

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
КАФЕДРА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ ТА ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ**

Кваліфікаційна робота
другий магістерський
(рівень вищої освіти)

на тему Підвищення потужності міні ГЕС на річці Боржава

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1459
спеціальності гідроенергетика

(код і назва спеціальності)

освітньої програми гідроенергетика

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації

(код і назва спеціалізації)

Гладишева Т.В.

(ініціали та прізвище)

Керівник доцент, к.т.н. Осаул О.І.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, підпис, ініціали та прізвище)

Рецензент проф, д.т.н. Банах В.А.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, підпис, ініціали та прізвище)

Запоріжжя
2020

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Кафедра теплоенергетики та гідроенергетики

Рівень вищої освіти другий магістерський

Спеціальність 145 Гідроенергетика

(код та назва)

Освітня програма Гідроенергетика

(код та назва)

Спеціалізація _____

(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

«07» грудня 2020 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТЦІ

Гладишевій Тамарі Володимирівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Підвищення потужності міні ГЕС на річці Боржава

керівник роботи Осаул Олександр Іванович, к.т.н., доцент,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від «25» травня 2020 року № 601-с

2 Строк подання студентом роботи _____

3 Вихідні дані до роботи : Міні-ГЕС $Q=2 \text{ м}^3/\text{с}$, $H=6,75 \text{ м}$, $N=100 \text{ кВт}$.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Берегова безгребельна міні-ГЕС вид збоку, реактивна турбіна в плані та зборі, габарити зливних трубок сегнерового колеса, рель'фний відбивач, сифон

напірного трубопроводу, корпус станції та амортизовані опори, накопичувач води, муфта.

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Осаул О.І.	<i>Осаул</i> 02.09	<i>Туж</i> 02.09.
2	Осаул О.І.	<i>Осаул</i> 02.11	<i>Туж</i> 02.11
3	Осаул О.І.	<i>Осаул</i> 20.11	<i>Туж</i> 20.11

7 Дата видачі завдання 02.09.2020

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Пошук матеріалів за тематикою дослідження.	02.09.20 – 02.10.20	
2	Аналіз стану малої гідроенергетики в Україні.	09.09.20 – 16.09.20	
3	Розрахунок гідропотенціалу Тисо-Латорицької гідрологічної зони. Гідрологічне дослідження річки Боржава.	18.09.20 – 21.09.20	
4	Вибір місця для проектування берегової безгребельної міні-ГЕС. Розрахунки основних параметрів електростанції.	21.09.20 – 29.09.20	
5	Креслення елементів міні-гідроелектростанції.	22.09.20 – 06.10.20	
6	Розрахування техніко-економічних показників.	06.10.20 – 08.10.20	
7	Оформлення та перевірка роботи згідно ДСТУ.	23.10.20 – 23.11.20	
8	Підготовка до захисту кваліфікаційної роботи.	23.11.20 – 10.12.20	

Студент *Туж* Гладишева Т.В.
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) *Осаул* Осаул О.І.
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер *Каюков* Каюков Ю.М.
(підпис) (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Гладишева Т.В. Підвищення потужності міні ГЕС на річці Боржава.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 145 – Гідроенергетика, науковий керівник кандидат технічних наук, доцент Осаул О.І. Запорізький національний університет, Інженерний навчально-науковий інститут, кафедра теплоенергетики та гідроенергетики, 2020.

У роботі розглядаються методи визначення гідропотенціалу малих річок України, зокрема Українських Карпат. На підставі знайденої інформації було проведено аналіз, який спростив пошук місця для проектування ГЕС. Запропоновано проект створення міні-ГЕС на річці Боржава (Закарпатська обл.) без бар'єру течії річки з мінімальним впливом на навколишнє середовище.

Будівництво безгребельної станції позбавляє від необхідності будівництва вхідного каналу, що є основною частиною робіт з будівництва станції. Розрахунки гідроенергетичних потужностей проводилися на основі наявних даних з урахуванням змін у стандартній конструкції гідроелектростанцій на основі реактивної турбіни. Конструкція передбачає обслуговування та контроль станції в автоматичному режимі. Розроблені креслення та матеріали, відібрані для будівництва ГЕС на річці Боржава.

Ключові слова: безгребельні гідроелектростанції, «Зелена енергетика», мала гідроенергетика, сегнерове колесо, гідроенергетичний потенціал, реактивна турбіна.

SUMMARY

Gladysheva TV Increasing the capacity of mini HPS on the Borzhava River.

Qualification Graduation Work for Higher Education Master's Degree in Specialty 145 – Hydropower, supervisor A. I. Osaul. Zaporizhzhya National

University, Bulk Engineering Institute, Department of Thermal power engineering and Hydropower.

The paper considers methods for determining the hydro potential of small rivers of Ukraine, in particular the Ukrainian Carpathians. Based on the information found, an analysis was conducted, which simplified the search for a place to design a hydroelectric power plant. A project to create a mini hydroelectric power plant on the Borzhava River (Zakarpattia region) without a barrier to the river flow with minimal impact on the environment has been proposed.

The construction of a dam station eliminates the need to build an inlet channel, which is the main part of the construction of the station. Calculations of hydropower capacity were performed on the basis of available data, taking into account changes in the standard design of hydropower plants based on a jet turbine. The design provides maintenance and control of the station in automatic mode. Drawings and materials selected for the construction of hydropower plants on the Borzhava River have been developed.

Keywords: damless hydroelectric power plants, "Green energy", small hydropower, segner wheel, hydropower potential, jet turbine.

АННОТАЦИЯ

Гладышева Т.В. Увеличение мощности мини ГЭС на речке Боржава. Квалификационная выпускная работа для получения степени высшего образования магистра по специальности 145 – Гидроэнергетика, научный руководитель, доцент, кандидат технических наук А.И. Осаул. Запорожский национальный университет, Инженерный учебно-научный институт, кафедра теплоэнергетики и гидроэнергетики, 2020.

В работе рассматриваются методы определения гидропотенциала малых рек Украины, в частности Украинских Карпат. На основании найденной информации был проведен анализ, который упростил поиск места для проектирования ГЭС. Предложен проект создания мини-ГЭС на реке Боржава

(Закарпатская обл.) без барьера течения реки с минимальным воздействием на окружающую среду.

Строительство бесплотинной станции избавляет от необходимости строительства входного канала, является основной частью работ по строительству станции. Расчеты гидроэнергетических мощностей проводились на основе имеющихся данных с учетом изменений в стандартной конструкции гидроэлектростанций на основе реактивной турбины. Конструкция предусматривает обслуживание и контроль станции в автоматическом режиме. Разработаны чертежи и материалы, отобранные для строительства ГЭС на реке Боржава.

Ключевые слова: бесплотинные гидроэлектростанции, «Зеленая энергетика», малая гидроэнергетика, сегнерово колесо, гидроэнергетический потенциал, реактивная турбина.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД	8
1.1 Сучасні тенденції розвитку світової малої гідроенергетики	8
1.2 Аналіз стану малої гідроенергетики в Україні	12
1.2.1 Особливості МГЕС. Переваги та недоліки	19
1.3 Розгляд потенціалу річок Українських Карпат	21
1.3.1 Загальні відомості про річку Боржава	23
1.4 Гравітаційно-вирова станція. Патент № WO2011051421A2	24
1.5 Резервуарний вітро-гідрравлічний перетворювач. Патент RU111206U1	31
2 РОЗРАХУНОК ГІДРОПОТЕНЦІАЛУ РІЧКИ БОРЖАВА ТА ПРОЕКТУВАННЯ БЕРЕГОВОЇ БЕЗГРЕБЕЛЬНОЇ ЕС	36
2.1 Методи оцінки гідропотенціалу річок	36
2.2 Визначення гідроенергетичного потенціалу річок Тисо-Латорицької гідрологічної зони за методом Григор'єва	38
2.3 Гідрологічні відомості про річку Боржава	42
2.5 Визначення гідропотенціалу р. Боржава на обраній ділянці	47
2.6 Розрахунки параметрів МГЕС	49
2.7 Огляд та розрахунок конструкції безнапірної гідрравлічної турбіни	51
2.8 Проектування берегової безгребельної міні-гідроелектростанції на річці Боржава	57
2.8.1 Деталізовані креслення міні-ГЕС	62
3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ МІНІ-ГЕС НА РІЧЦІ БОРЖАВА	72
ВИСНОВОК	83
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	85

Додаток А Параметри та габарити асинхронного двигуна змінного струму .	91
Додаток Б Труби сталіні гарячекатані.....	92

ВСТУП

Актуальність роботи. Функціонування ГЕС в електроенергетичній системі як енерговузла паливно-енергетичного комплексу (ПЕК), викликає необхідність удосконалювати механізми її управління за допомогою завчасного визначення і планування вироблення електроенергії на ГЕС, коректної оптимізації і подальшого накладення режимних критеріїв управління. Тому дана тема є актуальною у сучасному світі.

Об'єкт дослідження – берегові та безгребельні електростанції; їх структура, особливості, переваги та недоліки у порівнянні з іншими ЕС.

Предмет дослідження – залежність критеріїв ефективності роботи ЕС від різних режимів вироблення електроенергії на прикладі берегових та безгребельних станцій.

Мета роботи – удосконалення систем шляхом спрощення конструкції та виконання їх елементів із інноваційних матеріалів для більшої економічної та енергетичної ефективності берегових та безгребельних ЕС.

Задачі дослідження. Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні задачі:

- аналіз структури, переваг і недоліків використання берегових та безгребельних ЕС;
- проведення дослідження берегових ліній та оцінка доречності будівництва ГЕС в окремих населених пунктах річки Боржава;
- аналіз отриманих результатів дослідження.

Методи та засоби дослідження. У дипломній роботі задачі дослідження вирішувались шляхом:

- аналізу знайдених матеріалів згідно з теми магістерської роботи;
- визначення гідроенергетичного потенціалу регіону;
- проектування гідроенергетичного обладнання,
- розрахунок техніко-економічних показників.

Наукова новизна. Новизна описана в заявці на корисну модель «Автономна міні-електростанція» де описані відомі раніше системи, що забезпечені новими конструктивними елементами, які дозволяють підвищити експлуатаційні характеристики модулю електростанції, а саме її потужність.

Практична цінність роботи полягає в наступному – спроектована берегова безгребельна міні-гідроелектростанція річки Боржава без перегородження з визначеною потужністю модуля 119,2 кВт, а для блоку міні-електростанції (3 модуля – два діючих, один резервний) – приблизно 360 кВт для конкретних користувачів.

Особистий внесок здобувача. Теоретичні та експериментальні дослідження виконанні безпосередньо автором спільно із керівником роботи. Автору належить обґрунтування основних припущень, аналіз отриманих результатів виконання креслень, розрахунків та формулювання висновків за результатами проведених досліджень.

Апробація роботи. Положення роботи викладені на XIV та XV студентській науково-технічній конференції студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів Інженерного навчально-наукового інституту Запорізького національного університету. Також результати роботи викладені на конференції «Молода наука 2020» Запорізького національного університету та на Всеукраїнській науково-технічній конференції «Актуальні проблеми енергетики та екології» Одеської національної академії харчових технологій.

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота включає вступ, три розділи, висновки та перелік джерел посилань з 55 позицій. Загальний обсяг складає 93 сторінки у тому числі 12 таблиць.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Сучасні тенденції розвитку світової малої гідроенергетики

Використанню поновлюваних джерел енергії завжди приділялася особлива увага, але зміни економічної і політичної обстановки за останні десятиліття привели до їх ще глибшого вивчення.

Відомо, що за 90-ті роки минулого сторіччя приріст гідроенергетичної потужності у світі становив близько 100 ГВт, а за наступне десятиріччя – вже вдвічі більше. Гідроенергетика посідає важливе місце у розвитку поновлюваних систем енергопостачання і становить близько 76 % всіх світових поновлюваних джерел енергії.

Згідно Енергетичної стратегії від 2006 р. потенційні можливості малої гідроенергетики України на період до 2030 року оцінені на рівні 1140 МВт потужності з річним обсягом виробництва електроенергії 3,34 млрд. кВт·год/рік [1]. В наступній редакції Енергетичної стратегії до 2030 року (затвердженої Розпорядженням КМ України 24 липня 2013 р. № 1071-р) було зазначено, що економічно доцільний потенціал малих гідроелектростанцій в Україні становить до 4 ГВт [2].

В чинній редакції Енергетичної стратегії до 2035 року (схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України КМУ від 18 серпня 2017 р. № 605-р) взагалі не було визначено економічно доцільного потенціалу малих гідроелектростанцій. Відомо, що станом на початок січня 2018 року в Україні в експлуатації знаходилось 136 малих ГЕС загальною потужністю всього 94,615 МВт з середньорічним обсягом виробництва електроенергії біля (210...230) млн. кВт · год/рік [3].

Для подальшого розвитку гідроенергетики потрібна координація всіх працюючих сторін: інвесторів, фінансистів, власників компаній і підприємств, операторів, консультантів, фахівців, дослідників, постачальників обладнання, підрядників, регуляторних органів, агентств, асоціацій, державних органів, наукових та громадських екологічних організацій.

Відомо, що на сьогоднішній день високий рівень розвитку гідроенергетики в Китаї, де освоєно 41 % свого гідроенергетичного потенціалу, та Індії з використанням 21 % гідроенергетичних ресурсів. Росія, що володіє найбільшими в світі ресурсами гідроенергії, використовує лише 10 % свого потенціалу.

У світі за показником наявної встановленої потужності лідирує Китай, який у 2014 р. увів в експлуатацію додаткові 21,85 ГВт, а у 2015 р. – 18,8 ГВт. Провідними країнами в цьому відношенні є також Малайзія та Канада.

У 2014 р. уведено в експлуатацію нові гідроенергетичні потужності:

- у Європі – 455 МВт;
- у Західній і Центральній Азії – 3913 МВт;
- у Східній Азії і на території Тихоокеанських островів – 27 232 МВт;
- У Північній і Центральній Америці – 2850 МВт;
- у Південній Америці – 4959 МВт.

Останнім часом можна спостерігати відродження інтересу до розвитку та використання МГЕС. У більшості країн вони споруджуються на новій, більш удосконаленій технічній основі, пов'язаній, зокрема, з повною автоматизацією їх роботи та дистанційним управлінням.

Світовий досвід свідчить про економічну та екологічну ефективність малої гідроенергетики, яка проходить період стрімкого зростання. Згідно за даними Міжнародного центру малої гідроенергетики (МЦМГ, International Centre on Small Hydro Power, ICSHP), сумарна потужність цього сектора за підсумками 2014 р. вже перевищила 75 ГВт, що становить близько 43 % глобального ресурсного потенціалу (до 173 ГВт).

На сьогоднішній день малі гідроелектростанції потужністю до 10 МВт працюють у 148 країнах світу. Для довідки: відповідно до сучасної міжнародної класифікації за нормативом Організації Об'єднаних Націй з промислового розвитку (United Nations Industrial Development Organization – UNIDO), до малих гідроелектростанцій відносять мікро-ГЕС – до 0,1 МВт (в

Україні до 0,2 МВт); міні-ГЕС – до 1 МВт; малі ГЕС – до 10 МВт (Китай – до 50 МВт) [4]. Міні- та мікро- ГЕС, як правило, не передбачають будівництва дамби та відповідного водосховища.

Причому ступінь розвитку сектора залежить не тільки від природних умов, а й від рівня поширення відновлюваної енергетики зокрема і розвиненості країни в цілому. Такі розвинені регіони, як Північна Америка, Європа і Китай, змогли максимально скористатися наявними можливостями даного напрямку відновлюваної енергетики.

Відомо, що найбільшого розвитку мала гідроенергетика досягла в розвинених країнах Європи, Північної Америки та в Китаї. Так, у США і Канаді потенціал малих ГЕС реалізовано більш ніж на 86 % (7,84 ГВт із 9,3 ГВт прогнозованого потенціалу), у Північній Європі – приблизно на 95 % (3,64 ГВт із 3,84 ГВт потенціалу), у Західній Європі – майже на 85 % (5,8 ГВт із 6,64 ГВт потенціалу). Наприклад, в Іспанії малі ГЕС становлять 2,8 % у загальному енергобалансі країни, у Швеції – 3 %, у Швейцарії – 8,3 %, в Австрії – 10 %.

В опублікованих у 2013 р. та 2016 р. організацією UNIDO і центром ICSHP доповідях про світовий розвиток малої гідроенергетики (World Small Hydropower Development Report 2013, WSHPDR 2013) [5] та (World Small Hydropower Development Report 2016, WSHPDR 2016) [6] де було проведено огляд розподілу встановленої потужності та рівень використання потенціалу МГЕС у 152 країнах.

Закордоном приділяється велика увага малій гідроенергетиці: у Німеччині працює 3250 МГЕС, у Швейцарії – 2300 МГЕС; у Японії 1350 і споруджується більш 2000 МГЕС, у Індії – більше 4000 малих ГЕС. Згідно з прогнозами, в Польщі в 2020 році буде 4300 МГЕС, в 2035 р. – 6200 МГЕС, а в 2050 – 9975 МГЕС. Тільки в італійському Південному Тіролі діють понад 1 тис. МГЕС. Це переважно мікро-ГЕС потужністю менше 100 кВт. Причому щільність установки гідроелектростанцій не заважає ні екології регіонів, ні водного туризму.

При науково-обґрунтованому використанні малих ГЕС можна також вирішити серйозні екологічні проблеми, зокрема, протипаводкові заходи.

Різні країни за рахунок будівництва і розвитку невеликих гідроелектростанцій вирішують ряд своїх завдань. Так, Китай – світовий лідер за кількістю МГЕС – за допомогою малої води забезпечує третину енергоспоживання в сільськогосподарських регіонах. А ось в Австрії та Німеччині потенціал гідроенергетики гір використовують для забезпечення електрикою туристичної галузі.

На пострадянському просторі активно розвивають гідроенергетику в Вірменії. Уряд законодавчо гарантує закупівлю всієї виробленої на малих ГЕС електроенергії за фіксованим тарифом протягом 15 років після введення станції в експлуатацію. Галузь демонополізована і контролюється Комісією з регулювання суспільних послуг Республіки Вірменія [7].

Отже досвід розвитку малої гідроенергетики в Вірменії демонструє, що якісна законодавча база є одним з ключових чинників, здатних каталізувати розвиток видобутку електроенергії за допомогою малої води. Важливим кроком також було створення карти гідропотенціалу країни і банку конкретних проектів під реалізацію. Оскільки після перемоги в тендері інвестор відразу приступає до будівництва малої ГЕС з готовим пакетом документів, термін окупності станції скорочується до 2-3 років. Завдяки таким крокам за останні п'ять років в Вірменії з'явилося більше 80 нових гідроелектростанцій.

Корисним для України може стати досвід деяких пострадянських країн, зокрема Латвії, де процес відновлення і будівництва малих ГЕС розпочався із набуттям Латвією незалежності. У 1996 р. на території Латвії діяло всього 15 малих ГЕС, у 1998 – 34, у 1999 – 52, у 2005 – 148 загальною потужністю 28 МВт і щорічним виробництвом електроенергії 56,7 млн кВт год, що становить 1,2 % від загального виробництва [8].

Проаналізувавши світовий досвід можна зробити висновок паралельно з сталим розвитком великої та середньої гідроенергетики бурхливий розвиток

малих ГЕС. Тому також має бути перспективним напрямком розвиток малої гідроенергетики в Україні, особливо це стосується мікро- та міні- ГЕС потужністю менше 1 МВт.

1.2 Аналіз стану малої гідроенергетики в Україні

Малі гідроелектростанції можуть експлуатуватися до 50 років без істотних витрат на заміну обладнання. Інвестиційні витрати на будівництво малих ГЕС мають значні відмінності між промислово розвиненими і країнами, що розвиваються. В країнах, що розвиваються, наприклад, у зв'язку з низькою вартістю робочої сили витрати на загально будівельні роботи істотно менше, ніж у промислово розвинених країнах. При умовно рівній вартості обладнання і монтажних робіт будівництво гідроенергетичного комплексу в країнах, що розвиваються може бути економічно більш виправданим, ніж в розвинених країнах [9, 41, 44, 45, 49].

Україна має значний потенціал використання ресурсів малих річок (див. рис. 1.1) (головним чином у західних регіонах), що складає майже 28 % загального гідроенергетичного потенціалу всіх річок України [10,11].

Найбільша густота річкової мережі в Карпатах. Здебільшого вона становить понад $0,5 \text{ км/км}^2$, в окремих районах - $1,5 \text{ км/км}^2$ (для основних територій України – $(0,10 \dots 0,15) \text{ км/км}^2$). Їх загальний середньорічний стік становить 16 млрд. м³. Приблизно половина його припадає на Закарпаття.

Основною гідрологічною характеристикою є середній багаторічний стік, або норма річного стоку. Найбільшою водоносністю відрізняються річки Карпат, стік яких значною мірою залежить від висоти басейна відповідної ріки.

Карта поверхневих вод України наведена на рисунку 1.2 [12]. Для більш детального ознайомлення з можливими варіантами розташування спроектованої міні-ГЕС можна на рисунку 1.3.

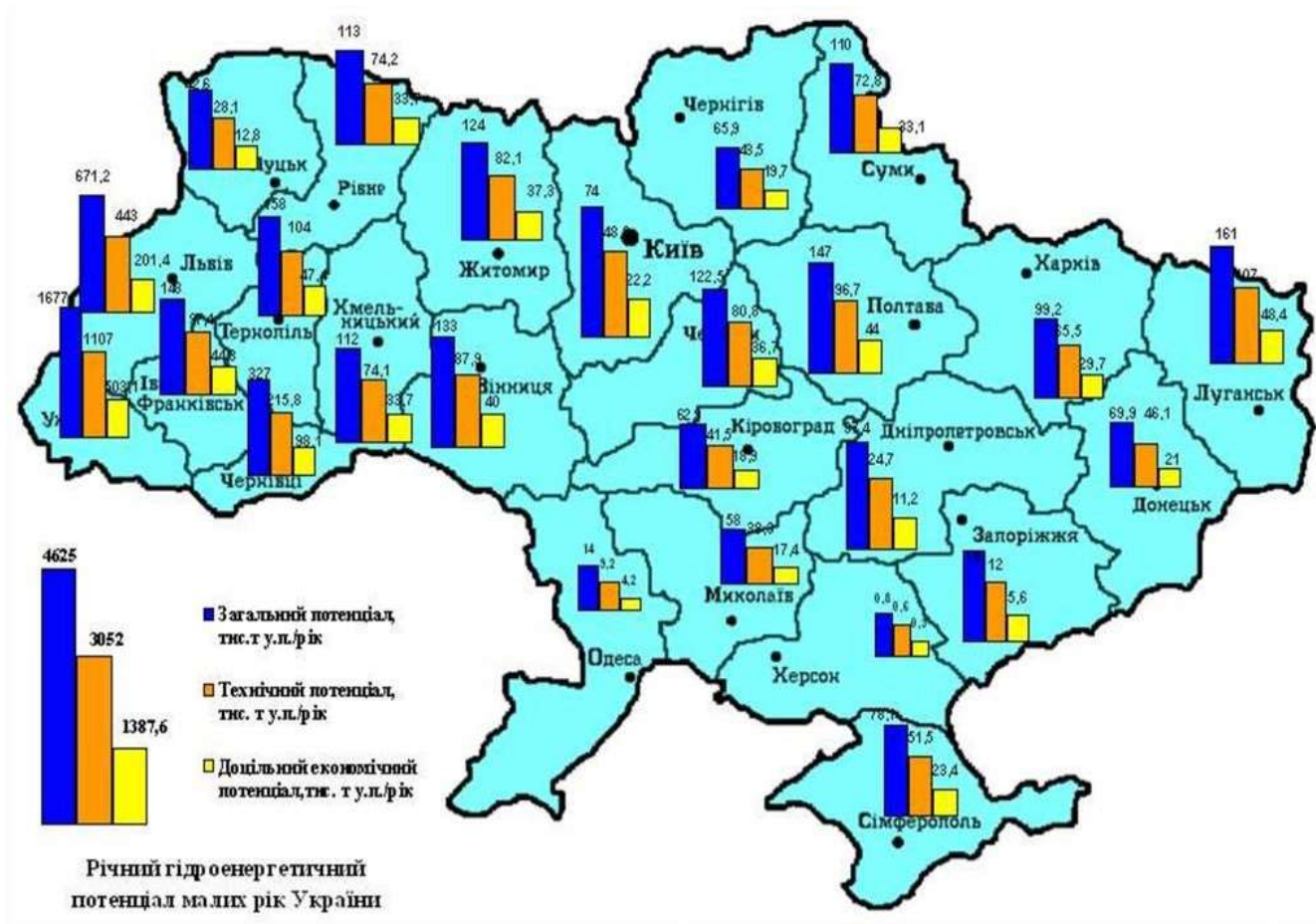


Рисунок 1.1 - Гідроенергетичний потенціал малих рік України

Загальний гідроенергетичний потенціал малих рік Карпатського регіону (Закарпатська, Чернівецька, Івано-Франківська та Львівська області) складає 7628,7 млн. кВт·год/рік (див. табл. 1.1), або 61 % загального.

