

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:

РОЗРОБКА МІНІ-ГЕС НА ОСНОВІ
ГВИНТА АРХІМЕДА

Виконав студент IV курсу, групи ЕТ-41
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та

електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

Пелих В.Р.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Коваль В.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Коваль В.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Коваль В.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2025

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)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Коваль В.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)
студенту Пелих Вікторії Русланівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка міні-ГЕС на основі гвинта Архімеда

Керівник роботи к.т.н., доц. Коваль В.П.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «24» січня 2025 року № 4/7-52.

2. Термін подання студентом завершеної роботи до 14.06.2025

3. Вихідні дані до роботи Міні-ГЕС повинна конструкційно містити гвинт Архімеда для перетворення потоку води на обертальний рух валу генератора. В якості джерела води Використати стічні води міста

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналіз ГЕС з гвинтом Архімеда

2. Розробка конструкції гвинтової турбіни Архімеда для міні-ГЕС з каналізаційних стоків

3. Геометрична модель гідравлічного гвинта Архімеда

4. Характеристики та розрахункові формули для приводної системи. Розрахунок ефективності

5. Імітаційні моделі

6. Результати моделювання

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Гвинт Архімеда. Історія

2. Блок-схема розробки ГЕСВ

3. Інфраструктура інтелектуальних мереж

4. Гідроелектростанція

5. Конструкція гвинтової турбіни Архімеда

6. Модель гвинта Архімеда в Simulink

7. Результати моделювання

[illegible]

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

(підпис)

(підпис)

Пелих В.Р.
(прізвище та ініціали)

Коваль В.П.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕТ–41. - Т. : ТНТУ, 2025.

Стор. 70; рис. 39; табл. 5; презентацій __; джерел 22.

У цій роботі увага зосереджена на будівництві мікро-ГЕС, що ефективно використовує стічні води. Для її функціонування використано гвинт Архімеда. Проведено аналіз можливих джерел енергії води для міні-гідроелектростанції. Встановлено, що у великих містах, одним із перспективних варіантів є використання потоку води від каналізаційних та стічних вод .

Проведено аналіз особливостей функціонування гвинта Архімеда як рушія у міні-гідроелектростанції. Розроблено та розраховано конструкцію гвинтової турбіни Архімеда для міні-ГЕС, що працює в системі каналізаційних стоків. Для цих умов експлуатації визначено зовнішній діаметр, довжину гвинта, нахил гвинта, внутрішній діаметр, крок гвинта, кути лопатей і кількість лопатей. В результаті проведено імітаційного моделювання встановлено значення генерованої потужності на кожному кроці, починаючи від механічної енергії води і завершуючи електроенергією, що накопичується у акумуляторах чи суперконденсаторах

Ключові слова: **МІНІ-ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, ГВИНТ АРХІМЕДА, ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЯ.**

ЗМІСТ

ВСТУП

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	9
1.1 Актуальність малих ГЕС	9
1.2 Аналіз ГЕС з гвинтом Архімеда	10
1.3 Блок-схема розробки гідроелектростанції з використанням стічних вод (ГЕСВ)	16
1.4 Висновки до розділу	16
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	18
2.1 Аналіз джерел енергії води	18
2.1.1 Каналізаційні стоки.....	18
2.1.2 Дощові води	19
2.2 Аналіз генераторів змінного електричного струму для ГЕС	21
2.2.1 Загальні поняття	21
2.2.2 Синхронний генератор	22
2.3 Міні-ГЕС у складі розумної електричної мережа (Smart Grid)	26
2.3.1 Традиційна електрична мережа	26
2.3.2 Інтелектуальна електрична мережа	27
2.4 Аналіз принципу роботи гвинта Архімеда.....	28
2.4.1 Історія гвинта Архімеда.....	28
2.4.2 Гвинтовий насос Архімеда.....	28
2.4.3 Гвинтова турбіна Архімеда.....	29
2.4.4 Переваги	30
2.5 Аналіз особливостей побудови та використання міні-ГЕС.....	31
2.6 Розробка конструкції гвинтової турбіни Архімеда для міні- ГЕС з каналізаційних стоків.....	32
2.7 Висновки до розділу	37
3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	39

3.1 Геометрична модель гідравлічного гвинта Архімеда	39
3.2 Характеристики та розрахункові формули для приводної системи	40
3.3 Розрахунок ефективності.....	44
3.4 Параметри передаточного числа гвинта Архімеда для різної кількості лопатей.....	45
3.5 Програмне забезпечення, використане для моделювання	46
3.6 Імітаційна модель гвинта Архімеда	46
3.7 Імітаційна модель редуктора.....	47
3.8 Імітаційні моделі електричних складових міні-ГЕС	48
3.8.1 Генератор змінного струму	48
3.8.2 Перетворювач постійного струму	48
3.8.3 Суперконденсатор	49
3.8.4 Інтелектуальна електромережа.....	50
3.9 Результати моделювання.....	50
3.9.1 Залежність між потоком води та виробленою енергією	50
3.9.2 Залежність зовнішнього радіуса від внутрішнього радіуса гвинта	51
3.9.3 Залежність зовнішнього радіуса гвинта від об'єму	52
3.9.4 Співвідношення між об'ємом і масою ковша гвинта	52
3.9.5 Кількість виробленої електроенергії.....	53
3.10 Осцилограми напруг та струмів	54
3.10.1 Фазні напруги	54
3.10.2 Постійний струм.....	55
3.10.3 Постійна напруга.....	56
3.10.4 Потужність змінного та постійного струму	56
3.10.5 Гідравлічна та механічна потужність	57
3.10.6 Швидкість гвинта та ККД	58
3.11 Висновки до розділу	58
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	52

4.1 Фізичні основи електробезпеки	60
4.2 Основні вимоги безпеки до улаштування та експлуатації технологічного обладнання.....	61
4.3 Заходи безпеки при монтажі енергоустановок	62
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	65
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	67

ВСТУП

Актуальність теми.

Електрична енергія стала невід'ємною частиною життя. Сьогодні прогрес будь-якої країни залежить від її здатності виробляти електроенергію. Відомо, що нафта і газ закінчатися в найближчі кілька десятиліть. Тому дуже важливо знайти всі можливі способи виробництва електроенергії, які можуть мінімізувати використання нафти і газу.

У розвинених країнах, де стічні води міста мають високий рівень забруднення і спрямовуються в невеликі канали, їх можна використовувати для виробництва електроенергії. Ця каналізація має неочищені стічні води. В основному забруднення води викликане стічними водами, хімічно очищеними, неочищеними стічними водами та рідкими відходами промисловості.

Існує ряд джерел для виробництва електроенергії, таких як гідравлічна енергія, вітер, вугілля та атомна енергія. Гідроенергія дешевша і екологічно чиста. Для виробництва електроенергії потужними ГЕС необхідна велика гребля. Будівництво великої греблі потребує великих капітальних витрат і значних земельних реформ. Тому є ще один доступний варіант: каналізаційні стоки можна використовувати для виробництва електроенергії. Їх можна використовувати після певної хімічної обробки або без неї.

Мета кваліфікаційної роботи: проектування міні-ГЕС для виробництва електроенергії зі стічних вод на основі турбіни Архімеда.

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

1. Провести аналіз існуючих конструкції малих ГЕС.
2. Провести аналіз можливих джерел енергії води для міні-гідроелектростанції.
3. Провести аналіз особливостей функціонування гвинта Архімеда як рушія у міні-гідроелектростанції.
4. Розробити та розрахувати конструкцію гвинтової турбіни Архімеда для міні-ГЕС.

5. Провести імітаційне моделювання роботи міні-ГЕС з гвинтом Архімеда. Визначити ефективність.

Структура роботи. Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Виконана згідно вимог [1]. Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, 4 частин, висновків та переліку посилань. Обсяг роботи: розрахунково-пояснювальна записка – 70 арк. формату А4, графічна частина – ___ аркушів презентації.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Актуальність малих ГЕС

Сьогодні ніхто не може заперечити, що електроенергія - це як дихання для сучасної технологічної епохи. День за днем ми впроваджуємо різні нові речі у своє життя. Наші будинки управляються відповідно до погоди. Ми маємо холодну та спекотну погоду відповідно до наших потреб. У нас є нові гаджети, якими ми користуємося: смартфони, розумні годинники, ноутбуки, айподи, айпади. У нас є електромобілі, потяги [2]. Наші міста стають світлішими і барвистішими вночі завдяки різним вогням і цифровим екранам. Промисловість зростає щодня, як на дріжджах.

Всі ці речі потребують електроенергії, щоб залишатися в робочому стані [3,4]. Як наслідок, з кожним днем нам потрібно все більше електроенергії. Існує багато способів виробництва електроенергії, але відновлювані джерела є більш вимогливими, оскільки нафта і газ рано чи пізно закінчаться.

Тому доцільно будувати мікро- та міні-електростанції. Ми зосереджуємося на будівництві малих гідроелектростанцій, тому що електроенергія, яку вони виробляють, дешевша. Тому може бути розумним варіантом використання стічних вод як гідравлічного джерела енергії.

Існує інший спосіб використання стічних вод як біомаси, описаний в [5], а потім використання газу з цієї біомаси для спалювання в котлі як палива. Потім з цієї біомаси виробляється електроенергія. Оскільки ця біомаса виробляє газ метан.

Придорожній водний канал може бути використаний для виробництва електроенергії, як показано в [6]. Він має невеликий напір і може виробляти електроенергію в невеликих масштабах.

Вже є деякі дослідження, проведені на гвинті Архімеда. Раніше цей пристрій використовувався для перекачування води вгору з низу для зрошення. Однак в останніх дослідженнях в цій галузі було виявлено, що гвинт Архімеда має нове застосування, працюючи в зворотному напрямку як перетворювач

енергії з урахуванням низьких перепадів напору [7]. Архімедів гвинт як перетворювач потужності дає ККД від 78% до 84%, що робить його цікавим варіантом для турбін на малих ГЕС.

1.2 Аналіз ГЕС з гвинтом Архімеда

Гідротурбіна Архімедового гвинта є відносно новим явищем у світі малих гідростанцій, з'явившись на ринку лише протягом останніх десяти років. Однак вони вже існують протягом багатьох десятиліть у вигляді насосів, десятки тисяч яких встановлено по всьому світу, особливо на очисних спорудах. Ті самі виробники, які домінують на ринку насосів, зараз є основними постачальниками на ринок гідроенергетики.

Як впливає з назви, Архімед широко визнаний винахідником гвинта ще в 250 році до н. е., хоча ця заслуга була помилково приписана йому, оскільки гвинти використовувалися в Єгипті за багато років до цього. Історично вони використовувалися в іригації для підйому води на вищий рівень і, як правило, приводилися в рух волами або навіть людьми на менших версіях. Основний принцип роботи гвинтового насоса Архімеда показано на схемі нижче [8]. Якщо ручку вгорі повернути проти годинникової стрілки, вона підніме воду з нижнього рівня на верхній.

При використанні в якості гідротурбіни принцип той самий, але діє в зворотному напрямку. Вода надходить у гвинт у верхній частині, і її вага тисне на гвинтові лопаті, дозволяючи воді опускатися на нижній рівень і змушуючи гвинт обертатися. Ця енергія обертання може бути потім вилучена електричним генератором, підключеним до головного валу гвинта.

Гвинтові насоси Архімеда рис.1.1 для гідроенергетики використовуються на об'єктах з низьким напором і високою витратою. Вони можуть ефективно працювати при напорі до 1 метра, хоча зазвичай не використовуються при напорі менше 1,5 м (більше з економічних, ніж з технічних причин). Одинарні гвинти можуть працювати при напорі до 8 метрів, але при напорі вище зазвичай

використовуються множинні гвинти, хоча в багатьох випадках для напору вище 8 метрів можуть бути доступні більш підходящі турбіни з набагато меншими габаритами.

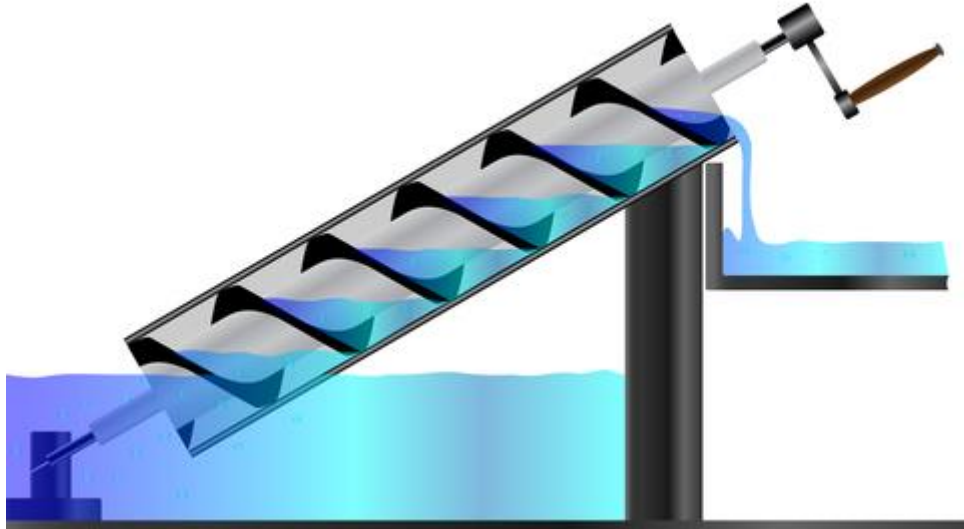


Рисунок 1.1 - Основна схема гвинтового насоса Архімеда

Максимальна швидкість потоку через гвинт Архімеда визначається діаметром гвинта [8]. Найменші гвинти мають діаметр всього 1 метр і можуть пропускати 250 літрів/секунду, потім вони збільшуються з кроком 250 мм аж до 5 метрів в діаметрі з максимальною швидкістю потоку близько $14,5 \text{ м}^3/\text{с}$. Максимальний розмір 5 метрів насправді базується на практичних обмеженнях доставки, і в багатьох випадках 3 метри є максимальним діаметром, який можна доставити на місце. Якщо доступна більша витрата, можна встановити кілька гвинтів паралельно.

Що стосується вихідної потужності, найменші гвинти Архімеда можуть виробляти всього 5 кВт, а найбільші – 500 кВт.

Основні частини гвинта Архімеда, що використовується як гідрогенератор, показані на рисунках 1.2 та 1.3. Фактичний гвинт знаходиться під верхнім підшипником. Гвинтовий гвинт або «спіралі» виготовляються з прокатного плоского сталевих листа, який потім приварюється до центрального сталевих сердечника. Більшість гвинтів Архімеда мають три спіралі або три окремі гвинти, що обертаються навколо центрального

сердечника.

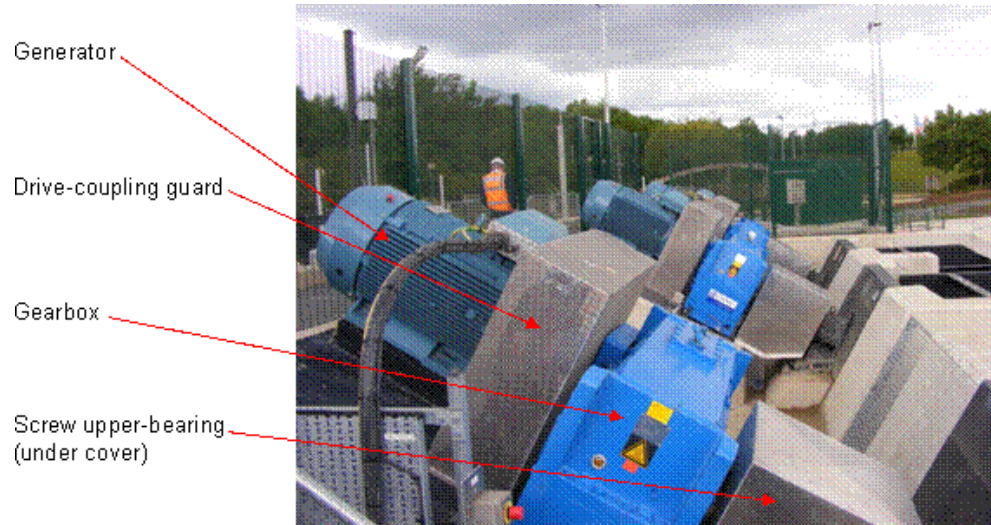


Рисунок 1.2 - Основні частини верхнього кінця гідрогенератора з гвинтом Архімеда

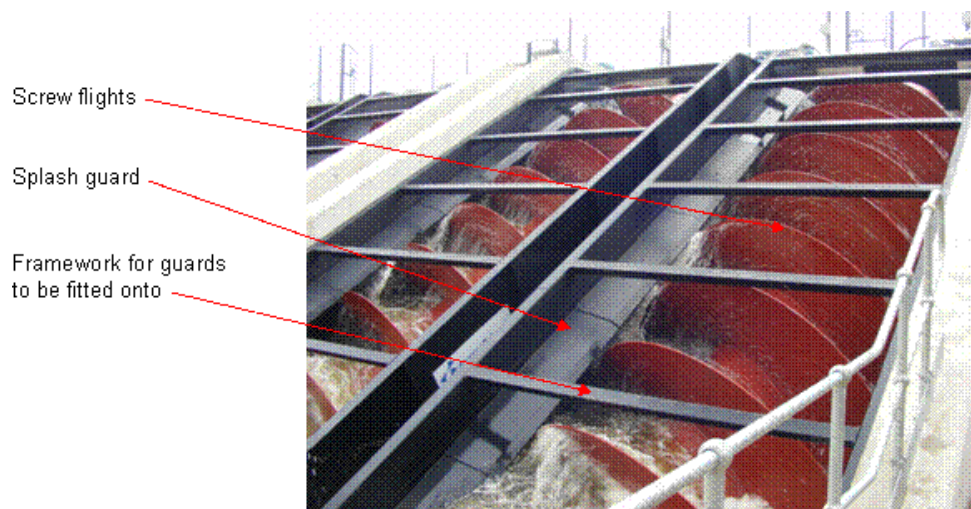


Рисунок 1.3 - Корпус гідротурбіни з гвинтом Архімеда

Гвинтові викрутки зазвичай обертаються зі швидкістю близько 26 об/хв, тому верхня частина гвинта з'єднується з редуктором для збільшення швидкості обертання до 750-1500 об/хв, щоб зробити його сумісним зі стандартними генераторами. Незважаючи на те, що гвинтові викрутки обертаються відносно повільно, вони можуть розбризкувати воду, хоча це значно зменшується за допомогою бризговика, показаного зліва від гвинта, як показано на рисунку.

