

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

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему:

**РОЗРОБКА СИСТЕМИ  
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВОГО ОБ'ЄКТУ  
НА БАЗІ МІНІ-ГЕС**

Виконав студент VI курсу, групи ЕМм-61  
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Цогла М.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Коваль В.П.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Вакуленко О.О.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Тарасенко М.Г.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль  
2021

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра містить пояснювальну записку та графічну частину. Пояснювальна записка має 66 сторінок, аркушів презентації, 46 ілюстрацій, 3 таблиці та 11 використаних першоджерел.

**Об'єкт дослідження** – процес перетворення енергії потоку у електроенергію у міні-ГЕС

**Предмет дослідження** – міні-ГЕС, призначена для електропостачання низькопотужних житлових об'єктів, віддалених від електричних мереж.

**Метою кваліфікаційної роботи є:** розробка та дослідження моделі міні-ГЕС для перетворення енергії водних потоків на електричну енергію

У роботі: проведено огляд сучасних автономних джерел енергії та проаналізовано їх конструкції; спроектовано автономну установку міні-ГЕС, яка генеруватиме електроенергію, яка буде достатньою для живлення низькопотужних житлових об'єктів; дано опис спроектованій конструкції міні-ГЕС та створено її 3d модель; виведено математичну модель запропонованої конструкції міні-ГЕС та теоретично досліджено вплив коливань колеса на енергію, що виробляється.

*Ключові слова:* ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, МІКРОГЕС, ГІДРОАГРЕГАТ, ГІДРОТУРБІНА,

## ЗМІСТ

### ВСТУП

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ .....	9
1.1 Типи гідротурбін .....	9
1.2 Міні-ГЕС на основі хвостового генератора .....	14
1.3 Міні-ГЕС Turbulent .....	16
1.4 Саморобна міні-ГЕС «Гравіцапу» .....	17
1.5 Міні-ГЕС «Ротор» .....	18
1.6 Висновки до розділу .....	19
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ .....	20
2.1 Визначення потужності та часу використання енергії споживачами .....	20
2.2 Складові частини міні-ГЕС .....	22
2.3 Проектування гідротурбіни .....	23
2.4 Конструювання установки .....	31
2.5 Висновки до розділу .....	45
3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ .....	
3.1 Принципова схема міні-ГЕС .....	47
3.2 Математична модель установки .....	49
3.3 Висновки до розділу .....	57
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	58
4.1 Заходи безпеки при монтажі електроустановок .....	58
4.2 Допомога при ураженні електричним струмом в електроустановках напругою до 1000 В .....	59

4.3 Концепція захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій природного походження .....	61
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....	64
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	65

## ВСТУП

**Актуальність теми.** В останні роки велика увага стала приділятися установкам, що використовують відновлювані джерела електроенергії (ВДЕ) для перетворення енергії цих джерел на електричну. Такі установки призначені для домашнього та комерційного використання. Застосовуються дані установки до таких джерел енергії, у яких запаси заповнюються природним чином, наприклад, енергія сонячного випромінювання, що надходить на поверхню Землі, у перспективі є практично невичерпним джерелом.

Перерахуємо всі відомі природні джерела енергії:

- енергія сонця;
- енергія вітру;
- енергія рослинної біомаси;
- енергія потоків рідини;
- геотермальна енергія тощо.

Кожні з цих природних відновлюваних джерел енергії мають свої недоліки і переваги, при виборі джерела енергії потрібно дивитися на те, наскільки він переважає на території, для якої потрібно його використовувати.

На деяких територіях енергію вітру чи сонця розглядати не дуже актуально, оскільки сонця часто недостатньо і вітер має малу силу. Проте, варто звернути увагу на водні ресурси, які є в Україні: це гірські річки, які мають перспективи.

Дослідження динаміки джерела перетворення обертально-поступального руху, створеного потоком рідини в електричну енергію є дуже актуальним на сьогоднішній день. До економічно ефективного використання малих ГЕС відносяться досить нові технології перетворення енергії невеликих водотоків: малогабаритні станції, що не потребують великих потужностей та хвильових енергоустановок. Хвильові установки можна використовувати у наметових таборах, будинках відпочинку або туризму, що знаходяться на великій відстані від джерел електроенергії.

**Мета і завдання дослідження.** Метою даної роботи є: розробка та дослідження моделі міні-ГЕС для перетворення енергії водних потоків на електричну енергію.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести огляд сучасних автономних джерел енергії та проаналізовано їх конструкції
2. Спроекувати автономну установку міні-ГЕС, яка генеруватиме електроенергію, яка буде достатньою для живлення низько потужних житлових об'єктів.
3. Дати опис спроектованій конструкції міні-ГЕС та створити її 3d модель.
4. Вивести математичну модель запропонованої конструкції міні-ГЕС та теоретично дослідити вплив коливань колеса на енергію, що виробляється.

**Об'єкт дослідження** – процес перетворення енергії потоку у електроенергію у міні-ГЕС .

**Предмет дослідження** – міні-ГЕС, призначена для електропостачання низькопотужних житлових об'єктів, віддалених від електричних мереж.

#### **Наукова новизна отриманих результатів.**

Отримано математичну модель міні-ГЕС та проведено аналіз моделі з метою дослідження роботи системи для перетворення енергії течії води в електричну енергію.

#### **Практичне значення отриманих результатів.**

Представлена конструкція міні-ГЕС, яка виробляє 200 Вт на годину, що є достатнім для живлення низькопотужних споживачів, особливо, якщо це кемпінговий табір чи дачний будинок і є кінцевим продуктом, який може становити конкуренцію на ринку у відповідному сегменті.

**Апробація.** Результати досліджень за темою кваліфікаційної роботи були представлені на IX Міжнародна науково-технічній конференції молодих учених

та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 25-26 листопада 2021 року. ТНТУ [1]

**Структура роботи.** Робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань (11 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини – 66 сторінок, 3 таблиць, 46 рисунків.

## 1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

### 1.1 Типи гідротурбін

Типи гідротурбін можна розділити на дві групи: активні і реактивні. Активні (вільноструминні) турбіни використовують переважно кінетичну енергію струменя води, яка вільно витікає з сопла. Реактивні (напірноструминні) турбіни використовують переважно потенційну частину енергії потоку.

Найпростішим типом гідротурбіни активного типу є водяне колесо, що приводиться в дію енергією потоку води. Розрізняють три основних види водяного колеса для перетворення гідроенергії в енергію обертального руху:

1. Нижньобійне водяне колесо має коефіцієнт корисної дії до 35% (рис. 1.1);
2. Середньобійне, коефіцієнт корисної дії до 75% (рис. 1.2);
3. Верхньобійне чи наливне, коефіцієнт корисної дії до 85% (рис. 1.3); [2]

Undershot waterwheel

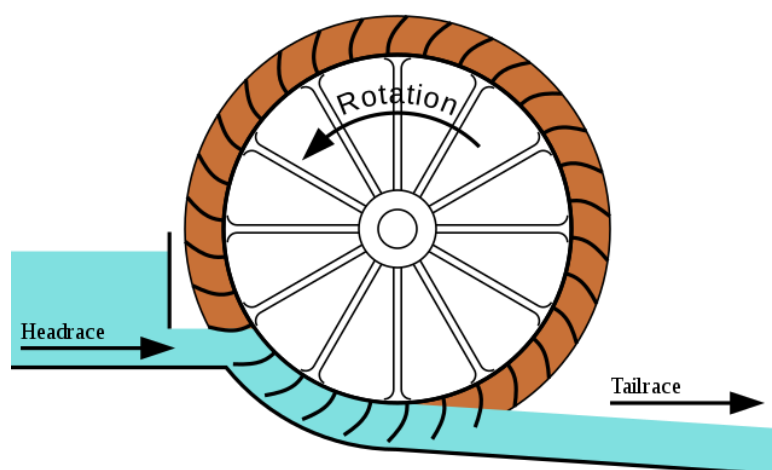


Рисунок 1.1 - Нижньобійне водяне колесо



## Breastshot waterwheel

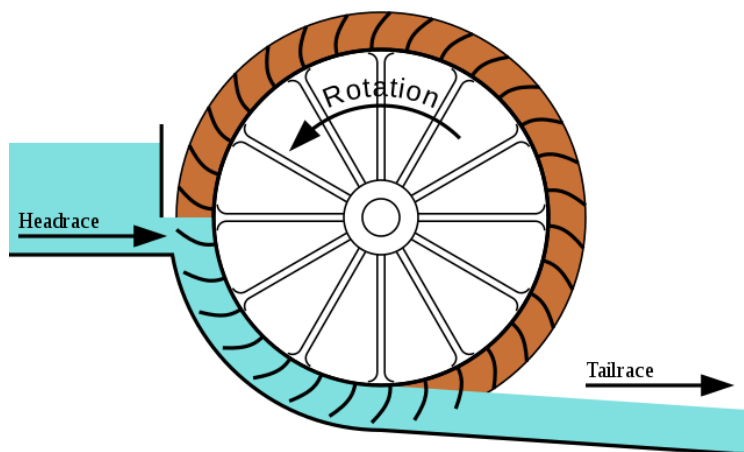


Рисунок 1.2 - Середньобійне водяне колесо

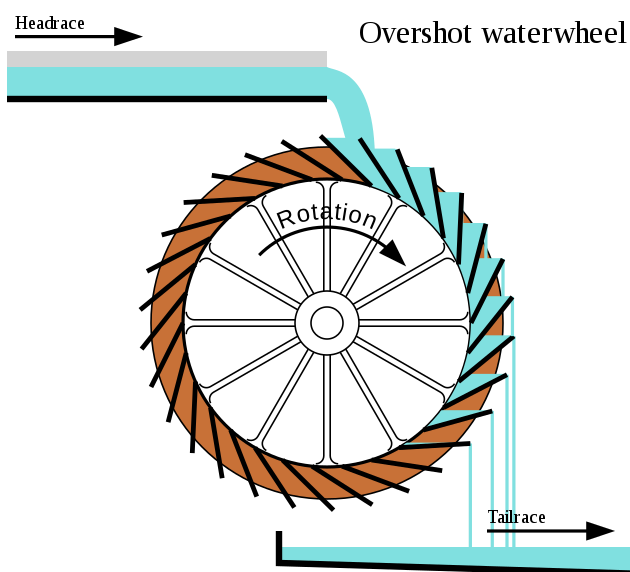


Рисунок 1.3 - Наливне водяне колесо

Через погані масо-габаритну показники і невисокий коефіцієнт корисної дії гідротурбіни типу «водяне колесо» в сучасних станціях не застосовуються.

Принцип роботи водяного колеса реалізований в сучасній ковшовій турбіні Пелтона (рис. 1.4). Турбіна Пелтона належить до типу імпульсних турбін, де наявний напір води перетворюється в кінетичну енергію на

зовнішньому діаметрі колеса при атмосферному тиску. Практичне застосування турбіна Пелтона знаходить при висоті напору води більше 40 м. [2]

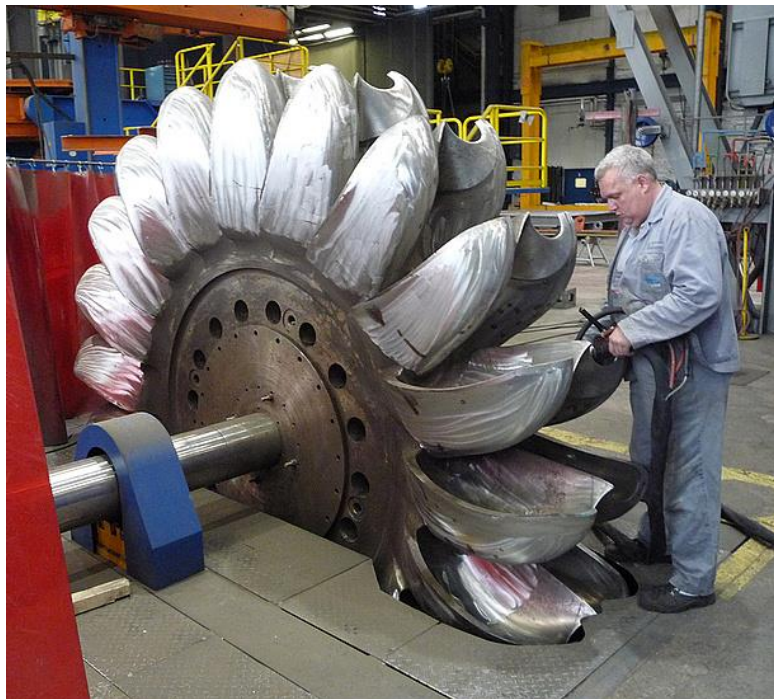


Рисунок 1.4 - Турбіна Пелтона

Іншим типом активних турбін є похило-струменева турбіна Тюрго (Turgo) (рис.1.5), яка використовується на високі напори від 30 до 400 м. [2]



Рисунок 1.5 - Похило-струменева турбіна Turgo

На початку 20-го століття професором Будапештського університету Донатом Банки була винайдена турбіна поперечного перерізу (рис.1.6). Головною особливістю турбіни «Банки» є подвійне перетворення енергії, яке відбувається під час «попадання» води на лопаті на вході і виході з полого ротора.

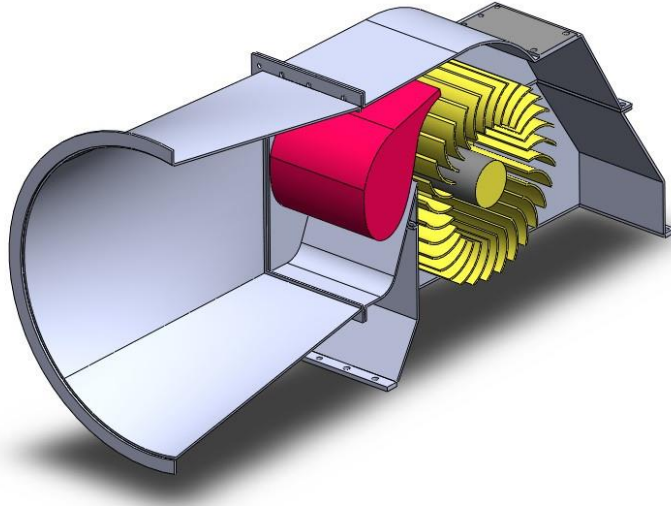


Рисунок 1.6 - Турбіна «Банки»

Використання двох робочих фаз не забезпечує ніякої особливої переваги за винятком того, що це дуже ефективний і простий спосіб відведення води з ротора. В сучасних мікроГЕС турбіни поперечно-струменевої течії використовуються при тиску від 2 до 100 м.

При малому напорі води в мікроГЕС використовують реактивні турбіни пропелерного типу, найбільш відомою з яких є турбіна Каплана (рис. 1.7).

