

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

Кафедра електричної інженерії

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему:

**ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ
ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ
ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ АВТОНОМНИХ СПОЖИВАЧІВ**

Виконав студент IV курсу, групи ЕТсз-42

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та

електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Терпелюк І.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Тарасенко М.Г.
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Мовчан Л.Т.
(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Тарасенко М.Г.
(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2023

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕТзс–41. - Т. : ТНТУ, 2023.

Стор. 75; рис. 43; табл. 6; креслень (презентацій) 22; джерел 17.

Кваліфікаційна робота бакалавра виконана на підставі завдання на тему: «Енергоефективність використання міні-ГЕС та ВЕС для електропостачання автономних споживачів».

Метою роботи є спроектувати систему електропостачання від ВЕС із гідроакумуляціями від міні-ГЕС для хутора в гірській місцевості.

У роботі проведено аналіз використання енергії сонця, вітру та води для енергопостачання автономних домогосподарств. Розроблено систему електропостачання на основі енергії вітру і води. Проведено розрахунки розміру водяної турбіни, діаметру подаючої труби, ГЕС в гідроакумуляуючому режимі роботи, об'єм водосховищ. Оцінено потенціал вітрової енергії для електропостачання споживачів. Розроблено систему теплопостачання на основі енергії сонця. Розроблено рекомендації для проектування подібних систем енергопостачання

Ключові слова: ВЕС, МІНІ-ГЕС, ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

ЗМІСТ

ВСТУП

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	8
1.1 Теплова енергія від сонця.....	8
1.2 Плоский сонячний колектор	9
1.3 Енергія вітру	10
1.4 Гідроенергетика.....	14
1.5 Типи гідроенергетичних систем	15
1.6 Гідроакumuлюючі електростанції	16
1.7 Висновки до розділу	18
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	19
2.1 Міні-ГЕС	19
2.1.1 Верхнє та нижнє водосховища	19
2.1.2 Типи турбін	22
2.1.2.1 Імпульсні турбіни.....	22
2.1.2.2 Реактивні турбіни	26
2.1.2 Основні концепції мікро- та міні-ГЕС	28
2.1.3 Питома швидкість турбіни	29
2.1.4 Потужність агрегату	30
2.1.5 Швидкість агрегату	30
2.1.6 Одинична витрата.....	31
2.1.7 Швидкість ротора.....	31
2.1.8 Діаметр турбіни	31
2.2 Система теплопостачання від сонячної енергії.....	33
2.2.1 Розташування.....	33
2.2.2 Конструкція плоского колектора.....	34
2.2.3 Визначення розмірів колектора	34
2.2.4 Система теплопостачання	35
2.3 Розташування вітрових турбін.....	37

2.4 Висновки до розділу	43
3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	39
3.1 Розрахунок розміру водяної турбіни.....	39
3.2 Вибір діаметру подаючої труби.....	44
3.3 Розрахунок гідроагрегату з турбіною Пелтона.....	45
3.4 Розрахунок ГЕС в гідроакумуючому режимі роботи.....	48
3.5 Об'єм водосховищ	51
3.6 Врахування можливого розширення хутора	52
3.7 Потреба в електроенергії.....	52
3.8 Оцінка потенціалу вітрової енергії.....	54
3.9 Розрахунок рівня води у верхньому водосховищі.....	60
3.10 Рекомендації	62
3.11 Висновки до розділу	64
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	52
4.1 Інструктажі з охорони праці	65
4.2 Допомога при ураженні електричним струмом в електроустановках напругою до 1000 В	67
4.3 Зонування територій за ступенем небезпеки	70
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	72
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	74

ВСТУП

Актуальність теми.

Вітроенергетика є одним з найбільших джерел чистої, відновлюваної енергії, що робить її важливою для майбутнього безвуглецевого енергетичного сектору. Вітрові турбіни не спричиняють викидів, які забруднюють повітря або воду, і їх можна будувати з мінімальним впливом на навколишнє середовище або життєдіяльність мешканців прилеглих районів. Фермери, наприклад, можуть здавати свої землі в оренду вітряним електростанціям і, оскільки турбіни займають мінімум місця, продовжувати вирощувати сільськогосподарські культури або розводити худобу, отримуючи при цьому стабільний дохід.

Вітрова та сонячна енергія будуть важливими компонентами відновлюваних систем, необхідних для заміни викопних видів палива в майбутньому енергетичному балансі. Але вони не можуть існувати самі по собі.

Коли вітер не дме і сонце не світить, нам знадобиться резервне джерело. У гідроенергетиці ми маємо перевірену, ефективну технологію, яка може зберігати вітрову та сонячну енергію для таких випадків. Жодна інша технологія не може забезпечити зберігання енергії в масштабах, необхідних для досягнення наших кліматичних цілей. Використовуючи водяні акумулятори, ми можемо зміцнити наші системи відновлюваної енергетики та сприяти подальшому розвитку вітрової та сонячної енергетики.

Гідроакumuлююча енергетика - це форма гідроенергетики, яка використовує два водосховища на різних рівнях висоти. Вона працює як "зелена" акумуляторна батарея, яка поглинає енергію, коли пропозиція перевищує попит.

Коли попит низький, воду можна перекачувати з нижнього водосховища до верхнього, де вона зберігається. Потім вода може бути випущена через турбіну, постачаючи електроенергію в мережу в потрібний час.

Традиційна "акумуляюча гідроенергетика", яка використовує греблю на річці для зберігання води у водосховищі, також може гнучко використовуватися для забезпечення базового навантаження, а потім збільшуватися або зменшуватися в короткі терміни у відповідь на потреби системи.

Зважаючи на те, що щороку в електромережі надходять величезні обсяги вітрової та сонячної енергії, існує нагальна і зростаюча потреба у розвитку нових об'єктів гідроенергетики, які б забезпечували зберігання, резервування та обслуговування електромереж.

Мета кваліфікаційної роботи: спроектувати систему електропостачання від ВЕС із гідроакумуляуванням від міні-ГЕС для хутора в гірській місцевості.

Відповідно до даної мети ставляться такі **завдання:**

1. Провести аналіз використання енергії сонця, вітру та води для енергопостачання автономних домогосподарств.
2. Розробити систему теплопостачання на основі енергії сонця.
3. Провести розрахунки розміру водяної турбіни, діаметру подаючої труби, ГЕС в гідроакумуляуючому режимі роботи, об'єм водосховищ.
4. Оцінка потенціалу вітрової енергії для електропостачання споживачів.
5. Розробити рекомендації для проектування подібних систем енергопостачання

Структура роботи. Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, 4 частин, висновків та переліку посилань. Обсяг роботи: розрахунково-пояснювальна записка – 75 арк. формату А4, графічна частина – 22 аркуші презентації.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Теплова енергія від сонця

Більшість систем низькотемпературного сонячного опалення залежить від використання скла, зокрема його здатності пропускати видиме світло, але блокувати інфрачервоне випромінювання. Високотемпературні сонячні колектори частіше використовують дзеркала [1-3]. На практиці сонячні системи обох типів можуть мати найрізноманітніші форми. [4]

Активне сонячне опалення. Воно завжди включає в себе сонячний колектор, зазвичай встановлений на даху будівлі, для збору сонячного випромінювання. Здебільшого колектори досить прості, а вироблене тепло має низьку температуру і використовується для гарячого водопостачання.

Сонячні теплові двигуни. Вони є продовженням активного сонячного опалення, зазвичай використовують більш складні колектори, щоб виробляти температуру, достатню для приведення в дію парових турбін для вироблення електроенергії.

Пасивне сонячне опалення. Цей термін має два різних значення:

а) У "вузькому" значенні він означає поглинання сонячної енергії безпосередньо об'єктами в будівлі для зменшення енергії, необхідної для обігріву житлових приміщень. Пасивні системи сонячного опалення здебільшого використовують повітря для циркуляції зібраної енергії, як правило, без насосів або вентиляторів. Колектор часто є невід'ємною частиною будівлі.

б) У "широкому" розумінні це означає весь процес інтегрованого проектування енергоефективних будівель, спрямований на ефективне зниження попиту на тепло до такого рівня, коли невеликі пасивні сонячні теплопоступлення роблять значний внесок у зимовий період. Великий внесок сонячної енергії у велике теплове навантаження може виглядати вражаюче, але насправді важливо мінімізувати загальне споживання викопного палива і, таким чином, досягти мінімальних витрат.

1.2 Плоский сонячний колектор

Більшість плоских колекторів мають тонкі основні компоненти:

а) прозорий кожух, який може бути одним або декількома листами скла, пластикової плівки або листа, що пропускає випромінювання.

б) трубки, ребра, проходи або канали, що є невід'ємною частиною поглинаючої пластини колектора або з'єднані з нею, які несуть воду, повітря або іншу рідину.

в) поглинаюча пластина, як правило, металева з чорною поверхнею, хоча може використовуватися широкий спектр інших матеріалів, особливо з повітряними нагрівачами.

г) ізоляція, яка повинна бути передбачена ззаду і з боків для мінімізації теплових втрат.

д) кожух або контейнер, який закриває інші компоненти і захищає їх від негоди.

Принципи роботи плоского колектора.

Сонячне світло складається з короткохвильового випромінювання [5]. Це випромінювання може бути перетворене на тепло. Якщо скло в колекторі хорошої якості, тобто з низьким вмістом заліза, лише 12 % випромінювання відбивається, а решта 88 % поглинається колектором. Поглинач зазвичай виготовляється з ізоляційного матеріалу, покритого алюмінієвою плівкою і пофарбованого високотемпературною матово-чорною фарбою, яка може поглинати приблизно 95 % сонячного світла, а потім випромінювати це випромінювання у вигляді довгохвильового випромінювання. Різниця між високотемпературною матово-чорною фарбою і звичайною чорною фарбою полягає в тому, що друга перетворює приблизно 15 % випромінювання безпосередньо в тепло і випромінює близько 85 %. Однак довгохвильове випромінювання, яке випромінюється, потрапляє на скло і відбивається назад. Скло відбиває все випромінювання, воно потрапляє на поглинач і відбивається всередині, поки не перетвориться на тепло.



Рисунок 1.1 - Плоский сонячний колектор

1.3 Енергія вітру

Енергія вітру має потенціал для виробництва значних обсягів електроенергії без проблем забруднення навколишнього середовища, характерних для більшості традиційних форм виробництва електроенергії. Енергія вітру використовувалася протягом тисячоліть для розмелювання зерна, перекачування води та для виробництва механічної енергії. Сьогодні у світі працює понад мільйон вітряків, які використовуються переважно для перекачування води [6]. Хоча вітер і надалі використовуватиметься для цієї мети, саме використання енергії вітру як екологічно чистого засобу виробництва електроенергії в потенційно значних масштабах привертає найбільший інтерес до цієї теми.

Найпоширеніший спосіб розміщення вітрових турбін - це розміщення їх на пагорбах або хребтах з видом на навколишній ландшафт. Зокрема, завжди є перевагою мати якомога ширший огляд у напрямку вітру, що переважає в даній місцевості [7]. На пагорбах швидкість вітру також може бути вищою, ніж на прилеглій території. Знову ж таки, це пов'язано з тим, що вітер стискається на навітряному боці пагорба, а коли повітря досягає гребеня, воно може знову розширюватися, коли рухається вниз, в область низького тиску на підвітряному

боці пагорба (див. рис. 1.2).

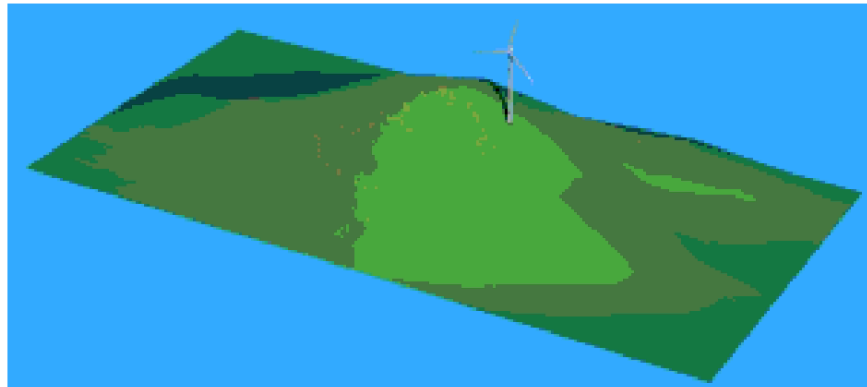


Рисунок 1.1 – Рельєфна місцевість

Вітер на рисунку 1.3 починає згинатися за деякий час до того, як досягне пагорба, тому що область високого тиску насправді простягається на досить велику відстань перед пагорбом. Також можна помітити, що вітер стає дуже нерівномірним, як тільки він проходить через ротор вітрогенератора.

Як і раніше, якщо пагорб крутий або має нерівну поверхню, може виникнути значна турбулентність, яка може звести нанівець перевагу високої швидкості вітру.

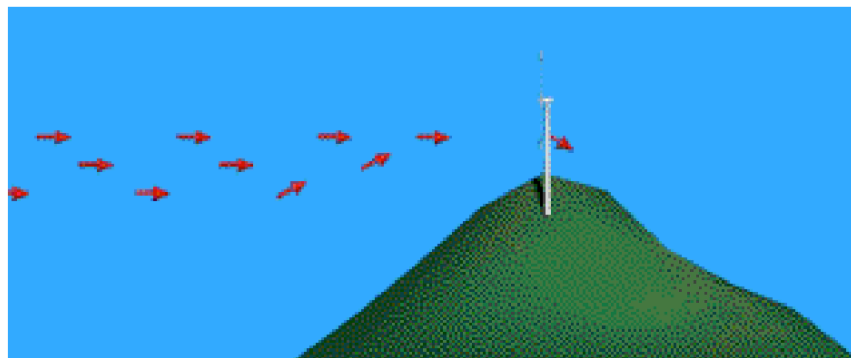


Рисунок 1.3 – Вплив рельєфу на повітряний потік

Трилопатеві вітрогенератори працюють "проти вітру", тобто лопаті спрямовані за вітром. Інший поширений тип вітрогенераторів - дволопатеві турбіни, що працюють за вітром.

Як же вітрові турбіни виробляють електроенергію? Простіше кажучи, вітрова турбіна працює обернено до вентилятора. Замість того, щоб використовувати електроенергію для створення вітру, як вентилятор, вітрові

турбіни використовують вітер для виробництва електроенергії. Вітер обертає лопаті, які обертають вал, що з'єднується з генератором і виробляє електроенергію. Турбіни промислового масштабу мають потужність від 50 до 750 кВт. Поодинокі невеликі турбіни, потужністю менше 50 кВт, використовуються для будинків, телекомунікаційних антен або для перекачування води.

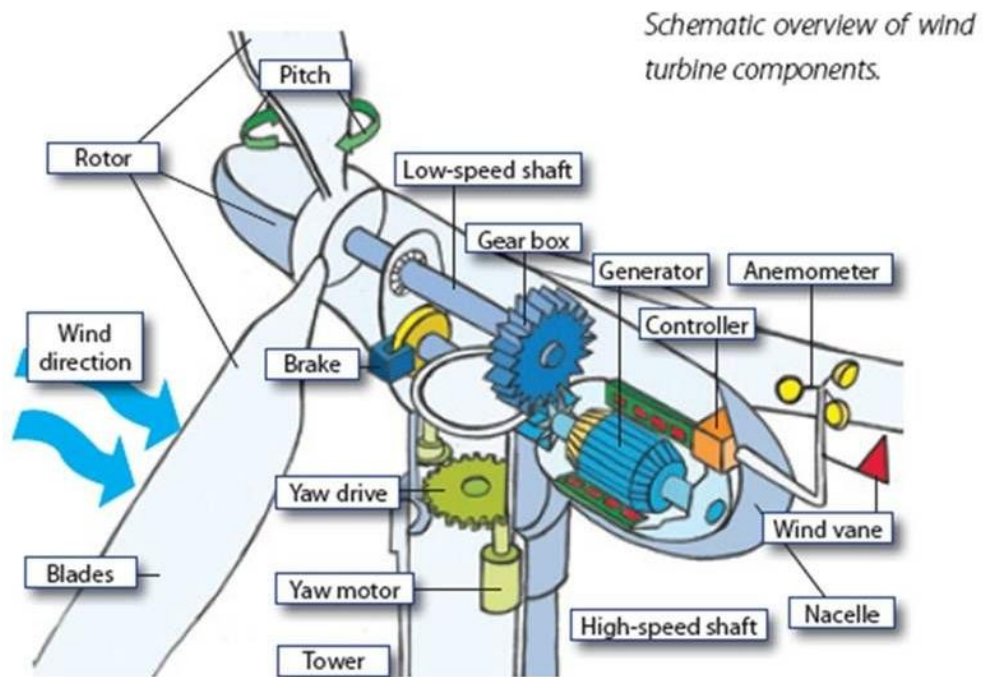


Рисунок 1.4 – Вітрова турбіна [8]

Основні компоненти вітрової турбіни:

- Анемометр. Вимірює швидкість вітру і передає дані про швидкість вітру на контролер.
- Лопаті. Більшість турбін мають дві або три лопаті. Вітер, що дме над лопатями, змушує їх створювати підйомну силу і обертатися.
- Гальмо. Дискове гальмо, яке може застосовуватися механічно, електрично або гідравлічно для зупинки ротора в аварійних ситуаціях.
- Контролер. Контролер запускає машину при швидкості вітру від 3,5 до 7,2 м/с і вимикає машину при швидкості близько 30 м/с.
- Коробка передач. Шестерні з'єднують низькошвидкісний вал з високошвидкісним і збільшують швидкість обертання з приблизно 30-60 обертів на хвилину (об/хв) до приблизно 1200-1500 об/хв - швидкості

обертання, необхідної для більшості генераторів для виробництва електроенергії. Коробка передач є дорогою (і важкою) частиною вітрової турбіни, тому інженери досліджують генератори з "прямим приводом", які працюють на нижчих швидкостях обертання і не потребують коробки передач.

- Генератор. Зазвичай готовий асинхронний генератор, який виробляє електроенергію змінного струму.

- Високошвидкісний вал. Приводить в рух генератор.

- Низькошвидкісний вал. Ротор обертає низькошвидкісний вал зі швидкістю від 30 до 60 обертів на хвилину.

- Гондола. Ротор кріпиться до гондоли, яка знаходиться на вершині вежі і включає в себе коробку передач, низько- і високошвидкісні вали, генератор, контролер і гальмо. Кришка захищає компоненти всередині гондоли. Деякі гондоли досить великі, щоб технік міг стояти всередині під час роботи.

- Ротор. Лопаті та маточина разом називаються ротором.

- Вежа. Вежі виготовляються з трубчастої сталі (показано тут) або сталеві решітки. Оскільки швидкість вітру збільшується з висотою, вищі вежі дозволяють турбінам вловлювати більше енергії і виробляти більше електроенергії.

- Флюгер. Вимірює напрямок вітру і зв'язується з приводом ризикування, щоб правильно орієнтувати турбіну за вітром.

- Привід орієнтації. Навітряні турбіни спрямовані за вітром; привід орієнтації використовується для утримання ротора спрямованим за вітром при зміні напрямку вітру. Навітряні турбіни не потребують приводу орієнтації, вітер дме на ротор за вітром.

- Реверсивний двигун. Приводить у дію привід орієнтації.

Горизонтальні вітротурбіни (ГВТ) зазвичай мають дві або три лопаті, або велику кількість лопатей, а також є турбіни з однією лопаттю. Вітрові турбіни з великою кількістю лопатей називають пристроями з високою содильністю, оскільки вони виглядають практично як суцільний диск, покритий суцільними лопатями, і використовуються для перекачування води на фермах.

Вітрогенератори, які використовують лише кілька лопатей, називаються пристроями з низькою солідністю. Сучасні вітрові турбіни HAWT є найпоширенішими на сьогоднішній день. Вони мають чистий, обтічний вигляд, завдяки кращому розумінню аеродинаміки конструкторами вітрових турбін, що значною мірою ґрунтується на розробках у галузі дизайну крил і пропелерів літаків. Їхні ротори, як правило, мають два або три крила - як лопаті. Вони майже повсюдно використовуються для виробництва електроенергії.

1.4 Гідроенергетика

Економічна ситуація зараз сприяє розвитку малих гідроелектростанцій, а також розробці спеціального обладнання. Методи, що дозволяють зробити нові низьконапірні гідравлічні турбіни та супутнє обладнання практичними та економічно життєздатними, відкрили нові грані гідроенергетики.

Гідроенергетика - це технологія перетворення енергії тиску і кінетичної енергії води в більш зручну для використання електричну енергію. Основним рушієм у гідроенергетиці є водяне колесо або гідравлічна турбіна, яка перетворює енергію води на механічну енергію.

У період з 1940 по 1970 роки малі ГЕС були фактично витіснені з виробництва через високу вартість експлуатації та готову доступність електроенергії від великих парових електростанцій і великих гідроелектростанцій великої потужності. Ситуація змінилася, і розвиток малої гідроенергетики стає привабливою альтернативою виробництва енергії. [9]

Технологія гідроакumuлюючої гідроенергетики - це система зберігання енергії, в якій вода перекачується з нижнього водосховища у верхнє, використовуючи недорогу "скидну" енергію, що виробляється в періоди низького попиту на електростанціях, які не можуть бути зупинені з економічної точки зору. Потім вода пропускається назад через турбіни для виробництва більш цінної енергії, необхідної в періоди пікового попиту.