Також досить багато гвинтів Архімеда встановлено без будь-яких захисних огорожень над самим гвинтом, хоча рекомендується закривати весь гвинт, щоб запобігти потраплянню великих уламків, тварин або навіть людей і

їх затягуванню. Огородження можна спроектувати так, щоб гвинт залишався видимим, якщо це необхідно.

Гвинтові гідротурбіни Архімеда зазвичай встановлюються під кутом 22 градуси від горизонталі, що є оптимальним для найбільш економічно ефективних установок. Кут можна трохи відрегулювати, якщо це необхідно (наприклад, для установки в конкретному місці).

Найкращі гвинти гідротурбін Архімеда мають змінну швидкість роботи, що означає, що швидкість обертання гвинта можна збільшувати або зменшувати залежно від швидкості потоку в річці. Це набагато краще, ніж гвинт із фіксованою швидкістю і зміною швидкості потоку за допомогою автоматизованого шлюзу, що створює великі втрати напору і впливає на загальну ефективність системи. Гвинти з регульованою швидкістю також працюють тихіше і не страждають від «зворотного удару» на випускному кінці гвинта.

Типова крива ефективності якісного гвинта Архімеда з регульованою швидкістю наведена на рис. 1.4.

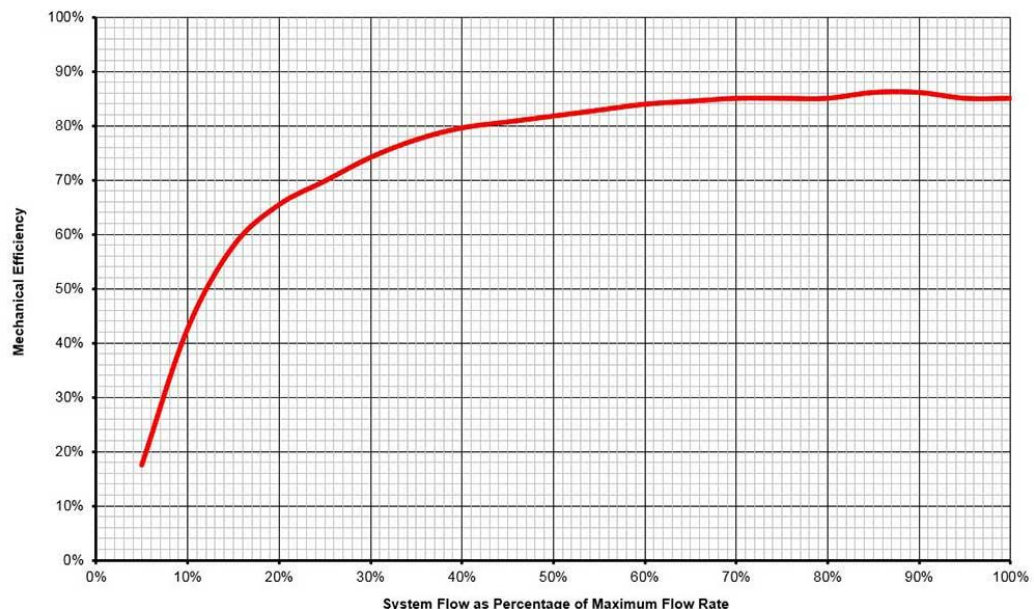


Рисунок 1.4 - Типова крива ККД гідротурбіни з гвинтом Архімеда

Це механічна ефективність, тому вона не включає втрати редуктора, генератора та інвертора (вони становлять приблизно 15% від загальної потужності). Варто

зазначити, що деякі постачальники гвинтів Архімеда «переоцінюють» ефективність гвинтів, тому потрібно бути обережним, порівнюючи характеристики. Нижча заявлена ефективність може бути не тому, що конкретний гвинт є гіршим, а просто тому, що постачальник є більш чесним!

Гідротурбіна з гвинтом Архімеда хорошої якості має термін експлуатації 30 років, який можна продовжити за допомогою капітального ремонту, що включає заміну наконечників гвинтових лопатей.

Важливою перевагою гідротурбіни з гвинтом Архімеда є її стійкість до сміття. Завдяки відносно великим розмірам лопатей гвинта (рис. 1.5) і низькій швидкості обертання, відносно велике сміття може пройти без перешкод, не пошкодивши гвинт, а все дрібне сміття, таке як листя, проходить без будь-яких проблем. Це означає, що на вході в гвинт не потрібні дрібні решітки, а достатньо грубих решіток з відстанню між стрижнями 100 або 150 мм (рис. 1.6). Це призводить до відносно невеликого накопичення сміття на грубій решітці і усуває необхідність у (дорогих) автоматичних очищувачах решіток, які зазвичай потрібні в більших гідроенергетичних системах з низьким напором.



Рисунок 1.5 - Корпус гвинта Архімеда перед установкою

Низька швидкість обертання і великі розміри прохідного каналу гвинтових гідротурбін Архімеда також дозволяють рибі відносно безпечно пропливати вниз по течії через гвинт. Гвинтові турбіни Архімеда часто рекламуються як «рибозберігаючі» гідротурбіни, що, безсумнівно, відповідає

дійсності, хоча ми вважаємо, що всі гідросистеми повинні бути рибозберігаючими, незалежно від типу турбіни. У гідросистемах без гвинтів це означає, що необхідні добре спроектовані впускні екрани та рибні проходи/обхідні канали. Зверніть увагу, що якщо на місці установки гідротурбіни з гвинтом Архімеда необхідний прохід риби вгору за течією, потрібно встановити рибний прохід.



Рисунок 1.6 - Вхідна сторона установки гвинта Архімеда

Останньою перевагою гідротурбіни з гвинтом Архімеда є спрощені інженерні роботи та фундаменти. Оскільки гвинти не мають забірних труб або зливних відстійників, це означає, що глибина будь-яких бетонних робіт на нижній стороні гвинта є відносно невеликою, що зменшує витрати на будівництво. Будівельні роботи також відносно прості, основна частина яких – несучі фундаменти під верхніми та нижніми підшипниками. У більш м'яких ґрунтових умовах несучі фундаменти можуть бути пальовими.

1.3 Блок-схема розробки гідроелектростанції з використанням стічних вод (ГЕСВ)

На рис. 1.7 показані всі кроки, які будуть виконані для проектування ГЕСВ. Тут джерелом води є стічні води. Потім, на наступному кроці є резервуар для води, який створює силу води, що виробляє механічну енергію у гвинті. На наступному етапі модуль редуктора з'єднується з гвинтом і генератором, і цей модуль передає механічну енергію від гвинта до генератора. Потім генератор дає електричну енергію на виході, яка може бути подана в інтелектуальну мережу або перетворювач постійного струму. Перетворювач постійного струму перетворює енергію змінного струму в енергію постійного струму, і тут ця енергія може зберігатися в акумуляторах або суперконденсаторах для локальних цілей.

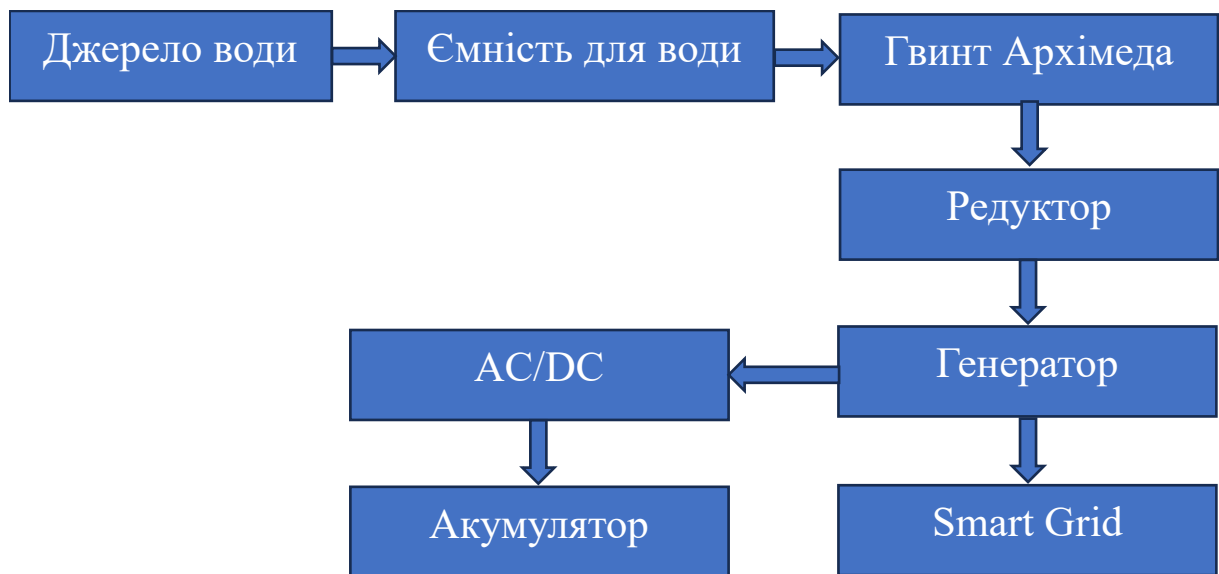


Рисунок 1.7 - Блок-схема розробки ГЕСВ

1.4 Висновки до розділу

1. Проведено аналіз актуальності малих ГЕС. Розглянуто можливі джерела гідравлічної енергії для міні- та мікро-ГЕС.
2. Описано принцип роботи гвинтового насоса Архімеда та гвинта

Архімеда, який перетворює поступальний рух води у обертальний вала електрогенератора.

3. Проведено аналіз існуючих конструкції малих ГЕС у яких використано гвинт Архімеда. Обґрунтовано коефіцієнт корисної дії гідротурбіни з гвинтом Архімеда.
4. Проведено аналіз переваг та недоліків використання гвинта Архімеда у ГЕС.
5. Побудовано блок-схему процесу розробки гідроелектростанції з використанням стічних вод.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Аналіз джерел енергії води

2.1.1 Каналізаційні стоки

Каналізаційні стоки - це вода, яка містить відходи у вигляді розчинів, які повинні бути виведені з житлової зони. Її також називають стічними водами, і вона на 99 % складається з води. Каналізаційні стоки характеризуються фізичним станом, об'ємом або швидкістю потоку, а також токсичними інгредієнтами та бактеріологічними мікроорганізмами, з яких вони складаються.

Каналізаційні стоки складаються здебільшого із стічних вод (через кухонні раковини, ванни, душові кабінки, пральні машини та туалети), а також з відходів життєдіяльності людини, які змиваються в туалетах, мила, миючих засобів та туалетного паперу.

На рис. 2.1 показано стічні води. Каналізаційні стоки зрештою потрапляють у навколишнє середовище одним із кількох шляхів. Зазвичай стічні води з водопровідної системи будівлі потрапляють до каналізаційної труби, яка відводить їх в інше місце, або до очисних споруд.



Рисунок 2.1 - Каналізаційна вода

Основна відмінність у маршруті полягає в тому, чи обробляються вони будь-якими способами, щоб зменшити їхній вплив на навколишнє середовище перед тим, як потрапити туди, чи ні. Багато країн скидають стічні води в море. Деякі країни скидають стічні води в річки.

В основному забруднення води відбувається за рахунок хімічно неочищених і неочищених стічних вод та рідких відходів промисловості. Ці забруднені стічні води спричиняють помутніння та деоксигенацію. Це також спричиняє проблеми для екологічної системи. Через стічні води в багатьох країнах морська вода є небезпечною для купання та плавання. Стічні води спричиняють деградацію навколишнього середовища, знищують рибні запаси.

До минулого століття каналізаційні стоки, як правило, скидалися в річку, озеро, затоку або море. Перед скиданням в озеро, затоку чи море не існувало жодних методів очищення, тому всі відходи життєдіяльності людини потрапляли в навколишнє середовище. Однак сьогодні каналізаційні стоки потрапляють до водойми через очисні споруди, а не напряду. У деяких країнах це стало нормою, проте в деяких країнах це не так.

Середньодобове використання води однією людиною.

Згідно з деякими дослідженнями в США кожна людина використовує (від 70 до 95 галонів) від 130 до 160 літрів води у своєму повсякденному житті. Можливо, це мало кого здивує, але це факт, що найбільше води ми використовуємо для змиву в туалеті, прийняття ванни та душу [9]. У таблиці 2.1 показано щоденне використання води однією людиною протягом дня.

2.1.2 Дощові води

Всім відомо, що дощ - це вода, що падає з неба у вигляді крапель. Ця вода утворюється внаслідок випаровування атмосферної води, стає важчою у вигляді хмар, а потім під дією сили тяжіння випадає у вигляді дощу.

Таблиця 2.1 - Щоденне використання води в побуті

Ванна	137 л
Душ	10 л/м
Змивання туалету	8 л/ змив
Чищення зубів	4 л/м
Миття рук/обличчя	4 л
Гоління обличчя/ніг	4 л
Посудомийна машина	75 л/ завантаження
Миття посуду вручну	11 л/ м
Пральна машина	151 л/ завантаження

Дошові опади є важливим елементом кругообігу води. Дош є одним з найбільших джерел прісної води на Землі. Він також є важливою частиною екосистем і використовується для зрошення сільськогосподарських культур, а також для роботи гідроелектростанцій [10,11].

У гірських районах випадають сильні дощі. У багатьох регіонах світу взимку випадають сильні дощі, а сезон мусонів також приносить сильні дощі в багатьох частинах світу, наприклад, у Південній Азії.

Однак у великих містах дошова вода стікає до каналізаційних труб і утворює великі обсяги стічних вод у густонаселених районах і на головних дорогах. Цю воду можна використовувати для виробництва електроенергії за допомогою гвинта Архімеда.

Коли на наш будинок падає сильний дош, скільки води ми отримуємо?

Припустимо, що площа будинку становить близько 2023 м², і ми потрапляємо під дош, який випадає у 2,5 см опадів. Тоді на нашому подвір'ї випадає 51395 літрів води. На велику ванну йде 150 літрів. Отже, якщо ми зможемо зберегти цю воду, її вистачить на 339 ванн.

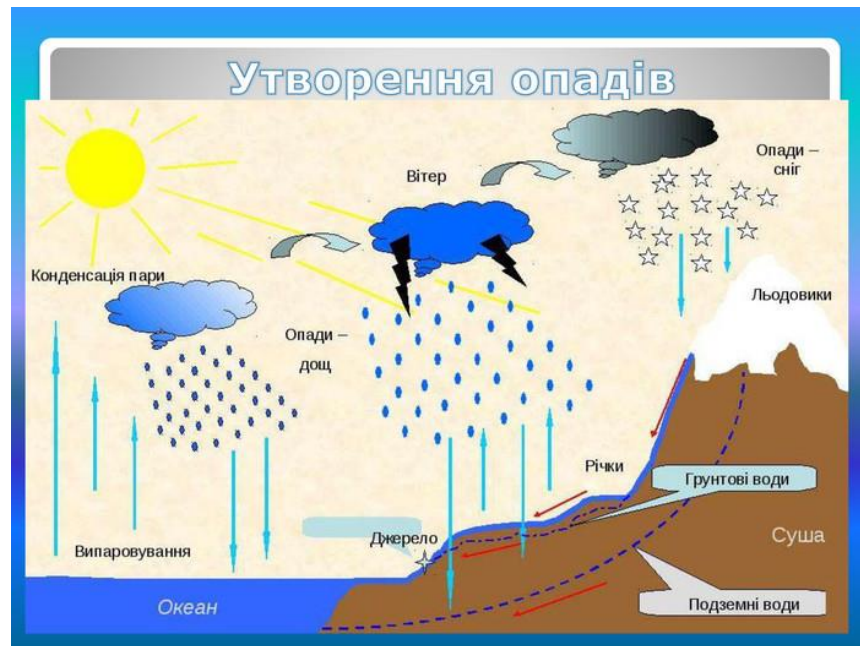


Рисунок 2.2 - Опади

2.2 Аналіз генераторів змінного електричного струму для ГЕС

2.2.1 Загальні поняття

Електрична машина, яка перетворює механічну енергію в електричну енергію змінного струму, називається генератором змінного струму. Більшість генераторів мають нерухомий якір і магнітне поле, що обертається, через простоту і дешевизну. Поле або якір обертаються за допомогою турбіни. Вихідна частота залежить від того, яка частота обертання генератора. В роботі пропонується використовувати синхронний генератор.

Раніше для виробництва електроенергії використовувалися генератори постійного струму, але коли з'явилися генератори змінного струму, динамо-машини постійного струму були замінені на генератори змінного струму. Генератори змінного струму використовуються в електровозах. Вони приводяться в рух дизельним двигуном, а потім ця електроенергія змінного струму перетворюється на постійний струм за допомогою випрямлячів. Вони також використовуються на судах. Морські мають від 12 до 24 рівнів вихідної напруги. Для великих потужностей використовується більше одного.

2.2.2 Синхронний генератор

Синхронна машина - це машина, яка працює як генератор. Ці машини мають постійну частоту. Ці машини використовуються в електростанціях, транспортних системах. Вперше синхронний генератор був використаний в 1870-х роках П. Н. Яблочковим.