Таблиця 1.1 – Гідроенергетичний потенціал малих річок України

Загальний потенціал		Технічний потенціал		Доцільно економічний потенціал	
млрд. кВт·год/рік	млн. т у.п./рік	млрд. кВт·год/рік	млн. т у.п./рік	млрд. кВт·год/рік	млн. т у.п./рік
12,0	4,2	8,3	3,0	3,7	1,3

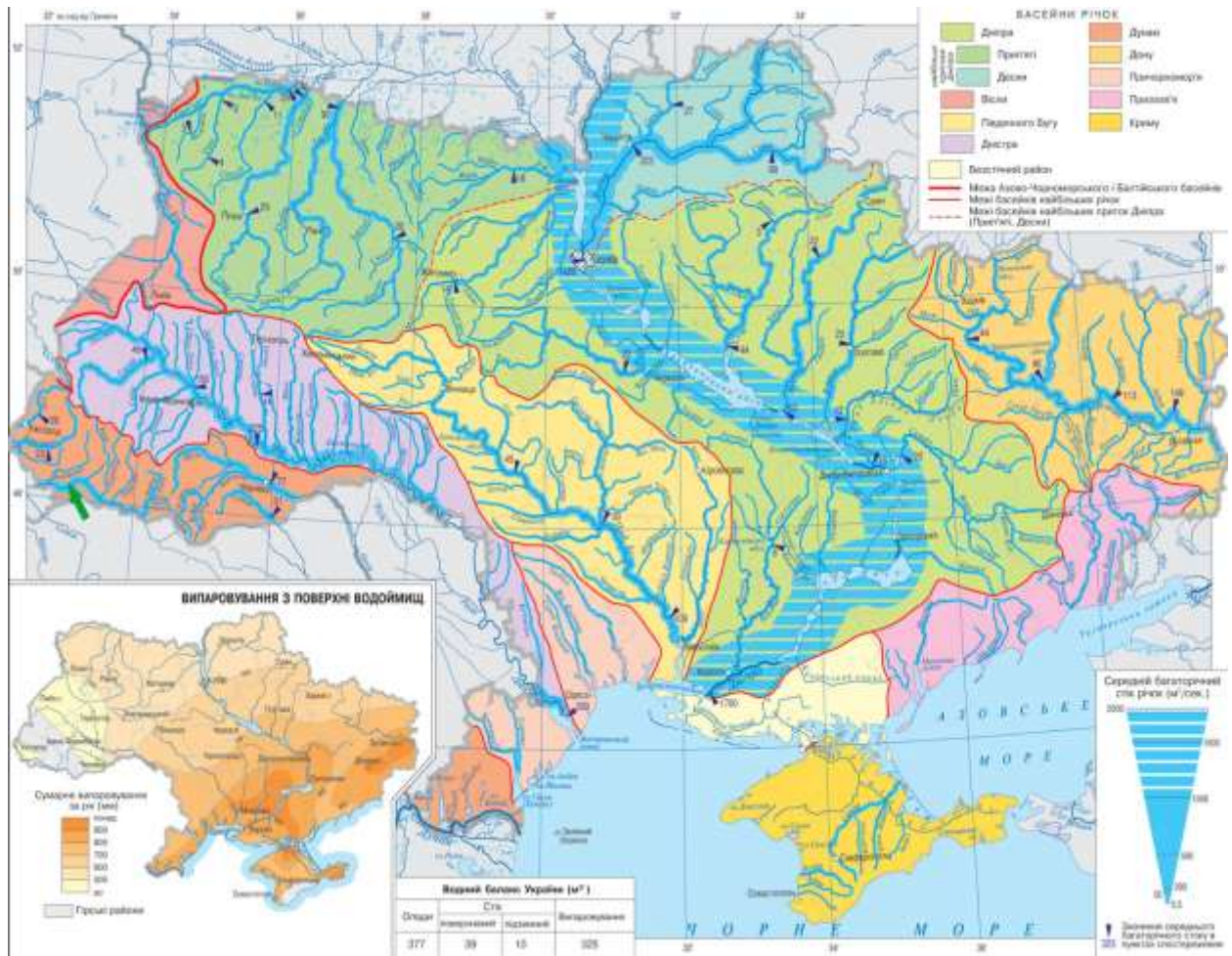


Рисунок 1.2 – Карта поверхневих вод України



Рисунок 1.3 – Басейн річки Боржава

Найбільший гідроенергетичний потенціал малих рік України зосереджено у Закарпатській області (36 % загального). З огляду на зазначене, економічний потенціал малих ГЕС сьогодні в Україні розглядається як частина енергії загального потенціалу відновлювальних джерел енергії (ВДЕ), використання якої є доцільним з урахуванням економічних, політичних, суспільних, екологічних та інших чинників.

Останнім часом деякими науковцями були проведені дослідження щодо визначення технічного гідроенергетичного потенціалу малих річок України, зокрема, у 2015 році в Інституті відновлювальної енергетики НАНУ була виконана дисертаційна робота Мороз А.В. «Технічний потенціал гідроенергетичних ресурсів малих річок України»[13], в якій було зроблено спробу визначити цей технічний потенціал за екологічних та природоохоронних обмежень, що ґрунтуються на критеріях екологічної цінності території та на принципах збереження навколишнього середовища і різноманіття іхтіофауни річок.

Дисертація присвячена розробці й удосконаленню методів розрахунку гідроенергетичного потенціалу річки за обмежень на використання стоку води та визначенню технічного потенціалу гідроенергетичних ресурсів малих річок України згідно з вимогами чинної нормативно-правової бази в електроенергетичній та природоохоронній сферах. Розроблено математичну модель визначення технічного гідроенергетичного потенціалу таких річок, яка враховує імовірнісний розподіл витрат стоку та критерії екологічної цінності територій. Розроблено метод аналітичного визначення гідроенергетичного потенціалу створу малої річки на основі лінеаризації імовірнісного трипараметричного розподілу витрат стоку у формі Крицького – Менкеля [14], що дозволяє врахувати обмеження на використання води в межень, рибохід, повінь, санітарний попуск та заходи з оперативного управління режимом водосховища. Науково обґрунтовано природний та технічний потенціали малих річок території України.

На рисунку 1.4 та 1.5 наведено розподіл технічного гідроенергетичного потенціалу малих річок за гідрологічними зонами та показники освоєння технічного гідроенергетичного потенціалу малих річок України.

Значення технічного потенціалу гідроенергетичних ресурсів малих річок країни знаходиться на рівні 1270 млн. кВт·год/рік (375 МВт), з них освоєно близько 250 млн. кВт·год/рік. Найбільший технічний потенціал гідроенергетичних ресурсів малих річок зосереджений в Карпатському регіоні (76 %) та сягає 965 млн. кВт·год/рік (285 МВт). Другою за обсягом гідроенергетичного потенціалу є Правобережно-Дніпровська гідрологічна зона (14 %). На лівобережній частині країни потенціал складає 6 %. До малоперспективних територій для розвитку малої гідроенергетики відносяться Західна та Поліська гідрологічні зони (разом 4 %).



Рисунок 1.4 – Розподіл технічного гідроенергетичного потенціалу малих річок за гідрологічними зонами

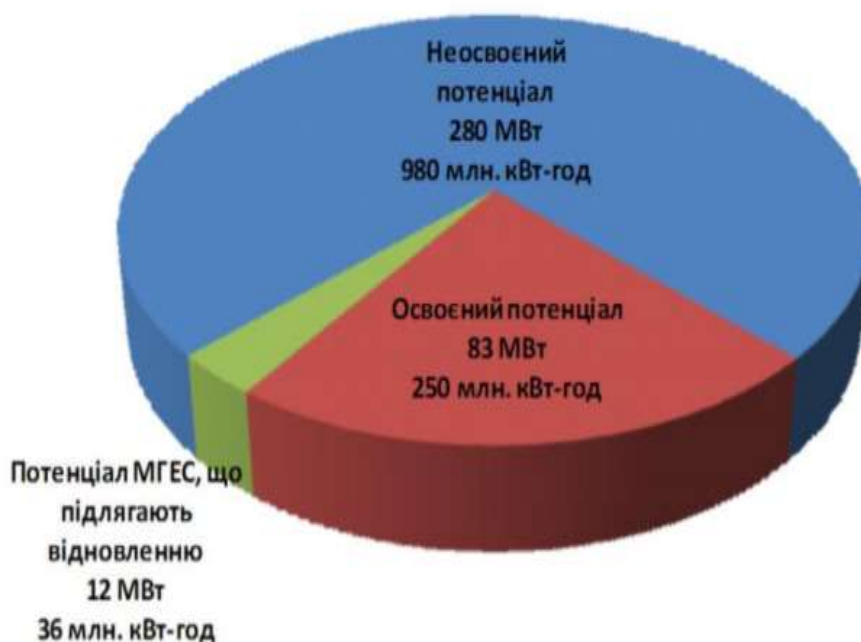


Рисунок 1.5 – Освоєння технічного гідроенергетичного потенціалу малих річок України

У роботі [15] розглядається питання використання енергії малих річок України, а саме їх гідроенергетичний потенціал для вироблення електроенергії у віддалених та важкодоступних сільських регіонів. За останні роки в Україні спостерігається значна енергетична криза, тому зростає потреба в зменшенні споживання паливно-енергетичних ресурсів та впровадженні відновлювальних джерел енергії.

При дослідженні гідроенергетичного потенціалу річок в Україні, а саме поліської гідравлічної зони басейну Дніпра, було визначено, що загальна потенційна потужність досліджуваних річок, розрахована методом Григорьєва [16], складає 125,5 МВт, що обумовлює перспективність розвитку малих ГЕС у цьому регіоні.

Автором було побудовано вертикальний профіль річки Гнилоп'ять за допомогою програмного забезпечення Google Планета Земля Про з метою визначення оптимального місця встановлення міні-гідроелектростанції.

Аналіз факторів, які враховуються моделлю міні-ГЕС, їх зв'язок з критеріями будівництва, а також зібрані дані по гідрології річки Гнилоп'ять

визначено розташування міні-ГЕС біля села Бистрик, в Бердичівському районі Житомирської області, що забезпечить цілорічне електропостачання.

В програмному забезпеченні SolidWorks було побудовано модель робочого колеса гідротурбіни Каплана, на якій був розглянутий розподіл швидкості та натиску на лопаті у робочому елементі гідротурбіни при зміні їх кута нахилу.

У RETScreen 4 була розрахована міні-ГЕС з гідротурбіною Каплана потужністю 150 кВт, на якій виробіток річної електроенергії склав 1167 МВт·год, з чистим щорічним скороченням викидів ПГ 438.1 т CO₂.

За допомогою програми RETScreen 4 було проведено порівняння кількості виробленої електроенергії та проведена техніко-економічна оцінка з гідротурбінами Каплана і Банки-Мітчелла. Міні-ГЕС з гідротурбіною Каплана має потужність 148 кВт, з турбіною Банки-Мітчелла 138 кВт, а термін окупності міні ГЕС окупності складає 1,7 і 1.9 роки відповідно.

Результати даної роботи показали доцільність впровадження малих гідроелектростанцій для покращення електропостачання віддалених районів і населених пунктів та зміцнення економічних та екологічних показників країни в цілому.

Також варто звернути увагу на дослідження автора [17]. У монографії узагальнюються результати циклу досліджень території екосистеми річки Боржава для поліпшення сільськогосподарського використання затоплених земель. Здійснено аналіз природо-кліматичних умов, дослідження паводків попередніх років, обґрунтування вимог до управління екосистемами протягом вегетаційного періоду. Розглянуто суть оптимізації режиму роботи екосистем під час паводків. Удосконалено науково-методична база для розробки і реалізації моделей паводків на водозборах меліоративних систем і річок, в заплавах яких вони споруджені.

Дослідними роботами отримані результати, які стосуються відведення внутрішніх і паводкових вод з території екосистеми річок Закарпаття. Дані дослідження можуть бути основою для прогнозування величини надходження

талої та дощової води на поверхні екосистем, визначення можливих зон повені з урахуванням розташування дамб обвалування щодо русла річки.

На основі узагальнення дослідження екосистеми р. Тиси в цілому для конкретизації результатів обрано заплава р. Боржави від вузькоколіїної залізничного мосту біля с. Шаланки до автодорожнього мосту на ділянці автодороги Заріччя-Вільхівка. Здійснено удосконалення розрахунку визначення можливих зон затоплень для оптимізації режиму роботи меліоративної системи на основі математичного моделювання з використанням автоматизації розрахунків засобами програмного забезпечення. Розрахункові величини і аналіз чинників впливу щодо встановлення зон можливого затоплення можуть використовуватися для обґрунтування проектів будівництва гідротехнічних споруд.

Для запобігання шкідливого впливу паводкової води досліджені вимоги щодо сільськогосподарського використання орних земель, обґрунтовано рекомендації щодо удосконалення комплексних проти повеневих заходів щодо поліпшення врожаїв сільськогосподарських угідь.

1.2.1 Особливості МГЕС. Переваги та недоліки

Традиційний спосіб виробництва електроенергії базується на використанні кінетичної енергії води, що утворюється під час падіння води з висоти і проходить через турбіну, обертаючи її та приводячи в дію електричний генератор. Кількість кінетичної енергії, що надходить до турбіни, визначається напором і витратою води, яка проходить через турбіну. Конструктивні складові елементи об'єктів малої гідроенергетики є практично однаковими і включають турбіни, генераторні установки, будівлю електростанції, турбінний водовід, водоприймальну/водозабірну споруду, системи контролю і відвідний канал. Існуючі ГЕС поділяються за потужністю, конструкцією, місцем розташування, тощо.

Серед основних переваг об'єктів малої гідроенергетики можна назвати наступні:

- створення малих ГЕС підвищує енергетичну безпеку регіону;
- забезпечує незалежність від постачальників палива;
- економія коштів від транспортування;
- економія дефіцитного органічного палива.

Будівництво такого енергетичного об'єкта не вимагає великих капіталовкладень, великої кількості енергоємних будівельних матеріалів і значних трудовитрат, відносно швидко окупається порівняно з великими ГЕС. Також є можливості для зниження собівартості зведення за рахунок модифікації гідротехнічного та гідромеханічного обладнання [18, 39, 40, 42].

У процесі вироблення електроенергії МГЕС не викидає парникових газів і не забруднює навколишнє середовище продуктами горіння і токсичними відходами. Подібні об'єкти не є причиною наведеної сейсмічності і порівняно безпечні при природному виникненні землетрусів.

Існує певна сезонність у виробленні електроенергії (помітні спади в зимовий і літній період), яка призводить до того, що в деяких регіонах мала гідроенергетика розглядається як резервна (дублююча) генеруюча потужність.

Серед факторів, що гальмують розвиток малої гідроенергетики в Україні, більшість експертів називають неповну поінформованість потенційних користувачів про переваги застосування невеликих гідроенергетичних об'єктів; недостатню вивченість гідрологічного режиму та обсягів стоку малих водотоків; низька якість діючих методик, рекомендацій, що є причиною серйозних помилок в розрахунках; не розробленість методик оцінки та прогнозування можливого впливу на навколишнє середовище і господарську діяльність; слабку виробничу і ремонтну базу підприємств, які виробляють гідроенергетичне встаткування для МГЕС. Масове будівництво об'єктів малої гідроенергетики можливо лише в разі серійного виробництва обладнання, відмови від індивідуального проектування і якісного нового

підходу до надійності і вартості обладнання – в порівнянні зі старими об'єктами, виведеними з експлуатації [18, 43, 44].

1.3 Розгляд потенціалу річок Українських Карпат

Одним із найбільш перспективних регіонів розвитку малої гідроенергетики в Україні виступає регіон Українських Карпат. Водотоки Карпат характеризуються значною водністю (порівняно з річками рівнинної території України) та гідравлічним напором, який є визначальним показником гідроенергетичного потенціалу водотоку. Визначення загального гідроенергетичного потенціалу річок Українських Карпат є одним з перших кроків на шляху відродження та розвитку малої гідроенергетики України. Цей розділ звіту викладено на основі досліджень, науковців Київського національного університету імені Т. Шевченка, виконаних під керівництвом професора, д-ра геогр. наук О. Ободовського [19].

Басейн р. Тиса. Оцінка загального гідроенергетичного потенціалу (ЗГП) річок басейну Тиси проводилась на 114 водотоках, які входять до основних суббасейнів басейну Тиси (див. табл. 1.2).

Зведені результати обчислень сумарного загального гідроенергетичного потенціалу річок суббасейнів басейну Тиси (у межах регіону Українських Карпат) представлені в таблиці 1.2 та на рисунку 1.6.

Зокрема, сумарна потужність самої річки Тиси – 31,5 % (350,8 МВт) від загальної потужності водотоків основних суббасейнів. Серед суббасейнів малих річок басейну Тиси найбільшим потенціалом характеризуються річки басейну Шопурки, валова частка потужності річок якого становить 3,44 % (37,6 МВт).

Разом з річками Тересвою та Тисою, загальний гідроенергетичний потенціал яких перевищує 10 МВт, можна відмітити ще 15 водотоків Тиса – 350,8 МВт, Тересва – 80,9 МВт, Терєбля – 76,3 МВт, Ріка – 66,0 МВт, Латориця – 38,9 МВт, Уж – 37,8 МВт, Чорна Тиса – 35,5 МВт, Боржава – 31.1 МВт, Біла

Тиса – 24,5 МВт, Брустуранка – 18,4 МВт, Косівська – 17, МВт, Середня – 16,4 МВт, Люта – 14,3 МВт, Віча – 14,2 МВт, Мокрянкa – 13,0 МВт, Іршава – 11,7 МВт, Мала Шопурка – 11,7 МВт.

Таблиця 1.2 – Показники загального гідроенергетичного потенціалу річок основних суббасейнів басейну р. Тиса (у межах Карпатського регіону України)

№	Назва річки/Басейн (суббасейн)	$E_{\text{заг}}$, МВт	$E_{\text{заг}}$, за рік, тис. кВт-год	% від сумарного ЗГП
1	2	3	4	5
1	Тиса (річка)	351	3073376	32,1
2	Чорна Тиса	52,7	461740	4,50
3	Біла Тиса	53,9	472383	4,94
4	Косівська	17,3	151495	1,58
5	Шопурка	37,6	328947	3,44
6	Апшиця	6,80	59586	0,62
7	Тересва	154	1347130	14,1
8	Теребля	93,3	817606	8,54
9	Ріка	90,3	791116	8,27
10	Боржава	58,5	512188	5,35
11	Латориця	81,3	712573	7,45
12	Уж	80,3	703568	7,35
Потенціал річок суббасейнів		722	6327190	66,1
Потенціал річок суббасейнів та р. Тиса		1081	9473581	97,9

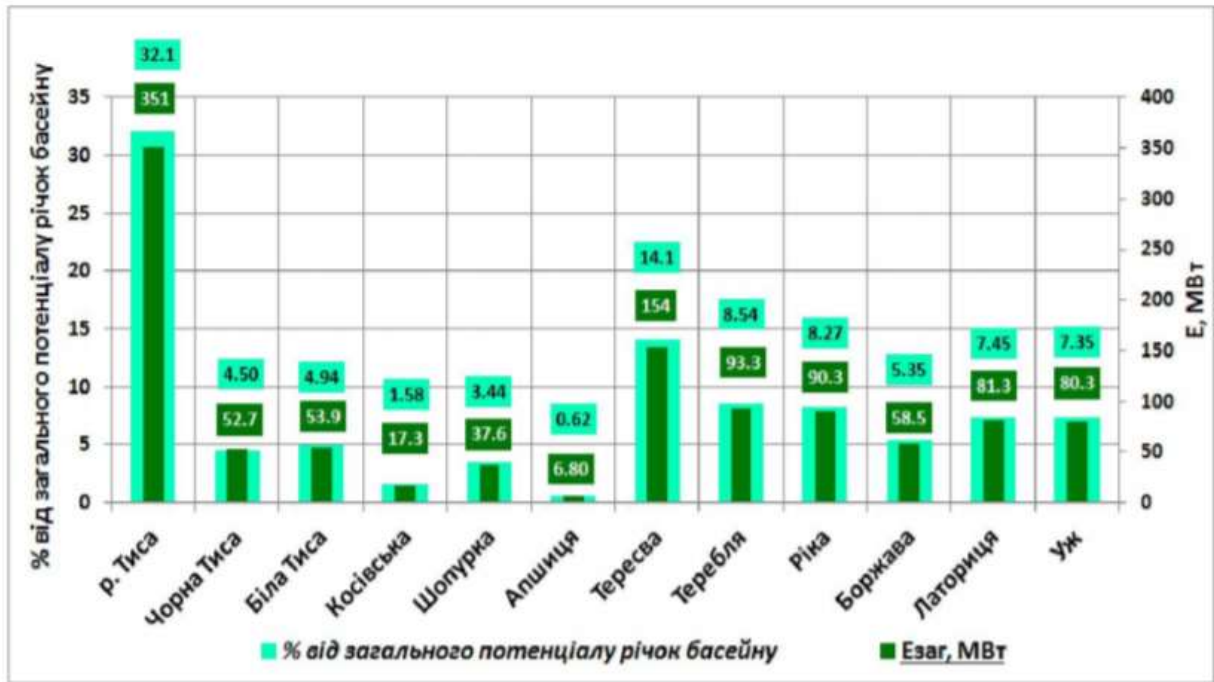


Рисунок 1.6 – Розподіл показників (% , МВт) загального енергетичного потенціалу річок басейну Тиси (у межах Карпатського регіону України)

1.3.1 Загальні відомості про річку Боржава

Басейн річки Боржава розташований на південно-західних схилах Українських Карпат та на Закарпатській низовині. Довжина річки становить 106 км, площа водозбору – 1360 км², загальне падіння – 1386 м, середній похил – 13 м/км.

Абсолютна висота водозбору змінюється в межах від 120 м до 1600 м. Клімат басейну є помірно-континентальним. Середньорічні температури повітря влітку коливаються від +16,4 ° до +20,2 °С, а взимку від -2,7 ° до -5,0 °С. Середньорічна кількість опадів змінюється в межах 687-1204 мм.

У басейні формуються переважно інтенсивні, інколи катастрофічні зливи, які викликають паводки на річках і завдають значних матеріально-технічних збитків, а подекуди й загибель людей. Наявність значних опадів у зимово-весняний період не дозволяє впевнено виділити тривалість весняної повені. З огляду на це, паводки змішаного походження і повинь розглядаються як паводки холодного періоду року.

У межах басейну гідрологічні спостереження проводяться на трьох постах: р. Боржава – смт. Довге, р. Іршава – смт. Іршава та р. Боржава – с. Шаланки (див. рис. 1.3) [20].

У роботі [20] виконано аналіз оцінки часової однорідності рядів спостережень середньорічного та максимального стоку в басейні річки Боржава за гідролого-генетичними та статистичними методами. Встановлено періоди високої та низької водності річок.

1.4 Гравітаційно-вирова станція. Патент № WO2011051421A2

Винахід відноситься до гідроелектростанції, щонайменше, з одного турбіною, з особливо циліндровим робочим колесом з декількома лопатами, рівномірно розподіленими по колу, при цьому вісь обертання робочого колеса розташована по суті вертикально, а робоче колесо сполучене з водою, що протікає між резервуаром обертання вхідного каналу і вихідним каналом. Робоче колесо має торцеву кришку, переважно з'єднану з валом турбіни з можливістю обертання, при цьому лопаті ротора прикріплені до закриває диска тільки з одного боку в осьовому напрямку [21].

Документ WO2004/061295 A2 описує гідроелектростанцію з центром в області вихідного каналу та гравітаційним вировим басейном, станції з турбіною в центрі вихору. Робоче колесо турбіни пов'язано з різними швидкостями обертання турбіни гравітаційно-вирової станції і не має можливості для зміни витрат без істотної зміни верхнього рівня на необхідну позначку.

В особливо кращому варіанті здійснення винаходу передбачено, що лопаті ротора звернені до подовженою осі обертання. Генератор розташований над кришкою диска. Особливо компактна конструкція може бути досягнута, якщо дисковий генератор, що порушується постійними магнітами, інтегрований в покриває диск або безпосередньо пов'язаний з ним, при цьому обертаються постійні магніти переважно пов'язані із можливістю обертання

закриває диском з крильчаткою, і принаймні один нерухомий корпус котушки розташований між рознесеними в осьовому напрямку постійними магнітами є.

В якості альтернативи цьому може бути також передбачено розміщення генератора всередині порожнини, при цьому лопатки ротора крильчатки відкриті в бік генератора, щоб створити досить великий поперечний переріз для виходу води, що виходить з турбіни. Елемент відхилення потоку може бути розташований безпосередньо поруч з генератором.