1.5 Типи гідроенергетичних систем

Дві гідроелектростанції з однаковою потужністю можуть дуже відрізнятися: одна використовує відносно невеликий об'єм швидкісної води з високогірного водосховища, а інша - величезний об'єм потоку повільної річки. Ділянки та відповідні гідроелектростанції можна класифікувати як низьконапірні, середньонапірні або високонапірні. Межі є дещо розмитими і, як правило, залежать від того, чи є предметом обговорення будівництво, чи вибір турбіни, але під високим напором зазвичай мається на увазі ефективний напір, що значно перевищує 100 метрів, а під низьким напором - менше, можливо, 10 метрів [10].

Водосховище, як правило, у великій гідроенергетичній системі, використовує греблю для зберігання річкової води у водосховищі. Вода може бути випущена або для задоволення мінливих потреб в електроенергії, або для підтримання постійного рівня водосховища.



Рисунок 1.5 - Гребля Каховської ГЕС

Гребля руслового типу. Гребля з коротким підпірним пристроєм (підвідною трубою) спрямовує воду до турбін, використовуючи природний потік річки з дуже незначними змінами русла річки на ділянці і невеликим відведенням води.



Рисунок 1.6 - Русло річки

Вода відводиться з природного русла в канал або довгий дюкер, таким чином змінюючи потік води в потоці на значній відстані.

1.6 Гідроакумулюючі електростанції

Гідроакумулюючі електростанції використовують силу гравітації для виробництва електроенергії за допомогою води, яку попередньо перекачують з нижнього джерела до верхнього водосховища (рис.1.7).

У періоди низького попиту і низьких цін на електроенергію вода перекачується до верхнього водосховища. У періоди високого попиту - і вищих цін - воду випускають, щоб вона приводила в дію турбіну на електростанції і постачала електроенергію в мережу.

Потужність зберігання енергії на насосній ГЕС залежить від розміру двох водосховищ, а кількість виробленої електроенергії - від розміру турбіни.

Об'єкт з двома водосховищами розміром приблизно як два олімпійських басейни з різницею у висоті 500 метрів між ними може забезпечити потужність 3 мегават (МВт) і зберігати до 3,5 мегават-годин (МВт·год) електроенергії.

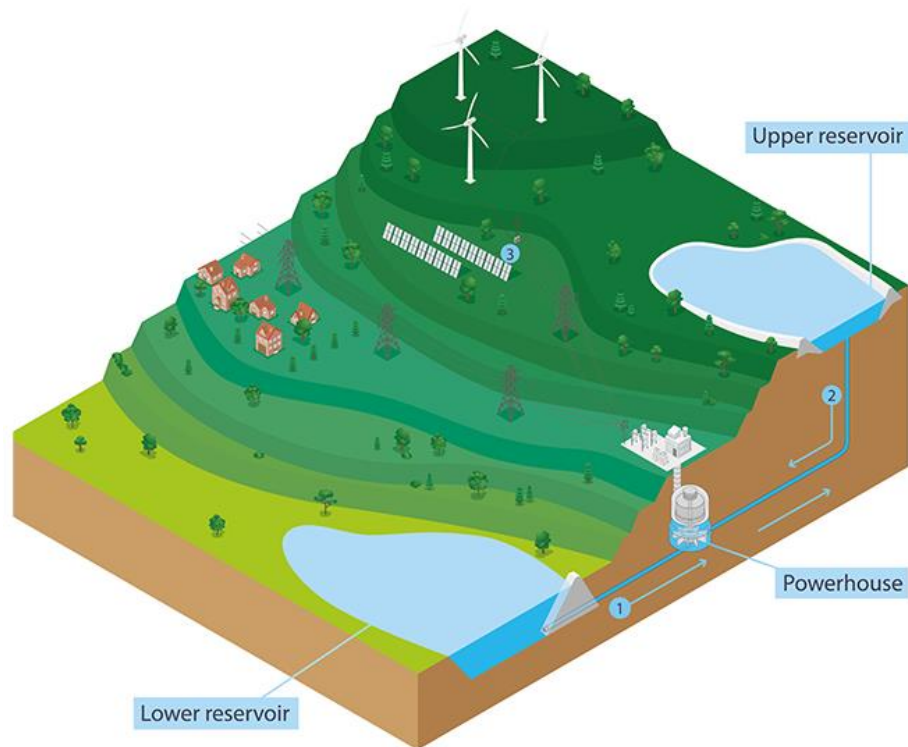


Рисунок 1.7 - Гідроакумулюючі електростанції

Існує два основних типи насосних гідроелектростанцій:

- Відкритий цикл: з верхнім або нижнім резервуаром, який постійно з'єднаний з природним джерелом води, таким як річка.
- Замкнутий цикл: "позарічковий" об'єкт, який виробляє електроенергію з води, що перекачується у верхнє водосховище без значного природного притоку.

Гідроакумулююча гідроенергетика є найбільшою у світі акумуляторною технологією, на яку припадає понад 94 відсотки встановлених світових потужностей зберігання енергії, що значно випереджає літій-іонні та інші типи акумуляторів.

За оцінками Міжнародної асоціації гідроенергетики гідроакумулюючі електростанції по всьому світу зберігають до 9 000 ГВт·год електроенергії.

Нещодавні дослідження показують, що існує значний потенціал для збільшення глобальних потужностей гідроелектростанцій, в тому числі за рахунок більш ніж 600 000 визначених позарічкових об'єктів.

Стрімке зростання змінних джерел відновлюваної енергії (ВДЕ), таких як сонячна та вітрова енергія, збільшує потребу в стабільних, надійних рішеннях для зберігання енергії, які можуть працювати в масштабах енергосистеми.

Гнучкість, яку насосні гідроакumuлюючі станції забезпечують завдяки своїм системам зберігання та допоміжним мережевим послугам, розглядається як все більш важлива для забезпечення стабільного електропостачання.

Гідроакumuлюючі електростанції мають перевагу в тривалості розряду, а їхня висока потужність матиме вирішальне значення для уникнення відключень, зменшення перевантажень на лініях електропередачі та зниження загальних витрат і викидів в енергетичному секторі.

Крім того, гідроакumuлюючі електростанції мають ряд явних переваг над іншими формами зберігання енергії завдяки тривалому терміну служби, низькій вартості за весь термін експлуатації та незалежності від сировини.

Згідно зі Звітом про стан гідроенергетики ІНА, загальна встановлена потужність гідроакumuлюючих електростанцій у 2019 році оцінювалася у 158 ГВт.

Численні дослідження виявили величезний потенціал гідроакumuлюючих станцій у всьому світі, а також зростає кількість досліджень щодо можливостей модернізації застарілих шахт, підземних шахт, підземних рудників та інших об'єктів, що потребують модернізації.

1.7 Висновки до розділу

1. Проведено аналіз системи теплопостачання на основі плоского сонячного колектора.

2. Розглянуто можливості енергії вітру для електропостачання віддалених від електричних мереж населених пунктів.

3. Проведено аналіз гідроенергетики та її можливості проводити акумулювання електроенергії.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Міні-ГЕС

2.1.1 Верхнє та нижнє водосховища

З лівого боку пагорба, на якому розташоване поселення, на висоті приблизно 110 м над рівнем річки знаходиться природне водосховище, яке вже збирає воду від дощів (рис. 2.1). Шляхом копання ми можемо збільшити об'єм водойми і кількість води, яку вона збиратиме. Ми повинні побудувати невелику дамбу з лівого боку (як показано на рисунку 2.1, де з'являється синя лінія) і з правого боку (як показано на рисунку 2.2, де є синя лінія), щоб уникнути втрат води і повеней.



Рисунок 2.1 - Верхнє водосховище. Вітік

Для будівництва дамби ми можемо використовувати каміння, яке вже є на місці, а додавши ще трохи, ми можемо збільшити її висоту. Для будівництва дамб краще використовувати каміння, ніж бетон, тому що:

а) каміння є фізичним матеріалом, його можна знайти скрізь, і воно не шкодить навколишньому середовищу, в той час як бетон має негативний вплив на навколишнє середовище.

б) каміння дешеве, в той час як бетон - ні.



Рисунок 2.2 - Верхнє водосховище. Схил

На рисунку 2.2 більш чітко показано рівень води у водосховищі на даний момент.

Ми можемо створити водосховище розміром 30 м завширшки, 50 м завдовжки і 3,0 м завглибшки (див. рисунок 2.3). Це означає, що об'єм води, який може зібрати водосховище, визначається рівнянням нижче:

$$V = W \cdot L \cdot D \cdot m \cdot m \cdot m = 30 \cdot 50 \cdot 3 [m^3] \Rightarrow V = 4500m^3$$



Рисунок 2.3 - Верхній резервуар

Вода буде стікати до нижнього водосховища з лівого боку водосховища, як показано на рисунку 2.1 вище. Труби передаватимуть воду до нижнього резервуару, який буде розташований близько до рівня річки. На рисунку 2.4 ми бачимо схил пагорба, по якому вода буде стікати до нижнього резервуару.



Рисунок 2.4 - Схил пагорба

Об'єм нижнього водосховища повинен бути таким же, як і верхнього, оскільки міні-ГЕС буде використовуватися як резервна система, коли енергії, яка буде надаватися хутору від інших відновлюваних джерел, буде недостатньо для забезпечення потреб мешканців села. Спочатку ми думали використати річку в якості нижнього резервуару, але це не вдалося зробити, оскільки річка знаходиться під захистом екологів, і це вплине на екосистему річки. Отже, ми повинні побудувати нове водосховище близько до рівня річки, щоб використовувати його як нижнє водосховище для міні-ГЕС. Слід приділити увагу естетичному вигляду нижнього водосховища; гарна ідея - перекопати територію, щоб створити простір, схожий на невелике озеро або басейн. Також було б непогано посадити навколо водойми кілька дерев, щоб уникнути нещасних випадків. Для з'єднання нижнього резервуару з річкою, на випадок,

якщо рівень води у водоймі значно підвищиться, слід використати трубу. Таким чином ми зможемо уникнути можливих затоплень.

2.1.2 Типи турбін

Коли вода проходить через гідроелектростанцію, її енергія перетворюється на електричну за допомогою механізму, відомого як гідравлічна турбіна або водяне колесо. Турбіна має лопаті, лопаті або ковші, які обертаються навколо осі під дією води. Обертovu частину турбіни або водяного колеса часто називають ротором. Обертальна дія водяної турбіни, в свою чергу, приводить в дію електричний генератор, який виробляє електричну енергію або може приводити в дію інші обертові механізми.

Гідравлічні турбіни - це машини, які розвивають крутний момент за рахунок динаміки і тиску води. Їх можна поділити на два типи. Один тип - це імпульсна турбіна, яка використовує кінетичну енергію високошвидкісного струменя води для перетворення енергії води в механічну енергію. Другий тип - це реактивні турбіни, які розвивають потужність за рахунок комбінованої дії енергії тиску і кінетичної енергії води. Реактивні турбіни можна розділити на кілька типів, з яких основними є турбіна Френсіса і пропелерна турбіна.

2.1.2.1 Імпульсні турбіни

Імпульсні турбіни - це найстаріша форма гідравлічних машин, яку зазвичай називають колесом Пелтона, що використовується для перетворення гідроенергії в механічну роботу. Це також найпростіші гідравлічні машини з точки зору їхньої прозорої конструкції, низьких витрат на обслуговування і простоти управління. Вони зазвичай використовуються на гідроелектростанціях, що характеризуються високими напорами і низькими витратами. Оскільки це машини з низькою питомою швидкістю, їхня конструкція не повинна бути надто міцною і складною. Однак питома

швидкість може бути збільшена шляхом додавання додаткових "сопел", коли в цьому виникає потреба. Крім того, оскільки ці машини працюють при атмосферному тиску, немає необхідності в складних конструкціях ущільнень. Навіть ризик кавітації на них дуже обмежений у порівнянні з іншими типами турбін. Завдяки цим та іншим перевагам імпульсні турбіни стали найпоширенішими гідравлічними машинами для виробництва гідроелектроенергії в усьому світі.

Турбіна Пелтона

Турбіна Пелтона, показана на рис.2.5, складається з набору ковшів спеціальної форми, встановлених на периферії круглого диска.



Рисунок 2.5 - Турбіна Пелтона

Диск обертається під дією струменів води, які витікають з одного або декількох сопел і б'ють по ковшах. Ковші (див. рис. 2.6.8 і 2.7) розділені на дві половини, щоб центральна частина не була мертвою зоною, нездатною

відхилити воду від зустрічного струменя. Виріз на нижній кромці дозволяє наступному ковшу просунути далі, перш ніж відрізати струмінь, що рухає ківш попереду, а також забезпечує більш плавне входження ковша в струмінь. Ківш Пелтона спроектований таким чином, щоб відхилити струмінь на 165 градусів (а не на 180 градусів), що є максимально можливим кутом, при якому зворотний струмінь не заважає наступному ковшу рухатися у зустрічному струмені. [11]



Рисунок 2.6 - Ковші турбіни Пелтона

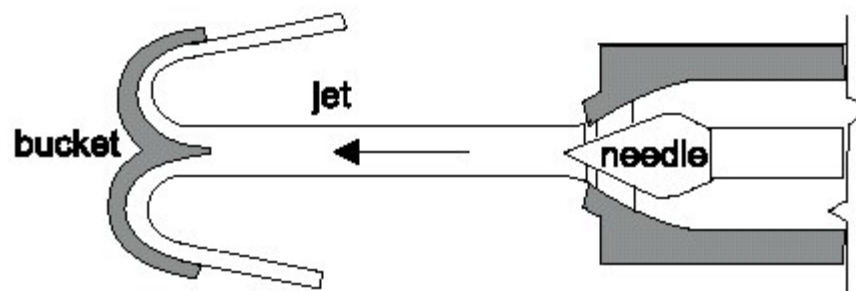


Рисунок 2.7 - Імпульсна турбіна Пелтона (форма ковша)

У великих гідроелектростанціях турбіни Пелтона зазвичай розглядаються тільки для напорів вище 150 м, але для міні-гідроелектростанцій турбіни Пелтона можуть ефективно використовуватися при напорах до 20 м. Турбіни Пелтона не використовуються при менших напорах, оскільки швидкість їх

обертання стає дуже низькою, а необхідний робочий орган є дуже великим і громіздким. Якщо розмір робочого колеса і низька швидкість не є проблемою для конкретної установки, то турбіну Пелтона можна ефективно використовувати при досить низьких напорах. Якщо ж потрібна вища швидкість і менший розмір робочого колеса, то є ще два варіанти:

- Збільшення кількості струменів за рахунок використання двох або більше струменів дозволяє використовувати менший ротор для заданого потоку і збільшує швидкість обертання. Необхідна потужність все ще може бути досягнута, а ефективність часткового потоку особливо висока, оскільки колесо може працювати на меншій кількості струменів, при цьому кожен струмінь, що використовується, все ще забезпечує оптимальний потік.

- Здвоєні турбіни. Дві турбіни можуть бути розміщені на одному валу або поруч, або на протилежних сторонах генератора. Така конфігурація є незвичною і використовувалася б тільки в тому випадку, якщо кількість струменів на одну турбіну вже була максимальною, але вона дозволяє використовувати турбіни меншого діаметру і, отже, швидше обертатися.

Турботурбіна

Турбіна Турго (рис. 2.8) - це імпульсна машина, схожа на турбіну Пелтона, але розроблена для досягнення вищої питомої швидкості. У цьому випадку струмінь спрямований на площину турбіни з одного боку і виходить з іншого. Тому швидкість потоку не обмежується тим, що рідина, яка витікає, заважає вхідному струменю (як у випадку з турбінами Пелтона). Як наслідок, турбіна Турго може мати менший діаметр робочого колеса, ніж турбіна Пелтона при еквівалентній потужності. Завдяки меншому діаметру робочих коліс, що швидше обертаються, турбіни Турго, швидше за все, можна буде підключати безпосередньо до генератора, а не через дорогу передачу, що збільшує швидкість обертання.

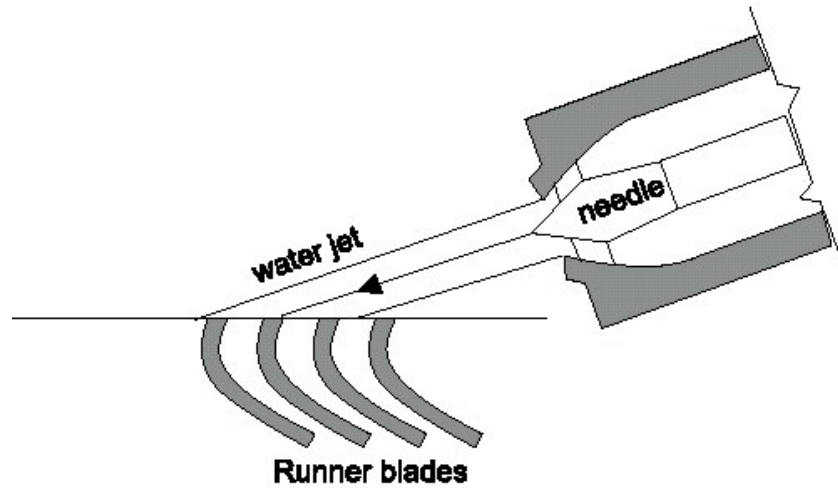


Рисунок 2.8 - Турбіна Турго

Як і Пелтон, Турго ефективна в широкому діапазоні швидкостей і має загальні характеристики імпульсних турбін, перераховані для Пелтона, включаючи той факт, що вона може бути встановлена як горизонтально, так і вертикально. Робоче колесо Турго складніше у виготовленні, ніж у Пелтона, а лопаті робочого колеса більш крихкі, ніж ковші Пелтона.

2.1.2.2 Реактивні турбіни

Турбіни Френсіса

Турбіни Френсіса, зображені на рис.2.9, можуть бути як з спіральним, так і з відкритим корпусом. Спіральний корпус звужується для рівномірного розподілу води по всьому периметру робочого колеса, а напрямні лопатки подають воду в робоче колесо під правильним кутом. Лопаті ротора мають складний профіль і спрямовують воду так, щоб вона виходила в осьовому напрямку з центру ротора. Таким чином, вода передає більшу частину своєї енергії тиску ротору, перш ніж покинути турбіну через витяжну трубу.

Турбіна Френсіса, як правило, оснащена регульованими напрямними лопатками. Вони регулюють потік води, коли вона надходить у турбіну, і зазвичай пов'язані з системою регулювання, яка узгоджує потік з навантаженням на турбіну, так само, як списоподібний клапан або дефлекторна

пластина в турбіні Пелтона. Коли потік зменшується, ефективність турбіни падає.

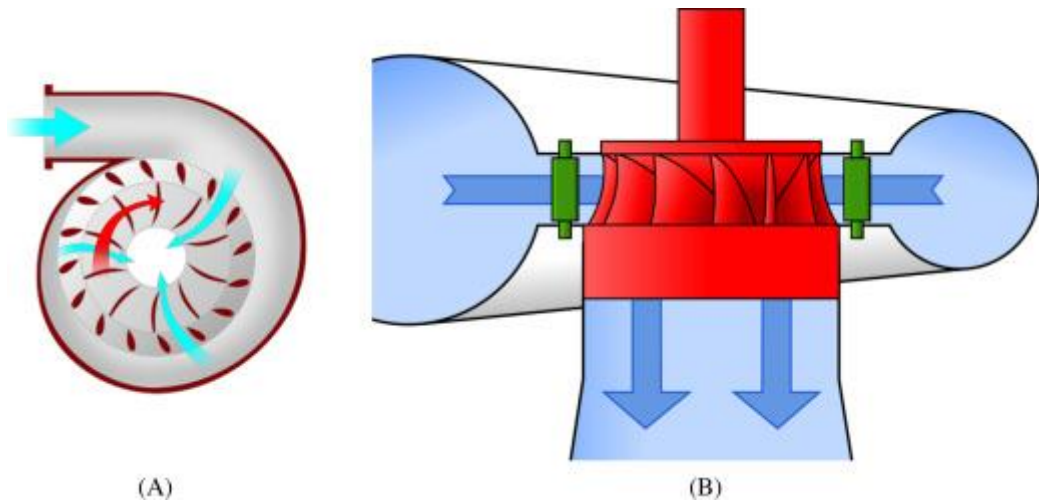


Рисунок 2.9 - Турбіна Френсіса

Турбіна Каплана

Базова пропелерна турбіна складається з пропелера, схожого на корабельний гвинт, встановленого всередині продовження труби (рис. 2.10 і 2.11). Вал турбіни виходить з труби в місці, де труба змінює напрямок.