У синхронному генераторі обмотка ротора з'єднується з джерелом постійного струму для створення магнітного потоку в роторі. Потім цей ротор приводиться в рух, що створює обертовий магнітний потік. Цей обертовий магнітний потік індукує електрорушійну силу (ЕРС) у трифазних обмотках статора.

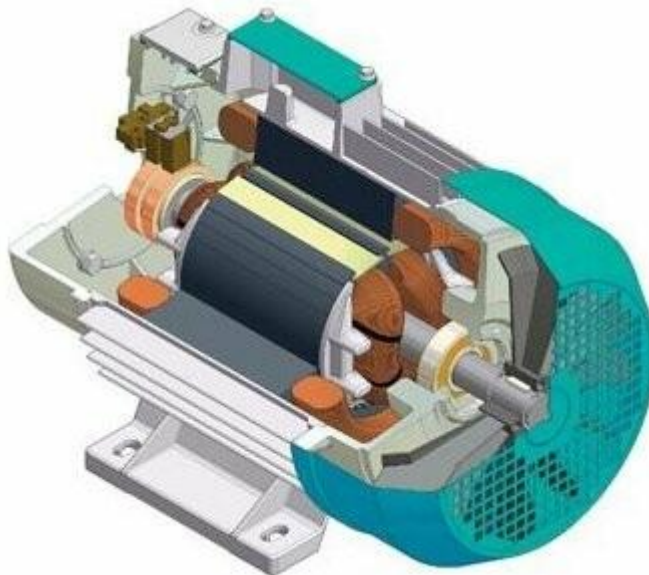


Рисунок 2.3 - Синхронний генератор

Синхронний генератор показаний на рис. 2.3. Він складається з ротора, який розміщений на обертовому кріпленні машини. Індуковані трифазні напруги в провідниках якоря показані через «aa», «bb», «cc». Ротори цих машин приводяться в рух водяними турбінами або парою. Обмотки ротора збуджуються постійним струмом, який може подаватися через окремий генератор або випрямляч. Коли ротор рухається, його магнітне поле індукує трифазну напругу в обмотках статора. Сьогодні ця технологія виробництва трифазної електроенергії використовується на електростанціях.

З визначення ми знаємо, що синхронні генератори - це машини, електрична частота яких синхронізована з механічною швидкістю обертання.

Ця частота ЕРС дорівнює

$$f = \frac{P}{120}(N) \quad , \quad (2.1)$$

де f - електрична частота в Гц;

P - кількість пар полюсів;

N - швидкість обертання ротора в об/хв.

Синхронний генератор має нерухому обмотку якоря і обертову обмотку збудження, на відміну від генератора постійного струму, де розташування обмоток прямо протилежне.

Статор.

У синхронному генераторі місце, де індукується напруга, називається статором. Це статична частина машини, яка з'єднана з ротором за допомогою взаємної індукції. Рама виготовлена таким чином, щоб витримувати навантаження від механічних та електричних сил в осерді та забезпечувати низький рівень вібрації. Конструкція статора складається з ізоляційних обмоток і осердя. Осердя виготовлений з високоякісної трансформаторної сталі. Пластини мають простір для вентиляції, щоб забезпечити охолодження всього осердя, і правильно укладені для підтримки всієї конструкції. Обмотки просочуються під тиском за допомогою двокомпонентної епоксидної смоли. Просочування забезпечує хорошу діелектричну міцність, високу стійкість до вологи та тривалий термін служби генератора.

Ротор.

Рухома частина синхронної машини називається ротором. На роторі є обмотка для створення магнітного потоку. Ротор синхронного генератора являє собою великий електромагніт. Ротор має елемент конструкції, на якому змонтовані полюси збудження, демпфер, обмотки і якір збудника. Конструкція цього елемента ротора залежить від вимог до швидкості обертання. Цей елемент ротора може бути виготовлений зі сталі з полюсами збудження, з

використанням болтів підвищеної міцності, або кований відповідно до вимог, або з ламінованих листів. Магнітні полюси можуть бути виконані двома способами, вони можуть бути випуклими або не випуклими.

Ротор має ламіновану конструкцію для зменшення втрат на вихрові струми.

Використовуються два типи роторів

- Ротор з випуклим полюсом
- Циліндричний ротор

Тип ротора з випуклим полюсом

Ротори даного типу мають малу осьову довжину і великий діаметр. Такі типи генераторів більші за розміром і виглядають як колесо. Ці типи роторів використовуються для низько- та середньошвидкісних машин. Вони виготовлені з товстих ламінованих сталевих секцій, скріплених між собою заклепками. Вони з'єднуються з ротором через з'єднання.



Рисунок 2.4 - Помітний ротор з великою кількістю полюсів

Циліндричний тип ротора

Машина з циліндричним ротором (рис. 2.5) має вигляд циліндра, оскільки має однакову довжину в усіх напрямках. Ця циліндрична форма забезпечує рівномірне розрізання потоку в усіх напрямках.



Рисунок 2.5 - Циліндричний ротор [14].

У цьому випадку ротор складається з гладкого суцільного сталевого циліндра. Він має ряд прорізів по зовнішній периферії для обдування котушок збудження. Ці типи роторів використовуються для високошвидкісних операцій. Ці типи машин дають менші втрати.

Високошвидкісні генератори мають один або дві пари полюсів і використовуються з паровими і газовими турбінами. Парові турбіни мають більший ККД при обертанні на високій швидкості. Зазвичай такі машини мають 3000 (об/хв), щоб генерувати 50 Гц з 2 полюсами. Вони використовуються для парових турбін.

$$N = \left(\frac{120 \cdot f}{P} \right) = 3000 \text{ об / хв} . \quad (2.2)$$

Чотириполюсний тип працює зі швидкістю

$$N = \left(\frac{120 \cdot f}{P} \right) = 1500 \text{ об / хв} . \quad (2.3)$$

$$f = 50 \text{ Гц}.$$

Синхронні генератори, які використовуються з водяними турбінами, мають велику кількість полюсів. Водяні турбіни мають хороший ККД при обертанні на низьких швидкостях (200-300) об/хв.

У синхронній машині постійний струм подається на обмотку ротора від зовнішнього джерела за допомогою контактних кілець і щіток. Контактні кільця ізольовані від валу.

2.3 Міні-ГЕС у складі розумної електричної мережі (Smart Grid)

2.3.1 Традиційна електрична мережа

На рис. 2.6 показана структура типової електричної мережі. У всіх країнах електромережа складається з багатьох електростанцій у різних частинах країни. Вона має тисячі кілометрів ліній електропередач та розподільчих ліній. Ця система успішно функціонує вже багато десятиліть, але населення також збільшується, а обладнання, що використовує електроенергію на кінцевих точках ліній, стає все більш складним [12-14].

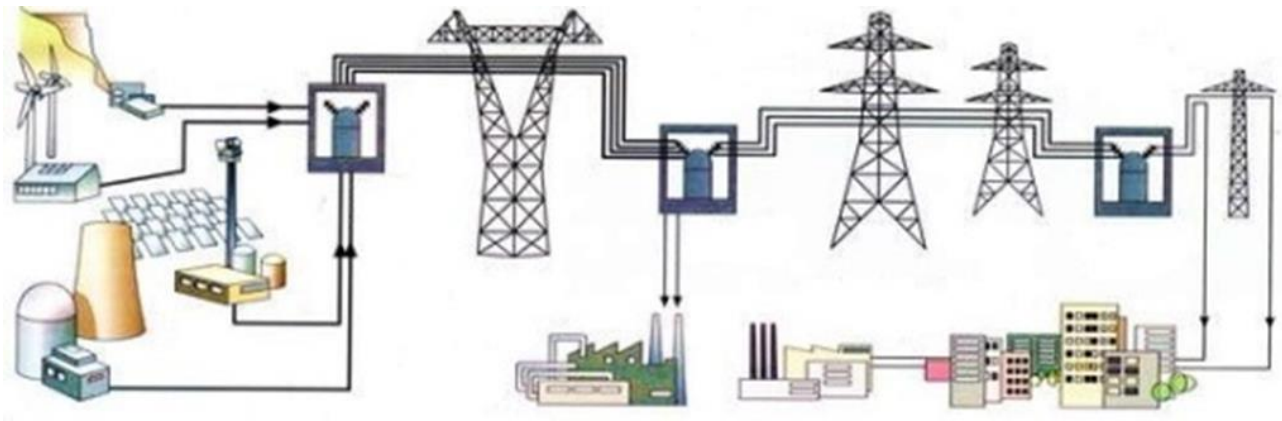


Рисунок 2.6 - Традиційна електрична мережа [12].

Сьогодні система електромереж стикається з багатьма проблемами

- Вона застаріла;
- Неефективна (ефективність постачання електроенергії становить лише 35%);
- Вразлива (відключення електроенергії);
- Централізована генерація;
- Сильна залежність від викопного палива.

Стара енергосистема має старе обладнання, яке не може працювати з обома відновлюваними джерелами енергії, оскільки ці джерела менш передбачувані, ніж генератори на викопному паливі. Крім того, електромережа не пристосована до вимог, які пред'являють до неї кінцеві споживачі.

Для вирішення вищеписаних проблем особливого значення набувають

«розумні» енергосистеми (smart grid). Розумна мережа може бути визначена як сучасна система електричних мереж, яка може захищати, контролювати та автоматично оптимізувати роботу своїх взаємопов'язаних елементів.

2.3.2 Інтелектуальна електрична мережа

У системах інтелектуальних мереж інформаційні технології та інші передові технології використовуються для моніторингу та управління передачею електроенергії від генеруючої станції до користувачів. Інтелектуальні мережі забезпечують зв'язок між виробниками, операторами мереж та користувачами, оскільки вони розуміють потреби та можливості всіх генеруючих станцій [14].

На рис. 2.7 представлена двостороння архітектура енергосистеми, яка забезпечує двосторонній зв'язок між мережею та іншими пристроями, підключеними до неї, на всьому шляху.

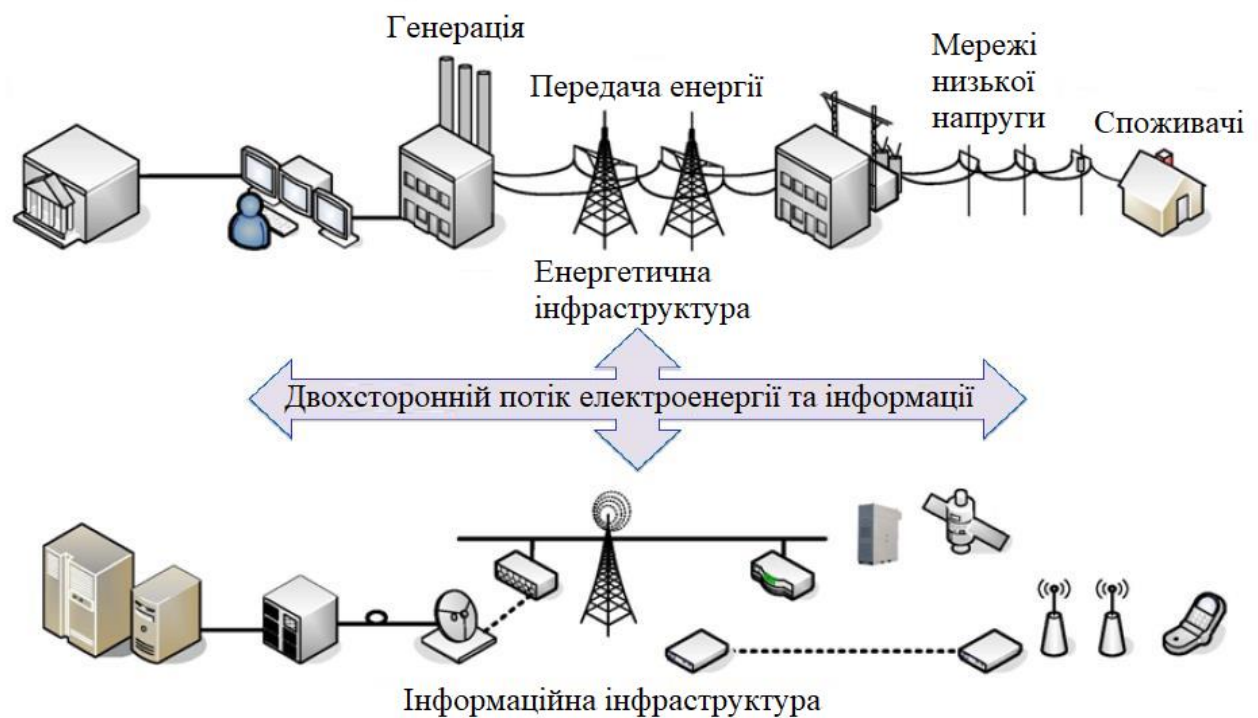


Рисунок 2.7 - Інфраструктура інтелектуальних мереж

2.4 Аналіз принципу роботи гвинта Архімеда

2.4.1 Історія гвинта Архімеда

Згідно з історичними записами, король Сиракуз хотів побудувати розкішний і величезний корабель, щоб продемонструвати перевагу і велич свого рідного міста. Архімед був найкращим у геометричних конструкціях, математичних знаннях і глибокому розумінні концепцій, пов'язаних з плавучістю. Але його проект мав одну проблему. Корабель набирив велику кількість води, оскільки мав протікання, що загрожувало його мореплавності.

Тому Архімед знайшов рішення проблеми. Він сконструював гвинт, застосувавши свої знання та креативність. Пристрій Архімеда був елегантним у своїй простоті. Цим пристроєм могла керувати одна людина, і це був найкращий спосіб викачувати воду з трюму. Пізніше цей пристрій став дуже популярним у сільськогосподарському зрошенні. З того часу конструкція цього пристрою була використана для багатьох інших винаходів, і багато істориків пишуть, що цей пристрій став провідним.

2.4.2 Гвинтовий насос Архімеда

Гвинт Архімеда є найдавнішим типом гідравлічної машини і використовується досі. Раніше він використовувався для підйому води з нижнього рівня на верхній. На рис. 2.8 показаний гвинтовий насос Архімеда.

Історично гвинт Архімеда використовувався для перекачування води для зрошення земель і каналів з водойм, розташованих на нижчому рівні. Архімед використовував цей пристрій для видалення води, що просочилася в корабель. Цей метод досі використовується в багатьох сучасних сферах застосування завдяки своїй ефективності. У найпростішому вигляді гвинтовий насос складається з гвинта в порожнистій трубі за допомогою валу.

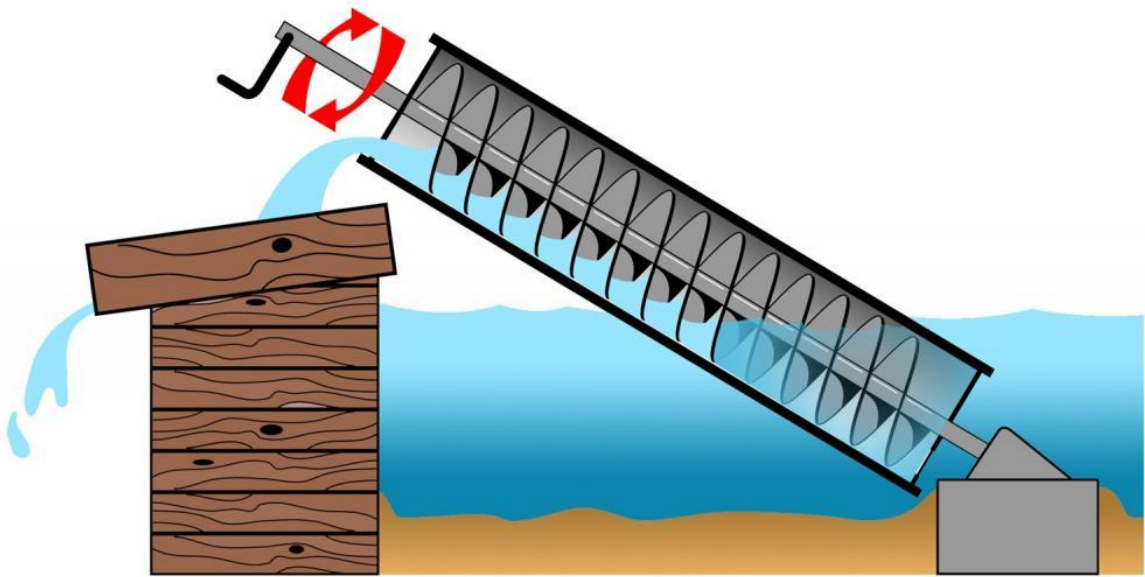


Рисунок 2.8 - Гвинтовий насос Архімеда [21]

Гвинтовий насос Архімеда (рис. 2.8) — це проста машина, яка піднімає воду вгору при обертанні. Він використовується з давніх часів. Спочатку його застосовували для перекачування води з нижнього рівня на верхній, наприклад, зі ставків або річок, для зрошення полів, а також для відведення води з шахт.

Нижня частина гвинта занурюється у воду, і вода рухається по трубі по спіралі під час її обертання. Тим часом більше води зачерпується на кінці труби і рухається далі, і так доти, доки вода не вийде з верхньої частини труби.

Ця машина була розроблена грецьким вченим Архімедом (250 р. до н. е.). Він був не тільки вченим, але й інженером і математиком. Він походив із Сицилії і навчався в Олександрії, Єгипет.

Незважаючи на те, що гвинт Архімеда був винайдений в давнину, він був адаптований протягом часу. Завдяки простоті своєї роботи гвинт Архімеда є екологічно чистим.

2.4.3 Гвинтова турбіна Архімеда

Гвинт Архімеда також може використовуватися як турбіна, але тільки якщо змінити механізм його роботи. Якщо вода тече вниз з верхнього рівня, вона створює гідравлічну енергію, яка впливає на лопаті, і гвинт починає

рухатися. Якщо підключити редуктор у верхній частині, а потім підключити редуктор до генератора, можна отримати електричну енергію на виході.