В подальшому розвитку винаходу може бути додатково передбачено, що принаймні один підйомний канал з отвором на підводному стороні і верхнім отвором на водній стороні розташований між обертовим резервуаром і дренажним каналом, причому верхній отвір підйомного каналу на водній стороні переважно в точці, зверненої від потоку, і або отвір на підводному стороні з боку потоку. Місце в обставленому. Це дозволяє рибі і дрібним організмам безперешкодно і безпечно проходити через гідроелектростанцію в обох напрямках. Особливо просте подолання силової установки стає можливим, якщо отвір підводної боку розташовано в області дна дренажного каналу та або верхнє отвір водної боку висхідного каналу розташовано в області дна обертового басейну. Зображення винаходу представлені нижче на рисунках 1.7-1.14.

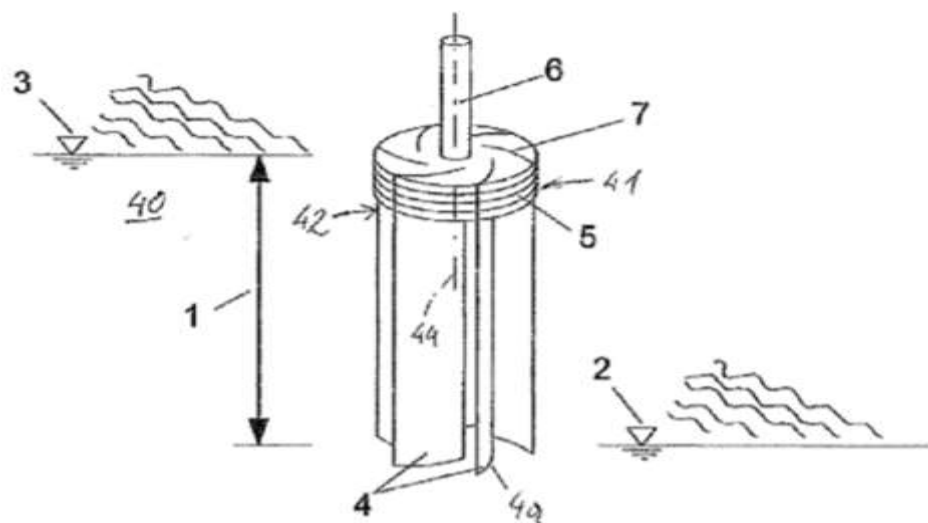


Рисунок 1.7 – Турбіна станції у розрізі

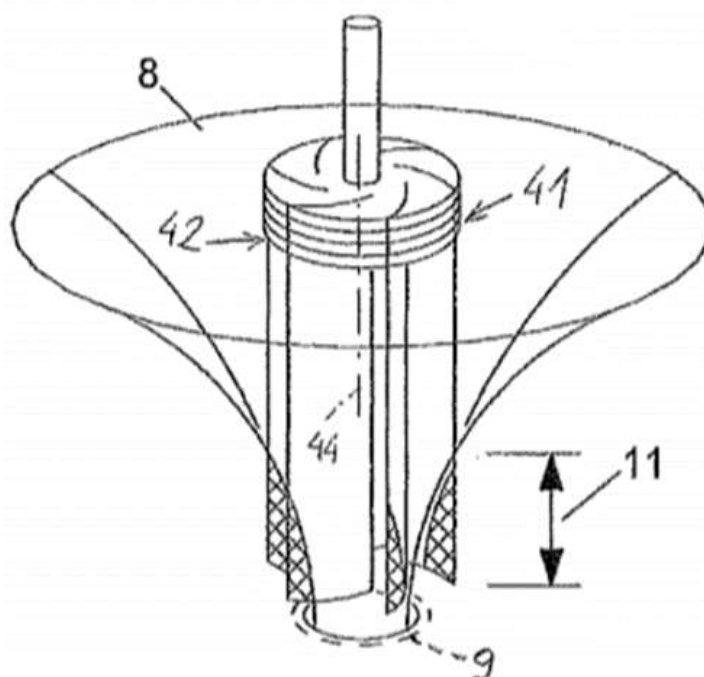


Рисунок 1.8 – Турбіна з низьким рівнем води

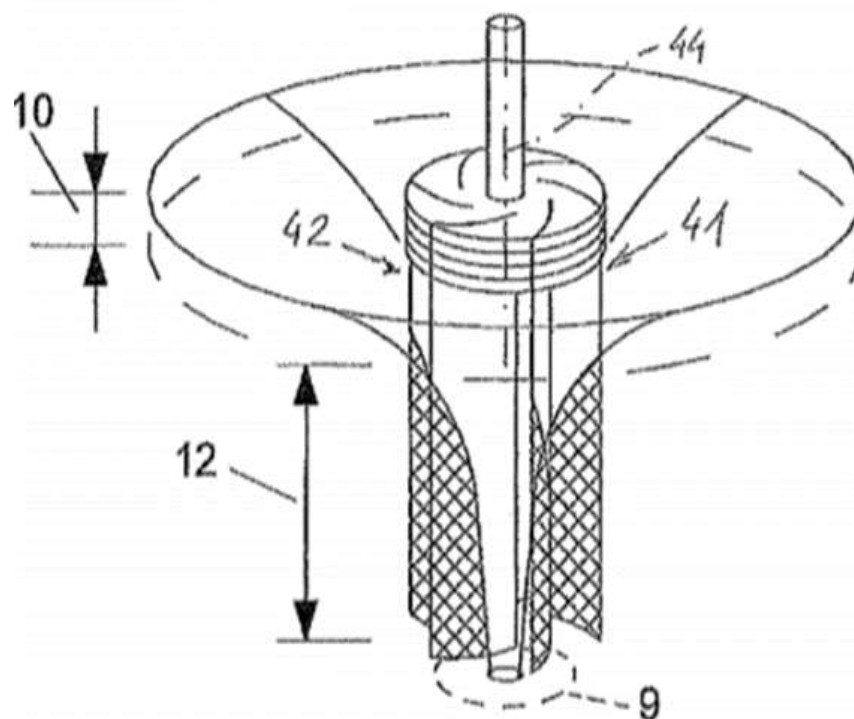


Рисунок 1.9 – Турбіна з високим рівнем води

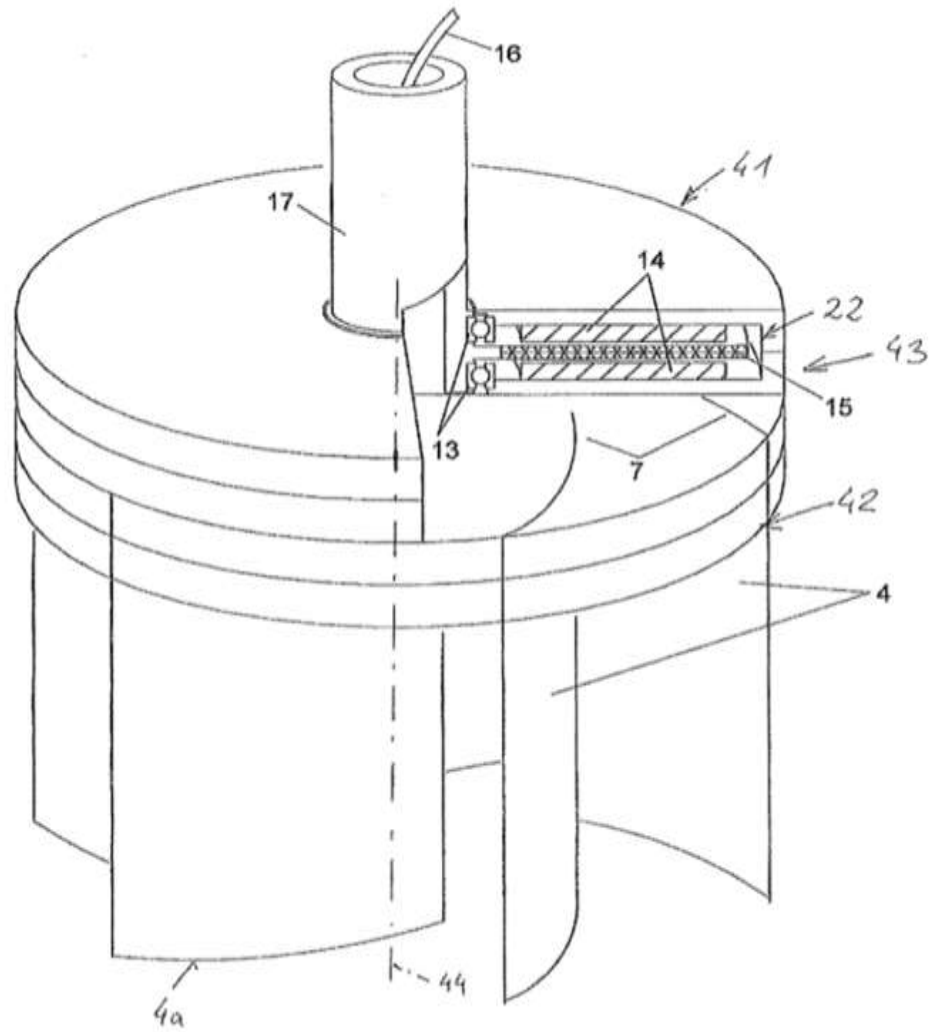


Рисунок 1.10 – Турбіна у частково похилому розрізі

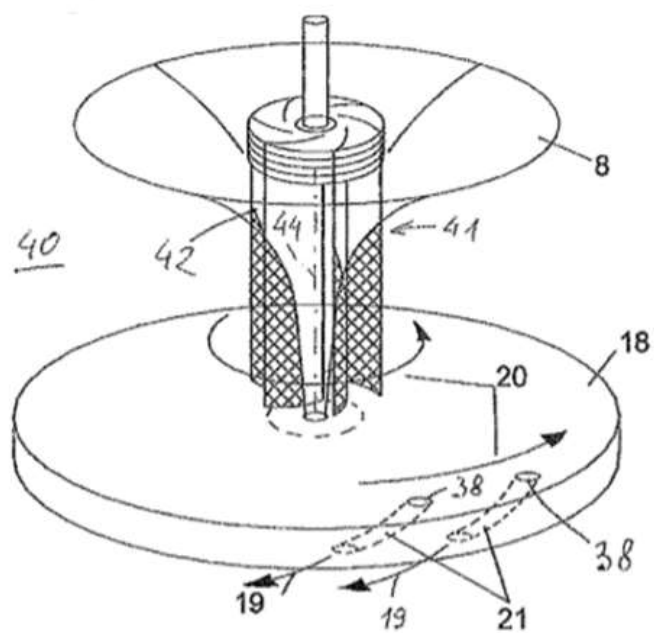


Рисунок 1.11 – Частковий вигляд станції у розрізі

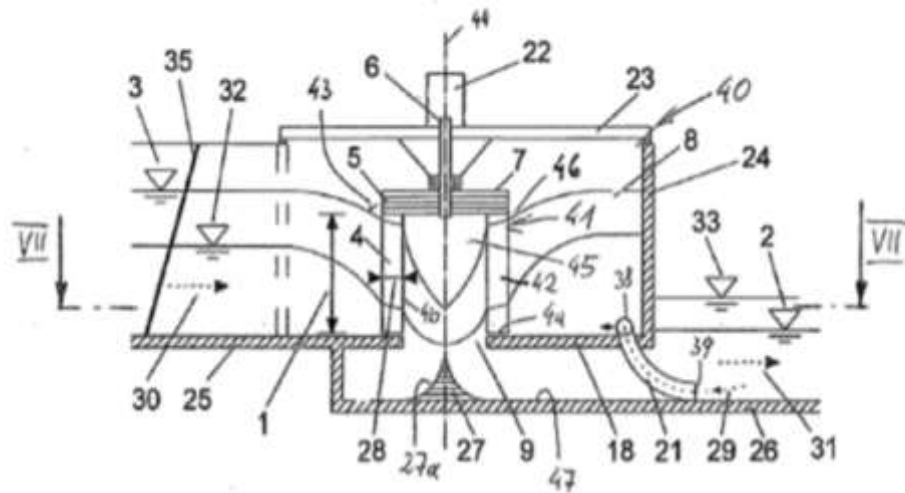


Рисунок 1.12 - Поперечний перетин гідроелектростанції у першому варіанті виконання

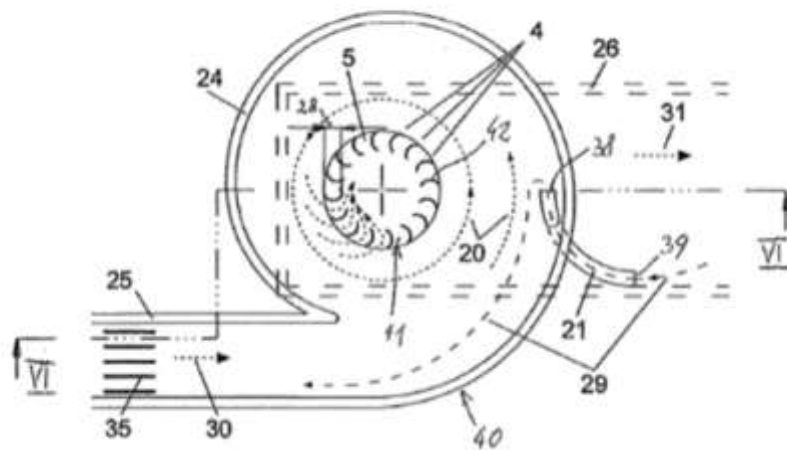


Рисунок 1.13 - Вид зверху на гідроелектростанцію

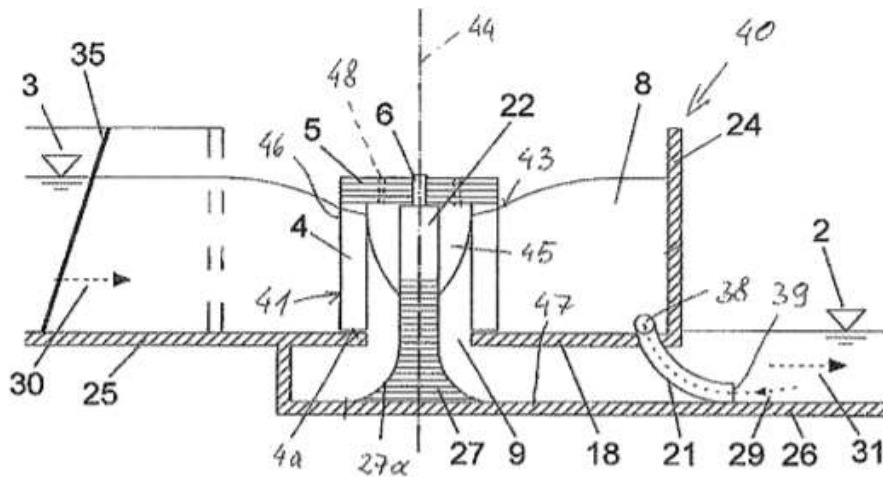


Рисунок 1.14 – Повздожній переріз станції у другому варіанті виконання

Гравітаційно-вирова станція: 1. Висота станції. 2. Рівень нижнього б'єфу. 3. Рівень верхнього б'єфу. 4. Лопаті турбіни. 4а Нижня кромка лопаті турбіни. 4б Внутрішній край лопаті турбіни. 5. Кришка. 6. Вісь турбіни. 7. Пази (канавки). 8. Центр основного розміщення води. 9. Зливний отвір. 10. Різниця висот. 11. Висота закручування потоку при низькому рівні води. 12. Висота закручування потоку при високому рівні води. 13. Турбінний підшипник. 14. Постійні магніти. 15. Дискподібна котушка. 16. Гнучкий струмопровід. 17. Порожнеча. 18. Дно. 19. Шлях проходження води через вхідний отвір. 20. Шлях напрямку обертання. 21. Підйомні канали. 22. Генератор. 23. Опора для генераторного блоку. 24. Вировний бак. 25. Впускний канал. 26. Випускний канал. 27. Проточний елемент. 27а Потік спільних поверхонь. 28. Глибина лопатки. 29. Шлях виходу води з випускного каналу. 30. Потік води на вході до станції. 31. Шлях відходу води зі станції. 32. Зниження рівня води у верхньому б'єфі. 33. Підвищення рівня води в нижньому б'єфі. 34. Дно біля вхідного бічного отвору. 35. Сороутримуюча решітка. 38. Вхідний отвір випускного каналу. 39. Вихідний отвір випускного каналу. 40. Гідроелектростанція. 41. Турбіна. 42. Робоче колесо (ротор). 43. Генераторний блок турбіни. 44. Вісь обертання. 45. Простір під робочим колесом. 46. Область потрапляння води на турбіну. 47. Відвідний канал. 48. Повітропровід.

На рисунку 1.12 показана турбіна 41 гідроелектростанції 40, ротор 42 який має по своїй суті циліндричну форму, наприклад з роликів подібними або зігнутими сталевими пластинами лопатей 4, висота станції 1 з низу рівня нижнього б'єфу з випускного каналу 26 йде до найвищого рівня верхнього б'єфу 3 впускного каналу 25. Лопаті 4 з'єднані своїми верхніми кінцями з низом кришки 5, яка чітко в центрі з'єднана і зафіксована з вертикальною віссю турбіни 6, в результаті чого ці лопаті можуть бути вставлені і закріплені, наприклад, в пази або канавки 7 кришки 5. Кришка 5 може бути зроблена з ламінованого дерева, металу або пластику.

Як можна побачити на рисунку 1.7 і 1.8 робоче колесо 42 турбіни 41 розташоване в центрі основного розміщення води 8 через випускний канал. Через малу різницю висот, де зростання рівня води вище за течією, збільшує на рисунку 1.7 висоту закручування 11 і змочування водним чохлом поверхні циліндричної турбіни 41, яка входить в зчеплення в центральній зоні основного розміщення спірального потоку води 8 гравітаційно-вирової станції, рівень висоти закручування потоку води 12 на рисунку 1.10. Це більшою мірою керується турбіною 41 через зливний отвір 9 і випускний канал 26, який протидіє подальшому підвищенню верхнього рівня води 3 зі збільшенням потоку води. І навпаки, трохи зменшується зі зменшенням витрат води через верхній б'єф.

На рисунку 1.12 показаний варіант виконання турбіни 41 з вбудованим генератором 22, генератор 22 виконаний у вигляді генераторного диска. Турбінний підшипник 13 з генераторною шайбою є вбудованим з обертовими постійними магнітами 14 і вмонтованою дископодібною катушкою 15 в кришці 5 турбіни 41, дископодібна катушка 15 своїм живильним кінцем з'єднана з порожнечою 17 через гнучкий струмопровід 16 генератора 22, який прямує через порожнечу 17 назовні. У цьому варіанті виконується порожнеча 17, яка служить для механічної фіксації всього генераторного блоку турбіни 43.

Рисунок 1.14 показує інший варіант виконання гідроелектростанції 40. Між протилежними лопатями 4 генератора 22, встановленого на поточному елементі 27 у просторі під робочим колесом 45, генератор 22 приводиться в рух через з'єднання з кришкою 5 осі турбіни 6, лопаті 4 жорстко кріплені з кришкою 5.

Патентна формула

1. Гідроелектростанція 40 з як мінімум однією турбіною 41, що має круглу форму робочого колеса 42 та має безліч розділених по колу лопатей 4, в якій вісь обертання 44 розташована вертикально по відношенню до цього робочого колеса 42. Між вировим баком 24, впускним каналом 25 і випускним каналом 26 вода проходить через робоче колесо 42. Як правило, вісь турбіни 6 з'єднана з кришкою 5 в якій лопаті 4 розташовані в осьовому напрямку на кришці 5. Лопаті 4 знаходяться над впускним каналом 25 в області потрапляння води на турбіну 46 навпроти дна 18 вирового баку 24. Гідроелектростанція відрізняється тим, що лопаті ротора 4 розташовані горизонтально і по колу у внутрішніх краях лопатей 4b відкриті вниз і через кришку 5 герметизують простір під робочим колесом 45.

2. Гідроелектростанція 40 також характеризується тим, що генератор 22 і проточний елемент 27 виконані як єдине ціле.

1.5 Резервуарний вітро-гідравлічний перетворювач. Патент RU111206U1

Корисна модель відноситься до пристроїв перетворення енергії вітру і водного середовища в енергію механічного обертання інерційного маховика, виконаного у вигляді реактивної гідротурбіни на основі сегнерового колеса з позитивним зворотним зв'язком за потужністю, і розміщену в резервуарі з водним середовищем, в електричну енергію [22].

Технічний результат пристрій (див. рис. 1.15) дозволяє перетворювати енергію потоку вітру і водного середовища в енергію механічного обертання

інерційного маховика, виконаного у вигляді реактивної гідротурбіни на основі сегнерового колеса з позитивним зворотним зв'язком за потужністю, в електричну енергію, що спрощує кінематичні ланцюги пристрою, дозволяє застосовувати резервуар для водного середовища та забезпечує мобільність розміщення пристрою.

Заявлений технічний результат досягається за рахунок того, що резервуарний вітро-гідравлічний перетворювач містить вітрогенератор, гідрогенератор, блок комутації та управління, забезпеченого кнопкою підключення зовнішнього джерела струму – вітрогенератора, кнопкою підключення зовнішніх споживачів енергії, кнопкою запуску і кнопкою зупинки пристрою, який відрізняється тим, що інерційний маховик, виконаний у вигляді реактивної гідротурбіни на основі сегнерового колеса з позитивним зворотним зв'язком за потужністю і розміщений в резервуарі з водним середовищем, на валу реактивної гідротурбіни розміщена крильчатка для підйому водного середовища на висоту H в реактивну гідротурбіну. Вітрогенератор через блок комутації та управління послідовно приєднаний до контролера, акумуляторної батареї та інвертору, вихід якого приєднаний до блоку комутації та управління, вихід якого приєднаний до ланцюга живлення електродвигуна, вал якого через обгону муфту з'єднаний з валом реактивної гідротурбіни, вал реактивної гідротурбіни приєднаний до генератора через кінематичну ланцюг, що складається з шківів реактивної гідротурбіни, пасової передачі і шківів вала генератора, ланцюг генератора підключена до блоку комутації та управління, а тахометр, розміщений на валу генератора приєднаний ланцюгом управління з блоком комутації та управління.

Резервуарний вітро-гідравлічний перетворювач може бути реалізований в такий спосіб. За допомогою об'єднання і перетворення кінетичної енергії обертання вітрогенератора і генератора з реактивної гідротурбіною, виконаної у вигляді сегнерового колеса з позитивним зворотним зв'язком за потужністю і розміщеної в резервуарі з водним середовищем, в електричну енергію з накопиченням її на акумуляторі, з подальшим інвертуванням в змінні струм.

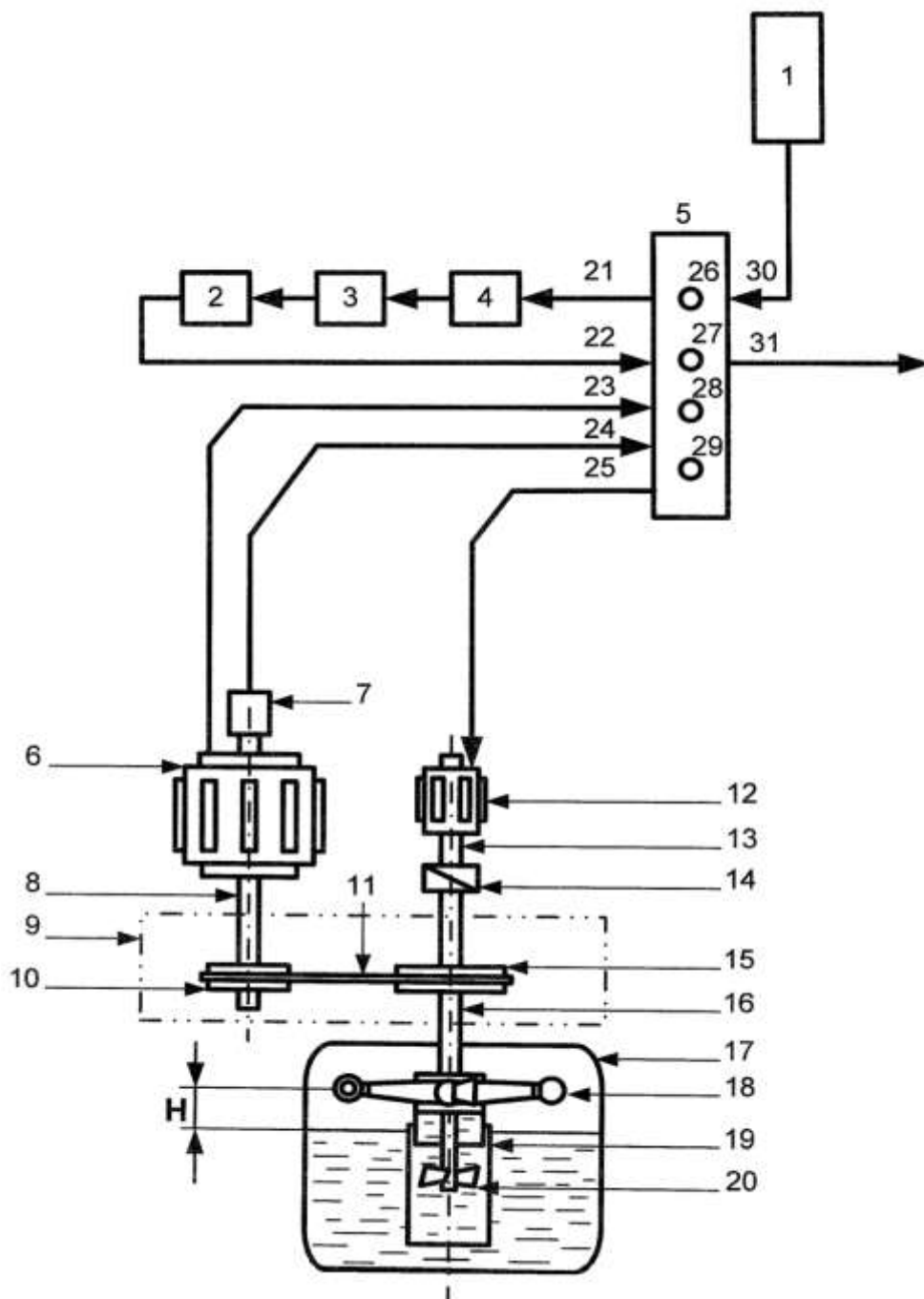


Рисунок 1.15 – Схема пристрою

Таке технічне рішення дозволяє спростити кінематичні механізми орієнтації вітрогенератора і гідрогенератора по потоку, не вимагає складних засобів стабілізації і синхронізації перетворення накопиченої на акумуляторі електричної енергії, забезпечує пристрою мобільність.