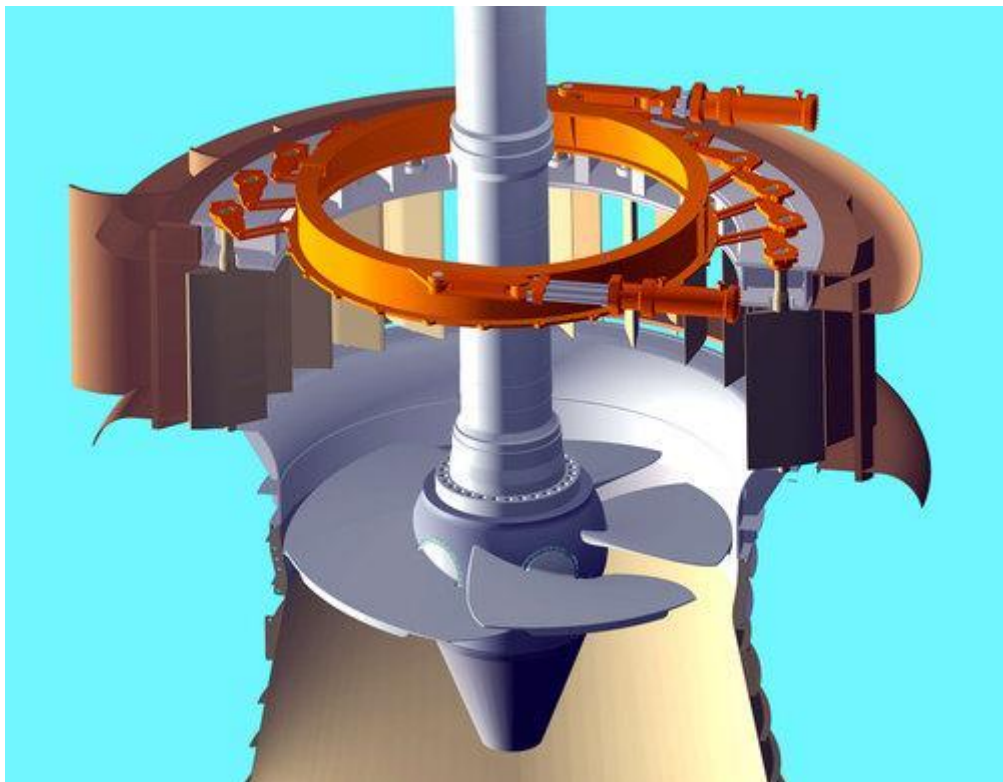


Рисунок 2.10 - Турбіна Каплана



Рисунок 2.11 Турбіна Каплана Hydrolink

Пропелер зазвичай має від трьох до шести лопатей, три у випадку дуже низького напору, а потік води регулюється статичними лопатями або поворотними затворами ("заслонками"), розташованими безпосередньо перед пропелером. Цей тип пропелерної турбіни відомий як осьова турбіна з фіксованими лопатями, оскільки кут нахилу лопатей ротора не може бути змінений. Ефективність використання частини потоку у пропелерних турбін з фіксованими лопатями, як правило, дуже низька. На великих гідроелектростанціях використовуються більш досконалі версії пропелерних турбін. Зміна кроку лопатей гребного гвинта разом з регулюванням затвору дозволяє підтримувати прийнятну ефективність в умовах часткового потоку.

2.1.2 Основні концепції мікро- та міні-ГЕС

Мікрогідроенергетика зазвичай відноситься до гідротурбінних систем потужністю менше 100 кВт. Міні-ГЕС зазвичай відносяться до установок потужністю від 100 кВт до 1000 кВт. Такі малі ГЕС використовувалися

протягом багатьох років, але нещодавнє зростання вартості електроенергії та програми стимулювання зробили будівництво та розвиток мікро- та міні-ГЕС набагато привабливішими для розробників. Аналогічно, невеликі села та ізольовані громади в країнах, що розвиваються, знаходять вигідним та економічно вигідним використання мікро- та міні-ГЕС [12].

Принципи роботи, типи агрегатів та математичні рівняння, що використовуються при виборі мікро- та міні-ГЕС, по суті, такі ж самі, як і для традиційних гідроенергетичних об'єктів. Однак існують унікальні проблеми, і часто вартість техніко-економічного обґрунтування та витрати на виконання всіх регуляторних вимог ускладнюють економічне обґрунтування розвитку мікро- та міні-ГЕС.

2.1.3 Питома швидкість турбіни

Параметром, який зазвичай використовується при виборі турбін, є питома швидкість (N_s), яка пов'язана з вихідною потужністю (P в кВт), ефективним напором (H в метрах) і частотою обертання (n в обертах за хвилину) наступним чином:

$$N_s = n \sqrt{\left(\frac{P}{H^2 \cdot \sqrt{H}} \right)} \quad (2.1)$$

або

$$N_s = \frac{n \sqrt{P}}{H^{5/4}} \quad (2.2)$$

де N_s - питома швидкість, одиниці об/хв,

n - частота обертання турбіни, об/хв

P - вихідна потужність при найкращому ККД, кВт

Наведену вище формулу можна записати у більш простому вигляді:

$$N_s = 500 \left(\frac{r}{R} \right) \left(\frac{v_B}{v_W} \right) \quad (2.3)$$

де $\frac{r}{R}$ - відношення діаметра вхідного потоку або струменя води до загального діаметру турбіни: $\frac{d}{D}$ або $\frac{r}{R} \frac{v_B}{v_W}$ - відношення швидкості лопаті до швидкості води

2.1.4 Потужність агрегату

Одинична потужність - це потужність, що виробляється турбіною з одиничним діаметром, який працює під одиничною головкою. Відповідна розмірна одинична потужність:

$$P_{ed} = \frac{P}{\rho \cdot D^2 \cdot gH^{3/2}} \quad (2.4)$$

де P_{ed} - одинична потужність, розмірність

P - вихідна потужність турбіни, Вт

ρ - густина води, кг/м³

g - прискорення сили тяжіння, м/с²

2.1.5 Швидкість агрегату

Змінна відношення швидкостей, помножена на постійні члени, замінюється на одну змінну n_1 , відому як одинична швидкість. Тоді

$$n_1 = \frac{nd}{\sqrt{h}} \quad (2.5)$$

де n_1 - частота обертання в об/хв теоретичної турбіни одиничного діаметру, що працює під чистим напором, який дорівнює одиниці.

2.1.6 Одинична витрата

Відповідна безрозмірна одинична витрата, визначена міжнародними стандартами, є наступною:

$$Q_{ed} = \frac{Q}{D^2 \sqrt{gH}} \quad (2.6)$$

де Q_{ed} - одинична витрата

Q - розрахункова витрата, що протікає через турбіну, м³/с

2.1.7 Швидкість ротора

Для визначення швидкості ротора, вона повинна бути визначена спеціальним чином, якщо для приводу генератора повинна використовуватися синхронна швидкість. Якщо турбіна безпосередньо з'єднана з генератором, частота обертання турбіни, n , повинна бути синхронною частоті обертання. Для того, щоб частота обертання турбіни, n , була синхронною, має виконуватися наступне рівняння:

$$n = \frac{120 f}{N_p} \quad (2.7)$$

де n - частота обертання, об/хв

f - електрична частота, герц (Гц)

N_p - кількість полюсів генератора (кратна чотирьом полюсам, але доступні генератори з кількістю полюсів, кратною двом).

2.1.8 Діаметр турбіни

Для оцінки діаметру турбіни необхідно покладатися на емпіричні рівняння або криві досліджень, які були розроблені на основі статистичних досліджень багатьох вже побудованих агрегатів. Прийнято пов'язувати змінну діаметра з універсальним числом, питомою швидкістю, n_s , N_s , w_s або ρ . Робота

deSiervo і deLeva (1976) показує наступне рівняння для турбіни Френсіса:

$$D_3 = 26,2 + 0,21N_s \frac{\sqrt{H}}{n} \quad (2.8)$$

де D_3 - напірний або вихідний діаметр, м.

Для пропелерних турбін deSiervo та deLeva (1977) наводять наступне рівняння для визначення розрахункового діаметра:

$$D_M = 66,76 + 0,136N_s \frac{\sqrt{H}}{n} \quad (2.9)$$

де D_M - зовнішній діаметр пропелера, м.

Для турбін Пелтона deSiervo та Lugaresi (1978) показують, що для оцінки діаметра турбіни можна використовувати наступні рівняння:

$$\frac{D_3}{D_2} = 1,028 + 0,137N_{sj} \quad (2.10)$$

$$N_{sj} = \frac{P / i^{0,5}}{H^{1,25}} \quad (2.11)$$

$$\frac{D_j}{D_2} = \frac{N_{sj}}{250,74 - 1,796N_{sj}} \quad (2.12)$$

де N_{sj} - питома швидкість для імпульсної турбіни на один струмінь;

i - кількість струменів, що використовуються імпульсною турбіною

D_2 - діаметр кроку колеса, м

D_2 - зовнішній діаметр колеса, м

D_j - діаметр струменя, м

P - номінальна потужність турбіни, кВт

Доланд (1954) наводить наступне рівняння для визначення розмірів коліс Пелтона:

$$d^2 = 830 \frac{\sqrt{h}}{n} \quad (2.13)$$

де d_1 - діаметр кола, що проходить через центри відер (діаметр кроку),

дюйми.

2.2 Система теплопостачання від сонячної енергії

2.2.1 Розташування

На жаль, для розташування майбутніх будинків довелося зрубати кілька дерев, щоб отримати більше місця. Будинки повинні бути побудовані на південному схилі пагорба, щоб повернутися схилом до сонця так, щоб поверхні отримували максимальну сонячну радіацію [14,15]. Територія, на якій будуть розташовані будинки, показана на рисунках 2.12 і 2.13 нижче.



Рисунок 2.12- Місце зведення будинків та монтажу сонячних панелей



Рисунок 2.13 - Схил для розташування сонячних панелей

Очевидно, що колектори сонячні панелі бути звернені до полуденного сонця - на південь у північній півкулі.

2.2.2 Конструкція плоского колектора

Перший закон термодинаміки може бути застосований до сонячної панелі, як показано на рис. 2.14 відповідно до (2.14):

$$Q_{in} = Q_{tr} + Q_{loss} \quad (2.14)$$

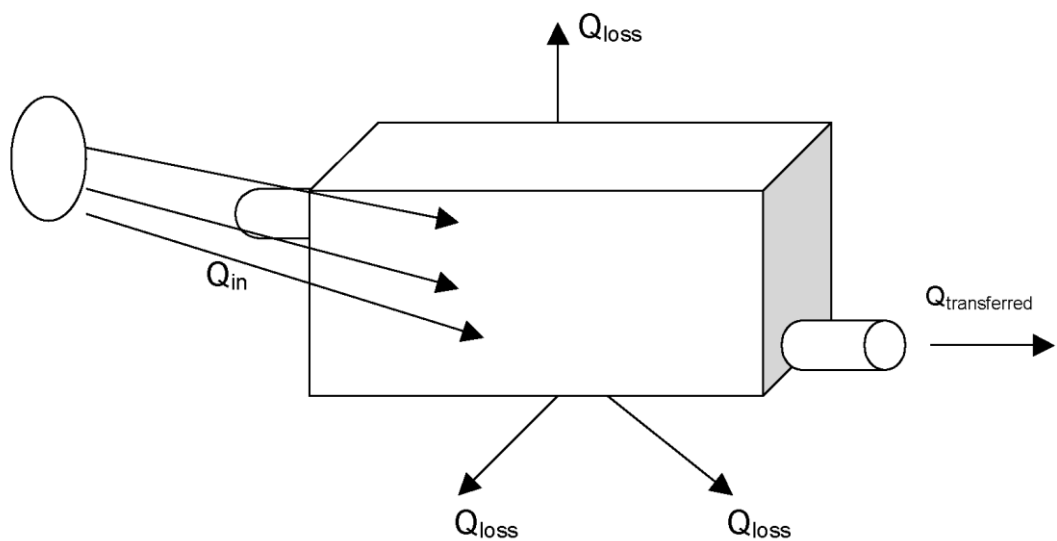


Рисунок 2.14 - Схема сонячної панелі

Передана енергія (Q_{tr}) - це корисна енергія, яка може бути використана для опалення будівлі або нагрівання води. Оскільки енергія сонця (Q_{in}) є постійною для будь-якої місцевості, передану енергію можна оптимізувати шляхом мінімізації теплових втрат (Q_{loss}).

2.2.3 Визначення розмірів колектора

При використанні водяної системи для опалення приміщень необхідно використовувати теплообмінник для передачі енергії від води до рециркуляційного повітря. Ефективність теплообмінників не досягає 100 %, і для компенсації цього необхідно збільшити розмір колектора. Передбачається,

що розмір колектора необхідно збільшити від 3 до 5 %. Оскільки рідина повертається в колектор з нижньої або холодної частини накопичувача, чим нижча ця температура, тим вища ефективність колектора.

Швидкість потоку в системі сонячного водопостачання помітно впливає на експлуатаційні характеристики. Загальноприйнято вважати, що слід використовувати 1,018 л/хв на кожен квадратний метр колектора, тобто для колектора площею 88,4 м² потрібна швидкість потоку 88,4·1,018 або 90 л/хв. [16]

Колектори, призначені для гарячого водопостачання, розраховані на забезпечення від 70 до 80% опалювального навантаження. Необхідний розмір колектора можна визначити з формули (2.15).

$$S = \frac{P \cdot Q}{F \cdot I_o \cdot E} \quad (2.15)$$

де S - розмір колектора в м²;

P - частка енергії, що надходить від сонця, у десятковому вигляді;

Q - необхідна енергія в кДж/добу;

F - частка отриманої інсоляції чистого неба, десятковий дріб;

I_o - сонячна інсоляція при ясному небі в кДж/м²-день;

E - середньорічна ефективність колектора, десятковий дріб;

2.2.4 Система тепlopостачання

Як показано на рисунку 2.15, взимку вода нагрівається в колекторі, який збирає сонячні промені, а потім вода проходить з верхньої частини колектора в бак, помпа 1 циркулює теплоносієм (воду) з бака через колектор і назад в бак. Гаряча вода, яка надходить з колектора, потрапляє всередину бака, нагріває воду в накопичувальному баку, а потім повертається назад в колектор. У похмурі дні гаряча вода з колектора також проходить через підігрівач, щоб стати гарячішою, а потім надходить безпосередньо в систему центрального опалення для обігріву приміщень будинку. Вентиль 1 також відкритий для того,

щоб дозволити холодній воді повертатися з батарей-теплообмінників назад до колектора. Насос 2 забезпечує циркуляцію води.

За допомогою теплового регулятора ми можемо керувати температурою в приміщенні. Цей регулятор з'єднаний з запобіжним клапаном-паровідвідником, насосом 1 і накопичувальним баком. Запобіжний клапан-паровідвідник використовується у випадку, якщо вода в колекторі стає дуже гарячою і працює як вентиляція для колектора, щоб знизити температуру води, щоб уникнути пошкоджень. Насос 1 використовується для циркуляції води з колектора в бак і назад в колектор, але він також використовується, коли температура в накопичувальному баку опускається нижче бажаної температури. Коли це відбувається, насос 1 знову починає працювати, щоб подавати гарячу воду в бак.

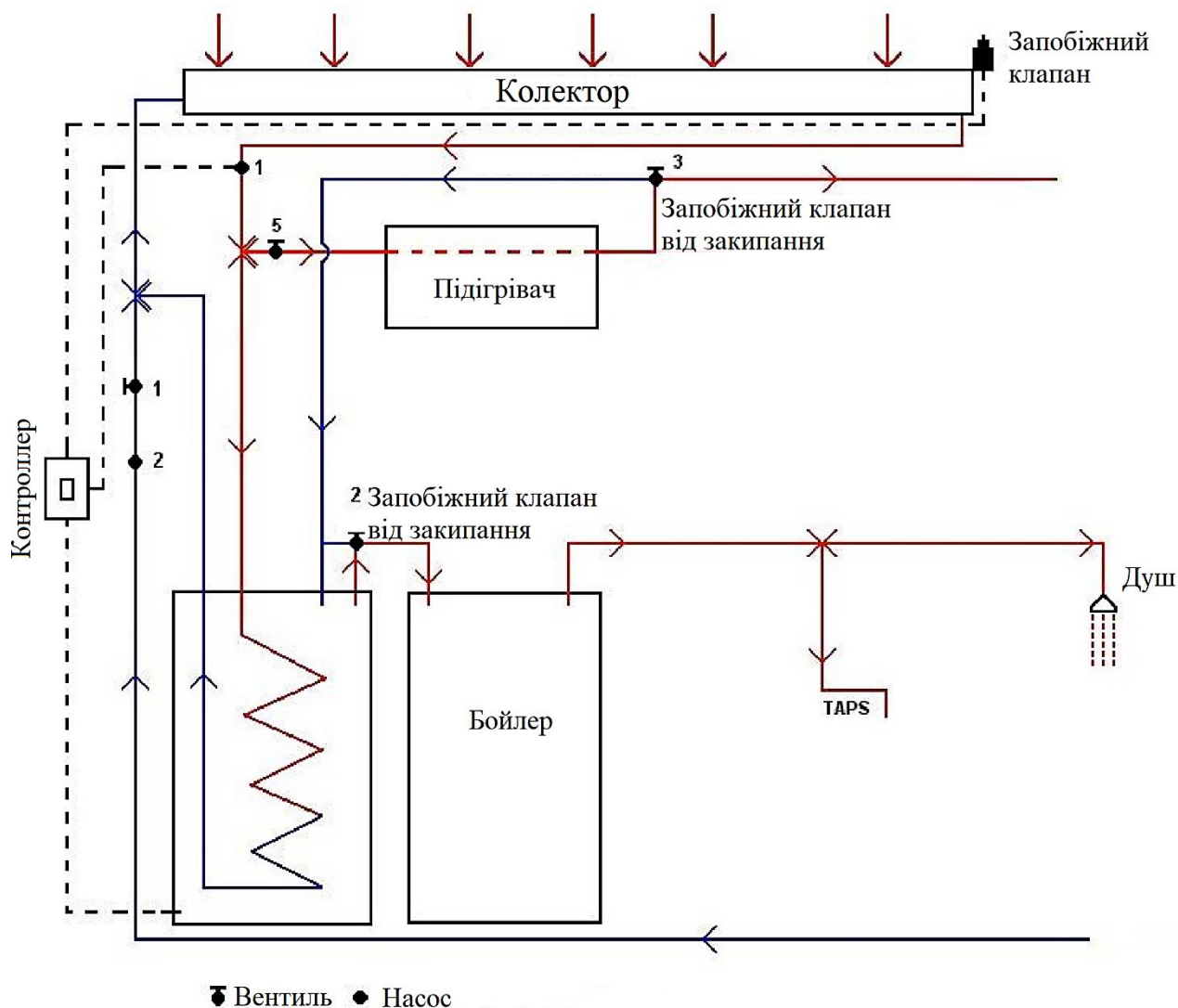


Рисунок 2.15 Схема системи гарячого водопостачання

Клапан 3 - це клапан захисту від закипання, який подає холодну воду у випадку, якщо вода з теплогенератора занадто гаряча, щоб уникнути будь-яких пошкоджень, які можуть виникнути в системі або в опалювальних приладах. Протизакипальний клапан 3 з'єднаний з баком і з клапаном 2, який знову подає холодну воду, щоб знизити температуру в баку котла. Вода з бака проходить через бойлер, в якому розміщений тепловий електронний пристрій, що працює як резервна система. Потім котел подає гарячу воду в будинок (наприклад, в душ, гарячу воду для інших потреб тощо).

Для того, щоб захистити наш колектор від замерзання, коли теплогенератор не працює, тобто коли ми вимикаємо систему, в колектор можна помістити електричний резистор, який при падінні температури нижче 50 °С автоматично вмикається і починає нагрівати воду в колекторі, поки вода не досягне температури 100 °С. Також можна використовувати автоматичний клапан, який почне циркуляцію води з колектора в бак, коли температура опуститься нижче 50 °С.

Влітку немає необхідності опалювати приміщення, тому, закривши вентилі 1 і 5, вода буде циркулювати з колектора в бак і назад в колектор. Вода в баку нагрівається, а потім потрапляє в бойлер, а з бойлера - в душові кабінки або в крани.

2.3 Розташування вітрових турбін

Вітрові турбіни будуть встановлені на вершині пагорба поселення для того, щоб отримати максимальну швидкість вітру і виробити максимальну потужність від вітру. На рис. 2.16 показано місце, де будуть розташовані вітрогенератори. Це найвища точка пагорба.



Рисунок 2.16 Територія для вітрових турбін

2.4 Висновки до розділу

1. Проведено аналіз місця розташування гідроакумуючої міні ГЕС.
2. Проведено аналіз та вибрано тип турбіни.
3. Розглянуто основні концепції побудови мікро- та міні-ГЕС. Визначено основні розрахункові залежності.
4. Описано систему теплопостачання на основі плоских сонячних колекторів. Запропоновано схему системи гарячого водопостачання.
5. Обрано місце розташування вітроелектростанції.

3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розрахунок розміру водяної турбіни

Схема гідроелектростанції є найбільш відомою (рисунок 4.1). Вода забирається з верхнього (накопичувального) водосховища для приведення в дію гідравлічної турбіни, яка, в свою чергу, приводить в дію генератор для виробництва електроенергії, після чого вода переходить до нижнього водосховища.

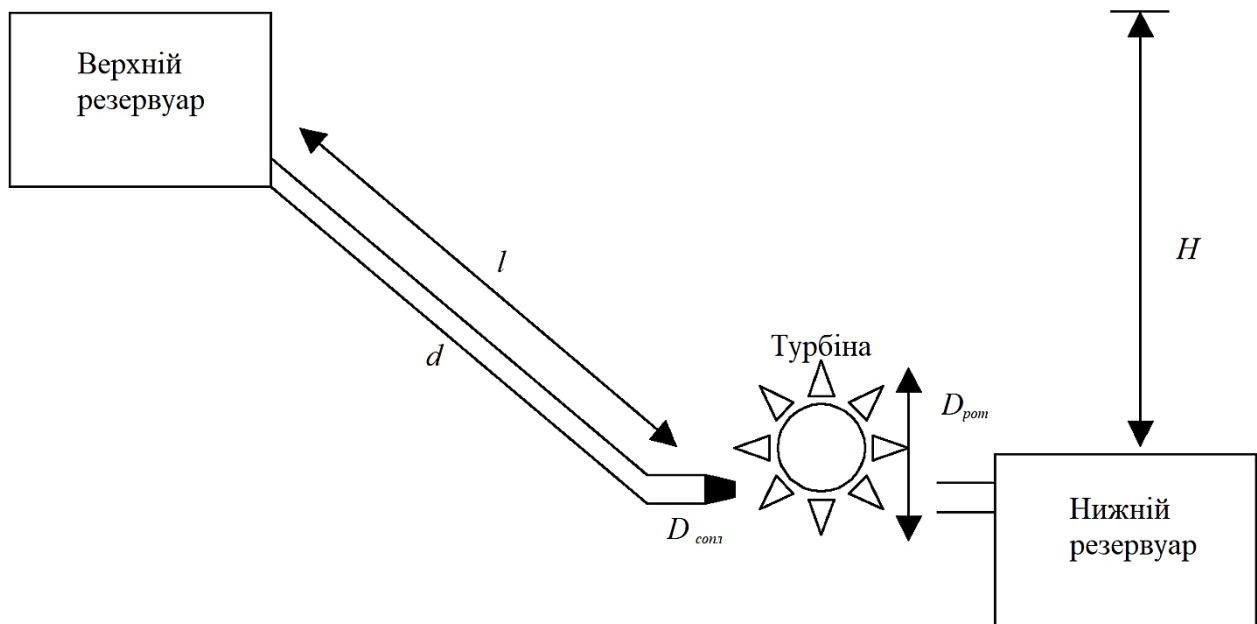


Рисунок 3.1 - Схема міні-ГЕС (турбіна)

Відповідно до наведеної вище схеми, рівняння енергетичного балансу має вигляд (3.1).

$$g \cdot H = W_{out} + \Sigma_{втрат} \quad (3.1)$$

Потужність, що видобувається турбіною, визначається за формулою (3.2).

$$p \cdot g \cdot W_{out} = p \cdot q \cdot \left[g \cdot H - \Sigma_{втрат} \right] = p \cdot A \cdot \bar{V} \left[g \cdot H - \frac{4 \cdot f \cdot l}{d} \cdot \frac{\bar{V}^2}{2} \right] \quad (3.2)$$

де \bar{V} - середня швидкість в трубі. Очевидно, що потужність рівня 0, коли \bar{V}

також рівна 0. Також для великих V , втрати gH і потужність рівні 0.