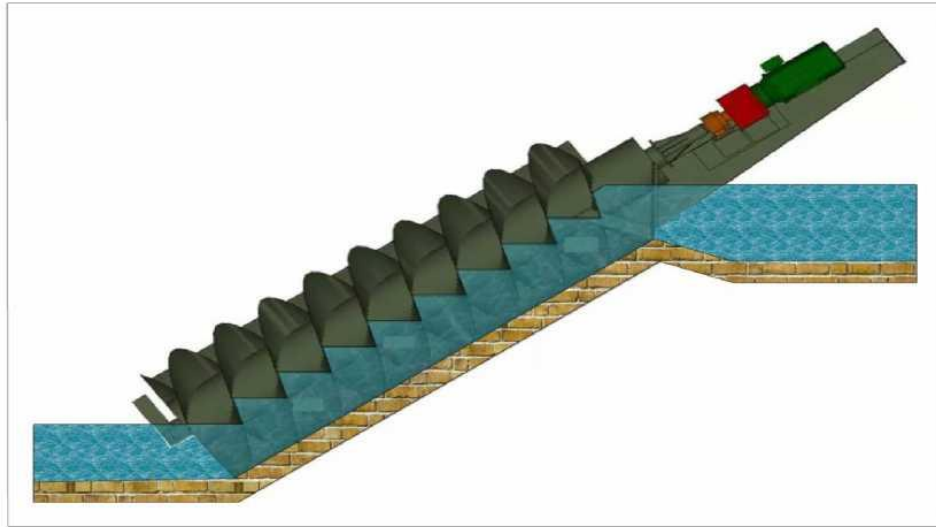


Рисунок 2.9 - Турбіна Архімеда

На рисунку 2.9 показана турбіна Архімеда. Потік стічних вод обертає цей гвинт, а потім він з'єднується з генератором, який виробляє електричну енергію.

2.4.4 Переваги

Гідравлічний гвинт Архімеда має наступні переваги в порівнянні з класичними турбінами

- Він має високу ефективність в будь-яких умовах;
- Він має саморегулювання при зміні потоку води;
- Невеликі розміри і проста установка;
- Легко впроваджується в існуючі умови;
- Довгий термін служби;
- Працює повністю без тонкого фільтра;
- Низькі експлуатаційні витрати;
- Швидка окупність інвестицій.

2.5 Аналіз особливостей побудови та використання міні-ГЕС

Вода, що падає і тече, має певну потенційну енергію. Гідроенергія отримується шляхом перетворення енергії течії води за допомогою турбіни в корисну механічну енергію. За допомогою електричного генератора ця енергія перетворюється в електричну. Для будівництва гідроелектростанцій необхідні великі греблі.

Здебільшого гідроелектростанції будуються урядом і є багатоцільовими проектами. Греблі забезпечують захист від повеней, зрошення, водопостачання, рибальство. Гідроенергетика має багато переваг, це чисте і відновлюване джерело енергії. Не забруднює навколишнє середовище, на відміну від викопних видів палива. Гідроелектростанції є екологічно чистими. Вода після використання може бути повторно використана. На рис. 2.10 показана гідроелектростанція.



Рисунок 2.10 - Гідроелектростанція

Однак існують також деякі перешкоди, оскільки це може значно вплинути на навколишнє середовище. Великі водосховища можуть покривати міста, мальовничі місця та сільськогосподарські угіддя, а також місця

проживання диких тварин.

2.6 Розробка конструкції гвинтової турбіни Архімеда для міні-ГЕС з каналізаційних стоків

Конструкція АСТ в основному стосується конструкції гвинтового валу.

Геометрія гвинтової турбіни визначається зовнішніми параметрами, такими як довжина (L), зовнішній діаметр (D_e) і кут нахилу (θ) гвинта, а також внутрішніми параметрами, такими як внутрішній діаметр гвинта (D_i), крок лопатей (P), кути лопатей (α , β) і кількість лопатей (N). Схематична діаграма, рис. 3, відображає ці параметри гвинта. Значення цих зовнішніх параметрів гвинта Архімеда залежать від умов місця встановлення, таких як швидкість потоку (Q), висота підйому (H) та матеріали, доступні для його виготовлення. Внутрішні параметри гвинта залежать від зовнішніх параметрів.

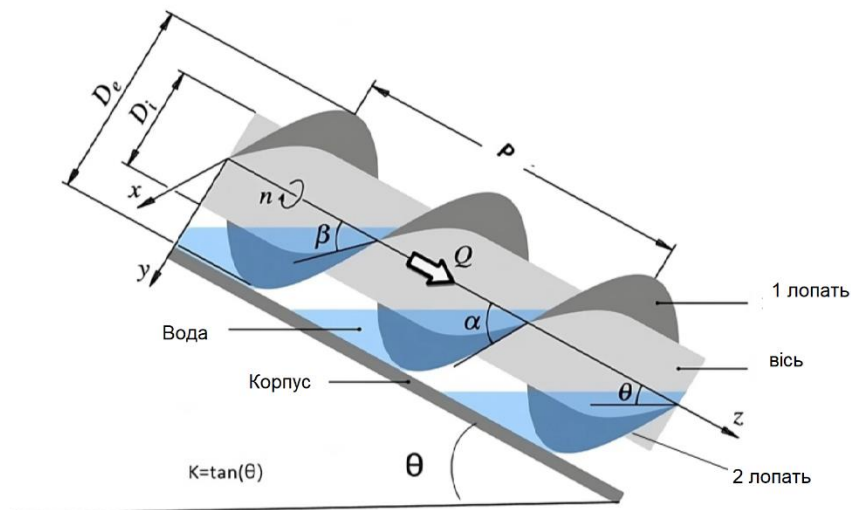


Рисунок 2.11 – Гвинтова турбіна Архімеда

Довжина гвинта (L)

Як правило, довжина гвинта вибирається відповідно до прохідної витрати

(Q) і напору води (H) таким чином, щоб можна було використовувати максимальний доступний потік. У випадку портативної гідротурбіни (РНРТ) довжина повинна бути вибрана таким чином, щоб турбіна була легко переносною, або для визначення довжини гвинта можна також використовувати наступну формулу.

$$L = \frac{H}{\sin \theta} \quad (2.4)$$

де L — довжина гвинта (см),
 H — висота водяного стовпа (см), а
 θ — кут нахилу вала гвинта.

Доступна висота (H) і нахил ділянки θ становлять 22° . Довжина гвинта, згідно з рівнянням (2.4), становить 80 см.

Зовнішній діаметр гвинта (De)

Зовнішній діаметр гідротурбіни Архімедового гвинта має важливе значення для її ефективності та потужності. Збільшення зовнішнього діаметра дозволяє гвинту збирати більше води, тим самим підвищуючи гідравлічну ефективність турбіни та вироблення енергії, особливо при низьких напорах. Більший діаметр забезпечує більшу площу поперечного перерізу для потоку води, що призводить до підвищення ефективності перетворення енергії. Однак збільшення діаметра також збільшує вагу гвинта, що може спричинити більший вплив на вал і підшипники, а отже, з часом збільшити втрати на тертя і механічний знос. Зовнішній діаметр повинен бути ретельно визначений відповідно до факторів, характерних для конкретного місця, включаючи потік води, напір і розміри каналу. Зовнішній діаметр турбіни обрано 18 см відповідно до каналу, доступного для випробувань, та доступної швидкості потоку.

Кут нахилу (θ) гвинта

Кут нахилу гвинта Архімеда залежить від нахилу місця установки. Однак Lashofer et al. підтвердили, що багато сучасних промислових ГТС встановлені

під кутом $\beta = 22^\circ$. Кути нахилу менше 20° збільшують довжину гвинта, а більше 30° призводять до значного зниження продуктивності гвинта. У даному дослідженні кут нахилу гвинта (θ) моделі турбіни спочатку був прийнятий рівним 22° , а потім збільшений до 55° для випробувань з метою аналізу турбіни під різними кутами і при різних витратах.

Кількість лопатей (N)

Основним критерієм для визначення кількості лопатей в гвинтовій турбіні Архімеда (AST) було оптимізація передачі потужності на вал при збереженні легкої ваги ротора. Збільшення кількості лопатей призводить до більшого утворення водяних ковшів між ними, хоча одночасно зменшується продуктивність кожного ковша. Більше того, збільшення кількості лопатей може призвести до посилення ударних втрат на вході робочого колеса та посилення в'язких втрат всередині робочого колеса. Включення додаткових лопатей збільшує вагу гвинта, отже, збільшує навантаження на вал і підшипники, а також втрати на тертя всередині підшипників. Крім того, надмірна кількість лопатей може зменшити ефективний об'єм робочого каналу.

Дослідження Lyons et al. показують, що збільшення кількості лопатей понад три ($N = 3$) дає лише незначне підвищення ефективності. Songin et al. відзначають, що використання більше трьох лопатей не покращує значно продуктивність гвинтової турбіни. Отже, зазвичай роблять висновок, що ідеальна кількість лопатей для AST становить три.

Через обмеження у виробництві, вазі та вартості, у сучасних гвинтових турбінах оптимальною кількістю лопатей для AST вважається 1, 2 або 3³⁷. Для цього дослідження було розглянуто гвинт з двома лопатями для ефективного використання невеликих потоків.

Внутрішній діаметр гвинта (Di)

Внутрішній діаметр гвинта залежить від зовнішнього діаметра. Гвинти Архімеда, що працюють як насоси і турбіни, є однорідними і дозволяють припустити, що оптимальним співвідношенням є відношення внутрішнього діаметра до зовнішнього діаметра гвинта в діапазоні від 0,5 до 0,55.

Співвідношення $\rho = 0,54$, визначене Нуєрнбергом та ін. як оптимальне для ASP, здається, є також адекватним для AST, коли кількість лопатей коливається від 1 до 5, як зазначено Драгоміреску та ін..

Оптимальний внутрішній діаметр гвинта був визначений за рівнянням (2.5) Rorres et al..

$$D_i^* = \rho^* D_e \quad (2.5)$$

де ρ^* — оптимальне співвідношення діаметрів,

D_e — зовнішній діаметр гвинта.

Значення ρ^* вибирається з таблиці 2.2. Внутрішній діаметр, розрахований за рівнянням (2.5), становив 9,6 см. У таблиці 2.2 наведено оптимальні параметри співвідношення ρ^* .

Таблиця 2.2 - Оптимальні параметри ρ^*

Кількість гвинтів	ρ^*
1	0,5358
2	0,5369
3	0,5357
4	0,5353
5	0,5352

Крок гвинта (p)

Це відстань між двома сусідніми точками, що лежать на однаковій висоті від осі гвинта того самого лопаті, як показано на рис. 2.11. Для отримання оптимальних характеристик крок лопаті повинен бути в 1,6–2,4 рази більшим за зовнішній радіус R_e , а для уникнення надмірної кількості варіантів конструкції та збільшення виробничих витрат слід прийняти стандартне значення $p = D_e$. Крок для цього дослідження дорівнював D_e , що становило 18 см.

Кути лопаті до осі валу

Кривизна лопатей розрахована з урахуванням кутів, щоб ефективно

утримувати і транспортувати воду, яка стікає по гвинту. Правильна кривизна забезпечує мінімальний витік або розлив води між витками (окремими спіралями), підтримуючи високу ефективність перетворення енергії. Ці кути, як показано на рис. 2.11, позначені α і β . Кут α — це кут, утворений синусоїдальною кривою, що визначає зовнішній край лопаті, з віссю гвинта. Аналогічно, кут β — це кут, утворений синусоїдальною кривою, що визначає внутрішній край лопаті, з віссю гвинта. Для знаходження α і β , які становили $72,30^\circ$ і $58,90^\circ$ відповідно до поздовжньої осі вала гвинта, були використані рівняння (2.6) і (2.7)

$$\tan \alpha = \pi D_e / p \quad (2.6)$$

$$\tan \beta = \pi D_i / p \quad (2.7)$$

де D_e і D_i — зовнішній і внутрішній діаметр гвинта.

p — крок гвинтових лопатей.

Параметри конструкції гвинтової турбіни

У таблиці наведено параметри конструкції досліджуваного гвинта.

Таблиця 2.3 - Параметри конструкції досліджуваного гвинта

Параметри конструкції	Значення	Одиниці
Зовнішній діаметр (D_e)	18	см
Довжина гвинта (L)	80	см
Нахил гвинта (K)	22° – 55°	Градуси
Внутрішній діаметр (D_i)	9,6	см
Крок гвинта (p)	18	см
Кути лопатей (α, β)	$\alpha = 72,3^\circ$, $\beta = 58,9^\circ$	Градуси
Кількість лопатей (N)	2	

Креслення гвинта Архімеда були створені в SOLIDWORKS 2020. Детальні конструкторські схеми з розмірами наведені на рис. 2.12 і 2.13.

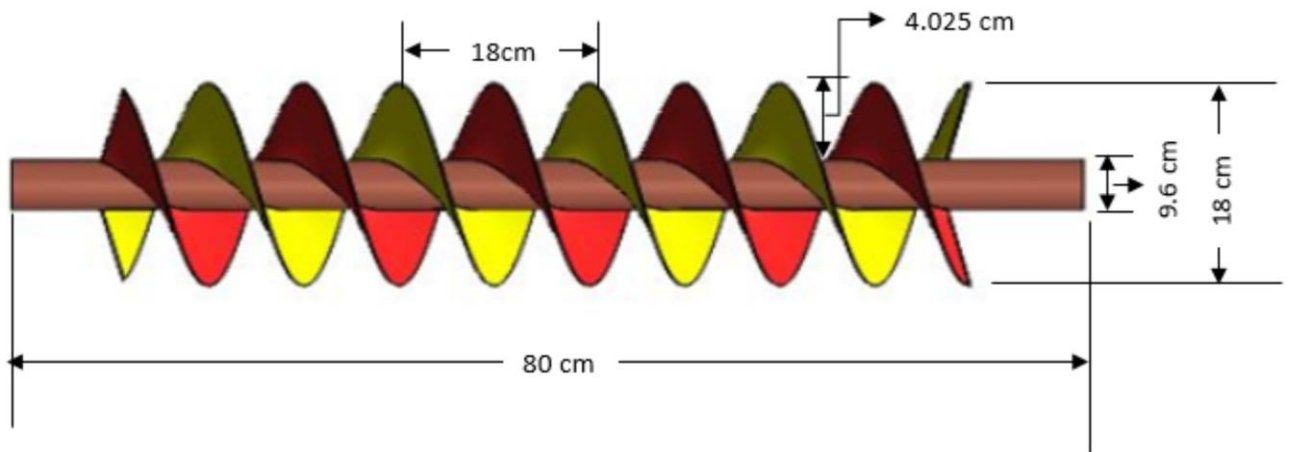


Рисунок 2.12 – Геометричні параметри гвинтового валу для міні-ГЕС на основі каналізаційних стоків

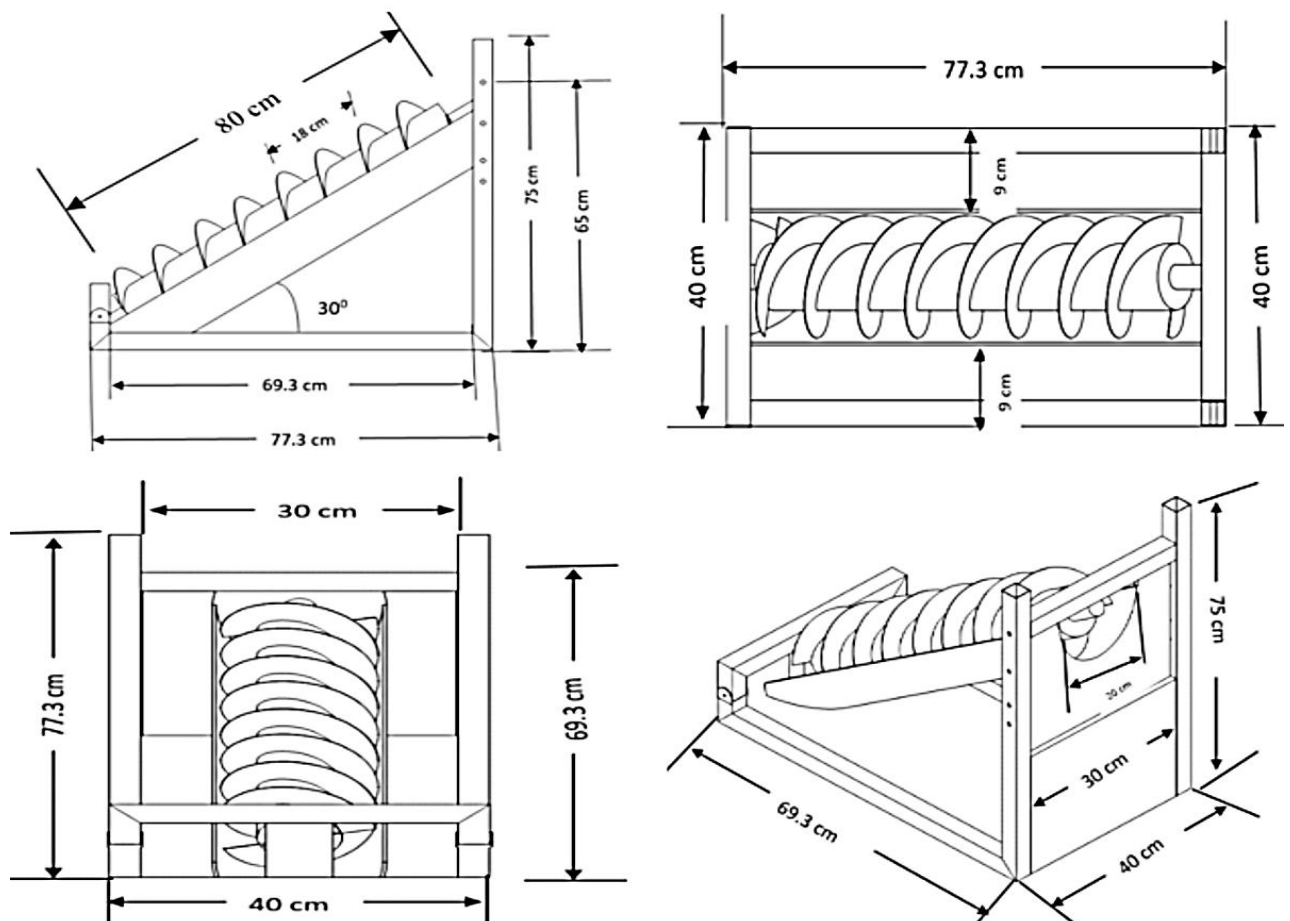


Рисунок 2.13 – Гвинтова турбіна Архімеда, закріплена у корпусі

2.7 Висновки до розділу

1. Проведено аналіз можливих джерел енергії води для міні-гідроелектростанції. Встановлено, що у великих містах, одним із

перспективних варіантів є використання потоку води від каналізаційних стоків.

