

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
Кафедра теплотехніки та енергозбереження

«На правах рукопису»
УДК 621.22

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
В.І.Дешко
(підпис) (ініціали, прізвище)
“ ” 2018 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 144 «Теплоенергетика»

спеціалізація «Енергетичний менеджмент та інжиніринг»

на тему: «Використання енергії малих річок»

Виконав: студент VI курсу, групи ОТ – 61м
(шифр групи)

Пелєвін Андрій Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник доцент, к.т.н., доцент Дубровська В.В.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Нормоконтроль доцент, к.т.н., доцент Шкляр В.І.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2018 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут (факультет) Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
(повна назва)

Кафедра Теплотехніки та енергозбереження
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 144 «Теплоенергетика»
(код і назва)

Спеціалізація «Енергетичний менеджмент та інжиніринг»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ В.І. Дешко
(підпис) (ініціали, прізвище)

«___» _____ 2018 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Пелєвіну Андрію Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Використання енергії малих річок»,

науковий керівник дисертації Дубровська Вікторія Василівна, к.т.н, доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «20» 03 2018 р. № 971-с

2. Строк подання студентом дисертації 16 травня 2018р.

3. Об'єкт дослідження Гідроенергетичні ресурси України

4. Предмет дослідження Отримання електроенергії на малих річках за допомогою гідротурбін

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: 1) провести огляд малої гідроенергетики в Україні та світі; 2) розрахувати гідропотенціал певної зони в Україні, обрати річку та провести топографічну оцінку місцевості; 3) вибрати місце розташування ГЕС та тип гідротурбіни; 4) провести математичне моделювання гідротурбіни та оцінити її ефективність при зміні кута нахилу лопаток, розробити модель ГЕС на вибраній річці; 5) порівняння кількості виробленої електроенергії на ГЕС з різними типами гідротурбін; техніко-економічна оцінка проекту; 6) розробити стартап проект.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу загальні характеристики гідроенергетики в Україні та в світі; гідроенергетичний потенціал поліської гідрологічної зони басейну Дніпра; моделювання руху рідини в робочому елементі поворотно-лопатевої турбіни та визначення оптимального кута нахилу лопаток; моделювання міні ГЕС в програмному середовищі RETScreen 4 та порівняння кількості виробленої електроенергії міні ГЕС з різними типами турбін; техніко-економічна оцінка проекту; ідея для стартап проекту.

7. Орієнтовний перелік публікацій підготувати матеріали тези доповідей на XVI міжнародну науково-практичну конференцію «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики»

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання 12.03.2018 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Пошук матеріалу на прикладі найкращих практик	12.03.2018 - 15.05.2018	
2	Розрахунок гідропотенціалу поліської зони басейну Дніпра в Україні. Гідрологія річки Гнилоп'ять	12.03.2018 - 15.03.2018	
3	Вибір місця розташування міні ГЕС та тип гідротурбіни	18.03.2018 - 20.03.2018	
4	Моделювання турбіни Каплана в програмному середовищі SolidWorks, та оцінка ефективності роботи гідротурбіни при зміні кута нахилу лопаток	25.03.2018 - 30.03.2018	
5	Моделювання проекту міні ГЕС в програмному середовищі RETScreen 4	01.04.2018 - 03.04.2018	
6	Порівняння моделей міні ГЕС з різними типами турбін. Техніко-економічна оцінка проекту	07.04.2018 - 10.04.2018	
7	Розробка стартап проекту	05.04.2018 - 20.04.2018	
8	Нормативне оформлення магістерської дисертації	27.04.2018 - 15.05.2018	

Студент

_____ А.С. Пелєвін
(підпис) (ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

_____ В.В. Дубровська
(підпис) (ініціали, прізвище)

Реферат

Дана магістерська дисертація має 90 сторінок, включає у себе 42 рисунки, 15 таблиць, 1 презентацію.

У роботі 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.

Дана робота пов'язана з визначенням факторів, які можуть підвищити ефективність використання гідротурбіни на річці, а саме: оцінка рельєфу та гідропотенціалу місцевості, вибір гідротурбіни за характеристиками певної річки та ефективність роботи турбіни при зміні кута нахилу лопаток.

Мета роботи: аналіз гідропотенціалу малих річок України та визначення доцільності встановлення міні ГЕС для енергозабезпечення місцевості.

Об'єкт дослідження: гідроенергетичні ресурси України.

Дисертація показує доцільність розвитку малої гідроенергетики у населених пунктах України.

За результатами роботи було подано тези на XVI міжнародну науково-практичну конференцію «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики», 24-27 квітня, м. Київ, 2018 р.

Ключові слова: гідроенергетика, гідроенергетичний потенціал, міні ГЕС, моделювання процесів руху рідини, SolidWorks, RETScreen 4, техніко-економічна оцінка.

Abstract

This master's thesis is made of 90 pages, includes 42 figures, 15 tables, 1 presentation.

The thesis considers the use of energy for small rivers in Ukraine, namely, their hydropower potential for power generation in remote and hard-to-reach rural areas. Since Ukraine has experienced a significant energy crisis, in recent years there is a growing need for reducing fuel and energy consumption and the introduction of renewable energy sources.

This work is related to the definition of factors, that can improve the efficiency of the use of a hydro turbine on the river, namely: assessment of the terrain and hydropower potential of the area, the choice of a hydro turbine according to the characteristics of a certain river and the efficiency of the turbine when changing the angle of the shoulder blades.

The aim of the work is to analyze the hydropower potential of small rivers in Ukraine and determination of expediency of installation of mini hydroelectric power stations for energy supply of the area.

The object of research is the hydropower resources of Ukraine.

The dissertation demonstrates the feasibility of small hydropower development in the settlements of Ukraine.

According to the results of the work were presented theses at The XVI Scientific and Practical Conference «Modern problems of scientific power ware» of Post Graduate Students, Masters of Arts and Students , April 24-27, Kyiv, 2018.

Keywords: hydropower, hydropower potential, mini hydroelectric power station, fluid flow modeling, SolidWorks, RETScreen 4, technical–economic evaluation.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, скорочень і термінів.....	6
ВСТУП.....	7
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД РОБІТ.....	11
1.1 Мала гідроенергетика, перспективи та напрями розвитку.....	11
1.2 Досягнення малої гідроенергетики в світі.....	14
1.3 Переваги та недоліки малої гідроенергетики.....	18
1.4 Типи малих ГЕС та аналіз характеристик гідротурбін.....	20
1.5 Характеристики діючих малих ГЕС.....	28
Висновки до розділу 1.....	31
2 ГІДРОПОТЕНЦІАЛ МІСЦЕВОСТІ.....	32
2.1 Характеристики гідроенергії.....	32
2.2 Методи оцінки гідропотенціалу малих річок.....	33
2.3 Гідроенергетичний потенціал річок поліської гідрологічної зони басейну Дніпра методом Григор'єва.....	35
2.4 Гідрологія річки Гнилоп'ять.....	39
Висновки до розділу 2.....	48
3 ВАРІАНТИ ПОБУДОВИ ТА РОЗМІЩЕННЯ МІНІ ГЕС.....	49
3.1 Вибір місця для розташування міні ГЕС.....	49
3.2 Визначення гідропотенціалу р. Гнилоп'ять на вибраній ділянці.....	50
3.3 Вибір типу гідротурбіни.....	51
3.4 Нормативно правова база при будівництві міні ГЕС.....	53
Висновки до розділу 3.....	55
4 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ.....	56
4.1. Аналіз існуючих комп'ютерних програм для моделювання гідродинамічних задач.....	56
4.2. Моделювання руху рідини в робочому елементі поворотно- лопатевої турбіни.....	57

4.3 Аналіз впливу зміни кута нахилу лопаті турбіни на швидкість та тиск рідини в робочому елементі турбіни Каплана.....	60
4.4. Розрахунок енергетичних характеристик міні ГЕС за допомогою програмного забезпечення RETScreen 4.....	65
Висновки до розділу 4.....	76
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ВИКОРИСТАННЯ МІНІ ГЕС ДЛЯ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТА.....	77
5.1. Визначення кількості електроенергії виробленої міні ГЕС з різними типами гідротурбін.....	77
5.2. Техніко-економічна оцінка використання міні ГЕС з різними типами гідротурбін.....	80
Висновки до розділу 5.....	83
6 СТАРТАП-ПРОЕКТ.....	84
Висновки до розділу 6.....	85
ВИСНОВКИ.....	86
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	88

Перелік умовних позначень, символів, скорочень і термінів

Умовні позначення та символи

N_0 – теоретична потужність водотоку;

$P_{\text{ГЕС}}$ – потужність ГЕС;

V – швидкість водяного потоку;

S – площа поперечного перерізу річки;

ρ – густина води;

g – прискорення вільного падіння;

H – напір;

$\nabla_{\text{ВВ}}, \nabla_{\text{НБ}}$ – верхній і нижній б'єф ділянки річки;

Q – середня багаторічна витрата води;

η – ККД ГЕС.

Скорочення

ГЕС – гідроелектростанція;

МГЕС – мала гідроелектростанція;

ГП – гідроенергетичний потенціал;

АЕС – атомна електростанція;

ТЕС – теплова електростанція;

ККД – коефіцієнт корисної дії.

Терміни

Гідроенергетичний потенціал – здатність частини річкового стоку, що використовується або тієї, що може бути використана, до виробництва електроенергії за певний період.

Моделювання – це метод дослідження різних явищ і процесів, вироблення варіантів управлінських рішень. Моделювання ґрунтується на заміщенні реальних об'єктів їх умовними зразками, аналогами.

МГЕС – гідроелектростанції із потужністю до 10 МВт.

ВСТУП

Актуальність роботи

За часів СРСР в Україні експлуатувалося майже 1000 малих гідроелектростанцій і тривало будівництво нових, але зі створенням потужних об'єктів теплової і атомної енергетики різко знизилася роль малої гідроенергетики. Централізація енергопостачання, низькі ціни на паливо і електроенергію для відомств і підприємств, на балансі яких перебували малі ГЕС стали основними причинами, які призвели до їх економічної недоцільності. В результаті на сьогоднішній день залишилось функціонуючих лише 102 малі гідроелектростанції.

За останні роки Україна пізнала дуже велику енергетичну кризу, що в свою чергу збільшило інтерес до відновлювальних джерел енергії. Мала гідроенергетика дозволяє використати значний гідроенергетичний потенціал малих рік і протоків, а в багатьох випадках забезпечити локальне електропостачання віддалених районів або населених пунктів, особливо в країнах які зіткнулися з енергетичною кризою та значним падінням економіки. Малі гідроелектростанції мають не великі капіталовкладення та досить швидкий термін окупності.

Крім цього, розвиток відновлювальної енергетики в усьому світі також став актуальним, адже зі збільшенням населення та розвитком новітніх технологій необхідно використовувати значно більше паливно-енергетичних ресурсів, що в свою чергу призводить до постійного зростання цін на природне паливо.

Розвитку малої гідроенергетики приділяється значна увага в багатьох країнах, особливо в тих де існує велика кількість річок з незначною величиною водотоку, які можуть бути використані для будівництва міні- та мікро-ГЕС. На сьогоднішній день найбільшу кількість малих ГЕС встановлюють в Китаї та у країнах, що розвиваються.

Отже, мала гідроенергетика може займати значне місце у виробництві електроенергії у країнах що розвиваються, а також які зіткнулись з енергетичною кризою, для покращення економіки країни в цілому.

Мета і завдання дослідження

Метою роботи є аналіз гідропотенціалу малих річок України, оцінка доцільності впровадження міні ГЕС на малій річці, порівняння кількості електроенергії виробленої міні ГЕС з різними типами гідротурбін, техніко-економічна оцінка впровадження даних проектів, а також визначення можливості підвищення ефективності використання водних ресурсів за допомогою зміни кута нахилу лопаток.

Для досягнення мети було сформульовано такі завдання:

- визначення гідроенергетичного потенціалу річок поліської гідрологічної зони басейну Дніпра;
- визначення факторів, які враховуються при будівництві міні ГЕС та вибір оптимальної гідротурбіни за характеристиками річки;
- визначення оптимального кута нахилу лопаток турбіни за допомогою моделювання у програмному середовищі SolidWorks;
- моделювання міні ГЕС в програмному середовищі RETScreen 4 та порівняння кількості виробленої електроенергії міні ГЕС з різними типами гідротурбін;
- техніко-економічна оцінка проекту у програмному середовищі RETScreen 4.

Об'єкт дослідження: Гідроенергетичні ресурси України.

Предмет дослідження: Отримання електроенергії на малих річках за допомогою гідротурбін.

Методи дослідження

Відомі методи визначення гідроенергетичного потенціалу та моделювання потоку у турбіні, що дозволить отримати результати, максимально наближені до реальних умов, комп'ютерне моделювання, економічний аналіз.

Наукова новизна одержаних результатів

- побудовано вертикальний профіль річки Гнилоп'ять за допомогою програмного забезпечення Google Планета Земля Про з метою визначення оптимального місця встановлення міні гідроелектростанції.
- визначена ефективність роботи гідротурбіни при зміні кута нахилу лопаток, за характеристиками певної річки.
- проведено комп'ютерне моделювання роботи турбіни з використанням програмного забезпечення SolidWorks;
- розрахована кількість електроенергії, яка вироблена міні ГЕС з різними типами гідротурбін за допомогою програмного забезпечення RETScreen 4;
- визначена економічна доцільність та екологічні наслідки впровадження проекту міні ГЕС за допомогою програмного забезпечення RETScreen 4.

Практичне значення одержаних результатів

Робота має практичне значення при створенні систем електропостачання невеликих селищ, промислових об'єктів, що розташовані поблизу невеликих річок та водотоків. Результати, які отримані у даній роботі, допоможуть визначити техніко-економічну доцільність впровадження малих гідроелектростанцій, а також можуть бути використані для підвищення енергетичної ефективності створюваних та при реконструкції існуючих міні ГЕС.

Результати розрахунків і моделювання будуть використані в учбовому процесі при проведенні комп'ютерного практикуму з дисципліни «Комбіновані системи з поновлюваними джерелами енергії».

Особистий внесок магістра

Магістерська робота є результатом чисельного дослідження гідротурбіни за допомогою комп'ютерного моделювання для використання в об'єктах малої гідроенергетики, екологічного та економічного аналізу та створення комп'ютерних моделей.

Апробація результатів дисертації

Результати роботи доповідались на XVI міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики», 24-27 квітня, м. Київ, 2018 р.

Публікації

Опубліковані тези доповіді «Моделювання міні ГЕС в програмному середовищі RETScreen 4» на XVI міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики».

Структура і обсяг дисертаційної роботи

Дана магістерська дисертація складається зі вступу, шести розділів основної частини, висновків та списку використаних літературних джерел. Повний обсяг роботи складає 90 сторінок, включає у себе 42 рисунки, 15 таблиць, 34 джерела в переліку посилань та 1 презентацію.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД РОБІТ

1.1 Мала гідроенергетика, перспективи та напрями розвитку

Мала гідроенергетика, яка є найбільш освоєною з нетрадиційних відновлювальних джерел електроенергії, дозволяє використати значний гідроенергетичний потенціал малих річок і притоків, систем водопостачання, іригації з видаванням електроенергії в енергосистему, а в багатьох випадках забезпечити локальне електропостачання віддалених районів або населених пунктів, особливо в недостатньо розвинених країнах і в країнах, що розвиваються, з обмеженою системою централізованого електропостачання.

До переваг малих ГЕС відносяться порівняно невеликий об'єм інвестицій і короткий термін будівництва, що дозволяє прискорити отримання прибутку, забезпечити мінімальну дію на довкілля, надійність і близькість до споживача.

Сумарні світові інвестиції в малу гідроенергетику в 2016 році склали близько \$7 млрд. Середня вартість будівництва малих гідроелектростанцій склала від \$1,5 до \$2,5 тис. за 1 кВт встановленої потужності [1].