Графік залежності потужності від швидкості потоку q виглядатиме так, як показано на рис.3.2.

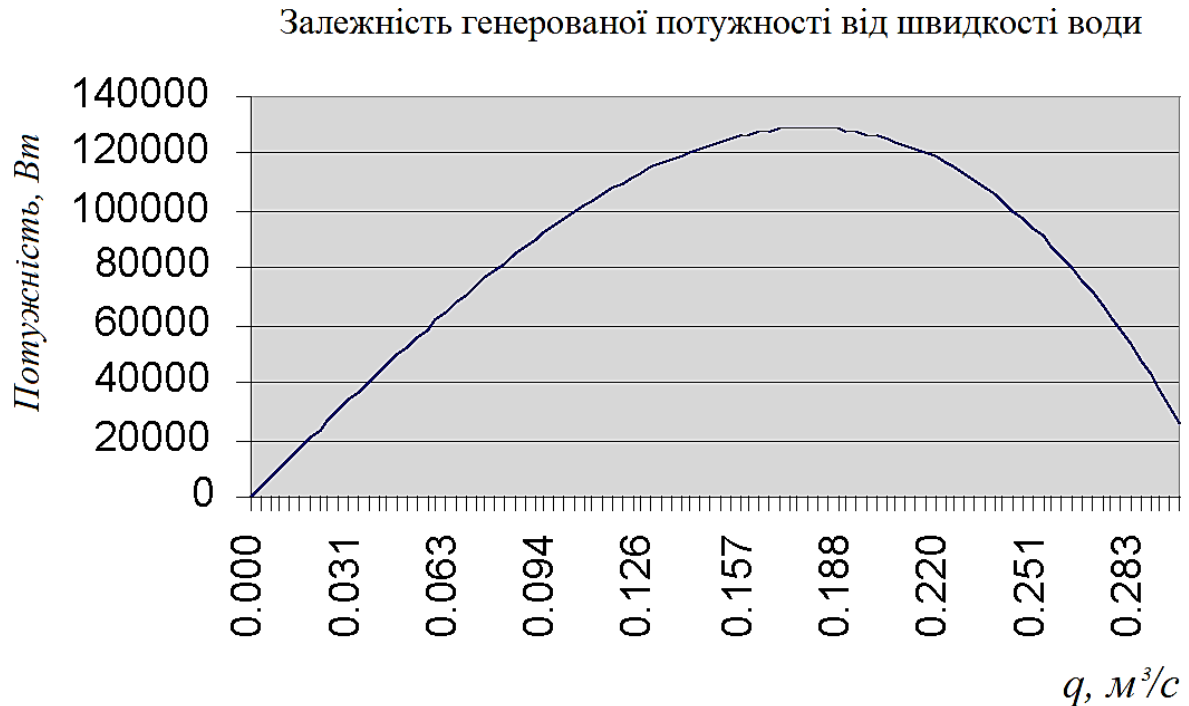


Рисунок 3.2 - Графік потужності

Для максимальної потужності,

$$\frac{d}{dV} P_{\max} = 0 = \rho \cdot A \cdot \left[g \cdot H - \frac{4 \cdot f \cdot l}{d} \cdot \frac{3 \cdot V^{-2}}{2} \right]. \quad (3.3)$$

Тоді

$$g \cdot H = 3 \cdot \frac{4 \cdot f \cdot l}{d} \cdot \frac{V^{-2}}{2} \Rightarrow \frac{4 \cdot f \cdot l}{d} \cdot \frac{V^{-2}}{2} = \frac{1}{3} g \cdot H$$

Ефективність труби в цілому така:

$$\eta_{тр} = \frac{g \cdot H - P_{втрат}}{g \cdot H} = 1 - \frac{P_{втрат}}{g \cdot H}. \quad (3.4)$$

Отже, $\eta_{тр}$ буде 1,0 для $q = 0$, значення $\eta_{тр}$ падає зі збільшенням швидкості потоку, до межі нуля, де втрати рівні $g \cdot H$.

У загальному випадку потужність визначається за формулою (3.5):

$$P = p \cdot q \cdot W_{out} = p \cdot q \cdot \left[g \cdot H - \frac{32 \cdot f \cdot l \cdot q^2}{\pi^2 \cdot d^2} \right]. \quad (3.5)$$

Якщо відома необхідна потужність, то складається кубічне рівняння для q , яке в загальному випадку має два розв'язки. Менший розв'язок буде прийнятий, оскільки система працюватиме з меншою витратою q .

У таблиці 3.1 наведено кількість кВт·год/рік, яку кожна будівля в хуторі потребуватиме для електроенергії та опалення. В останньому стовпчику наведено загальне споживання кВт·год/рік для всього хутора. На цьому етапі вуличне освітлення не враховуються.

Таблиця 3.1 - Потреби на енергопостачання хутора

Будівлі	Потужність електроенергії (кВт·год/рік)	Потужність опалення (кВт·год/рік)	Всього (кВт·год/рік)	Кількість будівель	Потужність (кВт·год/рік)
Будинки	4500	3000	7500	15	112500
Будинок старости	4500	3000	7500	1	7500
Магазин	6000	4000	10000	1	10000
Загальна потужність (кВт·год/рік)					130000

Як вже зазначалося вище, вихідна потужність турбіни в кВт отримана з наведеного вище рівняння, тому для того, щоб розрахувати швидкість потоку води в трубі, ми повинні перевести кВт·год/рік в кВт. Тому

$$P_{вих} = 130000 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}} \cdot \frac{3600 \text{ с}}{3600 \text{ с} \cdot 24 \text{ год} \cdot 365 \text{ днів}} = 14,84 \text{ кВт}$$

Це необхідна потужність, яку потрібно отримати від генератора, щоб покрити потреби хутора. Але ККД турбіни становить 0,8 або 80%, а ККД генератора - 0,8 або 80%. Щоб отримати необхідну потужність, нам потрібно розділити вихідну потужність на два коефіцієнти корисної дії - турбіни і

генератора (див. Табл.3.2).

Таблиця 3.2 – Розрахункова вихідна потужність

Вихідна потужність (кВт)	Коефіцієнт корисної дії турбіни	Коефіцієнт корисної дії генератора	Загальний коефіцієнт корисної дії	Вихідна потужність (кВт)
14,84	0,8	0,8	0,64	23,18

Для розрахунку швидкості потоку води в трубі, яка забезпечить необхідну потужність, використовується формула (3.6).

$$P_{вих} = \rho \cdot q \cdot \left[g \cdot H - 32 \frac{f \cdot l \cdot q^2}{\pi^2 \cdot d^5} \right], \quad (3.6)$$

де ρ - густина води 1000 кг/м³;

q - витрата води в м³/с;

g - сила тяжіння 9,81 м/с²;

H - напір верхнього резервуару від нижнього в метрах;

f - коефіцієнт тертя 0,005;

d - діаметр труби.

Для розрахунку довжини труби l в метрах нам необхідно знати нахил пагорба. Нахил пагорба становить близько 300 градусів до горизонталі, отже:

$$\sin 30^\circ = \frac{H}{l} \Rightarrow l = \frac{H}{\sin 30^\circ}$$

тоді $l = 2 \cdot H$

Відповідно до наведених вище розрахунків формула набуває вигляду (3.7).

$$P_{вих} = p \cdot q \cdot \left[g \cdot H - 32 \frac{f \cdot 2 \cdot H \cdot q^2}{\pi^2 \cdot d^5} \right] \Rightarrow$$

$$24000 = 1000 \cdot q \cdot \left[9,81 \cdot H - 32 \frac{0,005 \cdot 2 \cdot H \cdot q^2}{\pi^2 \cdot d^5} \right] \Rightarrow \quad (3.7)$$

$$24 = 9,81 \cdot H \cdot q - 0,0324 \cdot \frac{H \cdot q^3}{d^5} \Rightarrow$$

$$0,0324 \cdot \frac{H}{d^5} \cdot q^3 - 9,81 \cdot H \cdot q + 24 = 0$$

Єдиною невідомою величиною є швидкість потоку q . Ввівши значення напору H та діаметра труби d у наведене вище рівняння, можна обчислити відповідну швидкість потоку води. Зазвичай це рівняння має три корені, але один з них від'ємний, тому від'ємна витрата води неможлива. З двох інших вибирається менше значення, тому що для того, щоб втрати були мінімальними, потрібна якомога менша швидкість потоку. На даній ділянці невідомо, на якій висоті буде знаходитись нижній резервуар, тому використовується діапазон від 60 м до 120 м, як показано в електронних таблицях.

На рис. 3.3 показано швидкість потоку води в трубі та ефективність різних діаметрів труб в залежності від напору.

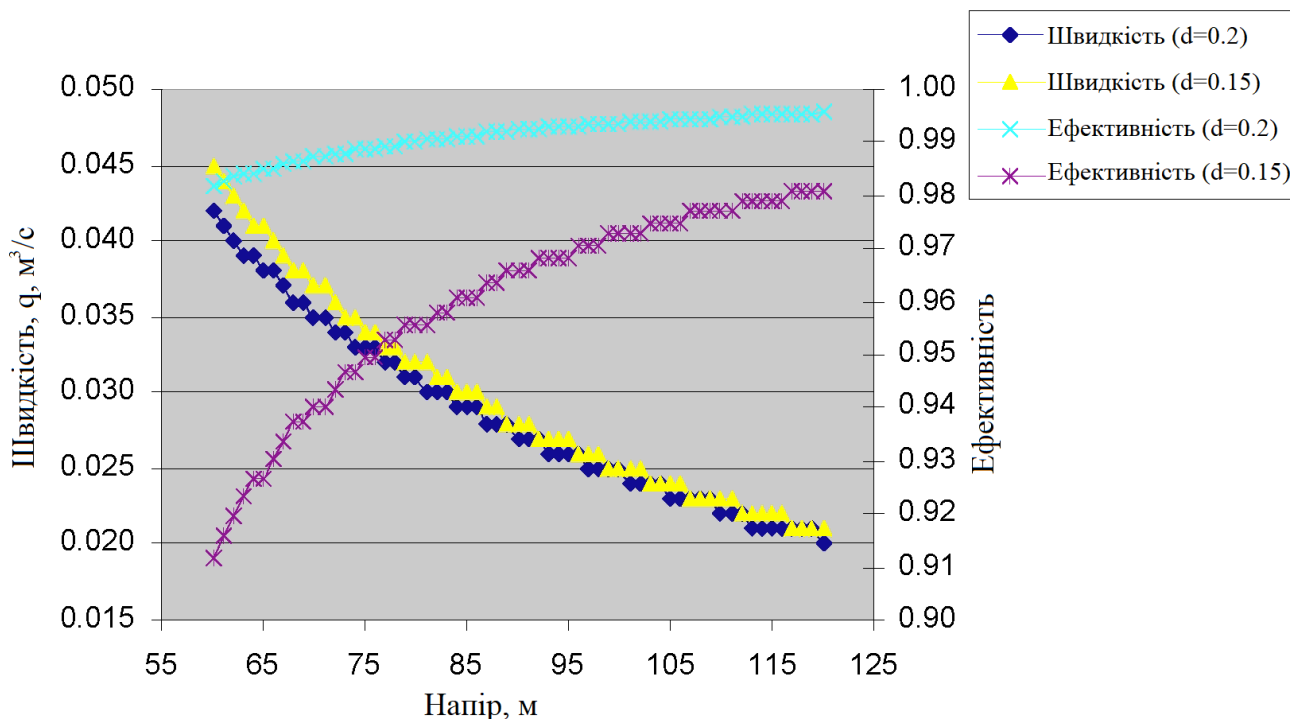


Рисунок 3.3 - Залежність швидкості потоку та ефективності від напору

На рис. 3.4 показано залежність швидкості води в трубах і час, необхідний для спорожнення верхнього резервуара від напору.

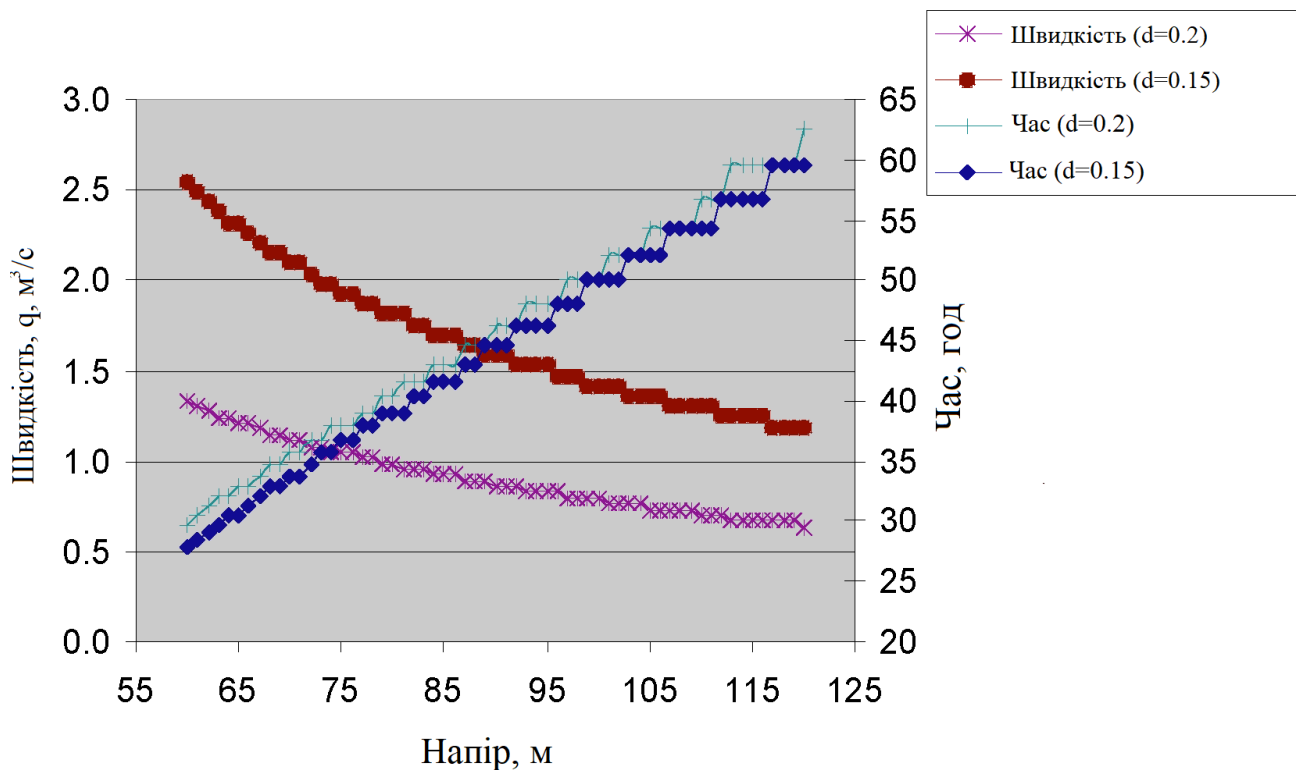


Рисунок 3.4 - Залежність швидкості води та часу від напору

3.2 Вибір діаметру подаючої труби

Розрахунок витрати q був зроблений для двох різних діаметрів труб, які становили 0,15 м і 0,20 м. Можна зробити висновок, що при використанні труби 0,20 м досягаються високі значення ефективності. Це означає, що його більш ніж достатньо для забезпечення необхідної потужності. Труба діаметром 0,15 м також дає високі значення ефективності, що також відповідає вимогам до потужності. Однак цей коефіцієнт корисної дії не такий високий, як у першій труби. У випадку можливого розширення хутора обидві труби будуть придатні для використання, оскільки швидкість потоку води в трубах обох діаметрів невелика. Ми не знаємо, якою буде різниця у вартості між цими двома трубами. До речі, труба діаметром 0,15 м буде дешевшою, ніж труба діаметром 0,20 м. У таблиці 3.3 нижче наведено приклад різних значень витрати, швидкості та

ефективності, які ми отримуємо при різних діаметрах труб.

Таблиця 3.3 Значення витрати, швидкості та ефективності, які отримуємо при різних діаметрах труб

Напір, H (м)	Діаметр труби d (м)	Витрата q (м ³ /с)	Швидкість, V (м/с)	Час, T (годин)	Ефективність
100	0,15	0,025	1,415	50	0,97
100	0,20	0,025	0,796	50	0,99

3.3 Розрахунок гідроагрегату з турбіною Пелтона

Як зазначено в попередньому розділі, для встановлення було обрано турбіну Пелтона, оскільки вона проста в експлуатації і дуже надійна. На кінці труби турбіни Пелтона є сопло, яке збільшує швидкість води, що набігає на лопаті. Діаметр цього сопла можна відрегулювати в будь-який час після установки на відповідний діаметр, щоб отримати необхідну потужність.

Для того, щоб розрахувати максимальну потужність, яку виробляє турбіна, ми повинні враховувати, що вихідна потужність залежить від витрати, q в м³/с або л/с, і швидкості струменя на виході з сопла, V сопла в м/с, які обидва залежать від діаметра сопла, D сопла в метрах, і втрат напору, h_L , пов'язаних з трубою, що подає.

$$P_{вих\max} = \rho \cdot q \cdot V_{ковшия} \cdot V_{ковшия} - V_{сопла} \cdot 1 - \cos \beta . \quad (3.8)$$

Прийняті рішення щодо діаметра турбіни, D_R в метрах - які впливають на швидкість турбіни, R_R в об/хв - і діаметр труби $D_{труби}$ в метрах. Діаметр сопла $D_{сопл}$, визначається за формулою (3.9) для того, щоб мати максимальну вихідну потужність.

$$D_{\text{сопл}} = \frac{D_{\text{труби}}}{\left(2 \cdot f \cdot \frac{l}{D_{\text{труби}}}\right)^{1/4}}. \quad (3.9)$$

Для розрахунку швидкості струменя на виході з сопла, $V_{\text{сопл}}$, відомо, що напір, H , визначається за (3.10).

$$H = \frac{V_{\text{сопл}}^2}{2g} + h_L, \quad (3.10)$$

де втрати напору, h_L , наведені через коефіцієнт тертя, f , як:

$$h_L = f \cdot \frac{l}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}. \quad (3.11)$$

Існують незначні втрати, пов'язані з входом в трубу і сопло, тому:

$$H = \left[1 + f \cdot \frac{l}{D_{\text{труби}}} \cdot \left(\frac{D_{\text{сопла}}}{D_{\text{труби}}}\right)^4\right] \cdot \frac{V_{\text{сопла}}^2}{2g}. \quad (3.12)$$

Розв'язавши це рівняння в термінах $V_{\text{сопл}}$, ми отримаємо швидкість струменя на виході з сопла (3.13).

$$V_{\text{сопла}} = \left[\frac{2g \cdot H}{1 + f \cdot \frac{l}{D_{\text{труби}}} \cdot \left(\frac{D_{\text{сопла}}}{D_{\text{труби}}}\right)^4} \right]^{1/2}, \quad (3.13)$$

Узявши похідну рівняння максимальної вихідної потужності відносно дотичної до нуля, отримаємо, що:

$$V_{\text{ковша}} = \frac{V_{\text{сопл}}}{2}$$

Для обчислення швидкості турбіни, R_R , в об/хв відомо, що:

$$V_{\text{ковши}} = \omega_R \cdot R_R = \frac{V_{\text{сопла}}}{2} \Rightarrow \omega_R = \frac{V_{\text{сопла}}}{2 \cdot \frac{D_R}{2}} \cdot \frac{60}{2\pi}, \quad (3.14)$$

де R_R - радіус турбіни в метрах

D_R - діаметр лотка в метрах

Швидкість потоку води в трубах, q , визначається за формулою (3.15).

$$q = A\alpha V, \quad (3.15)$$

де A - площа труби або сопла, м^2

V - швидкість води в трубі або насадці відповідно, м/с

Для того, щоб розрахувати швидкість води в трубі, $V_{\text{труби}}$, використовуємо формулу (3.16).

$$\begin{aligned} q_{\text{труби}} = q_{\text{сопла}} &\Rightarrow A_{\text{труби}} \cdot V_{\text{труби}} = A_{\text{сопла}} \cdot V_{\text{сопла}} \Rightarrow \\ \Rightarrow V_{\text{труби}} &= \frac{A_{\text{сопла}} \cdot V_{\text{сопла}}}{A_{\text{труби}}} \end{aligned} \quad (3.16)$$

Тепер розраховується вихідна потужність турбіни, яка визначається за формулою, що була описана на початку:

$$P_{\text{вих max}} = \rho \cdot q \cdot V_{\text{ковши}} \cdot (V_{\text{ковши}} - V_{\text{сопла}}) \cdot 1 - \cos \beta. \quad (3.17)$$

На рисунку 3.5 показано максимальну потужність, яку може виробляти турбіна, та кількість обертів відносно напору.