Вітрогенератор може бути застосований будь-якого типу, а саме: з вертикальною або з горизонтальною віссю обертання вітроколеса, оскільки він носить допоміжний характер і призначений для створення необхідної первинної потужності для запуску пристрою.

Генератор може бути виконаний на постійних магнітах, синхронному або асинхронному генераторах, або на основі асинхронного електродвигуна з конденсаторними ланцюгами для забезпечення роботи електродвигуна в генераторному режимі.

Реактивна гідротурбіна на основі сегнерового колеса з позитивним зворотним зв'язком оснащується крильчаткою для підйому водного середовища по циліндричному насадку в реактивну гідротурбіну на висоту H , і розміщена нижче рівня водного середовища в резервуарі.

Пристрій працює таким чином:

1. При запуску резервуарного вітро-гідравлічного перетворювача об'єднання отриманої електричної енергії в пристрої здійснюється на загальному накопичувачі акумуляторній батареї 3.

2. Запуск пристрою здійснюється шляхом подачі електричної енергії на пусковий електродвигун 12, розкручує реактивну гідротурбіну 18 в вигляді сегнерового колеса з позитивним зворотним зв'язком за потужністю до виникнення режиму авторотації. У режимі авторотації реактивна турбіна 18, за рахунок викиду робочого тіла – водного середовища з сопел, створює крутний момент, що забезпечує потужність перевищує втрати на подолання тертя ковзання в підшипниках електрогенератора 6 і витрат на підйом води в циліндричній насадці на рівень H в реактивну турбіну 18.

3. Отримана електрична енергія на генераторі 6 реактивної гідротурбіни 18, і накопичена на акумуляторі 3, перетвориться на інверторі 4 в змінний струм, далі через блок комутації і управління 5 надходить до зовнішніх споживачів. При зниженні числа обертів генератора 6, сигнал з тахометра 7, розташованого на валу генератора 6 надходить на ланцюг 25 управління пусковим електродвигуном 12. Електродвигун 12 наводиться в

обертання і через обгону муфту 14 передає на реактивну турбину 18 типу сегнерового колеса з позитивним зворотним зв'язком за потужністю додатковий крутний момент, забезпечуючи необхідну потужність пристрою. При досягненні пристроєм розрахункової потужності, з тахометра 7 надходить сигнал по ланцюгу 24 про припинення дії крутного моменту пускового електродвигуна 12, на реактивну гідротурбину 18, і він відключається.

4. Пристрій переходить в сталий робочий режим.

Формула корисної моделі.

1. Резервуарний вітро-гідравлічний перетворювач, що містить вітрогенератор, генератор, блок комутації та управління, забезпечений кнопкою підключення зовнішнього джерела струму – вітрогенератора, кнопкою підключення зовнішніх споживачів енергії, кнопкою запуску і кнопкою зупинки пристрою, який відрізняється тим, що інерційний маховик виконаний у вигляді реактивної гідротурбіни на основі сегнерового колеса з позитивним зворотним зв'язком за потужністю і розміщений в резервуарі з водним середовищем, на валу реактивної гідротурбіни розміщена крильчатка для підйому водного середовища в реактивну гідротурбину.

2. Резервуарний вітро-гідравлічний перетворювач по п.1, що відрізняється тим, що вітрогенератор через блок комутації та управління послідовно приєднаний до контролера, акумуляторної батареї та інвертору, вихід якого приєднаний до блоку комутації та управління, вихід якого приєднаний до ланцюга живлення електродвигуна, вал якого через обгону муфту з'єднаний з валом реактивної гідротурбіни.

3. Резервуарний вітро-гідравлічний перетворювач по п.1, що відрізняється тим, що вал реактивної гідротурбіни приєднаний до генератора через кінематичну ланцюг, що складається з шківів реактивної гідротурбіни, пасової передачі і шківів вала генератора, ланцюг генератора підключена до блоку комутації та управління, а тахометр, розміщений на валу генератора, приєднаний ланцюгом управління з блоком комутації та управління.

2 РОЗРАХУНОК ГІДРОПОТЕНЦІАЛУ РІЧКИ БОРЖАВА ТА ПРОЕКТУВАННЯ БЕРЕГОВОЇ БЕЗГРЕБЕЛЬНОЇ ЕС

2.1 Методи оцінки гідропотенціалу річок

У структурі водно ресурсного потенціалу України одне з найважливіших місць посідає гідроенергетичний потенціал (ГП) - здатність частини річкового стоку, що використовується або тієї, що може бути використано, до виробництва електроенергії за певний період [23, 48, 52, 54]. Останнім часом, за умови зростання вартості енергоносіїв, підвищення тарифів на електроенергію спостерігається більше уваги до використання енергетичних можливостей українських річок. Тисо-Латорицька гідрологічна зона є одним із регіонів України зі сприятливими умовами для розвитку гідроенергетики. Постає необхідність визначення величини ГП регіону та його основних складових.

Оцінка ГП річок регіону дослідження виконана згідно рекомендацій Комітету з електроенергії Європейської економічної комісії ООН, відповідно до яких у структурі ГП виділяють [24, 50]:

а) теоретичний валовий (брутто) гідроенергетичний потенціал (або загальні гідроенергетичні ресурси;

б) експлуатаційний чистий (нетто) гідроенергетичний потенціал, який включає:

1) технічний (технічні гідроенергоресурси) – частину теоретичного валового річкового потенціалу, яка технічно може бути використана або вже використовується;

2) економічний (економічні гідроенергоресурси) – частину технічного потенціалу, використання якої в існуючих реальних умовах економічно виправдане.

Теоретичний валовий гідроенергетичний потенціал.

Для розрахунку величини валових теоретичних гідроенергоресурсів використані два методи:

- метод лінійного (поділянкового) обліку – для річок, на яких здійснюються спостереження за стоком у межах створів гідрологічних постів;
- метод Григор'єва – для всіх річок.

За методом лінійного (поділянкового) обліку потенційна потужність річки визначається додаванням таких потужностей розрахункових ділянок, які виділяються у межах найвигідніших для гідроенергетичного освоєння створів.

Потужність ділянки річки визначається за формулою [25]

$$N = 9.81 \cdot \frac{(Q_1 + Q_2)}{2} \cdot (H_1 + H_2), \quad (2.1)$$

де N – потужність, кВт;

Q_1, Q_2 – витрати води на початку і в кінці ділянки, м³/с;

H_1, H_2 – абсолютна висота на початку і в кінці ділянки, м.

Складність оцінки полягає в тому, що не для всіх річок Тисо-Латорицької гідрологічної зони, можна застосувати цей метод, оскільки на багатьох річках не вибрані створи гідрометричних постів, що встановлюються для невивчених річок у результаті великого обсягу польових та експедиційних досліджень. Саме, тому залишається невідомий цілий масив даних. Даний метод є досить точним, але за відсутності деяких даних можна скористатися методом Григор'єва.

З метою оцінки потенційної потужності усіх річок регіону, в тому числі й тих, по яких відсутні дані спостережень за стоком, було використано метод Григор'єва [27], за яким теоретична потужність водотоку визначається на основі загального перепаду висоти витоків і гирла річки та використання середньорічної витрати у гирлі за формулою

$$N_0 = 9.81 \cdot Q_n \cdot \Sigma H, \quad (2.2)$$

де N_0 – теоретична потужність водотоку, кВт;

ΣH – загальний перепад висоти витoku і гирла річки м;

Q_n – середньорічна витрата у гирлі річки, м³/с.

Встановлені за картою значення модуля стоку (л/с з 1 км²) у центрах басейнів невивчених в гідрологічному відношенні річок, перераховані у витрати (м³/с) в їх гирлах [26], стали основою для розрахунку теоретичної потужності річок.

2.2 Визначення гідроенергетичного потенціалу річок Тисо-Латорицької гідрологічної зони за методом Григор'єва

Для визначення теоретичної потужності водотоку за методом Григор'єва, скористаємося формулою 2.2 та занесемо отримані дані до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Теоретична потужність річок регіону за методом Григор'єва

№ п/п	Назва річки	Довжина, км	Перепад висоти, м	Норма стоку у гирлі, м ³ /с	Теоретична потужність у гирлі, кВт
1	2	3	4	5	6
1	Тересва	56	321	21,25	66916,46
2	Тиса	201	350	46,65	160172,77
3	Чорна Тиса	49	425	6,25	26057,8125
4	Біла Тиса	26	340	9,38	31286,05
5	Шопурка	13	101	9,25	9164,993
6	Косівська	41	600	2,99	17599,14
7	Мокранка	32	379	4,31	16024,54
8	Брустуранка	15	198	9,81	19054,75
9	Теребля	91	667	19,26	126023,4
10	Ріка	92	433	17,76	75439,68
11	Голятинка	20	200	1,07	2099,34
12	Репинка	29	99	2,74	2661,061
13	Боржава	106	247	18,74	45408,33
14	Іршава	48	225	3,81	8409,623

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6
15	Латориця	156,6	475	18,2	84807,45
16	Жденявка	28	100	2,3	2256,3
17	Пиня	24	65	3,48	2219,022
18	Віча	39	464	3,46	15749,37
19	Стара	40	132	2,3	2978,316
20	Уж	133	481	14,75	69599,5
21	Люта	47	465	2,02	9214,533
22	Тур'я	46	267	4,66	12205,8
Разом					805348,2

Перетворення теоретичної потужності у гирлі кожної річки у потенційну здійснено за рекомендаціями [25] та на основі коефіцієнта теоретичної потужності річок α [25], для чого за даними [27] проаналізовано поздовжні профілі та криві наростання площі басейну річок регіону (див. табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Розрахована потенційна потужність річок регіону за методом Григор'єва

№ п/п	Назва річки	Тип басейну	Тип профілю	α	Потенційна потужність у гирлі, кВт
1	2	3	4	5	6
1	Тересва	розвинуте верхів'я	рівноважний	0,4	26766,59
2	Тиса	розвинута низова частина	рівноважний	0,1	16017,28
3	Чорна Тиса	розвинута низова частина	рівноважний	0,1	2605,781
4	Біла Тиса	розвинута низова частина	рівноважний	0,1	3128,605
5	Шопурка	розвинуте верхів'я	рівноважний	0,4	3665,997
6	Косівська	розвинуте верхів'я	рівноважний	0,4	7039,656
7	Мокранка	розвинуте верхів'я	рівноважний	0,4	6409,815
8	Брустуранка	розвинуте верхів'я	рівноважний	0,4	7621,899

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6
9	Теребля	розвинута низова частина	рівноважний	0,1	12602,34
10	Ріка	розвинута низова частина	рівноважний	0,1	7543,968
11	Голятинка	розвинута низова частина	рівноважний	0,1	209,934
12	Репинка	розвинута низова частина	рівноважний	0,1	266,1061
13	Боржава	розвинута низова частина	рівноважний	0,15	6811,25
14	Іршава	розвинута низова частина	рівноважний	0,1	840,9623
15	Латориця	розвинуте верхів'я	рівноважний	0,4	33922,98
16	Жденявка	розвинуте верхів'я	рівноважний	0,4	902,52
17	Пиня	розвинуте верхів'я	рівноважний	0,4	887,6088
18	Віча	розвинуте верхів'я	рівноважний	0,4	6299,747
19	Стара	розвинуте верхів'я	рівноважний	0,4	1191,326
20	Уж	розвинуте верхів'я	рівноважний	0,4	27839,8
21	Люта	розвинуте верхів'я	рівноважний	0,4	3685,813
22	Тур'я	розвинуте верхів'я	рівноважний	0,4	4882,319
Разом					181142,28

Як видно, з таблиці 2.2, загальна потенційна потужність досліджуваних річок, розрахована методом Григор'єва, складає 181,1 МВт.

Для перетворення значень потенційної потужності річок у величину валового ГП використано формулу [27]

$$E = N \cdot 24 \cdot 365 = N \cdot 8760, \quad (2.3)$$

де E – величина валового гідроенергетичного потенціалу, кВт·год/рік.

Результати перетворення наведено у таблиці 2.3.

Технічний гідроенергетичний потенціал - це частина валового ГП, яка

технічно може бути використана або вже використовується.

Складність визначення цієї категорії ГП та необхідність проведення додаткових досліджень, зумовили використання для її розрахунку опосередкованого методу, суть якого полягає у введенні коефіцієнта, що диференційований за величиною потенційної енергії річки [25]. Для всіх річок регіону цей коефіцієнт становить 0,20.

Економічний гідроенергетичний потенціал є частиною технічного ГП, використання якого за нинішніх умов економічно виправдане. У сучасних оцінюючих роботах визначення цієї категорії ресурсів практично не здійснюється у зв'язку зі зміною економічних умов та пріоритетів. Для створення цілісної картини про компоненти ГП, ми оцінили економічний потенціал річок регіону згідно з рекомендаціями [25] на рівні 25% від технічного. Розраховані значення категорій ГП наведені у таблиці 2.3.

Отримані дані дали можливість визначити питому насиченість території регіону гідроенергетичними ресурсами (гідроенергетичний модуль) в розрізі басейнів досліджуваних річок (див. табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – ГП річок Тисо-Латорицької гідрологічної зони

№ з/п	Назва річки	Гідроенергетичний потенціал, млн. кВт·год/рік		
		Валовий	Технічний	Економічний
1	2	3	4	5
1	Тересва	234,48	46,90	11,72
2	Тиса	140,31	28,06	7,02
3	Чорна Тиса	22,83	4,57	1,14
4	Біла Тиса	27,41	5,48	1,37
5	Шопурка	32,11	6,42	1,61
6	Косівська	61,67	12,33	3,08
7	Мокранка	56,15	11,23	2,81
8	Брустуранка	66,77	13,35	3,34
9	Теребля	110,40	22,08	5,52
10	Ріка	66,09	13,22	3,30
11	Голятинка	1,84	0,37	0,09
12	Репинка	2,33	0,47	0,12

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5
13	Боржава	59,67	11,93	2,98
14	Іршава	7,37	1,47	0,37
15	Латориця	297,17	59,43	14,86
16	Жденявка	7,91	1,58	0,40
17	Пиня	7,78	1,56	0,39
18	Віча	55,19	11,04	2,76
19	Стара	10,44	2,09	0,52
20	Уж	243,88	48,78	12,19
21	Люта	32,29	6,46	1,61
22	Тур'я	42,77	8,55	2,14
Разом		1586,81	317,36	79,34

Здійснене дослідження дало змогу проаналізувати та оцінити гідроенергетичний потенціал річок Тисо-Латорицької гідравлічної зони суббасейну Тиси у розрізі його основних категорій.

2.3 Гідрологічні відомості про річку Боржава

Спостереження за гідрологічним режимом річок суббасейну р. Тиса (див. рис. 2.1) здійснюються за допомогою 50 автоматизованих вимірювальних станцій (АІВС «Тиса»), 30 з них – гідрометерологічні, 13 метеорологічні, 4 моніторингу роботи насосних станцій, 2 – моніторингу роботи шлюзів та 50 гідрологічних постах (Закарпатський ЦГМ). Середня тривалість спостережень за всіма гідрологічними характеристиками сягає понад 50 років. Витрати води вимірюють на 19 гідрологічних постах.

Внутрішньорічний режим стоку. Для характеристики внутрішньорічного розподілу стоку прийняті наступні сезони: весна (III-V), літо – осінь (IV-XI), в тому числі осінь (IX-XI), та зима (XII-II). Відмінною особливістю внутрішньорічного розподілу стоку в басейні Верхньої Тиси є зменшення зимового стоку за висотою. Значна частина твердих атмосферних опадів переходить в весняний або літній сезони. Цим пояснюється більш

інтенсивне зростання стоку в літньо – осінній сезон. Більша частка весняного стоку припадає на квітень (18 %) і травень (17 %), а в цілому на весну припадає 40 % річного стоку. На літній сезон припадає 24 % стоку, причому найбільший стік спостерігається в червні (11 %). Так як на талі води накладаються дощові паводки, то за весняно-літній період стікає 66 % річного стоку, а на осінній сезон припадає лише 19 %. Зима є сезоном, на який припадає найменша доля річного стоку – 15 %. В цей сезон спостерігається і найменший місячний стік.

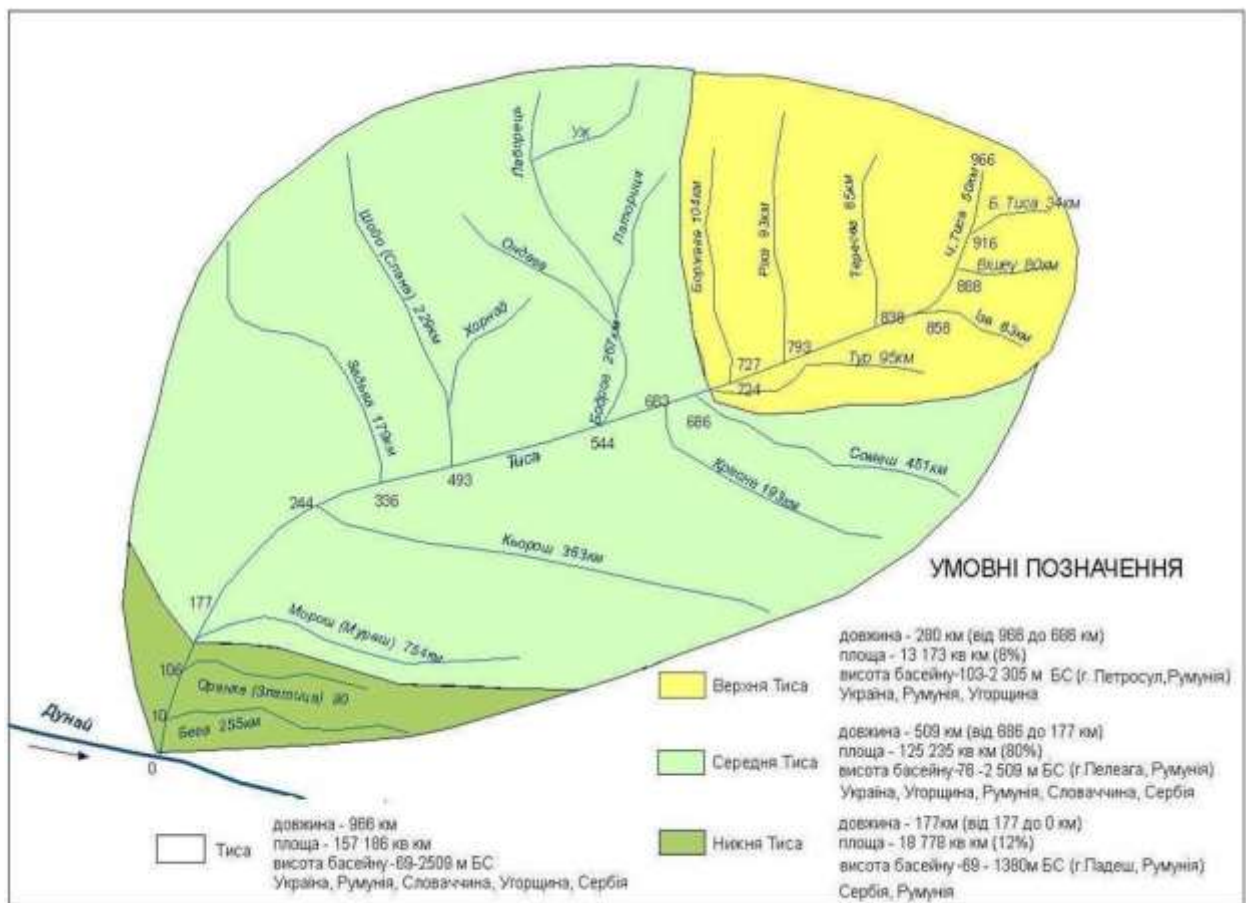


Рисунок 2.1 – Схема ділянок суббасейну річки Тиса

Внутрішньорічний режим стоку річок цього суббасейну характеризується проходженням паводків у період з березня по серпень. У маловодні роки високі паводки іноді спостерігаються восени й навіть узимку. У зв'язку з такою складністю режиму стоку річок визначення меж сезонів є

досить умовним, тому що паводки, що спостерігаються протягом усього року, ускладнюють виділення меженого періоду.

Максимальний стік. Паводки на річках суббасейну формуються атмосферними опадами, які тут бувають часто (165-175 днів). Однак формування паводків починається тоді, коли сума опадів перевищує 20 мм за добу. При дуже інтенсивних зливах, під час яких випадає понад 100 мм опадів, паводки набувають катастрофічного характеру. Тоді рівні води на гірських ділянках піднімаються на (2...4) м, на передгірних – на (5..6) м, а на р. Тиса – на (6,5...9,5) м. Одночасно відбувається швидке скидання паводкових вод з гірських водотоків до річкових долин, де відбувається значне затоплення площ – смугою шириною від (15...60) м в гірській зоні, (115...500) м в передгірській зоні, а на рівнині зона затоплення збільшується до 2500 м. Значні похили місцевості зумовлюють саме швидкоплинні паводки, під час яких підйом рівнів води досягає (1,5...2,5) м за 3-4 години.

За характеристики мінімального стоку приймаються середньомісячні (30-добові періоди з найменшим стоком) та мінімальні середньодобові витрати в літньо – осінній та зимовий періоди. Мінімальні середньомісячні витрати переважно 95 % забезпеченості є розрахунковими при проектуванні гідроелектростанцій, водосховищ, ставків, а мінімальні середньодобові витрати 95 % забезпеченості – при проектуванні споруд для водопостачання населених пунктів і промислових підприємств.

Річка Боржава – права притока р. Тиса. Довжина річки 106 км, площа водозбору 1360 км². Річка бере початок на схилі г. Великий Верх. Висота витоку 1575 м і гирла 107 м над рівнем моря.

Густота річкової мережі 1,3 км/км² – найменша в басейні р. Тиса. Тільки сама верхня частина водозбору знаходиться в горах, потім річка виходить в передгір'я, а в нижній течії – на рівнину. Середня висота водозбору у водпоста Довге 400 м.

Ширина річки в середній і нижній течії (30...50) м. Береги висотою (1...3) м, на пригирловій ділянці до 8 м, в багатьох місцях закріплені [28, 51].

У таблиці 2.4 представлені дані внутрішньорічного розподілу стоку річки Боржава.

На рисунку 2.2 зображений гідрограф річки Боржава за максимальними показниками витрати води.