2. Проведено огляд та охарактеризовано синхронні генератори, які можна використати у міні-гідроелектростанції.
3. Представлено роль міні-гідроелектростанції у складі сучасної розумної електричної мережі (Smart Grid).
4. Проведено аналіз особливостей функціонування гвинта Архімеда як рушія у міні-гідроелектростанції. Розроблено та розраховано конструкцію гвинтової турбіни Архімеда для міні-ГЕС, що працює в системі каналізаційних стоків. Для цих умов експлуатації визначено зовнішній діаметр, довжину гвинта, нахил гвинта, внутрішній діаметр, крок гвинта, кути лопатей і кількість лопатей.

глибина води у вхідному каналі - h_1 , висота порогу - w . Оптимальна висота нижньої межі води - h_4 . F - оптимальна точка заповнення.

Швидкість і M — вихідний крутний момент (шток, конструкція підшипника, трансмісія). η позначається як ККД гвинта. P_e позначається як номінальна електрична потужність на клеммах генератора.

3.2 Характеристики та розрахункові формули для приводної системи

Напір

Загальний напір позначається H_b . Він визначається з рівняння (3.1)

$$H_b = \frac{C_1^2 - C_4^2}{2 \cdot g} \quad (3.1)$$

де C_1 - це потік води на верхньому рівні;

C_2 - потік води на нижньому рівні.

Кут нахилу θ і кількість лопатей N

Нахил до горизонтального гвинта і кількість лопатей визначають здатність поглинання. Для областей з низьким напором і високим потоком значення θ повинно бути малим. З іншого боку, θ повинно бути високим там, де ми маємо високий напір і низьку швидкість потоку.

Більший нахил збільшує ефективність. Однією з сприятливих умов для кількості лопатей $N=3$ і нахилу $\theta = 25^\circ$ є отримання високої ефективності і високої швидкості потоку.

Визначення внутрішнього радіуса R_{in} і зовнішнього радіуса R_{out} . Як правило, виробник що виготовляє гідродинамічний гвинт ці радіуси задає. Або ж ми повинні самостійно спроектувати черв'як, тому першим наближенням розрахуємо зовнішній радіус.

$$R_{out} = \left(\frac{Q \cdot \tan \theta}{K \cdot (\lambda, v)} \right)^2 ; \quad (3.2)$$

$$\text{де } K = \frac{(10) \cdot \pi^2}{6 \cdot (\sqrt[3]{4})} = 10,362 .$$

Значення ρ ми отримуємо з таблиці 3.1.

Внутрішній радіус визначається з рівняння:

$$R_{in} = \rho \cdot R_{out} . \quad (3.3)$$

Крок лопатей

Крок P можна знайти за допомогою коефіцієнта кроку λ з таблиці 3.1.

$$P = \frac{2 \cdot \pi (R_{out}) \cdot \lambda}{\tan \theta} . \quad (3.4)$$

Значення λ можна знайти в таблиці 3.1.

Відстань між жолобом і гвинтом

Відстань між жолобом і гвинтом можна виміряти за допомогою цього рівняння.

$$S_{s.p} = 0,0045 \sqrt{2 R_{out}} . \quad (3.5)$$

Якщо використовується сталевий жолоб, то цей конкретний розмір надається як прокладка.

Об'єм

Об'єм, що переміщується за один оберт

$$V_u = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot R_{out}^2}{\tan \theta} \cdot (\lambda \cdot v) . \quad (3.6)$$

Використовуючи значення $(\lambda \cdot v)$ з таблиці 3.1.

Швидкість

Швидкість визначається за формулою (3.7)

$$n = 60 \cdot \frac{Q}{V_u} . \quad (3.7)$$

Швидкість повинна відповідати наступній умові:

$$n \leq \frac{50}{(2 \cdot R_{out})^{2/3}} . \quad (3.8)$$

Швидкість транспортування осі

Швидкість транспортування осі дорівнює:

$$C_{ax} = P \cdot \frac{n}{60} . \quad (3.9)$$

Об'єм у комірці між двома сусідніми листами

Об'єм у комірці між двома сусідніми листами дорівнює

$$V_s = \frac{V_u}{N} . \quad (3.10)$$

Маса води:

$$m_s = \rho \cdot V_s . \quad (3.11)$$

Оптимальна глибина вгору за течією

Оптимальна глибина води вгору за течією визначається від оптимальної точки заповнення F, нормалізоване об'ємне співвідношення можна визначити за формулою

$$v_{T \cdot F} = \frac{Q}{\mu_R \cdot \pi \cdot C_{ax} \cdot R_{out}^2} , \quad (3.12)$$

де μ_R є константою.

Повністю заповнена труба

Це дає таке рівняння

$$v_T = \frac{\alpha_8}{2\pi} - \frac{(1-z)}{\pi} \sqrt{1-(1-z)^2} , \quad (3.13)$$

де $0 \leq z \leq (1-\rho)$.

Частково заповнена повна труба з центральною трубкою всередині

Використовують наступне рівняння

$$v_t = \frac{\alpha_8 - \alpha_9 \cdot \rho^2}{2\pi} - \frac{(1-z)}{\pi} \left[\sqrt{1-(1-k)^2} - \sqrt{\rho^2 - (1-z)^2} \right], \quad (3.14)$$

У якому

$$0 \leq z \leq (1-\rho).$$

З наведених нижче рівнянь можна визначити відповідний кут:

$$\alpha_8 = 2 \arccos(1-z), \quad (3.15)$$

$$\alpha_9 = 2 \arccos\left(\frac{1-z}{\rho}\right). \quad (3.16)$$

Для визначення z можна використовувати графічний метод. Графічний метод має перевагу, оскільки після його застосування можна отримати уявлення про те, як саме впливає дисбаланс рівня води вище за течією. Задаємо значення $z = 0 \dots 1, 2$ і обчислюємо різні значення V_t .

$$h_2 = R_{out} \cdot z \cdot \cos \theta. \quad (3.17)$$

Коефіцієнт гідравлічних втрат визначаються з рівняння:

$$\zeta = \left(\frac{\pi \cdot v_t}{z \cdot 2 \cdot \cos \theta} - 1 \right)^2. \quad (3.18)$$

Величина порогу w , глибина води та висота входу h_1

Для великого відтоку для заданої поверхні та низького тертя можна вибрати сприятливий канал.

$$h_1 = R_{out}.$$

Ширина каналу на верхньому рівні води становить: $b_1 = 2 \cdot R_{out}$.

Висота порогу:

$$w = R_{out} - h_2 - \frac{1}{2 \cdot g} \left(\frac{Q}{h_2 \cdot b_1} \right)^2 \left[1 + \zeta - \left(\frac{h_2}{R_{out}} \right)^2 \right]. \quad (3.19)$$

Коли $h_1 = R_{out}$, висота входу визначається за формулою

$$h_2 = R_{out} - w. \quad (3.20)$$

Слід зауважити, що w не може бути менше 0. В іншому випадку необхідно змінити параметри гвинта.

Оптимальна глибина води h_4

Нормалізоване значення нижнього рівня води:

$$\tau = (1 + \rho) \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\rho}\right)^2 - \frac{2\pi \cdot \lambda}{N}}. \quad (3.21)$$

Глибина під водою:

$$h_4 = R_{out} \cdot \cos \theta \cdot \tau. \quad (3.22)$$

Ширина підводного каналу становить $b_4 = 2 \cdot R_{out}$.

Розрахунок довжини лопатевого шнека

Довжина гвинтової лопаті визначається за формулою

$$L_b = \frac{H + R_{out}(\tau \cdot \cos \theta - 1) + w}{\sin \theta} \quad (3.23)$$

Тепер визначено рівень води (UWL, LWL) та заповнення комірок. Таким чином, перша частина розрахунків завершена. Наступний розділ містить розрахунок ККД гвинта.

3.3 Розрахунок ефективності

Ефективність гвинтового шнека.

Ефективність турбіни Архімеда визначається за формулою

$$\eta = \frac{2a + 1}{2a + 2}, \quad (3.24)$$

$$\text{де } a = \frac{h_1}{\delta h} \text{ і } \delta h = \frac{H}{N}$$

Гідравлічна потужність P_h

Відомо, що рівняння гідравлічної потужності має вигляд

$$P_h = \rho \cdot Q \cdot g \cdot H \quad (3.25)$$

Механічна потужність валу P_m

Механічна потужність валу гвинтового механізму P_m

$$P_m = \eta \cdot P_h \quad (3.26)$$

Крутний момент гвинтового механізму M

Крутний момент буде

$$M = \frac{P_m \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot n} \quad (3.27)$$

Порівняно крутний момент залишається постійним для різних швидкостей потоку, коли заповнення ковшів між лопатями гвинта залишається постійним. Для гасіння вібрацій також можна використовувати муфту.

Електрична потужність

Якщо коефіцієнт корисної дії для відомих робочих швидкостей, використовуйте:

$$P_e = \eta_{GB} \cdot \eta_g P_m \quad (3.28)$$

3.4 Параметри передаточного числа гвинта Архімеда для різної кількості лопатей

Таблиця 3.1 використовується для розрахунку різних значень, пов'язаних з конструкцією гвинта Архімеда [17].

Таблиця 3.1 - Параметри передаточного числа гвинта Архімеда для різної кількості лопатей

Кількість лопатей (N)	Відношення радіусів (ρ)	Коефіцієнт кроку (λ)	Коефіцієнт об'єму на оборот ($\lambda \cdot v$)	Співвідношення об'ємів (v)
2	0,5369	0,1863	0,0512	0,2747
3	0,5357	0,2217	0,0588	0,2697
4	0,5353	0,2456	0,0655	0,2667
5	0,5352	0,2630	0,0696	0,2647

3.5 Програмне забезпечення, використане для моделювання

У цій роботі для моделювання використовується програмне забезпечення Matlab Simulink. Matlab дуже корисний в інженерній науці. Існує багато різних опцій у вигляді блоків для представлення різних пристроїв. Але в його бібліотеці не було турбіни Архімеда. Тому в цій роботі в Simulink спроектовано математичний гвинт Архімеда. Для цього в Matlab було виконано деяке програмування, а блоки використовуються для виклику коду в Simulink. Далі ці блоки з'єднані з редуктором і електричним генератором. Далі в електричній частині розроблено перетворювач змінного струму в постійний, який подає постійний струм на суперконденсатори. На останньому етапі в Simulink розроблено інтелектуальну електромережу.

3.6 Імітаційна модель гвинта Архімеда

На рис. 3.2 нижче показано модель гвинта Архімеда.

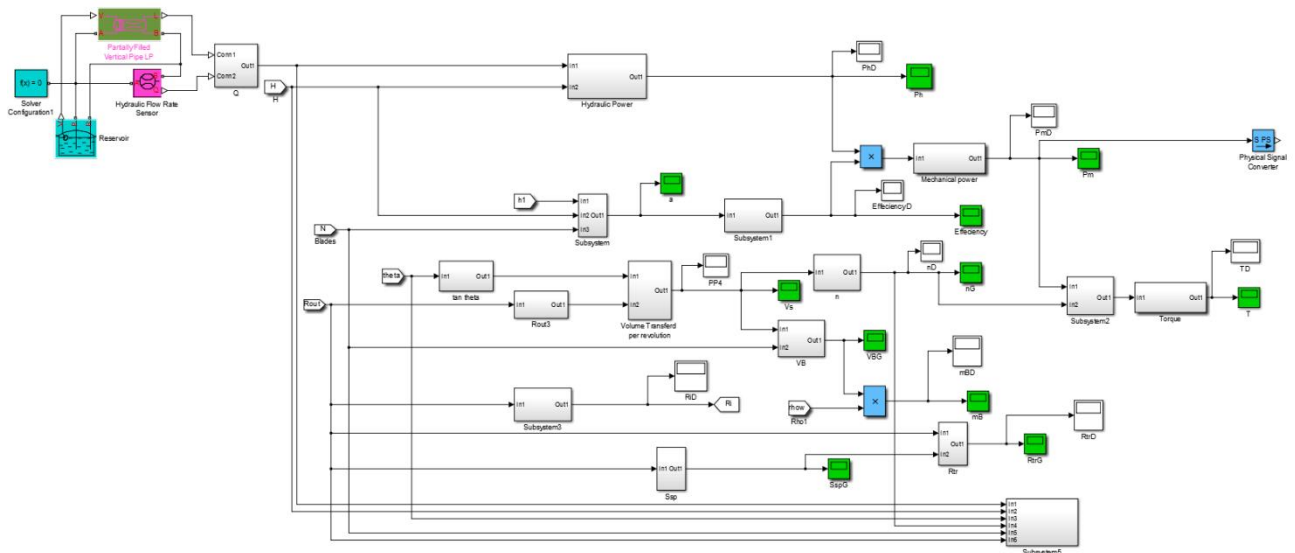


Рисунок 3.2 - Модель гвинта Архімеда в Simulink

3.7 Імітаційна модель редуктора

На рис. 3.3 нижче показано модель коробки передач у Simulink, яка ілюструє взаємозв'язок між виходом гвинта і входом генератора. Для цього використовується проста коробка передач.

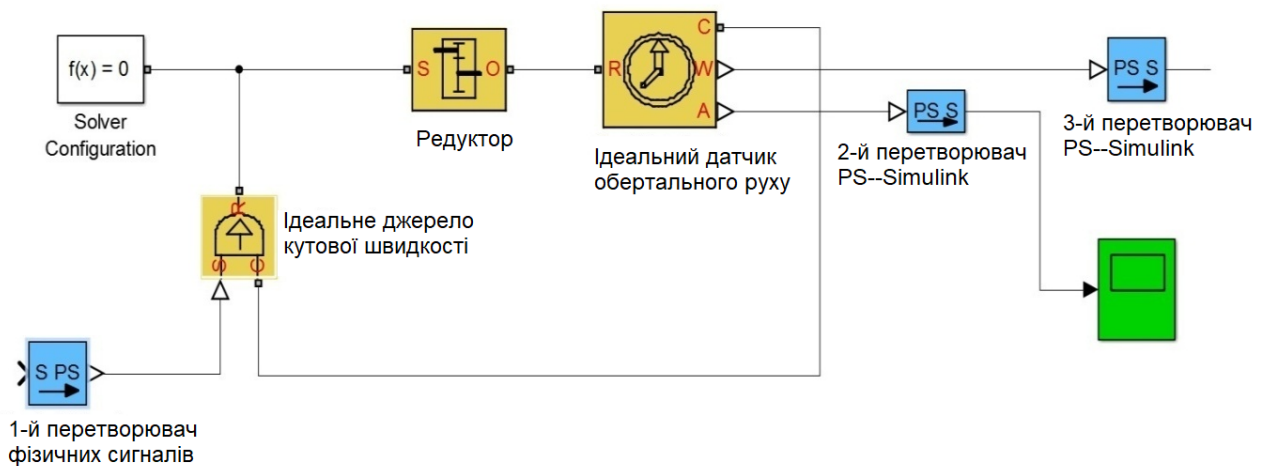


Рисунок 3.3 - Модель редуктора

3.8 Імітаційні моделі електричних складових міні-ГЕС

3.8.1 Генератор змінного струму

Вся електрична частина даної роботи була виконана в Matlab Simulink .

На рис. 3.4 показана частина, що генерує електричну енергію, вхід якої з'єднаний з коробкою передач, яка отримує вхідний сигнал від гвинта. Вона видає трифазну змінну електричну енергію на виході, яка може подаватися безпосередньо в електромережу або зберігатися в акумуляторах або суперконденсаторах. У цій роботі передбачається, що генерована енергія зберігається в суперконденсаторах для місцевого використання, а потім подається в національну електромережу через систему інтелектуальних електромереж. Напруга, що генерується для кожної фази, вимірюється і наводиться на рис. 3.12. Тому ця трифазна вихідна потужність підключається до перетворювача змінного струму в постійний для отримання постійного струму.

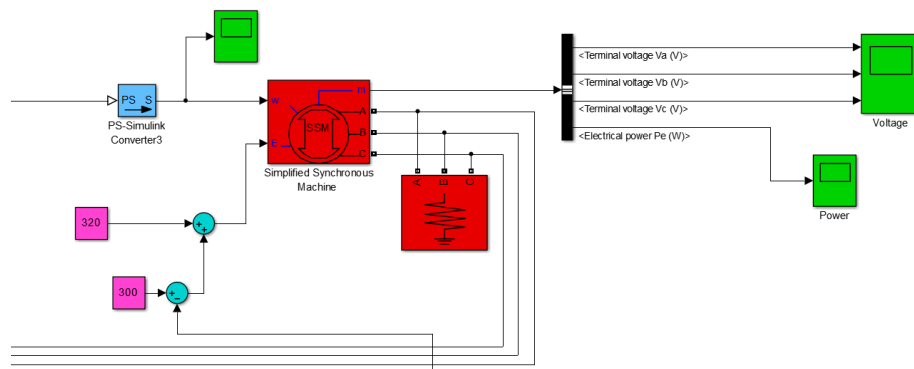


Рисунок 3.4 - Генератор змінного струму в Simulink

3.8.2 Перетворювач постійного струму

На рис. 3.5 показано конструкцію перетворювача постійного струму в Simulink. Він отримує вхідний сигнал від трифазного синхронного генератора. Тут використовується універсальний мостовий випрямляч. Мостовий випрямляч використовує діоди для випрямлення змінного струму в постійний.