В турбіні Каплана вода потрапляє на напрямні лопаті, а потім тече вздовж осі гвинта (такий тип турбін ще називають осьовими). Важливою перевагою турбіни Каплана є висока швидкість обертання гвинта, яка вдвічі більша за швидкість потоку води. Іншою позитивною особливістю цього типу турбін є можливість регулювання їх продуктивності за рахунок зміни відкриття направляючого апарату і повороту лопатей гвинта. Турбіни Каплана застосовують при тиску від 1 м до 30 м. [2]

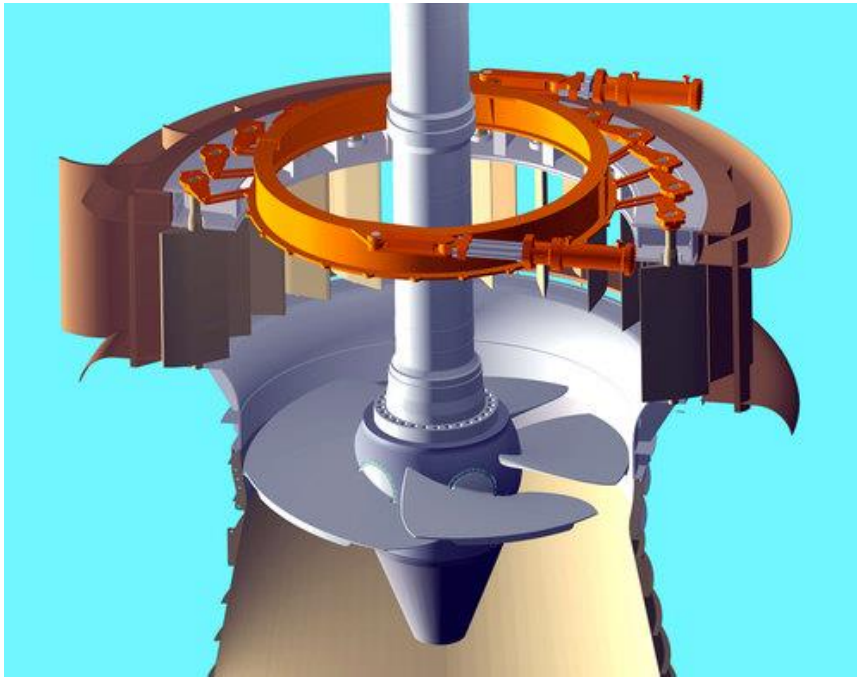


Рисунок 1.7 - Пропелерна осьова турбіна Каплана

При відносно великому напорі води ( $30 \div 250$  м) застосовують інший тип реактивних турбін, які отримали назву турбіни Френсіса (рис.1.8).



Рисунок 1.8 - Робоче колесо турбіни Френсіса

Робоче колесо турбіни Френсіса повністю занурене у воду, а тиск і швидкість води зменшуються в процесі її проходження через турбіну. Вода тече радіально по кільцевому каналу, який оточує робоче колесо турбіни, між

нерухомими лопатями, що направляють потік води. Робоче колесо турбіни має викривлені лопаті, на які потрапляє вода. Направляючі лопаті влаштовані таким чином, що енергія потоку води ефективно трансформується в обертальний рух робочого колеса. Як і в турбіні Каплана за рахунок зміни кута атаки направляючих лопастей можна регулювати продуктивність турбіни Френсіса.

Прагнення до максимального спрощення конструкції станції і скорочення капітальних вкладень в основне обладнання призвели до того, що в мікроГЕС все більшого поширення знаходять насоси, що працюють в турбінному режимі. Більшість насосів можуть працювати в реверсному режимі так само ефективно, як і турбіни. Завдяки різноманітній номенклатурі насосів, що випускаються вітчизняною промисловістю (напори від 0 до декількох сотень метрів, витрати  $0,02 \div 5 \text{ м}^3/\text{с}$ ), практично для будь-якого водостоку, в місці установки конкретної мікроГЕС можна підібрати серійний насос. При цьому через великосерійне виробництво насосів, його вартість буде значно нижчою, ніж гідротурбіна з аналогічними технічними характеристиками. З точки зору економічних витрат найбільш ефективні для застосування в мікроГЕС стандартні відцентрові насоси,

## **1.2 Міні-ГЕС на основі хвостового генератора**

Яскравим прикладом технологія перетворення енергії припливів та відливів в електроенергію є конверсивна система BioStream, розроблена австралійською компанією BioPower, яка перетворює енергію припливно-відливних течій на електричну.

Технологія, яку її автори називають «біомікрочною», копіює рухи хвостової частини морських риб, таких як акула, тунець або макрель. Завдяки єдиній точці кріплення, механізм легко адаптується до зміни підводних умов і, подібно до морських жителів, може спокійно пережити будь-яку екстремальну ситуацію на поверхні.

Габарити конструкції: висота плавників становить близько 15 метрів,



довжина хвоста – близько 20 м. Система розробляється під різні потужності: 250, 500 та 1000 кіловат.



Рисунок 1.9 - Хвостовий генератор

Також існує компанія "The Engineering Business Ltd" яка працює в області відновлюваних джерел енергії. Кампанією був створений гідрогенератор (проект Stingray), що екстрагує енергію підводної течії за допомогою крил, що коливається.

У 2002 році установка була спущена під воду і вже багато років успішно працює гідроелектростанція з крилами, що коливаються, на 150 кіловат. [3]



Рисунок 1.10 - Гідроелектростанція з крилом, що коливається

### 1.3 Міні-ГЕС Turbulent

Turbulent – це турбіна нового покоління, головна перевага якої полягає у застосуванні природних принципів потоку (вихрових), щоб конвертувати річкову енергію в електроенергію.

Молодим розробникам хотілося створити компактне, просте в установці, екологічне джерело енергії, не надто дороге і пристосоване для використання у віддалених регіонах, яке стало б своєрідним кроком на шляху до децентралізації зеленої енергії.

У роботі міні-електростанції Turbulent для одержання енергії використовується штучно створюваний вир із різницею висот 1 метр. Цього вистачає для того, щоб електроенергія виробилася та сконцентрувалася в одній точці. Маленька річка може забезпечити електроенергією 3-4 сім'ї. Важлива особливість розробки полягає в тому, що Turbulent не позначається на природній течії річок, на відміну від гребель, і не шкодить риbam.

Саме на повну екологічність та «роботу із природою» акцентують увагу засновники міні ГЕС. Так, якщо риба потрапить у турбіну, вона легко зможе випливати з неї завдяки низькому тиску та особливостям конструкції установки. Також для виробництва Turbulent використовувалися екологічно чисті матеріали.

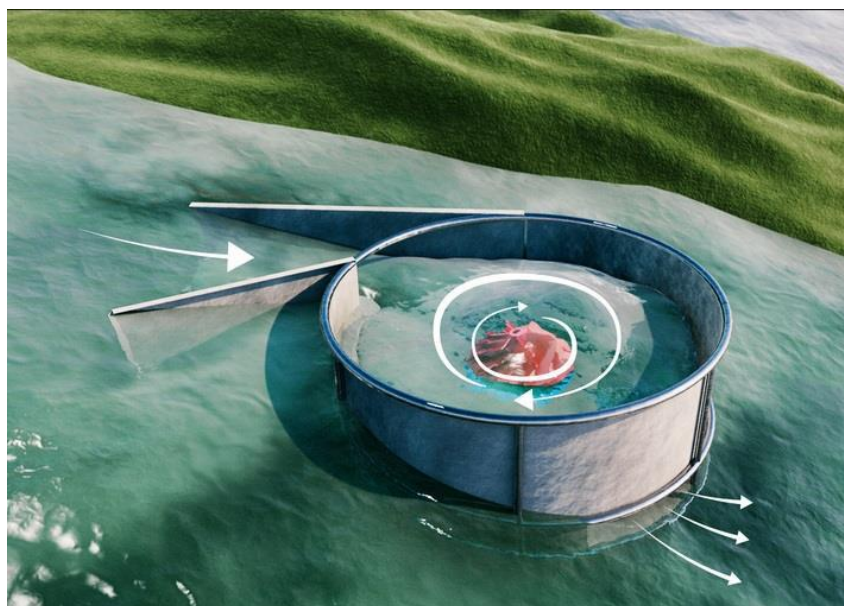


Рисунок 1.11 - Міні-ГЕС Turbulent

Крім того, розробники відзначають, що конструкція турбіни запобігатиме накопиченню навколо себе різноманітного сміття, що плаває в річках. Через що Turbulent не вимагатиме частого технічного обслуговування. Turbulent створена із міцних матеріалів та конструкцій, у компанії заповняють, що вона може безперебійно працювати до 20 років.

#### 1.4 Саморобна міні-ГЕС «Гравіцапу»

Установка є: звареним лопатевим колесом з багажників Жигулів. До цього колеса було приєднано колінвал від мотоцикла, який у свою чергу був з'єднаний з ручним насосом для води. За задумом установка мала плавати у воді, прив'язана тросом за камінь. Лопаті мали крутитися і качати ручку поршневого насоса для поливу городу [4].



Рисунок 1.12 - Саморобна міні-ГЕС «Гравіцапа»

Експеримент такої установки провалився, оскільки енергетичні установки неможливо робити без вимірів та розрахунків.



Конструкція, що діє від напору води, вийшла величезних розмірів, великої ваги та невеликої потужності. [4]

### 1.5 Міні-ГЕС «Ротор»

Влаштований «Ротор» дуже просто: у його основі лежить ротор Дарье, який характеризується високим коефіцієнтом швидкохідності при малих швидкостях потоку. Вертикальна вісь трилопатевого турбінного колеса встановлена у центрі надувної гумової камери, а енергія обертання передається спеціально розроблений генератор.

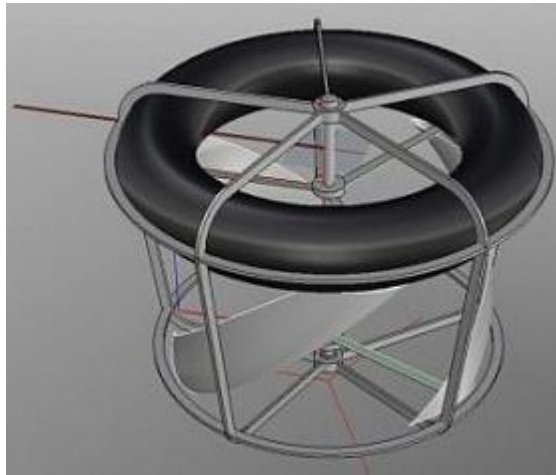


Рисунок 1.13 – Міні-ГЕС «Ротор»

Ключові переваги Ротора в тому, що він простий, надійний, має низьку вартість і не вимагає спеціальних навичок для встановлення та обслуговування. [4]

На закінчення літературного огляду хочеться сказати, що мають на ринку генератори з двигунами внутрішнього згоряння не підходять для використання у місцях, віддалених від цивілізації. Виходячи з цього, було проведено аналіз відповідних установок таких як міні-ГЕС. Існуючі розробки з перетворення енергії води на електричну енергію створено переважно для моря, які застосовні за умов річки. Є розробки установок перетворення енергії потоку

річки в електричну енергію, але вони також нам не підходять оскільки у похідних умовах такої установки має бути мобільність, тобто. швидке встановлення та невибагливе використання. У нашому огляді є установка «Ротор» начебто задовольняє наші умови, але вона перебуває на стадії створення. На ринку поки що такої немає. Тому завдання даної роботи полягає в тому, щоб за короткий час створити власну компактну установку для живлення невеликих житлових об'єктів, що знаходяться біля річок. [4]

## **1.6 Висновки до розділу**

1. Виконано аналіз способів перетворення поступального руху води у обертальний рух з використанням турбін. Визначено плюси і мінуси даного обладнання.

2. Встановлено, що з точки зору економічних витрат найбільш ефективні для застосування в міні-ГЕС стандартні відцентрові насоси.

3. Проаналізувавши ряд конструкцій міні-ГЕС, виявили їх переваги та недоліки, які будуть враховані при розробці власної конструкції.

4. В результаті аналізу відомих конструкцій міні-ГЕС ми переконалися у тому, що завдання даної роботи полягає в тому, щоб за короткий час створити власну компактну установку для живлення невеликих житлових об'єктів, що знаходяться біля річок

## 2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Визначення потужності та часу використання енергії споживачами

Наступним етапом буде визначення необхідної потужності електростанції на основі відновлюваної енергії потоку води. Для цього слід визначитися з потребами в електроенергії дачним будинком (табл..2.1)

Таблиця 2.1 Споживачі електроенергії

Потреби	Потужність, Вт
Світло	100
Холодильник	50
Радіо	10
Музичний центр	100
Ноутбук	100
Зарядні пристрої	
• Телефон	10
• Акумулятор	84
• Ліхтарик	5
Насос	300
<b>Разом:</b>	<b>759</b>

У середньому кожна людина проводить уві сні близько 8 годин, у цей час практично всі електроприлади вимкнені і не споживають електроенергію, за винятком холодильника та зарядних пристроїв, разом вони створюють моментальне навантаження на мережу близько 150 Вт.

Влітку світає рано та використання штучного освітлення не доцільно. Після пробудження людині необхідно сполоснутися. У середньому,

ополіскування однієї людини займає близько 10 хв. Припустимо, що всім відпочивальникам потрібно по черзі помитися, тоді цей займе приблизно 1 годину. Звідси випливає, що насос дає додаткове моментальне навантаження на мережу 300 Вт.

Після миття починається приготування їжі. Багато людей не можуть уявити ранок без новин, в польових умовах можна скористатися смартфоном, яке підвищить електроспоживання на 10 Вт.

Поснідавши люди йдуть до роботи на весь день, це приблизно десь годин на 10-12. Найчастіше в цей час у будинку нікого немає, і з побутових приладів електроенергію споживає лише холодильник.

З приходом людей до будинку, потужність споживання різко зростає. До 50 Вт, що споживає холодильник, додаються майже 750 Вт потужності від інших приладів. Таким чином, у ситуаціях, коли включені всі електроприлади одночасно, вранці навантаження становить 460 Вт, а ввечері 760 Вт.

Згідно з приблизними розрахунками, середньодобове споживання електроенергії людьми в будинку становить 650 Вт. Ця цифра свідчить, що якби ми виробляли 200 Вт електроенергії щогодини, то повністю забезпечили б будинок електроенергією.

Виробники вітрогенераторів і сонячних батарей обіцяють, що їх установки теж будуть легко виробляти розраховану потужність, але для цих пристроїв потрібні певні умови.

Наприклад, для сонячних батарей потрібна ясна та сонячна погода, відкритий простір. У наших регіонах не так багато сонячних днів і не завжди буває ясно. Може бути похмуро чи взагалі йтиме дощ. А також робота сонячної батареї можлива лише вдень. Ні про яку сонячну батарею і мови бути не може.

Якщо говорити про вітрогенератори, то їх використання неефективне через низьку швидкість вітру.

Представимо вище описану залежність енергоспоживання будинку від часу доби у вигляді графіку (рис.2.1).

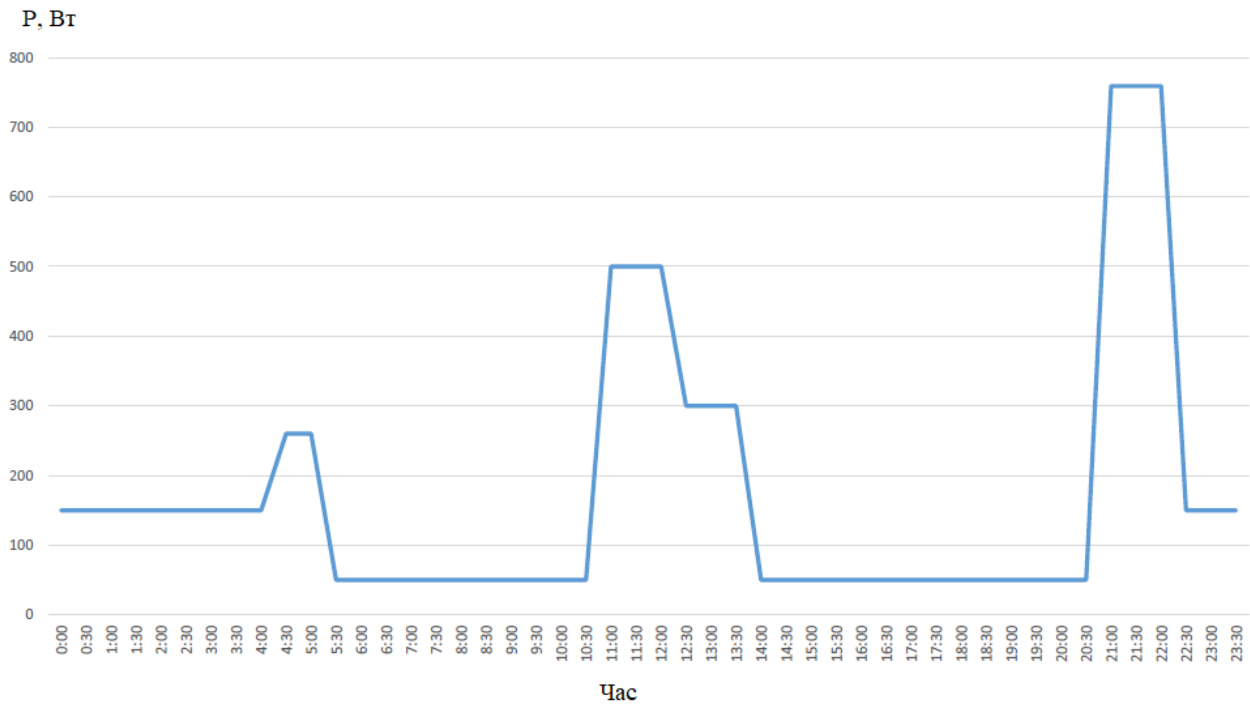


Рисунок 2.1 – Енергоспоживання будинку впродовж доби

З настанням ранку різко зростає споживання енергії: включається освітлення і прилади. Оскільки розглядається літній день, використовувати освітлення доводиться зовсім небагато, десь 30 хв., з моменту пробудження.

