати додаткових заходів для забезпечення належних умов

Ці недоліки потрібно враховувати при виборі відповідного типу лічильника, беручи до уваги конкретні умови та потреби системи водопостачання.

#### *Висновки до розділу:*

Альтернативні джерела енергії, такі як вітрогенератори та сонячні колектори, відіграють дедалі більшу роль у забезпеченні енергетичних потреб, оскільки традиційні джерела, зокрема нафта і газ, виснажуються та спричиняють значні екологічні проблеми. Відновлювані джерела енергії, такі як сонце, вітер і вода, є екологічно чистими та стійкими. Використання цих джерел дозволяє не лише зменшити викиди вуглекислого газу та інших шкідливих речовин, а й досягти енергетичної незалежності. Вартість обладнання для відновлюваної енергії зазвичай окупається протягом кількох років, після чого користувачі отримують чисту енергію практично безкоштовно.

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.01.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		32

Незважаючи на значний потенціал відновлюваної енергії, існуючі автоматизовані системи керування сонячними колекторами та вітрогенераторами мають певні недоліки. Ці недоліки сприяли розробці сучасних вимог до проектування, що враховують нові підходи та технології для забезпечення стабільної та ефективної роботи таких систем. Важливо звертати увагу на точність управління, надійність обладнання та адаптацію до місцевих умов.

Генерація електроенергії з використанням відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у гібридних системах все частіше стає актуальною не лише для віддалених споживачів, а й для тих, хто підключений до центральних мереж. Гібридні системи, які поєднують різні джерела енергії, можуть забезпечувати стабільне живлення, навіть коли одна з технологій дає збій або працює з низькою ефективністю. Це робить їх привабливими для широкого кола користувачів.

В умовах низьких рівнів вітру та сонця, характерних для багатьох регіонів України, необхідно застосовувати додаткові заходи для підвищення енергетичної ефективності. Наприклад, для ВЕУ з ВВО можна використовувати системи контролю вектора потоку (КВП) для оптимізації продуктивності. Для фотоелектричних установок (ФЕУ) важливо використовувати механізми орієнтації панелей, які забезпечують їхнє стеження за сонцем, що значно підвищує ефективність системи.

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.01.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		33

РОЗДІЛ 2  
МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ТА МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ СИСТЕМИ  
СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГОУСТАНОВКИ

2.1 Методика розрахунку обладнання сонячної енергоустановки для гарячого водопостачання

Визначення характеристик основного обладнання та визначення вартості сонячної установки приведено у таблиці 2.1. Розрахунок ведеться за методикою [7,8].

Таблиця 2.1 - Вихідні дані для розрахунку СЕУ для ГВП

№	Найменування	Одиниці виміру	Знач.
1	Корисна площа одного СК	м <sup>2</sup>	1,8
2	Кількість чоловік		4
3	Витрата води на людину за добу	л	70
4	Ціна за електроенергію	грн./кВт.год.	0,35
5	Ціна за газ	грн./м <sup>3</sup>	3,5
6	Середня температура холодної води	°С	10
7	Температура гарячої води	°С	50
8	Тривалість світлового дня	год.	12
9	Довжина магістрального трубопроводу (повна довжина туди і назад)	м	25
10	Об'єм теплоносія у СК	л	2
11	Об'єм теплоносія у ЄВН	л	8
12	Температура до та після СК	°С	40-60

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.02.ПЗ</i>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Новенко Я.В.			РОЗДІЛ 2	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Маринич І.А.					33	42
Н. Контр.		Маринич І.А.			<i>КНУ АКІТ-21ск</i>			
Затверд.		Тронь В.В.						

Розрахуємо кількість сонячних колекторів і відповідну площу. Для цього необхідно розрахувати добову кількість гарячої води та добові витрати тепла і відповідну теплову потужність.

Добова кількість гарячої води:

$$G = n * J_n = 4 * 70 = 280 \text{ л}$$

де  $J_n$  – витрати води на людину за добу;  $n$  – кількість осіб.

Витрата теплоти за добу:

$$Q = G * C_p * (t_2 - t_1) = 280 * 4.19 * (50 - 10) = 46928 \text{ кДж}$$

де  $G$  – добова кількість гарячої води,  $C_p$  – теплоємність води,  $t_1, t_2$  – температура холодної та гарячої води відповідно.

Необхідна теплова потужність:

$$N = \frac{Q}{t} = \frac{46928}{12 * 3600} = 1.086 \text{ кВт}$$

де  $t$  – тривалість світлового дня (приймаємо 12 годин).

З урахуванням питомої продуктивності СК, яка дорівнює 100л/(м<sup>2</sup>·доба), необхідна площа СК буде складати 3 м<sup>2</sup>.

Відповідно кількість СК буде:

$$N = \frac{S}{S_{кор}} = 3/1.8 \approx 2 \text{ шт}$$

де  $S_{кор}=1,8\text{м}^2$  – корисна площа.

Дійсна площа СК:

$$S_d = N * S_{кор} = 2 * 1.8 = 3,6 \text{ м}^2$$

Приблизна вартість колектору складає 6000 грн.

### 2.1.1 Розрахунок ємності водонагрівача (ЄВН)

Об'єм ЄВН розрахунковий:

$$V_p = N * S_{кор} * V_{пит} = 2 * 1.8 * 30 = 108 \text{ л,}$$

де  $V_{пит} = 30\text{л/м}^2\text{год}$  – питома витрата теплоносія.

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Об'єм ЄВН дійсний приймемо 300л, з урахуванням добової потреби [5].

Витрати теплоносія:

$$G_p = S_d * V_{\text{пит}} = 3,6 * 30 = 108 \frac{\text{л}}{\text{год}}, \text{ або } 0,03 \text{ кг/с}$$

Середня температура теплоносія:

$$T_{\text{ср}} = \frac{t_{\text{bx}} + t_{\text{бух}}}{2} = \frac{40 + 50}{2} = 50^\circ\text{C}$$

де  $t_{\text{bx}}, t_{\text{бух}}$  - температура до та після СК відповідно.

Згідно технічних характеристик питомий об'єм та тиск теплоносія дорівнює  $0,001011984 \text{ м}^3/\text{кг}$  та  $0,2 \text{ МПа}$  відповідно. Середню швидкість теплоносія приймемо  $\omega = 0,4 \text{ м/с}$ . Тому що вона повинна бути у магістральному трубопроводі у діапазоні  $0,3 \div 0,5 \text{ м/с}$ .

З рівняння нерозривності визначимо внутрішню площу трубопроводу:

$$S_b = \frac{G_p * V}{\omega} = \frac{0,03 * 0,001011984}{0,4} = 0,000075 \text{ м}^2$$

Тепер можемо обчислити розрахунковий діаметр трубопроводу:

$$d_{\text{ВН}} = \sqrt{\frac{4 * S_b}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 0,000075}{3,14}} \approx 9,8 \text{ мм}$$

У каталозі знаходимо найближчий більший діаметр -  $d_{\text{ВН}} = 10 \text{ мм}$ , відповідно для такого внутрішнього діаметру – зовнішній складе  $d_{\text{Н}} = 12 \text{ мм}$ .

Тепер визначимо дійсну швидкість теплоносія:

$$\omega_d = \frac{G_p * V}{\pi * d_{\text{Н}}/4} = \frac{0,03 * 0,001011984}{3,14 * 0,012/4} = 0,382 \text{ м/с}$$

### 2.1.2 Розрахунок об'єму мембранного розширювального баку (МРБ)

Об'єм теплоносія  $V_a$  знаходять з наступного співвідношення:

$$V_a = V_{\text{ТР}} + V_{\text{К}} + V_{\text{ЄВН}}$$

де  $V_{\text{ТР}} = \pi * \frac{d_{\text{ВН}}^2}{4} * l = 1,9625 \text{ л}$  - об'єм магістрального трубопроводу,  $V_{\text{К}} = V_{\text{ТНК}} * N = 2 * 2 = 4 \text{ л}$  – об'єм двох сонячних колекторів,  $V_{\text{ЄВН}} = 8 \text{ л}$  - об'єм теплоносія в ЄВН.

					<i>КНУ КРБ.151.23.04.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

$$V_a = V_{TP} + V_K + V_{EBH} = 1,9625 + 4 + 8 = 13,9625 \text{ л}$$

Вплив термічного розширення на збільшення об'єму:

$$V_{TEP} = V_a * \beta = 13,9625 * 0.035 = 0,489 \text{ л}$$

Вплив термічного розширення на об'єм розширювальної ємності:

$$V_P = V_a * k = 13,9625 * 0.015 = 0,209 \text{ л}$$

Перерахований об'єм МРБ з урахуванням термічного розширення:

$$V_6 = \frac{V_{TEP} + V_P + V_K}{0,5} = \frac{0,489 + 0,209 + 4}{0,5} = 9,396 \text{ л}$$

З каталогу приймаємо найближчий більший – 12л [8].

### 2.1.3 Розрахунок МРБ по контуру нагріваємої води.

Об'єм води у системі:

$$V_{a1} = V_{EBH} + V_T = 300 + 5,91 = 305,91 \text{ л}$$

Вплив термічного розширення на збільшення об'єму:

$$V_{TEP1} = V_{a1} * \beta = 305,91 * 0.035 = 10,71 \text{ л}$$

Вплив термічного розширення на об'єм розширювальної ємності:

$$V_{P1} = V_{a1} * k = 305,91 * 0.015 = 4,589 \text{ л}$$

Перерахований об'єм МРБ (для холодної води) з урахуванням термічного розширення:

$$V_{61} = \frac{V_{TEP1} + V_{P1}}{0,5} = \frac{10,71 + 4,589}{0,5} = 30 \text{ л}$$

З каталогу приймаємо найближчий більший бак з об'ємом – 50л [9].

Для вибору необхідного насосу потрібен розрахунок опору контуру теплоносія. Для цього використовуємо вихідні дані наведені у [12], а для розрахунку гідравлічного опору застосовують методику [9-11].

За даними розрахунками отримали, що при витраті  $Q = 108 \text{ м}^3/\text{год}$ . втрата напору -  $H = 7612,3 \text{ Па}$ .

На рисунку 2.1 наведено залежність питомої вартості сонячної енергоустановки від продуктивності по гарячій воді.

					<i>КНУ КРБ.151.23.04.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

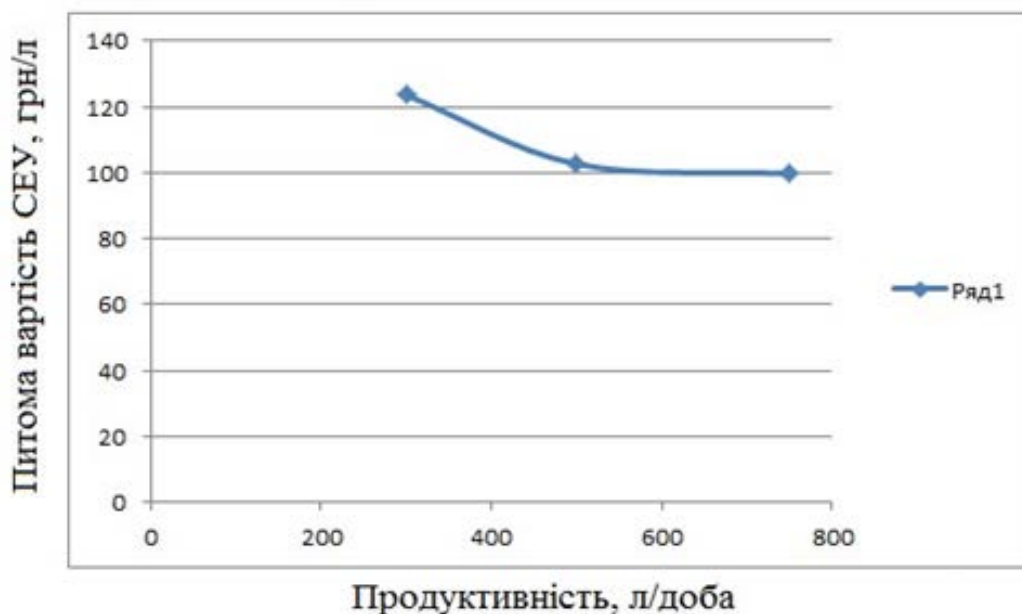
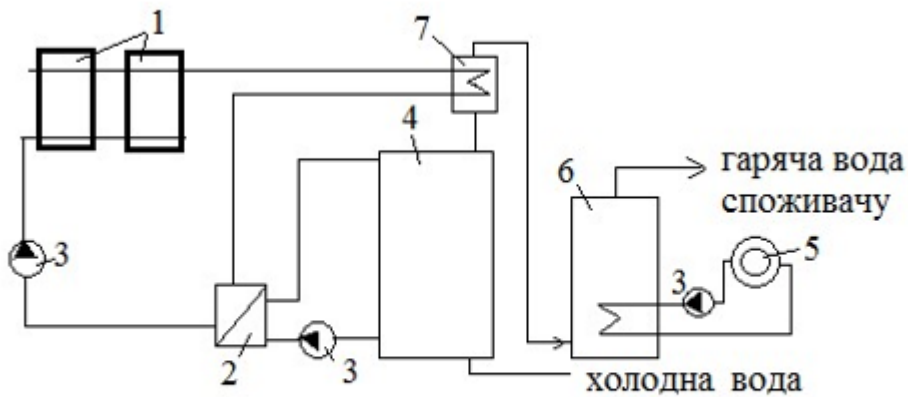


Рисунок 2.1 - Залежність питомої вартості SEУ від продуктивності

Для розрахованого варіанту вартість обладнання для SEУ, що забезпечує 300 л гарячої води за добу складає приблизно 38 тис. грн. Для SEУ потужністю 500л - приблизно 53 тис. грн., а для SEУ на 750 л – 75 тис. грн.

## 2.2 Динаміка споживання гарячої води при проектуванні SEУ

У [10] описується методика, яка використовує бак оперативної витрати (БОВ), зображений на рисунку 2.1, для динамічного забезпечення потреб споживача. Цей бак має значно менший об'єм порівняно з баком-акумулятором або буферною ємністю. Спочатку нагрітий теплоносій з системи кондиціонування проходить через БОВ, де він нагріває воду, після чого переходить до основного акумуляторного баку, що прискорює процес нагрівання води для споживачів без потреби в додаткових регулювальниках. Вища температура води у БОВ забезпечує вищу температуру вихідного теплоносія, що збільшує кількість енергії, переданої до бака-акумулятора.



1 – два сонячних колектори; 2 – швидкісний теплообмінник; 3 – насос; 4 – бак-акумулятор; 5 – котел; 6 – ємкісний водопідігрівач ; 7 – бак оперативної витрати

Рисунок 2.1 – Функціональна схема СЕУ

Тепер важливо розрахувати потрібний об'єм БОВ, щоб він відповідав режиму споживання гарячої води. Основний бак-акумулятор містить достатній об'єм для задоволення добової потреби в воді. Водночас, БОВ має задовольняти окремі потреби протягом дня.

Для цього ми складемо систему рівнянь, згідно з методикою, викладеною в [21], для точного розрахунку ємності бака оперативної витрати.

Теплова потужність БОВ:

$$Q_{\text{БОВ}} = k * F_{\text{БОВ}} * \Delta t_{\text{БОВ}}^{\text{ТН-НВ}} \quad (2.1)$$

де  $k$  - коефіцієнт теплопередачі;  $F_{\text{БОВ}}$  – площа теплообмінника в БОВ;  $\Delta t_{\text{БОВ}}^{\text{ТН-НВ}}$  – середньо логарифмічна різниця температур (LMTD) між теплоносієм і водою, яка нагрівається у баку оперативної витрати (БОВ). Цей показник використовується для розрахунку ефективності теплообміну в теплообмінниках, включаючи ті, що використовуються в БОВ.