Таблиця 2.4 – Внутрішньорічний розподіл стоку (за місяцями та сезонами) річки Боржава, %

Місяці												Сезон			
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	З	В	Л	О
8,3	9,4	13,2	14,3	9,2	8,0	6,8	4,5	4,1	5,3	7,2	9,6	27	37	19	17

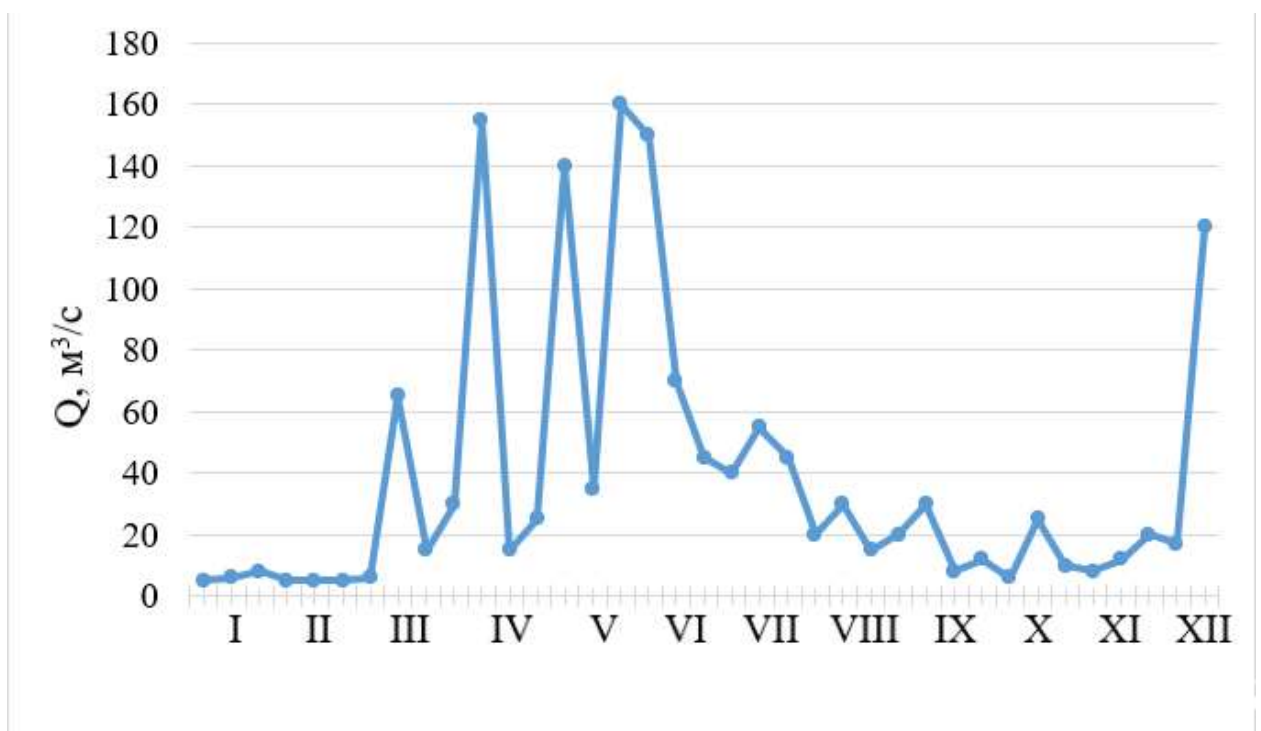


Рисунок 2.2 – Гідрограф річки Боржава за максимальними показниками витрат води

2.4 Вибір місця для розташування міні ГЕС

Під час вибору місця для розташування берегової безгребельної міні ГЕС необхідно звернути увагу на фактори, які враховуються при будівництві

міні ГЕС та проаналізувати, а також їх зв'язок з багатьма критеріями. Перелік таких факторів представлений у таблиці 2.5 [29, 40, 53].

Таблиця 2.5 – Фактори, які враховуються при проектуванні та їх зв'язок з критеріями

Критерії	Фактори, що враховуються для будівництва
Коефіцієнт використання потужності	Витрата води в річці (мінімальний, максимальний, середній, екологічний стік і їх мінливість), ефективність гідроагрегату
Задоволення попиту	Необхідність споживання електроенергії та графік її вироблення
Відстань до споживача	Близькість об'єктів інфраструктури
Розміри електростанції	Рельєф, вартість споруди
Площа затоплюваних земель	Рельєф, екологічний вплив
Вартість проекту	Економічні фактори

Після аналізу даних критеріїв, а також зібраних даних по гідрології річки Боржава було вирішено розташувати міні-ГЕС біля смт. Довге в Іршавському районі Закарпатської області.

Оскільки у цій місцевості жителі часто зіштовхуються з перебоями електроенергії дане розташування допоможе прибрати цей негативний фактор і забезпечити село цілорічним стабільним запасом електроенергії. Також це вирішить цілий комплекс економічних, екологічних і соціальних проблем, адже після встановлення міні-ГЕС з'являється можливість розвинути фермерське виробництво, тим самим дати нові робочі місця. Надлишок електроенергії, яке буде вироблятися на міні-ГЕС, продаватиметься у мережу за зеленим тарифом.

2.5 Визначення гідропотенціалу р. Боржава на обраній ділянці

Для визначення кількості енергії води для нашої річки скористаємося методом «лінійного обліку». При застосуванні цього методу кожен річку ділять на ряд ділянок без приток. Межі розрахункових ділянок встановлюються в точках перелому поздовжнього профілю річки чи в місцях різкого зростання витрати води у річці, тобто у гирла притоки.

Чисельне значення роботи, яка здійснюється потоком на кожній ділянці, можна визначити наступним чином.

Нехай є деяка ділянка річки АВ довжиною L (див. рис. 2.3) з постійними ухилом $\sin(\alpha)$, площею поперечного перерізу S і середньою швидкістю v . За деякий проміжок часу t об'єм води на ділянці переміститься в напрямку руху на відстань $L = v \cdot t$ а точка прикладання сили тяжіння цього об'єму $F = m \cdot g = v L \rho g$ зміститься в вертикальному напрямку на висоту $L \cdot \sin(\alpha) = v \sin(\alpha) \cdot t$ [29].

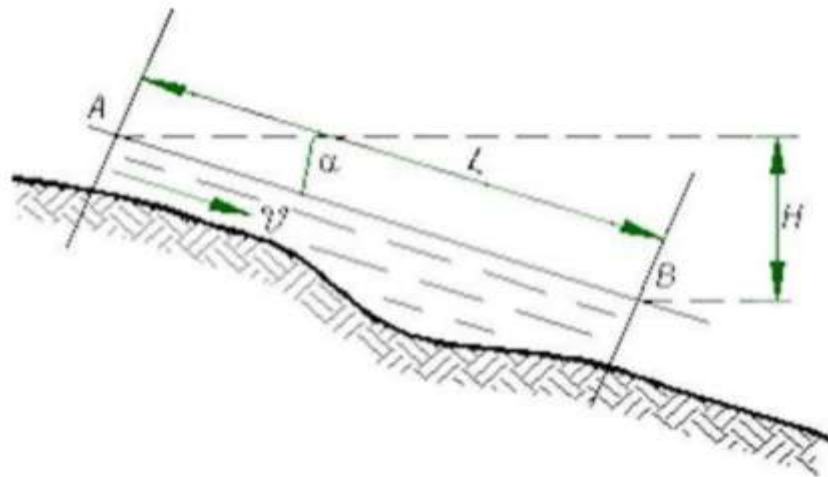


Рисунок 2.3 – Для розрахунку потужності водного потоку окремої ділянки річки

Робота, що здійснюється силою тяжіння на ділянці L , за час t визначається за виразом [29]

$$A = \rho \cdot g \cdot S \cdot L \cdot v \cdot \sin(\alpha) \cdot t. \quad (2.4)$$

Теоретична потужність

$$N = \frac{A}{t} = \rho \cdot g \cdot S \cdot L \cdot v \cdot \sin(\alpha). \quad (2.5)$$

У цьому рівнянні добуток $S \cdot v = Q$ і є середньою витратою води в річці на ділянці АВ, а добуток $L \cdot \sin(\alpha) = H$ - падіння річки на цій же ділянці.

Отже, беручи $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$, $g = 9,81 \text{ м/с}$, середній багаторічний стік $Q = 20 \text{ м}^3/\text{с}$ [29], $H = 6,75 \text{ м}$, отримуємо потужність N , кВт [30]

$$N = 9,81 \cdot Q \cdot H = 9,81 \cdot 20 \cdot 6,75 = 1324,3 \text{ кВт}. \quad (2.6)$$

Для того щоб оцінити приблизну потужність нашої берегової безгребельної міні-ГЕС на даній ділянці з умовою, що повного перегородження не буде, а тільки 10% водного потоку буде виробляти електричну енергію. Для розрахунку необхідно скористатися даною формулою

$$N_{\text{ГЕС}} = 9,81 \cdot Q_{10\%} \cdot H \cdot \eta_{\text{т}} = P \cdot \eta_{\text{т}}, \quad (2.7)$$

де $\eta_{\text{т}}$ – ККД гідротурбіни, який можна взяти в межах 70...90%.

Отже, потужність міні-ГЕС на даній ділянці

$$N_{\text{ГЕС}} = 132,43 \cdot 0,9 = 119,2 \text{ кВт}.$$

Так як в нас буде двох модульна (один модуль резерв) міні-електростанція тоді потужність можна вважати в два рази вищою.

2.6 Розрахунки параметрів МГЕС

Для розрахунку основних параметрів берегової безгребельно міні-гідроелектростанції на річці Боржава, скористаємося формулами з офіційного сайту розробника патента Франца Цотлерера, в якості аналога [31].

У таблиці 2.6 наведені вихідні дані міні-ГЕС.

Таблиця 2.6 – Параметри майбутньої берегової безгребельної міні-гідроелектростанції

Потужність одного блоку, кВт	119,2
Витрата води, м ³ /с	2
Напір, м	6,75
ККД турбіни, %	90%
Кількість турбін, шт	3 (два працюючі, один резерв)
Діаметр ворового баку, м	3

Для того, щоб знайти ККД генератора, необхідно зробити перетворення з формули потужності ГЕС

$$N_{\text{ГЕС}} = g \cdot Q_{\text{ГЕС}} \cdot H \cdot \eta_{\text{т}} \cdot \eta_{\text{ген}}, \quad (2.8)$$

де $\eta_{\text{ген}}$ – ККД генератора, %.

$$\eta_{\text{ген}} = \frac{N_{\text{ГЕС}}}{g \cdot Q_{\text{ГЕС}} \cdot H \cdot \eta_{\text{т}}}, \quad (2.9)$$

$$\eta_{\text{ген}} = \frac{119,2}{9,81 \cdot 2 \cdot 6,75 \cdot 0,9} = 0,94 \%$$

Активна потужність генератора

$$N_{\text{ГЕН}} = N_{\text{ГЕС}} \cdot \eta_{\text{ГЕН}}, \quad (2.10)$$

$$N_{\text{ГЕН}} = 119,2 \cdot 0,94 = 112 \text{ кВт.}$$

Мінімальний діаметр турбіни, м

$$D = \sqrt{\frac{N_{\text{ГЕС}}}{g \cdot Q_{\text{ГЕС}} \cdot H \cdot \eta_{\text{Т}} \cdot \sqrt{H}}}, \quad (2.11)$$

$$D = \sqrt{\frac{119,2}{9,81 \cdot 2 \cdot 6,75 \cdot 0,9 \cdot \sqrt{6,75}}} = 0,62 \text{ м.}$$

Швидкість входу потоку води до гідроелектростанції, м/с

$$V_{\text{Г}} = k_{\vartheta} \cdot \sqrt{2gH}, \quad (2.12)$$

де k_{ϑ} – коефіцієнт середньої швидкості зворотно-пропорційний напору.

$$V_{\text{Г}} = 0,17 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 6,75} = 1,95 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Швидкість витікання води через сопло, м/с

$$V = \varphi \cdot \sqrt{2gH}, \quad (2.13)$$

де φ – коефіцієнт швидкості для конічно звужуючого насадка при куті конусності 30° [34].

$$V = 0,896 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 6,75} = 10,3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Швидкість обертання турбіни, об/хв

$$n = \frac{V}{\frac{\pi}{30} + \frac{\pi r}{30}}, \quad (2.14)$$

$$n = \frac{10,3}{\frac{3,14}{30} + \frac{3,14 \cdot 0,31}{30}} = 75 \frac{\text{об}}{\text{хв}}.$$

Окружна швидкість, м/с

$$U = \frac{\pi r \cdot n}{30}, \quad (2.15)$$

$$U = \frac{3,14 \cdot 0,31 \cdot 75}{30} = 2,4 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

2.7 Огляд та розрахунок конструкції безнапірної гідравлічної турбіни

У роботі [33] автором був детально розглянутий принцип дії колеса Сегнера, який комплексно враховує його унікальну особливість – поєднання з найпростішою схемою відцентрового насоса і реактивної турбіни, охоплених позитивним зворотним зв'язком за потужністю. У цій же роботі був зроблений висновок про те, що якщо створити відповідні умови, наприклад, попередньо розкрутити ротор, то робота Колеса Сегнера можлива навіть при негативних значеннях початкового напору.

Основним елементом безнапірної гідравлічної турбіни є зливна трубка спеціальної форми. Ескіз проєкцій зливний трубки наведено на рисунку 2.5. Форма зливної труби обрана таким чином, що переміщається по ній рідина змінює напрямок вектора швидкості три рази в різних площинах. зміна напрямку вектора швидкості рідини викликає силовий вплив на вигнуті коліна трубки. Беручи до уваги те, що перетин трубки на всій протяжності постійно, а рідина нестислива, можна зробити висновок про те, що сили, які впливають

на всі три вигнуті коліна рівні між собою за абсолютною величиною, але вектори їх напрямки розташовуються в різних площинах.

Ротор являє собою конструкцію, в якій дві зливні трубки, жорстко закріплені на валу в положенні, показаному на рисунку 2.4 зливних трубок може бути декілька, проте для простоти будемо розглядати ротор з двома зливними трубками. Вал через редуктор пов'язаний з мотор-генератором і весь механізм занурений в резервуар з рідиною таким чином, щоб плечі зливних трубок ортогональні до валу знаходилися на невеликій висоті над поверхнею рідини. Синтезований механізм за своїм виглядом нагадує реактивне колесо, побудоване за принципом «еоліпіла» Герона або Колеса Сегнера.

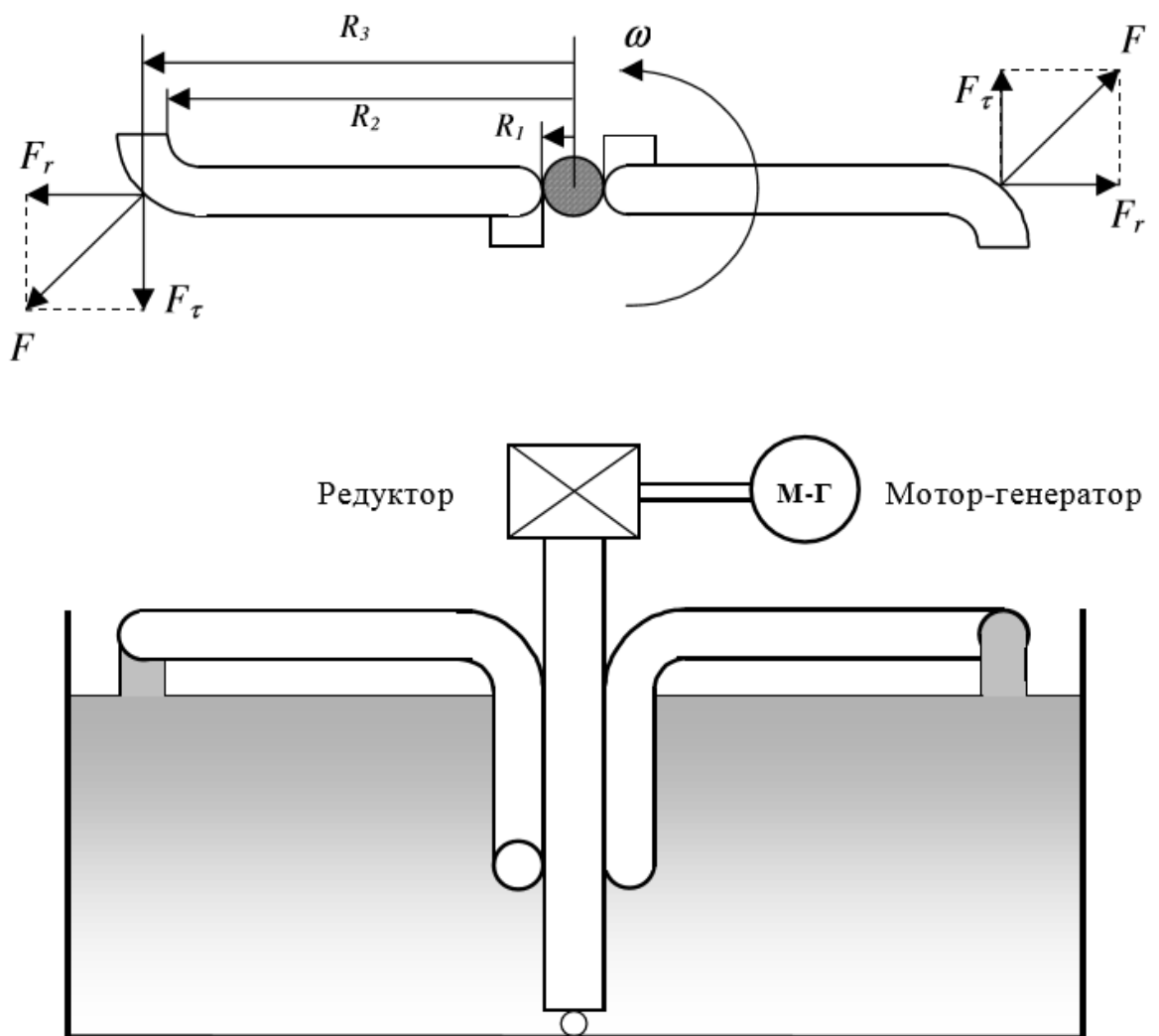


Рисунок 2.4 – Принципова схема безнапірної гідравлічної турбіни

Якщо за допомогою мотор-генератора розкрутити ротор в напрямку вказаному на рисунку 2.5, то рідина під дією швидкісного напору підніметься в зливні трубки, а потім під дією відцентрової сили буде переміщатися від центру ротора до периферії. Через відкриті кінці зливних трубок за рахунок дії сили тяжіння рідина буде зливатися назад в резервуар, забезпечуючи сталість свого рівня в ньому.

Очевидно, що горизонтальні, прямолінійні ділянки зливних трубок є явно вираженим відцентровим насосом, а жорстко закріплені на їх зовнішніх кінцях вигнуті під прямим кутом коліна, звернені відкритими отворами проти напрямку обертання - явно виражена реактивна турбіна.

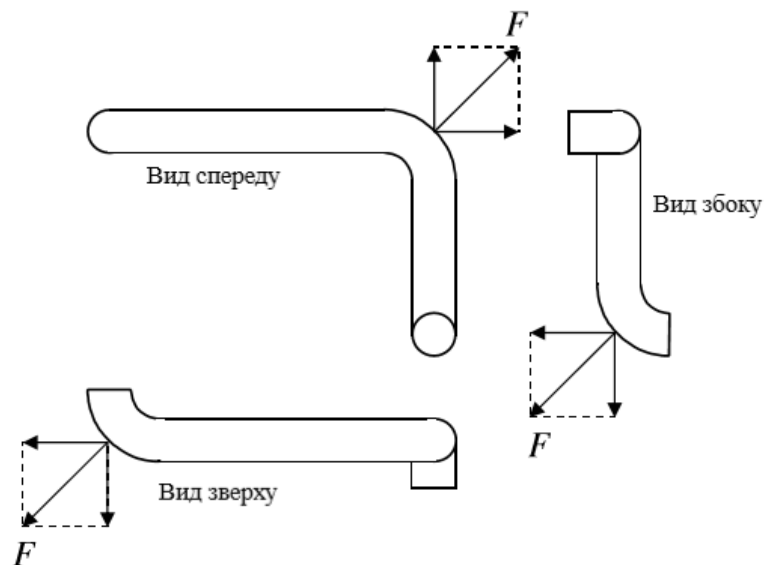


Рисунок 2.5 – Проекції зливної труби

Всі розрахункові співвідношення для попередніх інженерних розрахунків легко виходять з відомих елементарних фізичних законів.

Перепад напору, що викликається відцентровими силами за рахунок обертання рідини в зливних трубках, м

$$\Delta H_{об}(\omega) = \frac{\omega^2}{2g} \cdot (R_2^2 - R_1^2), \quad (2.16)$$

де ω – відцентрові сили,

g – прискорення вільного падіння,

$R_1 = 0,06$ м – відстань,

$R_2 = 0,67$ м – відстань.

$$\Delta H_{об}(\omega) = \frac{10^2}{2 \cdot 9,81} \cdot (0,67^2 - 0,06^2) = 2,26 \text{ м.}$$

Швидкісний напір (з метою спрощення аналізу не враховуємо), а величина напору у вихідному перерізі прямолінійного ділянки зливної труби визначається як різниця між перепадом напору, що викликається обертанням рідини і середньою висотою підйому рідини.

$$H(\omega) = \Delta H_{об}(\omega) - H_0, \quad (2.17)$$

де H_0 – середня висота підйому рідини над її рівнем в резервуарі і дорівнює 0,26 м.

$$H(\omega) = 2,26 - 0,26 = 2 \text{ м.}$$

Знаючи величину напору у вихідному перерізі прямолінійного ділянки зливної труби, з рівняння Бернуллі легко обчислюється радіальна швидкість течії рідини по зливній трубці

$$v_r(\omega) = \sqrt{2g[\Delta H_{об}(\omega) - H_0]}, \quad (2.18)$$

$$v_r(\omega) = \sqrt{2 \cdot 9,81[2,26 - 0,26]} = 6,26 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Тоді масова витрата рідини через одну водозливну трубку буде розрахована по формулі

$$G(\omega) = \rho S_T \vartheta_r(\omega), \quad (2.19)$$

де $S_T = 7,065 \text{ см}^2$ – площа вихідного перетину водозливної трубки;
 ρ – густина рідини.

$$G(\omega) = 1 \cdot 3,14 \cdot 1,5^2 \cdot 6,26 = 4,422 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Модуль сили впливу рідини на стінку вигнутого коліна зливної труби матиме значення

$$F(\omega) = \sqrt{2g \frac{G^2(\omega)}{\rho S_T}}, \quad (2.20)$$

$$F(\omega) = \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{4,422^2(\omega)}{1 \cdot 7,065}} = 7,368 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}.$$

Тангенціальна і радіальна складові рівні між собою за модулем і мають значення, кг

$$F_t(\omega) = F_r(\omega) = \frac{G^2(\omega)}{\rho S_T}, \quad (2.21)$$

$$F_t(\omega) = F_r(\omega) = \frac{4,422^2}{1 \cdot 7,065} = 2,76 \text{ кг}.$$

Використовуючи вираз (2.21) можна виразити крутний момент створюваний турбінною компонентою

$$M(\omega) = \frac{2R_3 G^2(\omega)}{\rho S_T}, \quad (2.22)$$

де $R_3=0,4$ м – відстань від центру обертання до точки прикладання результуючої сили $F(\omega)$.

$$M(\omega) = \frac{2 \cdot 0,4 \cdot 4,422^2}{1 \cdot 7,065} = 22,14 \frac{\text{кг}}{\text{м}}.$$

Знаючи, що обертає момент і задаючи кутову швидкість ω можна визначити потужність, що розвивається турбінної компонентою.

$$N(\omega) = \omega M(\omega) = \frac{2R_3 \omega G^2(\omega)}{\rho S_T}, \quad (2.23)$$

$$N(\omega) = \omega M(\omega) = 22,14 \cdot 5 = 110,7 \text{ кВт.}$$

Максимальне значення потужності (див. рис. 2.6), яке забезпечує перепад напору рідини за рахунок обертання в прямолінійних ділянках водозливних трубок, визначається відомим співвідношенням для відцентрових насосів [34, 47]

$$\Delta N(\omega) = 2gG(\omega)\Delta H(\omega), \quad (2.24)$$

$$\Delta N(\omega) = 2 \cdot 9,81 \cdot 4,422 \cdot 2,26 = 196,1 \text{ кВт.}$$

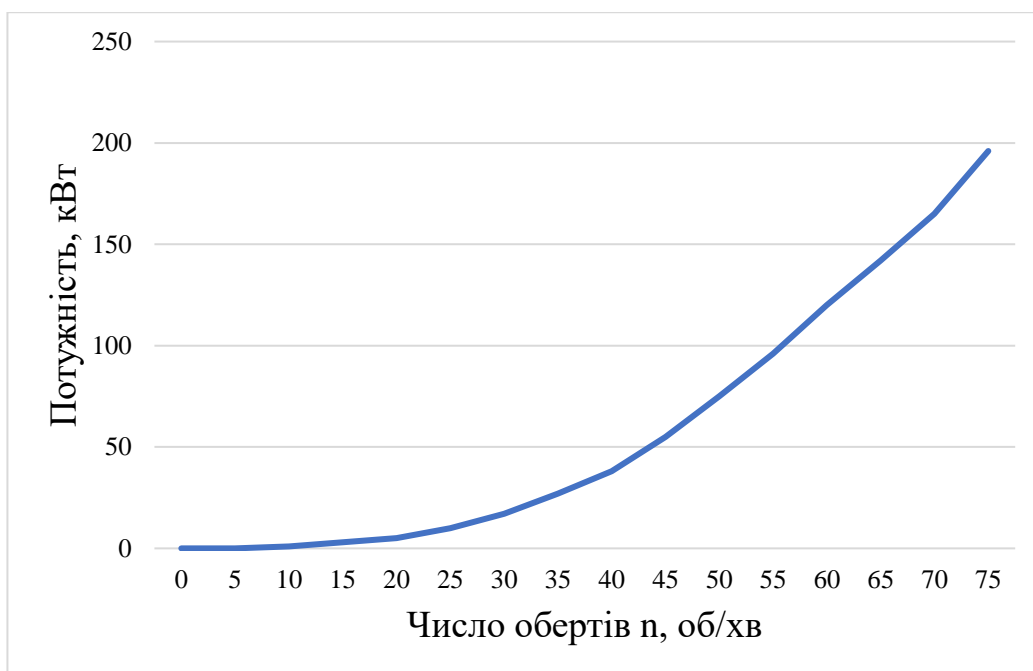


Рисунок 2.6 – Залежність максимальної потужності від числа обертів реактивної турбіни

Результати проведеного імітаційного математичного моделювання автором [33] показують, що безнапорна гідравлічна турбіна за рахунок внутрішньої позитивного зворотного зв'язку по потужності між насосною і турбінної компонентами може ефективно працювати при негативних значеннях початкового напору.