Залишаючи туристами табори, майже всі електричні прилади вимикаються, споживання енергії падає. Зі споживачів залишається тільки холодильник.

Після повернення додому, знову різко зростає енергоспоживання, починається приготування їжі, яке займає в середньому близько дві години, всі відпочиваючі ставлять на зарядку свої «Гаджети», включається радіо, музичний центр, ноутбук. Можливо, потрібно помитися, для цього включається насос.

## 2.2 Складові частини міні-ГЕС

Будова міні-ГЕС схожа на інші установки з генерування електроенергії, наприклад, із системами сонячної або вітряної генерації.

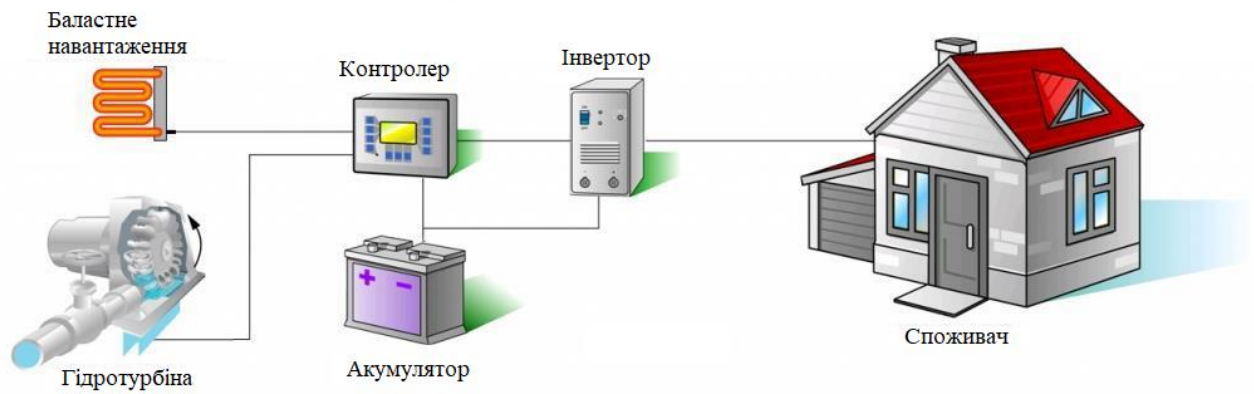


Рисунок 2.2 - Схема включення міні-гідроелектростанції в електромережу

- Гідротурбіна з лопатками;
- Генератор;
- Контролер заряду;
- Акумулятор;
- Інвертори.

### 2.3 Проектування гідротурбіни

Турбіни міні-ГЕС можна класифікувати за конструкцією:

- Осьові турбіни;
- Радіально-осьові турбіни;
- Ковшові турбіни;
- Поворотно-лопатеві турбіни.

З перерахованих вище турбін виберемо для проектованої установки - ковшові турбіни, оскільки вони найбільше підходять для річкової течії. Для решти потрібна більш висока швидкість або створення додаткових споруд, які в багатьох умовах буде складно встановити.

Проведемо приблизний розрахунок діаметра колеса. Установка розташовуватиметься на надувному понтоні. Як понтон можна використовувати човен. Середня висота понтону становить 30–40 сантиметрів.

Лопаті колеса будуть висотою 25 см. [5]

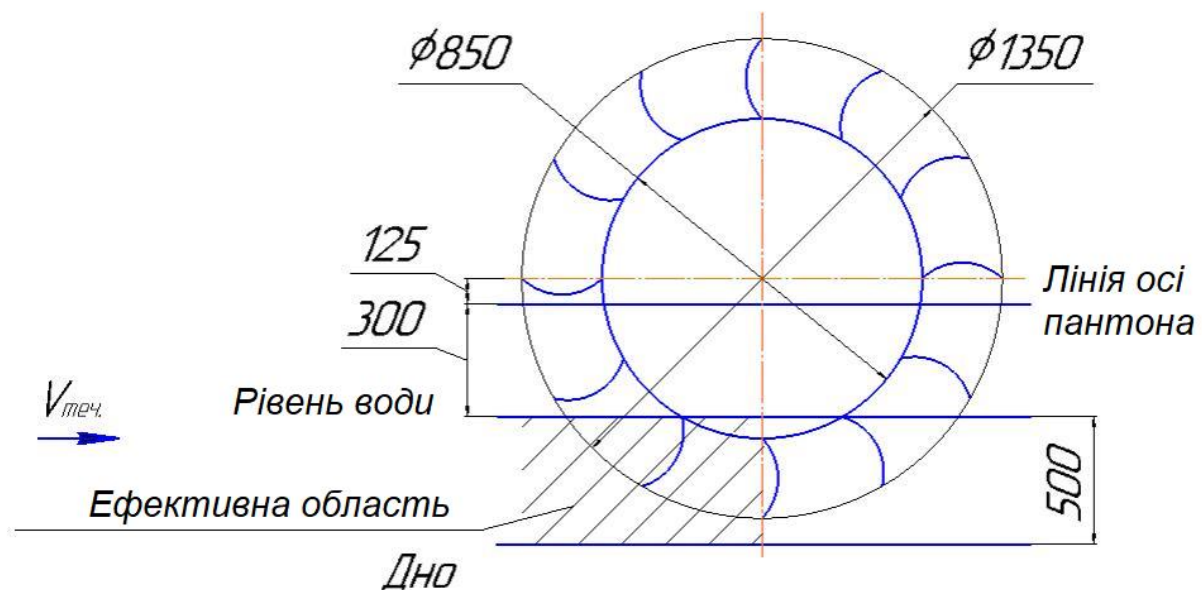


Рисунок 2.3 - Схема розташування установки на понтоні

На схемі видно, що мінімальний діаметр турбіни становитиме 1350 мм. Отже колесо має бути більше в радіусному напрямку, ніж висота понтона і відстані від понтона до осі обертання. Висота лопаті 250 мм, діаметр понтону 300 мм, відстань від поверхні понтону до осі обертання коліс становить 125 мм. Якщо все вище описане додати, то радіус колеса дорівнює 675 мм, звідси впливає діаметр 1350 мм.

Одним з важливих параметрів конструкції турбіни є число лопатей на колесі. Недостатня кількість лопатей призведе до втрати потоку води. Це характеризується тим, що коли одна лопать відходить від потоку друга ще може не потрапити в потік. При недостатній кількості лопатей на певних етапах обертання дії водяного потоку на робоче колесо буде нульовим. Це призведе до значного зниження ККД турбіни. Тому потрібна достатня кількість лопатей турбіни для роботи без втрат.

У зв'язку з чим провели розрахунок числа лопатей у програмному продукті MS Excel. Було виведено формулу розрахунку кількості лопатей ковшової турбіни, через діаметр колеса та глибину, для найефективнішої

роботи міні-ГЕС. Ефективною областю використання водного потоку є область безпосередньо перед зануреною частиною лопаті так, як у цій області тиск води найбільший.

$$N = \frac{L_{\text{кола}}}{l_{\text{дуги}}}; \quad (2.1)$$

де  $N$  - число лопатей колеса;

$L_{\text{кола}}$  - довжина кола;

$l_{\text{дуги}}$  - довжина дуги.

$$N = \frac{2\pi D \cdot 180^{\circ}}{\pi D \cdot \alpha^{\circ}}; \quad (2.2)$$

де  $D$  – діаметр кола;

$\alpha^{\circ}$  - кут між лопатями. Це подвійний кут, оскільки для оптимальної роботи ГЕС необхідне знаходження двох лопатей у ефективній зоні (див. рис. 2.3)

$$N = \frac{4 \cdot 180^{\circ}}{\alpha^{\circ}}; \quad (2.3)$$

Визначимо кут між лопатями.

$$\alpha^{\circ} = \arccos \frac{\left(\frac{D}{2} - h\right)}{\frac{D}{2}}; \quad (2.4)$$

Підставимо:

$$N = \frac{4 \cdot 180^{\circ}}{\arccos \frac{\left(\frac{D}{2} - h\right)}{\frac{D}{2}}}; \quad (2.5)$$

Проведемо розрахунки за отриманою формулою у Microsoft Excel (рис.2.4).



	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Діаметр колеса, D	Глибина занурення, h	Число лопатей					
2	1250	250	14					
3	2000	250	18					
4	5000	400	22					
5	1000	250	12					
6								

Formula bar:  $=\text{ОКРУГЛВВЕРХ}(4*180/(\text{ГРАДУСЫ}(\text{ACOS}((A2/2-B2)/(A2/2)))));0)$

Рисунок 2.4 - Розрахунок числа лопатей

Найважливішим компонентом роботи ковшової турбіни є її лопать. Лопаті відливаються з цільного матеріалу, щоб уникнути втомного руйнування.

З вибраними параметрами габаритів розрахуємо число оборотів, що видаються установкою.

Сила тиску потоку води на лопаті:

$$F_D = c_x \frac{\rho \cdot S}{2} \cdot V_B^2; \quad (2.6)$$

де  $F_D$  – сила тиску потоку, Н;

$c_x$  - коефіцієнт опору, що залежить від форми тіла;

$\rho$  - щільність води (1000 кг/м<sup>3</sup>)

$S$  – площа поперечного перерізу пластини, м<sup>2</sup>;

$V_B$  - швидкість води, вітру м/с, приймемо для випадку 0,3 м/с, оскільки 0,1 та 0,2 це майже стояча вода.

Коефіцієнт  $c_x$  залежить від форми тіла. Зрозуміло, що лопать, звернена увігнутістю назустріч потоку, має більший опір, ніж та сама лопать, звернена

опуклістю до потоку. Найобтічнішою же буде краплеподібна форма тіла, звернена тупим, а не гострим кінцем до потоку. Значення коефіцієнтів  $c_x$  для деяких тіл наведено нижче.

- Тонка пластина перпендикулярна потоку  $c_x = 1,11$  - для невеликих пластин і  $c_x = 1,33$  для великих пластин розміром кілька метрів.
- Півсфера, отвір звернено назустріч потоку (парашут)  $c_x=1,33$
- Півсфера, отвір звернений по потоку  $c_x=0,35$
- Тіло обтічної краплеподібної форми  $c_x=0,05$

Тоді, підставивши усі значення, отримаємо

$$F_d = 1,33 \cdot \frac{1000 \cdot 0,25 \cdot 0,4}{2} \cdot 0,3^2 = 5,985 H \approx 6 H;$$

Далі розрахуємо витрату води. Для цього візьмемо коридор потоку води та помножимо його значення на швидкість течії.

$$Q = V_B \cdot S; \quad (2.7)$$

де  $Q$  - витрата води,  $m^3/c$ ;

$S$  – площа поперечного перерізу,  $m^2$ ;

$V_B$  - швидкість води, вітру,  $m/c$ .

Під площею поперечного перерізу водного потоку у даному випадку розуміємо площу лопаті.

Зробимо розрахунок витрати води:

$$Q = 0,3 \cdot 0,25 \cdot 0,4 = 0,03 \frac{m^3}{c} = 30 \frac{l}{c}.$$

Отримана витрата води - це той об'єм води, який протікає по заданому

коридору і тисне на лопаті гідротурбіни. В результаті відбувається обертання колеса.

Далі визначимо тиск, з яким потік тисне на лопать за формулою (2.8).

$$\rho = \frac{F_D}{S}, \quad (2.8)$$

де  $F_D$  - сила тиску потоку води;

$S$  - площа лопаті.

$$\rho = \frac{6}{0,25 \cdot 0,4} = 60 \text{ Па.}$$

Тепер можна перейти до підрахунку механічної потужності турбіни. Теоретичну потужність ГЕС можна порахувати за такою формулою (2.9).

$$N = \rho \cdot Q, \quad (2.9)$$

де  $\rho$  — тиск потоку рідини;

$Q$  - витрата води.

$$N = 60 \cdot 0,03 = 1,8 \text{ Вт.}$$

Тепер необхідно знайти число обертів колеса перетворення енергії. Для цього запишемо ще одну формулу потужності.

Потужність дорівнює:

$$N = F_D \cdot V_K, \quad (2.10)$$

де  $F_D$  - сила тиску потоку води;

$V_K$  — швидкість колеса, спрямована по дотичній крайній точці колеса.

У свою чергу швидкість колеса дорівнює:

$$V_K = \omega R, \quad (2.11)$$

де  $\omega$  - кутова швидкість колеса;  
 $R$  – радіус колеса.

Кутова швидкість дорівнює:

$$\omega = 2 \pi n, \quad (2.12)$$

де  $\pi$  - const = 3,14;  
 $n$  - частота, число обертів за секунду.

Підставимо всі формули рівняння потужності. В результаті отримаємо (2.13).

$$N = F_D \cdot 2\pi n R. \quad (2.13)$$

З останнього рівняння виразимо число обертів за секунду або частоту:

$$n = \frac{N}{2F_D \pi R}. \quad (2.14)$$

Підставимо чисельні значення отриману формулу (2.14).

$$n = \frac{1,8 \cdot 2}{2 \cdot 6 \cdot 3,14 \cdot 1,25} = 0,076 \frac{\text{об}}{\text{с}} = 4,6 \frac{\text{об}}{\text{хв}} \approx 5 \frac{\text{об}}{\text{хв}}.$$

Перейдемо до вибору генератора [6]. Вхідні дані для перетворювача механічної енергії на електричну - це номінальна потужність, яка становить 200 Вт або вище. Потрібно щоб генератор був самозбуджуючим. Як відомо, якщо використовувати генератор, припустимо, автомобільний, то для його роботи треба потрібно подати на нього напругу збудження, і тільки після цього

генератор може працювати.

Для проектованої установки ідеально підійде генератор NE-200w-M потужністю 200 Вт.

Генератор має характеристики, подані нижче:

1. Тип збудження – магнітоелектричний;
2. Номінальна частота обертання – 200 об/хв;
3. Номінальна потужність – 200 Вт;
4. ККД – 90%;
5. Вихідна напруга – 28,5 В;
6. Маса – 10 кг;
7. Габаритні розміри:
  - діаметр генератора – 300 мм. - Діаметр валу - 40 мм;
  - висота генератора – 80 мм – довжина валу – 60 мм.

Дані генератори призначені для роботи у складі вітряної електростанції або міні-ГЕС. Малий момент, дозволяє лопатям ротора почати обертання при слабкому імпульсі. [7]



Рисунок 2.5 - Зовнішній вигляд генератора NE-200w-M

Під вибраний генератор потужність 200 Вт, потрібний мультиплікатор із

передатним ставленням 1:50.

## 2.4 Конструювання установки

За розробленою схемою та проведеними розрахунками була спроектована установка, яка зображена на рис. 2.6.