Час нагріву води в БОВ:

$$t = \frac{V_{\text{БОВ}} * C_p * \Delta t^{\text{Г-X}}}{Q_{\text{БОВ}}} \quad (2.2)$$

де  $V_{\text{БОВ}}$  – ємність БОВ, л, що при низьких температурах еквівалентна масі води у баці, кг;  $\Delta t^{\text{Г-X}}$  – різниця температур нагріву води у БОВ.

Час необхідний для забезпечення споживача:

					<i>КНУ КРБ.151.23.04.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39



$$t^1 = \frac{V_1 * t}{V_{\text{БОВ}}} \quad (2.3)$$

де  $V_1$  – ємкість води, яка потрібна для споживача протягом часу  $t_1$ .

При розв'язку отриманої системи прийдемо до наступного рівняння:

$$\frac{V_1 * t_1}{V_{\text{БОВ}}} = \frac{V_{\text{БОВ}} * C_p * \Delta t^{\Gamma-X}}{Q_{\text{БОВ}}} \quad (2.4)$$

з отриманого рівняння стає зрозуміло, що задоволення потреб споживача не залежить від об'єму бака оперативної витрати (БОВ), який може бути зменшений, але від дотримання певного співвідношення.

$$\frac{t_1}{V_1} = \frac{C_p * \Delta t^{\Gamma-X}}{Q_{\text{БОВ}}} \quad (2.5)$$

отже залежить від теплової потужності БОВ.

Тепловий вихід бойлера обігріву води (БОВ) визначається витратами теплоносія, який нагрівається за допомогою сонячних колекторів. Іншими словами, ефективність БОВ залежить від ефективності сонячної енергетичної установки (СЕУ).

Таким чином, алгоритм урахування споживчого режиму наступний: визначається необхідна потужність СЕУ для кожного періоду споживання:

$$Q_{\text{СУ},i} = G_i * C_p * \Delta t_{\Gamma-X}$$

де  $G_i$  – витрати гарячої води для і-го періоду споживання;  $\Delta t_{\Gamma-X}$  – температура нагріву холодної води у БОВ.

Встановлюється необхідна площа та кількість сонячних колекторів, щоб задовольнити потреби споживання у і-му періоді. За різницею температур  $\Delta t_{\text{ТН}} = 20^\circ\text{C}$  визначаємо обсяг витрати теплоносія для кожного періоду:

$$G_{\text{ТН},i} = \frac{Q_{\text{БОВ},i}}{C_p \Delta t_{\text{ТН}}} = \frac{Q_{\text{БОВ},i}}{4,19 * 20}$$

З урахуванням розрахованих питомих витрат теплоносія на  $1 \text{ м}^2$  сонячного колектору ( $V_{\text{ПИТ}} = 3050 \text{ л/м}^2\text{год}$ ), визначається необхідна кількість та площа сонячних колекторів:

					<i>КНУ КРБ.151.23.04.02.ПЗ</i>	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F_{СК,i} = \frac{G_{ТН,i}}{V_{Пит}} \quad N_{кол,i} = \frac{F_{СК}}{f_{кол}}$$

де  $f_{кол}$  – площа одного колекторе.

Всі потреби будуть повністю задоволені за умови використання найвищої розрахованої потужності.

Отже, для забезпечення необхідного гарячого водопостачання потрібна відповідна площа сонячних колекторів та достатня потужність теплообмінника в баку оперативної витрати (БОВ), що визначається площею теплообміну. Існує також альтернативний варіант заміни БОВ на швидкісний теплообмінник, що часто виявляється більш економічним рішенням.

### 2.3 Розрахунок та моделювання системи гарячого альтернативного водопостачання

Для визначення обсягу електроенергії, витраченої на нагрівання води, було застосовано наступну формулу:

$$W_B = \frac{C_B * P_B * V_{Г.В.} * (Q_B - Q_{ВП}) * n_{ж}}{3,6 \times 10^6}$$

де  $C_B$ - питома теплоємність води, Дж/(кг·°C);  $V_{Г.В.}$ – об'єм гарячої води необхідний на одну особу/день, л;  $P_B$ – густина води, кг/м<sup>3</sup>;  $Q_{ВП}$  – температура води у водопроводі, °C;  $Q_B$ – бажана температура, °C;  $n_{ж}$  – кількість жителів.

На рисунку 2.2 наведені наступні скорочення: ПН – перетворювачі напруги живлення, ВЕУ – вітроенергетична установка, АК - акумуляторна батарея, ЦМЖ – централізована мережа електроживлення, СЕУ- сонячна енергоустановка.

Встановимо якісні взаємозв'язки між об'ємом виробленої гарячої води та факторами, що впливають на цей процес.

					<i>КНУ КРБ.151.23.04.02.ПЗ</i>	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

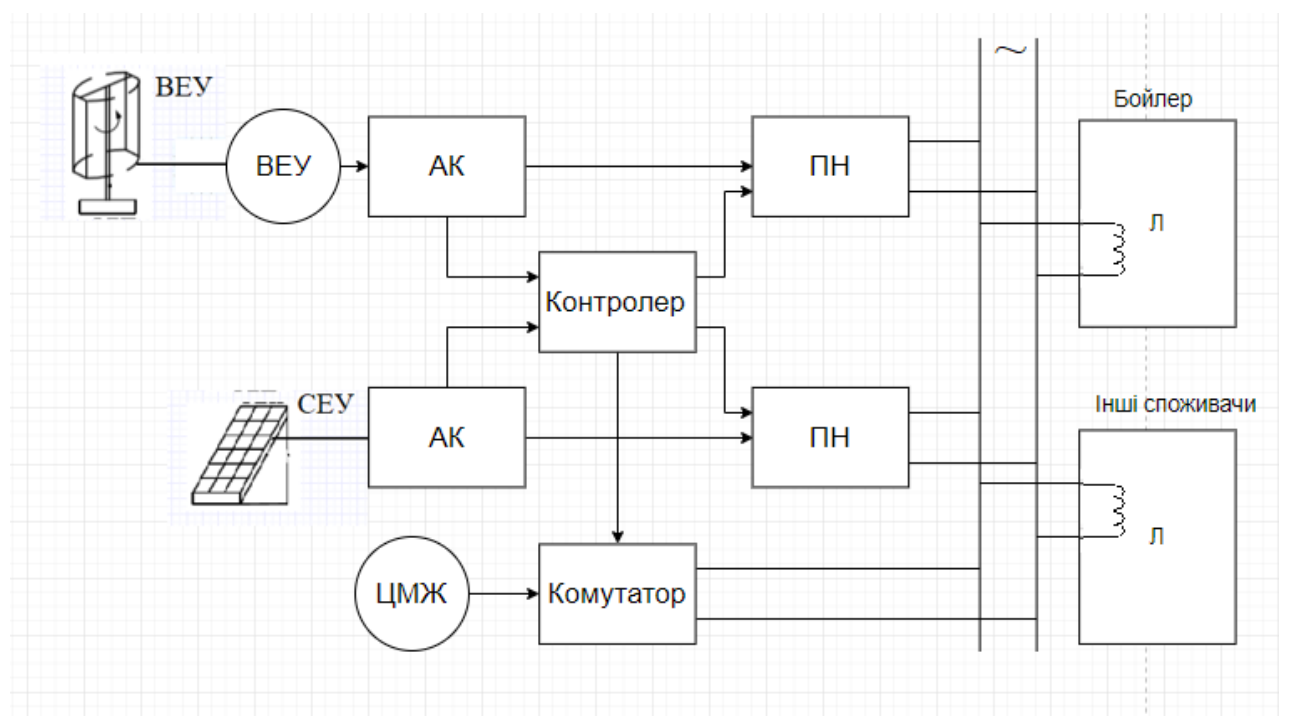


Рисунок 2.2 – Функціональна схема ВССЕ

Залежність об'єму підготовленої гарячої води від зовнішніх та внутрішніх факторів представлена у формі [17]:

$$V = f(\eta, S, \tau, \varphi, Q, t_1, t_2, \omega, X_m, P, H, J, T)$$

де  $\eta$  – ККД системи, %;  $\tau$  – проміжок часу, год;  $S$  – площа колекторів,  $m^2$ ;  $Q$  – інтенсивність сонячної радіації,  $Вт/m^2$ ;  $\varphi$  – кут нахилу колекторів,  $^\circ$ ;  $X_m$  – хмарність, %;  $\omega$  – широта місцевості;  $t_1$  – температура холодної води,  $^\circ C$ ;  $t_2$  – температура гарячої води,  $^\circ C$ ;  $P$  – тепловтрати,  $Вт/m^2$ ;  $J$  – наведена інтенсивність поглинутої сонячної радіації,  $Вт/m^2$ ;  $H$  – чистота вакуумних трубок;  $T$  – кількість градусів нагріву об'єму 450 л води за годину.

Аналіз різних методів обчислення систем сонячного гарячого водопостачання дозволив вибрати найбільш обґрунтований підхід до моделювання [18].

Інтенсивність поглинутої сонячної радіації розраховується за наступною формулою [19]:

$$J = 0,96 * (P_s \theta_s I_s + P_d \theta_d I_d) \quad (2.6)$$

де  $P_s, P_d$  – коефіцієнти, що враховують положення сонячного колектора для абсорбції прямої та розсіяної сонячної радіації, відіграють ключову роль у ефективності використання сонячної енергії.

$$P_d = \cos^2 b/2 [2], P_s = 0,81 [19] \text{ для центру України}$$

$I_s, I_d$  - інтенсивність прямої та розсіяної сонячної радіації, що падає на горизонтальну поверхню, Вт/м<sup>2</sup>

$Q_s, Q_d$  – наведені оптичні характеристики колектора для прямої та розсіяної радіації відповідно.

$$\text{В нашому випадку, } Q_s = 0,63 \text{ і } Q_d = 0,42.$$

Для визначення загальної кількості енергії, поглинутої системою колекторів у визначений момент часу  $i$ , необхідно значення інтенсивності сонячної радіації, поглинутої у цей час, помножити на загальну площу  $S$  колекторів.

Для обрахунку кількості градусів, на які може нагрітися 450 літрів води в кожен час доби, використовуємо наступне рівняння: визначаємо кількість теплової енергії, необхідної для підвищення температури води, розраховуючи:

$$T = \frac{Q_{\text{заг}}}{450 * 1,16} \quad (2.7)$$

де  $Q_{\text{заг}}$  - загальна поглинута енергія системою колекторів на кожен часовий інтервал; 450 літрів - об'єм води; 1,16 Вт - енергія, необхідна для нагріву одного літра води на один градус Цельсія.

Або в узагальненому вигляді:

$$T_i = \frac{(0,96 * (0,81 * 0,63 * I_{si} + 0,82 * 0,42 * I_{di}) * 7,5)}{450 * 1,16} \quad (2.8)$$

Для визначення кінцевої температури змішаної води після додавання холодної води до системи з гарячою водою використовується формула теплового балансу.

					<i>КНУ КРБ.151.23.04.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Таблиця 2.1 - Сонячна радіація, що падає на горизонтальну поверхню в липні, Вт/м<sup>2</sup>[7]

Сонячна радіація, Вт/м <sup>2</sup>		Час доби
розсіяна	пряма	
0	0	1-2
0	0	2-3
0	0	3-4
8	15	4-5
49	91	5-6
84	195	6-7
99	349	7-8
112	502	8-9
126	607	9-10
128	701	10-11
133	747	11-12
133	747	12-13
128	701	13-14
126	607	14-15
112	502	15-16
99	349	16-17
84	195	17-18
49	91	18-19
8	15	19-20
0	0	20-21
0	0	21-22
0	0	22-23
0	0	23-24

Ця формула враховує об'єм і початкові температури обох видів води:

$$T_{\text{зміш}} = \frac{V_{\Gamma}T_{\Gamma} + V_{\text{X}}T_{\text{X}}}{V_{\Gamma} + V_{\text{X}}} \quad (2.9)$$

де:  $T_{\text{зміш}}$  - температура змішаної води,

$V_{\Gamma}, T_{\Gamma}$  - об'єм і температура гарячої води відповідно,

$V_{\text{X}}T_{\text{X}}$  - об'єм і температура холодної води відповідно.

Ця формула дозволяє розрахувати температуру води після змішування, враховуючи вклад теплової енергії від кожного компонента.

Програма для математичного моделювання об'єкта зазвичай представлена у вигляді блок-схеми, яка наглядно демонструє послідовність дій, умовні переходи та взаємодії між різними частинами системи. Така схема допомагає зрозуміти алгоритм роботи програми та легше відслідковувати логіку виконання різних операцій і обробку даних.

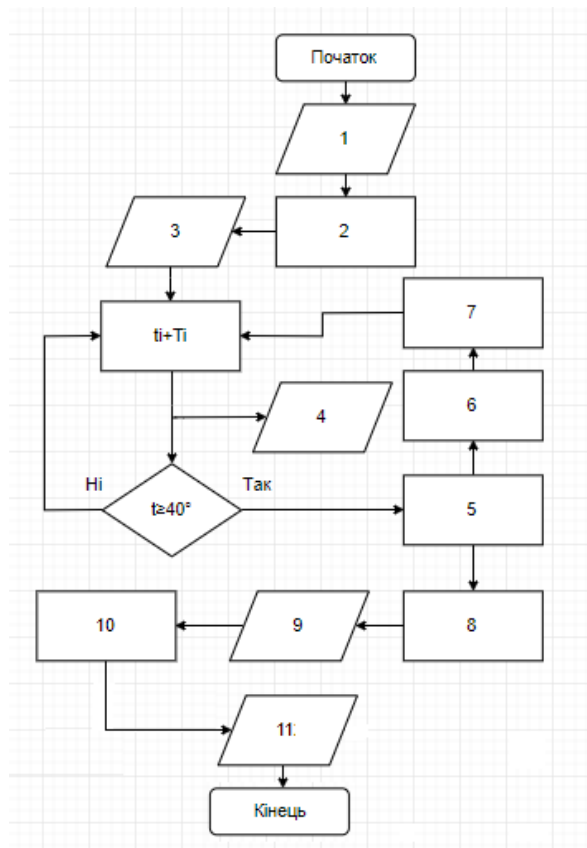


Рисунок 2.3 – Алгоритм обліку гарячої води при використанні СЕУ

Ця блок-схема дозволяє структуровано підійти до процесу моделювання і забезпечує чіткий порядок дій для визначення температурних параметрів системи нагрівання води.

1. Введення початкових даних:

- Ввести дані з таблиці 2.1.
- Зазначити площу системи колекторів.
- Ввести коефіцієнти  $P_s$ ,  $P_d$ ,  $Q_s$  і  $Q_d$  (коефіцієнти прямої та розсіяної радіації, а також співвідношення цих радіацій у вигляді кількості енергії).

2. Розрахунок температури за формулою (2.8):

- Обчислення значення температури  $T_i$  для кожної години доби на основі введених даних.

3. Створення таблиці нагрівання води:

- Розрахунок температурних показників води в баці-акумуляторі (накопичувачі) для кожної години доби.

4. Таблиця зміни фактичної температури води:

- Запис даних про фактичні температурні зміни в баці-акумуляторі протягом доби.

5. Відбір води:

- Відбір води за обраним режимом використання, що впливає на кінцеву температуру води у системі.