2.8 Проектування берегової безгребельної міні-гідроелектростанції на річці Боржава

Автономна берегова безгребельна міні-електростанція містить корпус на опорах, розміщене «сегнерове колесо», що складається з колектора зі зливними трубками, які жорстко з'єднані через муфту з валом електрогенератора. Знизу на дні корпусу закріплений вертикальний штуцер з сифоном і напірним вертикальним трубопроводом, який на вході відділений від накопичувача води регульованою засувкою. Сифон пристрою виконаний з можливістю його використання при малих напорах не менше 2 метрів

(0,2 атм). Автоматичне регулювання подачі води на «сегнеровому колесі» дає можливість його використання впродовж всього року [35, 46].

Пристрій належить до техніки автономного виробництва електроенергії і може бути використана для електропостачання будь-яких об'єктів, які віддалені від мереж і джерел традиційного виробництва електроенергії.

Відомий пристрій, в якому використовують відомий пристрій ефект дії сегнерового колеса. Такий ефект проявляється у відродженому пристрої в патенті RU 111 206 U1 від 21.04.2011 [22].

Виробництво електроенергії забезпечується розміщенням в циліндричному корпусі турбіни, яка виконана у вигляді сегнерового колеса, тобто колектор куди підведенні зверху водовід має від двох і більше зливних трубок, які мають вигін під прямим кутом на зовнішній стороні і обертовий вигін також під прямим кутом безпосередньо на їх внутрішній стороні.

Недоліком цього пристрою є значний гідродинамічний опір безпосередньо в зливних трубках.

Найбільш близьким по сукупності ознак до автономної міні-гідроелектростанції, яка заявляється, є пристрій для виробництва електростанції [33], що складається з декількох зливних трубок, і має стартер у вигляді вітрового колеса.

Недоліком такого пристрою є складність конструкції в цілому і залежність дії пристрою від зовнішнього фактору, а саме відсутності стабільності швидкості навколишнього повітря, що зменшує ефективність його застосування.

В основу проєктованої берегової безгребельної міні-гідроелектростанції поставлено задачу економного екологічного використання систем виробництва електроенергії, в якому за рахунок додаткових конструктивних елементів забезпечується зменшення гідродинамічного опору руху рідини (вода) на вході в пристрій і на всіх елементах зливних трубок, що дозволяє підвищити потужність пристрою і його матеріалоемність.

Для вирішення поставленої задачі в запропонованому гідравлічному електрогенераторі, що містить зливні трубки, які виконані з двох частин: основної і оборотної; зворотна сторона основної зливної трубки з'єднана по дотичній з колектором, а оборотна частина зливної трубки з'єднана знизу по дотичній з основною. Отвір зворотної сторони оборотної частини зливної трубки направлений проти напрямку обертання і затоплені в корпусі водою, яка потрапляє в корпус і колектор через вертикальний напірний трубопровід і сифон, що має три (або більше) криволінійні байпасні трубопроводи, змонтовані знизу і з'єднані з корпусом шаровими кранами. Всі зливні трубки, байпасні трубопроводи, напірний вертикальний підвідний трубопровід з сифоном мають гвинтоподібні треки, внутрішня сторона, яких виконана рельєфною. На циліндричній поверхні корпусу виконаний горизонтальний отвір для зливу води, площа якого забезпечує відсутність затоплення основної зливної трубки і присутність затоплення зворотної сторони оборотної частини зливної трубки. До дна корпусу жорстко прикріплений сифон з вертикальним трубопроводом, в який потрапляє вода підведена з першого джерела (річки), а колектор зі зливними трубками жорстко закріплений через муфту на валу електрогенератора, що встановлений на раму, яка закріплена на корпусі з трьома амортизованими опорами.

Схема об'єкту наведена на рисунку 2.7 (вид збоку) і рисунку 2.8 (вид в плані).

Пристрій складається з електрогенератора 1, рами 2, основних зливних трубок 3, оборотної частини 4 зливної трубки, колектора 5, трека зливної трубки 6, відбивача 7, корпусу 8 з жорстко закріпленими на ньому вертикальні штуцери 9, треку 10, байпасних трубопроводів 11, з шаровими кранами 12, сифона 13. При цьому лівонаправлені байпасні трубопроводи 11 (не менше двох) можуть бути підведені до дна корпусу 8 по дотичній під кутом не менше 15° на відстані від вертикального штуцера 9 не більше половини радіуса корпусу.

Закріплені у зливних трубках 6, вертикальному штуцері 9, сифоні 13 і вертикальному напірному трубопроводі 14 гвинтоподібні треки 6, 9, 15, 16 з рельєфною внутрішньою поверхнею забезпечують зниження гідроопору за рахунок утворення обертання водного потоку і насичення його кавітаційними бульбашками, які зароджуються в комірках рельєфної поверхні вже при швидкості руху більше 1м/сек. Корпус 8 має горизонтальний отвір 17 для зливу надлишкової води і підтримки постійного рівня затоплення зворотної сторони оборотної частини зливної трубки. Корпус 8 закріплений на амортизованих опорах 18, напірний вертикальний трубопровід 14 має на вході автоматично регульовану засувку 19 і накопичувач води 20. Муфта 21 закріплює сегнерове колесо з валом електрогенератора.

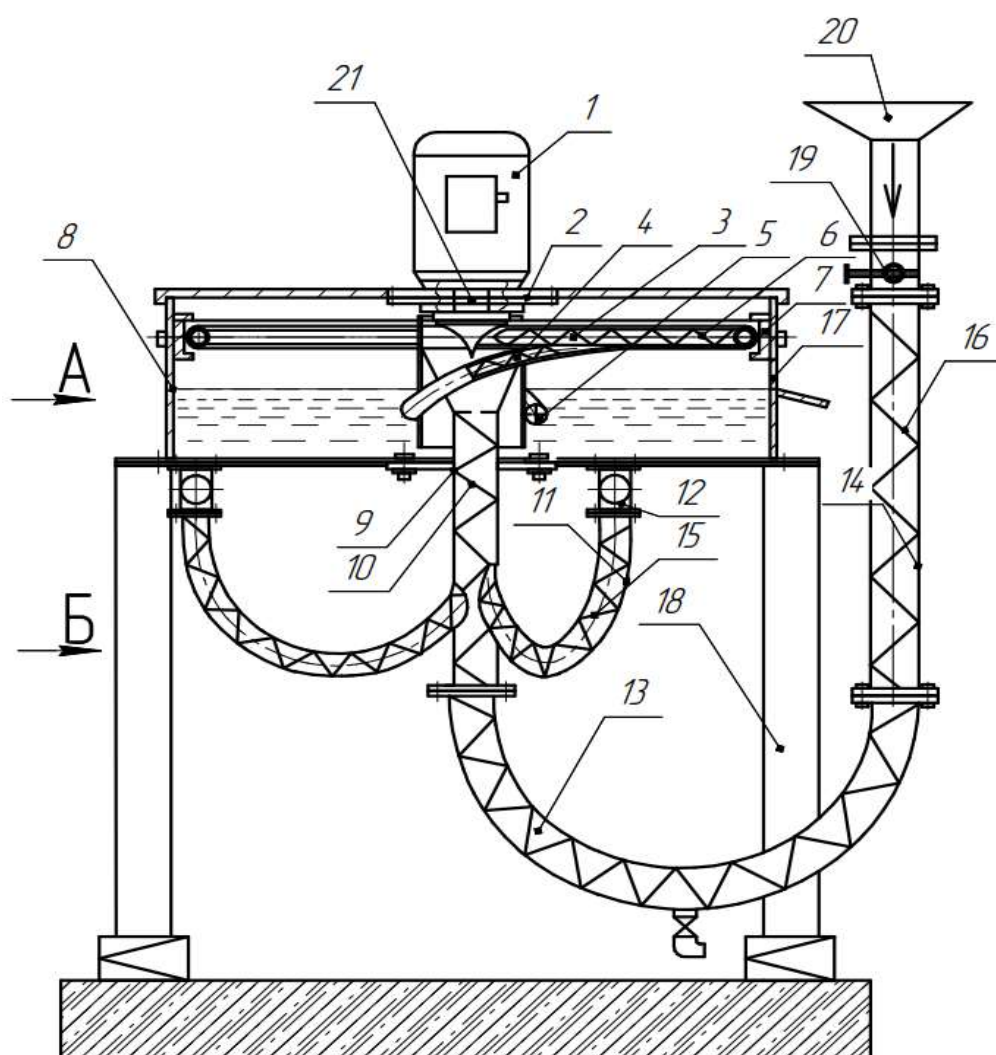


Рисунок 2.7 – Берегова безгрбельна міні-ГЕС вид збоку

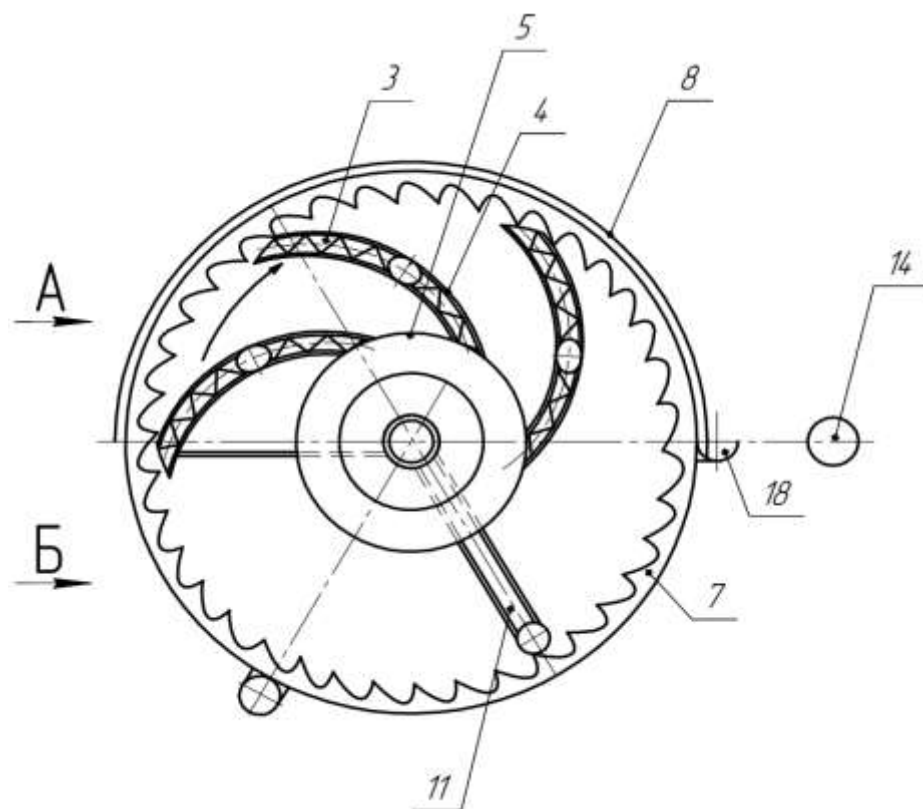


Рисунок 2.8 – Реактивна турбіна в плані

Пристрій працює таким чином:

1. Для запуску пристрою відкривають шарові крани 12.
2. Повільно відкривають регульовану засувку 19 і тримають повністю відкритою до визначення стабільної швидкості обертання «сегнерового колеса» (колектора 5 з трубками 3 і 4), які закріплені через муфту 21 з валом електрогенератора 1.

3. Характерною ознакою, того що уставлений режим обертання вала, тобто «сегнерового колеса» є стабільним буде поява необхідного електропотенціала на клеммах електрогенератора і постійний обсяг зливу надлишкової води через горизонтальний отвір 17. При цьому площа перетину потоку води не може бути більше площі перетину отвору, тобто трек у внутрішньому обсязі корпусу не перевищує атмосферний навколишній, і основні зливні трубки 3 гарантовано не торкаються води на внутрішній периферії корпусу 8.

4. При перевищенні обсягу надлишкової води використовують регулювання напірного потоку засувкою 19.

Більшість малих річок для яких пропонується випробування та впровадження пристроїв корисної моделі має характерну значну змінність впродовж року гідрографу, яка дорівнює 5-10 кратному збільшенню води в весняно-літній період відносно осінньо-зимового. В зв'язку з цим в пристрої до вертикального штуцера 9 може бути підведено по дотичній не три, а шість байпасних трубопроводів 11, а напірних вертикальних трубопроводів може бути два для гарантованої безаварійної роботи на міні-ГЕС.

При визначенні оптимальних режимів експлуатації пристрою в різні періоди року, тобто при значно відмінних показниках рівня води в річці, який напряду проявляється на рівні води в накопичувачі 20 використовують автоматичне регулювання обсягу потоку води засувкою 19.

Для запропонованої берегової безгребельної міні-ГЕС можливе використання всього стандартного ряду потужностей електродвигунів в якості електрогенератора включно до 132 кВт (Новокаховський НКЕМЗ).

Попередні гідравлічні розрахунки дозволили визначити використання запропонованої корисної моделі на річках де можливо забезпечити подачу води в накопичувач з напором не менше 6 метрів, тобто 0,6 атм.

2.8.1 Деталізовані креслення міні-ГЕС

У даному пункті розроблялись деталізовані креслення згідно рисунків 2.7 та 2.8. Всі креслення, що надалі наводяться зображують параметри та співвідношення для берегової безгребельної ГЕС, яку можна побудувати на річці Боржава. Для більшої економічної та енергетичної ефективності пропонується відразу побудувати десять ГЕС.

В результаті потужність однієї електростанції буде складати 119,2 кВт (за умови одного модулю). При встановленні всіх запропонованих десяти станцій потужність загальна буде дорівнювати 1192 кВт.

Спроектована гідроелектростанція являю собою міні-ГЕС, бо її потужність більше 100 кВт, але менша за 1000 кВт. Для станції на даний час діє «зелений тариф».

Дана берегова безгребельна міні-гідроелектростанція складається з наступних елементів:

1. Електрогенератор.
2. Рама.
3. Основні зливні трубка.
4. Оборотна частина зливної трубки.
5. Колектор.
6. Трек зливної трубки.
7. Відбивач.
8. Корпус.
9. Вертикальний штуцер.
10. Трек сифону.
11. Байпасні трубопроводи.
12. Шарові крани.
13. Сифон.
14. Напірний трубопровід.
15. Трек баспасного трубопроводу.
16. Трек напірного трубопроводу.
17. Горизонтальний отвір.
18. Амортизовані опори.
19. Автоматична регульована засувка.
20. Накопичувач води.

Позиція 1 – електрогенератор пристрій, що необхідний для віддачі виробленої енергії в мережу. Оскільки для заданих параметрів потужності гідроелектростанції гідрогенератор знайти проблематично тому було вирішено використати асинхронний трифазний електродвигун у режимі

генератора. Було обрано на офіційному сайті Новокаховський НКЕМЗ з каталогу електродвигун серії 4АМНУ225,250 [36].

Електродвигуни асинхронні з короткозамкненим ротором серії 4АМНУ225, 250 мають загальнопромислове застосування. Виготовляються для постачань в регіони з помірним кліматом (виконання УЗ).

Ступінь захисту - IP23.

Клас ізоляції – F.

Монтажне виконання: IM1001, IM1002 – на лапах, з одним або двома кінцями валу.

Електродвигуни розраховані для роботи в режимі S1 від мережі змінного струму частотою 50 Гц, на одне зі стандартних напруг від 220 В до 660 В.

Електродвигуни мають ввідний пристрій, розташований зверху і допускається розворот на 180 °.

У даній серії двигуни мають потужність від 37 до 132 кВт. Була обрана модель 4АМНУ250S2.

Технічні характеристики електродвигуна для частоти струму 50 Гц наведені в таблиці 2.7.

Установчі та приєднувальні розміри наведені в додатку А.

Таблиця 2.7

Тип двигуна	Потужність, кВт	Частота обертання, об/хв	ККД, %	cos φ	Номінальний струм при U=380, А	Маса, кг
4АМНУ250S2	110	3000	94,0	0,88	202	465

На рисунку 2.9 зображено реактивна турбіна в зборі та її позиції: 1 електрогенератор, 3 основні зливні трубка, 7 відбивач, 11 байпасні трубопроводи, 21 муфта.

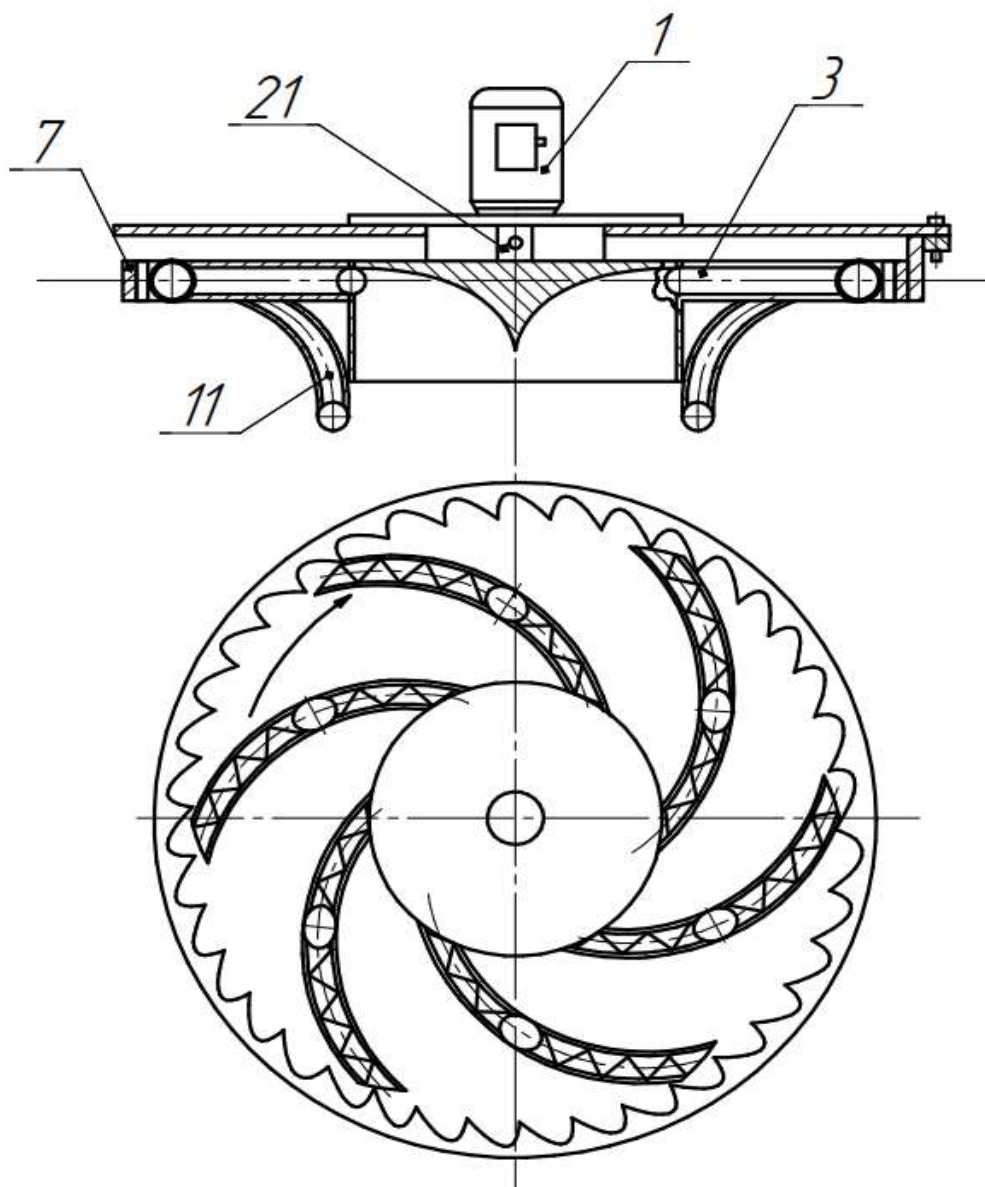


Рисунок 2.9 – Реактивна турбіна в зборі

Позиція 3,4,6 – це реактивна турбіна, яка має вигляд шести канального сегнерового колеса. Дана турбіна складається з шести основних зливних трубок, що складаються з двох частин: основної та оборотної. Кожна трубка має гвинтоподібні треки. Згідно додатка Б для побудови обрано діаметр труб 50 мм, а товщина стінки відповідно 5 мм. Зливні трубки в свою чергу мають наступний вигляд (див. рис. 2.10)

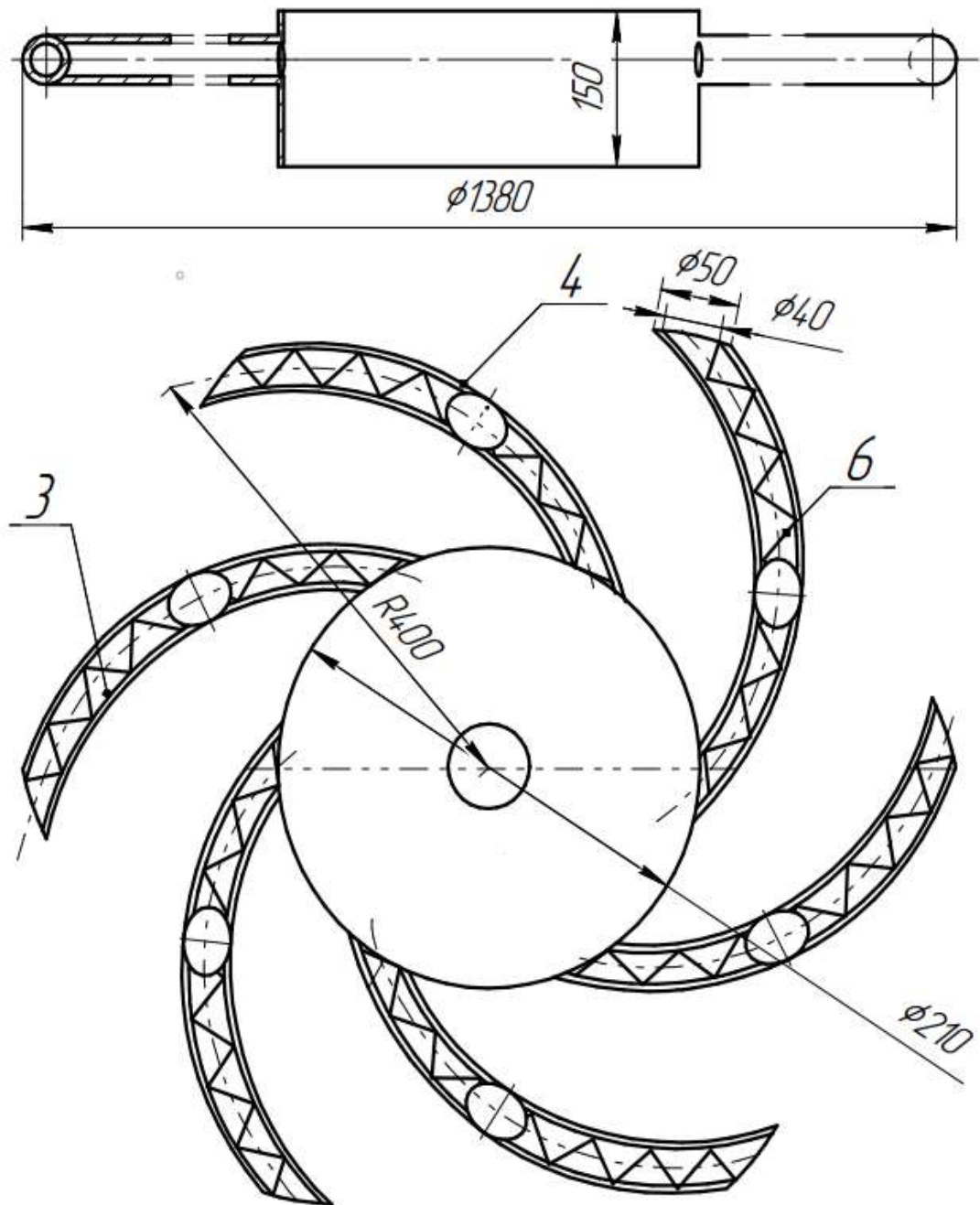


Рисунок 2.10 – Реактивна турбіна з гвинтоподібними треками

Позиція 7 – це рельєфний відбивач. Призначення цього елемента рідина, що відбивається забезпечує зниження гідроопору за рахунок утворення обертання водного потоку і насичення його кавітаційними бульбашками. Дані елементи зображені на рисунку 2.11.