Розвиток гідроенергетики має довгострокові економічні переваги, перш за все з позиції можливості її диверсифікації, більш ефективного і багатоцільового використання гідроенергетичного потенціалу не тільки великих річок, а й малих. В даний час, незважаючи на те, що економічні характеристики малих ГЕС поступаються великим гідроелектростанціям, інтерес до них відновився і постійно зростає. Пояснюється це тим, що спорудження малої ГЕС не передбачає великих капіталовкладень і може бути побудована за рахунок коштів приватного сектора економіки, фермерських господарств і невеликих підприємств. Мала ГЕС, як правило, краща з екологічної точки зору, зокрема, не потрібно створювати великих водосховищ і, відповідно, великих площ затоплення [1].

В даний час немає загальноприйнятого для всіх країн поняття малої гідроелектростанції, однак у багатьох країнах в якості основної характеристики такої ГЕС прийнята її встановлена потужність [2].

Ринок великих ГЕС визначають кілька виробників основного обладнання та велике число постачальників допоміжних компонентів і систем. На відміну від цього ринок малих гідроспоруд представлений значною кількістю виробників обладнання, яке більш технологічно для застосування величезного розмаїття конструкцій і нових матеріалів [1].

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 [2].

З урахуванням обмеженості гідроресурсів в світі можна припустити, що в період до 2030 року темпи розвитку малої гідроенергетики помітно знизяться, але при цьому буде підтримуватися диверсифікація малої гідроенергетики. При темпі зростання в 4,5-4,7% виробництво електроенергії на малих ГЕС досягне до 2030 року 770-780 ТВт·год, що становитиме понад 2% всього виробництва електроенергії в світі. Таким чином, можна сказати, що мала гідроенергетика в доступній для огляду перспективі залишиться одним з найважливіших і конкурентоспроможних поновлюваних джерел енергії [1].

Україна має значний потенціал використання ресурсів малих річок (головним чином у західних регіонах), що складає майже 28% загального гідропотенціалу всіх річок України [3].

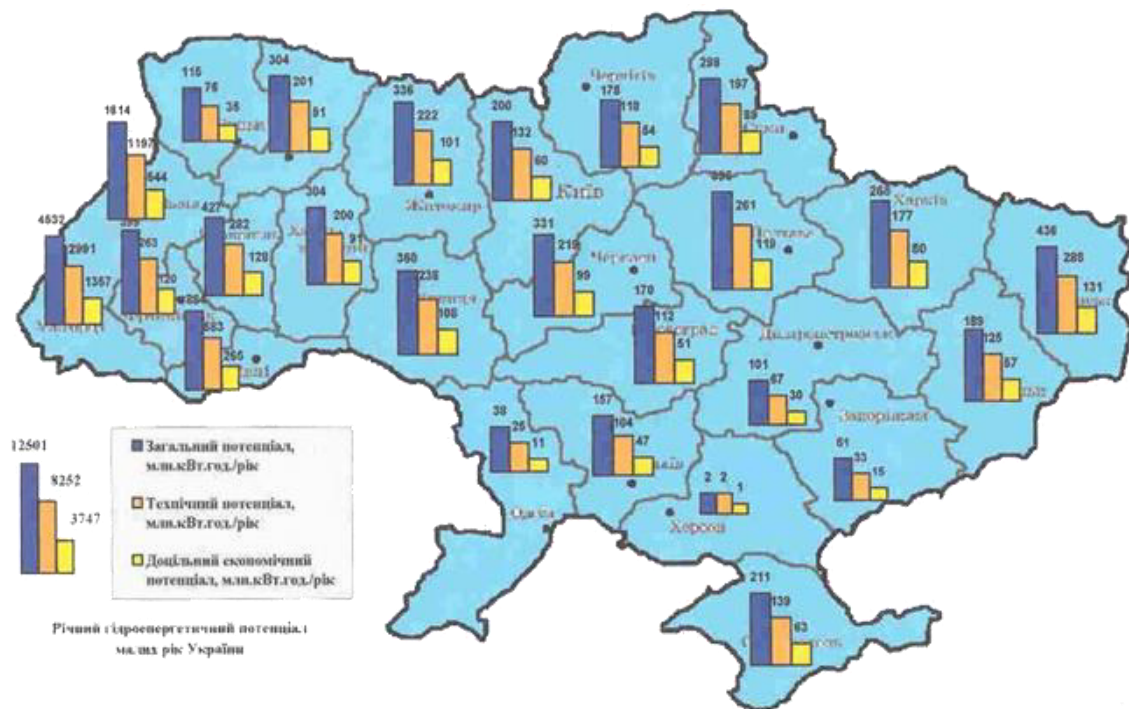


Рисунок 1.1 – Гідроенергетичний потенціал малих річок України

При використанні гідропотенціалу малих річок України можна досягти значної економії паливно-енергетичних ресурсів, причому розвиток малої гідроенергетики сприятиме децентралізації загальної енергетичної системи, чим вирішить ряд проблем в енергопостачанні віддалених і важкодоступних районів сільської місцевості.

Мікро та малі ГЕС можуть стати потужною основою енергозабезпечення для всіх регіонів Західної України, а для деяких районів Закарпатської та Чернівецької областей – джерелом повного енергозабезпечення.

Для вирішення проблем розвитку малої гідроенергетики Україна має достатній науково-технічний потенціал і значний досвід в галузі проектування і розробки конструкцій гідротурбінного обладнання. Українські підприємства мають необхідний виробничий потенціал для оснащення малих ГЕС вітчизняним обладнанням [3].

1.2 Досягнення малої гідроенергетики в світі

Згідно базовим прогнозами Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), середньорічні темпи зростання виробництва електроенергії на великих ГЕС в 2007-2030 роках складуть 2%, до 2030-го виробництво енергії на них перевищить 4380 ТВт·год. Частка великих гідроелектростанцій в загальному світовому виробництві електроенергії знизиться до 12,4% (WEO, 2015) [1].

У Швейцарії частка виробництва електроенергії на МГЕС досягла 8,3%, в Іспанії - 2,8%, в Швеції - майже 3%, а в Австрії - 10%. Лідерство за сумарними генеруючими потужностями малих ГЕС займає Китай (47 ГВт), на другому місці - Японія (4 ГВт), на третьому - США (3,4 ГВт), потім Італія і Бразилія [1].

Таблиця 1.1 – Частка гідроенергетики, в тому числі малої, у виробництві електроенергії в світі

Джерело енергії	Виробництво електроенергії (ТВт·год)		Частка(%)		Темп зростання (%)
	2006 рік	2030 рік	2006 рік	2030 рік	
Великі ГЕС	2725	4383	14,4	12,4	2
Малі ГЕС	252	778	1,4	2,2	4,7

Інвестиційні витрати МГЕС (1-10 МВт) і дуже малих ГЕС (≤ 1 МВт) можуть варіюватися від \$2000 до \$7500 за 1 кВт і від \$2500 до \$10000 за 1 кВт, відповідно, і складати для зазначених видів ГЕС в середньому \$4500-5000 за 1 кВт встановленої потужності [1].

Експлуатаційні витрати і технічне обслуговування гідроенергетики складають від 1,5 до 2,5% інвестиційної вартості на рік. В результаті загальна вартість генерації для великих ГЕС може становити \$40-110 за 1 МВт (в середньому \$75 за 1 МВт); для МГЕС - \$45 і \$120 за 1 МВт (в середньому \$83) і для мікроГЕС - від \$55 до \$185 за 1 МВт (в середньому \$90) [1].

У Китаї до малих належать ГЕС потужністю від 1 до 50 МВт, вони грають важливу роль в забезпеченні електроенергією сільських районів: 45 тис. малих

гідроспоруд виробляють 70 млрд кВт.год для 300 млн сільських жителів. Китай планує розширити використання малої гідроенергетики: в найближчі роки в її розвиток буде інвестовано \$16,5 млрд. З 300 до 782 зросте кількість повітів, в яких будуть побудовані такі об'єкти. Значна їх частина працює в комплексі з іригаційними спорудами. У сфері використання відновлюваних джерел енергії країна поступово завойовує лідируючі позиції в світі. До 2020 року в Китаї сумарна потужність ГЕС всіх типів повинна скласти до 190 ГВт, а до 2025 року майже 300 ГВт. Центр виробництва обладнання для малих гідроелектростанцій поступово зміщується в Китай, який забезпечує значну частку його світового випуску [2].

Розвитку малої гідроенергетики приділяється значна увага і в інших країнах. Європейський союз планував до 2010 року довести встановлені потужності малих ГЕС до 14 ГВт. Середня вартість 1 кВт·год електроенергії, виробленої на такій станції, в Європі в 2005 році становила близько \$ 0,03 [2].

У таблиці 1.2 представлені світові тенденції з розвитку малої гідроенергетики, а саме техніко-економічні та прогностичні показники малої гідроенергетики.

Таблиця 1.2 – Техніко-економічні та прогностичні показники малої гідроенергетики

Технічні показники	Міжнародні визначення типів ГЕС		
	Мікро ГЕС (до 1 МВт)	Малі ГЕС (1-10 МВт)	Інші ГЕС (> 10 МВт)
Категорії ГЕС			
ККД гідротурбін (%)	до 92	до 92	до 92
Терміни будівництва (місяць)	6-10	10-18	18-96
Можливий термін експлуатації ГЕС (років)	до 100		
Коефіцієнт використання встановленої потужності (%)	50-60(50)	34-56 (45)	34-56 (45)
Коефіцієнт навантаження ГЕС (%)	98	98	98
Вплив на навколишнє середовище			
Викиди CO ₂ та інших парникових газів (кг/МВт·год)	несуттєвий		

Продовження таблиці 1.2

Витрати на будівництво ГЕС (в цінах 2008 року, \$)			
Інвестиційна вартість, включаючи витрати на будівельні роботи (\$/кВт)	2500-10000 (5000)	2000-7500 (4500)	1750-6250 (4000)
витрати на експлуатацію та обслуговування (фіксовані і змінні) (\$/кВт)	50-90 (75)	45-85 (65)	35-85 (60)
Економічний термін служби (років)	30		
Загальна вартість виробленої електричної енергії (\$/МВт·год)	55-185(90)	45-120(82,5)	40-110(75)
Період прогнозу	2010 рік	2020 рік	2030 рік
Інвестиційна вартість, включаючи витрати на будівельні роботи (\$/кВт)	5000	4000	3500
Загальна вартість виробленої електричної енергії (\$/МВт·год)	82,5	75	67,5
Частка електроенергії ГЕС в загальному електроенергетичному ринку (%)	16-17	18-20	20-21

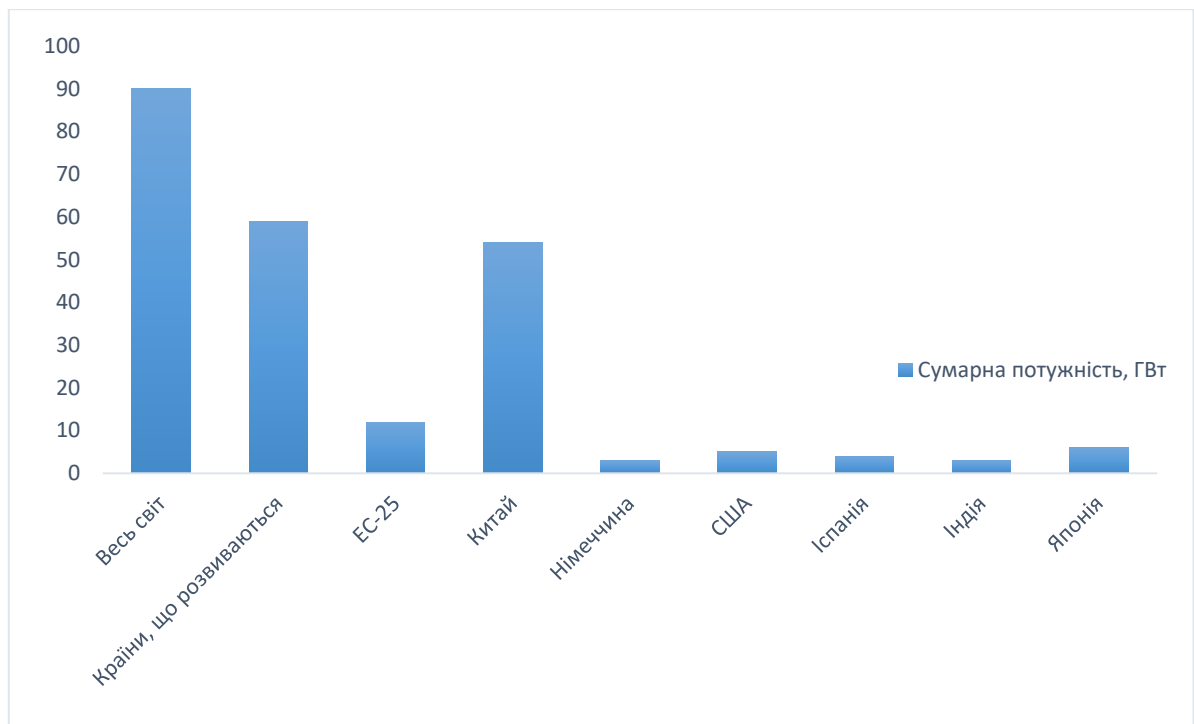


Рисунок 1.2 – Сумарні потужності малих ГЕС

На Україні налічується понад 63 тис. малих річок і водотоків загальною довжиною 135,8 тис. км, з них близько 60 тис. (95%) дуже маленькі (довжиною менше 10 км), їх сумарна довжина - 112 тис. км (середня довжина такого водотоку - 1,9 км). Більшість (87%) малих річок довжиною менше 10 км мають

площу водозбору від 20,1 до 500 км². Найбільшою водоносністю відрізняються річки Західної України [1].

До 1950 року на Україні експлуатувалося 956 малих гідроелектростанцій і тривало будівництво нових [1]. Зі створенням потужних об'єктів теплової і атомної енергетики різко знизилася роль малої гідроенергетики. Централізація енергопостачання, низькі ціни на паливо і електроенергію для відомств і підприємств, на балансі яких перебували малі ГЕС стали основними причинами, які призвели до їх економічної недоцільності. В результаті практично всі малі гідровузли були виведені з експлуатації і демонтовані. З усього фонду об'єктів малої гідроенергетики України залишилося 150 малих станцій, з яких функціонують тільки 102 [2].

Підвищення і безперервне зростання цін на енергоносії, нові форми власності і господарювання, розвиток приватного підприємництва зумовили економічну доцільність МГЕС. Період 2000-2010 роки характеризується підйомом малої енергетики, відновленням МГЕС, причому майже без використання бюджетних коштів. Реконструйовано і введено в експлуатацію Корсунь-Шевченківська (1650 кВт), Снятинська (800 кВт), Сандрацька (640 кВт), Юрпольська (550 кВт), Гордашевська (400 кВт), Коржевська (400 кВт), Кунцевська (400 кВт), Остапьевська (375 кВт), Сухобаровська (330 кВт), Гальжбіївська (250 кВт), Петрашівська (250 кВт), Сідневська (230 кВт), Лісянська (200 кВт) малі ГЕС. Почалося спорудження нових, в основному мікроГЕС [1].

Триває робота по уточненню економічно доцільного гідроенергопотенціалу України, в тому числі на раніше споруджених водоймищах і на об'єктах утилізації енергетичних скидів технічних систем водозабезпечення та водовідведення. Згідно «Енергетичної стратегії України на період до 2030 року» в області малої гідроенергетики передбачається здійснити [1]:

- реконструкцію та відновлення малих ГЕС загальною потужністю 135 МВт;

- будівництво нових МГЕС на річці Тиса та її притоках загальною потужністю 400 МВт;
- будівництво нових МГЕС на річці Дністер і її притоках загальною потужністю 560 МВт;
- будівництво нових децентралізованих МГЕС на малих водотоках (загальна потужність - 45 МВт).

До 2030 року передбачається довести генеруючу потужність всіх МГЕС України до 1140 МВт з річним обсягом виробництва електрики 3,75 млрд кВт·год. Розвиток малої гідроенергетики сприятиме децентралізації загальної енергетичної системи, що зніме ряд проблем в енергопостачанні віддалених і важкодоступних сільських регіонів. Вирішується цілий комплекс економічних, екологічних і соціальних проблем сільської місцевості. [3].