Крім того, для усунення пульсацій використовується фільтрувальна схема та змінний резистор. Цей постійний струм використовується для заряджання суперконденсаторів.

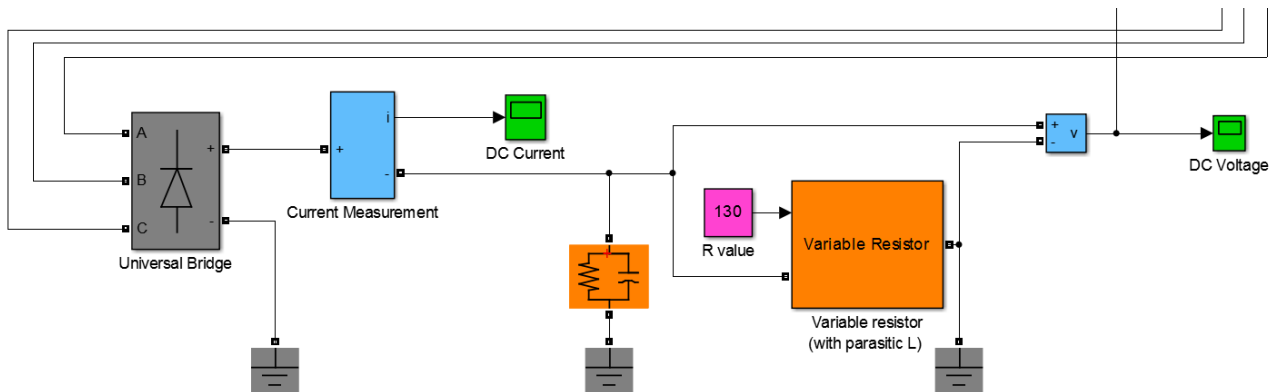


Рисунок 3.5 - Перетворювач постійного струму в Simulink

3.8.3 Суперконденсатор

На рис. 3.6 нижче показана схема суперконденсатора. Він заряджається від джерела постійного струму, яке забезпечується перетворювачем постійного струму, показаним на рис. 3.5. Ця накопичена енергія може використовуватися для локальних потреб або передаватися в мережу через інтелектуальну енергосистему. Замість суперконденсаторів можна також використовувати акумуляторні батареї [18-21].

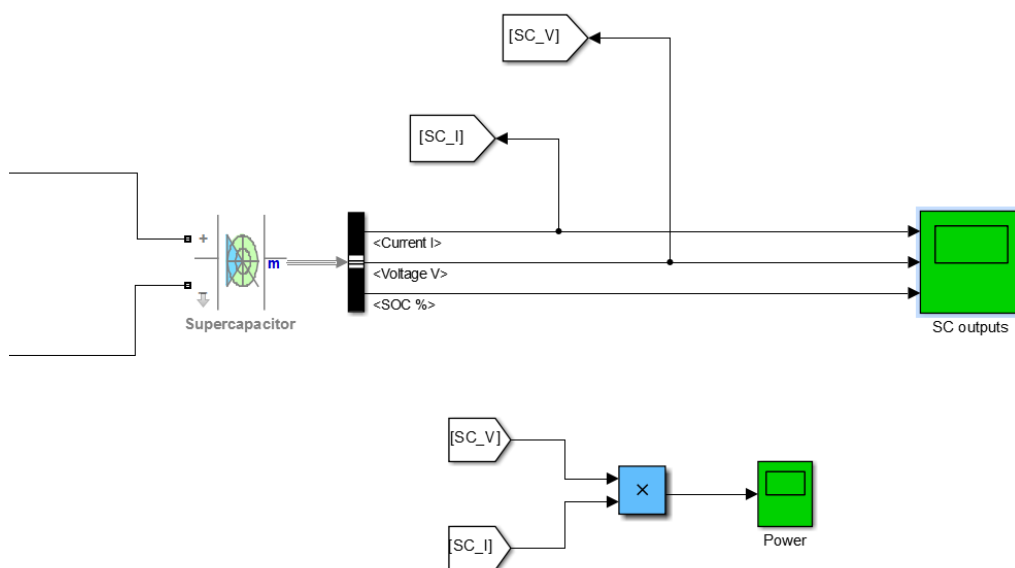


Рисунок 3.6 - Суперконденсатор в Simulink

3.8.4 Інтелектуальна електромережа

На рис. 3.7 нижче наведено схему інтелектуальної електромережі в Matlab Simulink, яка використовується для передачі додаткової енергії в національну електромережу.

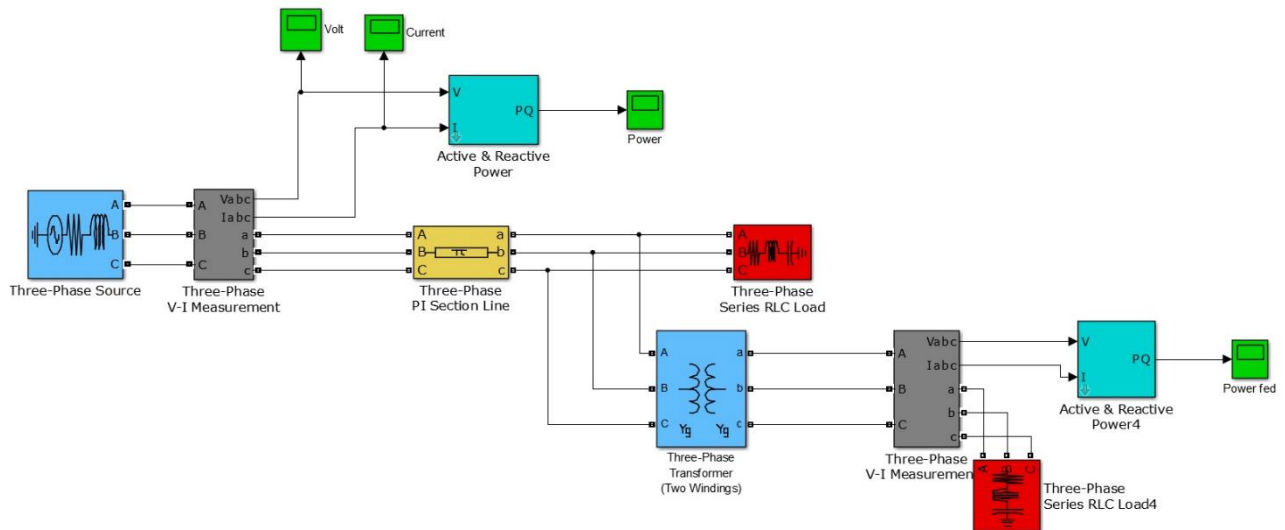


Рисунок 3.7 - Проектування інтелектуальної електромережі

3.9 Результати моделювання

3.9.1 Залежність між потоком води та виробленою енергією

На рис. 3.8 нижче показано взаємозв'язок між потоком води та виробленою енергією. Спочатку генерується гідравлічна енергія, а потім – механічна. На графіку видно, що її значення нижче, ніж гідравлічної енергії, оскільки частина енергії втрачається в гвинті Архімеда та редукторі. Потім генерується електрична енергія, яка також залежить від потоку води та має деякі втрати в генераторі.

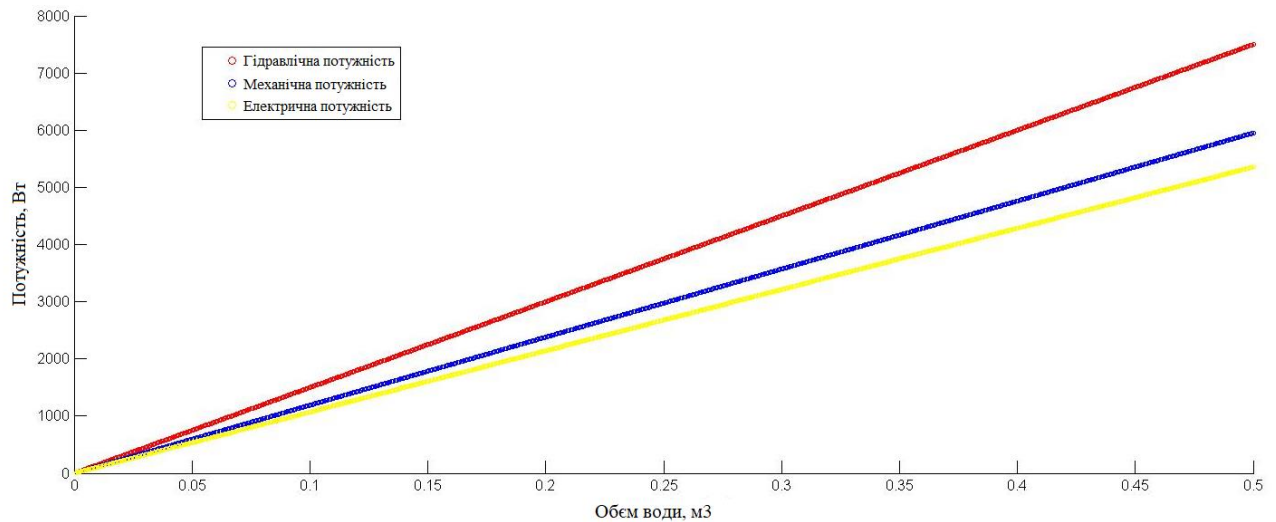


Рисунок 3.8 - Взаємозв'язок між потоком води та виробленою енергією

3.9.2 Залежність зовнішнього радіуса від внутрішнього радіуса гвинта

На рис. 3.9 показано залежність зовнішнього радіуса від внутрішнього радіуса гвинта Архімеда та лопатей. Значення внутрішнього радіуса залежить від зовнішнього радіуса, а також від значення ρ , наведеного в таблиці.

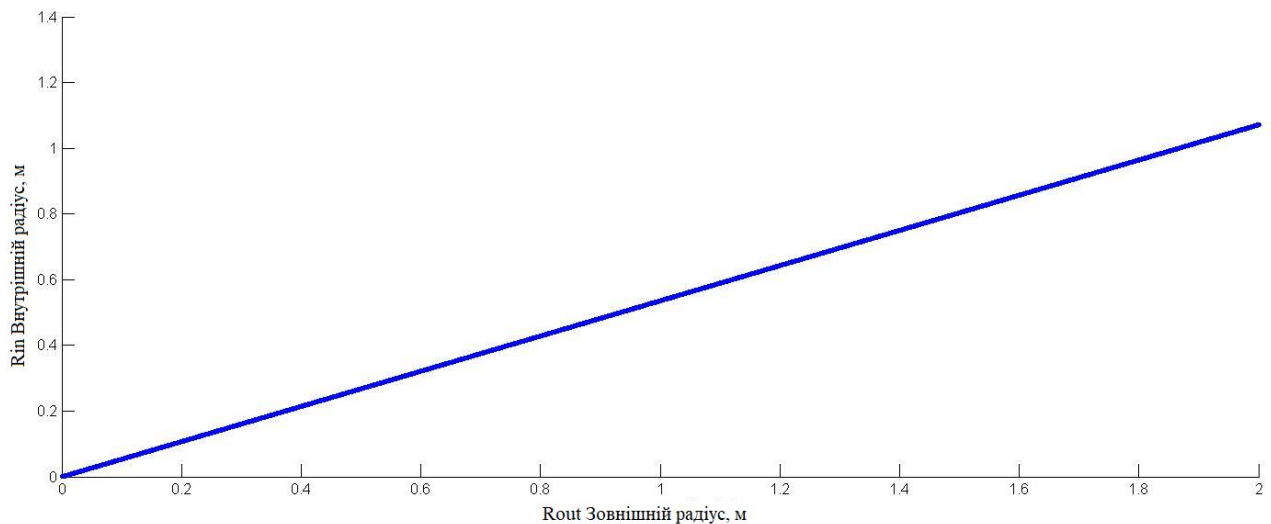


Рисунок 3.9 - Залежність зовнішнього радіуса від внутрішнього радіуса

3.9.3 Залежність зовнішнього радіуса гвинта від об'єму

На рис. 3.10 показано співвідношення зовнішнього радіуса і об'єму води, що переноситься гвинтом.

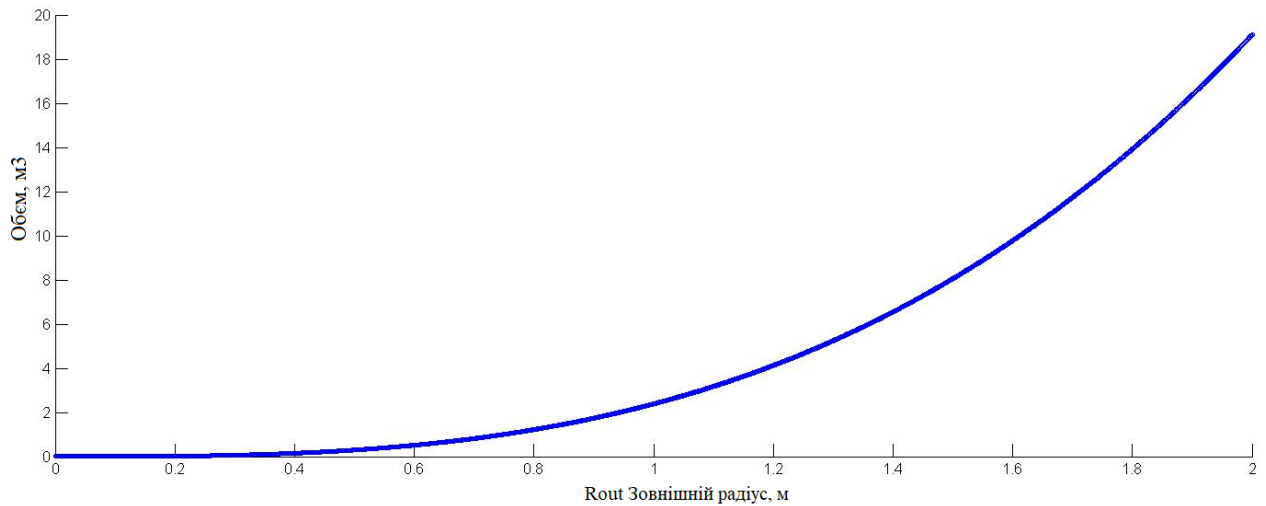


Рисунок 3.10 - Співвідношення між зовнішнім радіусом і об'ємом

3.9.4 Співвідношення між об'ємом і масою ковша гвинта

На рис. 3.11 показано співвідношення між об'ємом і масою ковша. Маса ковша безпосередньо залежить від об'єму ковша. Ковш - це різниця між лопатями гвинта.

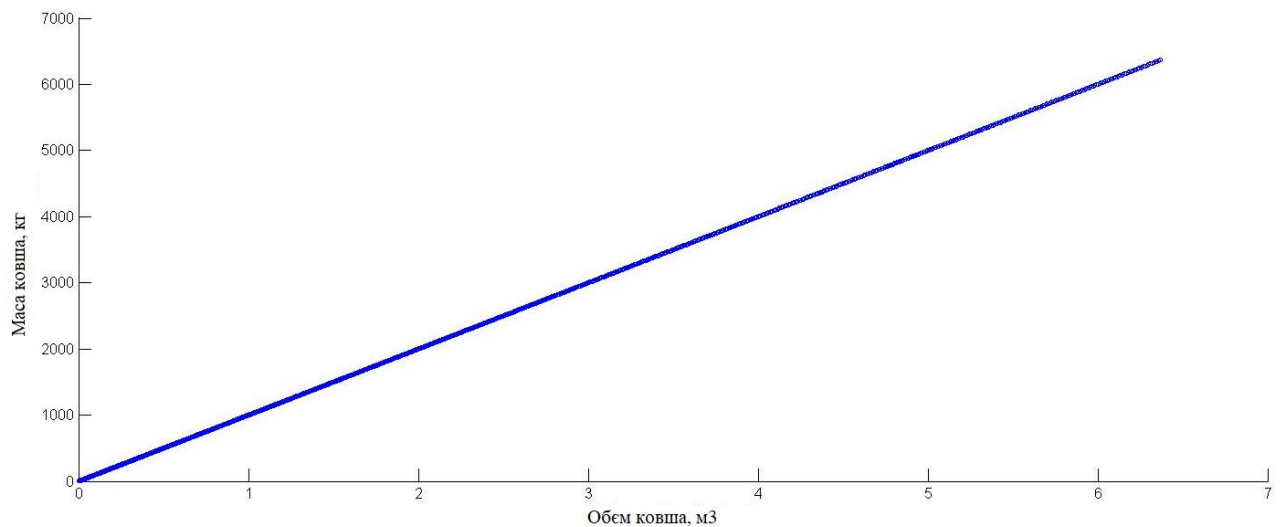


Рисунок 3.11 - Відношення між об'ємом і масою ковша

3.9.5 Кількість виробленої електроенергії

З результатів розрахунків було виявлено, що величина виробленої потужності залежить від витрати води Q , напору H і ККД турбіни. Тому було помічено, що турбіна Архімеда забезпечує високий ККД при низькому напорі. Вона забезпечує ККД від 78% до 84%.

У таблиці нижче наведено величину виробленої електроенергії при різних значеннях витрати води і напору. Вироблена потужність залежить від ККД турбіни та генератора. Вона також залежить від витрати води та напору. ККД турбіни можна підвищити за допомогою її вдосконалення. ККД також залежить від кількості лопатей N . У цій таблиці $N = 3$, а ККД електричного генератора прийнято 90%. У таблиці 3.2 наведено різні значення, розраховані за допомогою зміни витрати води та напору, якщо ця система встановлена в каналізаційній системі, особливо на зовнішній стороні очисних споруд.