6. Додавання холодної води до баку-акумулятору:

- До баку додається холодна вода з температурою  $20^{\circ}\text{C}$  у кількості, що дорівнює об'єму відібраної гарячої води.

7. Розрахунок температури змішаної води:

- Використання формули (2.9) для визначення кінцевої температури змішаної води в баку після додавання холодної води.

8. Розрахунок кількості води, що відбирається за добу:

- Множення кількості відборів за добу на об'єм води, відібраної за один раз.

9. Створення таблиці об'єму відібраної води:

- Створення таблиці, що показує об'єм відібраної води за день за різними режимами відбору (100%, 75%, 50%, 25%).

10. Візуалізація даних у вигляді графіка:

- Створення графіка (наприклад, рис. 2.8), який ілюструє залежність об'єму відібраної води від обраного режиму відбору.

11. Виведення формули залежності:

- Розробка математичної формули (приклад формули 2.10), що описує залежність об'єму відібраної води від режиму відбору.

За розробленим алгоритмом було виконано імітаційне моделювання. Розрахунки включають аналіз змін температури води в баку-акумуляторі при

					<i>КНУ КРБ.151.23.04.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

різних режимах відбору води та визначення обсягу води, який можна використовувати за добу.

На графіках, представлених на рисунках 2.4 - 2.7, ілюструються зміни температури води у баці-акумуляторі при відборі 100%, 75%, 50% та 25% від загального об'єму води відповідно. Ці графіки демонструють, як температура води варіюється залежно від частки відбору води протягом доби.

Використовуючи отримані дані з таблиць змін температури води за добу та графіків, було створено таблицю, яка показує об'єм відібраної води (л/доба) при різних обраних режимах відбору. Зокрема, при відборі 25% води з бака за годину при досягненні температури 40 °С можливий мінімальний об'єм використаної води складає 787,5 літрів на добу. У той час, коли при відборі 75% води можливо використати найбільший об'єм – 1012,5 літрів на добу. Ці розрахунки важливі для оптимізації використання ресурсів та планування потреби в гарячій воді.

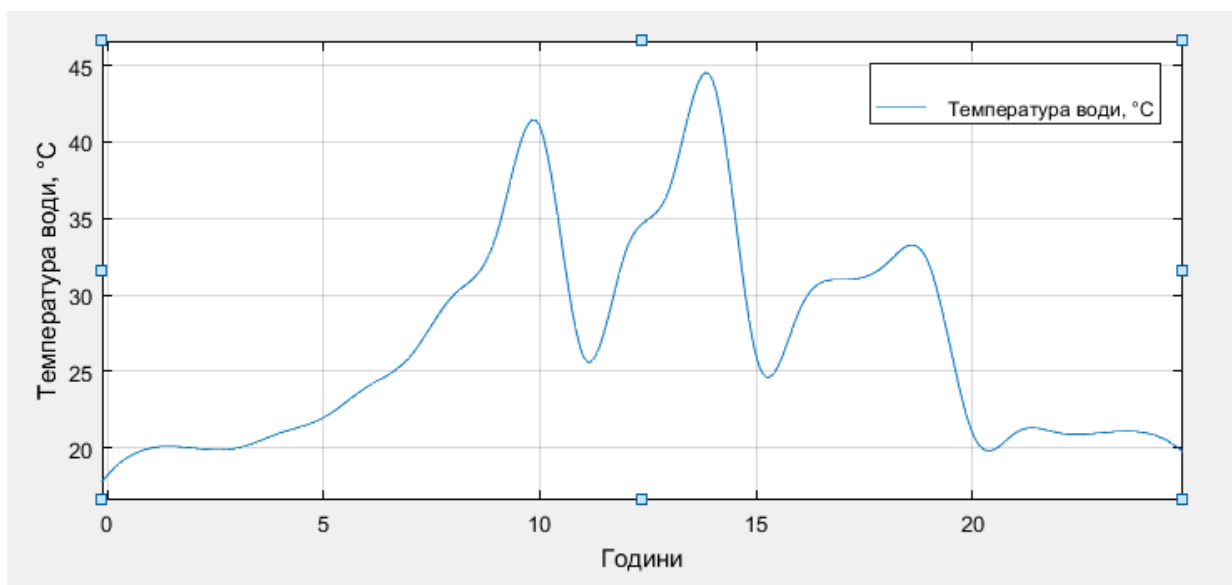


Рисунок 2.4 - Зміна температури води в баці-акумуляторі (100 % режим відбору)



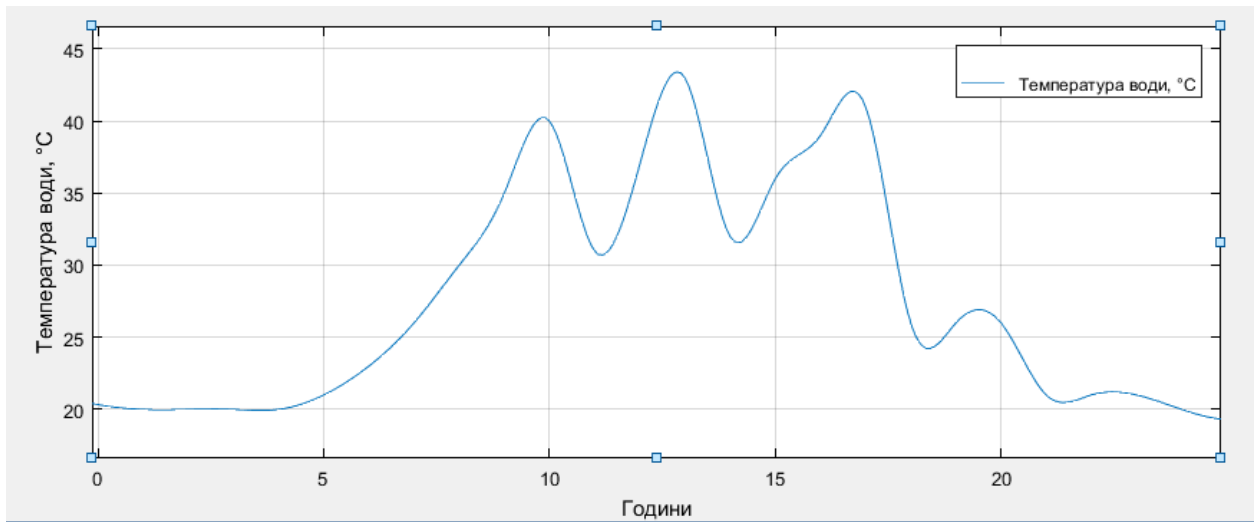


Рисунок 2.5 - Зміна температури води в баці-акумуляторі (75%відбору)

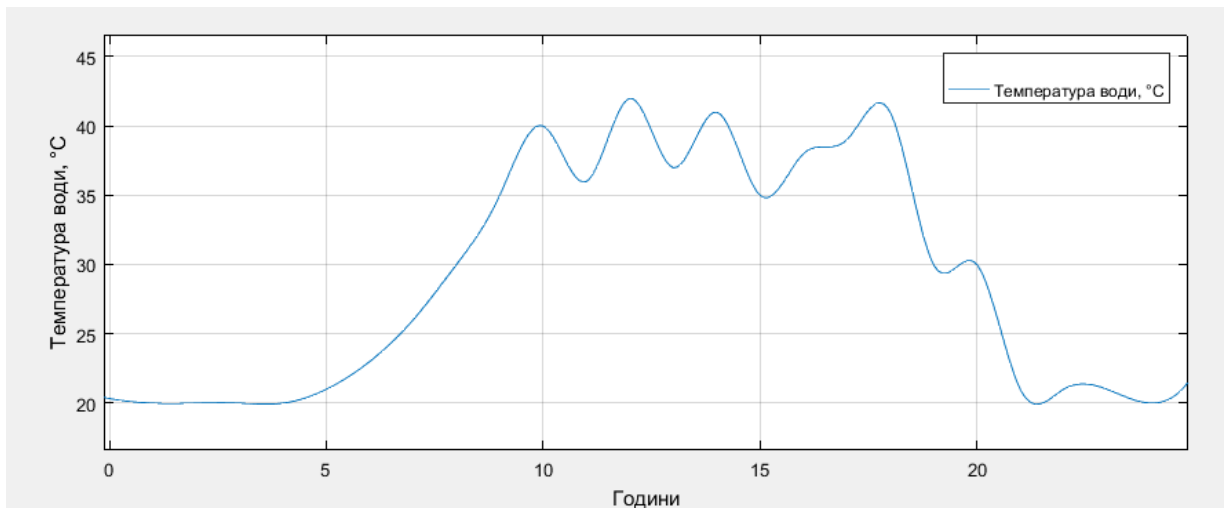


Рисунок 2.6 - Зміна температури води в баці-акумуляторі (50 % відбору)

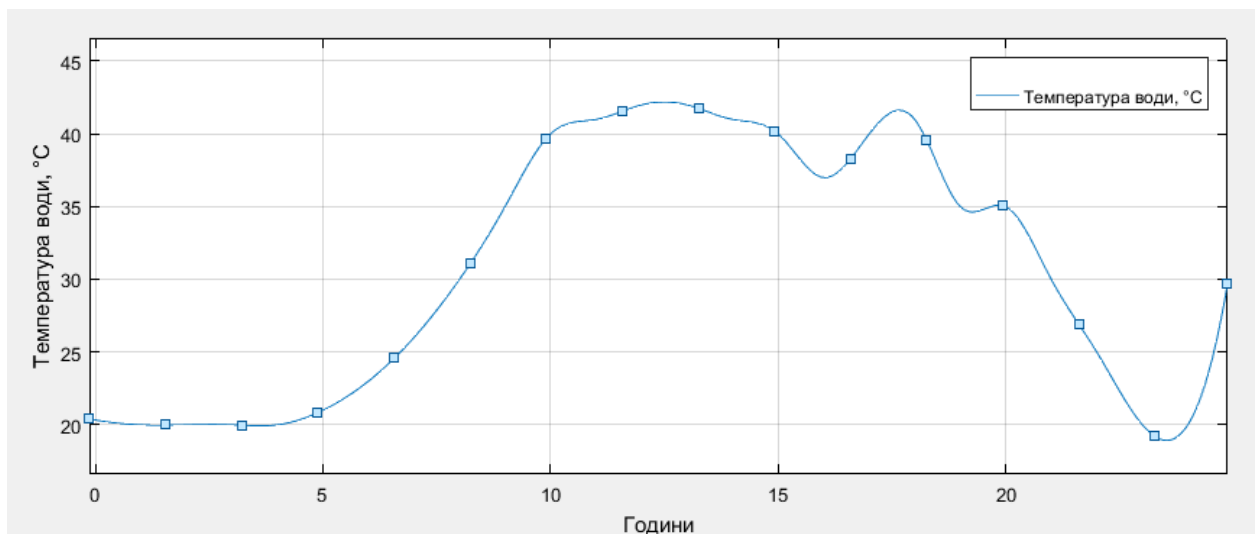


Рисунок 2.7 - Зміна температури води в баці-акумуляторі (25 % відбору)

Таблиця 2.2 - Об'єм відібраної води та режим роботи за годину

Режим відбору за годину, %	Об'єм відібраної води за добу, л
100	900
75	1012,5
50	900
25	787,5

Далі, використовуючи дані з таблиці 2.2, було створено графік, який показує залежність об'єму підігрітої води від часу або інших параметрів. На цьому графіку була проведена апроксимація кривої для знаходження математичного виразу, який найкраще описує спостережувані дані.

Аналітичне представлення графічної прямої має вигляд математичної формули, зазвичай у формі лінійної, поліноміальної чи експоненціальної функції, залежно від характеру даних та апроксимації.

$$y = -0,0024x^3 + 0,36x^2 - 12x + 900 \quad (2.10)$$

Ця формула використовується для точного прогнозування або розрахунку об'єму підігрітої води за різними умовами і дозволяє забезпечити краще розуміння динаміки системи підігріву води. Це, в свою чергу, сприяє оптимізації роботи системи та плануванню використання енергійних ресурсів.

Середньоквадратичне відхилення, яке дорівнює одиниці, вказує на те, що модель має досить високу точність прогнозування в контексті заданих даних. Це означає, що модель адекватно описує залежності між об'ємом відібраної води і відсотком її відбору.

Створена математична модель дозволяє спрогнозувати, скільки води можна відібрати за добу при різних режимах відбору. Це корисно для планування використання ресурсів та ефективного управління системою гарячого водопостачання.

Перевірка працездатності моделі включає тестування з проміжними значеннями, які не використовувалися під час побудови моделі, щоб підтвердити її універсальність та точність. Наприклад, за 60-відсоткового

відбору, підставивши у формулу (6) значення "60" замість "x", отримуємо прогнозований об'єм води, який можна відібрати за добу, а саме – 957,6 літрів.

Цей підхід дозволяє визначити, наскільки точно модель може прогнозувати результати при різних умовах, що є ключовим для її подальшого використання та вдосконалення.

Отже, використання розробленої формули дозволяє не тільки прогнозувати об'єм води, який можна відібрати за добу при різних режимах, але й знайти оптимальний режим відбору для максимізації доступного об'єму гарячої води. Визначення такого режиму є особливо цінним для планування ефективного використання енергетичних ресурсів сонячних колекторів.

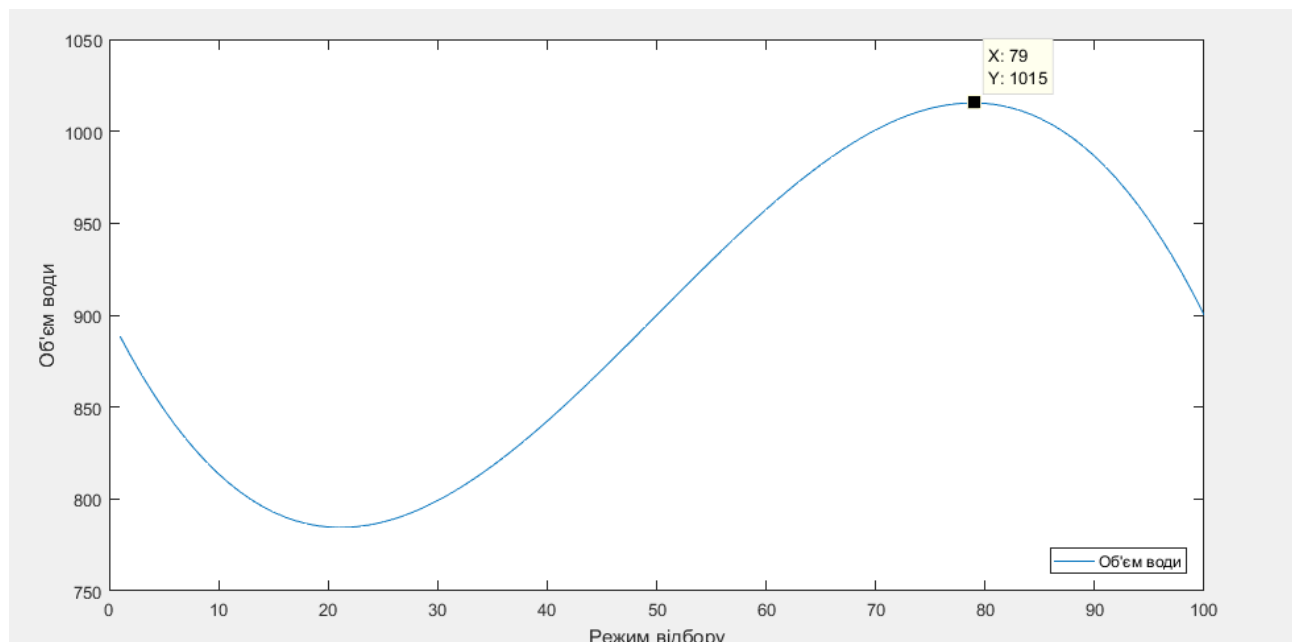


Рисунок 2.8 - Залежність об'єму відібраної води від режиму відбору

Результати, здобуті шляхом перебору різних варіантів, показують, що при режимі відбору в 79% можна досягнути нагрівання 1015,5 літрів води за добу, що є максимальним можливим об'ємом за даними умовами. Це свідчить про те, що використання аналітичних методів і математичного моделювання є дієвим інструментом у підвищенні ефективності систем гарячого водопостачання на базі відновлювальних джерел енергії.