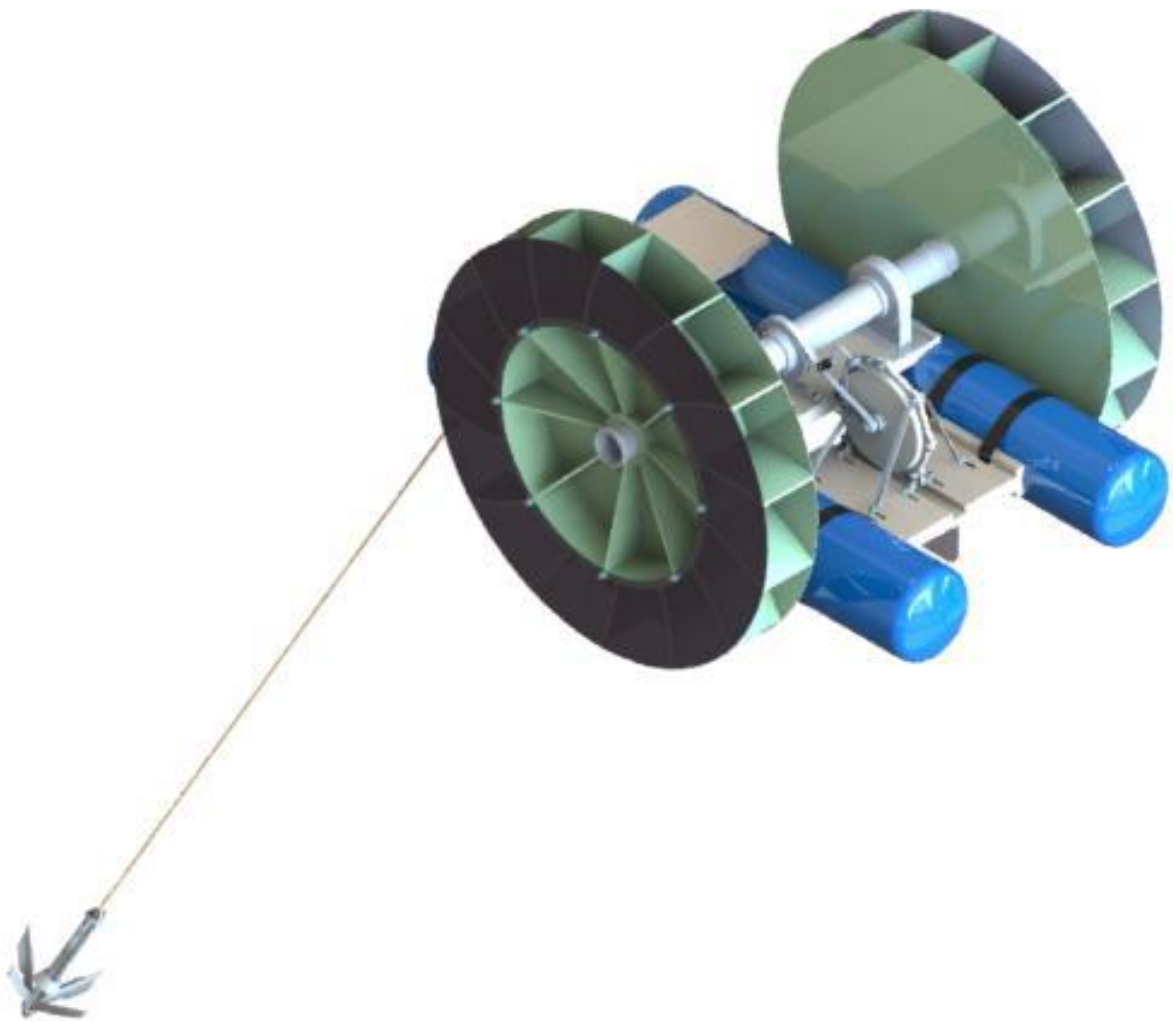


Рисунок 2.6 - Міні-ГЕС

Установка складається з 2-х понтонів, які зв'язані між собою дерев'яними несучими балками-поперечками. Для зручного транспортування та встановлення, кріплення балок до понтонів виконано через ремені, які

натягуються, що дозволяє швидко і надійно прикріпити поперечки до понтонів (рис. 2.7).

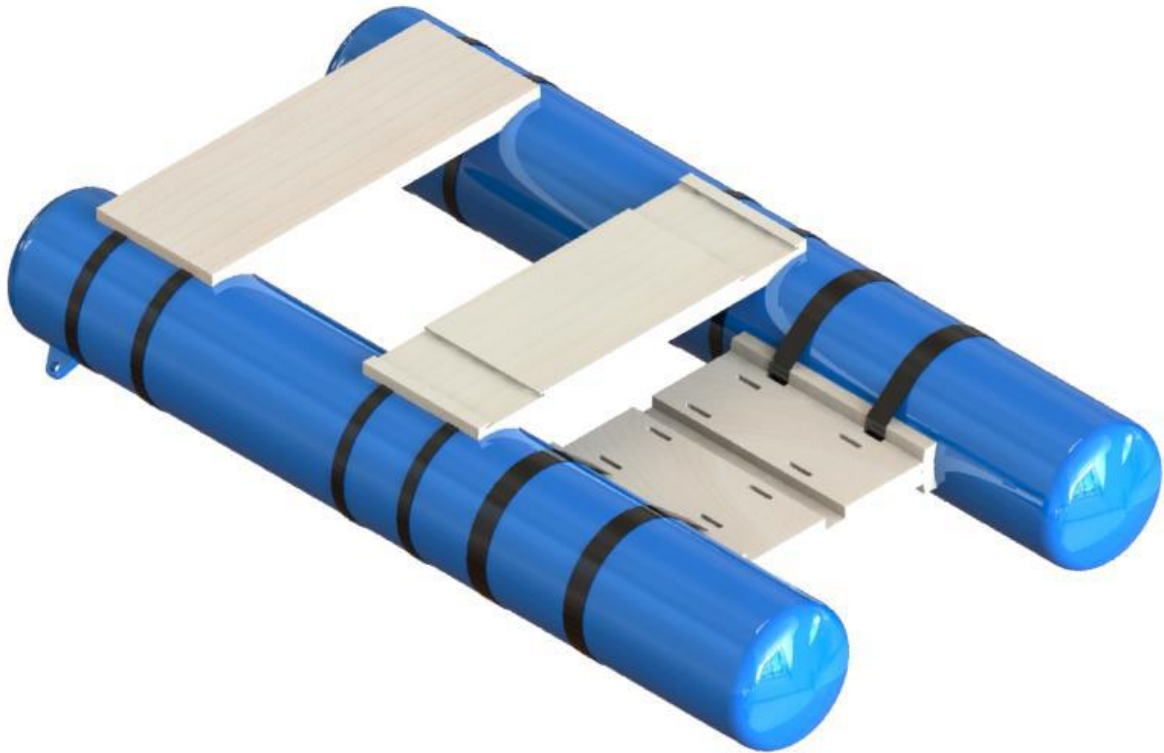


Рисунок 2.7 - Основа установки

У балках передбачені спеціальні прорізи для встановлення навісного обладнання та його регулювання.

Також для цієї установки розроблено спеціальний підшипник (рис. 2.8), оскільки вал установки виконаний із каналізаційної труби. Робочим тілом підшипника є тенісна кулька, що забезпечує ремонтпридатність.

Основа підшипника виконана з металу, зручно взяти алюміній, оскільки він корозійностійкий.

Підшипник встановлюється у спеціальні пази на балці (рис.2.9), фіксується за допомогою вкручування шурупів через нижній лист опори підшипників у балку.

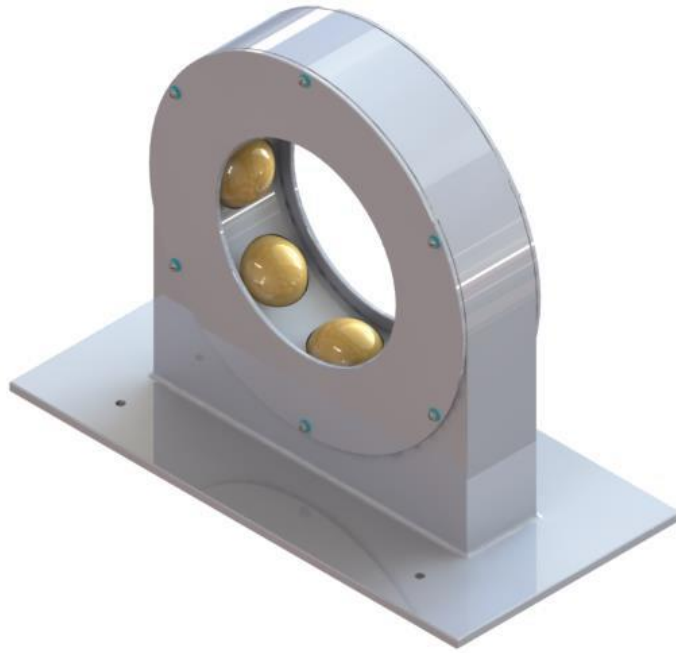


Рисунок 2.8 - Підшипник

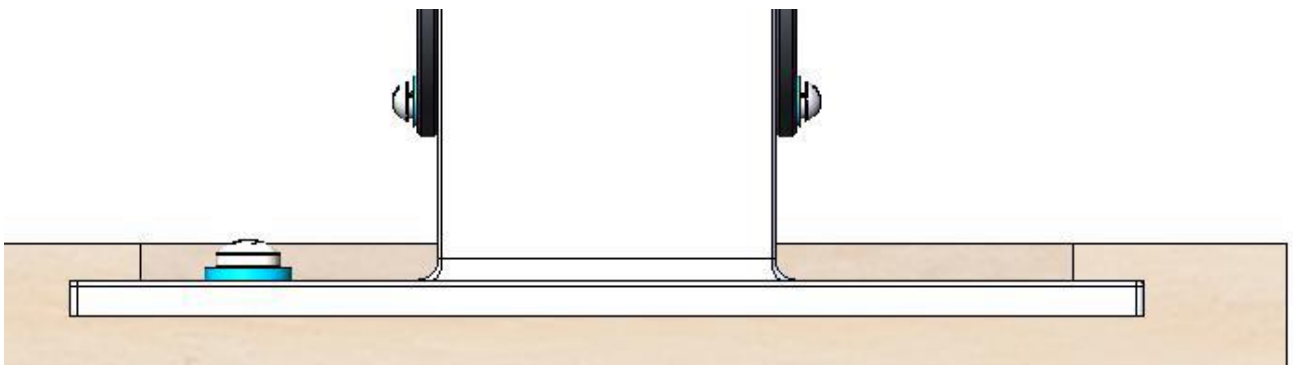
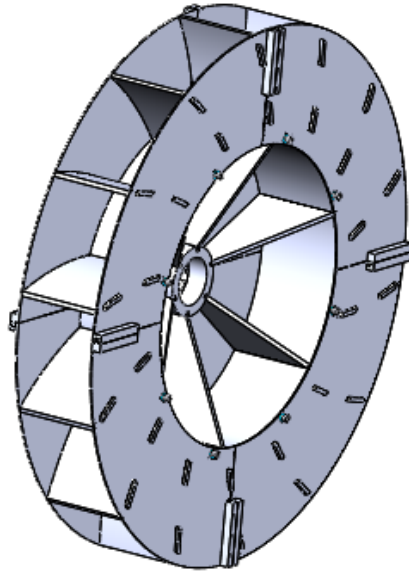


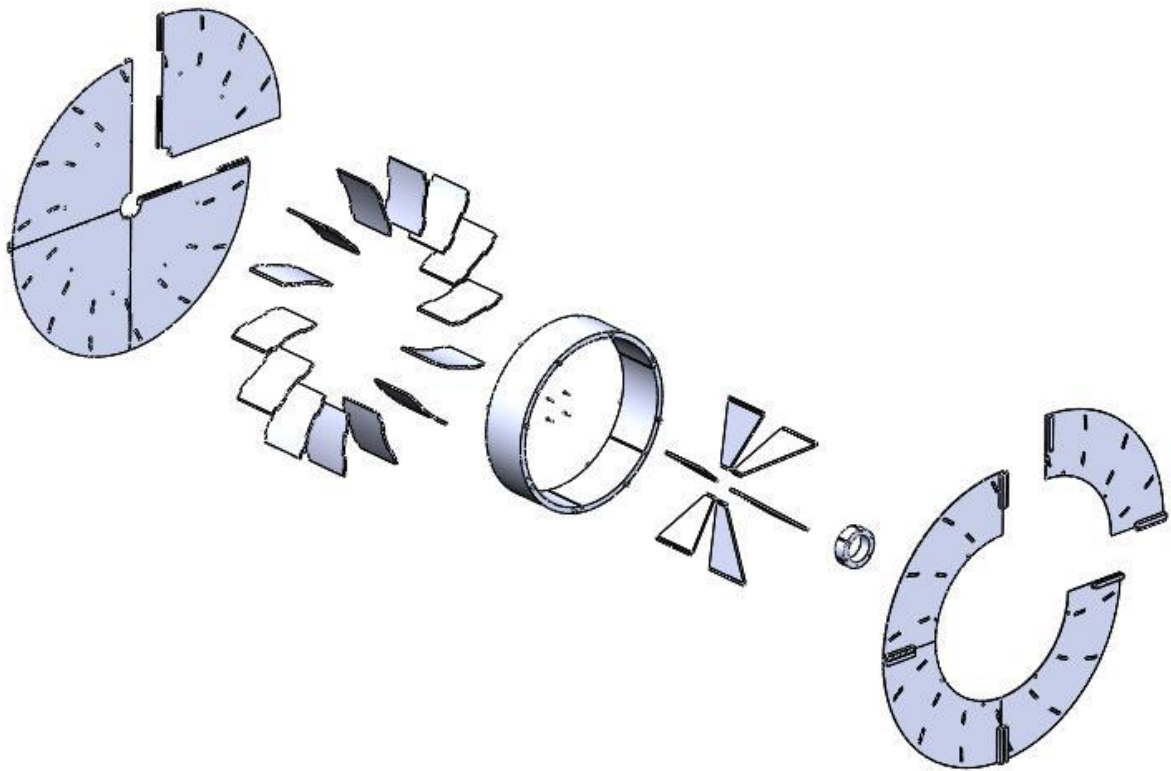
Рисунок 2.9 - Кріплення підшипників на установці

Робочим тілом установки є колесо міні-ГЕС, яке для зручного транспортування та компактності виконане розбірним (рис. 2.10), щоб поміщалася у багажник автомобіля.





a)



б)

Рисунок 2.10 - Розбірне колесо міні-ГЕС

а - колесо, б - рознесений вид

Вал для установки виконаний з каналізаційної труби діаметром 110 мм та довжиною 1000 мм та 250 мм. Зібраний вал установки представлений на рис.2.11. Кріплення всіх частин валу відбувається за допомогою вкручування шурупів.

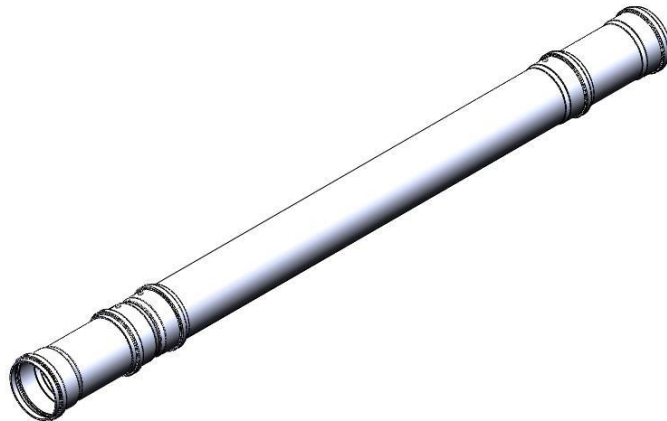


Рисунок 2.11 - Вал установки

Для фіксації валу в осьовому напрямку в установці передбачені стопорні кільця (рис. 2.12), які встановлюються безпосередньо перед підшипником. Кріпиться стопорне кільце до валу шляхом вкручування шурупів.