Таблиця 3.2 - Вироблена електрична потужність, Вт

	Потік води (Q)				
Напір	0,01 м ³ /с	0,05 м ³ /с	0,1 м ³ /с	0,2 м ³ /с	0,5 м ³ /с
0,01м	0,77	4,2	8,7	18	44
0,05м	3,3	19	42	86	217
1м	45	254	570	1300	3631
2м	89,5	434	997	2311	6517
3м	142	670	1443	3258	9121

Отже, ми розглянули два випадки, щоб мати уявлення про те, скільки електроенергії можна отримати з стічних вод. Вироблена енергія може зберігатися в акумуляторах, а також повертатися на очисні споруди. Якщо ми маємо більший напір, то можна використовувати декілька послідовних електростанцій на кшталт сходів.

Розглянемо декілька випадків відповідно до таблиці 3.2.

Випадок 1

Тут ми можемо мати потік води $0,01 \text{ м}^3$ і напір на 3 метри вище. Тоді вироблена електроенергія становитиме 142 Вт.

Випадок 2

Якщо потік води становить $0,5 \text{ м}^3$, а напір вибрано на 1 метр вище, то електроенергія становитиме 3631 Вт.

3.10 Осцилограми напруг та струмів

3.10.1 Фазні напруги

На рис. 3.12 ми бачимо три графіки, які відображають напругу, що генерується в кожній фазі, відповідно V_a , V_b , V_c . Номінальна напруга 220 вольт і частота 50 Гц.

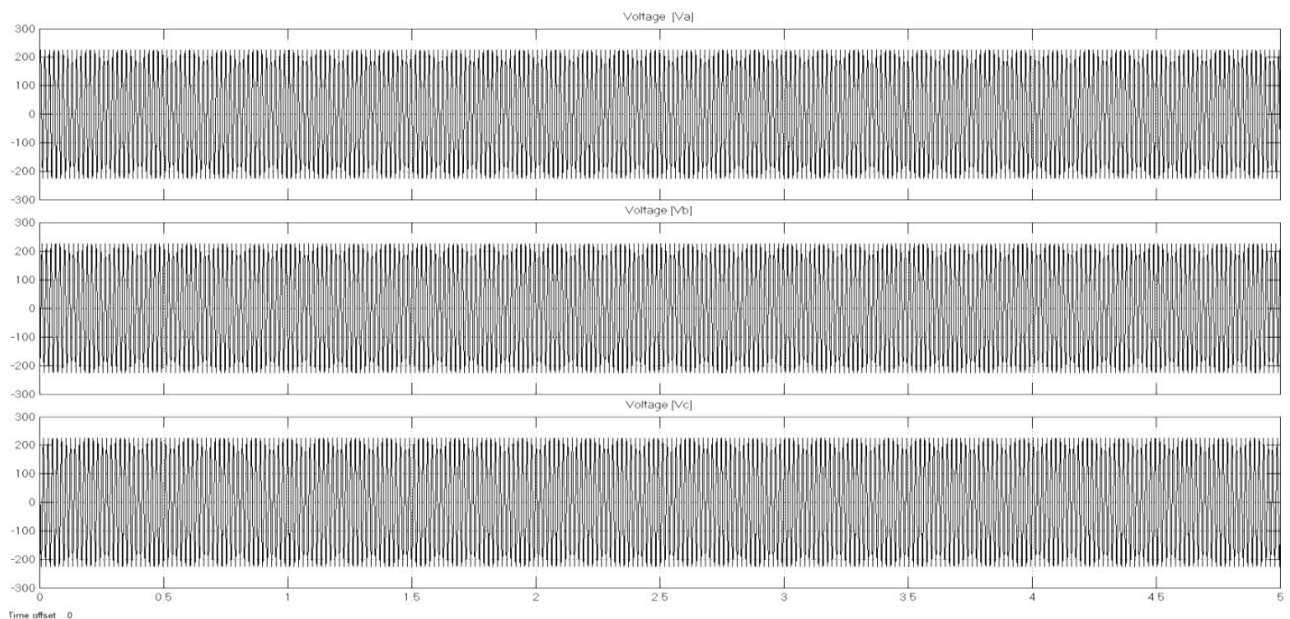


Рисунок 3.12 – Напруга на фазах

На рис. 3.13 нижче показано один цикл напруги фази А.

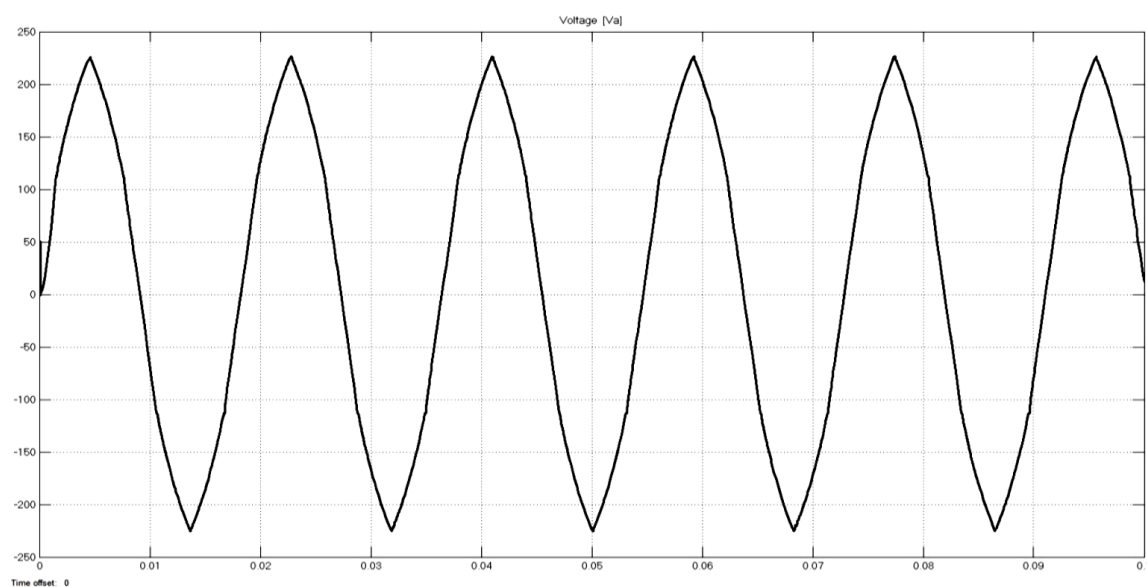


Рисунок 3.13 - Змінна напруга фази А

3.10.2 Постійний струм

На рис. 3.14 нижче графік показує постійний струм, що генерується після випрямлення змінного струму. Можна побачити, що струм становить 10 А.

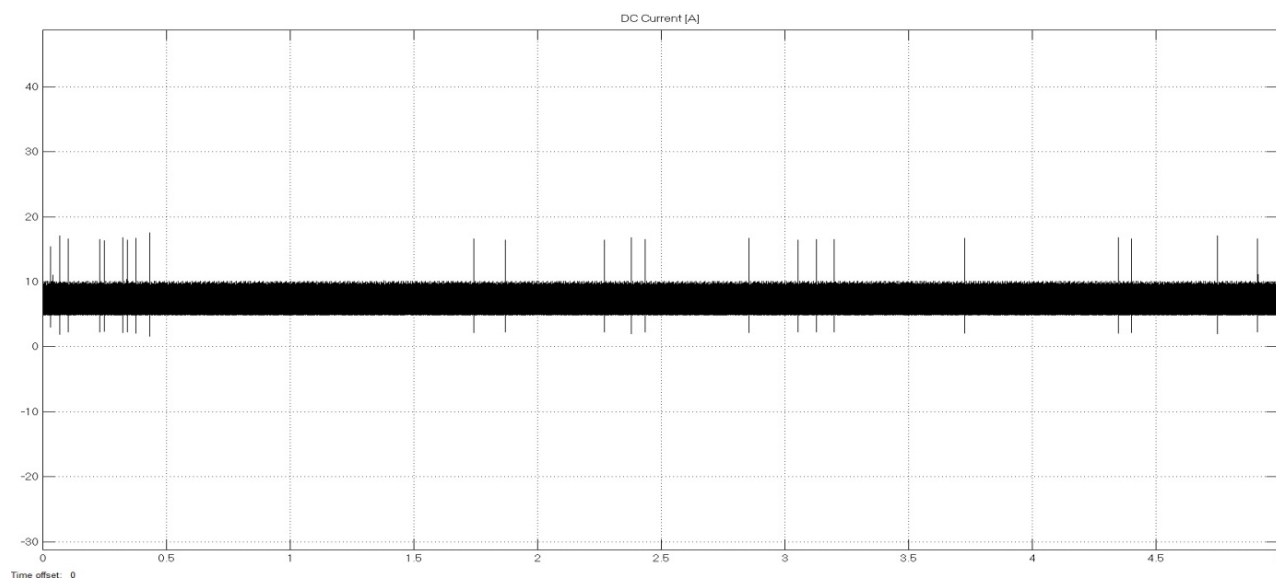


Рисунок 3.14 - Постійний струм

3.10.3 Постійна напруга

На рис. 3.15 показана генерована постійна напруга. Можна побачити, що вона має дуже рівну форму хвилі, а її значення становить 350 вольт.

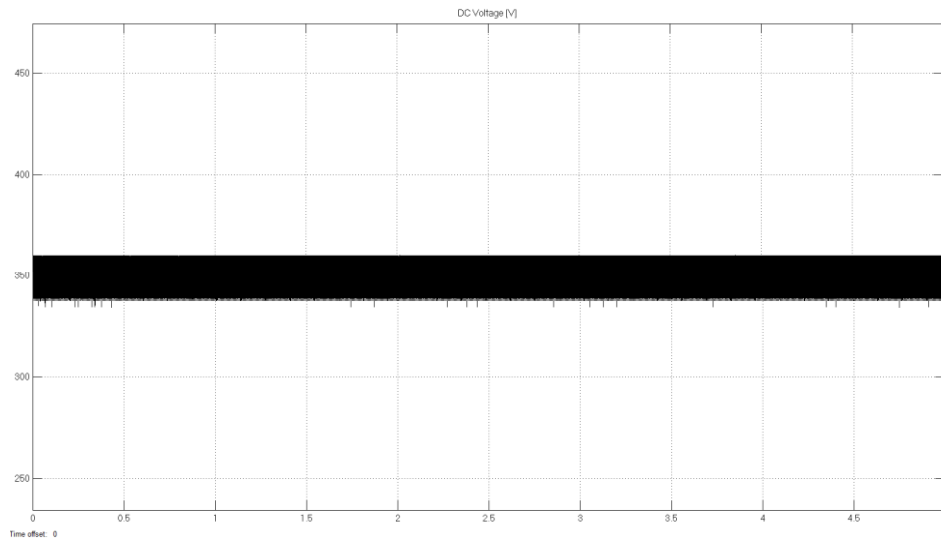


Рисунок 3.15 - Постійна напруга

3.10.4 Потужність змінного та постійного струму

На рис. 3.16 нижче показана генерована потужність змінного струму. Як можна побачити, вона близька до 3600 Вт. Це відповідає очікуваним розрахункам.

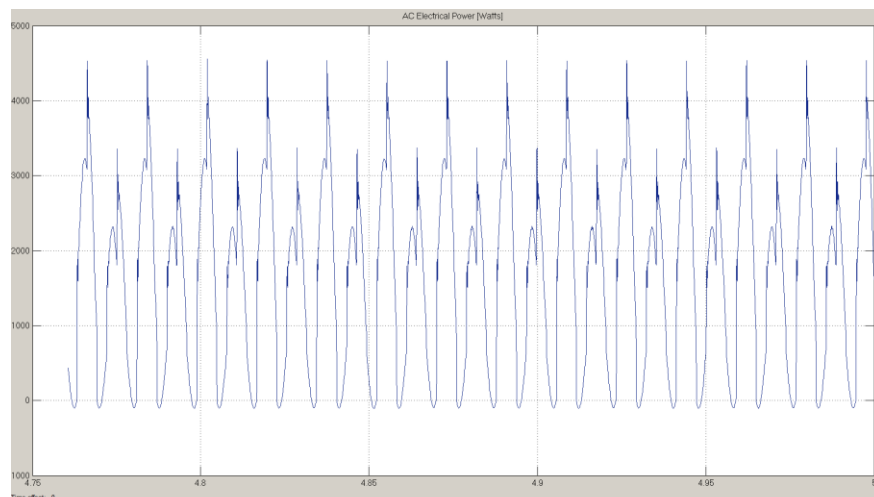


Рисунок 3.16 - Потужність змінного струму

На рис. 3.17 нижче показана потужність постійного струму, яка показує, що під час перетворення змінного струму в постійний буде деяка втрата потужності.

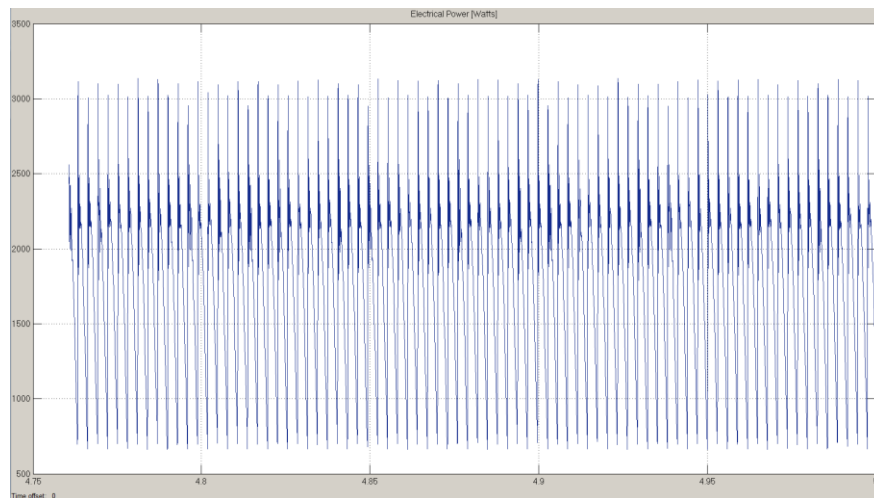


Рисунок 3.17 - Потужність постійного струму

3.10.5 Гідравлічна та механічна потужність

На рис. 3.18 показано генеровану гідравлічну та механічну потужність. Ця потужність генерується при витраті води $Q=0,5 \text{ м}^3$ та напорі 1 м.

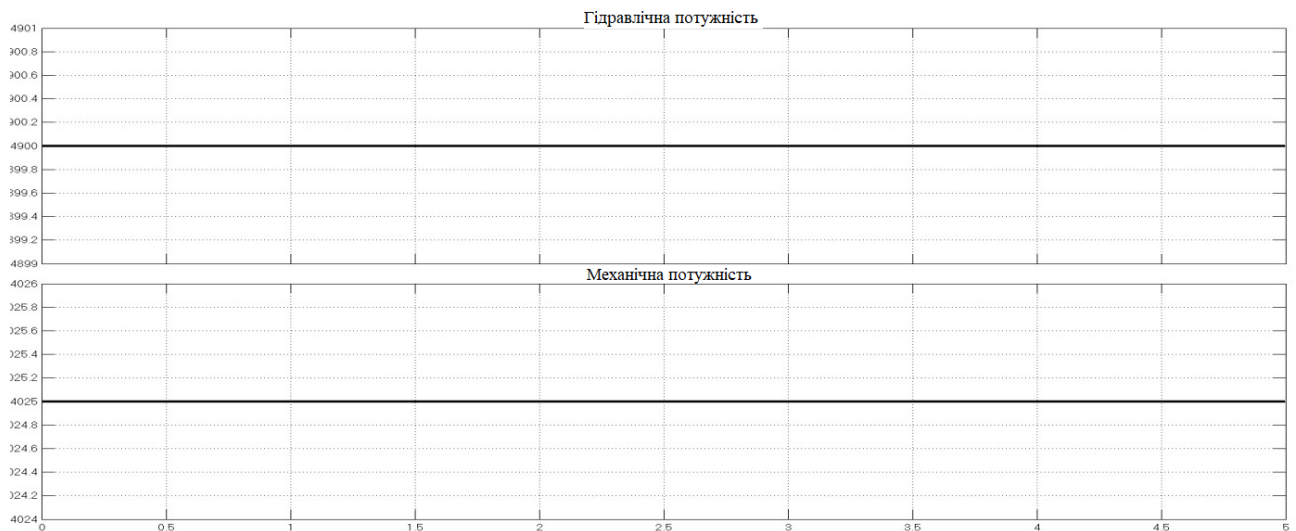


Рисунок 3.18 - Гідравлічна та механічна потужність

3.10.6 Швидкість гвинта та ККД

На рис. 3.19 показано ККД гвинта 82%, що є причиною використання цієї турбіни, а швидкість становить 34,8.