Науково-дослідні і проектні організації, підприємства країни мають у своєму розпорядженні необхідний виробничий потенціал для випуску обладнання малої гідроенергетики. Комплектні поставки гідромеханічного устаткування можуть виконувати по кооперації «Турбоатом», АТ «Київенергомаш» (гідротурбіни, гідроелектроагрегати), Полтавський турбомеханічний завод (підйомно-механічне обладнання гідропоруд), Ніжинський ремонтно-механічний завод (шлюзове обладнання), Сумське НВО ім. Фрунзе (гідротурбіни, гідроелектроагрегати), «Електроважмаш» (потужні гідрогенератори), «Южелектромаш» (генератори), «Електронмаш» і «Хартрон» (системи управління). Зазначені підприємства можуть забезпечити серійне виробництво нового сучасного гідроенергетичного обладнання для малих ГЕС України [1].

1.3 Переваги та недоліки малої гідроенергетики

Як і будь-який інший спосіб виробництва енергії, застосування малих і міні-ГЕС має як переваги, так і недоліки.

Серед економічних, екологічних та соціальних переваг об'єктів малої гідроенергетики можна назвати наступні. Їх створення підвищує енергетичну безпеку регіону, забезпечує незалежність від постачальників палива, що знаходяться в інших регіонах, економить дефіцитне органічне паливо. Спорудження такого енергетичного об'єкта не вимагає великих капіталовкладень, великої кількості енергоємних будівельних матеріалів і значних трудовитрат, відносно швидко окупається. Крім того, є можливості для зниження собівартості зведення за рахунок уніфікації та сертифікації обладнання [4].

У процесі вироблення електроенергії ГЕС 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. Вони не роблять негативного впливу на спосіб життя населення, на тваринний світ і місцеві мікрокліматичні умови.

Як будь-яке локалізоване джерело енергії, в разі ізолюваного застосування, об'єкт малої гідроенергетики вразливий з точки зору виходу з ладу, в результаті чого споживачі залишаються без енергопостачання (вирішенням проблеми є створення спільних або резервних генеруючих потужностей: вітроагрегату, когенеруючих міні-котелень на біопаливі, фотоелектричної установки тощо [4].

Найбільш поширений вид аварій на об'єктах малої гідроенергетики - руйнування греблі і гідроагрегатів в результаті переливу через гребінь дамби при несподіваному підйомі рівня води і неспрацьовуванні запірних пристроїв. У деяких випадках МГЕС сприяють замулювання водосховищ і впливають на руслоформуючі процеси.

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; нерозробленість методик оцінки та прогнозування можливого впливу на навколишнє середовище і господарську діяльність; слабку виробничу і ремонтну базу підприємств, які виробляють гідроенергетичне встаткування для МГЕС, а масове будівництво об'єктів малої гідроенергетики можливо лише в разі серійного виробництва обладнання, відмови від індивідуального проектування і якісно нового підходу до надійності і вартості обладнання - в порівнянні зі старими об'єктами, виведеними з експлуатації [4].

1.4 Типи малих ГЕС та класифікація гідротурбін

Малими ГЕС може бути використаний потенціал гідроенергетичних ресурсів малих і середніх річок, окремих ділянок великих річок, а також потенціал гідротехнічних об'єктів неенергетичного призначення: водосховищ, перепадів рівнів ділянок іригаційних каналів, водопровідних споруд, судноплавних каналів, перепадів на відвідних трактах систем технічного водопостачання АЕС, ТЕС, очисних споруд.

Розподіл річок на великі, середні та малі можна проводити виходячи з їх географічних показників: довжини річки, площі басейну водозбору, об'єму стоку - або ж ділити річки за можливими масштабами їх використання в тій чи іншій галузі господарства, наприклад гідроенергетиці, річковому транспорті або зрошенні. За природними ознаками до категорій малих і середніх річок відносять такі річки, водозбірна площа яких на всьому протязі має сталість кліматичних і геологічних умов, рослинного покриву і рельєфу місцевості. До категорії великих відносяться всі річки, що не володіють зазначеними властивостями, тобто такі умови водозбору, які постійно змінюються. У таблиці 1.3 наведена можлива класифікація річок за вищенаведеними ознаками [5].

Таблиця 1.3 – Класифікація річок за географічними ознаками та можливим господарським використанням.

Категорія річок	Географічні ознаки				Можливе господарське використання		
	Водо-збірна площа басейну, тис. км ²	Середня довжина річки, км	Середня глибина русла, м	Середня річна витрата води	ГЕС, МВт	Зрошення, тис.га	Глибина водного шляху, м
Малі річки							
1-ша	< 8	250	< 0,5-1,0	< 8	<0,1	< 1	< 0,4-0,5
2-га група	8-23	150-400	0,5-1,5	10-50	0,1-1	1-5	0,5-0,7
Середні річки							
1-ша	15-60	До 400	0,7-2,5	10-80	1-5	5-25	0,7-1
2-га група	До 80	До 700	1-3	50-200	5-25	25-100	1-1,5
Великі річки							
	> 80	-	-	-	25-250	100-250	1,5-2

Басейни малих річок можуть поширюватися на територію від 1 до 10 адміністративних районів, середніх річок від 10 до 45 районів. Отже, за своїми розмірами малі річки можуть задовольняти господарським потребам районного та міжрайонного масштабів, середні – обласного.

За своїм призначенням, режимом роботи і розташуванню в загальній схемі електропостачання споживачів, малі ГЕС поділяються на системні та автономні.

Однією з основних ознак класифікації гідроелектростанцій є встановлена потужність ГЕС. Відповідно до цієї класифікації ГЕС ділять на п'ять категорій: великі, середні, малі, міні, мікро [5].

Верхня межа потужності малої ГЕС в різних країнах оцінюється по різному. Вона залежить від рівня розвитку енергетичного господарства країни, особливостей обґрунтування проектів малих ГЕС і ліцензійних процедур, обсягів оборотного капіталу і прийняття програм структурування малої гідроенергетики. У різних країнах верхня межа потужності малих ГЕС коливається від 1,5 до 30 МВт. Умовними є границі між малими ГЕС і міні-ГЕС, між міні ГЕС і мікро-ГЕС.

Технічні конструктивні і технологічні відмінності між цими категоріями ГЕС до кінця нормативно не визначені і встановлюються відповідно до конкретних умов (таблиця 1.4) [5].

Таблиця 1.4 – Технічні конструктивні і технологічні відмінності між малими ГЕС, міні-ГЕС та мікро-ГЕС у різних країнах та організаціях

Категорія ГЕС	Країни та організації					
	Італійський національний комітет	ОЛАДЕ	Україна	Нова Зеландія	Австрія. Іспанія. Індія. Канада, Франція	Японія
Малі ГЕС	5	10	30	30-50	5	20
Міні-ГЕС	0.5	1	1	10	2	-
Мікро-ГЕС	0.1	0,1	0,1	1	0,1	0,1

Крім перерахованих ГЕС необхідно виділити ще одну категорію - мобільні ГЕС. Проектування і будівництво малих і міні-ГЕС здійснюється за тими самими правилами, що і великих ГЕС. Мікро-ГЕС потужністю кілька десятків кіловат відрізняються схемами, складом і компонованням гідротехнічних споруд. Ця категорія ГЕС включає в себе безгреблеві, рукавні, вільно-потоккові, переносні і інші типи ГЕС компактного і блочного виконання [5].

Відома і більш детальна класифікація ГЕС малої гідроенергетики в залежності від встановленої потужності [6]:

- малі ГЕС – від 1 МВт до 30 МВт;
- міні ГЕС – від 100 кВт до 1 МВт;
- мікро ГЕС – від 5 кВт до 100 кВт;
- піко ГЕС – до 5 кВт.

По конструктивному виконанню ГЕС малої потужності прийнято поділяти на [7]:

- греблеві, використовують для створення напору греблі або будівлі ГЕС. В залежності від розташування ГЕС розрізняють пригребельні і руслові гідроелектростанції;

- дериваційні, які використовують потенційну енергію тиску води в трубопроводі або каналі;

- вільнопоточні, в яких встановлюється безпосередньо гідротурбіна в річковий потік без будь-яких гідротехнічних споруд і працює за рахунок його кінетичної енергії.

Малі ГЕС за напором діляться на низько-, середньо-і високонапірні. Граничні значення напору для кожної категорії ГЕС в різних літературних джерелах різні.

Ряд зарубіжних і вітчизняних машинобудівних фірм і проектних організацій пропонують граничні значення напорів, ґрунтуючись на своїх розробках турбінного устаткування.

Узагальнюючи ці дані, можна наступним чином класифікувати МГЕС за напором [5]:

- низьконапірні $H < 20$ м;
- середньонапірні $H = 20 - 100$ м;
- високонапірні $H > 100$ м.

При розрахунку потенціалу водяного потоку з метою дослідження можливості розміщення МГЕС, слід мати на увазі, що прийнятне значення енергетичного потенціалу не є достатнім для будівництва МГЕС:

- в силу можливої наявності жорстких вимог екологічного характеру;
- через недостатню глибину русла річки.

Якщо територія розташування досліджуваного водяного потоку є замкнутою – відсутні джерела зміни його обсягу (впадають річки, струмки, підводні ключі або розгалуження, водозабори тощо), витрату річки можна

вважати постійною і пов'язаною з її швидкістю, згідно із законом Бернуллі, наступним співвідношенням:

$$Q = S \cdot V ,$$

де V – швидкість водяного потоку, м/с;

S – площа його поперечного перерізу, значення якої можна визначити з наступного виразу, м²:

$$S = \int_0^{Ш_p} h(x) dx ,$$

де h – глибина річки, м;

$Ш_p$ – ширина річки, м.

Замінюючи безперервну функцію $h(x)$ дискретною, будемо мати остаточний вираз для досліджуваного водяного потоку:

$$Q = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(V_i \sum_j^{m-1} h_{ij} \cdot \Delta x_{ij} \right) ,$$

де i – номер перерізу;

j – номер вимірювання в поточному перерізі;

m – кількість інтервалів.

Значення потужності P гідротурбіни греблевих і дериваційних ГЕС можна визначити виходячи з наступної залежності [7]:

$$P = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q \cdot \eta ,$$

де ρ – густина води, кг/м³;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

η – ККД ГЕС.

Для вільнопоточних ГЕС, потужність та енергія яких визначається швидкістю водяного потоку, з урахуванням відомих співвідношень, що визначають баланс кінетичної і потенціальної енергії замкнутої системи, а також залежність витрати рідини Q від швидкості V , та її закінчення через перетин заданої площі S , вираз можна записати у вигляді [7]:

$$P = 0,5 \cdot \rho \cdot S \cdot V \cdot \eta ,$$

У загальному випадку в цих двох виразах параметри H , Q , V залежать від географічного розташування ГЕС, пори року, кліматичних умов та багатьох інших факторів. На практиці в якості їх значень використовують середні значення, отримані в результаті обробки даних багаторічних спостережень [8].

Гідравлічною турбіною називається двигун, що перетворює енергію рухомої води в механічну енергію обертання робочого колеса.

З основного закону механіки рідини – закону Бернуллі випливає, що питома енергія, тобто енергія одиниці маси, E на вході в робоче колесо становить [9]:

$$E_1 = \frac{u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} + z_1,$$

на виході з робочого колеса [9]:

$$E_2 = \frac{u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + z_2,$$

Енергія, віддана водою робочого колеса, дорівнює різниці енергій в потоці до і після робочого колеса [9]:

$$E = E_1 - E_2 = z_1 - z_2 + \frac{p_1 - p_2}{\rho g} + \frac{u_1^2 - u_2^2}{2g},$$

Таким чином, вся енергія потоку складається з енергії положення $z_1 - z_2$, енергії тиску (утворюють разом потенційну енергію), а також кінетичної енергії [9]:

$$\frac{u_1^2 - u_2^2}{2g}$$

В залежності від того, які з трьох членів рівняння Бернуллі головним чином використані в конструкції машини, розрізняються типи турбін.

У практиці прийнято гідротурбіни поділяти на класи, системи, типи і серії. Існує два класи гідротурбін: активні й реактивні.

Якщо в гідротурбінах використовується тільки кінетична енергія потоку, то вони називаються активними.

У таких турбінах $z_1 = z_2$, $p_1 = p_2$, тобто вода надходить на робоче колесо без надлишкового тиску. Для досягнення високого ККД у них майже весь тиск перетворюється на швидкість.

Турбіни, які хоча б частково використовують потенційну енергію, називаються реактивними. У таких турбінах [9]:

$$z_1 - z_2 + \frac{p_1 - p_2}{\rho g} > 0,$$

Отже, процес перетворення енергії на робочому колесі відбувається з надлишком тиску. Крім того, в робочому колесі частково використовується і кінетична енергія потоку.

Потужність турбіни може бути виражена [9]:

$$N_T = 9,81 \cdot Q_T \cdot H_T \cdot \eta_T,$$

де η – ККД турбіни.

Клас реактивних турбін об'єднує наступні системи: осьові-пропелерні і поворотно-лопатеві, діагональні, поворотно-лопатеві і радіально-осьові турбіни.

До класу активних турбін входять системи ковшових, похило-струменевих турбін і турбін подвійної дії. Останні дві системи не мають такого широкого поширення, як ковшові.

Кожна система турбін містить кілька типів, що мають геометрично подібні частини і однакову швидкохідність, але розрізняються за розмірами. Геометрично подібні турбіни різних розмірів утворюють серію.

Крім того, всі турбіни умовно поділяються на низько-, середньо- і високонапірні. Низьконапірними прийнято вважати турбіни, що працюють при $H < 25$ м, середньонапірними при $25 \leq H \leq 80$ м і високонапірними при $H > 80$ м [9]. Турбіни поділяються на малі, середні і великі.

До малих турбін належать ті, у яких діаметр робочого колеса $D \leq 1,2$ м при низьких напорах і $D \leq 0,5$ м при високих, а потужність становить не більше 1000 кВт. До середніх — ті турбіни, у яких $1,2 \leq D \leq 2,5$ м при низьких напорах і $0,5 \leq D \leq 1,6$ м при високих, а потужність $1000 < N \leq 15000$ кВт. До великих турбін відносяться ті, які мають D і N більше, ніж у середніх [9].

Сучасне гідротурбобудування розвивається з урахуванням наступних основних тенденцій [9]:

- підвищення економічності і надійності в експлуатації;
- подальше збільшення швидкохідності гідротурбін з метою забезпечення необхідної розрахункової потужності при менших габаритах і вазі гідроагрегатів, що забезпечує зниження вартості енергетичного обладнання і будівлі ГЕС;
- поліпшення енергетичних характеристик гідротурбін і підвищення середньо експлуатаційного ККД агрегатів;
- поліпшення кавітаційних характеристик з метою зменшення руйнувань проточної частини і зниження позначки установки турбіни по відношенню до нижнього б'єфу, що призводить до суттєвого зменшення вартості будівельних робіт по будівлі ГЕС;
- зменшення пульсацій тиску в проточній частині (особливо за робочим колесом радіально-осьової гідротурбіни) і супутніх їм вібрацій агрегату;
- подальше зростання одиничних потужностей гідроагрегатів; застосування на ГЕС потужних гідроагрегатів дозволяє зменшити їх кількість, підвищити ККД і знизити вартість енергетичного обладнання та будівлі.

Якщо на заданий діапазон напорів і умови роботи ГЕС можливе застосування декількох різних типів гідротурбін або робочих коліс, то необхідно провести техніко-економічний аналіз різного енергетичного устаткування і вибрати оптимальний варіант. Загальна класифікація гідротурбін різних типів за напорами представлена в таблиці 1.5 [9].

Таблиця 1.5 – Застосування гідротурбін у відповідності з напорами

Типи гідротурбін	Діапазон напорів H , м	Одинична максимальна потужність N , МВт	Діаметр турбіни максимальний d_i , м
Реактивні гідротурбіни			
Осьові капсульні, трубчасті та інші гідроагрегати	2–20	До 50	8
Вертикальні поворотно-лопатеві турбіни	5–80	250	10,5
Пропелерні	6–80	150	9
Двухперові	30–100	250	8
Діагональні	30–200	300	8
Радіально-осьові	30–700	800	10
Оборотні			
Осьові	2–15	30	8
Діагональні	20–100	300	7,5
Радіально-осьові одноступінчасті	30–600	450	9,5
Активні гідротурбіни			
Ковшові	300–2000	350	7,5
Похило-струменеві	50–400	50	4
Дворазові	3–200		
«Сфиндекс»	200–1500		

1.5 Характеристики діючих малих ГЕС

В Україні на даний час залишилося функціонуючих малих ГЕС тільки 102. Загалом найбільше з них мають потужність менше 10 МВт та подібні характеристики. Для прикладу можна навести декілька типових функціонуючих на даний час малих ГЕС [10]:

1. Ладизинська ГЕС - мала ГЕС на р. Південний Буг у місті Ладизин (Вінницької області). Входить до складу ПАТ «Західенерго». Дана мала ГЕС, працює на напорі Ладизинського водосховища, що використовується як ставок-охолоджувач Ладизинської ТЕС. За радянських часів (до пуску в експлуатацію

Олександрівської ГЕС) - найпотужніша на Південному Бузі. Річне виробництво електроенергії - 36,2 млн кВт·год. Різновид електростанції – пригребельна. Електрична потужність - 7,5 МВт.