## 2.4 Моделювання системи керування ВЕУ

Функціональна схема горизонтально-пропелерної вітряної енергетичної установки (ВЕУ) з поворотними лопатями, яка представлена на рисунку 2.9, демонструє, як різні компоненти системи взаємодіють для ефективної роботи установки. Схема розглядає об'єкт регулювання з точки зору вхід-вихід, що дозволяє зрозуміти послідовність обробки енергії від вітру до електричної енергії.

Основні блоки функціональної схеми включають:

- Регулюючий щабель: відповідає за управління кутом атаки лопатей вітряка, що дозволяє оптимізувати ефективність захоплення вітрової енергії в залежності від швидкості вітру.
- Блок поворотних лопатей: складається з механізму, що дозволяє змінювати положення лопатей. Ця зміна положення впливає на обертаючий момент і загальну ефективність вітряка при різних режимах роботи.
- Блок вироблення сумарного обертаючого моменту - ротор ВЕУ: серце вітряка, який перетворює кінетичну енергію вітру в механічну енергію обертання. Ротор складається з осі та приєднаних до неї лопатей.
- Блок електричного генератора: приймає механічну енергію від ротора і перетворює її в електричну енергію, яка потім може бути використана для подачі в мережу або збереження.

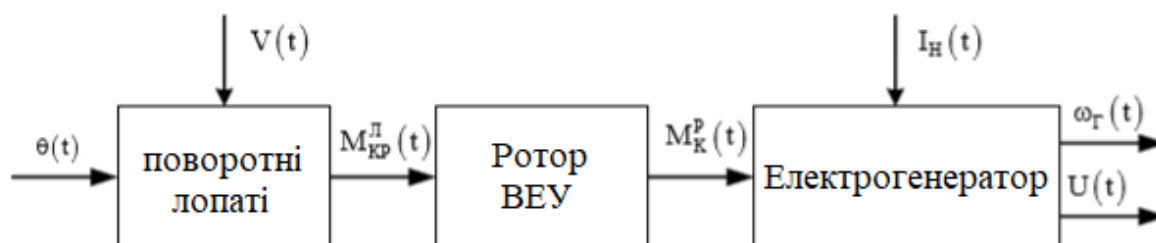


Рисунок 2.9 - Функціональна схема об'єкта регулювання ВЕУ

На рисунку 2.9 прийняті наступні позначення:  $V(t)$  – швидкість вітру;  $\omega_{Г}(t)$  – кутова швидкість обертання ротора електрогенератора;  $\theta(t)$  - кут нахилу

					<i>КНУ КРБ.151.23.04.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

лопаті відносно *вісі* маха;  $M_{кр}^l(t)$  – обертаючий момент, створений лопаттю;  $I_H(t)$  – струм навантаження електрогенератора;  $M_{кр}^p(t)$  – сумарний обертаючий момент, створений ротором ВЕУ;  $U(t)$  - напруга на виході генератора.

Ця схема регулювання забезпечує детальне розуміння кожного етапу перетворення енергії від початкової взаємодії з вітром до виробництва електричної енергії, важлива для ефективного проектування і оптимізації роботи вітряних енергетичних установок.

Відповідно до [11], момент створений вітровим потоком на роторі

$$M_{кр}^p(t) = \frac{C_p}{\lambda} * \frac{\pi \rho}{2} * R^3 * V^3 \quad (2.10)$$

де  $\lambda$  – швидкохідність ротора;  $C_p$  - коефіцієнт потужності вітру;  $R$  - радіус ротора ВЕУ;  $\rho$ - щільність повітря;  $V$  - швидкість вітру.

Швидкохідність залежить від типу ротора:

$$\lambda = \frac{\omega * R}{V} \quad (2.11)$$

де  $\omega$  - кутова швидкість обертання ротора ВЕУ.

Коефіцієнт використання енергії вітру знаходиться в істотній нелінійній залежності від швидкохідності та кута лопаті

$$C_p = f(\lambda, \theta), \quad (2.12)$$

Для аналізу ефективності використання вітрової енергії ВЕУ важливо звернути увагу на коефіцієнт використання вітру  $C_p$ , який є ключовим показником ефективності вітряної турбіни. Коефіцієнт  $C_p$  визначає, яку частку від потенційної енергії вітру вітряна турбіна може перетворити на електричну енергію.

Згідно з дослідженням, коефіцієнт використання вітру  $C_p$  при різних кутах відхилення осі обертання вітроколеса від напрямку вітру змінюється пропорційно кубу косинуса кута відхилення. Це означає, що:

$$C_p = C_{p0} \cos^3 \theta \quad (2.13)$$

де:  $C_{p0}$  - коефіцієнт використання вітру при відсутності відхилення (коли вісь обертання вітроколеса точно зорієнтована проти вітру),  $\theta$  - кут відхилення осі обертання від напрямку вітрового потоку.

Цей вираз важливий для розуміння, як зміна орієнтації вітряної турбіни відносно вітру впливає на її продуктивність. При збільшенні кута відхилення ефективність вітроколеса знижується, що має враховуватися при проектуванні і розміщенні вітрогенераторів, а також при розробці систем автоматичного контролю для оптимізації кута нахилу лопатей та орієнтації вітроколеса. Оптимізація  $C_p$  є критичною для підвищення загальної ефективності вітроенергетичних систем. Інженери та проектувальники можуть використовувати цей вираз для встановлення оптимальних кутів нахилу лопатей і напрямку вітроколеса в реальному часі для максимізації вироблення енергії при змінних вітрових умовах.,

Тоді вираз (2.10) з урахуванням (2.11) і (2.13) прийме вид:

$$M_k^p = \frac{\pi\rho}{2} * R^2 \frac{V^4}{\omega} * C_{p0} \cos\theta^3$$

або (2.14)

$$M_k^p = K_p \frac{V^4}{\omega} C_{p0} \cos\theta^3$$

де  $K_p$  - постійний коефіцієнт для даної конструкції ВЕУ.

З урахуванням класичних законів механіки, рівняння динаміки ротора ВЕУ можна описати наступним виразом

$$I_{\text{Пр}} \frac{d\omega}{dt} = M_k^p - M_c - M_a - M_{Tp} \quad (2.15)$$

де  $M_a$  - аеродинамічний момент опору,  $M_c$  - момент опору електрогенератора.

Оскільки сумарний момент  $M_a$  і  $M_{Tp}$  набагато менше моменту  $M_c$ , який обумовлений електрогенератором - вираз (2.15) можна записати наступним чином:

$$I_{\text{Пр}} \frac{d\omega}{dt} = M_k^p - M_c \quad (2.16)$$

					<i>КНУ КРБ.151.23.04.02.ПЗ</i>	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Використання різних типів електричних генераторів у системах відновлювальної енергії, таких як вітрогенератори, вимагає глибокого розуміння їх динаміки та взаємодії з навантаженням. Розглядаючи різні типи генераторів (постійного та змінного струму), важливо звернути увагу на їх характеристики та особливості управління.

Основні типи генераторів:

- Генератори постійного струму: Часто використовуються у системах, де потрібен стабільний вихідний струм без залежності від змін навантаження.

- Синхронні генератори змінного струму: Підходять для великих енергосистем, здатні синхронізуватися з електричною мережею, вимагають ретельного управління кутовою швидкістю для стабільної роботи.

- Асинхронні генератори: Часто використовуються для простих установок вітроенергії завдяки меншим вимогам до обслуговування і здатності працювати при різних швидкостях обертання.

- Вентильні генератори: Ці генератори використовують сучасні електронні компоненти для поліпшення регулювання вихідної потужності і зазвичай застосовуються в більш складних системах, таких як високоефективні вітряні турбіни.

Вплив на момент опору генератора:

Момент опору генератора, який є функцією кутової швидкості обертання ротора і навантаження, має ключове значення для управління генераторами у вітрогенераторних системах. Цей момент впливає на здатність генератора ефективно виробляти енергію при різних умовах роботи. Він може бути представлений такою формулою:

$$M_c = M_c(P, \omega) \quad (2.17)$$

або

$$M_c = M_c(I_H, \omega). \quad (2.18)$$

Таким чином можна записати, що момент опору електрогенератора в загальному випадку є функцією двох основних змінних

Управління генератором:

					<i>КНУ КРБ.151.23.04.02.ПЗ</i>	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ефективне управління генератором залежить від стабілізації кутової швидкості, що може вимагати застосування систем автоматичного регулювання, таких як PID-контролери, або більш складних систем керування, що базуються на алгоритмах штучного інтелекту чи машинного навчання. Оптимізація параметрів управління є важливою для забезпечення максимальної продуктивності і мінімізації зносу обладнання.

Якщо маємо справу з малими збуреннями навантаження електричного генератора та швидкості вітру і відповідно з малими коливаннями ВЕУ навколо положення рівноваги:

$$\begin{cases} \omega = \omega_0 + \Delta\omega; \\ V = V_0 + \Delta V \quad \theta = \theta_0 + \Delta\theta; \\ I_H = I_{H0} + \Delta I; \\ M_k^p = M_k^p(V, \omega, \theta) - M_{k0}^p(V_0, \omega_0, \theta_0); \\ \Delta M_c = M_c(I_H, \omega) - M_{c0}(I_{H0}, \omega_0). \end{cases} \quad (2.19)$$

Далі, з урахуванням стану рівноваги  $M_{k0}^p = M_{c0}$  та представлення функції рядом Тейлора по відповідним змінним, обмежимося тільки першими ступенями, остаточно отримаємо:

$$\Delta M_k^p = \frac{dM_k^p}{dV} \Delta V + \frac{dM_k^p}{d\omega} \Delta\omega + \frac{dM_k^p}{d\theta} \Delta\theta; \quad (2.20)$$

$$\Delta M_c = \frac{d\Delta M_c}{dI_H} \Delta I_H + \frac{d\Delta M_c}{d\omega} \Delta\omega. \quad (2.21)$$

На підставі виразів (2.5 - 2.6), (2.10 – 2.11) отримаємо:

$$T\Delta\bar{\omega} + \Delta\bar{\omega} = R_1\Delta\bar{V} + R_2\Delta\bar{\theta} + R_3\Delta\bar{I}_H \quad (2.22)$$

де

$$T = \frac{I_{pp} * \omega_0^2}{K_p * V_0^4 * C_{p0} * \cos^3 \theta_0 + \frac{dM_c}{d\omega} \omega_0^2}$$

$$R_1 = \frac{4 * K_p * C_{p0} * \theta_0}{K_p * C_{p0} * \cos^3 \theta_0 + \frac{dM_c}{d\omega} \omega_0^2}$$

					<i>КНУ КРБ.151.23.04.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55



$$R_2 = \frac{3 * C_{p0} * \theta_0 * \cos^2 \theta_0 * \sin \theta_0}{K_p * C_{p0} * \cos^3 \theta_0 + \frac{dM_c w_0^2}{d\omega V_0^4}}$$

$$R_3 = \frac{\frac{dM_c I_H}{dI_H V_0^4}}{K_p * C_{p0} * \cos^3 \theta_0 + \frac{dM_c w_0^2}{d\omega V_0^4}}$$

$$\overline{\Delta \omega} = \frac{\Delta \omega}{\omega_0}; \overline{\Delta V} = \frac{\Delta V}{V_0}; \overline{\Delta \theta} = \frac{\Delta \theta}{\theta_0}.$$

Застосовувавши перетворення Лапласа до виразу (2.11) при початкових нульових умовах ми отримаємо рівняння динаміки та структуру об'єкта регулювання (рис. 2.10):

$$(T_s + 1)\overline{\Delta \omega}(s) = R_1\overline{\Delta V}(s) + R_2\overline{\Delta \theta}(s) + R_3\overline{\Delta I}(s) \quad (2.23)$$

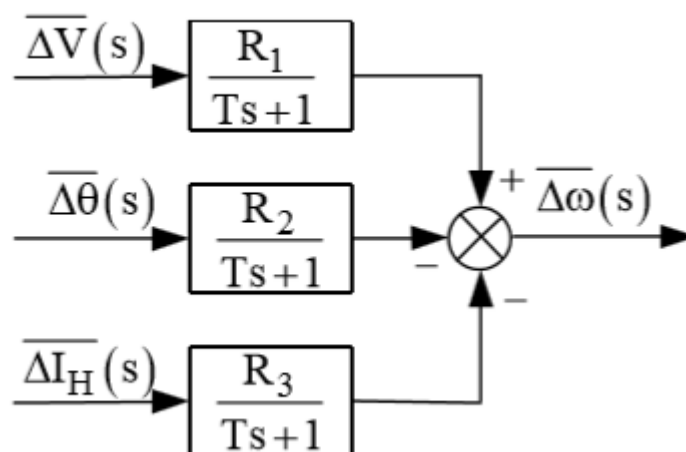


Рисунок 2.10 - Структурна схема об'єкту керування ВЕУ

Розглядаючи систему керування трилопатевою вітряною електростанцією (ВЕУ) з горизонтальною віссю обертання потужністю 6 кВт, можна виділити основні параметри та коефіцієнти, які впливають на її реалізацію та моделювання в MatLAB/Simulink.

Основні параметри ВЕУ:

- Радіус ротора (R): 24 метри. Цей радіус забезпечує необхідну площу захоплення вітру, щоб генерувати вказану потужність при робочій швидкості вітру 8 м/с.

- Початковий кут ходу лопатей ( $\theta_0$ ): 10 градусів. Встановлення кута ходу лопатей є критичним для оптимального захоплення енергії вітру.

- Швидкохідність ( $C_{P0}$ ): 0,45. Це значення показує ефективність перетворення енергії вітру в механічну енергію обертання ротора.

- Кутова швидкість ( $\omega_0$ ): 2.7 рад/с. Вказує на швидкість обертання вітроколеса, необхідну для досягнення оптимальної потужності при заданих умовах.

Модельні коефіцієнти:

- R1, R2, R3: Коефіцієнти, що визначають поведінку вітроколеса під час різних умов роботи. Ці коефіцієнти використовуються для моделювання динамічної відповіді на зміни вітрових умов та навантаження.

-  $R1 = 1$

-  $R2 = 0.016$

-  $R3 = 0.24$

- Постійна часу (T): 0.3 секунди. Це значення характеризує швидкість реакції системи на зміну вітрових умов.

На рис. 2.11 наведено модель системи в середовищі MatLAB. Для створення реалістичної моделі вітряної електростанції (ВЕУ) в MatLAB/Simulink, блоки Step1-Step5, Sine Wave, Gain3 та Constant1 відіграють важливу роль у моделюванні вітрових умов. Ось як кожен з цих блоків використовується для імітації різних аспектів вітрового потоку:

– Блоки Step1-Step5: Ці блоки використовуються для генерації стрибкоподібних змін у вітровому потоці, які імітують раптові пориви вітру або швидкі зміни вітрових умов. Кожен блок може бути налаштований на генерацію стрибка у визначений момент часу з певною амплітудою, що дозволяє тестувати реакцію ВЕУ на ці зміни.