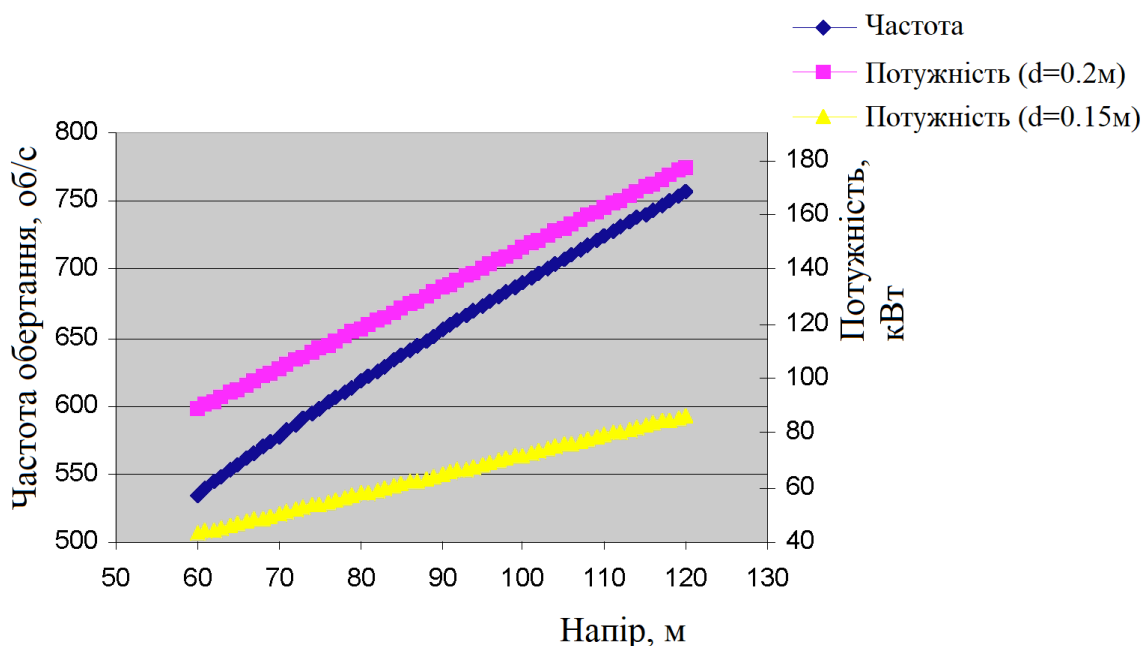


Рисунок 3.5 - Максимальна потужність і частота обертання в залежності

від напору

Швидкість води на виході з форсунки, а також швидкість води в трубі проти напору показані на рисунку 4.6

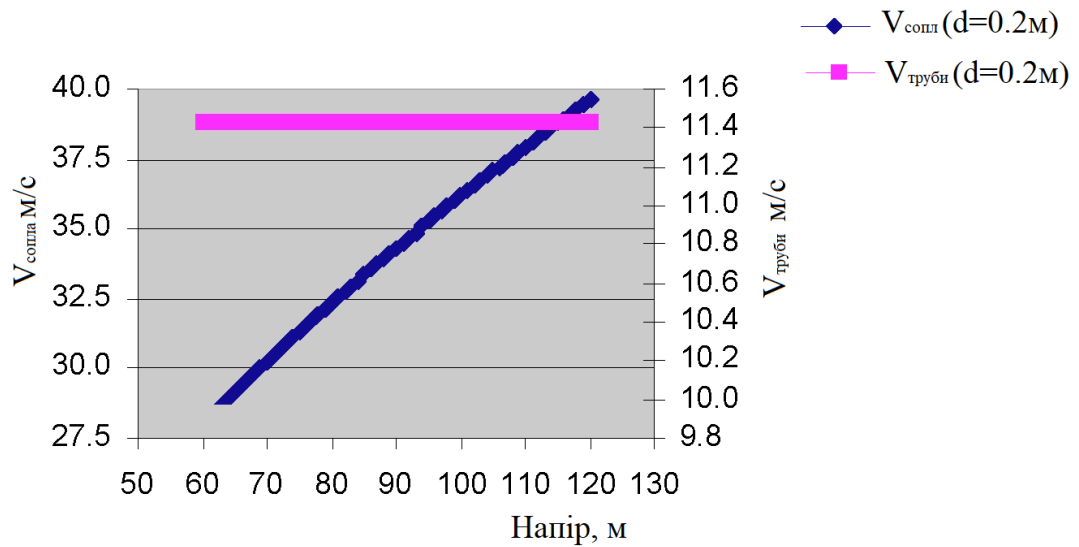


Рисунок 3.6 - $V_{\text{сопл}}$ та $V_{\text{труби}}$ в залежності від напору

3.4 Розрахунок ГЕС в гідроакumuлюючому режимі роботи

Коли верхній резервуар спорожніє, вся вода буде зібрана в нижньому резервуарі. Для того, щоб система знову почала виробляти енергію, вся вода повинна бути перекачана назад у верхній резервуар. Це відбуватиметься протягом днів, коли є достатньо енергії від інших відновлюваних джерел енергії, таких як вітер або сонце. Насос перекачуватиме воду з нижнього резервуару до верхнього (рис. 3.7).

Для того, щоб розрахувати потужність насоса, використовується майже така ж методика, як і для розрахунку розміру турбіни, яка використана раніше (3.18).

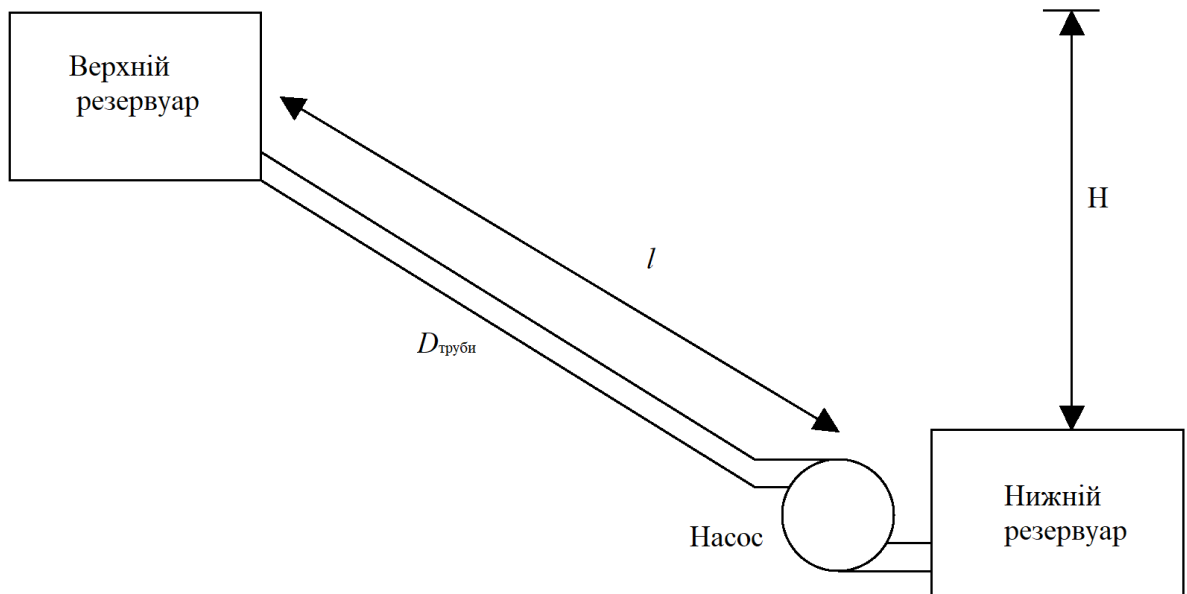


Рисунок 3.7 - Схема міні-ГЕС у режимі гідроакмулювання

$$P_{\text{вхідна}} \text{ кВт} = m \cdot W_{\text{in}} = m \cdot \left[g \cdot H + 4 \cdot f \cdot l \cdot \frac{V^{-2}}{2} \right] \Rightarrow \quad (3.18)$$

$$P_{\text{вхідна}} \text{ кВт} = \rho \cdot q \cdot \left[g \cdot H + \frac{f \cdot l \cdot q^2}{\pi^2 \cdot d^5} \right]$$

де ρ - густина води 1000 кг/м^3 ;

q - витрата води в $\text{м}^3/\text{с}$;

g - сила тяжіння $9,81 \text{ м/с}^2$;

H - напір верхнього резервуару від нижнього в метрах;

f - коефіцієнт тертя $0,005$;

l - довжина труби в метрах, $l = H / \sin 30^\circ = 2 \cdot H$;

d - діаметр труби;

Швидкість потоку води залежить від діаметра труби, d , і швидкості води, V (3.19).

$$q = A \cdot V = \pi \cdot d^2 / 4 \cdot V \quad (3.19)$$

Вибравши діаметр труби, d , і швидкість води, яку необхідно перекачати у верхній резервуар, можна розрахувати швидкість потоку води в трубі. Потім, використовуючи наведене вище рівняння і даючи значення напору, H , можна оцінити потужність насоса в кВт. Врешті-решт потужність потрібно розділити на ККД насоса, щоб задовольнити вимоги.

Для цього краще вибрати великий діаметр труби, щоб уникнути будь-яких замін при майбутньому розширенні хутора, як це було зроблено раніше для розрахунку гідротурбіни.

Нами було зроблено чотири різні розрахунки потужності шляхом вибору різного діаметру труби і різної швидкості води кожного разу.

У таблиці 3.4 нижче наведені результати споживаної потужності в кВт для напору в 100 м відповідно до різного діаметру труби та різної швидкості води кожного разу. Значення можна знайти більш аналітично в електронних таблицях.

Таблиця 3.4 - Результати розрахунків спожитої потужності підняття води на висоту в 100 м

	Діаметр	
Швидкість	0,15 м	0,20 м
1 (м/с)	24,77 кВт	44,05 кВт
2 (м/с)	49,53 кВт	88,10 кВт

На рисунку 3.8 показано потужність та ефективність насосів різних типорозмірів відносно рівня води на ділянці.

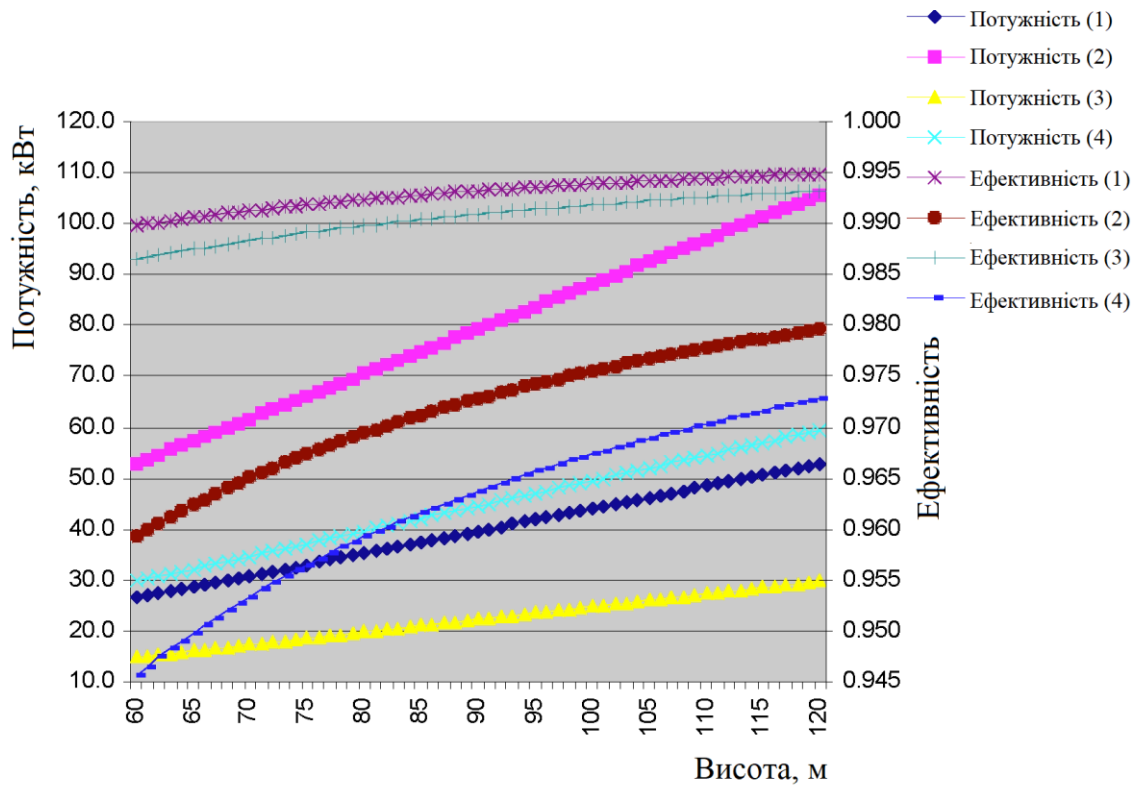


Рисунок 3.8 - Потужність та ефективність в залежності від висоти підйому води

3.5 Об'єм водосховищ

Як зазначено в попередньому розділі, об'єм верхнього резервуару становить 4500 м^3 . Такий же об'єм повинен мати і нижній резервуар, оскільки вся система буде працювати як резервне джерело енергії. Це означає, що вся вода, яка буде витікати з верхнього резервуару, повинна збиратися в нижньому резервуарі.

Для того, щоб розрахувати час, за який вся вода з верхнього резервуару стікає до нижнього, а також з нижнього резервуару перекачується до верхнього, нам потрібно використати швидкість потоку q води в трубі, яка вже була розрахована. За наведеним нижче рівнянням ми можемо оцінити загальний час, необхідний для цього за формулою (3.20).

$$T_{\text{заг}} = \frac{V \left[\frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right]}{v \left[\frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right]} \cdot \frac{1}{3600\text{с}} \quad (3.20)$$

3.6 Врахування можливого розширення хутора

Першочергово планується, що хутір складатиметься з п'ятнадцяти будинків, одного громадського будинку та магазину. Але в майбутньому хутір може розширитися і буде збудовано кілька нових будинків. Це дуже важливе питання, яке ми повинні враховувати при проектуванні та встановленні всієї гідроенергетичної системи і взагалі всіх установок. З цієї основної причини ми вирішили вибрати діаметр труби 0,15 м, щоб уникнути будь-яких майбутніх замін. Такого діаметру труби достатньо для того, щоб дати більше енергії хутору, якщо це буде потрібно, збільшивши швидкість потоку води в трубі. Початковий об'єм водосховища планувався на рівні 4500 м³ води, і, можливо, буде краще, якщо збільшимо об'єм водосховища з самого початку, щоб уникнути його повторного копання в майбутньому. Збільшивши глибину з 3м до 5м, ми отримаємо водосховище об'ємом 7500м³ води.

Проблеми, з якими ми можемо зіткнутися, полягають у тому, що ми не знаємо, який тип ґрунту знаходиться під вже існуючим природним резервуаром, і це може спричинити певні труднощі на етапі копання. Крім того, збільшуючи об'єм верхнього резервуару, ми повинні збільшити об'єм нижнього резервуару, щоб мати можливість зібрати весь об'єм води. Це збільшить загальну вартість проекту, а також вплине на естетичний вигляд села.

3.7 Потреба в електроенергії

Оцінка загальної кількості погодинної енергії, необхідної для функціонування хутора, була зроблена на основі погодинних даних, які ми мали для одного будинку. Для того, щоб розрахувати енергію необхідно зробити припущення, що всі будинки будуть працювати однаково.

На рис. 3.9 та рис.3.10 представлено загальну кількість енергії, необхідну для п'ятнадцяти будинків, будинку старости та магазину, в перерахунку на години однієї доби. Тут представлені всі побутові системи, необхідні для

будинку: світло, ПК, телевізор, ноутбук, відео, стереосистема, чайник, кавоварка, праска, пральна машина і холодильник. Для того, щоб легше було представити їх у вигляді графіка, вони були розподілені за категоріями.

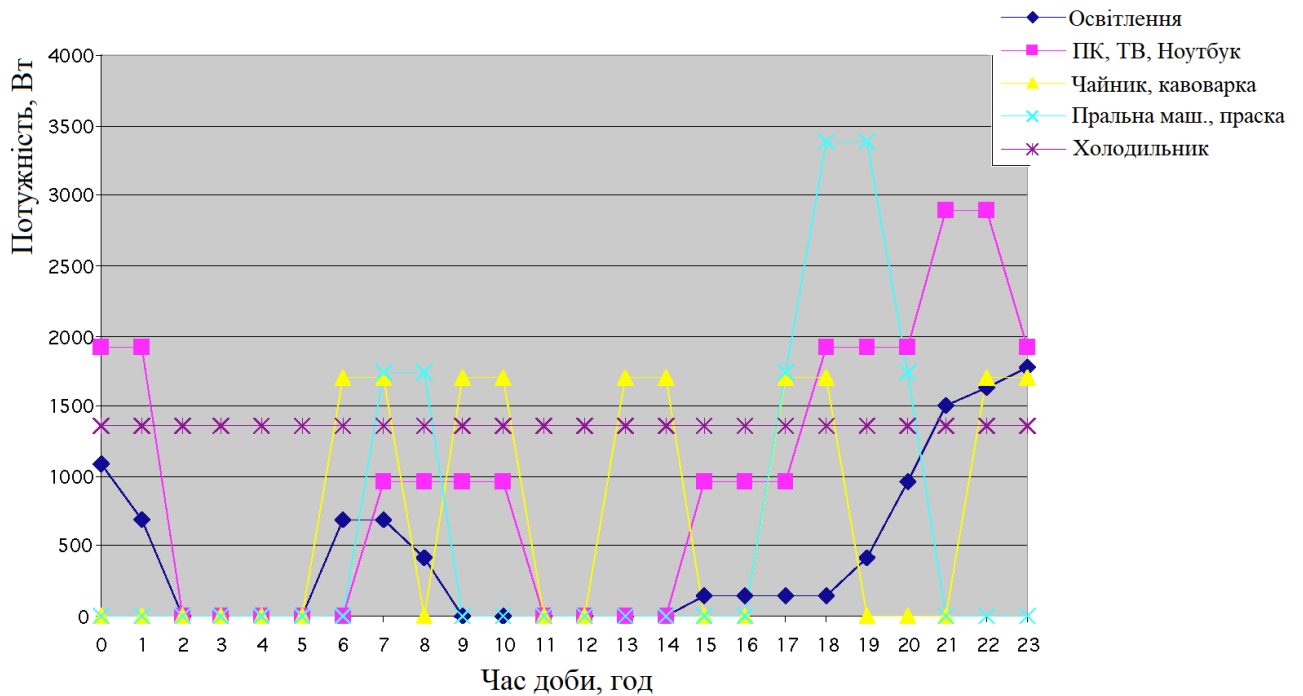


Рисунок 3.9 - Загальне електроспоживання літом

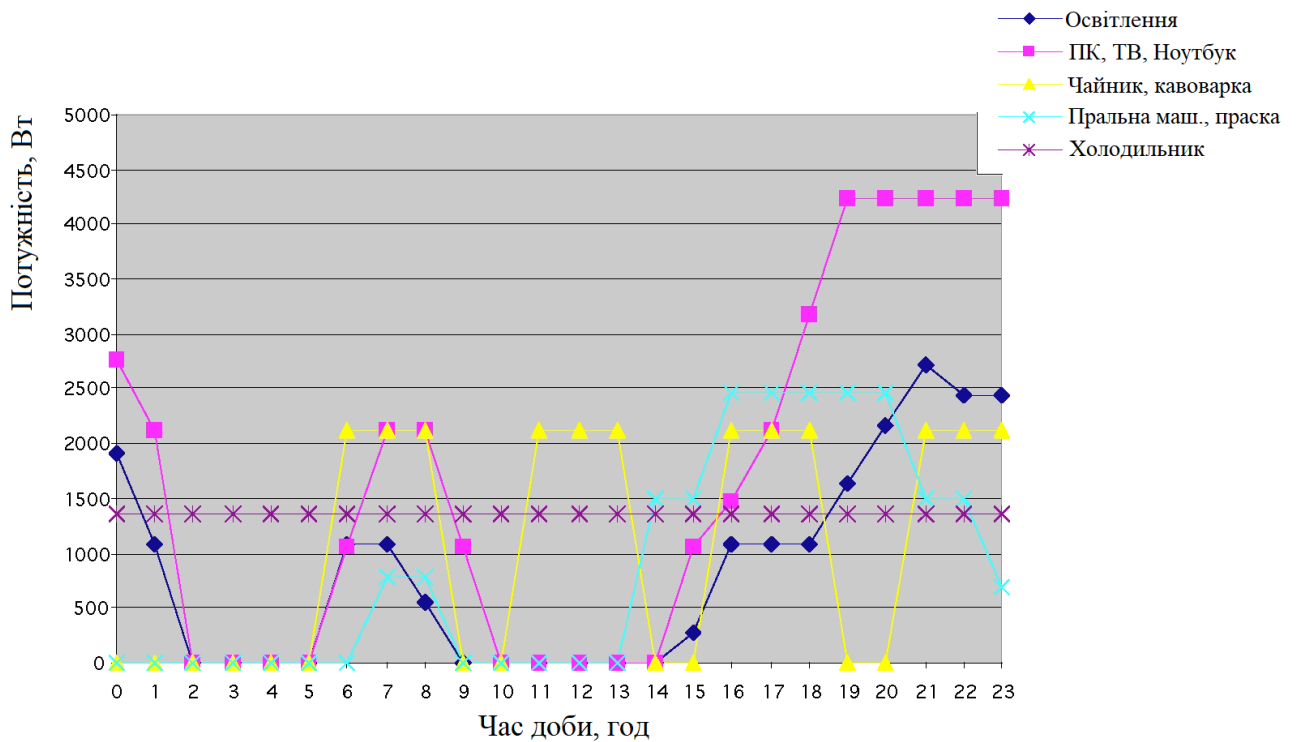


Рисунок 3.10 – Загальне електроспоживання взимку

На рис. 3.11 та рис. 3.12 представлено загальне електроспоживання електроенергії влітку та взимку відповідно.