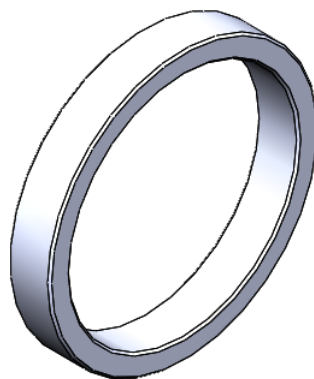


Рисунок 2.12 - Стопорне кільце

Для передачі крутного моменту була спроектована ремінна зубчаста передача (рис. 2.13), оскільки така передача забезпечує високе передавальне відношення, не прослизає від попадання води у передачу та відносно недорога. Шків виконаний із пластику. Передаточне відношення 1:50. Натяг ремня можна регулювати такими способами:

1. Балка розташовується на понтонах довільно по довжині понтону. Прикріплюється до понтона за допомогою ременів.
2. Для розташування генератора на балці в балці передбачені прорізи для більш точного регулювання натягу ремня.

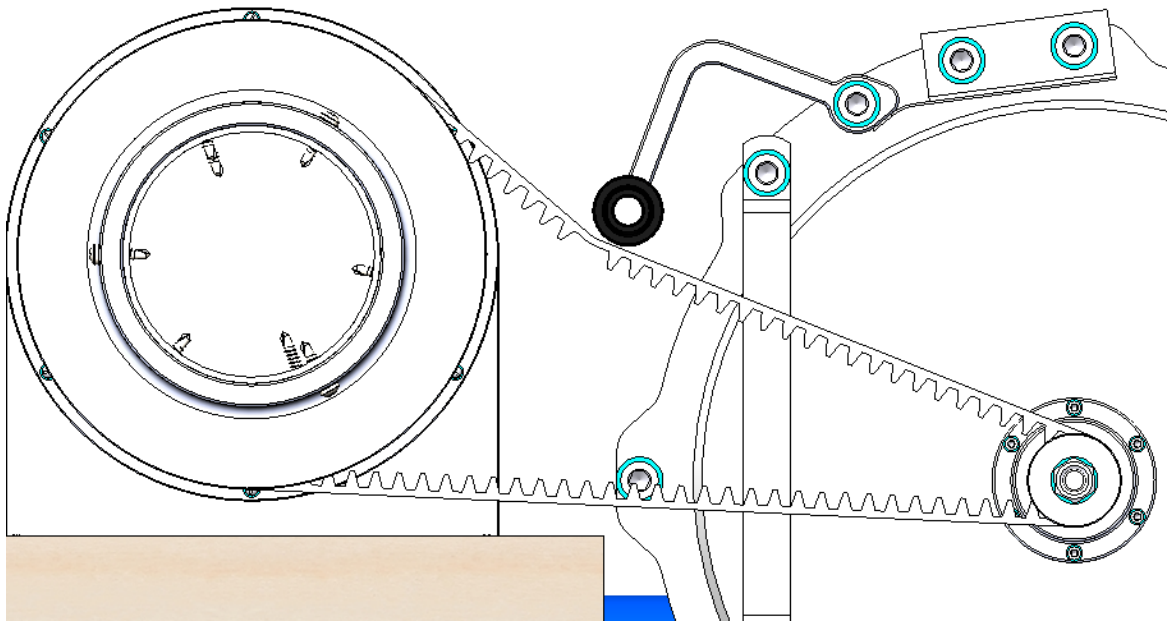


Рисунок 2.13 - Ремінна передача

Для запобігання перескакуванню зубів ремня при похитуванні на хвилях, передбачено натяжний ролик (рис. 2.14), який постійно перебуває під тиском.

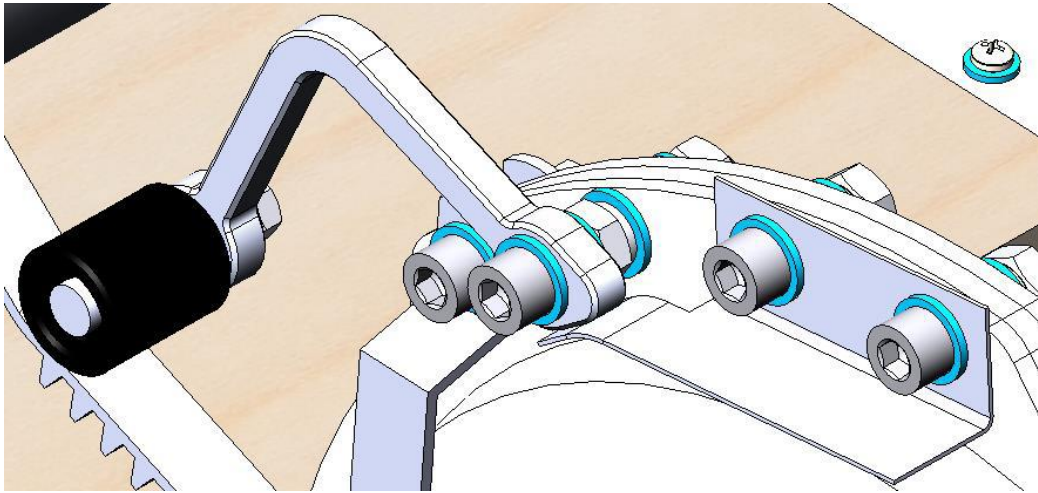


Рисунок 2.14 - Натяжний ролик

Для генерування електроенергії встановлено генератор (рис. 2.15), який працює на постійних магнітах.



Рисунок 2.15 - Електрогенератор

Для надання жорсткості установці при кріпленні її на воді за допомогою якорів встановлено третю розпірну балку (рис. 2.16).

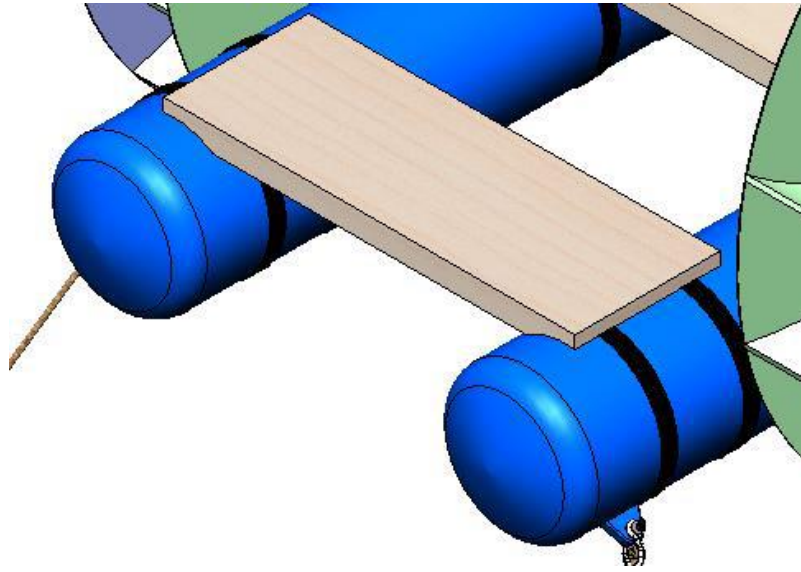


Рисунок 2.16 - Третя балка

Для фіксування установки в потоці води передбачено два складні якорі (рис. 2.17). Така кількість була вибрана, щоб установка не бовталася по всій ширині русла річки, а стояла в точному вибраному положенні.

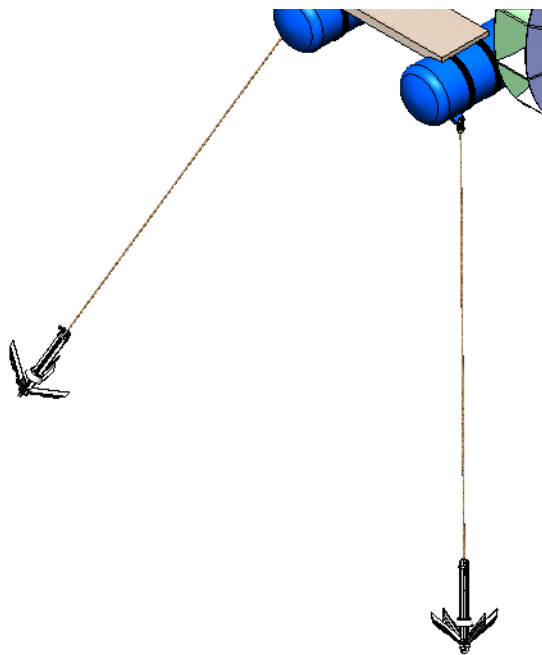


Рисунок 2.17 – Кріплення установки на поверхні води

Також для орієнтації установки в потоці води було передбачено кіль (рис. 2.18).

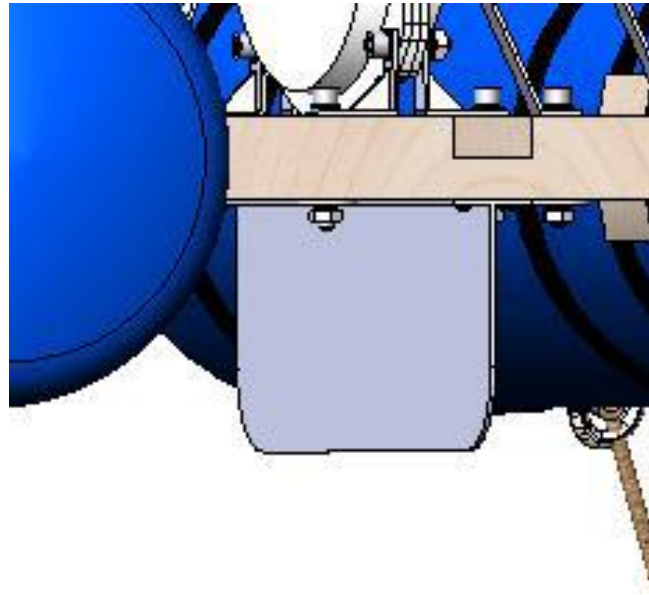


Рисунок 2.18 - Кіль

Розроблена установка може поміститися у автомобілі при необхідності її переміщення. На рисунку 2.19 представлено компонування установки у транспортному вигляді (коробці).

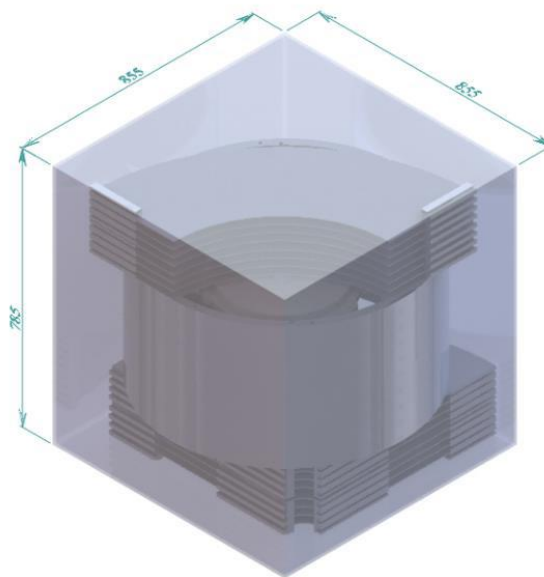


Рисунок 2.19 - Розбірне колесо міні-ГЕС, укладене в коробку



Спроектowana установка помістилася в коробочку з габаритами 855x855x705 мм. Зібране встановлення на воді зображене на рисунку 2.20:

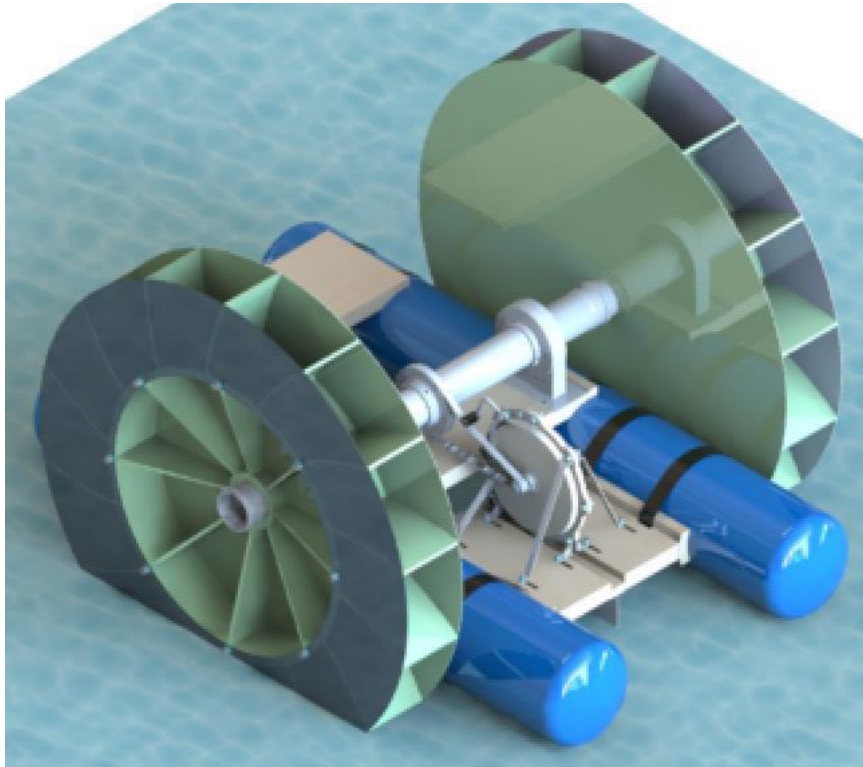


Рисунок 2.20 - Міні-ГЕС на воді

Також можна встановити не одну таку станцію, а допустимо кілька (рис. 2.21)

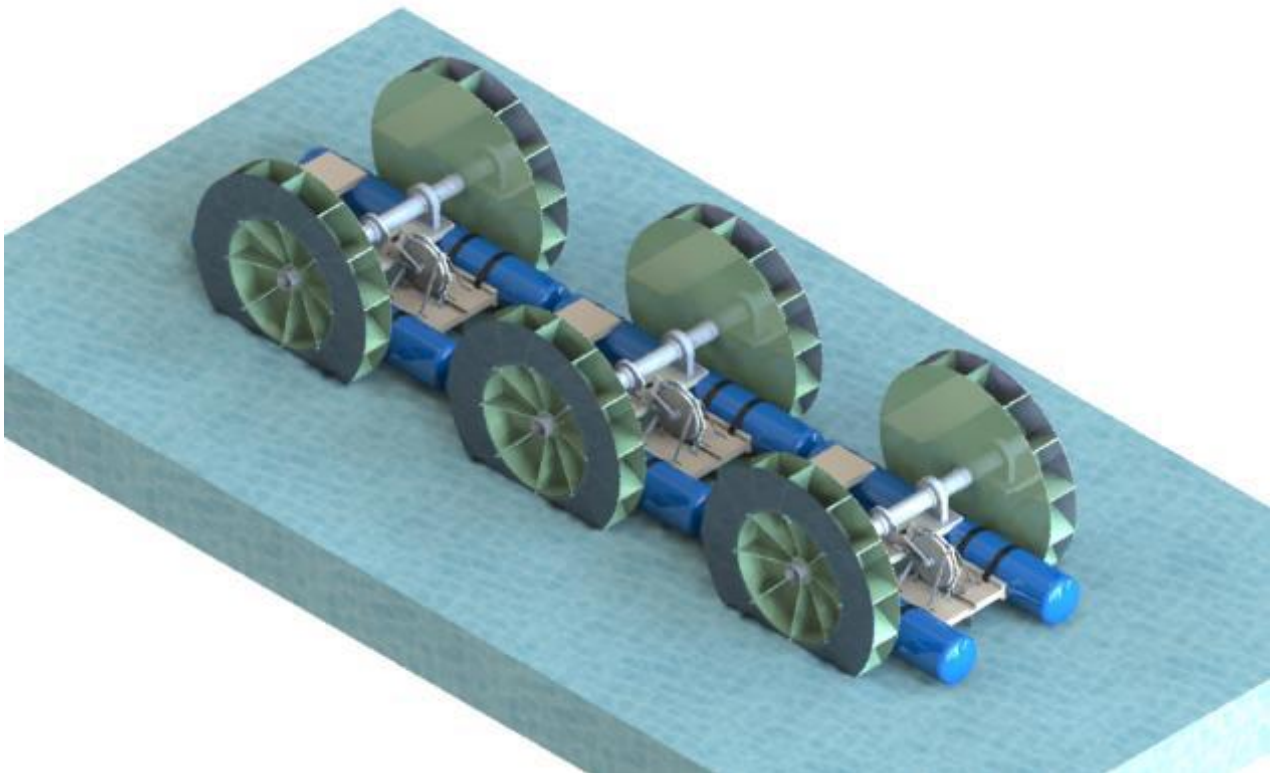


Рисунок 2.21 - Модульність

У процесі установки конструкції на воду та кріплення її на дні, потрібно буде регулювати довжину тросів (мотузки) якорів. У першому варіанті потрібно вручну підтягувати мотузку (рис. 2.22).