– Блок Sine Wave: Цей блок використовується для моделювання синусоїдальної динамічної складової вітрового потоку. Він імітує більш регулярні та передбачувані коливання в швидкості вітру, такі як ті, що виникають через природні метеорологічні умови.

					<i>КНУ КРБ.151.23.04.02.ПЗ</i>	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– Блок Gain3: Задає коефіцієнт підсилення для синусоїдального сигналу від блоку Sine Wave, регулюючи тим самим вплив динамічної складової на загальну модель вітрових умов. Цей блок дозволяє змінювати інтенсивність синусоїдальних коливань вітру для оцінки стійкості ВЕУ до змін швидкості вітру.

– Блок Constant1: Встановлює постійну складову вітрового потоку, яка відображає середню швидкість вітру, яка не змінюється протягом моделювання. Цей блок допомагає визначити базовий рівень вітрової активності, на якому накладаються динамічні та стрибкоподібні зміни, симульовані іншими блоками.

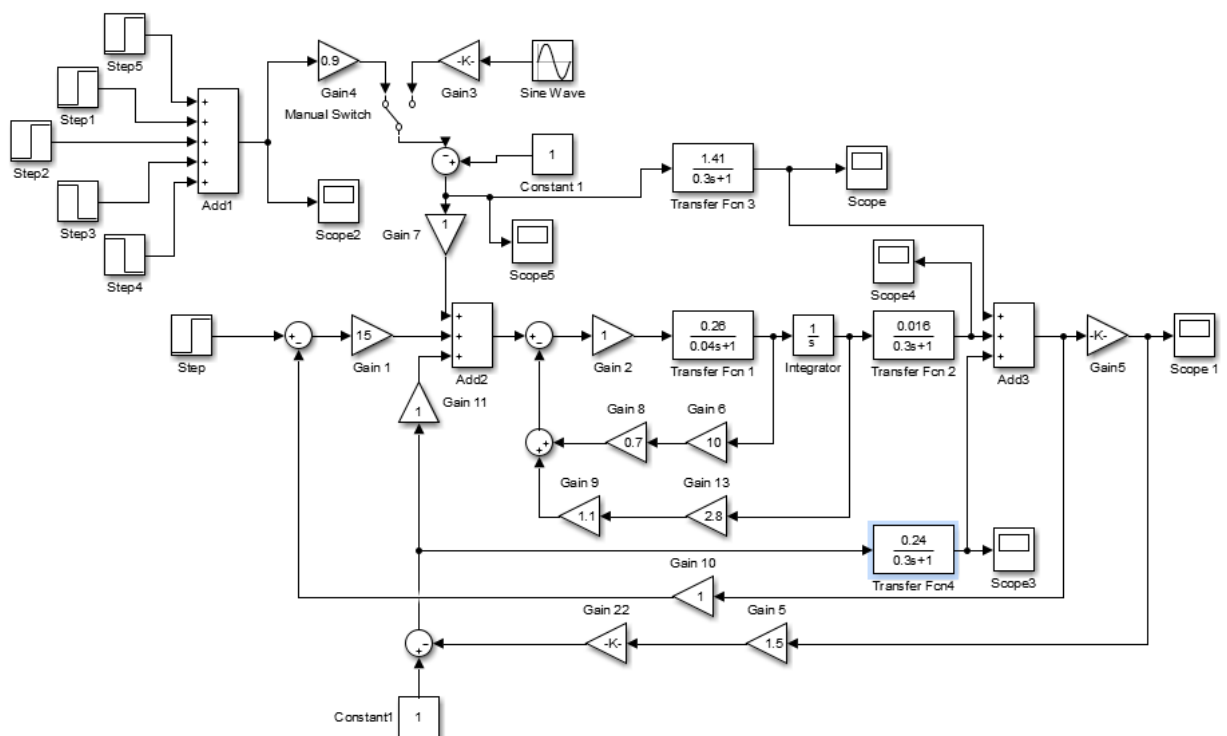


Рисунок 2.11 - Модель системи ВЕУ

Розглянемо функціональні блоки системи регулювання, яка призначена для управління вітрогенератором:

– Блок Step (Ступінчаста функція): Генерує ступінчасту функцію як вхідний сигнал для системи, що імітує раптові зміни зовнішніх умов або параметрів управління. Цей блок використовується для тестування реакції системи на раптове навантаження або зміну умов роботи.

– Блок Gain1 (Підсилювач): Збільшує амплітуду вхідного сигналу від блоку Step для налаштування рівня вхідного впливу, що надходить до виконавчих механізмів.

– Блок Transfer Fnc1 (Передавальна функція виконавчого механізму): Описує динаміку відгуку виконавчого механізму на подані сигнали. Цей блок моделює, як система відповідає на зміни, зумовлені вхідними сигналами від блоку Gain1.

– Блоки Transfer Fnc2, Transfer Fnc3, і Transfer Fnc4: Передавальні функції, які моделюють вплив різних змінних: швидкості вітру, кута ходу лопатей, і змін навантаження на загальну динаміку системи. Ці блоки допомагають зрозуміти, як зміни в кожному з цих параметрів впливають на роботу вітрогенератора.

– Блок Constant2: Встановлює базовий рівень вихідного навантаження, який вважається нормою для системи. Це важливо для визначення, як зміни у вхідних змінних впливають на загальну продуктивність системи.

– Блок Gain (Підсилювач): Зменшує загальний коефіцієнт передачі системи, щоб забезпечити стабілізацію відгуку системи на зміни навантаження. Це дозволяє уникнути перенавантажень та інших нестабільних станів, забезпечуючи більш гладке управління системою в умовах змінюваних навантажень.

– Система управління вітрогенератором, яка включає серію блоків Gain та Step, детально визначає, як обробляються сигнали в межах системи, та як відбувається реагування на зовнішні впливи, такі як зміни швидкості вітру. Ось детальний опис кожного блоку у вашій системі:

– Блоки Gain2, Gain8, Gain9, Gain10, Gain12:

- Gain2: Підсилює сигнал потужності, що виходить від генератора, дозволяючи керувати загальним виходом системи залежно від потреб.

- Gain8 і Gain9: Використовуються як зворотній зв'язок для контролю кутової швидкості та кута відхилення лопатей. Ці блоки забезпечують точність у відповідності фактичного положення лопатей до заданого.

					<i>КНУ КРБ.151.23.04.02.ПЗ</i>	Арк.
						59
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

- Gain10: Підсилює сигнал від датчика кутової швидкості зовнішнього контуру, що допомагає в точнішому контролі швидкості обертання вітряка.

- Gain12: Використовується для підсилення сигналу від датчика навантаження, що дозволяє системі точніше реагувати на зміни навантаження на вітрогенератор.

– Блоки Step (Step1-Step5): Ці блоки генерують стрибкоподібні зміни сигналу, які імітують раптові зміни умов вітрового потоку. Це допомагає тестувати реакцію системи на несподівані зміни швидкості вітру, що є критично важливим для вітрогенераторів.

– Блок Switch: Використовується для дослідження якості системи регулювання при різних типах змін вітрового потоку, включаючи синусоїдальні та стрибкоподібні зміни. Це дозволяє оцінити стабільність і адаптивність системи до різноманітних режимів роботи.

– Блоки реєстрації сигналів, які ви використовуєте у вашій системі управління вітрогенератором, відіграють ключову роль у зборі та аналізі даних, які важливі для оцінки ефективності та надійності роботи системи. Ось як кожен з цих блоків взаємодіє з іншими компонентами системи:

- Score (кут лопаті ВЕУ): Записує та відображає динаміку кута лопатей вітрогенератора. Це важливо для розуміння, як саме кут лопатей впливає на ефективність вітряка та як швидко система реагує на зміни кута.

- Score1 (кутова швидкість електрогенератора): Відстежує та аналізує швидкість обертання електрогенератора, що дає уявлення про його робочий стан та ефективність перетворення механічної енергії в електричну.

- Score2 (формування вітрового пориву): Записує дані про швидкість вітру та його пориви, допомагаючи зрозуміти, як вітрогенератор відповідає на різкі зміни вітрових умов.

- Score3 (зміни навантаження): Моніторинг змін у навантаженні допомагає аналізувати, наскільки добре система адаптується до коливань у використанні енергії та яка її реакція на зміну потреб споживачів.

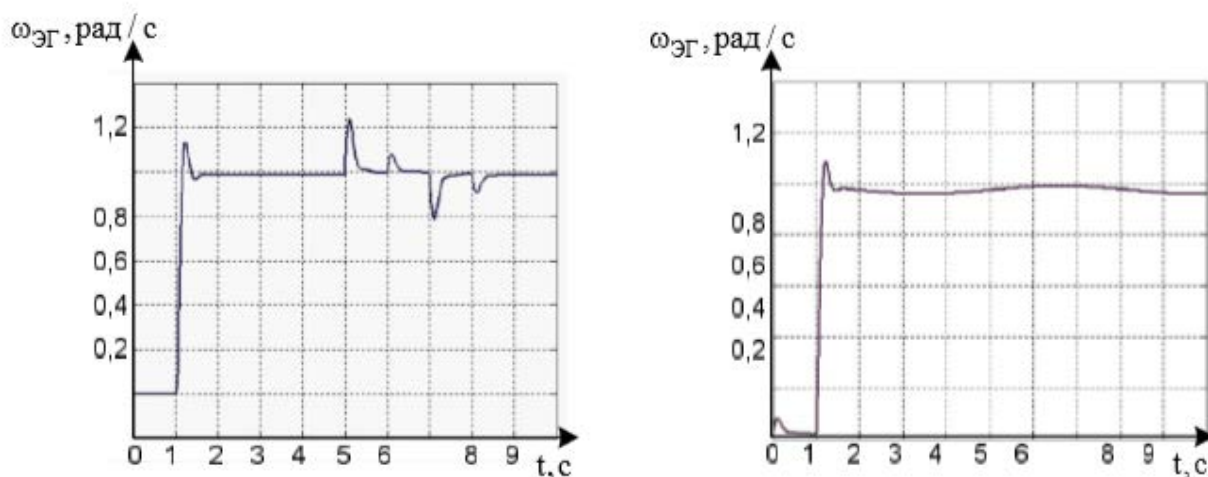
					<i>КНУ КРБ.151.23.04.02.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		60

- Score4 (кутова швидкість ротора ВЕУ): Відображає швидкість обертання ротора, що є важливим для оцінки загальної продуктивності вітрогенератора та його спроможності адаптуватися до змін у вітрових умовах.

- Score5 (результуючий вітровий вплив): Відстежує загальний вплив вітрових умов на систему, дозволяючи аналізувати, як зміна швидкості вітру впливає на різні аспекти роботи вітрогенератора.

Ця конфігурація системи управління дозволяє проводити глибокі дослідження та оптимізацію управління вітрогенераторами, забезпечуючи ефективне і гнучке реагування на динамічні умови вітрової активності.

Реакція системи на стрибкоподібну та синусоїдальну зміну швидкості вітру, які представлені на рисунку 2.12, демонструє здатність системи адаптуватися та реагувати на різні умови вітрового навантаження. Це важливо для визначення стабільності та



а)

б)

а) стрибкоподібна, б) синусоїдальна

Рисунок 2.12 - Реакція системи на швидкість вітру

На рисунку 2.13 наведено вхідні дані формування вітрового пориву на швидкість вітру, що змінюється ступінчасто та синусоїдально.