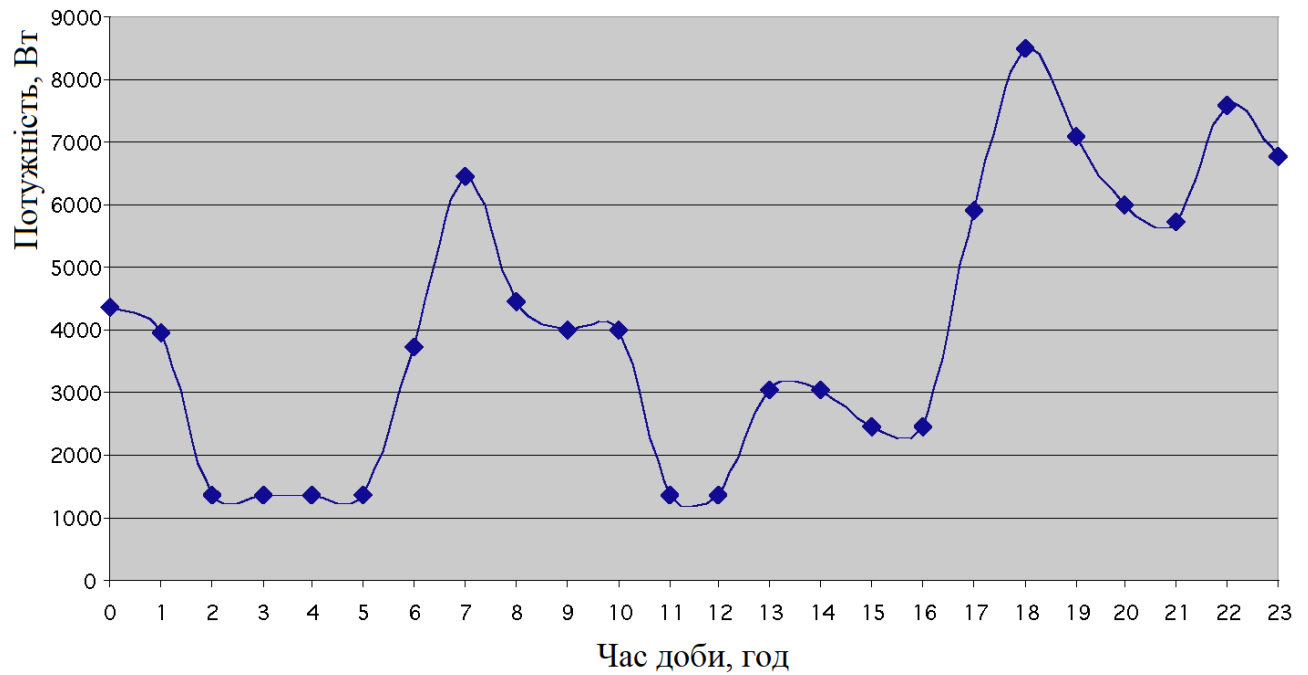


Рисунок 3.11 - Попит на електроенергію влітку

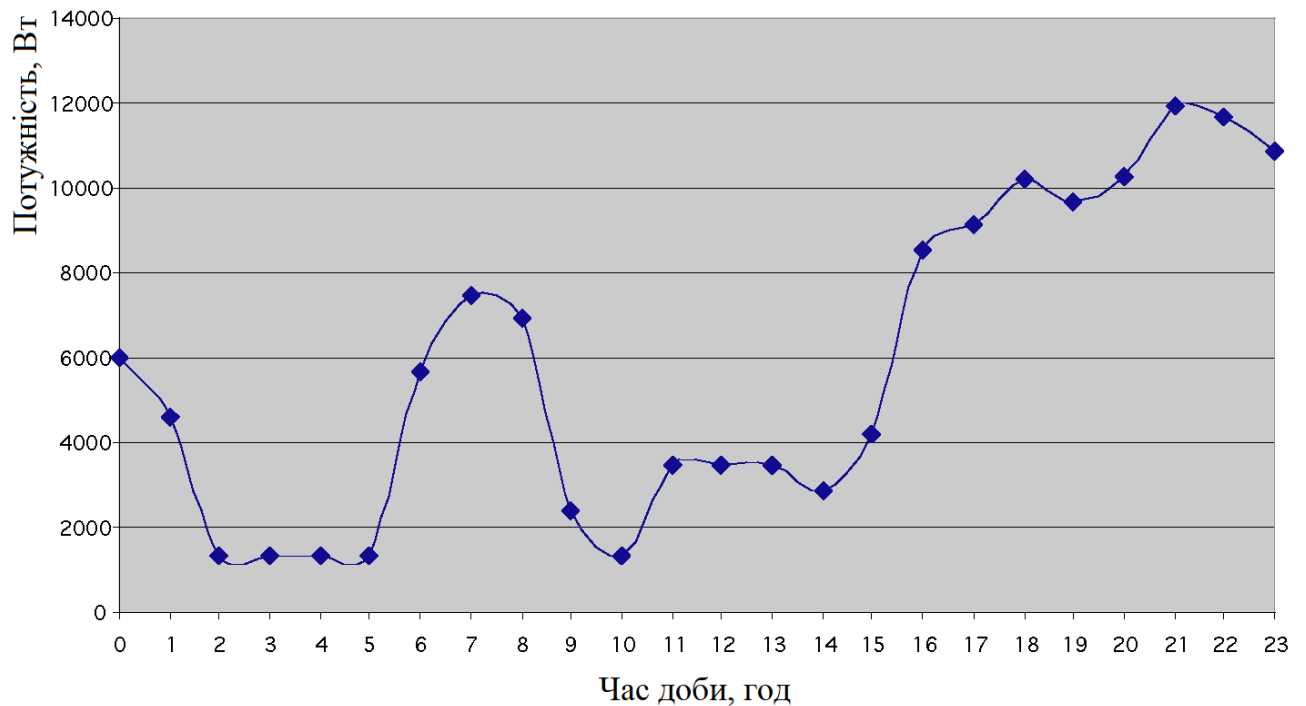


Рисунок 3.12 - Попит на електроенергію взимку

3.8 Оцінка потенціалу вітрової енергії

Вітрова турбіна буде встановлена для того, щоб виробляти

електроенергію, а також для перекачування води з нижнього у верхнє водосховище. Необхідна потужність була оцінена вище (див. табл.3.4). Отож потрібно 130000 кВт·год/рік, що становить майже 14,84 кВт.

Потужність турбіни має становити близько 70 кВт, але вибір більшої вітрової турбіни дозволить уникнути її заміни при майбутньому розширенні хутора (див. табл.3.5).

Таблиця 3.5 – Оцінка потужності вітрогенератора

Необхідна потужність (кВт)	Ефективність вітрогенератора	Вихідна потужність (кВт)	Потужність вітрогенератора (кВт)
15	0,35	42,43	70

Для того, щоб розрахувати потужність, яку може виробляти турбіна, були зібрані дані про погодинну швидкість вітру за цілий рік в районі розташування хутора.

Дані про вітер взяті з 2021 року, який був одним з найбільш безвітряних років. Отже, результати потужності, яку вироблятиме вітрова турбіна, не можуть бути меншими за розраховані значення, оскільки це була одна з найгірших ситуацій. Одиницями вимірювання швидкості вітру були вузли, і за допомогою наведеного нижче рівняння вона була переведена в м/с 1 вузол = 0,51444 м/с.

Вітрогенератор буде встановлений на висоті 20 м. Отже, щоб бути більш точним, швидкість вітру на цьому рівні можна знайти за формулою (3.21).

$$\frac{V_{20}}{V_{10}} = \left(\frac{h_{20}}{h_{10}} \right)^{1/n} \Rightarrow V_{20} = V_{10} \cdot \left(\frac{h_{20}}{h_{10}} \right)^{1/n}, \quad (3.21)$$

де n - коефіцієнт шорсткості ґрунту, 6

Для того, щоб бути впевненим, що турбіна зможе забезпечити необхідну потужність, необхідно розрахувати радіус R лопатей турбіни за формулою (3.22).

$$P = c_p \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot V_R^3 \quad (3.22)$$

де P – потужність, Вт;

c_p - коефіцієнт, що дорівнює 0,4;

ρ - щільність при 1,2 кг/м³;

R - радіус лопатей в метрах;

V_R - номінальна швидкість в м/с;

Ми також обираємо як швидкість вмикання $V_{\text{вмик}}$ 4 м/с, як номінальну швидкість $V_{\text{ном}}$ 11 м/с і як швидкість вимикання $V_{\text{вимик}}$ 20 м/с. На рисунку 3.13 показано вихідну потужність, яку ми очікуємо отримати від вітрової турбіни, і можна чітко побачити точки $V_{\text{вмик}}$, $V_{\text{ном}}$ і $V_{\text{вимик}}$.

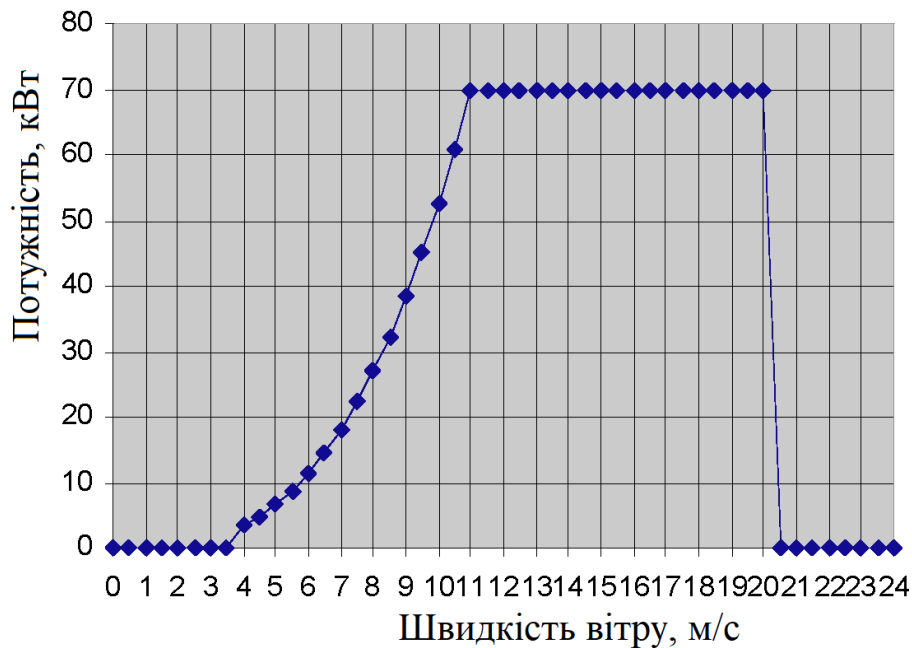


Рисунок 3.13 - Потужність вітрової турбіни

На основі даних про вітер за 2021 рік ми обчислюємо потужність, P , що вироблятиметься вітрогенератором щогодини протягом усього року, враховуючи погодинну швидкість вітру, за формулою (3.22).

Для того, щоб зробити цей розрахунок, був обраний період часу для літа з 06.06.2021 по 21.06.2021 і для зими з 20.11.2021 по 05.12.2021. На рис. 3.14 та рис. 3.15 представлено потужність, яку вітрогенератор може виробляти для

хутора в залежності від швидкості вітру для обраного літнього періоду та для обраного зимового періоду відповідно.

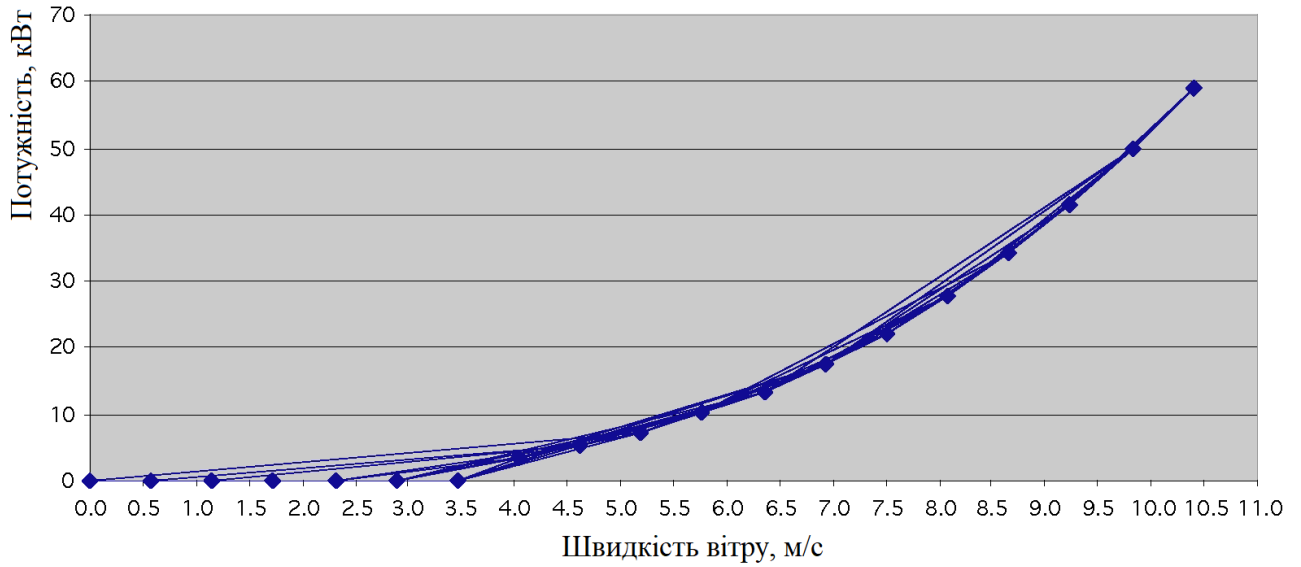


Рисунок 3.14 - Потужність вітрової турбіни влітку

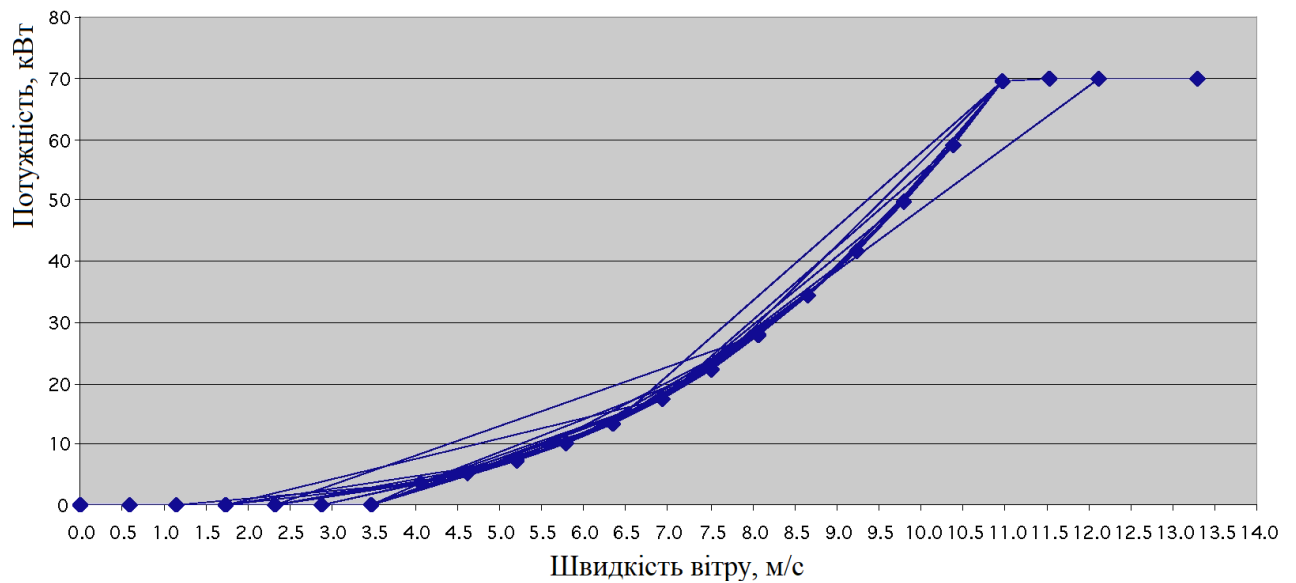


Рисунок 3.15 - Потужність вітрової турбіни взимку

Відповідно до рисунків 3.14 і 3.15, взимку ми можемо отримати набагато більше енергії від вітрової турбіни через сильніші вітри.

На рисунках 3.16 і 3.17 показана потужність, яку вітрогенератор може виробляти протягом періоду часу, про який ми згадували раніше, як влітку, так і взимку.

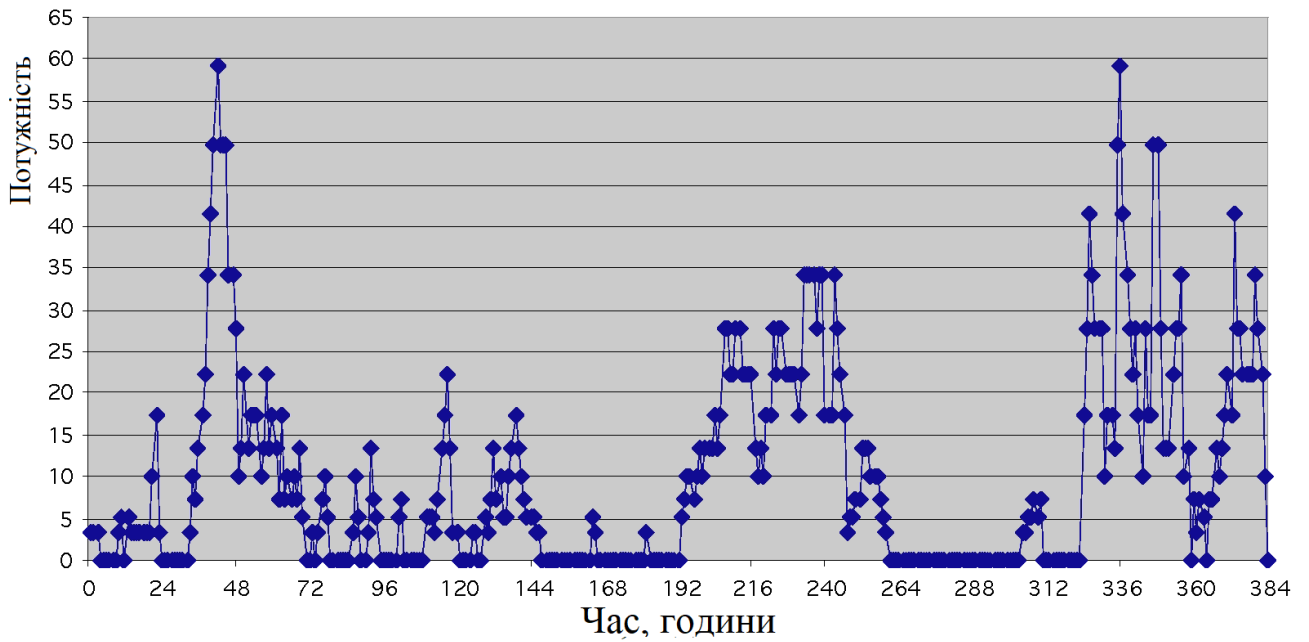


Рисунок 3.16 - Потужність вітрової турбіни протягом 06.06.21-21.06.21

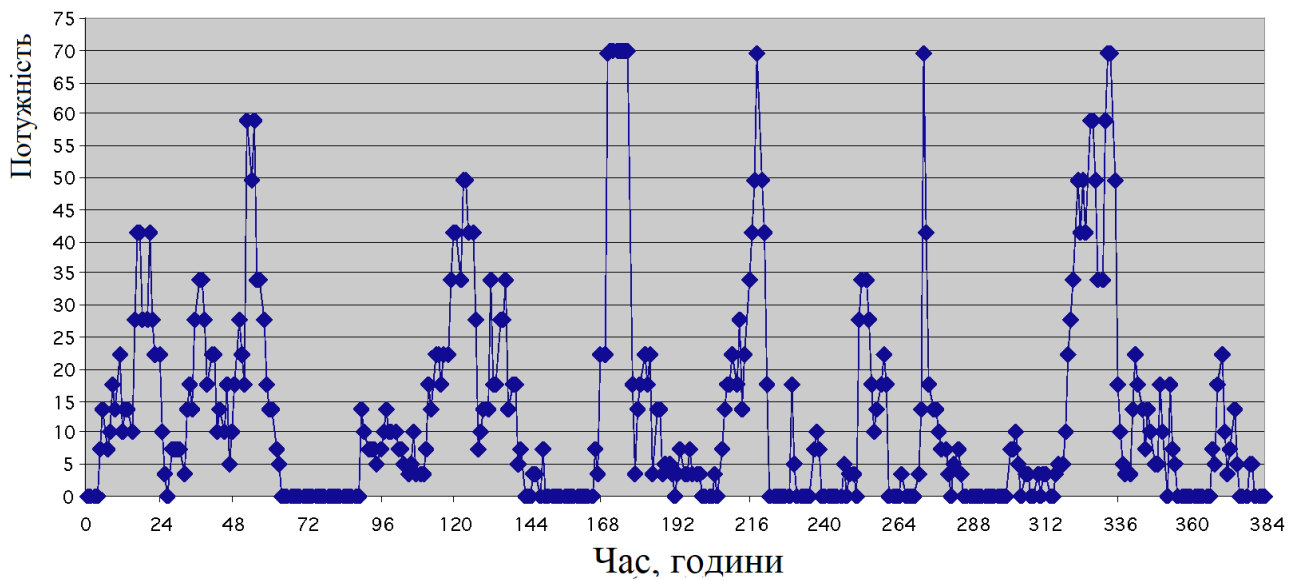


Рисунок 3.17 - Електроенергія від вітрової турбіни протягом 20.11.21-05.12.21

Для прикладу обрано період у два дні з шістнадцяти днів, як можна бачити на рис. 3.18 і 3.19, як для літа (14-15.06.21), так і для зими (24-25.11.21), щоб більш чітко представити потужність, яку вітрогенератор може виробляти відповідно до даних про швидкість вітру в цей період часу.