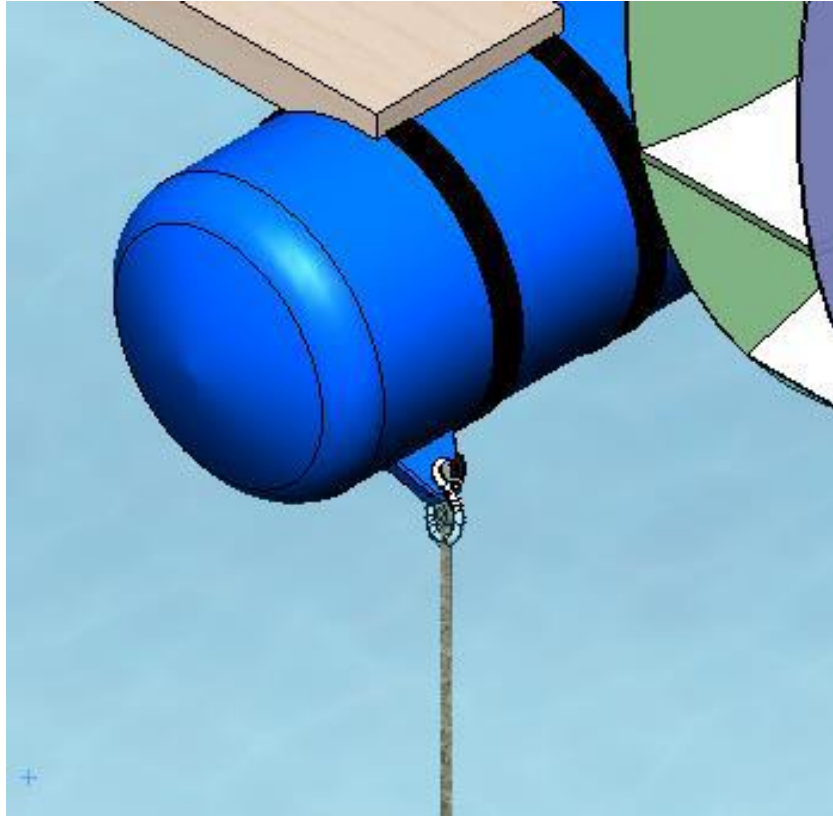


Рисунок 2.22 - Перший варіант кріплення якоря

Для зручності встановлення у напрямку вздовж потоку, і з врахуванням нерівного дна в енергоустановці передбачено регулювання довжини тросів якорів. На відміну від першого варіанту, для натягування мотузки якіра слід просто покрутити за рукоятку (рис. 2.23).

Також для того щоб установку не зносило бічним вітром у конструкції передбачено третій якір спереду (рис. 2.24).



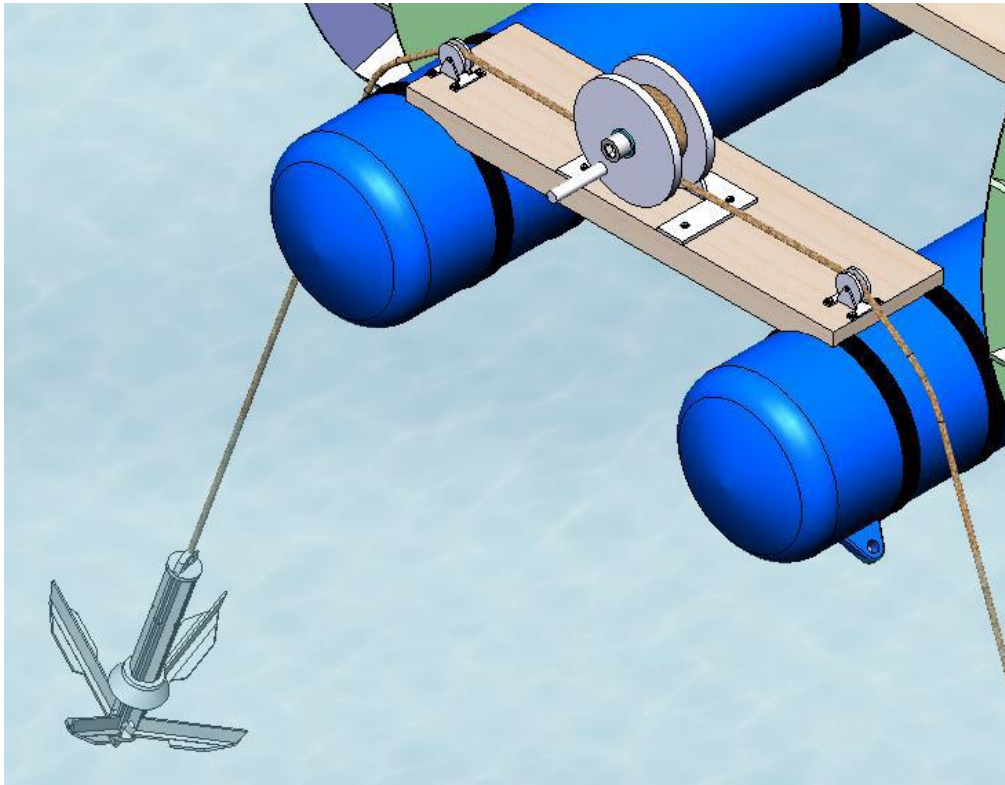


Рисунок 2.23 - Регулювання тросів якорів

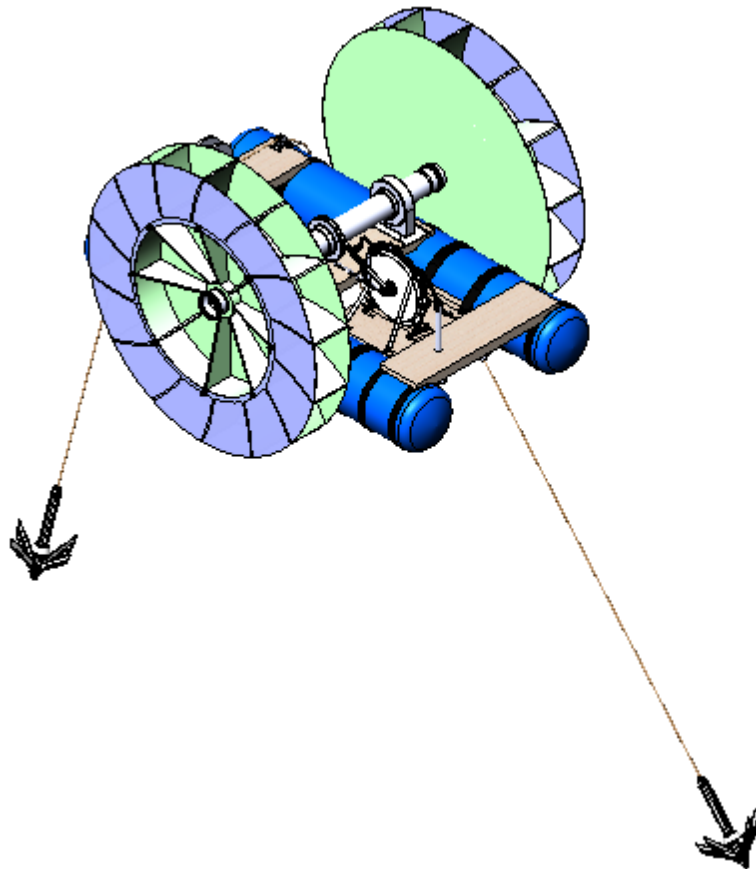


Рисунок 2.24 - Кріплення установки на дні

Вивід струмопровідного дроту з генератора проходить через передню частину установки для цього там встановлена штанга(рис. 2.25), в яку поміщається провід і далі тягнеться на берег.

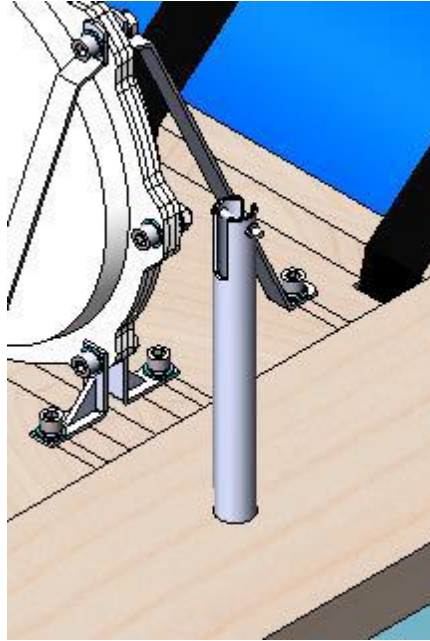


Рисунок 2.25 - Штанга для виведення дроту

#### Комплектація розробленої установки

1. Колеса;
2. Понтони;
3. Вал;
4. Лаги;
5. Генератор;
6. Ремінь;
7. Шків;
8. Підшипники;
9. Якоря;
10. Мотузки;
11. Кіль;
12. Кріплення;

13. Бухта з кабелем (довжина може змінюватись).

Як опцію можна встановити бобіну з мотузкою для точнішого регулювання напрямку установки, також можна додати в комплектацію: акумулятор, контролер, ще одну бухту з кабелем.

Далі проведемо підрахунок ємності акумулятора [8].

Ми маємо критичне навантаження 800 Вт, яке вимагає резервування протягом 1 години, а також напруга 12 В. Порахуємо ємність для батареї за наступною формулою:

$$Q = 800 \cdot 1/12 \cdot 0,7 = 40 \text{ A}\cdot\text{год}.$$

Так розраховується мінімальна ємність. Найчастіше слід вважати об'єм АКБ із невеликим запасом (наприклад, 20 %). У такому випадку батарея пропрацює максимальну кількість часу. Тоді

$$Q = 40 \cdot 1,2 = 48 \text{ A}\cdot\text{год}.$$

Для зарядки літійового (Li-ion) акумулятора (рис. 2.26) потрібна напруга 4,2 В і струм заряду дорівнює половині ємності, тобто 24 А.

Тоді максимальна потужність, яка забезпечується зарядним пристроєм (рис. 2.27) не повинна перевищувати [9]:

$$P = 4,2 \cdot 24 = 100,8 \text{ Вт}.$$



Рисунок 2.26 - Li-іон акумулятор



Рисунок 2.27 - Контролер

## 2.5 Висновки до розділу

1. Проведено аналіз споживання електроенергії житловий об'єктом таким як дачний будинок та побудовано графік енергоспоживання впродовж доби.
2. Розглянуто основні складові частини міні-ГЕС.

3. Для проектованої установки вибрано ковшові турбіни, оскільки вони найбільше підходять для річкової течії. Для решти потрібна більш висока швидкість або будівництво додаткових споруд, які в багатьох умовах буде складно встановити.

4. Виведено формулу розрахунку кількості лопатей водяного колеса, через діаметр колеса та глибину, для найефективнішої роботи міні-ГЕС. Проведено розрахунок числа лопатей у програмному продукті MS Excel.

5. На основі проведених розрахунків вибрано генератор потужністю 200 Вт.

6. Представлено 3D моделі енергетичної установки міні-ГЕС. Наведено опис її конструкції, ролі кожних компонентів та специфіки використання у реальних умовах. Конструкцію пропонується зробити розбірною для можливості транспортування, якщо житловий об'єкт також має можливість переміщення, наприклад кемпінговий будинок на колесах.

7. Наведено розрахунок ємності літійового (Li-ion) акумулятора.

### 3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

#### 3.1 Принципова схема міні-ГЕС

Колесо міні-ГЕС 1 жорстко з'єднане з валом 2 (рис. 3.1). Вал 2 знаходиться в підшипнику 3, який у свою чергу жорстко прикріплений на понтоні 4. Також на вал 2 жорстко прикріплений шків 5 ремінної передачі. Ремінь 6 з'єднує два шківів 5 та 7, які знаходяться на валу 2 і на генераторі 8 відповідно. Генератор 8 жорстко прикріплений до понтону 4.

Течія води діє на колесо міні-ГЕС, в результаті колесо обертається і передає енергію обертання на вал, а потім через ремінну передачу на генератор. В результаті виробляється електроенергія.

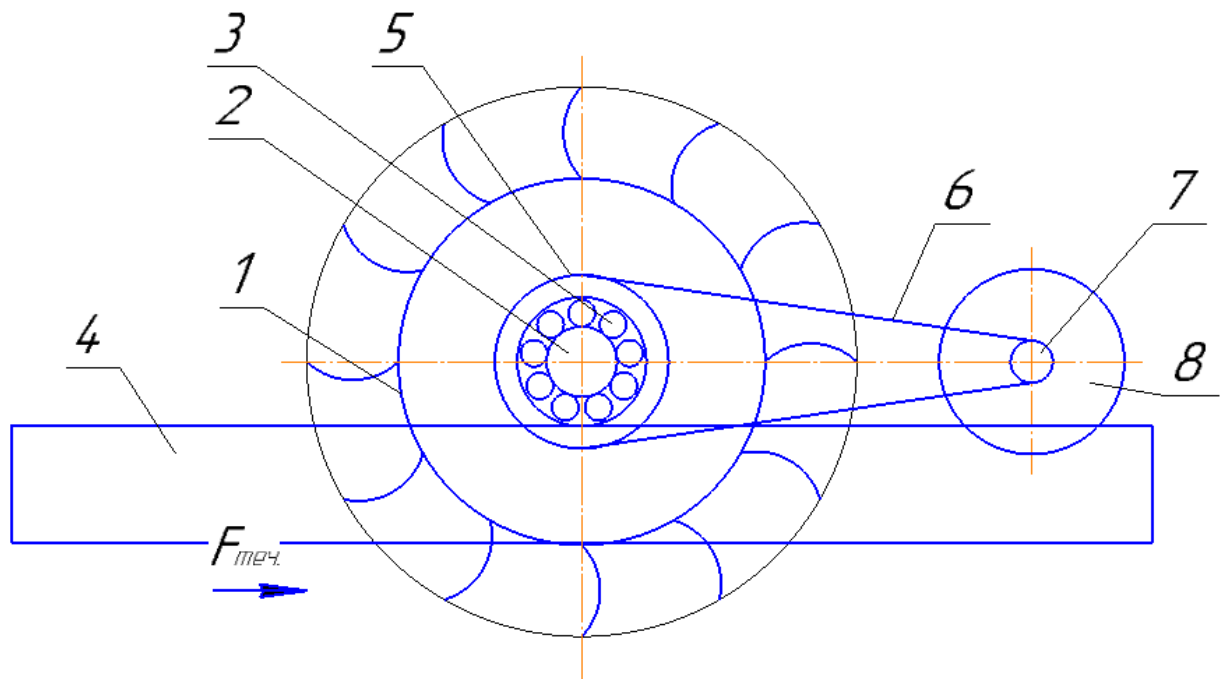


Рисунок 3.1 – Схема установки

- 1 – колесо; 2 – вал;
- 3 – підшипник; 4 – понтон;
- 5 – шків; 6 – ремінь;
- 7 - шків; 8 – генератор.