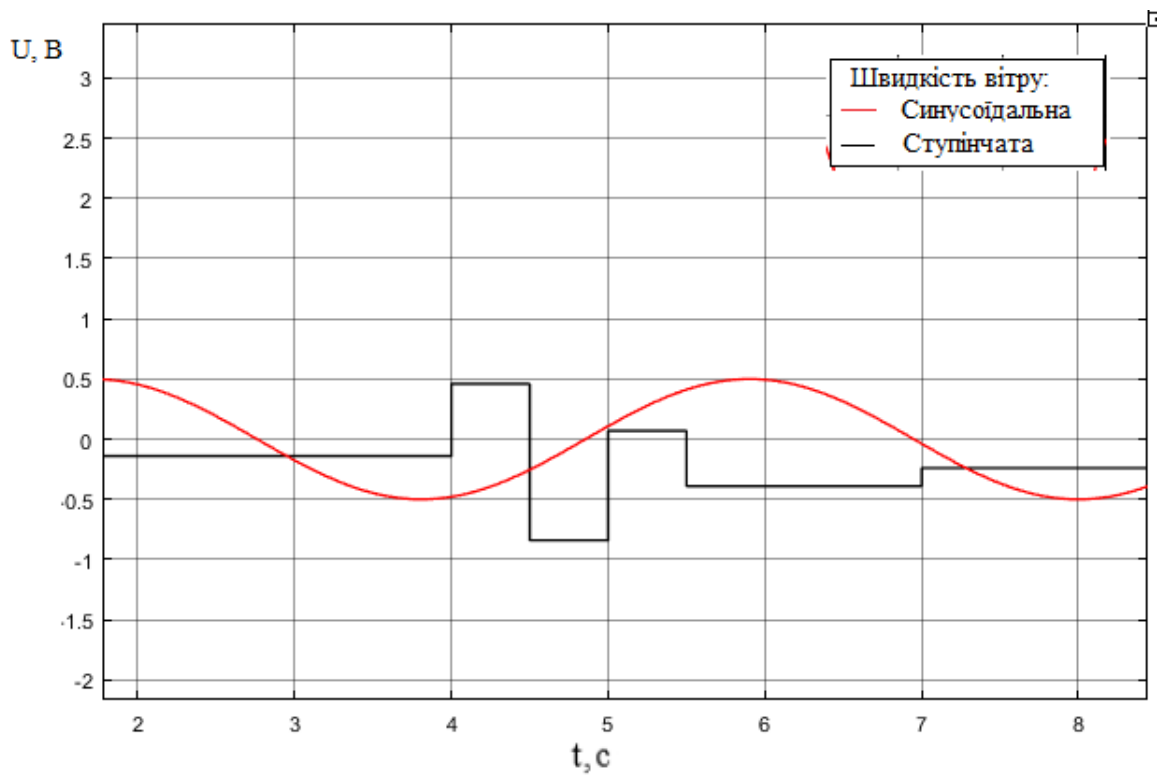
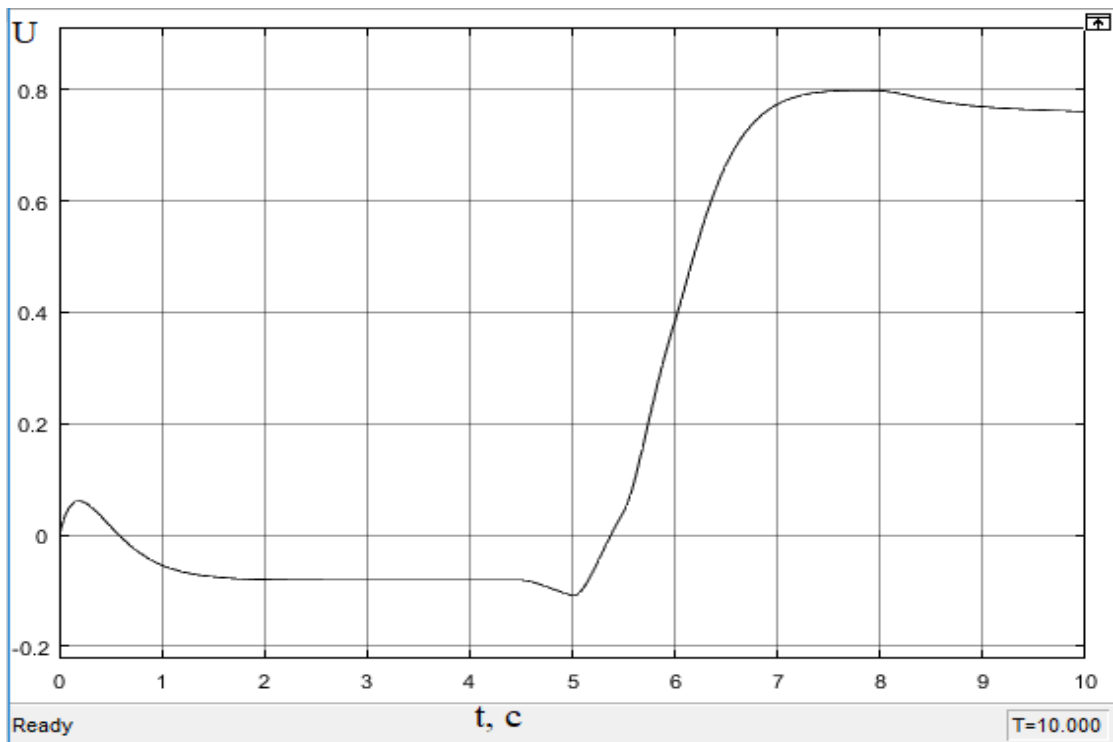
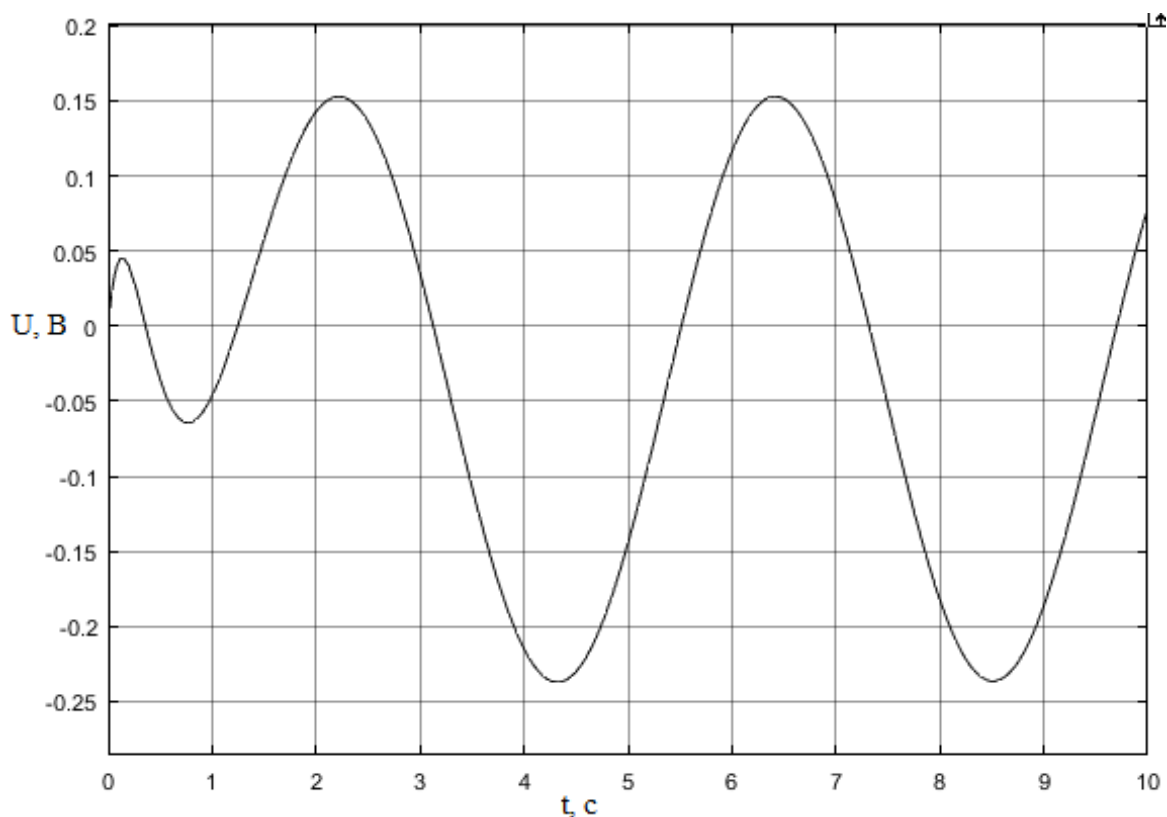


Рисунок 2.13 – Формування вітрового пориву

На рисунку 2.14 наведено отриману залежність зміни навантаження різних вітрових поривів..



а)



а) ступінчатий, б) синусоїдальний

Рисунок 2.14 – Графік зміни навантаження вітрового пориву

## 2.5 Вибір необхідного обладнання для реалізації системи

### 2.5.1 Вибір лічильнику гарячої води

Лічильники є стійкими до впливу води, яка протікає через них у зворотному напрямку. В такому випадку показання лічильників мають зменшуватися.

Принцип роботи лічильників полягає у тому, що вони перетворюють об'єм води, яка проходить через лічильник, у кількість обертів крильчатої турбіни, що потім трансформується в числові значення на відліковому пристрої. Вимірювальна камера та камера, де знаходиться лічильний механізм, є герметично ізольованими. Зв'язок між турбіною та лічильним механізмом забезпечується за допомогою магнітної муфти. Роликовий відліковий пристрій має п'ять розрядів для відображення об'єму у кубічних метрах, а також чотири

					<i>КНУ КРБ.151.23.04.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63



кругові шкали зі стрілками, що дозволяють відчитувати об'єм води у сотнях літрів, десятках літрів, літрах і десятих частках літра. У центрі шкали розташований сигнальний елемент, який використовується під час тестувань лічильників.

Для створення віртуального пристрою обліку води обираємо лічильник крильчатого типу фірми HYDROMETER, серія ТП-М (рис.1.5,б,) з наступними технічними характеристиками:

Таблиця 2.2 – Технічні параметри лічильників HYDROMETER- ТП-М

Параметр	Значення
Тип лічильника	багатоструменевий крильчастий сухохідний
Температура вимірювальної води: для лічильників ТП-Мх для лічильників ТП-Мг	1 ÷ 40°C 1 ÷ 130 °C
Встановлення лічильників	горизонтальне, циферблатом догори
Допустима відносна похибка в діапазоні витрат становить: для лічильників ТП-Мг для лічильників ТП-Мх	± 5% - $Q_{min} \div Q_t$ (виключно); ± 3% - $Q_t$ (включно) ÷ $Q_{max}$ ; ± 2% - $Q_t$ (включно) ÷ $Q_{max}$
Ємність лічильного механізму	99999,99995 або 99999,9999 м <sup>3</sup>
Ціна одиниці найменшого розряду	0,1 л
Максимальний робочий тиск	16 бар
Тип з'єднання:  різьбове фланцеве	DN = 15-40 мм DN = 50 мм

На рисунку рис.2.15. наведено рекомендуему схему встановлення лічильника.

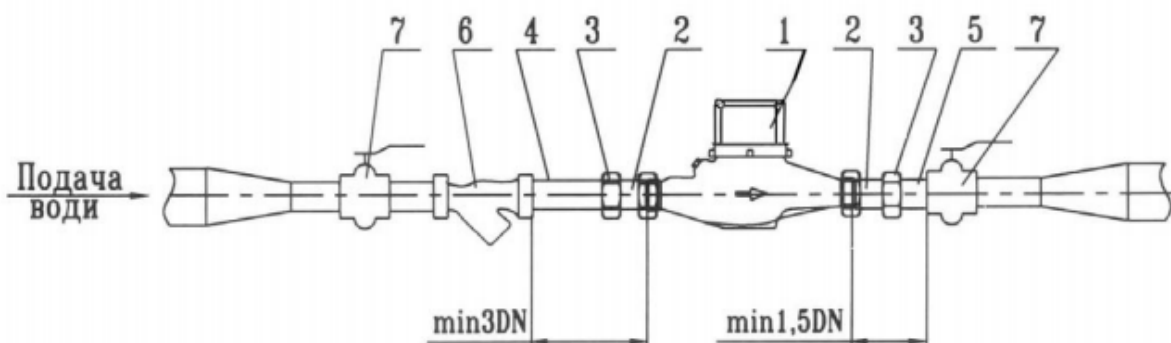


Рисунок 2.15 - Схема монтажу лічильника води

					<i>КНУ КРБ.151.23.04.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

На рисунку 2.15 прийняті наступні позначення: лічильник води (1), штуцер під'єднання (2) з накидною гайкою, муфта (3), ділянки труби (4,5), фільтр-сітка (6) та кран кульовий (7).

### 2.5.2 Вибір сонячного колектору

Сонячний колектор RNB-Нерж 15 був обраний в якості джерела підігріву води за допомогою сонця. Цей безнапірний геліосистемний колектор є ідеальним для забезпечення гарячою водою дачних будинків та літніх будинків протягом теплої пори року. Принцип роботи цієї системи полягає у природному теплообміні між баком та вакуумними трубками без використання водяного тиску, що спрощує її експлуатацію. Воду можна наповнювати в бак механічно або за допомогою електричних насосів.

Акумуляційний бак виготовлений із нержавіючої сталі і має об'єм 130 літрів, що є достатнім для забезпечення потреб маленької сім'ї до чотирьох осіб. Завдяки теплоізоляції труб з товщиною 55 мм, теплова ефективність системи є високою, що дозволяє оптимально використовувати сонячну енергію для нагріву води.



Рисунок 2.16 – Вигляд вакуумного сонячного колектору

					<i>КНУ КРБ.151.23.04.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

В таблиці 2.3 наведені основні технічні характеристики обраного сонячного колектору.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики сонячного колектору RNB-15

Параметр	Значення
Модель	RNB-Нерж 15
Підігрів і подача гарячої води	природний тиск (самоплив)
Тип нагріву	"прямий" - нагрівання у вакуумній трубі
Кількість трубок	15 шт
Ємність бака	130 л
Повна ємність системи	169 л
Продуктивність	150 л / добу
Матеріал внутрішнього баку	нержавіюча сталь SUS304 / 2В
Матеріал зовнішнього баку	пофарбована сталь
Товщина стінки внутрішнього баку	0,41 мм
Діаметр внутрішнього баку	360 мм
Товщина стінки зовнішнього баку	0,31 мм
Діаметр зовнішнього баку	470 мм
Рама з пофарбованої сталі	гальванічне покриття
Товщина стінок рами	1,5 мм
Тип покриття вакуумних трубок	AI-N / SS / Cu (3-х шару) 1800 x 58мм
Ізоляція	пінополіуретан
Товщина ізоляції	55 мм

Переваги:

- Зварювальні з'єднання у внутрішньому баку та на патрубках запобігають витокам, підвищують надійність та продовжують термін служби системи;
- Екстремально висока ефективність завдяки селективному покриттю абсорбера;
- Мінімальні теплові втрати через використання вакуумних трубок у колекторі та якісної ізоляції;
- Довговічність та стійкість до змін температури та погодних умов;
- Простий та швидкий монтаж, доступний навіть для аматорів, можлива робота без електроенергії;
- Готовність комплекту до інсталяції та використання;

					<i>КНУ КРБ.151.23.04.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

- Збільшена корозійна стійкість внутрішнього бака завдяки застосуванню магнієвого анода;
- Можливість одночасного підключення кількох точок водозабору;
- Опціональне додавання електричного нагрівача з можливістю дистанційного управління за допомогою зовнішнього терморегулятора.

### 2.5.3 Вибір ВЕУ

Для вітрогенерації було обрано модель Fortis Passaat від компанії Winder (див. рис. 2.17). У таблиці 2.4 наведені технічні характеристики складових частин обраного вітрогенератора.

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики сонячного колектору RNB-15

Параметр	Значення
<b>Генератор</b>	
Тип:	трифазний синхронний PMG (постійні магніти NdFeB)
Розрахункова (номінальна) потужність:	1,4 кВт
Номінальна напруга:	12/24/48 В
Частота:	0-70Гц
<b>Вітроколесо:</b>	
Діаметр ротора:	3,12 метра
Площа ротора:	7,64 кв. метра
Кількість лопатей:	3 шт.
Матеріал лопатей:	армоване скловолокно
<i>Діапазон швидкостей:</i>	
Стартова швидкість:	2,5 м/с
Номінальна швидкість:	14 м/с
Номінальна швидкість обертання:	350 об./хв
Максимальна швидкість обертання:	740 об./хв
Захист:	до: 60 м/с
Витримує вітер	від -40 до +50 С
Температурний режим:	
Контроль вироблення:	контролер напруги з баластним навантаженням
Рівень шуму безпосередньо під вітряної установкою:	20-45 dB

Цей вітрогенератор призначений для забезпечення електроенергією приватних житлових будинків та невеликих комерційних споруд.



Рисунок 2.17 – Вигляд ВЕУ Fortis Passaat

Для оптимізації регулювання електромагнітного обертання, розроблені спеціалізовані гібридні синхронні генератори з постійними магнітами. Ці генератори інтегрують магнітоелектричне та електромагнітне збудження, при цьому індуктор та ярма розміщені на статорі, а ротор виконаний пасивним із чітко вираженими зубцями. Двошарові синхронні машини з постійними магнітами вирізняються високими показниками ефективності, потужності та надійності, та потребують лише малопотужних систем для регулювання збудження. Проте, складність проектування та виготовлення таких багатополісних гібридних генераторів збільшує їх вартість порівняно з конвенційними генераторами з постійними магнітами.

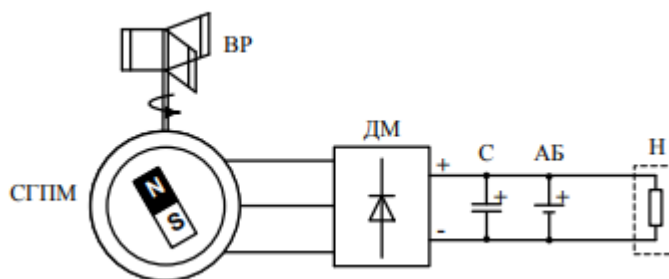


Рисунок 218 - Функціональна схема ВЕУ

					<i>КНУ КРБ.151.23.04.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

## 2.6 Віртуальна модель приладу обліку гарячої води з використанням альтернативної енергії

Створена програма має вигляд фронтальної панелі, яка представлена на рис. 2.19. Назва елементів і їх функцій вікна Front Panel подано у таблиці 2.5. Візуально програма представлена у Вікно Front panel відображає візуальне представлення, а вікно Block Diagram – математичне.