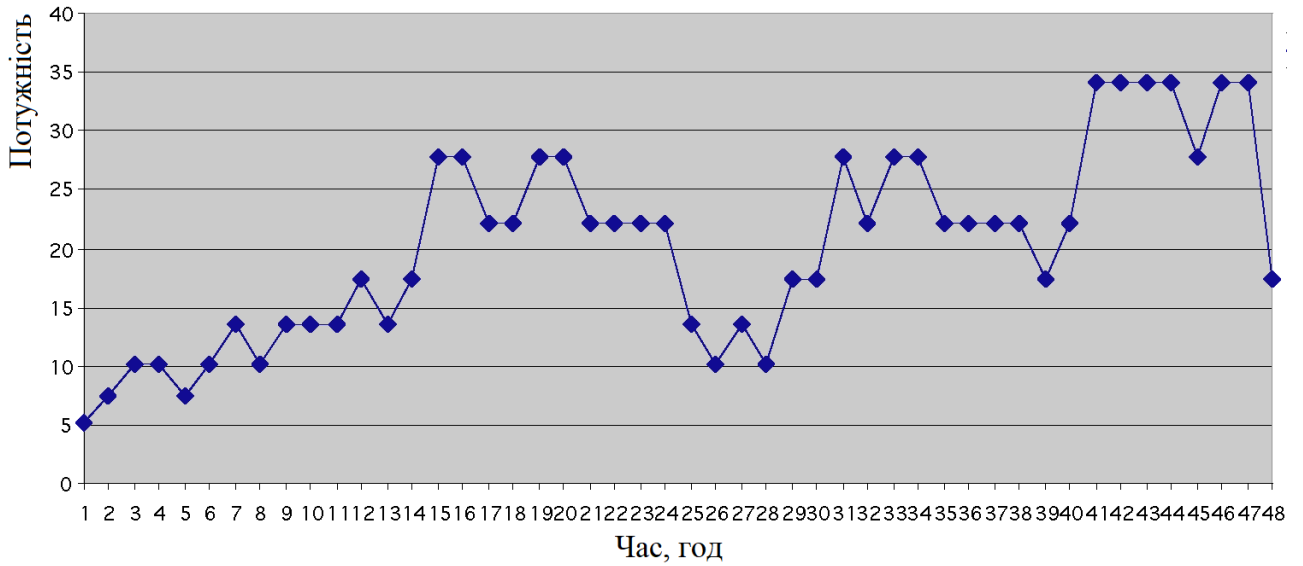


Рисунок 3.18 - Потужність вітрової турбіни протягом 14-15.06.21

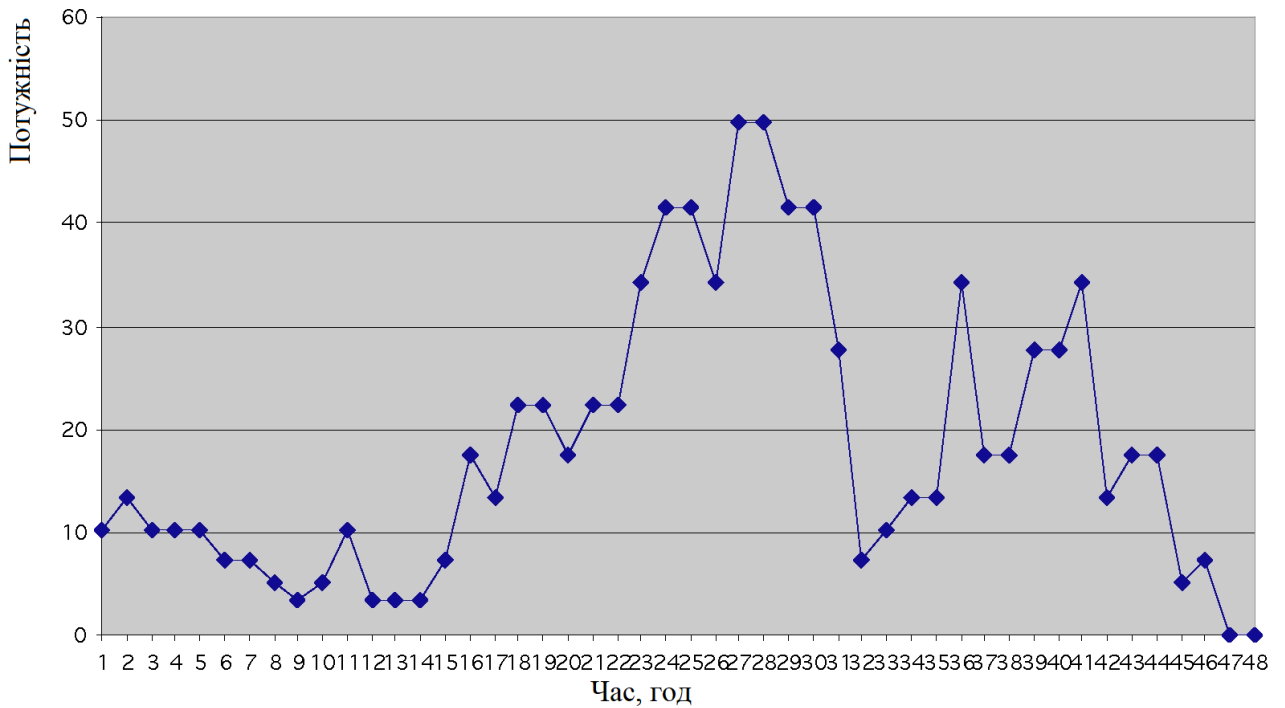


Рисунок 3.19 - Потужність вітрової турбіни протягом 24-25.11.21

Після розрахунку потужності, яку виробляє вітрогенератор, можна перевірити, чи достатньо цієї потужності для покриття потреб відповідно до попередніх розрахунків погодинної потужності, необхідної для електропостачання. Якщо потужності, яку виробляє вітрогенератор, достатньо для покриття потреб елетроспоживання, решта потужності буде працювати на насос для перекачування води до верхнього резервуару. Насос працюватиме лише за умов потужності понад 10 кВт, щоб максимізувати термін його

експлуатації. Але іноді потужності вітрової турбіни недостатньо для покриття потреб елетроспоживання, тому потрібно більше енергії. Використовуючи міні-ГЕС, забезпечимо решту енергії, необхідної для елетроспоживання.

3.9 Розрахунок рівня води у верхньому водосховищі

Необхідно розрахувати рівень води та об'єм водосховища. Коли енергії, яку виробляє вітрова турбіна, буде недостатньо для потреб елетроспоживання, водяна турбіна покриє решту необхідної потужності, спускаючи воду з верхнього водосховища. Але, як вже зазначалося раніше, коли потужності турбіни буде достатньо, решта потужності буде піднімати воду вгору.

Для того, щоб зрозуміти цю процедуру, в таблиці 3.6 наведено приклад з таблиці, яку ми створили.

Таблиця 4.6

Дата	Час	Швидкість вітру		Потужність (кВт)	Необхідна потужність (кВт)	Різниця (кВт)	Потік води, q (м ³ /с)	Швидкіс ть (м/с)	Об'єм (м ³)	Рівень води, h м
		10 м (м/с)	20 м (м/с)							
20.11.21	00:00	2,572	2,887	0,000	6,023	-6,023	0,009632	0,545	2965,325	1,9769
20.11.21	01:00	2,058	2,310	0,000	4,570	-4,570	0,007296	0,413	2939,059	1,9594
20.11.21	02:00	1,029	1,155	0,000	1,360	-1,360	0,002167	0,123	2931,258	1,9542
20.11.21	03:00	2,572	2,887	0,000	1,360	-1,360	0,002167	0,123	2923,457	1,9490
20.11.21	04:00	4,630	5,197	7,382	1,360	6,022	0,000000	0,000	2923,457	1,9490
20.11.21	05:00	5,659	6,352	13,478	1,360	12,118	0,012000	0,679	2966,657	1,9778
20.11.21	06:00	4,630	5,197	7,382	5,634	1,748	0,000000	0,000	2966,657	1,9778
20.11.21	07:00	5,144	5,774	10,126	7,485	2,641	0,000000	0,000	2966,657	1,9778
20.11.21	08:00	6,173	6,929	17,498	6,941	10,557	0,011000	0,622	3006,257	2,0042
20.11.21	09:00	5,659	6,352	13,478	2,421	11,057	0,011000	0,622	3045,857	2,0306
20.11.21	10:00	6,688	7,507	22,247	1,360	20,887	0,021000	1,188	3121,457	2,0810
20.11.21	11:00	5,144	5,774	10,126	3,485	6,641	0,000000	0,000	3121,457	2,0810
20.11.21	12:00	5,659	6,352	13,478	3,485	9,993	0,000000	0,000	3121,457	2,0810
20.11.21	13:00	5,659	6,352	13,478	3,485	9,993	0,000000	0,000	3121,457	2,0810
20.11.21	14:00	5,144	5,774	10,126	2,852	7,274	0,000000	0,000	3121,457	2,0810
20.11.21	15:00	7,202	8,084	27,786	4,185	23,601	0,023000	1,302	3204,257	2,1362
20.11.21	16:00	8,231	9,239	41,476	8,516	32,960	0,032000	1,811	3319,457	2,2130
20.11.21	17:00	8,231	9,239	41,476	9,153	32,324	0,032000	1,811	3434,657	2,2898
20.11.21	18:00	7,202	8,084	27,786	10,214	17,572	0,018000	1,019	3499,457	2,3330
20.11.21	19:00	7,202	8,084	27,786	9,694	18,092	0,018000	1,019	3564,257	2,3762
20.11.21	20:00	8,231	9,239	41,476	10,238	31,238	0,031000	1,754	3675,857	2,4506
20.11.21	21:00	7,202	8,084	27,786	11,941	15,844	0,016000	0,905	3733,457	2,4890
20.11.21	22:00	6,688	7,507	22,247	11,669	10,577	0,011000	0,622	3773,057	2,5154

Отже, як ми бачимо з останньої колонки, об'єм верхнього водосховища і висота води в ньому змінюється в кожній ситуації. Для розрахунку зміни об'єму та висоти ми припускаємо, що об'єм води у верхньому водосховищі становить 3000 м³. Решта 1500 м³ води знаходиться у нижньому водосховищі.

На рис. 3.20 та рис. 3.21 представлені зміни об'єму верхнього водосховища та висоти води в ньому за шістнадцятиденний період влітку та взимку.

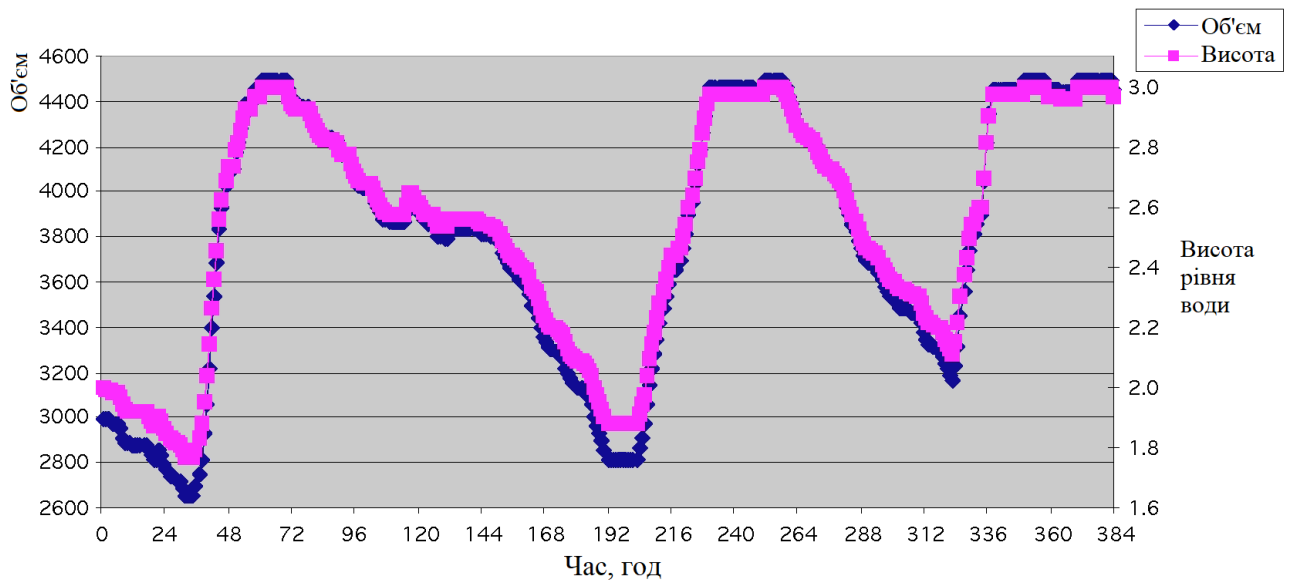


Рисунок 3.20 - Об'єм та висота води у верхньому водосховищі за годинами протягом 06.06.21-21.06.21

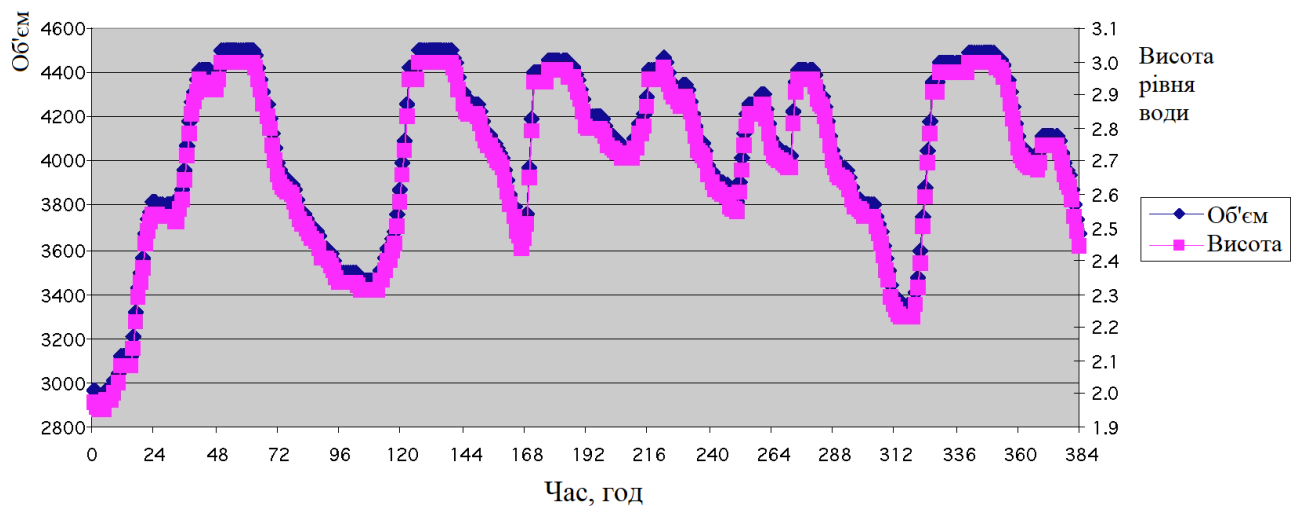


Рисунок 3.21 - Об'єм та висота верхнього водосховища за годинами протягом 20.11.21-05.12.21

На рис. 3.22 та 3.23 представлено об'єм верхнього водосховища та висоту води в ньому за два дні, відповідно, для літнього (14-15.06.2021) та зимового (24-25.11.2021) періодів для того, щоб результати були більш наочними.

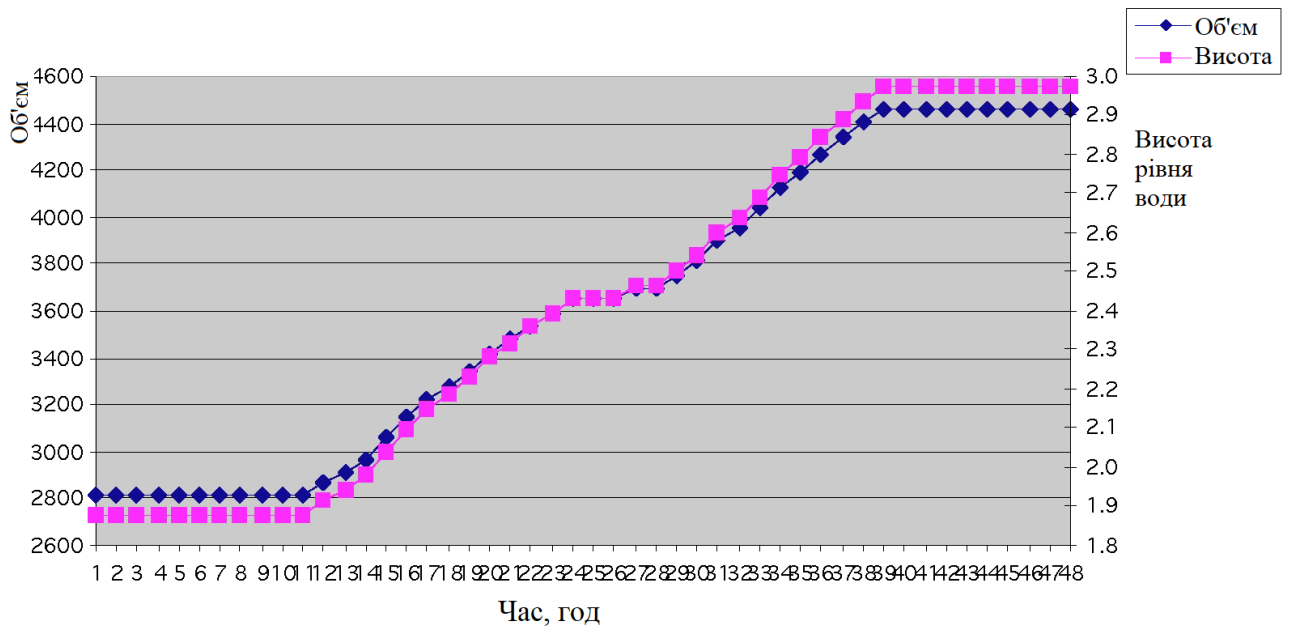


Рисунок 3.22 - Об'єм та висота верхнього водосховища по годинах протягом 14.06.21-15.06.21

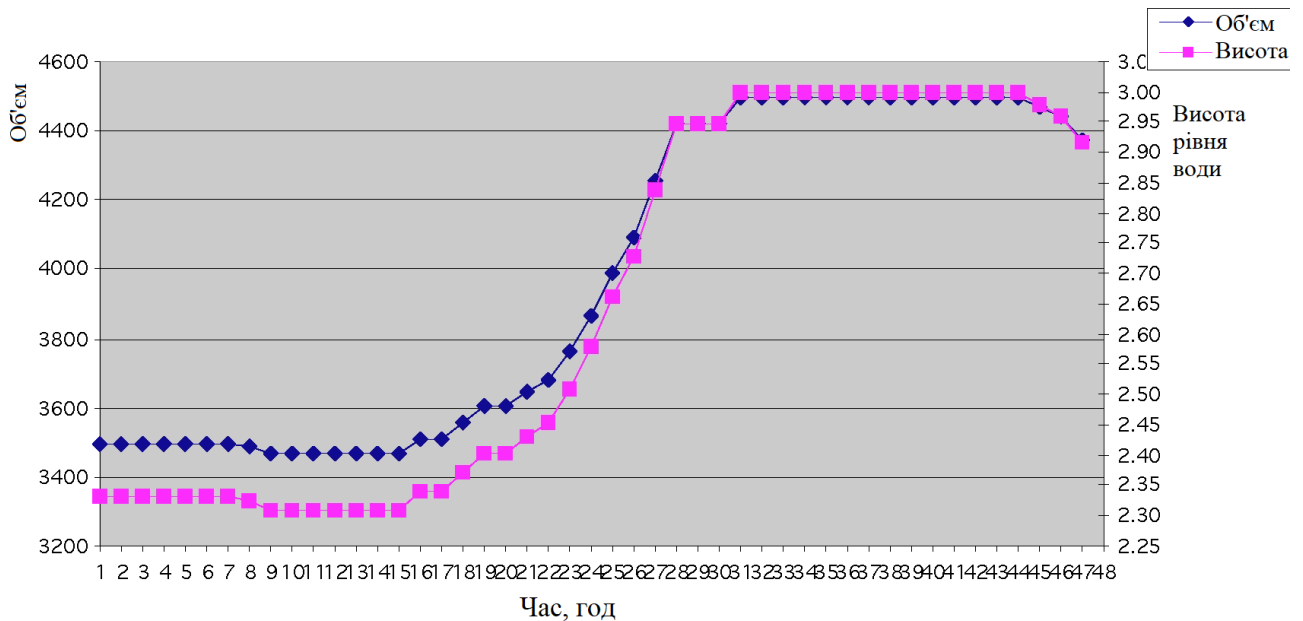


Рисунок 3.23 - Об'єм та висота верхнього водосховища в залежності від годин протягом 24.11.21-25.11.21

3.10 Рекомендації

Турбіна вироблятиме стільки енергії, скільки потрібно хутору. Вдалося отримати невелику швидкість потоку води в трубі з високим коефіцієнтом корисної дії, що означає менші втрати в трубах. Таким чином, у разі

майбутнього розширення хутора ми зможемо отримати більшу потужність без необхідності заміни будь-якої частини системи, за винятком, можливо, турбіни. Об'єму води у водосховищі достатньо для роботи турбіни, але може знадобитися більше водосховище, щоб турбіна працювала довше. Основна проблема полягає в тому, що ми повинні побудувати нижній резервуар для збору води. Крім того, потрібно ретельно вибрати місце для цього резервуару. Першою думкою було використовувати річку як нижній резервуар, а потім перекачувати воду до верхнього резервуару, але це було неможливо через те, що річка є екологічно захищеною.