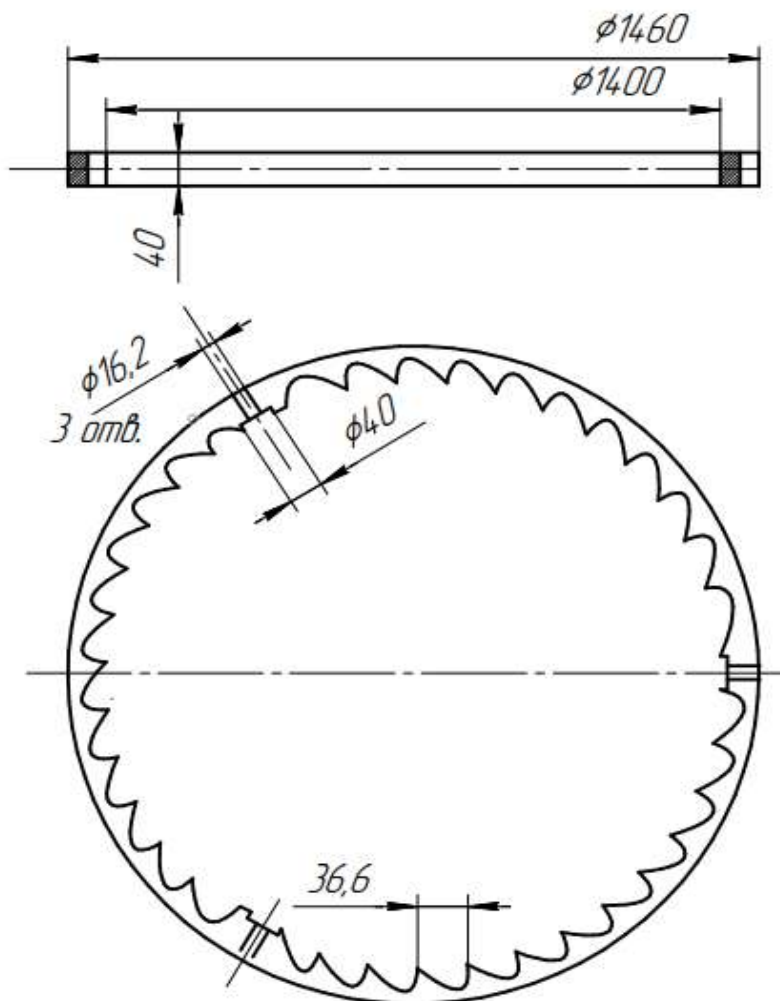


Рисунок 2.11 – Рельєфний відбивач

Наступна позиція 13 – сифон. Призначення полягає в тому, що для утворення водного потоку використовують сифон, на кінці якого встановлюють засувки. Приймальний кінець сифона опускають в ріку, а зливний кінець поміщають в початок розподільної труби, внутрішній діаметр якої вибирають більшим, ніж зовнішній діаметр труби сифона. Для пуску водного потоку послідовно закривають засувки на кінцях сифона, наповнюють сифон водою «під пробку», закривають отвір в сифоні пробкою і відкривають засувки. Таким чином, водний потік створюється за допомогою використання природної властивості сифона утворювати різницю тисків в його короткому (приймальному) і довгому колінах, в результаті чого здійснювати постійний

засос води без зовнішнього впливу, а саме без використання будь-якого насосного обладнання і без витрат енергії на створення вакууму або тиску.

Сифон має вигляд та параметри, зображені на рисунку 2.12.

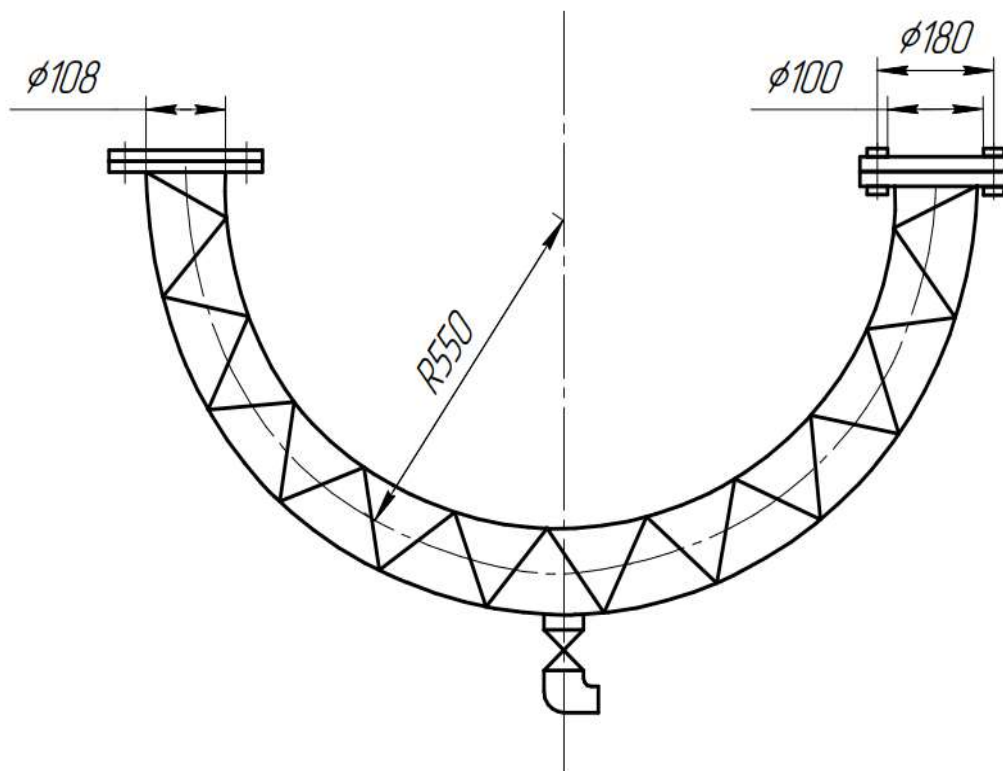


Рисунок 2.12 – Сифон напірного трубопроводу

Позиція 8, 17, 18, – це корпус, горизонтальний отвір та амортизовані опори. Корпус має горизонтальний отвір для зливу надлишкової води і підтримки постійного рівня затоплення зворотної сторони оборотної частини зливної трубки. Він закріплений на амортизованих опорах.

Дані елементи з параметрами зображені на рисунку 2.13.

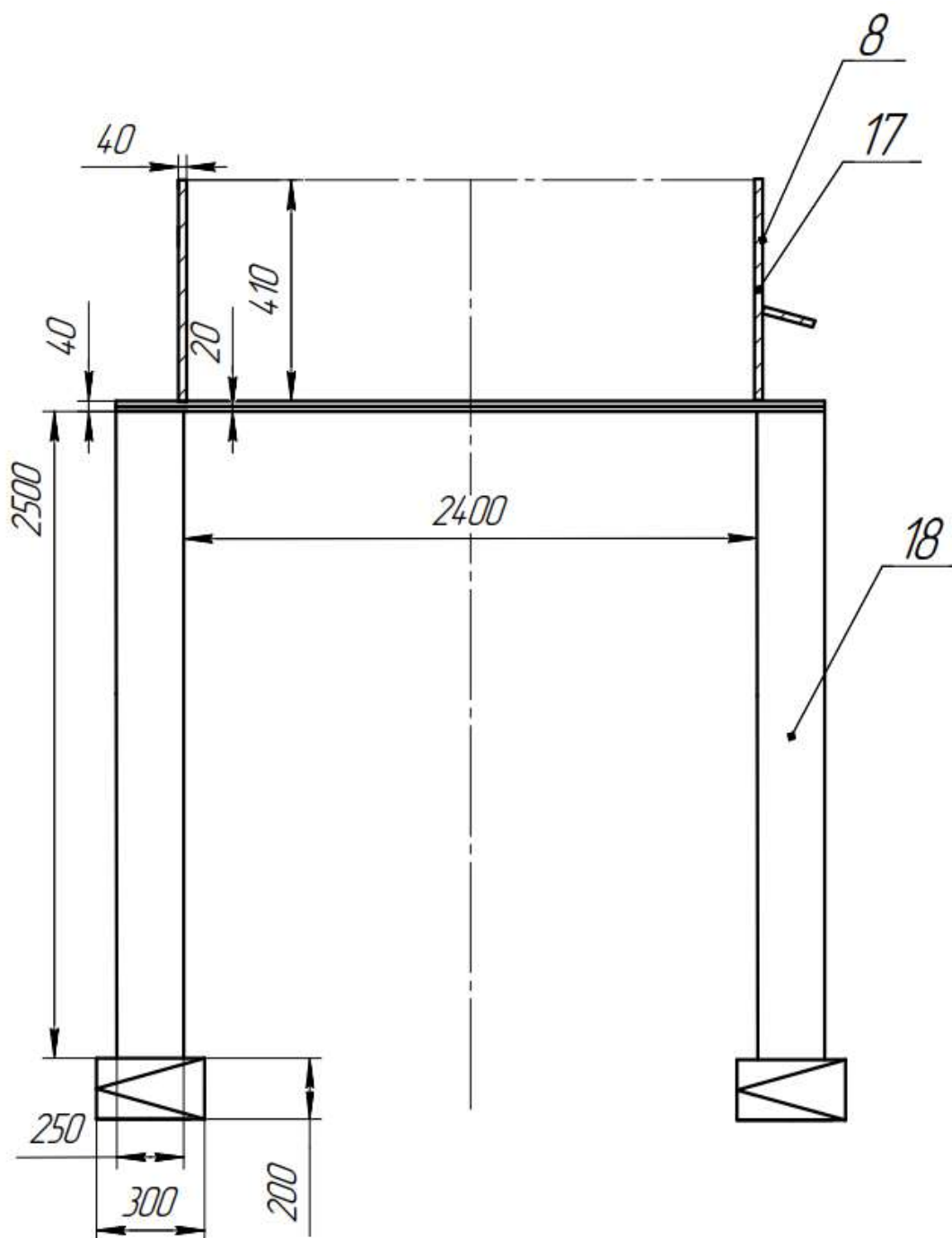


Рисунок 2.13 – Корпус станції та амортизовані опори

Позиція 14, 19, 20 – вертикальний напірний трубопровід, автоматично регульована засувка та накопичувач води зображено на рисунку 2.14.

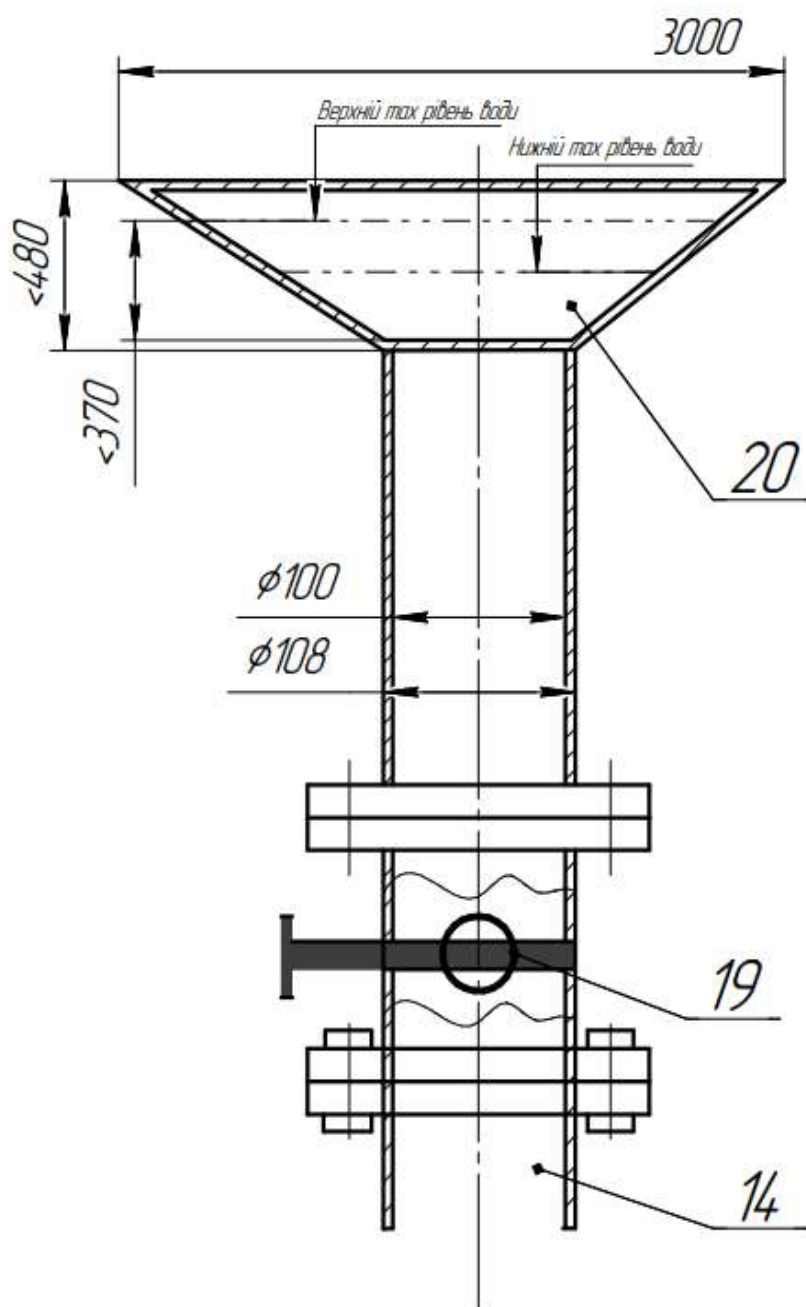


Рисунок 2.14 – Накопичувач води

Позиція 21 – муфта зображена на рисунку 2.15.

Призначення муфти у даному випадку, вона закріплює сегнерове колесо з валом електрогенератора.

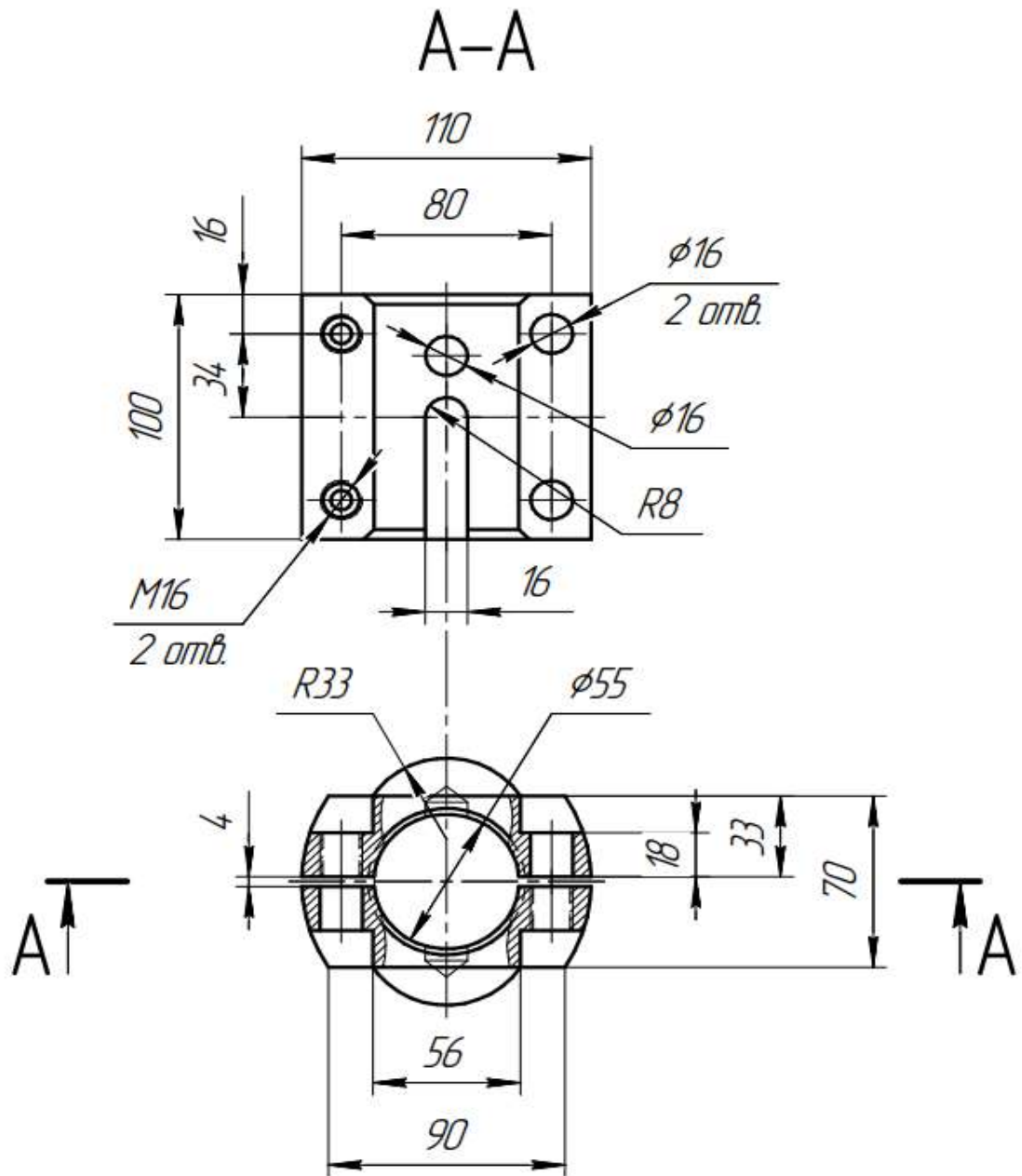


Рисунок 2.15 – Муфта

В результаті проектування було отримано блок, що складається з двох модулів реактивних турбін на основі сегнерового колеса. Потужність двох працюючих модулів буде складати 238,4 кВт. Але ці дані розраховані згідно мінімуму витрат води гідрографа. Надалі пропонується встановити всього десять модулів, що дозволить отримати потужність 2384 кВт. Яка відповідає поставленим завданням по підвищенню необхідної кількості електроенергії на одну людину.

3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ МІНІ-ГЕС НА РІЧЦІ БОРЖАВА

Визначення перспективи – це встановлення "масштабу", в якому буде оцінено проект будівництва берегової безгребельної міні-ГЕС. З погляду вартісної оцінки проекту може бути виконаний або економічний, або фінансовий його аналіз.

Економічний аналіз є оцінкою доцільності здійснення проекту з погляду суспільства в цілому (такий аналіз інакше можна назвати макроекономічним). Метою проведення економічного аналізу є максимізація суспільної вигоди від реалізації проекту. При його виконанні оперують не ринковими цінами, а цінами, які відображають дійсну (повну) вартість використання суспільством тих або інших ресурсів.

Фінансовий аналіз припускає оцінку доцільності реалізації проекту з позиції приватного інвестора. Метою такого аналізу є максимізація приватного прибутку для інвестора. При виконанні фінансового аналізу всі витрати і вигоди проекту приймаються такими, якими вони склалися на приватному ринку. Такий аналіз здійснюється значно простіше, ніж економічний, і є доступнішим для інженерів, що не мають спеціальної економічної підготовки. Тому (а також через його достатність) в подальшому передбачається докладно розглянути тільки фінансове оцінювання інвестиційних проектів.

Під часовим горизонтом проекту (або тривалістю його життєвого циклу) слід розуміти період часу, як правило в роках, упродовж якого цей проект буде використовуватися і приносити прибуток.

Щоб встановити часові межі проекту, необхідно відразу ж призначити термін його закінчення. При цьому залежно від конкретної ситуації можна орієнтуватися на тривалість періоду фізичного або морального зносу основних фондів, що придбають або споруджують.

Для підстав будівництва берегової безгребельної міні-гідроелектростанції під час проектування та планування користуються не

тільки економічними показниками, а й технічними. Тому виконаємо техніко-економічне обґрунтування будівництва міні-ГЕС на річці Боржава.

Техніко-економічне обґрунтування – це розрахунок економічної доцільності здійснення проекту, заснований на порівняльній оцінці витрат і результатів ефективності використання, а також строку окупності вкладень.

Розробка ТЕО здійснюється на основі перспективного плану розвитку галузі промисловості, у яку увійде об'єкт, що проектується.

Для великих підприємств ТЕО розробляється спеціалізованою проектною організацією, для підприємств невеликої потужності – головним управлінням міністерства, якому підпорядкована дана галузь. ТЕО розглядається і затверджується міністерством (замовником). За затвердженням ТЕО замовник складає завдання на проектування об'єкта.

Всі вихідні дані для розрахунку ТЕО для берегової безгребельної міні-ГЕС відображені у таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Вихідні дані об'єкту

Тип об'єкту	берегова безгребельна ГЕС
Встановлена потужність одного модуля, кВт.	119,2
Напор, м.	6,75
Кількість турбін, шт	3 (дві працюючих, одна резервна)
Діаметр ворового баку, м	3
Початкові капіталовкладення, грн	3472000
Відпущена електрична енергія, кВт·год	815842,9

Першими рахуються витрати на експлуатацію станції впродовж року. У промисловості прийнята така класифікація витрат за економічними елементами:

- сировина та основні матеріали;

- допоміжні матеріали;
- паливо та енергія;
- амортизація основних фондів
- основна і додаткова заробітня плата
- відрахування на соціальне страхування
- послуги
- поточний ремонт
- інші грошові витрати.

В енергетиці відсутні витрати на сировину й основні матеріали, а для гідроелектростанцій – ще й витрати на паливо. Разом із цим, в енергетиці визначають як самостійні елементи витрати на поточний ремонт та послуги, що виконують своїми допоміжними службами і сторонніми організаціями.

Надалі скористуємося для розрахунку техніко-економічних показників методикою [37].

Загальні витрати на виробництво електроенергії на міні-ГЕС визначаються за формулою

$$V_z = V_{ам} + V_{рем} + V_{зп} + V_{ін} + V_{пв}, \quad (3.1)$$

де $V_{зп}$ – витрати на заробітну плату, грн;

$V_{ам}$ – витрати на амортизацію та інші відрахування, грн;

$V_{рем}$ – витрати на ремонтне обслуговування, грн;

$V_{ін}$ – витрати на допоміжні матеріали та інші витрати, грн;

$V_{пв}$ – позавиробничі витрати, грн;

Чисельність персоналу енергетичних підприємств є величиною практично незмінною, тому визначається у відповідності зі штатним розкладом (відповідно штатному коефіцієнту, віднесеному до величини встановленої електричної потужності). Укрупнено витрати на заробітну плату розраховуються за наступною формулою

$$B_{зп} = n \cdot ЗП \cdot 12 \cdot 1,22 \cdot k, \quad (3.2)$$

де n – чисельність персоналу (для берегової безгребельної міні-ГЕС складає 1 людина, що спостерігає за даними датчиків з декількох станцій одразу), чол;

$ЗП$ – середня заробітна плата для працівників галузі, грн;

k – штатний коефіцієнт (обирається за довідниковими даними), для ГЕС дорівнює 1;

1,22 – відрахування на соціальне страхування (22 % з 1 січня 2016 р.).

Витрати на заробітну плату, грн

$$B_{зп} = 3 \cdot 5000 \cdot 12 \cdot 1,22 \cdot 1 = 219600 \text{ грн.}$$

У даний час норми амортизаційних відрахувань на реновацію і капітальний ремонт гідротехнічних споруд прийняті від 0,2 до 2 % від початкової балансової вартості.

Для основного обладнання низьконапірних ГЕС норма амортизації складає 4 %, а для високонапірних – 5,2 %. В приблизних розрахунках допускається використовувати середні норми амортизаційних відрахувань.

Витрати на амортизацію

$$B_{ам} = 0,04 \cdot K, \quad (3.3)$$

де K – капіталовкладення, грн.

$$B_{ам} = 0,04 \cdot 3472000 = 138880 \text{ грн.}$$

Витрати на ремонт устаткування енергетичного підприємства можна прийняти у розмірі 20 % відносно амортизаційних відрахувань від вартості основних фондів.