Рисунок 1.3 – Ладжинська ГЕС

2. Касперівська ГЕС – найпотужніша гідроелектростанція в Тернопільській області. Розташована на річці Серет біля села Касперівці Заліщицького району.

Річне виробництво електроенергії > 13 млн кВт·год. Різновид електростанції: гребле-руслорова. Електрична потужність - 7,5 МВт. Кількість і марка генераторів: $3 \times$ Уралелектротяжмаш. Потужність генераторів - $3 \times 2,5$ МВт.



Рисунок 1.4 – Касперовська ГЕС

3. Теремля-Рікська ГЕС - гідроелектростанція на річці Теремля у села Протівень (Нижньо-Бистровська сільрада) в Хустському районі Закарпаття.

Річне виробництво електроенергії - 133 млн кВт·год. Різновид електростанції - гребле-дериваційна. Розрахунковий напір - 200 м. Електрична потужність - 27 МВт. Тип турбін - радіально-осьові. Кількість і марка турбін: 3×РО-128-ВМ-160. Витрата через турбіни - 3×6 м³/с. Кількість і марка генераторів: 3 × ВГС 260 / 99-10. Потужність генераторів - 3×9 МВт.



Рисунок 1.5 – Теремля-Рікська ГЕС

Висновки до розділу 1

1. Енергетична криза, пов'язана зі скороченням запасів органічного палива, і проблемами екології визначають все більший інтерес в усьому світі до використання відновлюваних джерел енергії, з яких найбільш розвиненою є мала гідроенергетика.

2. Інвестиційні витрати МГЕС (1-10 МВт) і дуже малих ГЕС (≤ 1 МВт) можуть варіюватися від \$2000 до \$7500 за 1 кВт встановленої потужності і від \$2500 до \$10000 за 1 кВт, відповідно, що говорить про незначні інвестиції у їх будівництво.

3. До 1950 року на Україні експлуатувалося 956 малих гідроелектростанцій і тривало будівництво нових, але зі створенням потужних об'єктів теплової і атомної енергетики з усього фонду об'єктів малої гідроенергетики України залишилося функціонуючих тільки 102 станції.

4. Головним недоліком можна виділити сезонність у виробленні електроенергії, тому доводиться застосовувати резервні джерела живлення, але для різних країн, які мають гідроенергетичний потенціал, є необхідним розвиток малої гідроенергетики для покращення економічних, екологічних та соціальних потреб.

5. На сьогоднішній день існують величезна кількість різних видів гідротурбін, які в свою чергу поділяються на активні і реактивні. Багато з них можуть мати максимально високий ККД навіть при низькій швидкості руху потоку річки, чи за несприятливих кліматичних умов.

6. Для подальшого розвитку даної теми необхідно поставити наступні задачі: розрахувати гідропотенціал певної гідрологічної зони в Україні; обрати річку, оцінити її гідрологію та топографію місцевості; вибрати місце розташування ГЕС на даній річці та тип гідротурбіни; провести оцінку ефективності роботи гідротурбіни при зміні кута нахилу лопаток за допомогою моделювання її у програмному середовищі SolidWorks; провести моделювання проекту ГЕС в програмному середовищі RETScreen 4; порівняти моделі ГЕС з різними типами турбін та провести техніко-економічну оцінку проекту; розробити стартап проект.

2 ГІДРОПОТЕНЦІАЛ МІСЦЕВОСТІ

2.1 Характеристики гідроенергії

Гідроенергія – це енергія, яка зосереджена в потоках водних мас у руслових водоводах та припливних рухів.

Гідроенергетика – галузь відновлюваної енергетики, що вивчає використання потенціальної та кінетичної енергії води шляхом перетворення її в електричну. Таке перетворення відбувається на гідроелектростанціях.

Гідроелектрика – електрика, отримана за допомогою води.

Спочатку енергію потоку води використовували в приводах робочих машин - млинів, верстатів, молотів повітродувки і т.д. З винаходом гідравлічної турбіни, електричної машини і способу передачі електроенергії на значні відстані гідроенергетика набула нового значення вже як напрям електроенергетики, пов'язаний з освоєнням водної енергії шляхом перетворення її в електричну на гідроелектричних станціях (ГЕС). ГЕС є мобільними енергетичними установками, що вигідно відрізняються від теплових електростанцій щодо регулювання частоти, покриття пікових навантажень і забезпечення аварійного резерву енергосистеми [11].

При звичайній гідроелектричній схемі вода накопичується в резервуарі, що часто створюється перегородженням ріки дамбою. Вода з резервуару подається на турбіни, з'єднані з електричним генератором. У насосних електростанціях вода, що проходить через турбіни, повертається по циклу знову. У приливних електростанціях використовується енергія води, що піднімається й опускається в результаті припливів. Одна п'ята частина електроенергії, що виробляється у світі – гідроелектрична [11].

2.2 Методи оцінки гідропотенціалу малих річок

У структурі водноресурсного потенціалу важливе місце посідає гідроенергетичний потенціал (ГП) – здатність частини річкового стоку, що використовується або тієї, що може бути використана, до виробництва електроенергії за певний період [12]. В останні часи, за умов зростання вартості енергоносіїв, підвищення тарифів на електроенергію поживляється увага до використання енергетичних можливостей українських річок. Поліська гідрологічна зона басейну Дніпра 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 [13]:

1. Теоретичний валовий (брутто) гідроенергетичний потенціал (або загальні гідроенергетичні ресурси).

2. Експлуатаційний чистий (нетто) гідроенергетичний потенціал, який включає: а) технічний (технічні гідроенергоресурси) – частину теоретичного валового річкового потенціалу, яка технічно може бути використана або вже використовується; б) 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: 1) метод лінійного (поділянкового) обліку – для річок, на яких здійснюються спостереження за стоком у межах створів гідрологічних постів; 2) 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 [14]:

$$N = 9,81 \cdot \left(\frac{Q_1 + Q_2}{2} \right) \cdot (H_1 - H_2)$$

де N – потужність, кВт;

Q_1 і Q_2 – витрати води початку і кінця ділянки, м³/с;

H_1 і H_2 – абсолютна висота початку і кінця ділянки, м.

Складність оцінки полягає в тому, що не для всіх річок поліської гідрологічної зони басейну Дніпра, 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 Григорьєва.

З метою оцінки потенційної потужності усіх річок регіону, в тому числі й тих, по яких відсутні дані спостережень за стоком, використано метод Григорьєва [14], за яким теоретична потужність водотоку (N_0) визначається на основі загального перепаду висоти витоку і гирла річки (ΣH) та використання середньорічної витрати у гирлі (Q_n) за формулою:

$$N_0 = 9,81 \cdot Q_n \cdot \sum H$$

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 [15], стали основою для розрахунку теоретичної потужності річок.

2.3 Гідроенергетичний потенціал річок поліської гідрологічної зони басейну Дніпра методом Григор'єва

Для визначення теоретичної потужності водотоку (N_0) за методом Григор'єва, скористаємося наступною формулою:

$$N_0 = 9,81 \cdot Q_n \cdot \sum H$$

та занесемо отримані дані до таблиці 2.1.

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

№ п/п	Річка	Довжина, км	Перепад висоти, м	Норма стоку у гирлі, м3/с	Теоретична потужність у гирлі, кВт
1	Тетерів	352	145	14,9	21194,505
2	Прип'ять	124	15	12,5	1839,375
3	Виживка	81	29	2,58	733,984
4	Турія	148	44	4,16	1795,622
5	Стохід	143	29	11,8	3356,982
6	Стир	465	87	31,1	26542,917
7	Іква	155	82	3,3	2654,586
8	Горинь	620	163	25,1	40135,653
9	Случ	451	154	26,5	40034,610
10	Хомора	114	74	2,51	1822,109
11	Тня	70	38	3,48	1297,274
12	Смілка	65	32	2,08	652,954
13	Уборть	132	48	7,83	3686,990
14	Уж	242	112	4,2	4614,624
15	Жерев	96	60	2,63	1548,018
16	Норин	79	13	4,39	559,857
17	Івотка	76	43	5,2	2193,516
18	Убідь	106	47	5,2	2397,564
19	Сейм	242	16	96,8	15193,728
20	Здвиж	145	80	1,34	1051,632
21	Клевень	89	54	8,6	4555,764
22	Есмань	50	48	1,34	630,979
23	Снов	133	9	29,2	2578,068
24	Гнилоп'ять	90	75	3,7	2722,275
25	Ірша	136	95	7,83	7297,169
26	Ірпінь	162	104	7,19	7335,526
Загальний гідропотенціал зони					198426,281

Перетворення теоретичної потужності у гирлі кожної річки у потенційну здійснено за рекомендаціями [14] на основі коефіцієнта теоретичної потужності річок α (таблиця 2.2), для чого за даними [16] проаналізовано поздовжні профілі та криві наростання площі басейну річок регіону (таблиця 2.3).

Таблиця 2.2 – Залежність значення α від типу профілю і кривої наростання площі водозбору

Типи басейнів Типи профілів	Посилений розвиток верхів'їв	Рівномірний розвиток басейну	Посилений розвиток низової частини
Рівноважний профіль	0,35-0,45	0,20-0,30	0,10-0,15
Рівнинний профіль	0,65-0,75	0,50	0,25-0,35
Скидовий профіль	0,75-0,85	0,60-0,70	0,70-0,80

Таблиця 2.3 – Потенційна потужність річок регіону за методом Григор'єва

№, п/п	Річка	Тип басейну	Тип профілю	α	Потенційна потужність у гирлі, кВт
1	Тетерів	розвинуте верхів'я	рівнинний	0,7	14836,154
2	Прип'ять	розвинуте верхів'я	рівнинний	0,7	1287,563
3	Вижівка	рівномірний	рівнинний	0,5	366,992
4	Турія	рівномірний	рівнинний	0,5	897,811
5	Стохід	рівномірний	рівнинний	0,5	1678,491
6	Стир	рівномірний	рівнинний	0,5	13271,459
7	Іква	рівномірний	рівнинний	0,5	1327,293
8	Горинь	розвинуте верхів'я	рівнинний	0,7	28094,957
9	Случ	розвинуте верхів'я	рівнинний	0,7	28024,227
10	Хомора	рівномірний	рівнинний	0,5	911,055
11	Тня	рівномірний	скидовий	0,65	843,228
12	Смілка	рівномірний	рівнинний	0,5	326,477
13	Уборть	рівномірний	рівнинний	0,5	1843,495
14	Уж	розвинута низова частина	скидовий	0,75	3460,968
15	Жерев	розвинута низова частина	рівнинний	0,3	464,405
16	Норин	рівномірний	рівнинний	0,5	279,928
17	Івотка	рівномірний	рівнинний	0,5	1096,758
18	Убідь	рівномірний	рівнинний	0,5	1198,782
19	Сейм	розвинуте верхів'я	рівнинний	0,7	10635,610
20	Здвиж	рівномірний	рівнинний	0,5	525,816
21	Клевень	рівномірний	рівнинний	0,5	2277,882
22	Есмань	розвинуте верхів'я	рівнинний	0,7	441,685
23	Снов	рівномірний	рівнинний	0,5	1289,034

Продовження таблиці 2.3

24	Гнилоп'ять	рівномірний	рівнинний	0,5	1361,138
25	Ірша	рівномірний	рівнинний	0,5	3648,584
26	Ірпін	розвинуте верхів'я	рівнинний	0,7	5134,868
Загалом					125524,659

Як видно, з таблиці 2.3, загальна потенційна потужність досліджуваних річок, розрахована методом Григор'єва, складає 125,5 МВт.

Для перетворення значень потенційної потужності річок (N , кВт) у величину валового ГП (E , кВт·год/рік) використано формулу [16]:

$$E = N \cdot 24 \cdot 365 = N \cdot 8760$$

Результати перетворення наведено у таблиці 2.4.

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 [14]. Для всіх річок регіону цей коефіцієнт становить 0,15-0,20, за винятком Тетерів, Горинь і Случ, для яких його значення дорівнює 0,3.

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 [14] на рівні 25% від технічного. Розраховані значення категорій ГП наведені у таблиці 2.4.

Отримані дані дали можливість визначити питому насиченість території регіону гідроенергетичними ресурсами (гідроенергетичний модуль) в розрізі басейнів досліджуваних річок (таблиця 2.4).

Таблиця 2.4 – ГП річок поліської гідравлічної зони та його територіальна диференціація

№, з/п	Річка	Гідроенергетичний потенціал, млн. кВт*год/рік			Гідроенергетичний модуль, тис. кВт*год/рік на 1 км ² водозбору		
		Валовий	Технічний	Економічний	Валовий	Технічний	Економічний
1	Тетерів	129,965	38,989	9,747	35,264	10,579	2,645
2	Прип'ять	11,279	1,974	0,493	2,668	0,467	0,117
3	Вижівка	3,215	0,563	0,141	8,897	1,557	0,389
4	Турія	7,865	1,376	0,344	10,625	1,859	0,465
5	Стохід	14,704	2,573	0,643	9,894	1,731	0,433
6	Стир	116,258	20,345	5,086	32,298	5,652	1,413
7	Іква	11,627	2,035	0,509	36,784	6,437	1,609
8	Горинь	246,112	73,834	18,458	59,952	17,986	4,496
9	Случ	245,492	73,648	18,412	46,981	14,094	3,524
10	Хомора	7,981	1,397	0,349	13,672	2,393	0,598
11	Тня	7,387	1,293	0,323	11,560	2,023	0,506
12	Смілка	2,860	0,500	0,125	9,047	1,583	0,396
13	Уборть	16,149	2,826	0,707	17,902	3,133	0,783
14	Уж	30,318	5,306	1,326	27,912	4,885	1,221
15	Жерев	4,068	0,712	0,178	17,995	3,149	0,787
16	Норин	2,452	0,429	0,107	6,100	1,067	0,267
17	Івотка	9,608	1,681	0,420	15,261	2,671	0,668
18	Убідь	10,501	1,838	0,459	16,439	2,877	0,719
19	Сейм	93,168	16,304	4,076	5,197	0,910	0,227
20	Здвиж	4,606	0,806	0,202	18,631	3,260	0,815
21	Клевень	19,954	3,492	0,873	16,335	2,859	0,715
22	Есмань	3,869	0,677	0,169	10,560	1,848	0,462
23	Снов	11,292	1,976	0,494	3,163	0,554	0,138
24	Гнилоп'ять	11,924	2,087	0,522	19,722	3,451	0,863
25	Ірша	31,962	5,593	1,398	24,573	4,300	1,075
26	Ірпінь	44,981	7,872	1,968	22,611	3,957	0,989
Регіон в цілому		1099,6	270,125	67,531	500,044	105,282	26,321

Здійснене дослідження дало змогу оцінити гідроенергетичний потенціал річок поліської гідравлічної зони басейну Дніпра у розрізі його основних категорій.

2.4 Гідрологія річки Гнилоп'ять

Гнилоп'ять — річка в Україні, в межах Козятинського району Вінницької та Бердичівського й Житомирського районів Житомирської області (70 км). Права притока Тетерева (басейн Дніпра) [17].



Рисунок 2.1 – Ріка Гнилоп'ять в селі Троянів

Гнилоп'ять бере початок між селами Куманівка і Великий Степ. Тече переважно на північ. Впадає до Тетерева навпроти села Тетерівки, що на південний захід від Житомира [17].