Для перекачування води з нижнього резервуара у верхній потрібен насос. Для того, щоб вибрати відповідний розмір насоса, необхідно враховувати багато характеристик, таких як швидкість води в трубі і діаметр труби, який дасть нам швидкість потоку. Як ми вже згадували вище, для невеликої швидкості потоку потрібна невелика споживана потужність, але час, необхідний для перекачування води нагору, буде збільшуватися.

Вся гідроенергетична система буде працювати лише як резервна система для безвітряних днів. Для забезпечення необхідної потужності буде встановлено вітрову турбіну. У дні, коли вітряк виробляє енергію, її буде достатньо для забезпечення потреб хутора, а решта енергії працюватиме на насос для перекачування води у верхнє водосховище. Ми вибрали шістнадцятиденний період, літній (06.06.01 - 21.06.01) і зимовий (20.11.01 - 05.12.01), протягом якого хутір буде функціонувати належним чином завдяки поєднанню вітрогенератора і міні-ГЕС. Як ми вже згадували, вітрогенератор працюватиме лише при швидкості вітру понад 4 м/с. Це не завжди досяжно, як видно з даних про вітер за 2021 рік. Протягом року є багато періодів, коли швидкість вітру менша за 4 м/с, отже, вітрогенератор не вироблятиме електроенергію для хутора, а також для насосу. Таким чином, верхнє водосховище може спорожніти через кілька днів, і хутір залишиться без електроенергії.

Для того, щоб зробити графік більш наочним, ми вирішили представити

швидкість вітру в період з 08.12.01 по 19.12.01. Це зимовий період, коли люди зазвичай проводять більшу частину дня і ночі в будинку через холодні дні, і для забезпечення їхніх потреб потрібна велика кількість енергії. Згідно з цим графіком, хутір буде без електроенергії протягом 11 днів. Саме тоді ми зіткнулися з великою проблемою; з цієї основної причини потрібні інші відновлювані джерела енергії, щоб використовувати їх для резервної системи енергопостачання.

3.11 Висновки до розділу

1. Представлено детальну інформацію про гідроенергетичну установку.
2. Виконана оцінка розміру турбіни та насоса.
3. Розрахована швидкість потоку води в трубі для отримання відповідної потужності, необхідної для забезпечення потреб села.
4. Представлено результати розрахунку часу, за який верхнє водосховище має спорожніти і знову наповнитися.
5. Відповідно до даних про вітер за 2021 рік представлено розрахунок потужності, яку може виробити вітрогенератор для забезпечення потреб електроспоживачів, а також для перекачування води з нижнього у верхнє водосховище і зміни висоти підйому води у верхньому водосховищі.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Інструктажі з охорони праці

Усі працівники, які приймаються на постійну чи тимчасову роботу, і при подальшій роботі, повинні проходити на підприємстві навчання в формі інструктажів з питань охорони праці, надання першої допомоги потерпілим від нещасних випадків, а також з правил поведінки та дій при виникненні аварійних ситуацій, пожеж і стихійних лих.

За характером і часом проведення інструктажі з питань охорони праці поділяються на вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий [8].

Вступний інструктаж проводиться:

- з усіма працівниками, які приймаються на постійну або тимчасову роботу, незалежно від їх освіти, стажу роботи та посади;

- з працівниками інших організацій, які прибули на підприємство і беруть безпосередню участь у виробничому процесі або виконують інші роботи для підприємства;

- з учнями та студентами, які прибули на підприємство для проходження виробничої практики;

- у разі екскурсії на підприємство;

Первинний інструктаж проводиться до початку роботи безпосередньо на робочому місці з працівником:

- новоприйнятим (постійно чи тимчасово) на підприємство;

- який переводиться з одного цеху виробництва до іншого;

- який буде виконувати нову для нього роботу;

- відрядженим працівником, який бере безпосередню участь у виробничому процесі на підприємстві [16].

Повторний інструктаж проводиться з працівниками на робочому місці в терміни, визначені відповідними чинними галузевими нормативними актами

або керівником підприємства з урахуванням конкретних умов праці, але не рідше:

- на роботах з підвищеною небезпекою - 1 раз на 3 місяці;
- для решти робіт - 1 раз на 6 місяців.

Позаплановий інструктаж проводиться з працівниками на робочому місці або в кабінеті охорони праці:

- при введенні в дію нових або переглянутих нормативних актів про охорону праці, а також при внесенні змін та доповнень до них;
- при зміні технологічного процесу, заміні або модернізації устаткування, приладів та інструментів, вихідної сировини, матеріалів та інших факторів, що впливають на стан охорони праці;
- при порушеннях працівниками вимог нормативних актів про охорону праці, що можуть призвести або призвели до травм, аварій, пожеж тощо;
- при виявленні особами, які здійснюють державний нагляд і контроль за охороною праці, незнання вимог безпеки стосовно робіт, що виконуються працівником;
- при перерві в роботі виконавця робіт більш ніж на 30 календарних днів - для робіт з підвищеною небезпекою, а для решти робіт - понад 60 днів.

Цільовий інструктаж проводиться з працівниками:

- при виконанні разових робіт, не передбачених трудовою угодою;
- при ліквідації аварії, стихійного лиха;
- при проведенні робіт, на які оформлюються наряд-допуск, розпорядження або інші документи.

Стажування (дублювання) та допуск працівників до роботи.

Новоприйняті на підприємство працівники після первинного інструктажу на робочому місці до початку самостійної роботи повинні під керівництвом досвідчених, кваліфікованих фахівців пройти стажування протягом 2 - 15 змін або дублювання протягом не менше шести змін.

Працівники, функціональні обов'язки яких пов'язані із забезпеченням безаварійної роботи важливих і складних господарчих потенційно небезпечних

об'єктів або з виконанням окремих потенційно небезпечних робіт (теплові та атомні електричні станції, гірничодобувні підприємства, інші подібні об'єкти, порушення технологічних режимів яких являє загрозу для працівників та навколишнього середовища), до початку самостійної роботи повинні проходити дублювання з обов'язковим суміщенням з протиаварійними і протипожежними тренуваннями відповідно до плану ліквідації аварій.

Допуск до стажування (дублювання) оформлюється наказом (розпорядженням) по підприємству (структурному підрозділу), в якому визначаються тривалість стажування (дублювання) та прізвище відповідального працівника. Перелік посад і професій працівників, які повинні проходити стажування (дублювання), а також тривалість стажування (дублювання) визначаються керівником підприємства. Тривалість стажування (дублювання) залежить від стажу і характеру роботи, а також від кваліфікації працівника. Керівнику підприємства надається право своїм наказом (розпорядженням) звільняти від проходження стажування (дублювання) працівника, який має стаж роботи за відповідною професією не менше 3 років або переводиться з одного цеху до іншого, де характер його роботи та тип обладнання, на якому він працюватиме, не змінюються.

Стажування (дублювання) проводиться за програмами для конкретної професії, посади, робочого місця, які розробляються на підприємстві і затверджуються керівником підприємства (структурного підрозділу) на робочих місцях свого або іншого подібного за технологією підприємства. У процесі стажування працівники повинні виконувати роботи, які за складністю, характером, вимогами безпеки відповідають роботам, що передбачаються функціональними обов'язками цих працівників.

4.2 Допомога при ураженні електричним струмом в електроустановках напругою до 1000 В

Перша медична допомога — це комплекс заходів, спрямованих на відновлення або збереження здоров'я потерпілих, здійснюваних немедичними

працівниками (взаємодопомога) або самим потерпілим (самодопомога) [17]. Найважливіше положення надання першої допомоги — її терміновість. Чим швидше вона надана, тим більше сподівань на сприятливий наслідок.

Послідовність надання першої допомоги:

— усунути вплив на організм ушкоджуючих факторів, котрі загрожують здоров'ю та життю потерпілих, оцінити стан потерпілого;

— визначити характер та важкість травми, найбільшу загрозу для життя потерпілого і послідовність заходів щодо його рятування;

— виконати необхідні заходи з рятування потерпілих в послідовності терміновості (відновити прохідність дихальних шляхів, здійснити штучне дихання, провести зовнішній масаж серця);

— підтримати основні життєві функції потерпілого до прибуття медичного працівника;

— викликати швидку медичну допомогу або вжити заходів щодо транспортування потерпілого до найближчого лікувального закладу.

Для звільнення потерпілого від струмоведачущих частин або провода напруженою до 1000 В слід скористатись канатом, палицею, дошкою або; будь-яким сухим предметом, що не проводить електричного струму.

Якщо електричний струм проходить в землю через потерпілого і він судорожно стискає один провід, то простіше перервати струм, відокремивши потерпілого від землі (підсунувши під нього суху дошку, або відтягнувши за ноги від землі вірьовкою, або відтягнувши за одяг), дотримуючись при цьому запобіжних заходів. Можна також перерубати дроти сокирою з сухою ручкою або перекусити їх інструментом з ізольованими ручками. Перерубувати або перекушувати проводи слід пофазово, тобто кожний провід окремо, при цьому рекомендується стояти на сухих дошках, на дерев'яній драбині.

Заходи долікарської допомоги залежать від стану, в якому знаходиться потерпілий після звільнення від електричного струму. Після звільнення потерпілого від дії електричного струму необхідно оцінити його стан. У всіх

випадках ураження електричним струмом необхідно обов'язково викликати лікаря незалежно від стану потерпілого.

Якщо потерпілий при свідомості та стійке дихання і є пульсом, але до цього втрачав свідомість, його слід покласти на підстилку з одягу, розстебнути одяг, котрий затруднює дихання, забезпечити приплив свіжого повітря, розтерти і зігріти тіло та забезпечити повний спокій, дати понюхати нашатирний спирт, сполоснути обличчя холодною водою. Якщо потерпілий, котрий знаходиться без свідомості, прийде до тями, слід дати йому випити 15—20 краплин настоянки валеріани і гарячого чаю.

Ні в якому разі не можна дозволяти потерпілому рухатися, а тим більше продовжувати роботу, оскільки відсутність важких симптомів після ураження не виключає можливості подальшого погіршення стану. Лише лікар може робити висновок про стан здоров'я потерпілого. Якщо потерпілий дихає рідко і судорожно, але у нього не намацується пульсу необхідно відразу зробити йому штучне дихання.

За відсутності дихання та пульсу у потерпілого внаслідок різкого погіршення кровообігу мозку розширюються зіниці, зростає синюшність шкіри та слизових оболонок. У таких випадках допомога повинна бути спрямована на відновлення життєвих функцій шляхом проведення штучного дихання та зовнішнього (непрямого) масажу серця.

Потерпілого слід переносити в інше місце лише в тих випадках, коли йому та особі, що надає допомогу, продовжує загрожувати небезпека або коли надання допомоги на місці не можливе. Для того, щоб не втрачати час, не слід роздягати потерпілого. Не обов'язково, щоб при проведенні штучного дихання потерпілий знаходився в горизонтальному положенні. Якщо потерпілий знаходиться на висоті, необхідно перед спуском на землю зробити штучне дихання безпосередньо в люльці, на щоглі і на опорі.

Опустивши потерпілого на землю, необхідно відразу розпочати проведення штучного дихання та масажу серця і робити це до появи самостійного дихання і відновлення діяльності серця або передачі потерпілого

медичному персоналу.

4.3 Зонування територій за ступенем небезпеки

З метою диференційованого підходу до планування запобіжних заходів здійснюється зонування територій країни, регіонів, міст і населених пунктів за територіями природного і техногенного ризиків.

Територія міста з урахуванням переважного функціонального призначення поділяється на селітебну, виробничу і ландшафтно-рекреаційну.

Селітебна територія має таке призначення: розміщення житлового фонду, громадських будівель і споруд (в т.ч. науково-дослідних комплексів), а також окремих комунальних і промислових об'єктів, які не вимагають утворення санітарно-захисних зон; будівництво шляхів міського сполучення, вулиць, площ, парків, бульварів та інших місць загального користування.

Виробничу територію призначено для розміщення промислових підприємств і пов'язаних з ними об'єктів, комплексів наукових установ з дослідними виробництвами, комунально-складських об'єктів, споруд зовнішнього та приміського транспорту.

Ландшафтно-рекреаційна територія включає міські ліси, лісопарки, лісозахисні зони, водойми, сільськогосподарські угіддя, які разом з парками і скверами селітебної території формують систему відкритого простору. Крім того, на територіях виділяються небезпечні зони.

Зона можливого небезпечного землетрусу – територія, в межах якої інтенсивність сейсмічного впливу становить сім і більше балів (визначається за картами сейсмічного районування відповідно до ДБН).

Зона вірогідного затоплення – територія, межі якої можуть бути вкриті водою внаслідок стихійного лиха або руйнування гідротехнічних споруд.

Зона вірогідного катастрофічного затоплення – територія, на якій можлива загибель людей, сільськогосподарських тварин і рослин пошкодження або знищення матеріальних цінностей (в першу чергу будівель і споруд), а

також збитки навколишньому середовищу.

Зона можливих небезпечних геологічних явищ – територія, у межах якої передбачається виникнення небезпечних геологічних явищ, що становлять загрозу життю і здоров'ю людей, завдають збитків економіці.

Зона можливого радіоактивного забруднення - територія або акваторія, на якій є можливим забруднення поверхні ґрунту, будівель і споруд, атмосфери, води. продуктів харчування радіоактивними речовинами, яке може викликати перевищення нижнього критичного значення доз опромінення населення.

Зона можливого хімічного зараження – територія. В межах якої внаслідок пошкодження або руйнування ємностей з хімічно небезпечними речовинами можливий викид в довкілля цих речовин в концентраціях або кількостях, які становлять загрозу для людей, тварин і рослин впродовж певного періоду.

Зона можливих руйнувань – територія міст. Інших населених пунктів і ОГ, на якій можливе виникнення надмірного тиску у фронті повітряної ударної хвилі, який складає 30 кПа і більше, а також сейсмічний вплив, що спричиняє руйнування будівель, споруд, комунікацій.

Зона можливого утворення завалів – частина зони можливих руйнувань, яка включає ділянки розташування будівель і споруд з прилеглою до них місцевістю, де слід очікувати обвалення будівельних конструкцій та утворення завалів.

Позаміська зона – територія, розташована за межами зон можливих руйнувань, можливого радіоактивного та хімічного забруднення, вірогідного кас трофічного затоплення, і може бути використана для евакуації населення.

Можливе часткове або повне накладання двох і більше зон можливої небезпеки. На такі території запобіжні заходи проводяться від усіх видів небезпек відповідно до накладених зон.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Розрахунки та дослідження показали, що всі три джерела енергії, а саме вітер, вода і сонце, можуть бути використані для забезпечення енергією п'ятнадцяти домогосподарств, громадського будинку та магазину у хуторі в горах Карпатах.
2. Для того, щоб забезпечити необхідну кількість електроенергії, встановлено вітрогенератор. У безвітряні дні в якості резервної системи працюватиме міні-ГЕС.
3. Потужність, яку повинна виробляти водяна турбіна, щоб задовольнити потреби електроспоживання, розрахована на рівні 24 кВт. Об'єм води у верхньому та нижньому резервуарах становить 4500 м³ кожен.
4. Коли енергії, яку виробляє вітрова турбіна, не вистачає для потреб споживачів, водяна турбіна покриває решту необхідної потужності, спускаючи воду з верхнього водосховища вниз. Але, коли потужності турбіни буде з надлишком, то вона буде використовуватися для підйому води нагору. Отже міні-ГЕС забезпечить споживачів необхідною енергією, але через кілька днів верхнє водосховище спорожніє, і поселення залишиться без електроенергії. З цієї основної причини для резервної системи енергопостачання необхідні інші джерела відновлюваної енергії.
5. Якщо хутір буде успішним і йому вдасться створити повністю стійку громаду, яка зможе існувати самостійно без електроенергії з мережі, воно привабить чимало цікавих туристів, компаній та підприємств. Таким чином, це сприятиме економічному розвитку регіону, навіть якщо на початку це буде невелика громада. У майбутньому, якщо перший проект буде успішним, громаду можна буде розширити.
6. Необхідно визначити правильний напір нижнього резервуару та його розташування, а також місце розташування гідротурбіни та генератора,

щоб отримати більш точні значення швидкості потоку води. Слід звернути увагу на розташування вітрогенераторів, щоб отримати максимальну швидкість вітру. Якщо відомі дані про вітер в даній місцевості, то можна більш точно розрахувати вихідну потужність вітрогенератора.

7. Було б дуже цікаво оцінити потужність, яку можуть виробляти фотоелектричні панелі, особливо взимку. Крім того, майбутні дослідження можуть бути спрямовані на з'ясування того, чи зможе комбінація вітрових турбін і фотоелектричних панелей забезпечити споживачів саме тією енергією, яка необхідна для його успішної роботи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Іме А.Н. Підвищення ефективності сонячних панелей шляхом використання водяного охолодження/Аях Нсікак Іме, В.П. Коваль//Збірник тез доповідей ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій “, 25-26 листопада 2020 року.—Т.: ТНТУ, 2020.—Том 2.— С. 80–81.
2. Коваль В. П. Автоматизована вимірювальна установка для дослідження електричних характеристик фотоелектричних модулів/ В. П. Коваль, Б.Я. Оробчук, Л.М. Костик, Я.М.Осадца// Вісник Хмельницького національного університету. – 2022. – № 5. – С. 168-173.
3. Vadym Koval, Bogdan Orobchuk, Nataliia Kuzemko, Gao Lijin. Measuring device for photovoltaic modules electrical characteristics testing // Proceedings of the International Conference „Advanced applied energy and information technologies 2021”, 2021
4. Peake, Stephen. Renewable energy-power for a sustainable future. No. Ed. 4. OXFORD university press, 2018.
5. Коваль В. П. Суміщене електропостачання від поновлювальних джерел енергії / Вадим Коваль // Матеріали ІV Міжнародної науково-технічної конференції „Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп’ютерних технологій— присвячена 80-ти річчю з дня народження професора Я.І. Проця, 20-21 червня 2019 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2019. — С. 294.
6. Рудик, А. І., & Коваль, В. П. (2022). Енергоефективність двороторної вітроенергетичної установки. Матеріали ХІ Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій “, 70-70..
7. Коваль В. П. Підвищення ефективності використання вітрового потоку у вітрових енергоустановках / В. П. Коваль // Матеріали Міжнародної науково технічної конференції „Фундаментальні та прикладні

- проблеми сучасних технологій— до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя, 14-15 травня 2020 року. — Т. : ТНТУ, 2020. — С. 204.
8. DOE, US. "Energy Efficiency and Renewable Energy Network." Frequently Asked Questions < <http://www.eere.energy.gov/geothermal/geofaq.html> (2002).
 9. Warnick, Calvin Cropper, et al. Hydropower engineering. No. BOOK. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1984.
 10. Gulliver, John S., and Roger EA Arndt. Hydropower engineering handbook. McGraw-Hill, Inc., 1991.
 11. Zhang, Zhengji. Pelton turbines. Springer International Publishing, 2016.
 12. Comino, Elena, et al. "Mini-hydro power plant for the improvement of urban water-energy nexus toward sustainability-A case study." *Journal of Cleaner Production* 249 (2020): 119416.
 13. Sarbu, Ioan, and Calin Sebarchievici. Solar heating and cooling systems: Fundamentals, experiments and applications. Academic Press, 2016.
 14. Коваль В. П. Енергетична ефективність систем позиціонування плоских сонячних панелей / В. П. Коваль, Р. Р. Івасечко, К. М. Козак // *Енергосбережение. Энергетика. Энергоаудит.* – 2015. – № 3. – С. 2-10
 15. Коваль В. Залежність енергоефективності сонячних елементів від експлуатаційних факторів / В. Коваль // *Збірник тез доповідей XVII наукової конференції ТНТУ ім. Івана Пулюя, 20-21 листопада 2013 року.* — Т. : ТНТУ, 2013. — Том I : Природничі науки та інформаційні технології. — С. 53.
 16. В. Ц. Жидецький, В. С. Джигирей, О. В. Мельников. Основи охорони праці. — Вид. 2-е, стереотипне. — Львів: Афіша, 2000. — 348 с
 17. Гандзюк, М. П. Основи охорони праці [Текст] : підручник / М. П. Гандзюк, Є. П. Желібо, М. О. Халімовський ; за ред. М. П. Гандзюка ; МОН України. – 4-е видання. – К. : Каравела, 2008. – 384 с.