Витрати на ремонт

$$V_{\text{рем}} = 0,2 \cdot V_{\text{ам}}, \quad (3.4)$$

$$V_{\text{рем}} = 0,2 \cdot 138880 = 27776 \text{ грн.}$$

Витрати на допоміжні матеріали та інші витрати включають страхування, а саме на допоміжні матеріали, а також непередбачені видатки різного спрямування, наприклад, які пов'язані з аварійним ремонтом устаткування, штрафами за порушення умов експлуатації, витратами на додаткові роботи, що виникають при експлуатації гідроелектростанції в результаті зміни природніх умов і вимогами до підвищення її надійності та безпеки.

Інші витрати

$$V_{\text{ін}} = \alpha_{\text{рем}} \cdot (V_{\text{ам}} + V_{\text{рем}} + V_{\text{зп}}), \quad (3.5)$$

де $\alpha_{\text{рем}}$ – коефіцієнт відрахувань на загально станційні витрати, можна прийняти $\alpha_{\text{рем}}=0,05$.

$$V_{\text{ін}} = 0,05 \cdot (219600 + 138880 + 27776) = 19312,8 \text{ грн.}$$

Останніми у черзі витрат щодо визначення загальних річних експлуатаційних витрат розраховуються комерційні або позавиробничі витрати:

- витрати, які не пов'язані з виробництвом електроенергії, але в силу діючого законодавства списуються на собівартість електроенергії;
- страховий фонд, фонд зняття з експлуатації, інноваційний фонд, фонди охорони праці, фінансової підтримки, страховий фонд та інші.

Зазвичай вони приймаються в межах 1-5 % від суми попередньо розрахованих витрат.

Позавиробничі витрати

$$B_{\text{пв}} = 0,03 \cdot (B_{\text{ам}} + B_{\text{рем}} + B_{\text{зп}} + B_{\text{ін}}), \quad (3.6)$$

$$B_{\text{пв}} = 0,03 \cdot (27776 + 138880 + 219600 + 19312,8) = 12167,1 \text{ грн.}$$

Загальні витрати на виробництво електроенергії

$$B_3 = 219600 + 27776 + 138880 + 19312,8 + 12167,1 = 417735,9 \text{ грн.}$$

Собівартість електроенергії, яка виробляється на ГЕС, у 5-6 разів нижча за собівартість енергії ТЕС. На гідроелектростанціях основними складовими витрат виробництва є витрати на амортизацію, заробітну плату, а також загально станційні витрати.

В цілому, собівартість виробництва енергії на ГЕС залежить від її потужності, капітальних витрат, ступеня амортизації станції, регульованості стоку річки, режимів роботи в добовому та річному періодах і водності року.

Собівартість одиниці електроенергії, тобто 1 кВт·год., відпущеної від шин гідроелектростанції, можна визначити, користуючись формулою

$$C_w = \frac{B_3}{W_{\text{відп}}}, \quad (3.7)$$

де B_3 – загальні витрати на виробництво електроенергії, грн;

$W_{\text{відп}}$ – електрична енергія відпущена з шин, кВт·год.

Річний обсяг відпущеної електроенергії з шин станції з урахуванням витрат на власні виробничі потреби розраховується за формулою

$$W_{\text{відп}} = W_{\text{зг}} \cdot \left(1 - \frac{k_{\text{вп}}}{100}\right), \quad (3.8)$$

де $W_{зг}$ – кількість згенерованої гідроелектростанцією енергії, кВт·год;
 k_{en} – коефіцієнт власних потреб гідроелектростанції, у даному випадку дорівнює 3 %.

Згенерована енергія

$$W_{зг} = N_{вст} \cdot T_{макс}, \quad (3.9)$$

де $N_{вст}$ – встановлена потужність ГЕС для двох модулів, кВт;
 $T_{макс}$ – час використання максимальної потужності ГЕС, год.

Встановлена потужність

$$N_{вст} = N \cdot n_2, \quad (3.10)$$

$$N_{вст} = 119,2 \cdot 2 = 238,4 \text{ кВт}$$

Так, як в нас буде працювати не одна берегова безгребельна міні-ГЕС, а десять тоді встановлена потужність буде дорівнювати 2384 кВт.

Для того, щоб знайти час використання максимальної потужності необхідно скористатися формулою

$$T_{макс} = \frac{\sum Q_i}{Q_{макс}} \cdot 24 \cdot 30, \quad (3.11)$$

де $\frac{\sum Q_i}{Q_{макс}}$ – визначається з таблиці 3.2, згідно гідрографа річки Боржава, м³/с.

Таблиця 3.2 – Витрата води через річку Боржава

Витрата	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12
води, м ³ /с	5	6	65	150	140	160	70	45	30	25	20	20

Витрата води

$$T_{\text{макс}} = 4,9 \cdot 24 \cdot 30 = 3528 \text{ год.}$$

Кількість згенерованої гідроелектростанцією енергії

$$W_{\text{зг}} = 119,2 \cdot 2 \cdot 10 \cdot 3528 = 841075,2 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Обсяг відпущеної електроенергії з шин станції

$$W_{\text{відп}} = 841075,2 \cdot (1 - 0,03) = 815842,9 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Собівартість одиниці електроенергії

$$C_w = \frac{417735,9}{815842,9} = 1,02 \frac{\text{грн}}{\text{кВт}} \cdot \text{год.}$$

Наступний параметр, що допомагає дослідити ефективність спорудження об'єкта – термін його окупності. Для прийняття позитивного рішення про доцільність будівництва берегової безгребельної міні-ГЕС термін окупності має бути:

- менше терміну експлуатації об'єкта будівництва;
- привабливим для інвестора.

Розроблюваний проект передбачає створення десяти берегових безгребельних автономних міні-ГЕС. Таким чином, необхідно визначити за

який термін інвестиції у дану міні гідроелектростанцію окупляться. Термін окупності визначаємо за формулою

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{E} = \frac{K}{\Pi}, \quad (3.12)$$

де K – капіталовкладення у будівництво гідроелектростанції, грн;

E – річна величина ефекту від продажу електроенергії, грн;

Π – прибуток від продажу електроенергії, грн.

Річна величина ефекту від продажу електроенергії

$$E = \Pi = W_{\text{відп}} \cdot (T_w - C_w), \quad (3.13)$$

де T_w – тариф для міні-ГЕС станом на 01.08.2020 і дорівнює 0,14 € за поточним курсом 1 € = 33,4 грн, отже $T_w = 4,7$ грн [38].

$$E = \Pi = 815842,9 \cdot (4,7 - 0,51) = 3834461,6 \text{ грн.}$$

Термін окупності міні-ГЕС

$$T_{\text{ок}} = \frac{3472000}{3834461,6} = 0,9 \text{ року} = 11 \text{ місяців.}$$

Враховуючи те, що освоєння капітальних витрат та отримання доходу й прибутку відбувається в різний час, доцільно розрахувати інтегральні показники ефективності, зокрема, чисту приведену вартість проекту будівництва ГЕС (NPV).

Чиста приведена вартість проекту будівництва міні-ГЕС визначається за наступною формулою

$$NPV = \Pi \cdot \alpha_T - K, \quad (3.14)$$

де α_T – ставка дисконту;

Процентна ставка

$$\alpha_T = \frac{1 - (1 + \alpha)^{-T}}{\alpha}, \quad (3.15)$$

де α – процентна ставка і дорівнює 0,1;

T – термін експлуатації гідроелектростанції, що приймається рівним 30 рокам.

$$\alpha_T = \frac{1 - (1 + 0,1)^{-30}}{0,1} = 9,42.$$

Чиста приведена вартість проекту

$$NPV = 3834461,6 \cdot 9,42 - 3472000 = 32648628,3 \text{ грн.}$$

Проект вважається ефективним і дохід від продажу електроенергії покриватиме витрати на її виробництво і забезпечуватиме повернення інвестованого капіталу.

У таблиці 3.3 наведені дані стосовно необхідної кількості встановлених блоків міні-ГЕС для повного забезпечення електроенергією населення смт. Довге, смт. Шаланки та м. Іршава. За умови, що один блок міні ГЕС дорівнює 238,4 кВт·год, а норма на одну людину на добу становить 1,2 кВт·год. згідно з [38].

Таблиця 3.3 – Дані для встановлення блоків

Населений пункт	К-ть населення, чол	К-ть електроенергії для населеного пункту, кВт·год	К-ть блоків міні ГЕС, шт
смт. Довге	6790	8148	34
м. Іршава	9276	11131,2	46
смт. Шаланки	3110	3732	15
Всього	19176	23011,2	95

Як бачимо з таблиці для повного забезпечення потреб даного регіону потрібно встановити дев'яносто п'ять блоків. В дипломній роботі пропонується відразу встановити десять блоків міні-гідроелектростанції, тоді потреби смт. Довге будуть забезпечені на 29,4 %.

ВИСНОВОК

Мала гідроенергетика є найбільш освоєною з нетрадиційних відновлюваних джерел електроенергії, що дозволяє використати значний гідроенергетичний потенціал малих річок, систем водопостачання, іригації з видачею електроенергії в енергосистему.

Одним із найбільш перспективних регіонів розвитку малої гідроенергетики в Україні виступає регіон Українських Карпат. Водотоки Карпат характеризуються значною водністю (порівняно з річками рівнинної території України) та гідравлічним напором, який є визначальним показником гідроенергетичного потенціалу водотоку. В ході роботи було визначено гідроенергетичний потенціал Карпатського регіону Тисо-Латорицької гідрологічної зони, що складається з валового 1586,81 кВт·год/рік, технічного 317 кВт·год/рік та економічного 79,34 кВт·год/рік.

У ході роботи розроблений проект станції без перегородження річкового потоку з мінімальною шкодою для навколишнього середовища. При цьому, як показує практика будівництва гідроелектростанцій в європейських країнах в разі точного дотримання норм шкода на екологічному рівні буде зведена до мінімуму.

Після аналізу основних критеріїв, а також зібраних даних по гідрології річки Боржава було вирішено розташувати міні-ГЕС біля смт. Довге в Іршавському районі Закарпатської області. Оскільки у цій місцевості жителі часто зіштовхуються з перебоями електроенергії дане розташування допоможе прибрати цей негативний фактор і забезпечити село цілорічним стабільним запасом електроенергії. Також це вирішить цілий комплекс економічних, екологічних і соціальних проблем.

В дипломній роботі головною розробкою було використання байпасних систем, які забезпечують стабільне обертальне транспортування води з одночасним зменшенням гідравлічного опору в зливних трубах реактивної турбіни на основі сегнерового колеса.

В результаті проектування було отримано блок, що складається з двох працюючих модулів і реактивних турбін на основі сегнерового колеса та одного резервного. Таким чином потужність двох працюючих модулів буде складати 238,4 кВт. Але ці дані розраховані згідно мінімуму витрат води гідрографа. Для повного забезпечення потреб смт. Довге, смт. Шаланки та міста Іршава потрібно встановити дев'яносто п'ять блоків. В дипломній роботі пропонується встановити всього десять блоків, що дозволить отримати потужність 2384 кВт та підвищить на 29,4 % забезпечення потреб населення в електроенергії.

Під час техніко-економічного обґрунтування від будівництва та експлуатації десяти блоків міні-гідроелектростанцій потужністю 2384 кВт було розраховано головні показники термін окупності, що для даного випадку склав 11 місяців та чисту приведену вартість проекту будівництва ГЕС, що дорівнює 32648628,3 грн.

Знайдені техніко-економічні показники підтвердили позитивну динаміку для розвитку смт. Довге та сусідніх населених пунктів від реалізації будівництва міні-ГЕС на річці Боржава.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/145-2006-%D1%80> (дата звернення 01.04.2020).
2. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року “Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність”. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text> (дата звернення 01.04.2020).
3. Статистична інформація щодо об'єктів альтернативної електроенергетики, яким встановлено "зелений" тариф станом на 01.01.2018 року. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг. URL: http://www.nerc.gov.ua/data/filearch/elektro/energo_pidpnyemstva/stat_info_zelenyi_taryf/2017/stat_zelenyi-taryf.12-2017.pdf (дата звернення 02.04.2020).
4. Офіційний сайт Організації Об'єднаних Націй з промислового розвитку, ЮНІДО. URL: <https://www.unido.org/> (дата звернення 03.04.2020).
5. World Small Hydropower Development Report 2013, WSHPDR 2013. URL: http://www.smallhydropowerworld.org/fileadmin/user_upload/pdf/WSHPDR_2013_Final_Report-updated_version.pdf (дата звернення 03.09.2019).
6. World Small Hydropower Development Report 2016, WSHPDR. URL: https://www.unido.org/sites/default/files/2016_11/WSHPDR_Executive_Summary_2016_0.pdf (дата звернення 03.09.2020).
7. Проект: РАЗВИТИЕ МАЛЫХ ГЭС. Разработка комплексных рекомендаций и преференций для застройщиков малых ГЭС. URL: <http://www.creced.net/wp-content/uploads/2013/06/Kazakova.pdf> (дата звернення 05.04.2020).

8. Latvia Int. J. Hydropower and Dams 2008. World Atlas and Ind. Guide. 2008. P. 184.
9. Мала гідроенергетика світу. URL: <https://msd.in.ua/mala-gidroenergetika-svitu/> (дата звернення 06.04.2020).
10. Держенергоефективності України. URL: <http://saee.gov.ua/ae/hydroenergy/> (дата звернення 06.04.2020).
11. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України /Кудря С.О., Яценко Л.В. та інші/ НАН України; Ін-т електродинаміки. Київ, 2001. 41 с. URL : http://www.intelcenter.com.ua/rus/library/atlas_alten_UA.html (дата звернення 07.09.2019).
12. Поверхневі води (конспект). URL: <https://geomap.com.ua/uk-g8/39.html> (дата звернення 07.04.2020).
13. Технічний потенціал гідроенергетичних ресурсів малих річок України : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.14.08 / А. В. Мороз; НАН України, Ін-т відновлюв. енергетики. Київ, 2015. 19 с.
14. Озорін Д.Ф. Застосування трипараметричного гама-розподілу у формі Крицького-Менкеля для розрахунку імовірнісних гідрологічних характеристик повені на річках західного регіону України. Відновлювана енергетика. 2011. №2. С. 62–65.
15. Пелєвін А. С. Використання енергії малих річок. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/24664/1/Pielievin_magistr.pdf (дата звернення 08.09.2019).
16. Григорьев С.В. Потенциальные энергоресурсы малых рек СССР / Под ред. д-ра. техн. наук Д. Л. Соколовского. Ленинград : Гидрометеиздат, 1946. 117 с.
17. Мельник Т. Усовершенствование методики определения зон затопления при расположении дамб обвалования. Саарбрюкен: Lambert Academic Publishing. 2015. 304 с.

18. Алхасов А. Б. Возобновляемая энергетика / 2е, изд., перераб. и доп. М: ФИЗМАТЛИТ, 2012. 256 с.
19. Загальний гідроенергетичний потенціал річок українських Карпат / О. Ободовський, К. Данько, О. Почаєвець. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. 2017. Вип. 1 (66)/2(67). С. 15–28.
20. Горбачова Л. О., Бібік В.В. Часова однорідність характеристик водного стоку в басейні річки Боржава. Наук. праці УкрНДГМІ. 2012. №262. С. 177–188.
21. Гравітаційно-вирова станція: пат. WO2011051421 (Австрія); заявлено 29.10.10; опубл. 05.05.11. URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2011051421&recNum=1&maxRec=&office=&prevFilter=&sortOption=&queryString=&tab=PCT+Bibli>ю (дата звернення 10.06.2020).
22. Резервуарний вітро-гідролічний перетворювач: пат. RU111206U1 (Росія); заявлено 21.04.2011; опубл 12.10.2011.
23. Цепенда М.М. Методичні особливості економіко-географічної оцінки гідроенергетичного потенціалу Середнього Придністров'я / М.М.Цепенда / Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського. Серія: Географія, Вінниця, 2009. Вип. 18. С. 211–219.
24. Гидроэнергетические ресурсы / под ред. А.Б.Авакян, В., и др. М.: Наука. 1967. 600 с.
25. Золотарев Т.Л. Основы использования гидравлической энергии: учебное пособие для высших технических учебных заведений. М. Л.: Государственное энергетическое издательство. 1950. 196 с.
26. Малі річки України: Довід. / За ред. А.В.Яцика. К. Урожай, 1991. 296 с.
27. Гинко С.С. Основы гидротехники. Л. Гидрометеоиздат. 1976. 368 с.

28. Загальна характеристика поверхневих та підземних вод району річкового басейну р. Тиса/ Державне агентство водних ресурсів України. URL: https://buvrtyisa.gov.ua/newsite/?page_id=18150 (дата звернення 12.06.2020).
29. Пупасов-Максимов А.М., Орлов А.В., Федосеев А. В. Задача оптимизации местоположения и структуры малой ГЭС на стадии обоснования инвестиций. Институт Государственного управления, права и инновационных технологий (ИГУПИТ) / Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» №5. 2013.
30. Сокольский А.К. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Учебное пособие. М.: РГОТУПС, 2006. 104 с.
31. Офіційний сайт Франца Цотлетера. URL: <http://www.zotloeterer.com/welcome/gravitation-water-vortex-powerplants/> (дата звернення 20.10.2020).
32. Справочник по гидротехнике. Всесоюзный научно-исследовательский институт водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений и инженерной гидрогеологии. М.: 1955. 648 с.
33. Громов Н. Н. Источники энергии на основе общеизвестных физических эффектов. URL: <https://studfile.net/preview/8192915/page:3/> (дата звернення 01.10.2020).
34. Кривченко Г.И. Гидравлические машины. М: Энергия. 1978 г. 320 с.
35. Кудря С.О., Головки В.М. Основи конструювання енергоустановок з відновлювальними джерелами енергії. Київ. 2009. 201 с.
36. Офіційний сайт Новокаховського електромеханічного заводу. URL: <http://nkmehz.com.ua/> (дата звернення 01.11.2020).
37. Волков В.О., Літвінов В.В., Братковська К.О. Проектування гідроелектростанції: навчально-методичний посібник для дипломування спеціалістів й магістрів ЗДІА спеціальності «Гідроенергетика». Запоріж. держ. інж. акад. Запоріжжя: ЗДІА. 2016. 284 с.

38. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг. URL: <http://www.ners.gov.ua/?id=11992> (дата звернення 22.09.2020).

39. История энергетической техники / Белькинд Л.Д., Веселовский О.Н., Конфедератов И.Я., Шнейберг Я.А. М.: Государственное энергетическое издательство. 1960. 793 с.

40. Природа України. Нормативно-правова база у сфері отримання дозволу на будівництво міні ГЕС. URL: <https://pryroda.in.ua/miniges/normatyvno-pravova-baza-u-sferi-otrymannya-dozvolu-na-budivnytstvo-mini-hes/> (дата звернення 20.09.2020).

41. Асоціація біоенергетичних структур. Розвиток відновлювальних джерел енергії в Україні. URL: <http://www.abc.in.ua/wp-content/uploads/2017/03/Rozvitok-VDE-v-Ukrai-ni.pdf> (дата звернення 20.09.2020).

42. Нікіторович О.В. Малі ГЕС. Досвід відбудови. Гідроенергетика України. 2004. №4. С. 24–29.

43. Лежнюк П.Д., Ковальчук О.А., Нікіторович О.В. Малі ГЕС в локальних електричних системах з розосередженим генеруванням. Гідроенергетика України. 2011. №1. С. 54 – 58.

44. Басюк Т.О., Яцик А.В., Яцик В.А. Управління розвитком та ефективністю використання малої гідроенергетики в Україні. Гідроенергетика України. 2011. №3–4. С.7–10.

45. Лежнюк П.Д., Хоменко В.О., Аналіз стану та перспективи розвитку малої гідроенергетики в Україні. Експлуатація малих ГЕС та каскадів малих ГЕС у сучасних умовах. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2012. №6. С. 118–123.

46. Подгорінов А.Л., Хілобоченко Л.С. Гідроенергетичне використання малих річок України. К.: АН УРСР. 1959. 193 с.

47. Рябенко О.А., Гурин В.А., Вплив гідравлічних режимів на експлуатацію споруд і обладнання ГЕС та ГАЕС. Гідроенергетика України. 2011. №3–4. С. 11–14.
48. Кириленко О.В., Денисюк С.П., Єрлінеков С.М. Атлас економічного та технічно-обґрунтованого гідроенергетичного потенціалу річок Карпатського регіону. К: НАН України. 2006. 132 с.
49. Рябенко О.А., Лутаєв В.В., Осадчий С.Д. Підвищення кваліфікації спеціалістів-гідроенергетиків як одна із складових реалізації стратегії розвитку гідроенергетики України до 2030 року. Гідроенергетика України. 2011. №2. С. 58–61.
50. Гідрологічні розрахунки для річок України (при відсутності спостережень) / Вишневський П.Ф., Дрозд Н.Й., Желєзняк Й.А. та ін. К. Видавництво АН УРСР. 1962. 388 с.
51. Горбачова Л.О., Баужа Т.О. Динаміка середньорічного стоку води гірських річок (на прикладі Закарпатської воднобалансової станції). Наук. пр. УкрНДГМІ. 2011. Вип. 260. С. 175–185.
52. Мороз А.В., Васько П.Ф., Бриль А.О. Визначення гідроенергетичного потенціалу малих річок за довільної забезпеченості витрат води. Відроджена енергетика. 2012. №1. С. 42 – 49.
53. Мороз А.В. Природоохоронні аспекти розвитку малої гідроенергетики в Карпатському регіоні. Відроджена енергетика. 2012. №4. С. 63 – 69.
54. Мороз А.В., Васько П.Ф., Озорин Д.Ф. Расчёт теоретического значения гидроэнергетического потенциала рек с учётом обеспеченности стока воды. International scientific journal for alternative energy and ecology (ISJAEE). 2012. №7. С. 126 – 132.
55. ДСТУ 3008:2015. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення.

Параметри та габарити асинхронного двигуна змінного струму

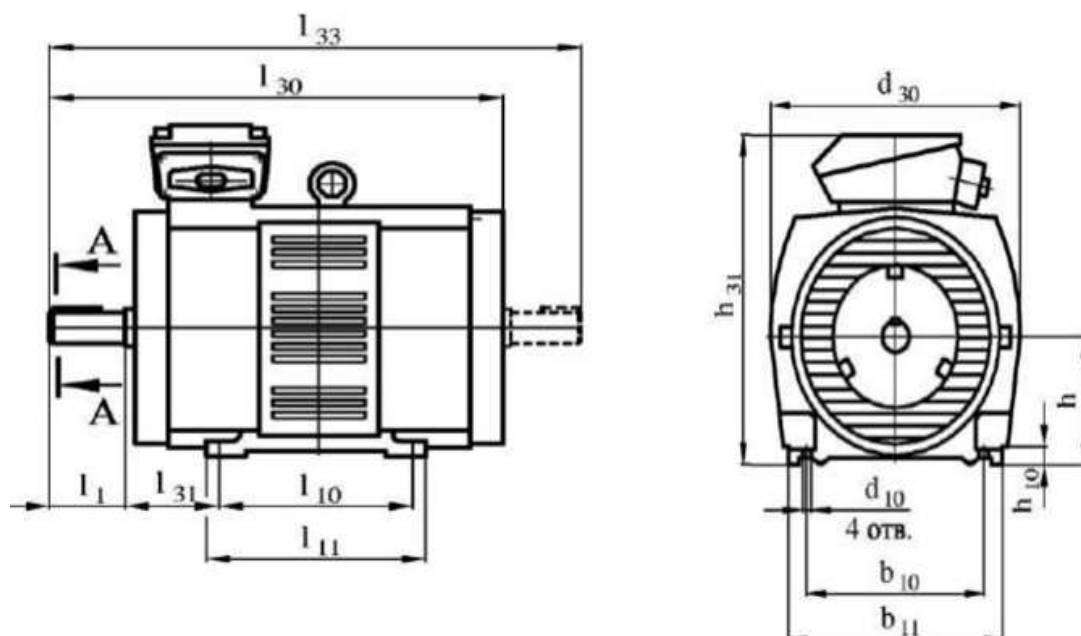


Рисунок А.1 – Установчі та приєднувальні розміри

Тип	К-ть полюсів	Розміри, мм															
		b_1	b_{10}	d_1	d_{10}	d_{30}	l_1	l_{10}	l_{30}	l_{31}	l_{33}	h	h_5	h_{31}	l_{11}	b_{11}	h_1
4АМНУ225М	2	16	356	55	19	500	110	311	715	149	840	225	59	580	375	440	10
	4; 6; 8	18		745					900		69		11				
4АМНУ250S	2	18	406	65	24	550	140	311	805	168	970	250	79,5	640	390	490	12
	4; 6; 8			20					75		69		11				
4АМНУ250М	2	18	406	65	24	550	140	349	845	168	1010	250	69	640	430	490	11
	4; 6; 8			20									75				79,5

Рисунок А.2 – Розміри двигуна