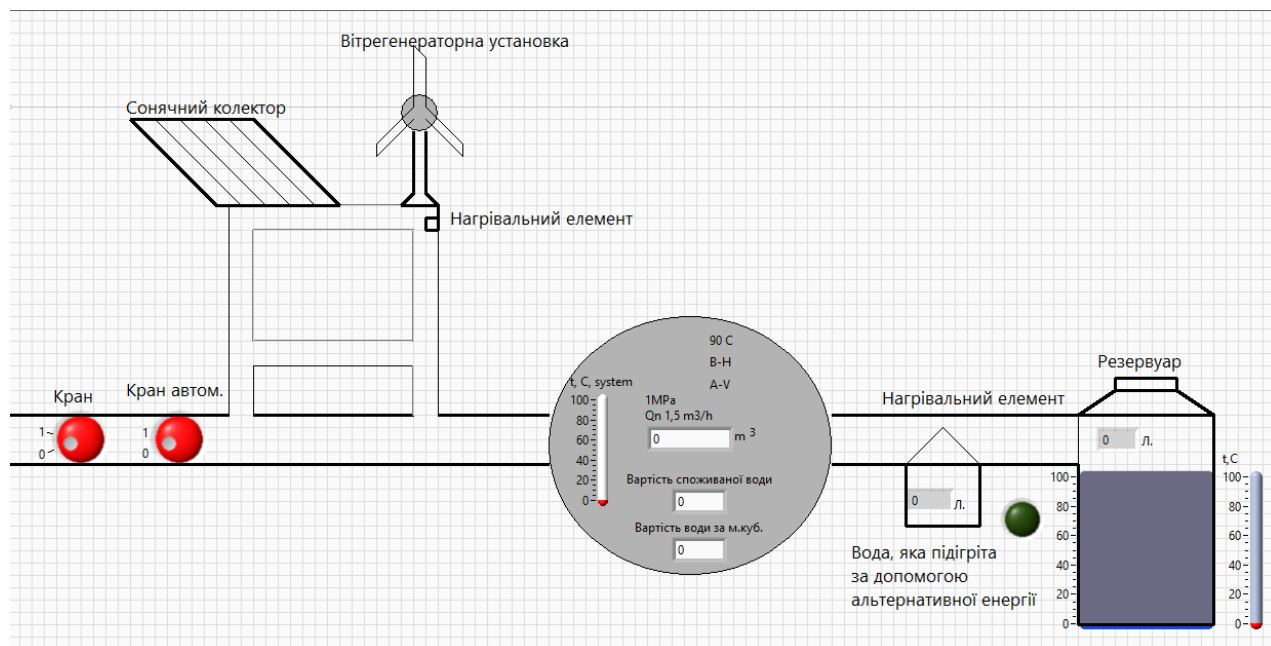


Рисунок 2.19 – Загальний вигляд Front Panel

Огляньмо математичний аспект задачі, зокрема програму, яка викладена у вікні Block Diagram (див. рис. 2.20). Програма умовно розділена на чотири частини — I, II, III та IV (див. рис. 2.21).

Частина I контролює процес заповнення резервуара, використовуючи функцію у вигляді формули:

$$F(x) = x + 0,0001 * a \quad (2.24)$$

де  $x$  – об'єм води, обчислений у попередньому циклі,  $a$  – ступінь відкриття крану.

Частина II задіяна у визначенні середньої температури води у резервуарі, обчислюючи загальну температуру води, що потрапляє до нього.

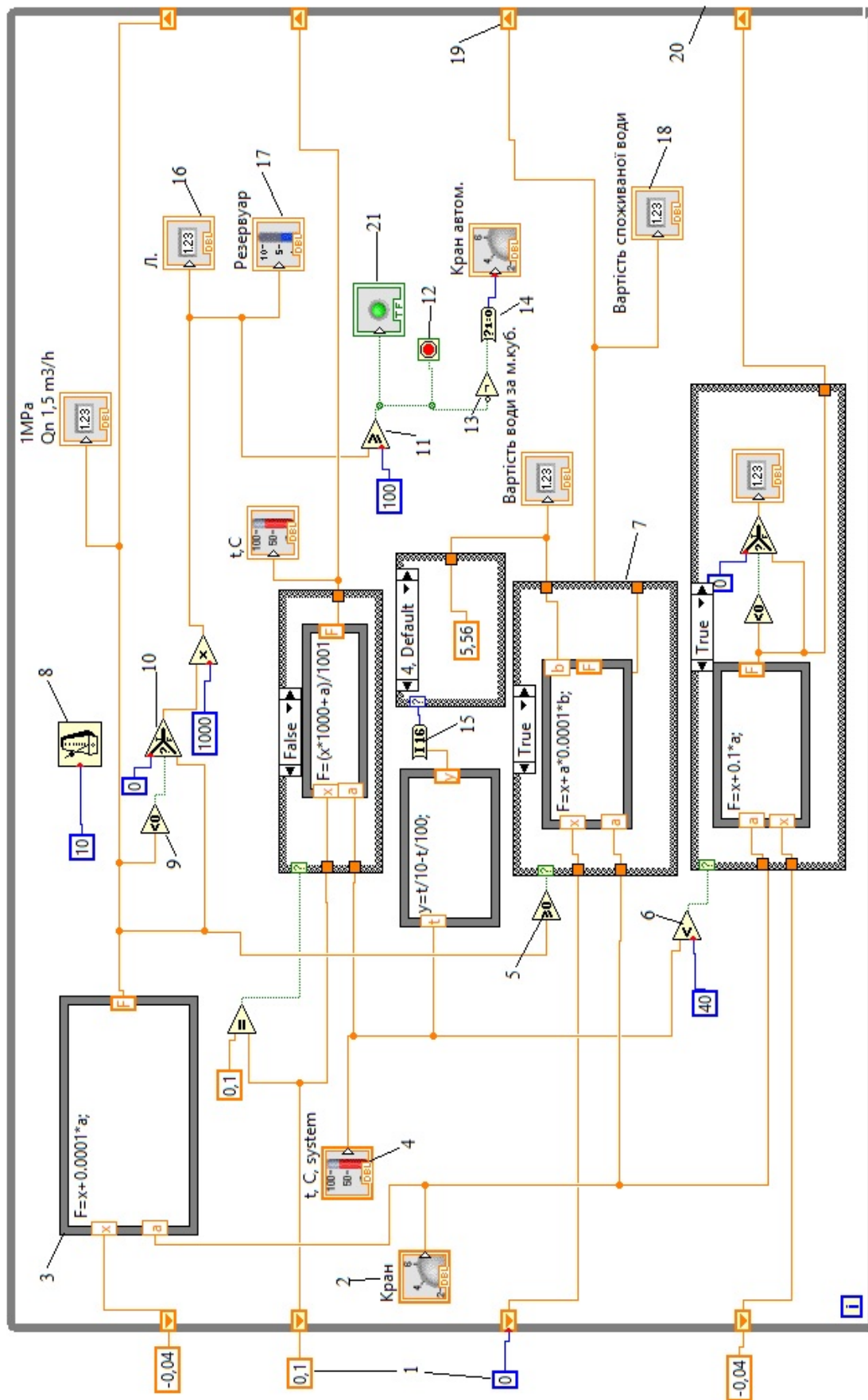


Рисунок 2.20 – Загальний вигляд програми у вікні Block Diagram

Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата

У частині III аналізується температура системи та температура води, на основі якої визначається ціна за кубічний метр води. Визначається, чи потрібно додатково нагрівати воду перед її подачею до резервуара. Також тут відбувається моніторинг вартості використаної води та контроль за рівнем води в баку, який після досягнення 100 літрів автоматично закривається, активуючи індикатор «Full».

Частина IV займається моніторингом об'єму додатково підігрітої води, використовуючи альтернативні джерела енергії. Якщо цих джерел виявляється недостатньо для досягнення необхідної температури, вода додатково нагрівається за допомогою нагрівальних пристроїв або котла.

Таблиця 2.5 – Перелік елементів Front Panel

Назва елемента	Функція	Назва елемента у пакеті LabVIEW
Full	Індикатор заповнення баку	Modern>> Boolean>> round LED
Кран	Кран, керований споживачем	Modern>> Numeric>> Knob
Кран автоматичний	Автоматичний кран, що закривається при повному заповненні баку	Modern>> Numeric>> Knob
m <sup>3</sup>	Індикатор кількості споживаної води	Modern>> Numeric>> Numeric Indicator
Резервуар	Бак	Modern>> Numeric>> Vertical Slide Fill
t, °C	Температура споживаної води	Modern>> Numeric>> Thermometer
t, °C, System	Температура води в системі	Modern>> Numeric>> Thermometer
Вартість	Вартість за споживану воду	Modern>> Numeric>> Numeric Indicator
Ціна	Ціна за м <sup>3</sup> споживаної води	Modern>> Numeric>> Numeric Indicator



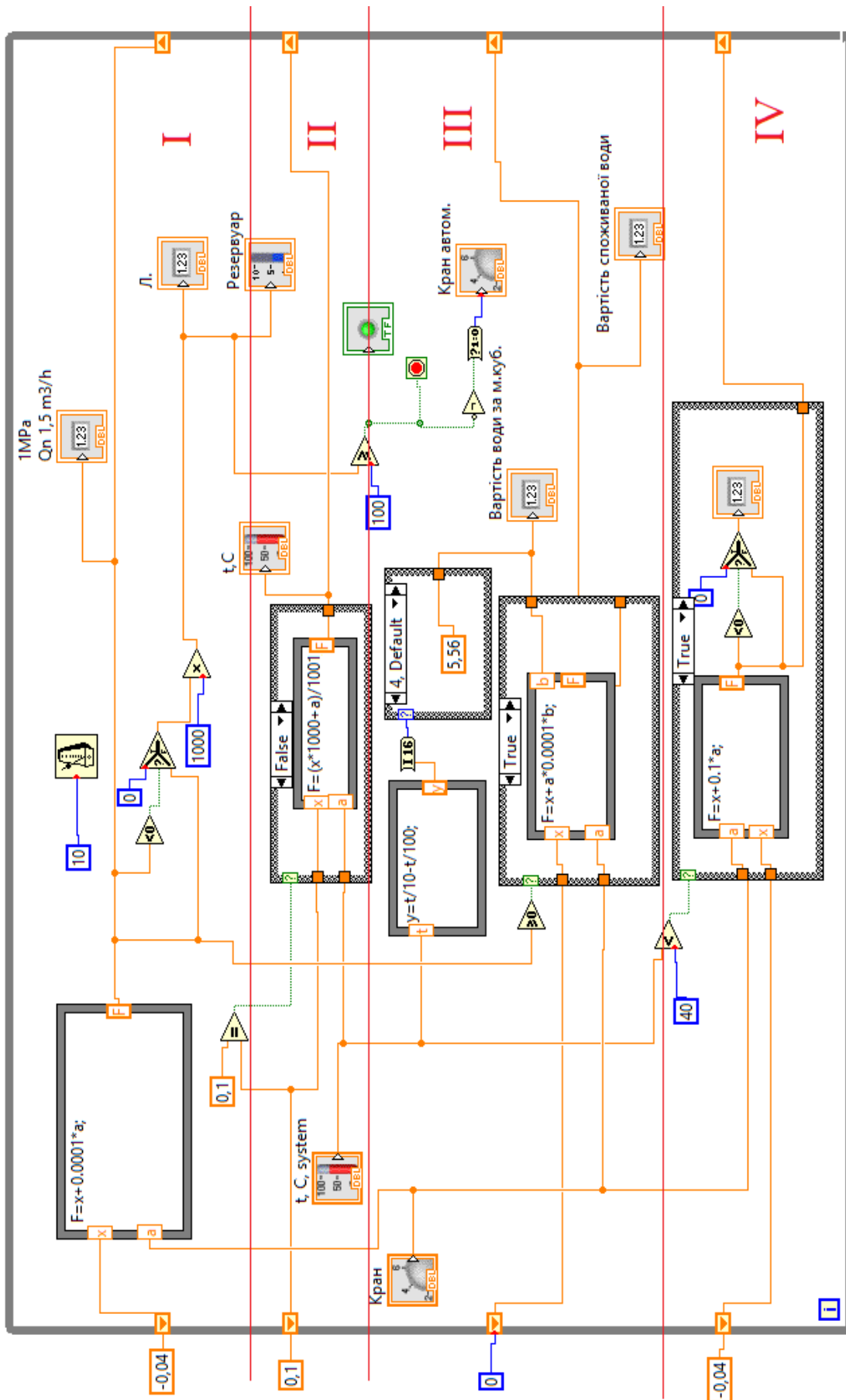


Рисунок 2.21 – Елементи програми, використані у Block Diagram

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Таблиця 2.6 – Перелік елементів Block Diagram

№	Назва елемента
1	Numeric Constant
2	Knob
3	Formula Node
4	Thermometer
5	Greater or Equal to 0?
6	Less?
7	Case Structure
8	Wait Until Next ms Multiple
9	Less than 0?
10	Select
11	Grater or Equal?
12	Stop Condition of While Loop
13	Not
14	Boolean to (0,1)
15	Conversion to Word Integer
16	Numeric Indicator
17	Vertical Fill Slide
18	Numeric Indicator
19	Shift Register
20	While loop
21	Boolean Round LED

Опис роботи віртуального пристрою автоматизованої системи обліку гарячої води, що використовує альтернативні джерела енергії, демонструє інтеграцію сучасних технологій в повсякденне життя та підкреслює значення ефективного управління ресурсами.

Відкриття Крану: Коли користувач відкриває кран, це запускає потік води через систему. Відкриття крана може бути здійснено вручну або автоматизовано залежно від налаштувань системи.

Автоматичний Кран: Другий кран у системі, який керується автоматично, забезпечує додатковий контроль над потоком води, оптимізуючи її використання та запобігаючи втратам.

Нагрівання Води за Допомогою Альтернативних Джерел Енергії: Вода нагрівається під час проходження через систему, яка інтегрована з

альтернативними джерелами енергії, такими як сонячні колектори або вітрогенератори. Це не тільки екологічно чисто, але й економічно вигідно.

**Лічильник Води:** Лічильник вимірює об'єм води, що проходить через систему, забезпечуючи точний облік споживання для подальшого аналізу та управління.

**Додаткове Нагрівання:** Якщо первинне нагрівання за допомогою альтернативних джерел енергії не забезпечує достатньої температури, в системі передбачено додаткові нагрівачі пристрої для досягнення необхідних параметрів.

**Бак Заповнення:** Коли бак заповнюється, автоматичний кран закривається, зупиняючи подальший потік води. Індикатор "Full" світиться, сигналізуючи про те, що бак повний і система готова до використання збереженої води.