Основні притоки: П'ятка, Терехівка, Вовчиця, Глибока Долина, Гнилоп'ятка, П'ятка, Гриньківка, Руда Кам'янка (ліві); Безіменна, Безіменна, П'ятигірка,

Бобрик, Писарівчина, Гнилуха, Троянівка, Пікаліївка (праві). Кількість малих приток становить 232 із загальною довжиною 730 км [17].

Над річкою розташовані такі села, селища, міста (від витоків до гирла): Куманівка, Бродецьке, Вовчинець, Поличинці, Кикишівка, Бистрик, Бердичів, Скragлівка, Райки, Швайківка, Слободище, Рудня-Городище, Троянів, Залізня, Головенка, Махнівка [17].

Довжина 99 км, площа водозбірного басейну 1 312 км². Похил річки 1,1 м/км. Долина заболочена, завширшки 3 км, меліорована. Береги — поклади гнейсів та гранітів. Річище звивисте, завширшки до 20 м. Є ставки, споруджено водосховища (близько 10). Середній багаторічний стік – 3,7 м³/с [15]. Використовується на питне та технічне водопостачання, як водоприймач осушувальних систем. Також згідно з [18] можна розглянути більш детальні дані стоку для кожного місяця за водністю року (1 – багатоводний, 2 – середньоводний, 3 – маловодний, 4 – дуже маловодний), які представлені у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Розрахунковий розподіл стоку р. Гнилоп'ять в залежності від водності року

Водність року	По місяцям											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	5,1	16,7	31,2	9,3	5,3	6,2	2	3,5	2,9	3,9	6,2	7,7
2	6,5	4,4	32,1	14,1	5,5	3,2	2,1	2,6	3,5	4,5	8,1	13,4
3	5,3	9,8	32,3	16,7	9,2	3,6	2,1	2	3,7	4,5	6,8	3,7
4	4,7	8,8	35,1	18,1	10	2,9	1,9	1,6	3,3	4,1	6,1	3,4

Гідрохімічний стан річки [17], у створі на 0,5 км вище скиду очисних споруд шкірзаводу (с. Швайківка), погіршився за вмістом:

- сольового амонію з 1,15 мг/дм³ до 2,2 мг/дм³,
- фосфатам з 0,13 мг/дм³ до 0,31 мг/дм³,
- хрому загальному з 0,003 мг/дм³ до 0,026 мг/дм³.

Річка Гнилоп'ять згідно з [19] входить до категорії «Зона будівництва», що означає прийнятні умови для будівництва малих ГЕС, а саме: долини та водозбори річок, які не є частиною територій та об'єктів природно-заповідного фонду України: вже раніше змінені річкові системи або фрагменти річкових систем, які не представляють високої екологічної цінності; річки у межах урбанізованих та антропогенних ландшафтів, якщо вони не є частиною екомережі (екокоридорами).

Для визначення профілю річки можна скористуватися безкоштовною програмою Google Планета Земля Про. Google Планета Земля (офіційна назва українською мовою) - це безкоштовна, вільно-завантажувана програма компанії Google що відображає віртуальний глобус (рисунк 2.2). В рамках даного проекту в мережі Інтернет існують аерофотознімки та сателітні знімки більшої частини Землі. Для деяких регіонів ці знімки сягають дуже високої якості.

Основу даних представляють супутникові знімки Landsat, SPOT, Quickbird і топографічні карти. Будь-яка точка світу відображається з точністю до 1:25000 на основі даних, отриманих після 1999 року. Ці знімки надані компанією EarthSat і зроблені з супутника Landsat-7, камерою ETM. Великі міста і багато території відображаються аж до масштабів порядку 1:2000, що зроблено компанією DigitalGlobe за допомогою супутника Quickbird-2 з використанням камери WHRC-60. Дозвільна точність цих знімків складає 0,68 м. Іншими джерелами інформації слугують дані SPOT і аерофотозйомки [20].

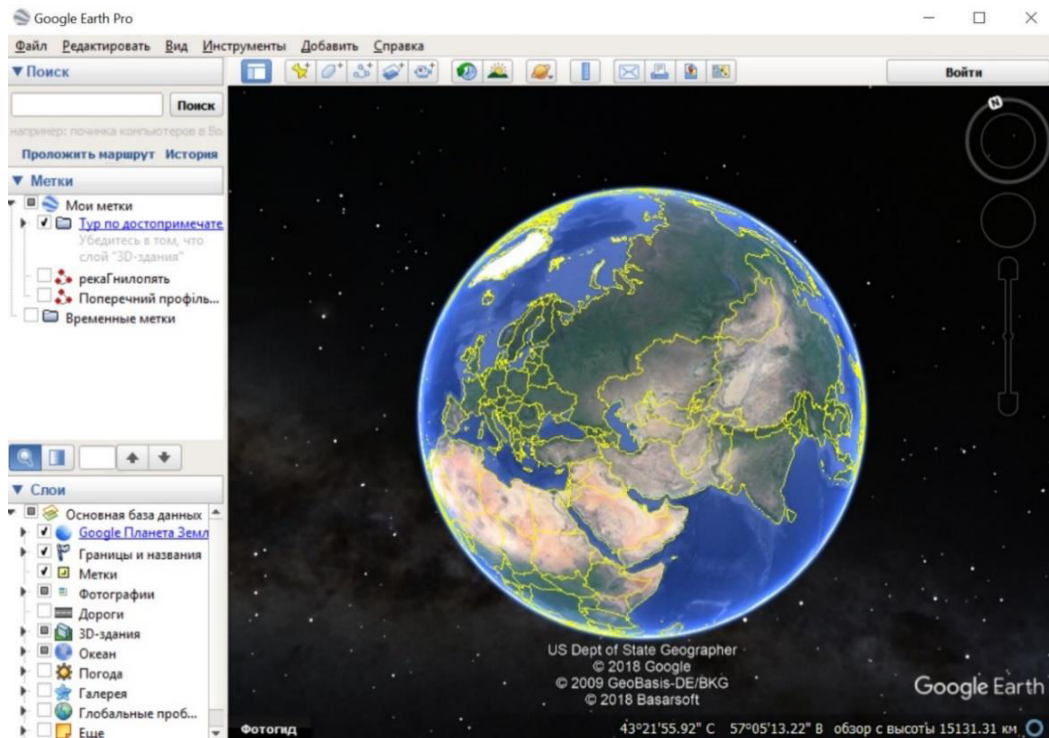


Рисунок 2.2 – Заставка програми Google Планета Земля

Відкриваємо версію програми і вводимо у панель пошуку «Переміститись до р. Гнилоп'ять». За допомогою функції «лінійка» намічаємо шлях вздовж усієї річки у Житомирській області, намагаючись поставити точки на середину річки, оминаючи насип та береги. Після збереження інформації відкриваємо, за допомогою додаткового меню «профіль рельєфу», вертикальний профіль зазначеного шляху [21] (рисунок 2.3).

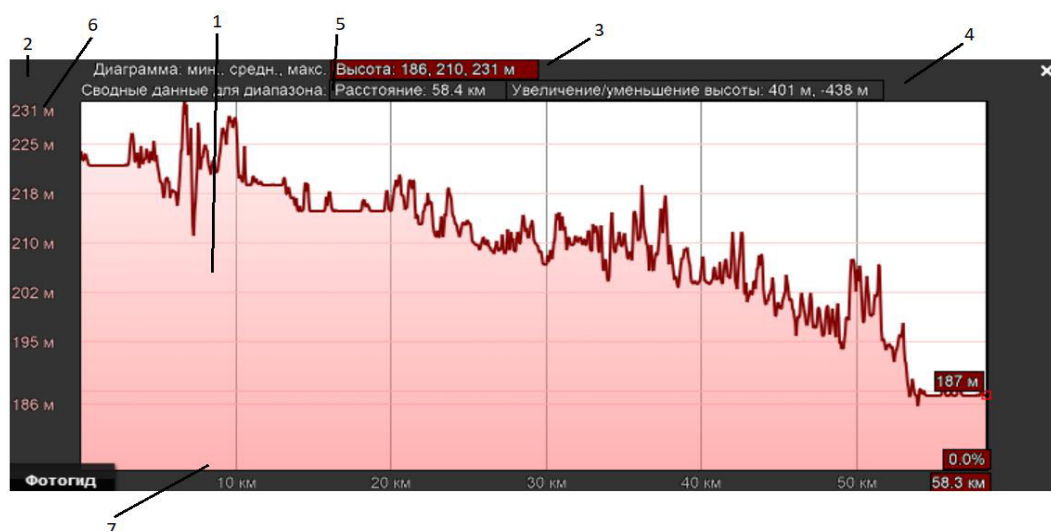


Рисунок 2.3 – Вертикальний профіль річки Гнилоп'ять та його параметри

На рисунку 2.3 зображено профіль та параметри рельєфу зазначеного шляху, а також наступна інформація [21]:

- 1 - профіль рельєфу річки. Вісь У графіка показує висоту, а вісь Б - відстань. При переміщенні курсору за профілем рельєфу відображається висота (зліва від стрілки) і сукупна відстань (над стрілкою). Число перед знаком % представляє відсоток ухилу;
- 2 - дата отримання зображення на мапі;
- 3 - координати та висота над рівнем моря точки, яка представлена на графіку;
- 4 - висота над рівнем моря камери;
- 5 - мінімальні, середні та максимальні значення графіку;
- 6 - параметри досліджуваної ділянки - відстань в км (довжина шляху); зміни рельєфу в м; максимальний та середній нахил у %;
- 7 - параметри точки: висота над рівнем моря, відсоток ухилу, відстань від початку зазначеного шляху.

Отриманий профіль характеризується наявністю досить значних змін по вертикалі, які змінюють загальний тренд рельєфу. В такому вигляді рельєф не завжди відповідає дійсності, так як в залежності від розпізнавальної здатності електронної карти та дій оператора персонального комп'ютера визначені на моніторі точки вимірювань можуть «влучити» на поверхню берегів річки. Зазначена властивість буде спостерігатися в більшій мірі зі зменшенням ширини досліджуваної малої річки.

Інший підхід до побудови вертикального профілю ділянки малої річки ґрунтується у [21] на можливостях програмного забезпечення визначати автоматично рельєф місцевості в заданій площині. В даному випадку оператору потрібно задати лише параметри площини і в перетині місцевості будуть відображатися всі точки, згідно дозвільної здатності розпізнавання електронної карти, сукупність яких являє собою рельєф дослідної місцевості в заданій площині. Якщо площину розмістити перпендикулярно руслу навіть неширокої

річки, то висота русла над рівнем моря визначається однозначно з похибкою дозвільної здатності карти (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 – Поперечний профіль рельєфу річки Гнилоп'ять біля с. Зализня

Визначивши таким чином параметри русла для ряду точок вздовж річки, можна побудувати потрібний вертикальний профіль. Побудову виконаємо на основі сукупності поперечних профілів рельєфу річки. Приклади деяких з них зображені на рисунках 2.5-2.7, а параметри русла наведені в таблиці 2.6. Вертикальний профіль річки Гнилоп'ять побудовано відповідно до цих даних на рисунку 2.8.

Таблиця 2.6 - Параметри вертикального профілю річки Гнилоп'ять

№, п/п	Населений пункт	Висота над рівнем моря, м	Довжина річки від гирла, км	Примітки
1	Куманівка	262	99	витік між с. Куманівка і Великий Степ
2	Бродецьке	255	85,3	притока. Бродянка
3	Вовчинець	251	76,7	
4	Поличинці	248	72,9	
5	Кикишівка	240	64,7	
6	Бистрик	232	56,4	притока р. Глибока Долина
7	Бердичів	228	51,7	притока р. Терехова
8	Скрагалівка	224	47,1	
9	Райки	221	43,4	притока р. Гнилоп'ятка
10	Швайківка	219	40,6	
11	Слободище	215	35,9	
12	Рудня-Городище	212	32,2	притока р. П'ятка
13	Троянів	207	26,7	притока р. Гриньківка
14	Залізня	200	19,3	притока р. Руда Кам'янка
15	Головенка	193	11,9	
16	Тетеревка	187	0	впадає у р. Тетерів



Рисунок 2.5 – Рельеф місцевості р. Гнилоп'ять в районі с. Куманівка



Рисунок 2.6 – Рельеф місцевості р. Гнилоп'ять в районі с. Бистрик

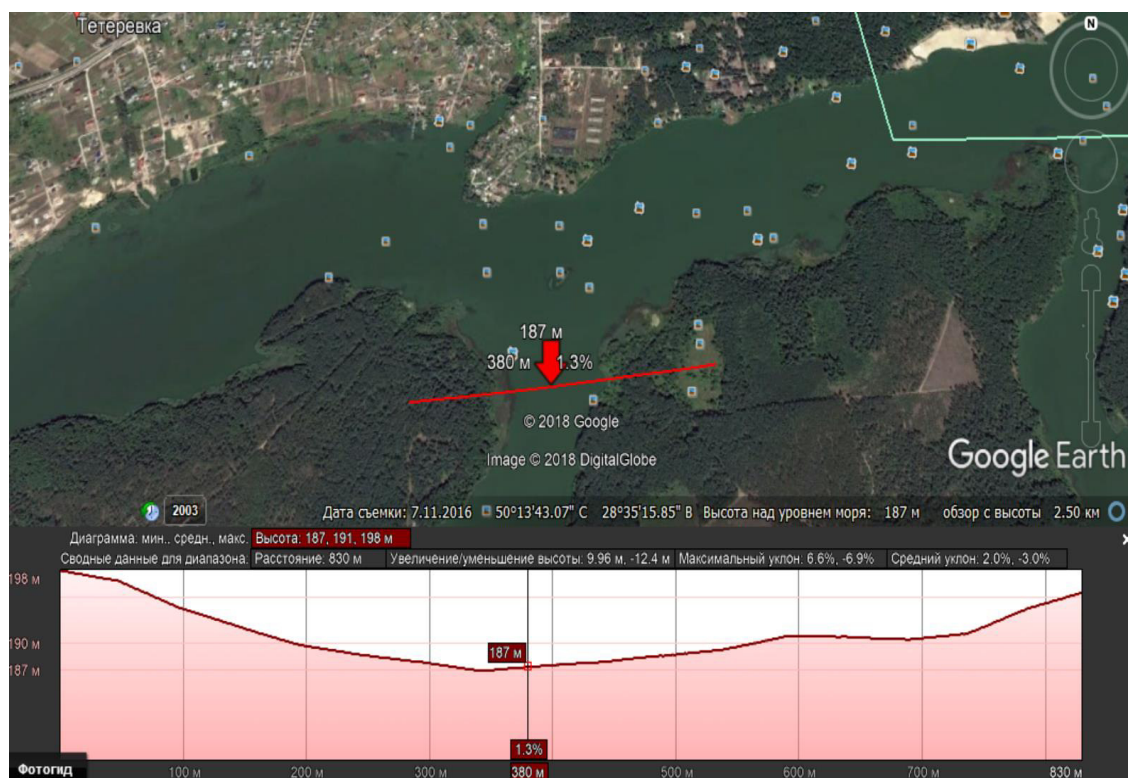


Рисунок 2.7 – Рельєф місцевості р. Гнилоп'ять в районі с. Тетеревка

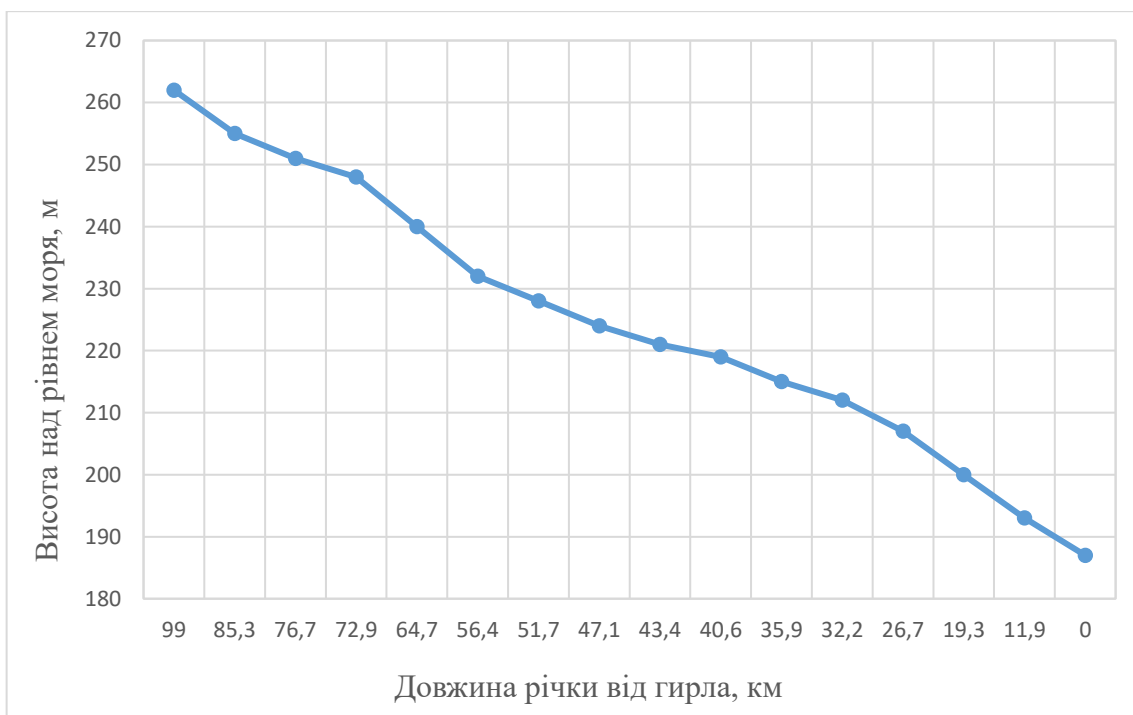


Рисунок 2.8 – Вертикальний профіль річки Гнилоп'ять

Висновки до розділу 2

1. Гідроенергетичний потенціал – це здатність частини річкового стоку, що використовується або тієї, що може бути використана, до виробництва електроенергії за певний період, тому його розрахунок займає важливу роль для оцінки доцільності встановлення гідроелектростанцій на річках регіону.