Розглянемо, як використовувати енергію річкової течії, де робочим тілом буде колесо міні-ГЕС (рис. 3.2). [2] Лопать знаходиться в потоці рідини зі швидкістю  $V_{теч.}$  (рис. 3.2) У початковому положенні швидкість лопаті дорівнює нулю. В результаті переміщення лопаті сила разом із кутом атаки  $\alpha$ .

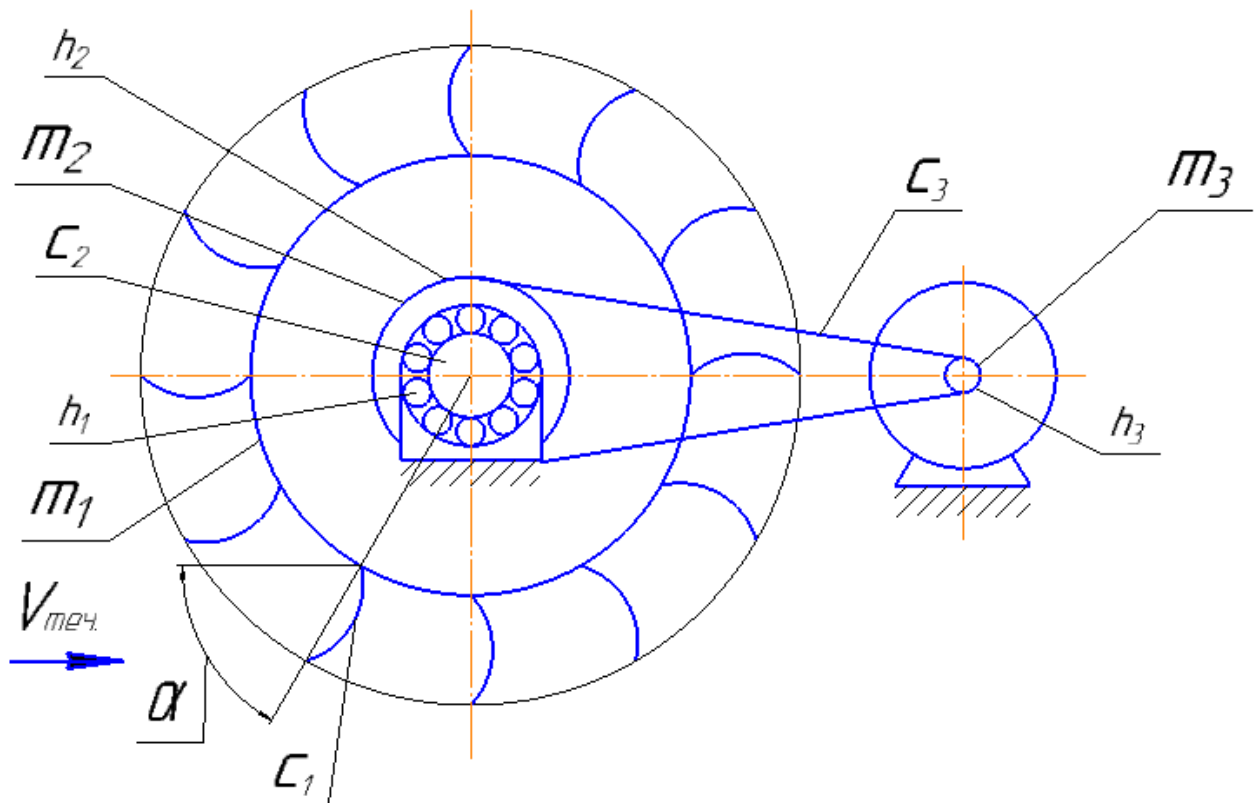


Рисунок 3.2 - Принципова схема установки

$V_{теч.}$  - швидкість течії (потіку) рідини;

$t_1$  - колесо;

$m_{2,3}$  - маса шківів;

$c_1$  - жорсткість валу;

$c_2$  - жорсткість ременя;

$h_1$  - тертя у підшипнику;

$h_{2,3}$  - тертя у ремені;

### 3.2 Математична модель установки

У русі перше тіло наводить швидкість  $V_{ext}$ , це є зовнішнім (що задає) впливом, тобто швидкість течії (рис. 3.3).

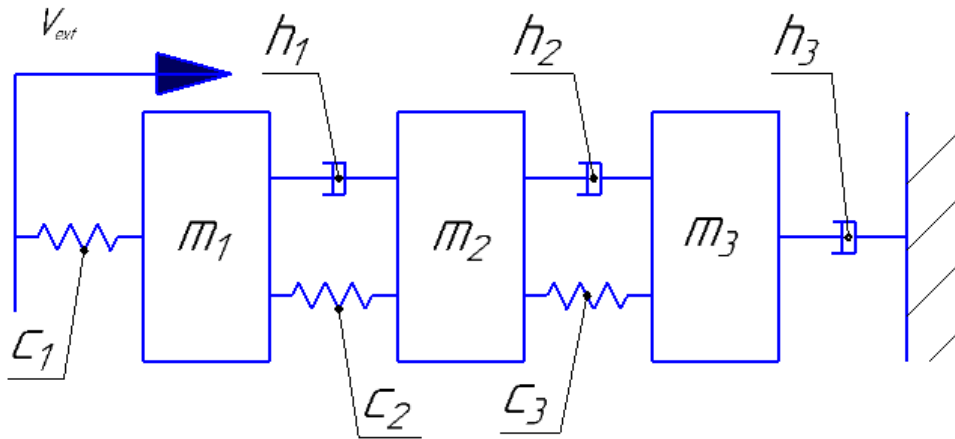


Рисунок 3.3 – Розрахункова схема трьох масової системи

$V_{ext}$  – швидкість потоку рідини;

$m_1$  – колесо;

$m_{2,3}$  – маса шківів;

$c_1$  – жорсткість валу;

$c_2$  – жорсткість ременя;

$h_1$  – тертя у підшипнику;

$h_{2,3}$  – тертя у ремені;

Перше тіло масою  $m_1$  (маса колеса) приймає вплив від  $V_{ext}$  через пружину  $c_1$  (жорсткість лопаті) і передає другому тілу через вал з коефіцієнтом жорсткості  $c_2$  (жорсткість валу) та демпфер  $h_1$  (тертя у підшипнику) (рис.3.4). Друге тіло приймає зусилля від першого тіла через пружину  $c_2$  та демпфер  $h_1$  і чинить опір за допомогою пружини  $c_3$  та демпферу  $h_2$ . У свою чергу тіло 2 діє на тіло з масою 3 через пружину  $c_3$  та демпфер  $h_2$ , які є жорсткістю ременя та тертя на шківі відповідно (рис.3.5). Тіло 3 чинить опір цьому впливу через демпфер  $h_3$ , який є тертям на шківі генератора. (рис.3.6)



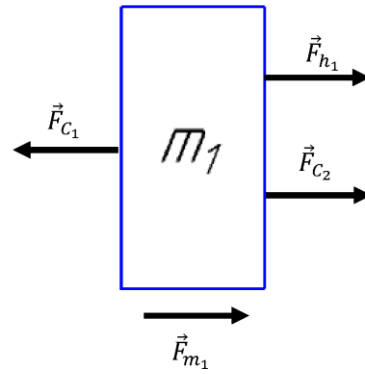


Рисунок 3.4 – Сили, що діють на перше тіло системи

$\vec{F}_{c_1}$  - сила пружності лопаті, зовнішній вплив;

$\vec{F}_{m_1}$  – сила інерції першого тіла;

$\vec{F}_{h_1}$  – сила тертя в підшипнику;

$\vec{F}_{c_2}$  – сила пружності валу.

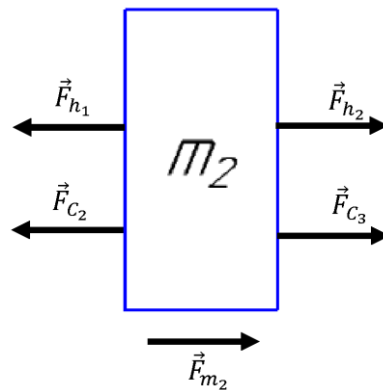


Рисунок 3.5 - Сили, що діють на друге тіло системи

$\vec{F}_{h_1}$  – сила тертя в підшипнику;

$\vec{F}_{c_2}$  – сила пружності валу;

$\vec{F}_{m_2}$  - сила інерції другого тіла;

$\vec{F}_{c_3}$  – сила пружності ременя;

$\vec{F}_{h_2}$  - сила тертя ременя об шків.

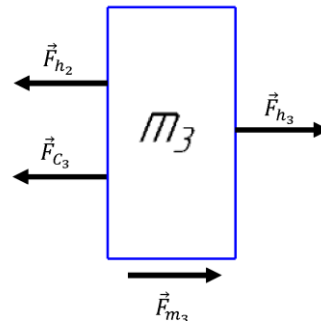


Рисунок 3.6 – Сили, що діють на третє тіло системи

$\vec{F}_{c_3}$  – сила пружності ременя;

$\vec{F}_{h_2}$  - сила тертя ременя об шків.

$\vec{F}_{m_3}$  – сила інерції третього тіла;

$\vec{F}_{h_3}$  - сила тертя ременя об шків.

Зовнішня сила  $V_{ext}$  визначається за формулою (3.1).

$$V_{ext} = V_{Теч} \cdot \cos \omega t ; \quad (3.1)$$

де,  $V_{Теч}$  - швидкість течії води, м/с;

Для даної системи зовнішнім впливом буде сила  $F_{c1}$ , яка з рівняння (3.2).

$$F_{c1} = c_1 \cdot x_{ext} - x_1 ; \quad (3.2)$$

де  $c_1$  - жорсткість лопаті;

$x_1$  - переміщення першого тіла;

$x_{ext}$  - зовнішнє переміщення;

Зовнішнє переміщення буде рівним:

$$\begin{aligned}
 x_{ext} &= \int_0^t V_{ext} dt; \\
 x_{ext} &= \frac{V_{Teu}}{\omega} \cdot \sin \omega t ;
 \end{aligned}
 \tag{3.3}$$

Виходячи зі схеми складемо рівняння балансу сил для першого тіла (3.4).

$$F_{c1} = F_{m1} + F_{h1} + F_{c2}. \tag{3.4}$$

Замінімо  $F_{m1}$ ,  $F_{c1}$ ,  $F_{h1}$ ,  $F_{c2}$  і підставимо в рівняння вище, тоді отримаємо (3.5).

$$c_1 \cdot x_{ext} - x_1 = m_1 \cdot a_1 + h_1 \cdot v_1 - v_2 + c_2 \cdot x_1 - x_2 ; \tag{3.5}$$

З рівняння, що отримали вище, виразимо прискорення  $a_1$  (3.6):

$$a_1 = \frac{c_1 \cdot x_{ext} - x_1 - h_1 \cdot v_1 - v_2 - c_2 \cdot x_1 - x_2}{m_1}; \tag{3.6}$$

Наступним кроком є складання рівняння балансу сил другого тіла:

$$F_{c2} + F_{h1} = F_{m2} + F_{c3} + F_{h2}. \tag{3.7}$$

Замінімо  $F_{c2}$ ,  $F_{h1}$ ,  $F_{m2}$ ,  $F_{c3}$ ,  $F_{h2}$  і підставимо в рівняння вище, тоді отримаємо (3.8).

$$h_1 \cdot v_1 - v_2 + c_2 \cdot x_1 - x_2 = m_2 \cdot a_2 + c_3 \cdot x_2 - x_3 + h_2 \cdot v_2 - v_3 ; \tag{3.8}$$

З рівняння, що отримали вище, виразимо прискорення  $a_2$ :

$$a_2 = \frac{h_1 \cdot v_1 - v_2 + c_2 \cdot x_1 - x_2 - c_3 \cdot x_2 - x_3 - h_2 \cdot v_2 - v_3}{m_2}; \quad (3.9)$$

Наступним кроком є складання рівняння балансу сил третього тіла (3.10).

$$F_{c3} + F_{h2} = F_{m3} + F_{h3} \quad (3.10)$$

Замінімо  $F_{c3}$ ,  $F_{h2}$ ,  $F_{m3}$ ,  $F_{h3}$  і підставимо на рівняння вище, тоді отримаємо (3.11):

$$c_3 \cdot x_2 - x_3 + h_2 \cdot v_2 - v_3 = m_3 \cdot a_3 + h_3 \cdot v_3; \quad (3.11)$$

З рівняння, що отримали вище, виразимо прискорення  $a_3$ :

$$a_3 = \frac{c_3 \cdot x_2 - x_3 + h_2 \cdot v_2 - v_3 - h_3 \cdot v_3}{m_3}; \quad (3.12)$$

Розробка математичної моделі ґрунтується на рівняннях першого, другого та третього тіла (рис. 3.4-3.6), складемо загальну систему, що складається з рівнянь (3.13).

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{c_1 \cdot x_{ext} - x_1 - h_1 \cdot v_1 - v_2 - c_2 \cdot x_1 - x_2}{m_1}; \\ a_2 &= \frac{h_1 \cdot v_1 - v_2 + c_2 \cdot x_1 - x_2 - c_3 \cdot x_2 - x_3 - h_2 \cdot v_2 - v_3}{m_2}; \\ a_3 &= \frac{c_3 \cdot x_2 - x_3 + h_2 \cdot v_2 - v_3 - h_3 \cdot v_3}{m_3}; \end{aligned} \quad (3.13)$$

Далі складаємо систему рівнянь із наведених вище рівнянь, яка входить в математичну модель даного пристрою (3.14).

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx_1}{dt} = v_1; \\ \frac{dv_1}{dt} = \frac{c_1 \cdot (x_{ext} - x_1) - h_1 \cdot (v_1 - v_2) - c_2 \cdot (x_1 - x_2)}{m_1}; \\ \frac{dx_2}{dt} = v_2; \\ \frac{dv_2}{dt} = \frac{h_1 \cdot (v_1 - v_2) + c_2 \cdot (x_1 - x_2) - c_3 \cdot (x_2 - x_3) - h_2 \cdot (v_2 - v_3)}{m_2}; \\ \frac{dx_3}{dt} = v_3; \\ \frac{dv_3}{dt} = \frac{c_3 \cdot (x_2 - x_3) + h_2 \cdot (v_2 - v_3) - h_3 \cdot v_3}{m_3}; \end{array} \right. \quad (3.14)$$

Підбір параметрів системи.