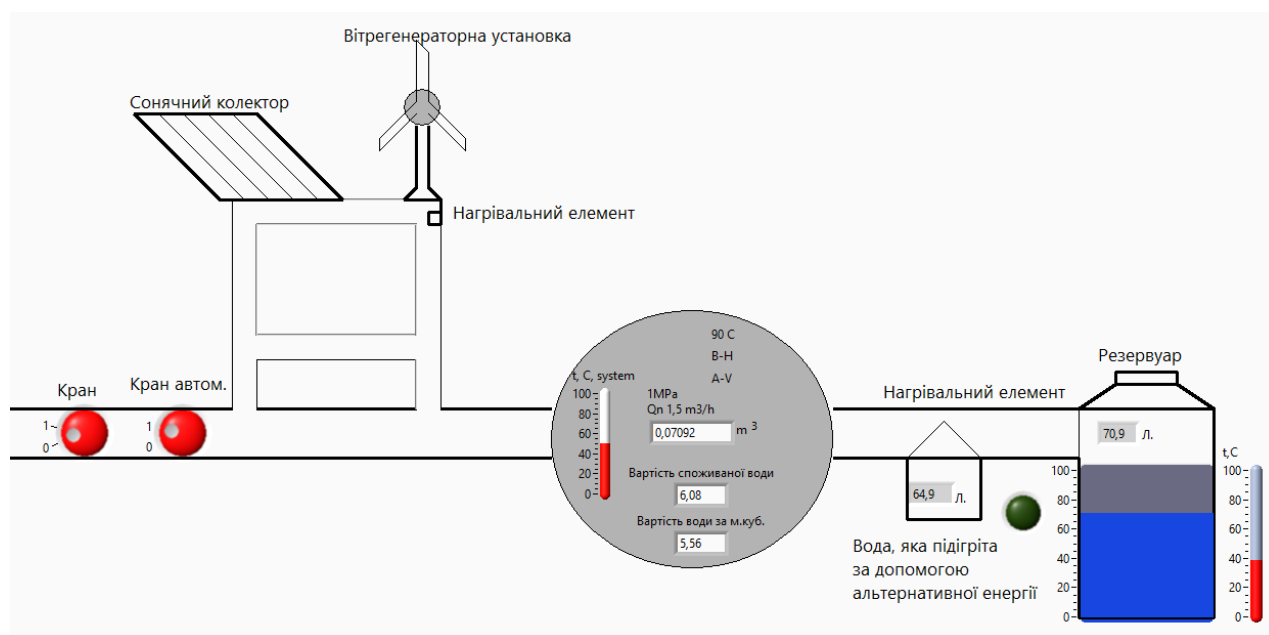


Рисунок 2.22 – Загальний вигляд роботи пристрою

**Важливість Системи:**

Ця система підкреслює важливість інтегрованого підходу до водопостачання та енергоспоживання, де використання сучасних технологій дозволяє збалансувати потреби у воді з зобов'язаннями щодо збереження енергії та захисту довкілля. Вона демонструє, як інновації можуть бути застосовані в

					<i>КНУ КРБ.151.23.04.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

практичних аспектах управління ресурсами, забезпечуючи ефективність та сталість роботи системи.

Система обліку гарячої води з додатковим нагріванням для забезпечення оптимальної температури пропонує практичне рішення для енергоефективного управління ресурсами.

Робота Системи:

**Лічильник Води:** Лічильник вимірює об'єм води, яка проходить через систему, в кубічних метрах. Це дає точні дані про водоспоживання, що дозволяє контролювати та оптимізувати використання водних ресурсів.

**Контроль Температури:** Система моніторингу температури води забезпечує, що вода має достатню температуру для споживача. Якщо температура води нижча за 30°C, система активує додатковий нагрів.

**Додатковий Нагрів:** Нагрівальний пристрій або котел автоматично включається, щоб довести температуру води до необхідного рівня. Це забезпечує комфорт споживачів та відповідає стандартам гарячого водопостачання.

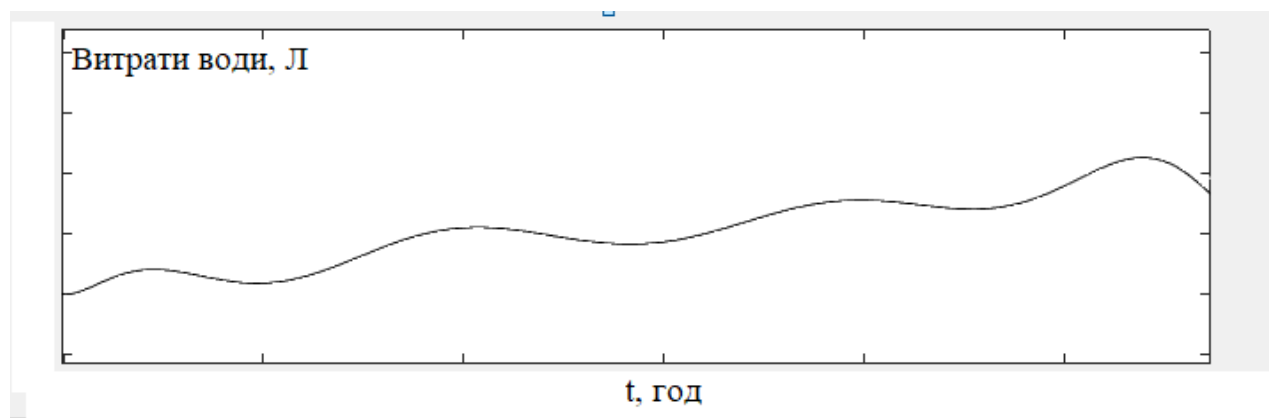


Рисунок 2.23 – Витрати гарячої води у баці-акумуляторі за день

Залежно від встановленої ціни за кубічний метр гарячої води, програма автоматично обраховує та показує вартість використаної води. Ця програма також дозволяє візуально оцінити роботу лічильника води і надає можливість регулювати ступінь відкриття водопровідного крану, контролювати

					<i>КНУ КРБ.151.23.04.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

температуру води та рівень у водосховищі, а також вираховувати вартість води згідно з діючим тарифом.

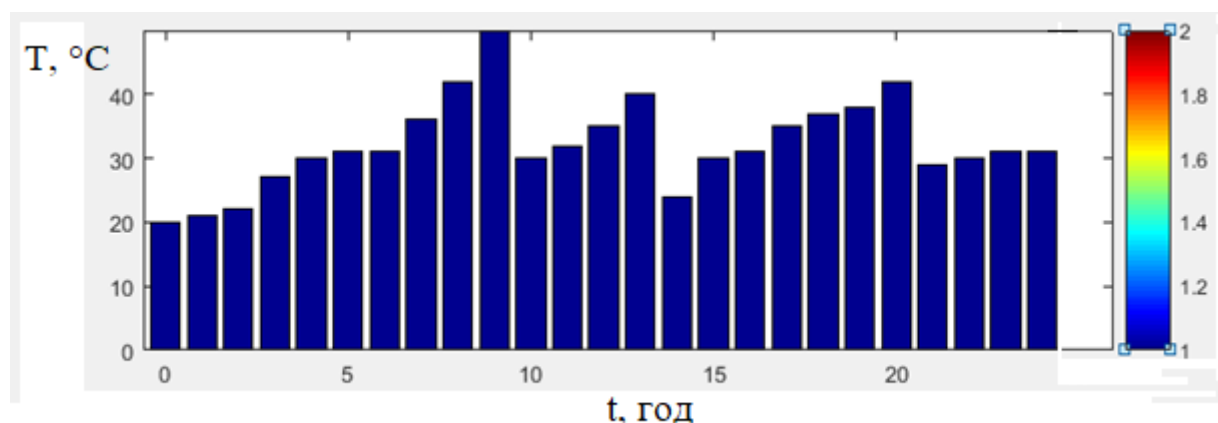


Рисунок 2.24 – Змінення температури води за день

У системі також імітовано затримку потоку води, що відбувається при відкритті крану, аналогічно до затримок, що зустрічаються в реальних водопровідних системах через наявність повітря в трубах. Це включає контроль за рівнем води в баку та затримки у подачі води від 2 до 5 секунд, що відображає характеристики реальних систем водопостачання.

*Висновки до розділу:*

Розроблена математична модель, яка дозволяє розрахувати характеристики обладнання СЕУ залежно від добової продуктивності по гарячій воді. Це дозволяє оптимізувати конструкцію обладнання з урахуванням економічної ефективності, а також визначити питому вартість обладнання СЕУ.

Визначена необхідна потужність СЕУ для кожного режиму споживання, що дозволяє забезпечити оптимальну роботу установки в усіх заданих режимах відбору гарячої води. Вибір максимального з отриманих значень потужності забезпечує гнучкість системи та її здатність адаптуватися до змінних умов експлуатації.

Разом з СЕУ вивчено вплив різних типів вітряної дії на якість роботи

замкнутої системи ВЕУ. Модель системи керування дозволяє аналізувати показники якості та визначити коефіцієнти для вітроустановок з горизонтальною віссю обертання потужністю 6 кВт. Це дозволяє інтегрувати ВЕУ в загальну систему забезпечення енергією, підвищуючи її ефективність і надійність.

Розроблена програма для обліку гарячого водопостачання забезпечує можливість дослідження та моделювання роботи системи автоматичного керування процесом водопостачання. Це дозволяє не тільки аналізувати поточний стан системи, але й прогнозувати її ефективність під різні сценарії використання, сприяючи оптимальному використанню ресурсів і зменшенню витрат.

Система включає в себе прилади, які забезпечують відбір води з централізованої мережі та альтернативних джерел, таких як сонячні колектори та вітрогенератори. Розроблена затримка води у системі при відкритті крану, може вирішувати проблеми з надмірним використанням гарячої води та зменшувати втрати тепла. Отримані графіки відображають витрати води та її температуру в залежності від часу, забезпечуючи детальний аналіз динаміки системи водопостачання.

Ці інновації сприяють не тільки підвищенню енергетичної ефективності використання ресурсів, але й забезпечують більш економічне використання води та енергії в побуті та промисловості. Реалізація такої системи може значно вплинути на зниження витрат для кінцевих споживачів і зменшення навантаження на міські енергосистеми.

					<i>КНУ КРБ.151.23.04.02.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		77

## ВИСНОВКИ

Альтернативні джерела енергії, такі як вітрогенератори та сонячні колектори, відіграють дедалі більшу роль у забезпеченні енергетичних потреб, оскільки традиційні джерела, зокрема нафта і газ, виснажуються та спричиняють значні екологічні проблеми. Відновлювані джерела енергії, такі як сонце, вітер і вода, є екологічно чистими та стійкими. Використання цих джерел дозволяє не лише зменшити викиди вуглекислого газу та інших шкідливих речовин, а й досягти енергетичної незалежності. Вартість обладнання для відновлюваної енергії зазвичай окупається протягом кількох років, після чого користувачі отримують чисту енергію практично безкоштовно.

Генерація електроенергії з використанням відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у гібридних системах все частіше стає актуальною не лише для віддалених споживачів, а й для тих, хто підключений до центральних мереж. Гібридні системи, які поєднують різні джерела енергії, можуть забезпечувати стабільне живлення, навіть коли одна з технологій дає збій або працює з низькою ефективністю. Це робить їх привабливими для широкого кола користувачів.

Визначена необхідна потужність СЕУ для кожного режиму споживання, що дозволяє забезпечити оптимальну роботу установки в усіх заданих режимах відбору гарячої води. Вибір максимального з отриманих значень потужності забезпечує гнучкість системи та її здатність адаптуватися до змінних умов експлуатації.

Розроблена математична модель, яка дозволяє розрахувати характеристики обладнання СЕУ залежно від добової продуктивності по гарячій воді. Це дозволяє оптимізувати конструкцію обладнання з урахуванням економічної ефективності, а також визначити питому вартість обладнання СЕУ.

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.00.ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Новенко Я.В.</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Маринич І.А.</i>				77	2
<i>Н. Контр.</i>		<i>Маринич І.А.</i>			<i>ВИСНОВКИ</i>		
<i>Затверд.</i>		<i>Тронь В.В.</i>			<i>КНУ АКІТ-21ск</i>		

Система включає в себе прилади, які забезпечують відбір води з централізованої мережі та альтернативних джерел, таких як сонячні колектори та вітрогенератори. Розроблена затримка води у системі при відкритті крану, може вирішувати проблеми з надмірним використанням гарячої води та зменшувати втрати тепла. Отримані графіки відображають витрати води та її температуру в залежності від часу, забезпечуючи детальний аналіз динаміки системи водопостачання.

Цей підхід дозволяє оптимізувати продуктивність відновлюваних джерел енергії, навіть у умовах, які традиційно вважаються несприятливими, сприяючи таким чином розвитку екологічно чистих енергетичних технологій.

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.00.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		79



## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Renewables 2014 Global Status Report – REN 21. URL: [http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2014/GSR2014\\_full%20report\\_low%20res.pdf](http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2014/GSR2014_full%20report_low%20res.pdf). (дата звернення 17.04.2024)
2. Wekesa D., Wang C., Wei Y., Kamau J. A numerical analysis of unsteady inflow wind for site specific vertical axis wind turbine: A case study for Marsabit and Garissa in Kenya // Renewable Energy. 2015. Vol. 76. P. 648-661.
3. Saeidi D., Sedaghat A., Alamdari P. Aerodynamic design and economical evaluation of site specific small vertical axis wind turbines // Applied Energy. 2013. Vol. 101. P. 765-775.
4. Книга о солнце. Руководство по проектированию систем солнечного теплоснабжения. Viessmann. К.: «Злато-Граф», 2010. 194 с.
5. Каталог на розширювальні баки для гарячого водопостачання та опалювання. URL: <http://armasvit.com.ua/content/rasshiritelnye-baki-i-gidroakkumulyatory> (дата звернення 20.04.2024).
6. Каталог на мідні труби. URL: <http://alumedium.zakupka.com/products/med-f122448> (дата звернення 20.04.2024).
7. Каталог на поліпропіленові труби. URL: <http://www.polygonpipe.ua/1-PPR-pipe-1.html> (дата звернення 24.04.2024).
8. Верхивкер Г. П., Кравченко В. П. Основи розрахунку та конструювання ядерних енергетичних реакторів. Одеса: ТЕС, 2009. 409 с.
9. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М.: Машиностроение, 1975. 559 с.

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.00.ПЗ</i>					
					<i>СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ</i>					
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Новенко Я.В.</i>								
<i>Перевір.</i>		<i>Маринич І.А.</i>							79	3
<i>Н. Контр.</i>		<i>Маринич І.А.</i>						<i>КНУ АКІТ-21ск</i>		
<i>Затвердив</i>		<i>Тронь В.В.</i>								

- 10 Atam, K. Novel Design Concepts in Solar Water Heating (1985). Solar Water Heating Systems. P.337-345.
- 11 Гелиотехника Logasol для горячего водоснабжения и поддержки отопления. Документация для проектирования. Одесса: Buderus, 04/2008. 120
- 12 Шефтер Я. И. Использование энергии ветра. М. : Энергоатомиздат, 1983. 200 с.
- 13 Кириллов П. Л., Юрьев Ю. С., Бобков В. П. Справочник по теплогидравлическим расчетам. М.: Энергоатомиздат, 1990. 360 с.
- 14 Танака С., Суда Р. Жилые дома с автономным солнечным теплохладоснабжением. М.: Стройиздат, 1989. 184 с.
- 15 Дж. А. Даффи, У. А. Бекман. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. М. : Мир, 1977. 410 с.
- 16 Dubkovsky V. O., Kravchenko V. P., Kravchenko J. V. Metod of accounting the hot water consumption modes at the solar installations design / Праці Одеського політехнічного університету, 2015. Вип. 2(46). Р. 97-102.
- 17 Кравченко В. П., Кравченко Є. В. Удосконалення методики визначення екологічної складової в техніко-економічних розрахунках енергетичних установок / Холодильная техника и технология. 2016. Т. 52, Вып.2. С. 66-70.
- 18 Моркун Н. В., Маринич І. А. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавру для студентів спеціальності 151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”. Кривий Ріг : Видавничий центр КНУ, 2019. 50 с.
- 19 ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. Київ, ДП «УкрННЦ», 2015. 26с. (Інформація та документація).
- 20 ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні вимоги та правила складання Київ, ДП «УкрННЦ», 2016. 16 с. (Інформація та документація).

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.00.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		81

21 ДСТУ 3582:2013. Бібліографічний опис. Скорочення слів і словосполучень в українській мові. Загальні вимоги та правила. Київ, ДП «УкрННЦ», 2013. 23 с. (Інформація та документація)

22 ДСТУ 3651.0-97 Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць. Основні положення, назви та позначення Київ, Держстандарт України, 1998. 27 с. (Інформація та документація)

					<i>КНУ КРБ.151.24.01.00.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