2. З метою оцінки потенційної потужності усіх річок поліської гідрологічної зони басейну Дніпра, використано метод Григор'єва, за яким розрахована потужність склала 125,5 МВт.

3. Під час розгляду гідрології річки Гнилоп'ять були зібрані необхідні дані для подальших розрахунків, серед яких: розрахунковий розподіл стоку в залежності від водності року та середній багаторічний стік, який складає $3,7 \text{ м}^3/\text{с}$.

4. Для можливості встановлення міні ГЕС на цій річці було визначено, що ця річка згідно з [19] входить до категорії «Зона будівництва».

5. За допомогою програмного забезпечення Google Планета Земля Про побудовано вертикальний профіль річки з метою визначення оптимального місця встановлення міні гідроелектростанції.

6. Подальший розвиток даної теми вбачається у встановленні сучасного рівня господарського використання гідроенергетичних ресурсів регіону.

3 ВАРІАНТИ ПОБУДОВИ ТА РОЗМІЩЕННЯ МІНІ ГЕС

3.1 Вибір місця для розташування міні ГЕС

Під час вибору місця для розташування міні ГЕС необхідно звернути увагу на фактори, які враховуються при будівництві міні ГЕС, а також їх зв'язок з багатьма критеріями. Перелік таких факторів представлений у таблиці 3.1 [22].

Таблиця 3.1 – Фактори, які враховуються моделлю і 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 Гнилоп'ять було вирішено розташувати міні ГЕС біля села Бистрик (рисунок 2.6), в Бердичівському районі Житомирської області. Згідно вертикального профілю річки Гнилоп'ять (рисунок 2.8) на цій ділянці спостерігається відповідний для будівництва перепад висоти, який дозволить підвищити напір нашої ГЕС.

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, яка буде вироблятися на міні ГЕС, продаватиметься у мережу за зеленим тарифом.

3.2 Визначення гідропотенціалу р. Гнилоп'ять на вибраній 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 AB довжиною L (рисунок 3.1) з постійним 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 $F = m \cdot g = v \cdot L \cdot \rho \cdot g$ зміститься в вертикальному напрямку на висоту $L \cdot \sin(\alpha) = v \cdot \sin(\alpha) \cdot t$ [23].

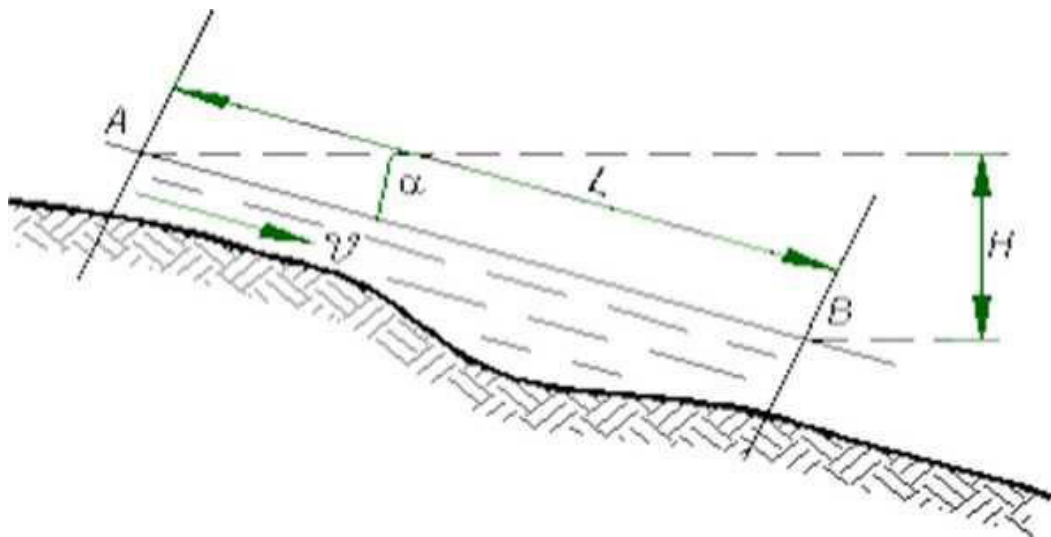


Рисунок 3.1 – До розрахунку потужності водного потоку на ділянці річки

Робота, що здійснюється силою тяжіння на ділянці L за час t визначається за виразом [23]:

$$A = \rho \cdot g \cdot S \cdot L \cdot v \cdot \sin(\alpha) \cdot t,$$

Потужність:

$$P = A/t = \rho \cdot g \cdot S \cdot L \cdot v \cdot \sin(\alpha)$$

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

Отже, беручи $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$, середній багаторічний стік $Q = 3,7 \text{ м}^3/\text{с}$ [15] і $H = 5 \text{ м}$, отримуємо потужність P , кВт [23]:

$$P = 9,81 \cdot Q \cdot H = 9,81 \cdot 3,7 \cdot 5 = 181,5 \text{ кВт}$$

Для того щоб оцінити приблизну потужність нашої міні ГЕС на даній ділянці необхідно скористатися даною формулою:

$$P_{\text{ГЕС}} = 9,81 \cdot Q \cdot H \cdot \eta = P \cdot \eta ,$$

де η – ККД гідротурбіни, який можна взяти в межах 70...90%.

Отже, теоретична потужність міні ГЕС на даній ділянці:

$$P_{\text{ГЕС}} = 181,5 \cdot 0,8 = 145,2 \text{ кВт}$$

3.3 Вибір типу гідротурбіни

На сьогоднішній день існує величезна кількість гідротурбін: Каплана, Френсіса, Пелтона, Турго, Банки-Мітчелла та ін.. Кожна з цих турбін має свої переваги та недоліки, а також у кожній є своя класифікація в залежності від напору та витрати води.

Поворотно-лопатева турбіна, або турбіна Каплана – реактивна турбіна, лопаті якої можуть повертатися навколо своєї осі одночасно, за рахунок чого регулюється її потужність. Також потужність може регулюватися за допомогою лопаток направляючого апарату. Лопаті гідротурбіни можуть бути розташовані як перпендикулярно її осі, так і під кутом. Дана гідротурбіна використовується при невеликих напорах та витратах води [24].

Радіально-осьова турбіна (турбіна Френсіса) – реактивна пропелерна гідротурбіна, у робочому колесі якої потік води має спочатку радіальний (до осі),

а потім осьовий напрямок. Вода в напрямний апарат радіально-осьової турбіни надходить зі спіральної камери гідротурбіни, відсмоктуюча труба якої зазвичай вигнута. Основною перевагою турбін даного типу є найвищий оптимальний ККД з усіх існуючих типів, але для роботи необхідні досить великий напір та витрата води [25].

Ковшова турбіна (струменево-ковшова турбіна) – активна гідравлічна турбіна широко відома як турбіна Пелтона, використовується при дуже великих напорах, має високий ККД при доволі компактних габаритах. У 1919 році вона була вдосконалена і отримала назву - турбіна Турго. У новій гідротурбіні як і раніше кінетична енергія струменя води перетворюється в роботу за рахунок удару об лопатку. Проте є принципова відмінність: струмінь води б'є по одній стороні ротора і виходить в протилежну сторону. Оскільки в турбіні Турго використовуються фіксовані сопла, то і гідроелектростанція буде працювати на фіксованій швидкості потоку [26].

Турбіна поперечного потоку, турбіна Банки-Мітчелла або турбіна Оссбергера – гідротурбіна, розроблена австралійцем Ентоні Мітчеллом, угорським інженером Донатом Банки і німцем Фріцем Оссбергером. На відміну від більшості гідротурбін, в яких потік води має осьовий або радіальний напрямок, в турбіні поперечного потоку вода проходить через лопатки турбіни в поперечному напрямку два рази, спочатку в напрямку осі, а потім від неї. Тому даний тип турбіни іноді називають дворазовою турбіною. Турбіна поперечного потоку володіє відносно низькою швидкохідністю, тому більше підходить для місць з низьким напором та невеликою витратою води [27].

Для того, щоб визначитися з типом гідротурбіни можна скористатися графіком використання гідротурбін за напором та витратою води (рисунок 3.2) [28].

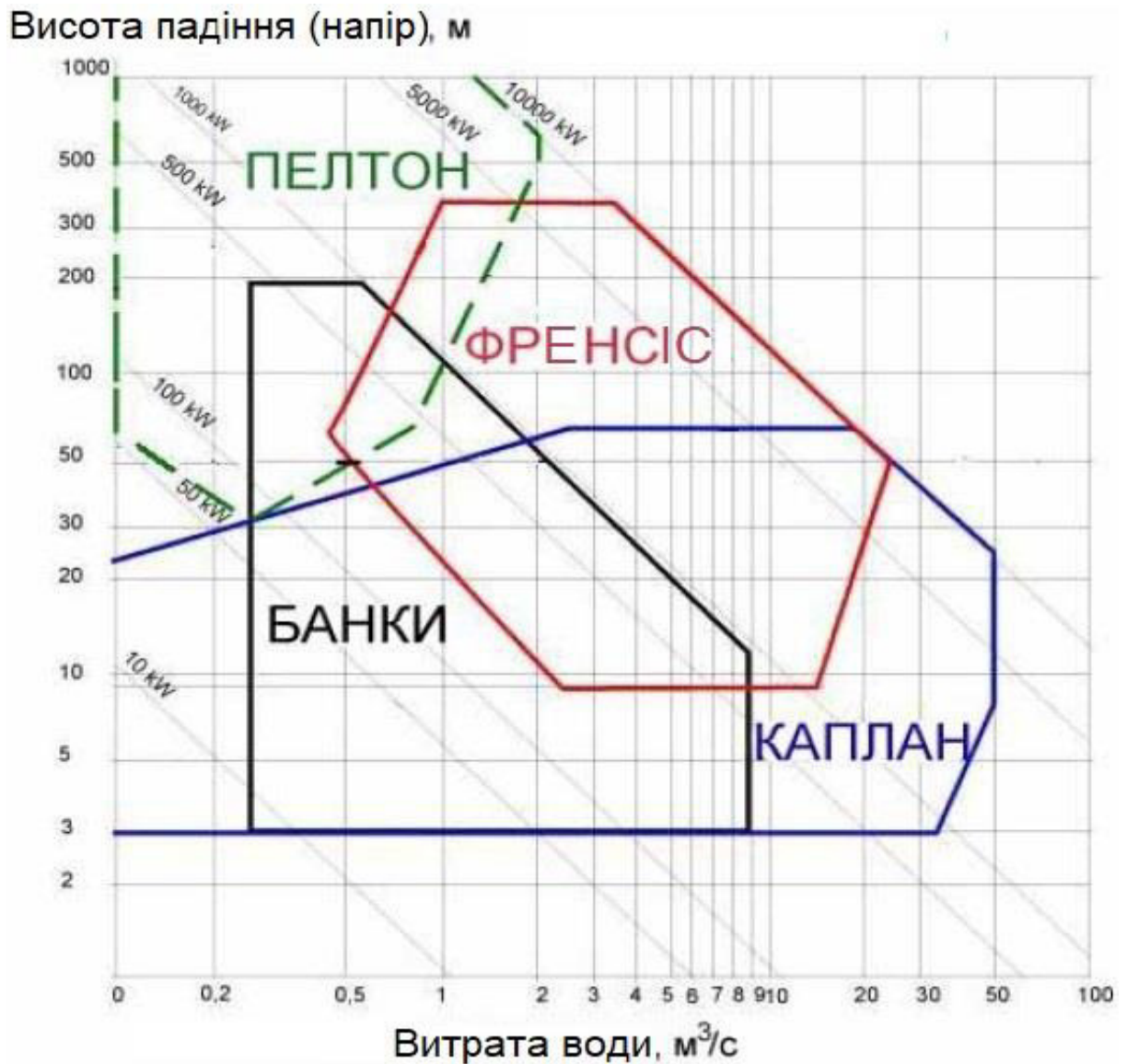


Рисунок 3.2 – Графік застосування гідротурбіни

Згідно з графіком при витраті води 3,7 м³/с і напорі 5 м обираємо тип гідротурбіни – Каплана. Дана гідротурбіна має вищий ККД порівняно з турбіною поперечного потоку, а для інших необхідні високі витрати води та напори. Цей графік показує ще приблизну потужність ГЕС – 150 кВт.

3.4 Нормативно правова база при будівництві міні ГЕС

Нормативно-правова база у сфері отримання дозволу на будівництво міні ГЕС представлена в таблиці 3.2 [29].

Таблиця 3.2 – Нормативно-правова база у сфері отримання дозволу на будівництво міні ГЕС

Закони України	«Про основи містобудування» «Про будівельні норми» «Про регулювання містобудівної діяльності» «Про дозвільну систему у сфері господарської діяльності» «Про Перелік документів дозвільного характеру у сфері господарської діяльності»
Постанови КМУ	«Питання прийняття в експлуатацію закінчених будівництвом об'єктів» від 13.04.2011 № 461 «Деякі питання виконання підготовчих і будівельних робіт» від 13.04.2011 № 466 «Про заходи щодо упорядкування видачі документів дозвільного характеру у сфері господарської діяльності» від 21 травня 2009 року № 526
Накази Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України	«Про затвердження Порядку розроблення проектної документації на будівництво об'єктів» від 16.05.2011 N 45 «Про затвердження Порядку надання містобудівних умов та обмежень забудови земельної ділянки, їх склад та зміст» від 07.07.2011 р. N 109
Нормативні акти технічного характеру	ДБН А.2.2-3-2004 Склад, порядок розроблення, погодження та затвердження проектної документації для будівництва» ДБН А.2.2-1-2003 «Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє природне середовище (ОВНС) при проектуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд ДБН А.2.2-3-2004 «Склад, порядок розроблення, погодження та затвердження проектної документації для будівництва; СНИП 2.06.01-86 «Гідротехнічні споруди. Основні положення проектування», затверджений Державним будівельним комітетом від 1987 року
Судова практика	Постанова Пленуму Вищого господарського суду України від 17.05.2011 N 6 «Про деякі питання практики розгляду справ у спорах, що виникають із земельних відносин»

Висновки до розділу 3

1. Під час вибору місця для розташування міні ГЕС було звернуто увагу на фактори, які враховуються при будівництві міні ГЕС та їх зв'язок з багатьма критеріями, після аналізу яких було вирішено розташувати міні ГЕС на річці Гнилоп'ять біля села Бистрик в Бердичівському районі Житомирської області.

2. Розташування міні ГЕС у селі Бистри вирішить проблему з перебоями електроенергії, а також надає можливість розвинути фермерське виробництво, тим самим дати жителям нові робочі місця.