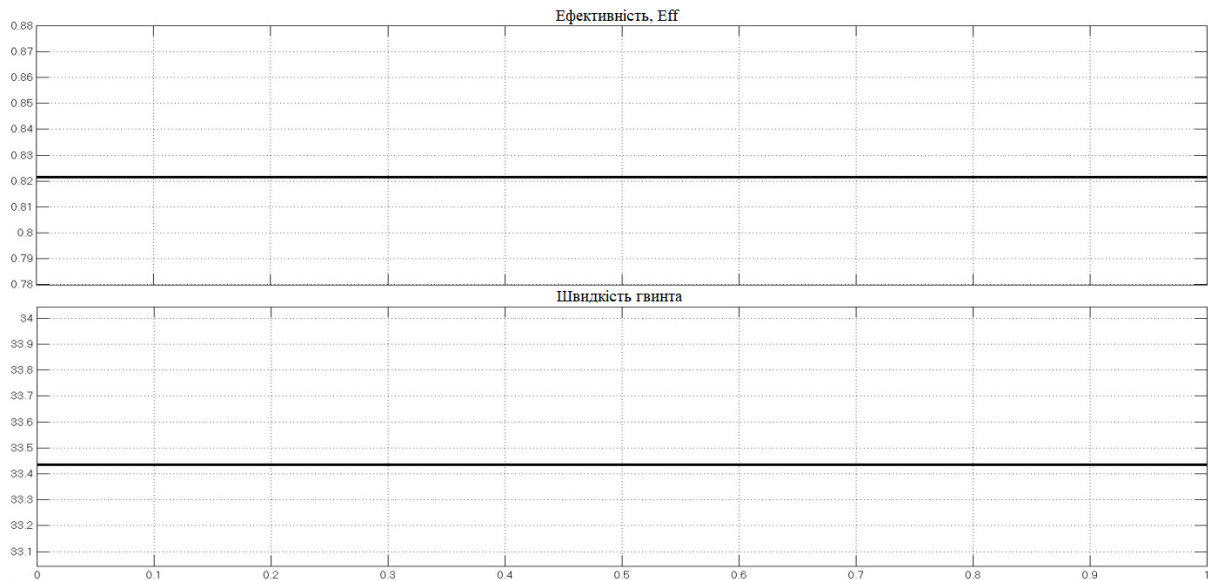


Рисунок 3.19 - Швидкість гвинта та ККД

3.11 Висновки до розділу

1. Спроековано гвинт Архімеда в Matlab, а потім інтегрований в Simulink.
2. Показано, що генерована потужність залежить від ефективності гвинта. На рис. 3.12 показані трифазну змінну напругу. Бачимо, що вона має синусоїдальну форму, частоту 50 Гц і напругу 220 В для кожної фази. На рис. 3.13 показано одну фазу.
3. Як бачимо на рис. 3.16, на виході отримано певну енергію. Вона менша ніж енергія на валу гвинта бо мають місце деякі втрати, що виникають в генераторі, і генерована електрична потужність становить 3,6 кВт. Ці втрати залежать від ефективності генератора.
4. На рис. 3.17 показана генерована потужність постійного струму, яка надходить від AC/DC перетворювача. В роботі використано AC/DC перетворювач для отримання постійної напруги та накопичення

отриманої електроенергії у суперконденсаторах та для подальшого використання.

5. На рис. 3.18 показано генеровану гідравлічну та механічну потужність. Ця потужність була генерована при витраті води $Q = 0,5 \text{ м}^3$, кількості лопатей $N=3$ та напорі 1м. На рис. 3.18 можна побачити, що генерована гідравлічна потужність є вищою за механічну. Це пов'язано з тим, що механічна потужність має місце після втрат, які виникають в гвинті Архімеда. Ці втрати залежать від ефективності турбіни Архімеда.
6. В результаті проведених розрахунків, встановлено, що ефективність запропонованої турбіни становить 82%, і це є однією з головних причин використання турбіни Архімеда. Ця турбіна забезпечує високу ефективність при низькому напорі. Кількість її обертів за хвилину становить 34, тому для синхронізації з синхронним генератором необхідно використати редуктор.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Фізичні основи електробезпеки

Величина струму, що проходить через тіло людини при її попаданні під напругу, в найбільшій мірі визначає тяжкість ураження. Для розробки технічних і організаційно-технічних заходів і засобів профілактики електротравм важливо знати, від яких конструктивних особливостей електроустановок, їх робочих параметрів і стану залежить можлива величина струму через людину при потраплянні під напругу. Крім того, важливо, щоб весь електротехнічний персонал, усі працівники, робота яких пов'язана з експлуатацією електроустановок, чітко розуміли, чим обумовлена, що є причиною тієї чи іншої вимоги з електробезпеки. Таке знання, розуміння вимог чинних нормативів з електробезпеки сприятиме дотриманню їх працівниками, і якраз розуміння цих вимог відрізняє працівників п'ятої групи з електробезпеки від четвертої, і є обов'язковою складовою їх професійної підготовки з питань безпеки [22].

У реальній електричній мережі (повітряній чи кабельній) опір ізоляції проводів відносно землі розподіляється по всій довжині мережі — опорні, підвісні, натяжні ізолятори, ізоляція кабелю. Чим більша протяжність мережі, тим більше ізоляторів, які працюють паралельно, і менший загальний опір ізоляції проводів відносно землі. Необхідний опір ізоляції регламентується чинними нормативами. На практиці ізоляція струмопроводів виконується з реальних діелектриків, питомий опір яких не дорівнює нескінченності. Внаслідок старіння ізоляції, її частого зволоження, забруднення, нагріву, дії агресивного середовища тощо, питомий опір ізоляції знижується. Тому кожна ділянка довжини проводу має опір ізоляції певного значення або провідність, яка відрізняється від нуля, а при роботі реальної мережі мають місце постійні втрати струму (виток струму) через ізоляцію і землю. Таким чином, незважаючи на наявність ізоляції, струмопроводи електромережі електрично зв'язані між собою і землею провідниками (ізоляцію) з великим опором.

Відповідно до зазначеного вище, кожна ділянка довжини проводу електромережі, що знаходиться під напругою, крім опору ізоляції має певну ємність відносно землі. Тому при дотиці людини до неізольованої струмовідної частини (проводу тощо) функціонуючої електромережі струм через людину обумовлюється величиною напруги дотику і ємністю зазначеної вище системи. Ємнісна складова струму через людину при потраплянні під напругу в розгалужених мережах може досягати небезпечних для людини значень. Тому навіть при відключенні мережі від джерела живлення для ремонтно-профілактичних робіт тощо, необхідно заземлити кожен провід переносним заземленням і тільки після цього та перевірки відсутності напруги допускати персонал до роботи.

4.2 Основні вимоги безпеки до улаштування та експлуатації технологічного обладнання

Загальні вимоги безпеки до конструкції виробничого обладнання встановлені ДНАОП.

Безпека виробничого обладнання забезпечується [22]:

- при проектуванні - дотриманням принципів технологічності і ергономічності конструкції, застосуванням раціональних кінематичних схем, принципу безперервності процесу, дистанційного або автоматичного управління, забезпеченням запобіжними та захисними системами;
- при виготовленні - застосуванням сучасних технологій машинобудування, дотриманням передбачених допусків та посадок;
- при збірці та монтажі - точним дотриманням технології;
- при експлуатації - своєчасним обслуговуванням та профілактичними оглядами, дотриманням експлуатації, тощо.

Виробниче обладнання має бути пожежо- і вибухобезпечним. Воно не повинно створювати небезпеки в результаті дії вологості, сонячної радіації,

механічних коливань, високих і низьких тисків і температур, агресивних речовин і мікроорганізмів.

Важливою умовою безпечної експлуатації обладнання є дотримання вимог санітарних норм і правил, галузевих стандартів і правил техніки безпеки щодо розмірів виробничих приміщень, галерей і тунелів, мінімальної висоти до низу виступаючих будівельних конструкцій, ширини проходів.

Рухомі частини обладнання, що є джерелом небезпеки, повинні бути огорожені, за виключенням частин, огороження яких не допускається за їх функціональним призначенням. У цих випадках передбачається сигналізація, що попереджує про пуск машин в роботу, засоби зупинки і відключення джерел енергії. При наявності машин значної довжини (наприклад, транспортерів) засоби зупинки повинні розміщуватись не рідше як через кожні 10 м їх довжини.

Елементи конструкцій виробничого обладнання не повинні мати гострих кутів, кромek і поверхонь з нерівностями, що становлять собою джерело небезпеки, якщо їх наявність не визначається функціональним призначенням обладнання.

Конструкція обладнання повинна виключати можливість випадкового дотику працюючих до гарячих і переохолоджених частин. Виділення і поглинання обладнанням тепла, а також виділення їм вологи у виробничих приміщеннях не повинно перевищувати гранично допустимі! рівні (концентрації) в межах робочої зони.

4.3 Заходи безпеки при монтажі енергоустановок

Роботи в електроустановках, що стосується заходів безпеки, діляться на три категорії [22]: 1) зі зняттям напруги; 2) без зняття напруги на струмовідних частинах і поблизу них; 3) без зняття напруги не на струмовідних частинах, що знаходяться під напругою.

У випадку одночасної роботи в електроустановках напругою до і понад 1000 В категорії робіт визначаються як для установок більше 1000 В.

До робіт, які виконуються зі зняттям напруги, належать роботи, які здійснюються в електроустановці (або її частини), в якій з струмопровідних частин знято напругу і доступ в електроустановки (або їх частини), що знаходяться під напругою, стало неможливим.

До робіт, які виконуються без зняття напруги на струмопровідних частинах і поблизу них, належать роботи, що проводяться безпосередньо на цих частинах. Роботи без зняття напруги на струмопровідних частинах і поблизу них слід виконувати не менше як двом працівникам, з яких керівник робіт повинен мати групу IV, інші - групу III.

В електроустановках напругою понад 1000 В роботи без зняття напруги на струмопровідних частинах і поблизу них слід виконувати із застосуванням засобів захисту для ізоляції працівника від струмопровідних частин або від землі. У випадку ізоляції працівника від землі роботи слід виконувати згідно спеціальних інструкцій або технологічними картами, в яких передбачені необхідні заходи безпеки.

Під час роботи в електроустановках напругою до 1000 В без зняття напруги на струмопровідних частинах або поблизу від них необхідно:

- захистити розташовані поблизу робочого місця інші струмопровідні частини, які знаходяться під напругою, і до яких можливо випадковий дотик;
- працювати в діелектричній взуття, стоячи або на ізолювальних підставці або на діелектричному килимі;
- застосовувати інструмент з ізолювальними рукавами (у викруток, крім того, повинен бути ізольований стрижень); за відсутності такого інструменту слід користуватися діелектричними рукавичками.

Під час виконання робіт без зняття напруги на струмопровідних частинах за допомогою ізолювальних засобів захисту необхідно:

- Тримати ізолювальні частини засобів захисту за рукави до обмежувального кільця;

- Розміщувати ізолювальні частини засобів захисту так, щоб не виникла небезпека перекриття по поверхні ізоляції між струмопровідними частинами двох фаз чи замикання на землю;

- Користуватися тільки сухими і чистими ізолювальними частинами засобів захисту з непошкодженим лаковим покриттям.

У разі виявлення порушень лакового покриття чи інших несправностей ізолювальних частин засобів захисту користування ними забороняється.

У процесі роботи із застосуванням електрозахисних засобів (ізолювальні штанги та кліщі, електровимірювальні кліщі, покажчики напруги) допускається наближення працівника до струмопровідних частин на відстань, яка визначається довжиною ізолювальної частини цих коштів.

Всі працівники, які знаходяться у приміщеннях з чинним електрообладнанням електростанцій і підстанцій (за винятком щитів керування релейних та їм подібних приміщень), в ЗРУ, ВРУ, в колодязях, тунелях і траншеях зобов'язані користуватися захисними касками.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз існуючих конструкції малих ГЕС у яких використано гвинт Архімеда. Обґрунтовано коефіцієнт корисної дії гідротурбіни з гвинтом Архімеда.
2. Побудовано блок-схему процесу розробки гідроелектростанції з використанням стічних вод.
3. Проведено аналіз можливих джерел енергії води для міні-гідроелектростанції. Встановлено, що у великих містах, одним із перспективних варіантів є використання потоку води від каналізаційних стоків.
4. Проведено аналіз особливостей функціонування гвинта Архімеда як рушія у міні-гідроелектростанції. Розроблено та розраховано конструкцію гвинтової турбіни Архімеда для міні-ГЕС, що працює в системі каналізаційних стоків. Для цих умов експлуатації визначено зовнішній діаметр, довжину гвинта, нахил гвинта, внутрішній діаметр, крок гвинта, кути лопатей і кількість лопатей.
5. В результаті проведено імітаційного моделювання встановлено значення генерованої потужності на кожному кроці, починаючи від механічної енергії води і завершуючи електроенергією, що накопичується у акумуляторах чи суперконденсаторах.
6. Встановлено, що ефективність розрахованого гвинта у заданих умовах становитиме 82 %.
7. Встановлено, що ефективність гвинта залежить від геометричної конструкції, напору води, витрати води та кута нахилу. При великому куті нахилу отримуємо низьку витрату і високу ефективність, а при малому куті нахилу — високу витрату і низьку ефективність. Але все ж ефективність гвинта залежить більше від конструкції гвинта.
8. Запропонована в цій роботі конструкція міні-ГЕС на основі гвинта Архімеда, може бути використана в міських районах, де є достатня

кількість стічних вод і відповідне географічне розташування. Вона може бути більш ефективною, якщо всі каналізаційні труби прокладені правильно, а стічні води збираються і спрямовуються на лопаті турбіни.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Тарасенко М.Г., Коваль В.П., Буняк О.А., Мовчан Л.Т. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого рівня вищої освіти за ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ В.П. Коваль, М.Г. Тарасенко, О.А. Буняк, Л.Т. Мовчан – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 50 с.
2. Левчук П. П. Зарядка електричних транспортних засобів на основі безпроводної передачі енергії / П. П. Левчук, В. П. Коваль // Збірник тез доповідей IX Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 25-26 листопада 2020 року. — Т. : ТНТУ, 2020. — Том 2. — С. 117. — (Електротехніка та енергозбереження).
3. Герєга О. Енергофактивність освітлення адміністративних приміщень / Олександр Герєга, Вадим Коваль // Матеріали III Всеукраїнської науково-технічної конференції „Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки і приладобудування“, 8-9 червня 2017 року. — Т. : ТНТУ, 2017. — С. 201
4. Коваль В. П. Енергофактивне динамічне освітлення довгих коридорів / Вадим Коваль // Materials 6th International Scientific Conference "Lighting and power engineering: history, problems and perspectives", 30 січня - 02 лютого 2018 року. — Т. : ФОП Паляниця В.А., 2018. — С. 30–31.
5. Verma, A., Singh, R., Yadav, R. S., Kumar, N., & Srivastava, P. (2012, March). Investigations on potentials of energy from sewage gas and their use as stand alone system. In IEEE-International Conference On Advances In Engineering, Science And Management (ICAESM-2012) (pp. 715-717). IEEE.
6. Prasad, N. R., Ranade, S. J., Hoang, H. T., & Phuc, N. H. (2012, December). Hydropower energy recovery (Hyper) from water-flow systems

- in Vietnam. In 2012 10th International Power & Energy Conference (IPEC) (pp. 92-97). IEEE.
7. Fiardi, E. (2014). Preliminary design of Archimedean screw turbine prototype for remote area power supply. *Journal of Ocean, Mechanical and Aerospace-science and engineering-*, 5(1), 24-33.
 8. Müller, G., & Senior, J. (2009). Simplified theory of Archimedean screws. *Journal of Hydraulic Research*, 47(5), 666-669.
 9. Speir, C., & Stephenson, K. (2002). Does sprawl cost us all?: Isolating the effects of housing patterns on public water and sewer costs. *Journal of the American Planning Association*, 68(1), 56-70.
 10. Стельмах С.С. Енергоефективність гідроакumuлюючих установок малої потужності // С.С.Стельмах, В.П.Коваль /Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей ХІ міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 7–8 груд. 2022.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон.техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. – С. 71
 11. Коваль В. П. Суміщене електропостачання від поновлювальних джерел енергії / Вадим Коваль // Матеріали IV 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.
 12. Khan, R. H., & Khan, J. Y. (2013). A comprehensive review of the application characteristics and traffic requirements of a smart grid communications network. *Computer Networks*, 57(3), 825-845.
 13. 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. — (Електротехніка та енергозбереження)
14. Orobchuk B. Development and research of Wi-Fi network for receiving and transmitting telemechanical information in the training laboratory / Bogdan Orobchuk, Vadym Koval // Scientific Journal of TNTU. — Tern. : TNTU, 2020. — Vol 99. — No 3. — P. 124–132.
 15. Creation and substantiation of the matrix for model series of tubular propeller turbines for small hydropower plants / Myroslav Zin, Vadym Koval, Mykola Tarasenko, Ivan Sysak // Scientific Journal of TNTU. — Tern. : TNTU, 2023. — Vol 109. — No 1. — P. 24–31.
 16. Коваль В. П., Зінь П. М. Підвищення енергоефективності низьконапірних мікрогес невеликої потужності з трубними осьовими гідротурбінами // Тези XIII МНПК „Актуальні задачі сучасних технологій“, Тернопіль, 11-12 грудня 2024 року. 2024. С. 285–286.
 17. Nuernbergk, D. M., & Rorres, C. (2013). Analytical model for water inflow of an Archimedes screw used in hydropower generation. *Journal of Hydraulic Engineering*, 139(2), 213-220.
 18. Керей Ю.Б. Роль системи накопичення енергії у електроенергетичній системі // Ю.Б. Керей, В.П. Коваль / Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XI міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 7–8 груд. 2022.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон.техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. – С. 68.
 19. Коваль В.П. Фотоелектрична станція для забезпечення власних потреб // В.П. Коваль, Д.Ф. Паловці, Abul Kalam Azad / Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи: матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції, (Тернопіль, 29-31 травня 2024) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2024. – С

- 20.Коваль В.П. Вплив ємності акумулятора на ефективність роботи фотоелектричної станції//В.П.Коваль / Інноваційні технології в світлотехніці та електроенергетиці : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., Харків, 16–17 трав. 2024 р. / Нац. акад. наук вищ. освіти України, Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова, Нац. наук. центр «Ін-т метрології» [та ін.]. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – С. 75-77.
- 21.Енергоощадна інтелектуальна система керування механічною системою / Богдан Оробчук, Іван Сисак, Ярослав Осадца, Вадим Коваль, Сергій Бабюк // МММТЕС, 22-23 листопада 2022 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2022. — С. 128–130. — (Прикладні застосування механіки в задачах енергозбереження)
- 22.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.