Маса першого тіла:

$$m_1 = 10 \text{ кг};$$

Маса другого тіла:

$$m_2 = 2 \text{ кг};$$

Маса третього тіла:

$$m_3 = 0,5 \text{ кг};$$

Жорсткість лопаті (зі склопластику) дорівнює:

$$C_1 = 34000 \text{ Н/м};$$

Жорсткість валу:

$$C_2 = 25000 \text{ Н/м};$$

Жорсткість ременя:

$$C_3 = 100 \text{ Н/м};$$

Коефіцієнт демпфування дорівнює:

$$h_1 = 15 \text{ Н}\cdot\text{с/м};$$

$$h_2 = 1000 \text{ Н}\cdot\text{с/м};$$

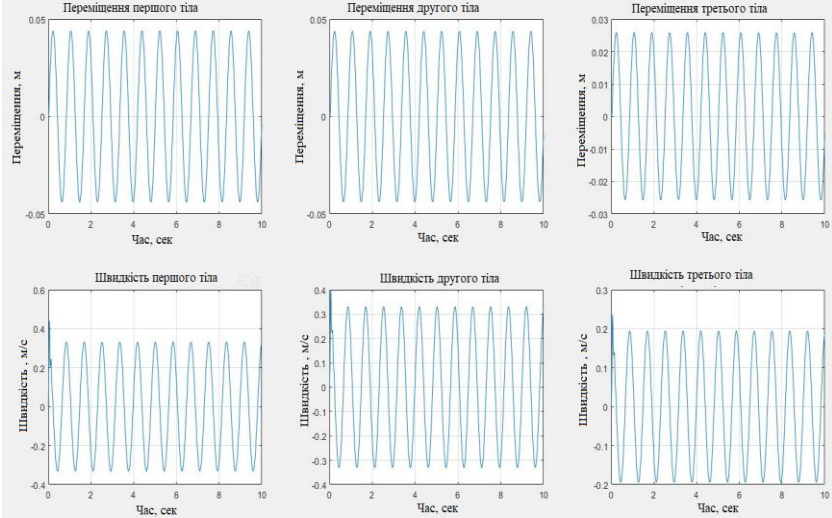
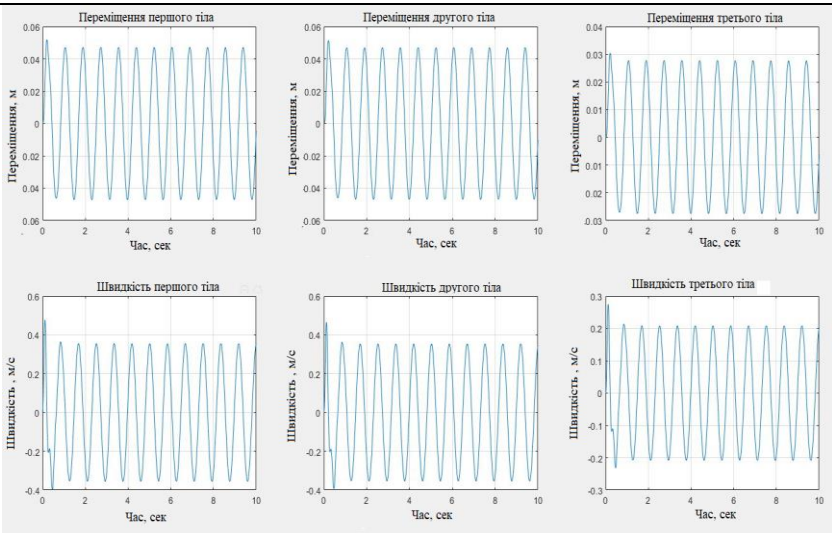
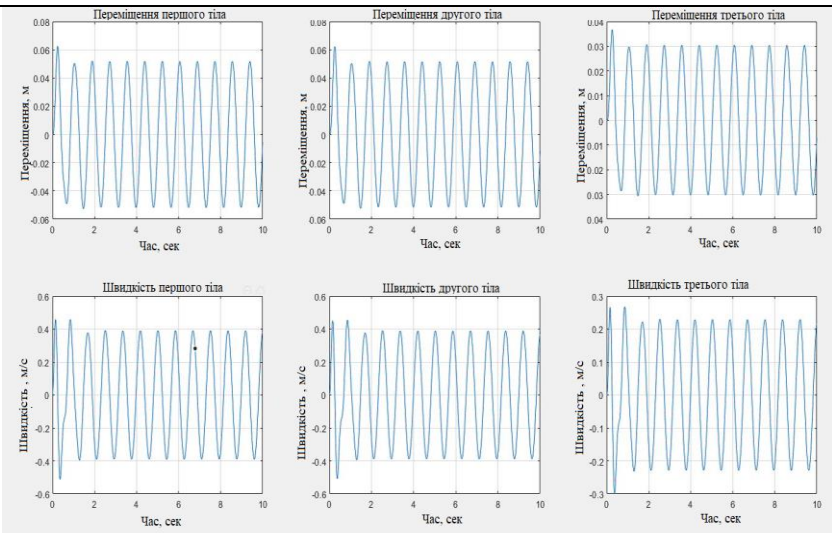
$$h_3 = 700 \text{ Н}\cdot\text{с/м}.$$

За приблизними розрахунками частота переміщення лопаті має бути щонайменше 1 разу в секунду.

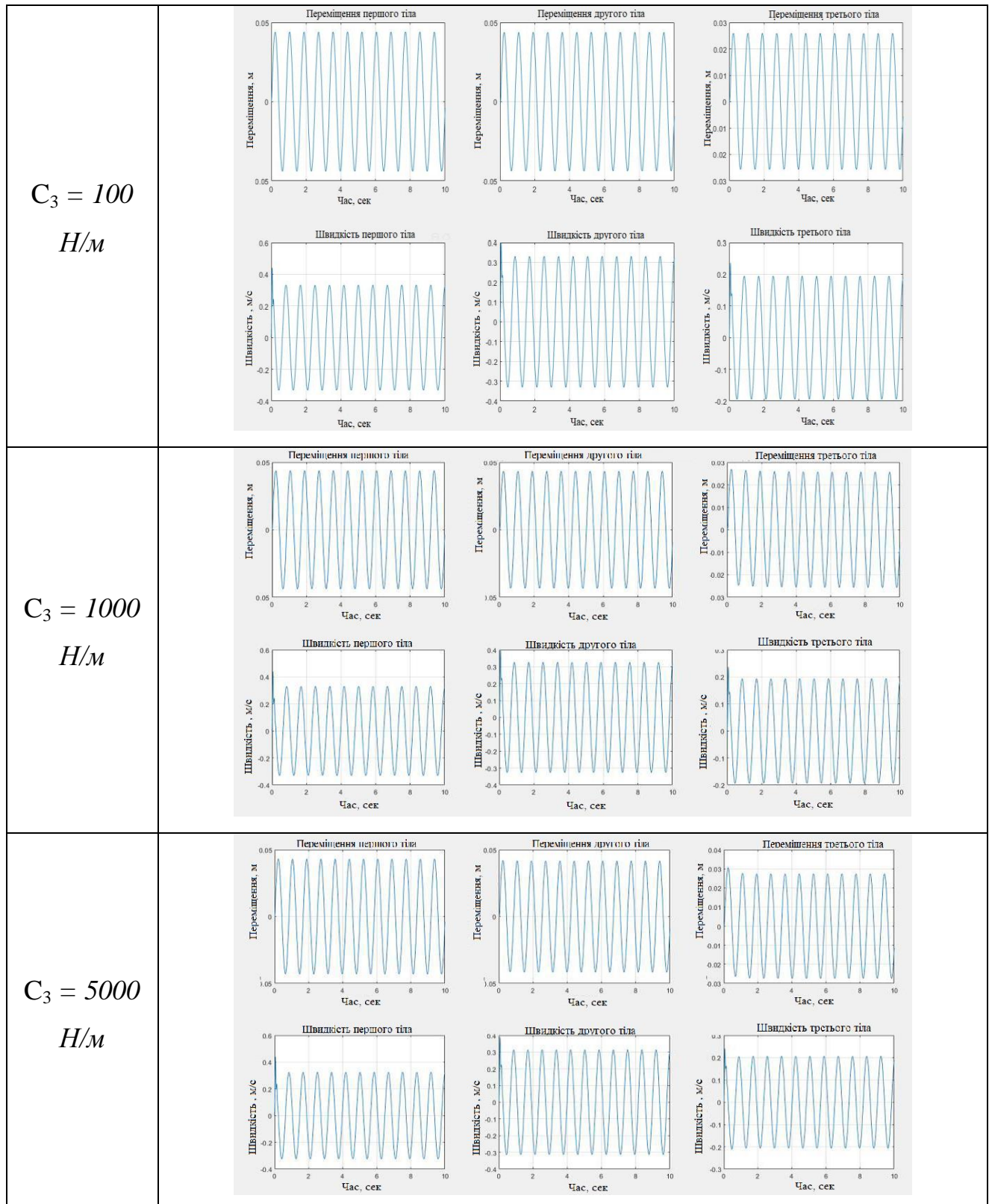
$$f_w = 1,2 \text{ Гц}.$$

Оптимальні результати дослідження у вигляді часових діаграм, представлені у табл. 3.1, 3.2

Таблиця 3.1 – Результати дослідження

$m_1 = 10 \text{ кг}$	 <p>Переміщення першого тіла</p> <p>Переміщення другого тіла</p> <p>Переміщення третього тіла</p> <p>Швидкість першого тіла</p> <p>Швидкість другого тіла</p> <p>Швидкість третього тіла</p>
$m_1 = 50 \text{ кг}$	 <p>Переміщення першого тіла</p> <p>Переміщення другого тіла</p> <p>Переміщення третього тіла</p> <p>Швидкість першого тіла</p> <p>Швидкість другого тіла</p> <p>Швидкість третього тіла</p>
$m_1 = 100 \text{ кг}$	 <p>Переміщення першого тіла</p> <p>Переміщення другого тіла</p> <p>Переміщення третього тіла</p> <p>Швидкість першого тіла</p> <p>Швидкість другого тіла</p> <p>Швидкість третього тіла</p>

Таблиця 3.2 – Результати дослідження



За результатами дослідження можна сказати, що найкращі умови використання установки з найменшою масою лопаті та найменшою жорсткістю ременя. Тобто ці параметри зменшують в установці зайвих коливання під час роботи.

### 3.3 Висновки до розділу

1. Отримано математичну модель енергоустановки міні-ГЕС.
2. Досліджено динаміку обертання частин установки для отримання електроенергії з потоку рідини у програмі Matlab з використанням математичної моделі.
3. У фізичній моделі пристрою коефіцієнт пружності характеризується жорсткістю лопаті. Жорсткість лопаті залежить від швидкості течії річки, а також від кута кочення лопаті.
4. За результатами дослідження можна сказати, що найкращі умови використання установки з найменшою масою лопаті та найменшою жорсткістю ременя. Тобто ці параметри зменшують в установці зайвих коливання під час роботи.



## **4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **4.1 Заходи безпеки при монтажі електроустановок**

Роботи в електроустановках, що стосується заходів безпеки, діляться на три категорії [10]: 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.

## **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) [10]. 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 струмоведучих 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.

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.

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 Концепція захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій природного походження**

8 червня 2012 р. Президент України підписав Закон України "Про захист населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру" [11].

Цей Закон визначає організаційні та правові основи захисту громадян України та громадян інших держав, які перебувають на території України, захисту об'єктів виробничого і соціального призначення, довкілля від захисту об'єктів виробничого і соціального призначення, довкілля від надзвичайних ситуацій природного характеру .

Захист населення і територій від надзвичайних ситуацій природного характеру це — система організаційних, технічних, медико-біологічних, фінансово-економічних та інших заходів для запобігання та реагування на надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру і ліквідації їх наслідків, що реалізуються центральними і місцевими органами виконавчої влади, органами місцевого самоврядування, відповідними силами та засобами підприємств, установ та організацій, незалежно від форм власності й господарювання, добровільними формуваннями і спрямовані на захист населення і територій, а також матеріальних і культурних цінностей та довкілля.

Законодавство України у сфері захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій природного характеру базується на Конституції України, цьому Законі й Законі України "Про правовий режим надзвичайного стану" та інших нормативно-правових актах.

Основними завданнями у сфері захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій природного характеру є:

— здійснення комплексу заходів для запобігання надзвичайним ситуаціям техногенного та природного характеру та реагування на них;

— забезпечення готовності та контролю за станом готовності до дій і взаємодій органів управління у цій сфері, сил та засобів, призначених для запобігання надзвичайним ситуаціям техногенного та природного характеру і реагування на них.

Захист населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру здійснюється на принципах:

- пріоритетності завдань, спрямованих на рятування життя та збереження здоров'я і довкілля;

- надання переваги раціональній та превентивній безпеці;

- вільного доступу населення до інформації щодо захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій;

- урахування економічних, природних та інших особливостей територій і ступеня реальної небезпеки виникнення надзвичайних ситуацій;

- максимально можливого ефективного і комплексного використання наявних сил і засобів, призначених для запобігання надзвичайним ситуаціям і реагування на них.

У питаннях захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій природного характеру громадяни України мають право на:

- отримання інформації про надзвичайні ситуації, що виникли або можуть виникнути, та про заходи необхідної безпеки;

- забезпечення та використання засобів колективного й індивідуального захисту, які призначені для захисту населення від надзвичайних ситуацій у разі їх виникнення;

- соціально-психологічну підготовку та медичну допомогу;

- інші права у сфері захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру відповідно до законів України.

Для забезпечення реалізації державної політики захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій створюється єдина державна система органів виконавчої влади з питань запобігання надзвичайним ситуаціям природного характеру і реагування на них (далі єдина державна система), яка складається з територіальних і функціональних підсистем.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведено огляд сучасних автономних джерел енергії та проаналізовано їх конструкції.

2. Представлена конструкція міні-ГЕС, яка відповідає параметрам рік Тернопільської області. Установка виробляє 200 Вт на годину, що є достатнім для живлення низькопотужних споживачів, особливо, якщо це кемпінговий табір чи дачний будинок, які знаходяться біля берегу річки. Для підвищення генерованої потужності можна поставити декілька таких енергоустановок. Конструкція міні-ГЕС є розбірною, що дозволяє транспортувати у багажнику чи у причепі автомобіля. У зібраному стані установка займає місце 855x855x785 мм. У зібраному стані монтаж займає 1500x2000 мм.

3. Створено трьохвимірну модель установки міні-ГЕС.

4. В результаті теоретичних досліджень роботи установки виявлено високу парусність в осьовому напрямку колеса. Для уникнення зносу вітром установки передбачено 3 якорі, які надійно закріплюють за дно. Для більш точної орієнтації установки вздовж потоку передбачена катушка та мотузкою. В результаті обертання якої відбуватиметься коригування довжини якорів.

5. Розроблена міні-ГЕС є кінцевим продуктом, який може становити конкуренцію на ринку у відповідному сегменті.

6. Проведено дослідження з використанням математичної моделі енергоустановки. За результатами дослідження можна сказати, що найкращі умови використання установки з найменшою масою лопаті та найменшою жорсткістю ремня. Тобто ці параметри зменшують зайві коливання під час роботи установки.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Цогла М.В. Мала електроенергетика на прикладі мікрогес. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей X міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 24–25 листоп. 2021.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон.техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: 2021. Т. 2. – 48.
2. Australian Renewable Energy Website. Commonwealth of Australia, Australian Greenhouse Office,. – [Електронний ресурс]. – 1999. – Режим доступу до ресурсу: <http://acre.murdoch.edu.au/ago/hydro/hydro.html>
3. BuildingTECH. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://building-tech.org/kompaktnaya-mini-ges-rotor-smozhet-obespechit-elektroenergiej-nebolshoe-selo/>
4. Малая энергетика. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <http://rosinmn.ru/index.html>
5. От чего зависит цена мини-электростанции? [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: URL: <https://studopedia.org/9-46777.html>
6. Тарасенко М.Г., Зінь М.М. Шляхи прискорення темпів розвитку малої гідроенергетики України. Вісник КпНУ імені Михайла Остроградського. 2014. Вип. 4(87). С. 56–61.
7. Зінь М.М., Підгайний Ю.Б. Сучасні тенденції розвитку малих ГЕС в Україні / 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, м. Тернопіль, В-во ТНТУ, 2020, С. 203
8. Коваль В. П. Енергетична ефективність систем позиціонування плоских сонячних панелей / В. П. Коваль, Р. Р. Івасенчко, К. М. Козак // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2015. – № 3. – С. 2-10.
9. Коваль В.П. Зарядка електричних транспортних засобів на основі



безпроводної передачі енергії / П.П. Левчук // Матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 25-26 листопада 2020 року. — Т. : ТНТУ, 2020. — Том 2. — С. 117.

10. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Підручник/ В.Ц.Жидецький, В.С Джигирей, О.В.Мельников. – Вид. 5-те, доповнене. – Львів: Афіша, 2000. – 350 с.
11. Стеблюк М.І. Цивільна оборона та цивільний захист: Підручник. – 2-ге вид., перероб. Затверджено МОН / М.І. Стеблюк.– К., 2010. – 487 с.