3. Після оцінки гідропотенціалу р. Гнилоп'ять на вибраній ділянці було отримано теоретичну потужність міні ГЕС, яка склала 145,2 кВт.

4. За графіком застосування гідротурбіни при витраті води $3,7 \text{ м}^3/\text{с}$ і напору 5 м було обрано турбіну Каплана.

5. Для отримання дозволу на будівництво міні ГЕС була приведена уся необхідна нормативно-правова база.

4 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

4.1. Аналіз існуючих комп'ютерних програм для моделювання гідродинамічних задач

Моделювання в широкому сенсі – це особливий пізнавальний процес, метод теоретичного та практичного опосередкованого пізнання, коли суб'єкт замість безпосереднього об'єкта пізнання вибирає чи створює схожий з ним допоміжний об'єкт-замінник (модель), досліджує його, а здобуту інформацію переносить на реальний предмет вивчення.

Комп'ютерне моделювання – метод розв'язування задачі аналізу або синтезу складної системи, що ґрунтується на використанні її комп'ютерної моделі. Сутність комп'ютерного моделювання полягає у шуканні кількісних і якісних результатів із залученням наявної моделі.

У якості комп'ютерної моделі буде використовуватися робоче колесо гідротурбіни Каплана, яке можна створити за допомогою програмного забезпечення SolidWorks. Дана програма є продуктом компанії SolidWorks Corporation, САПР, та використовується для інженерного аналізу та підготовки виробництва будь-якої складності та призначення.

Моделювання гідродинамічних задач пропонується провести у додатковому модулі програми по газо/гідродинамічним розрахункам – SolidWorks Flow Simulation. Цей модуль проводить моделювання течії рідин і газів, управління розрахункової сіткою, використання типових фізичних моделей рідин і газів, комплексний тепловий розрахунок, газо/гідродинамічні і теплові моделі технічних пристроїв, нединамічний і нестационарний аналіз, а також розрахунок обертових об'єктів [30].

Для того щоб оцінити доцільність впровадження міні ГЕС на річці Гнилоп'ять, а саме дізнатись кількість виробленої електроенергії при застосуванні гідротурбіни Каплана та підвести техніко-економічний аналіз

пропонується використати для моделювання програмне забезпечення RETScreen 4.

RETScreen 4 – програмний пакет, розроблений на замовлення уряду Канади. Дана програма широко використовується для просування і впровадження проектів з використанням джерел чистої енергії. Програмне забезпечення дозволяє комплексно ідентифікувати, оцінювати й оптимізувати технічну й фінансову життєздатність потенційних проектів з відновлюваної енергії та енергоефективності, а також вимірювати й перевіряти фактичну ефективність об'єктів і визначати можливості зі збереження та виробництва енергії.

Використання RETScreen затверджено та рекомендовано програмами сприяння чистій енергетиці на всіх рівнях державного управління в усьому світі, включаючи РКЗК ООН і ЄС, Канаду, Нову Зеландію та Велику Британію, а також численні американські штати й канадські провінції, міста, муніципалітети, комунальні підприємства [31].

4.2 Моделювання руху рідини в робочому елементі поворотно-лопатевої турбіни

За допомогою програмного забезпечення SolidWorks було побудовано модель робочого колеса гідротурбіни Каплана (рисунок 4.1). Для проведення експериментів зі швидкістю руху води та розподілу тиску на лопатках гідротурбіни були задані наступні граничні умови (рисунок 4.2):

- матеріал корпусу гідротурбіни: нержавіюча сталь;
- об'єм потоку на вході: $3,7 \text{ м}^3/\text{с}$;
- тиск навколишнього середовища: 101325 Па.

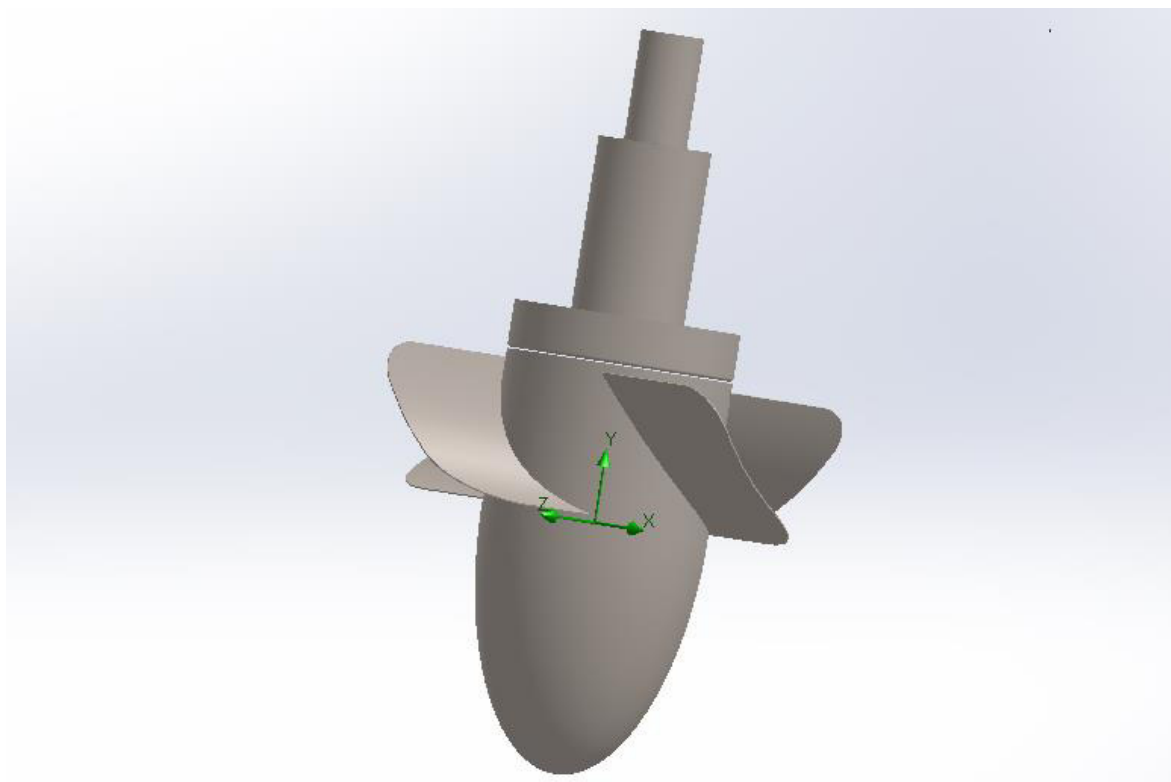


Рисунок 4.1 – Загальний вигляд робочого елемента турбіни Каплана у програмному середовищі SolidWorks

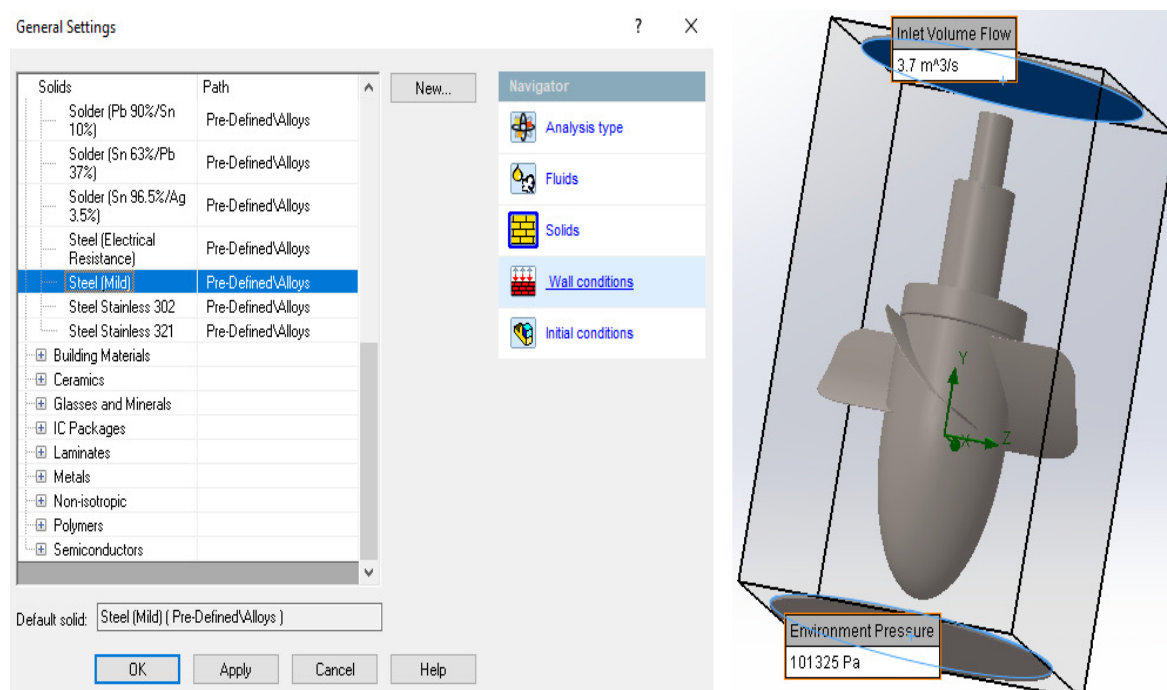


Рисунок 4.2 – Матеріал та граничні умови для розрахунку

Результати моделювання представлені на рисунку 4.3.

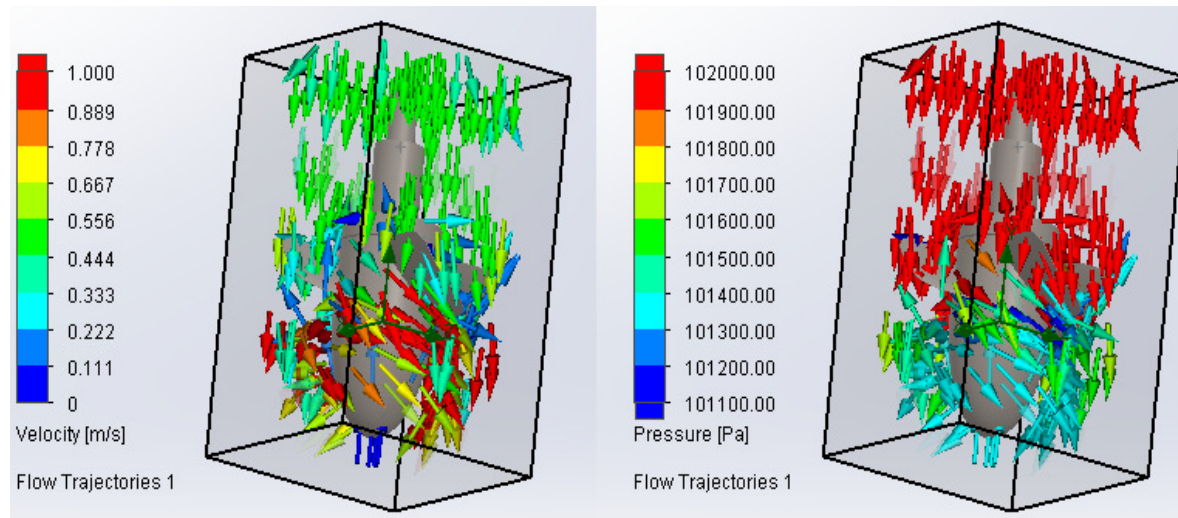


Рисунок 4.3 – Розподіл швидкості та тиску у робочому елементі гідротурбіни Каплана

У поворотно-лопатевої турбіни лопаті мають вигнуту форму. Коли вода обтікає їх створюється підйомна сила за рахунок реактивного впливу потоку. Тангенціальна складова підйомної сили змушує ротор обертатися. Це обертання передається на генератор для виробництва електроенергії.

Як видно з рисунку 4.3 потік води проходячи через турбіну ковзає по лопатям робочого колеса, в результаті цього можна побачити збільшення швидкості потоку до 1 м/с. Частину енергії турбіна отримує від імпульсної сили, тому у процесі проходження води через лопаті робочого колеса її кінетична енергія і тиск знижуються до 101,3 кПа.

Положення лопаток турбіни Каплана регулюється. Коли швидкість потоку висока відносна швидкість потоку буде більше осьової, тому лопать розташовується більш вертикально. Якщо швидкість потоку низька зростає тангенціальна складова відносної швидкості і лопаті встановлюються більш полого.

4.3 Аналіз впливу зміни кута нахилу лопаті турбіни на швидкість та тиск рідини в робочому елементі турбіни Каплана

При змінній швидкості потоку за рахунок регулювання нахилу лопаток забезпечується оптимальний кут атаки. Тому пропонується розглянути розподіл швидкості та тиску на лопаті у робочому елементі гідротурбіни при зміні їх кута нахилу. За допомогою програмного забезпечення SolidWorks на моделі робочого елемента поворотно-лопатевої турбіни було проаналізовано зміну швидкості потоку у робочому елементі гідроагрегату та тиску на лопаті при їх положенні: 0° , 15° , 30° , 45° , 60° , 75° , 90° . Граничні умови залишаємо без змін:

- матеріал корпусу гідротурбіни: нержавіюча сталь;
- об'єм потоку на вході: $3,7 \text{ м}^3/\text{с}$;
- тиск навколишнього середовища: 101325 Па ;
- інтервал розподілу тиску: $101,5 \text{ кПа} - 103 \text{ кПа}$;
- інтервал розподілу швидкості: $0 \text{ м/с} - 1 \text{ м/с}$.

Результати моделювання представлені на рисунках 4.4 – 4.10.

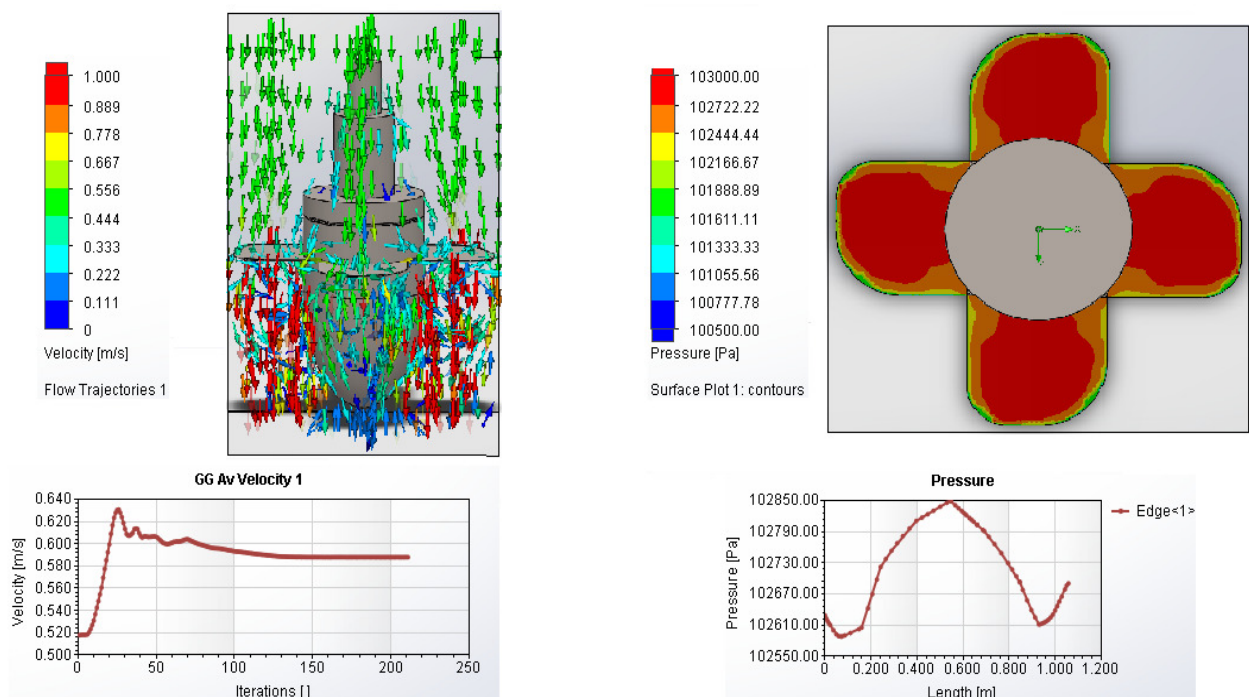


Рисунок 4.4 – Розподіл швидкості та тиску на лопаті при їх положенні 0°

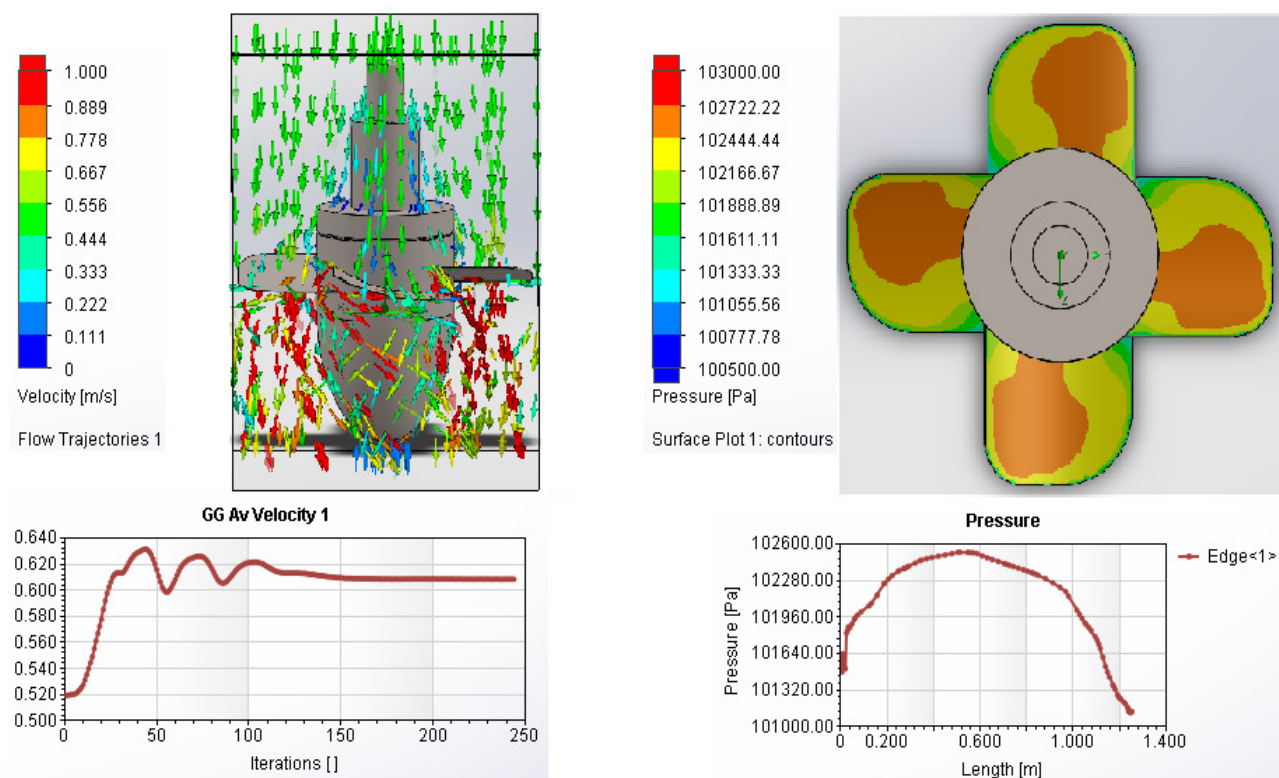


Рисунок 4.5 – Розподіл швидкості та тиску на лопаті при їх положенні 15°

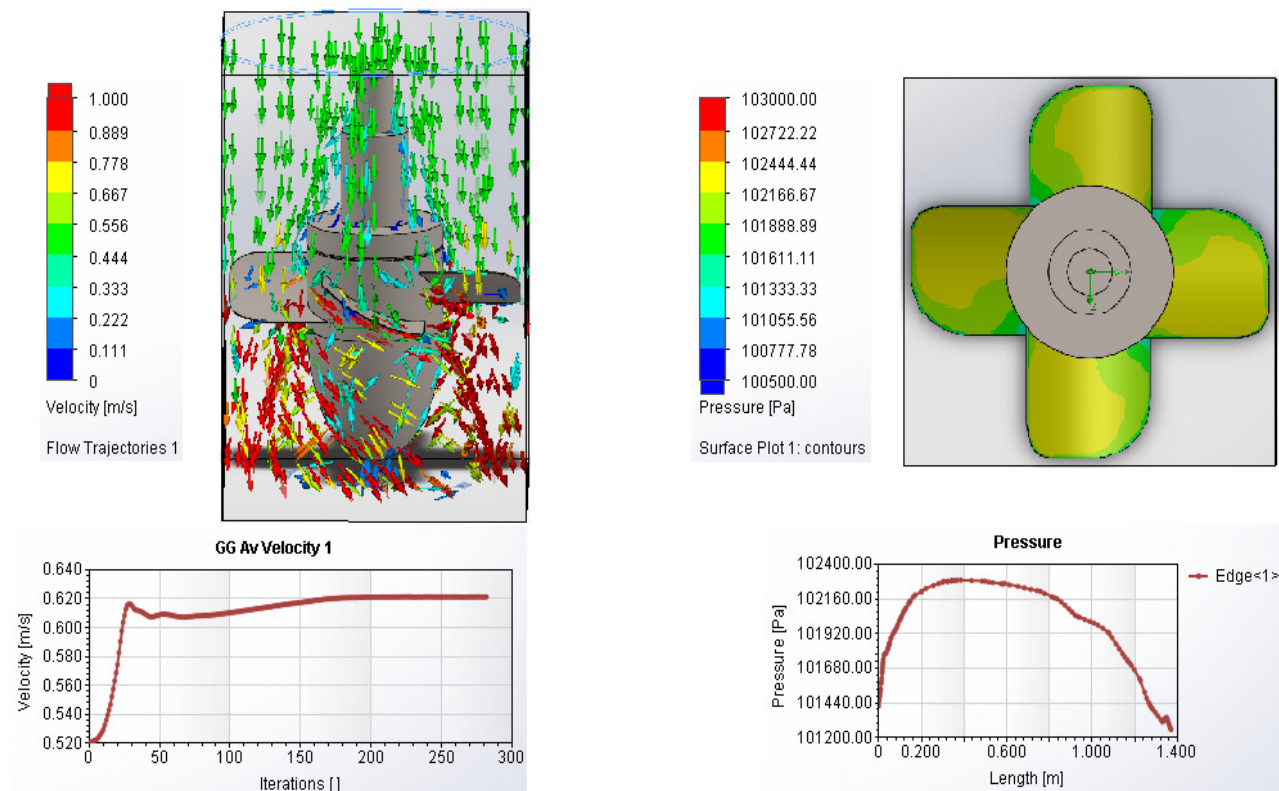


Рисунок 4.6 – Розподіл швидкості та тиску на лопаті при їх положенні 30°

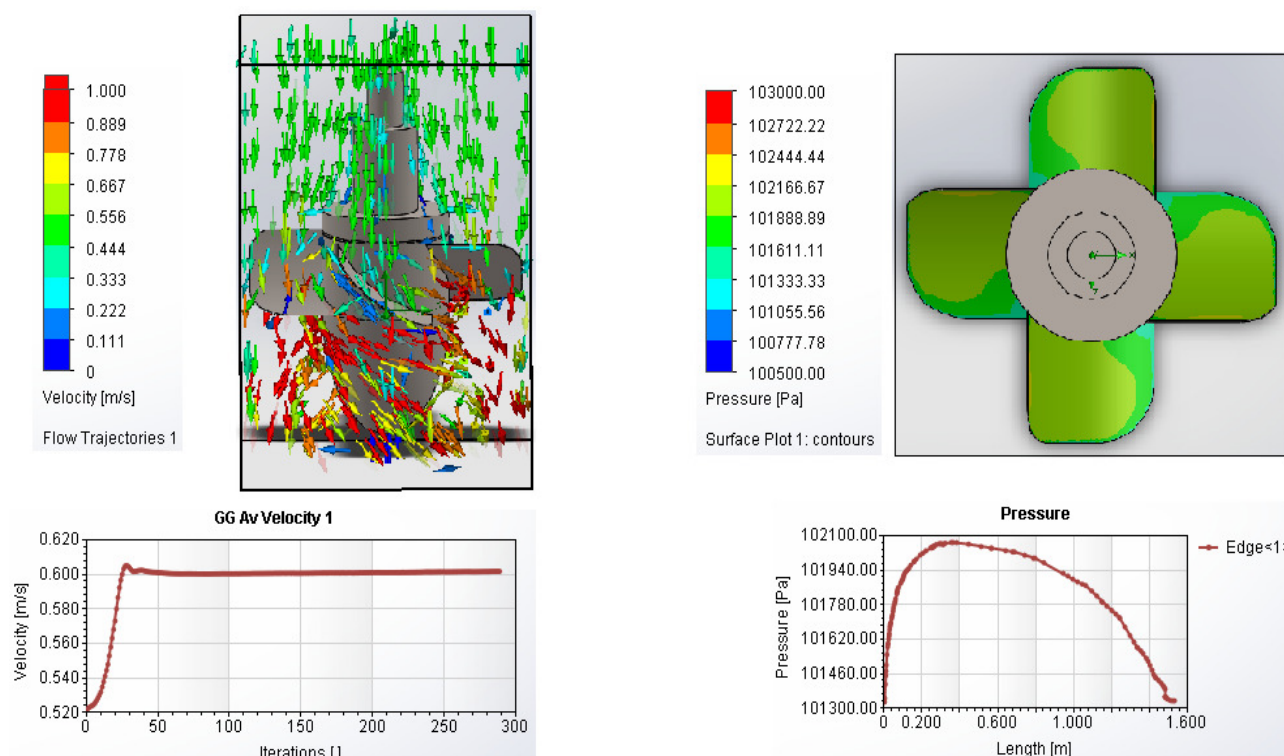


Рисунок 4.7 – Розподіл швидкості та тиску на лопаті при їх положенні 45°

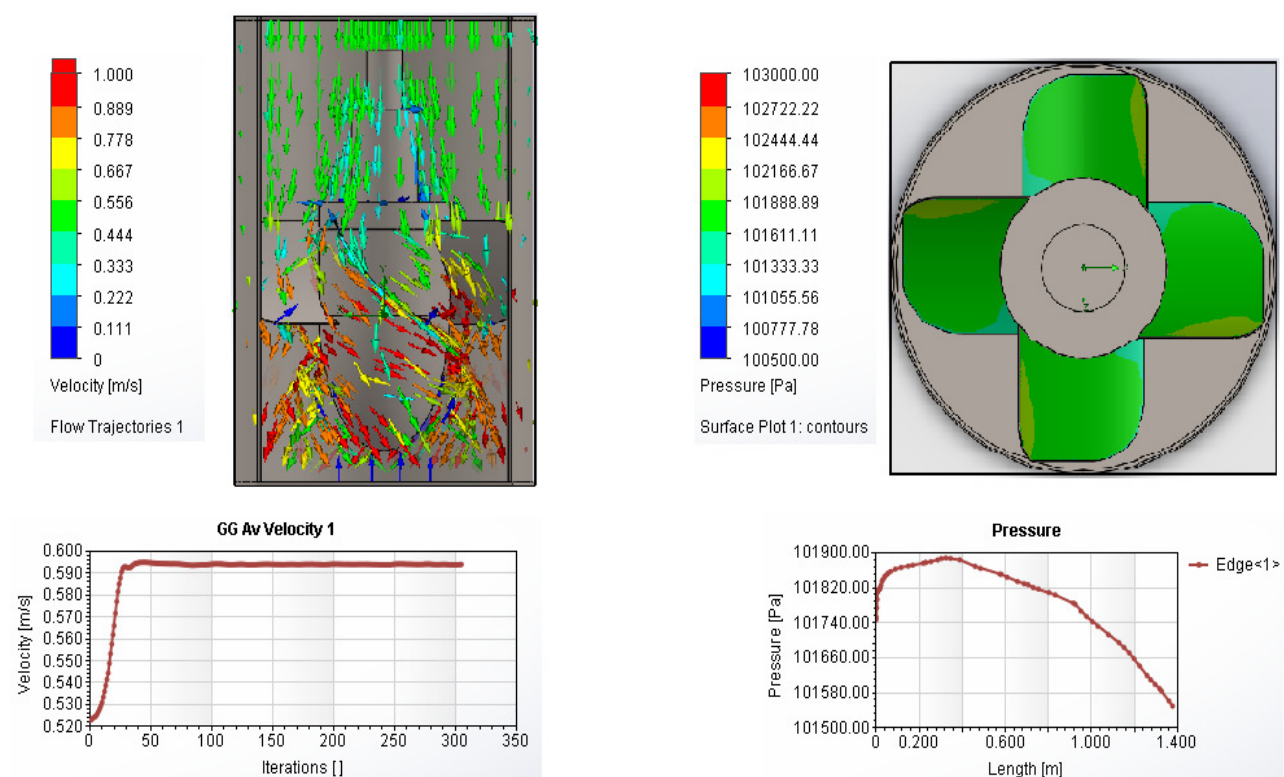


Рисунок 4.8 – Розподіл швидкості та тиску на лопаті при їх положенні 60°

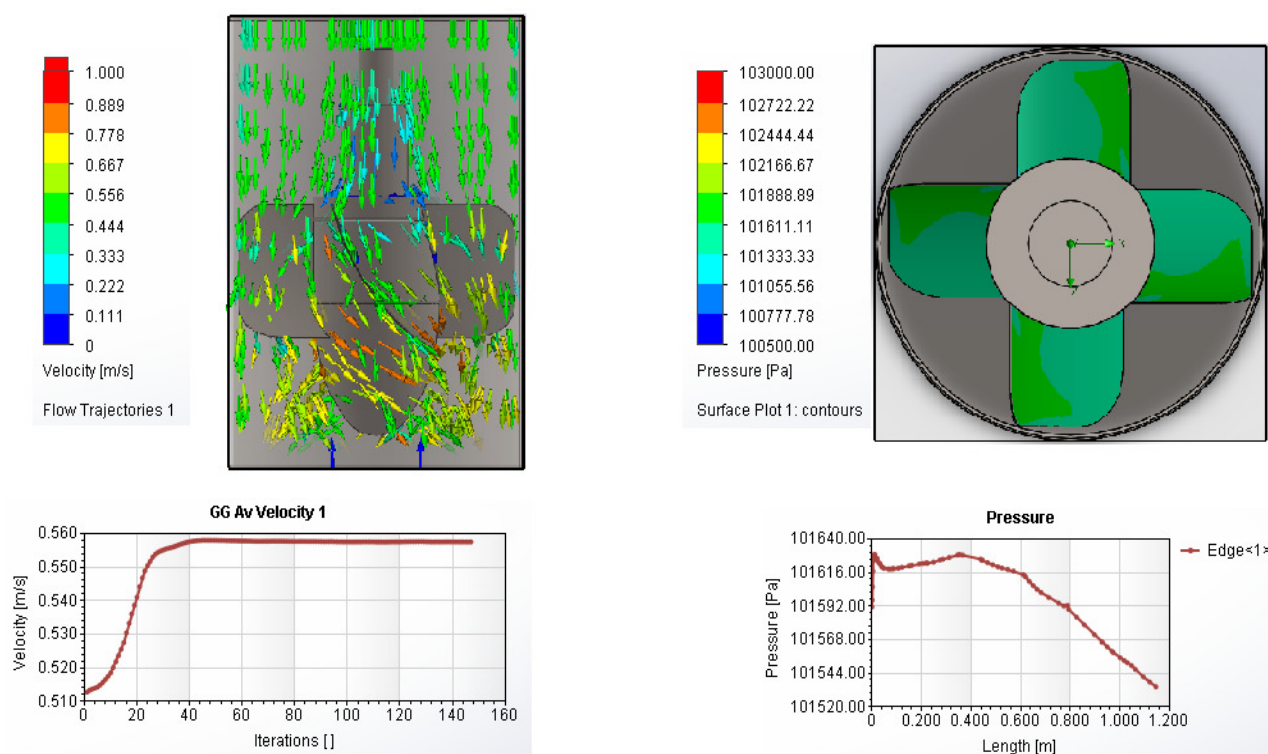


Рисунок 4.9 – Розподіл швидкості та тиску на лопаті при їх положенні 75°

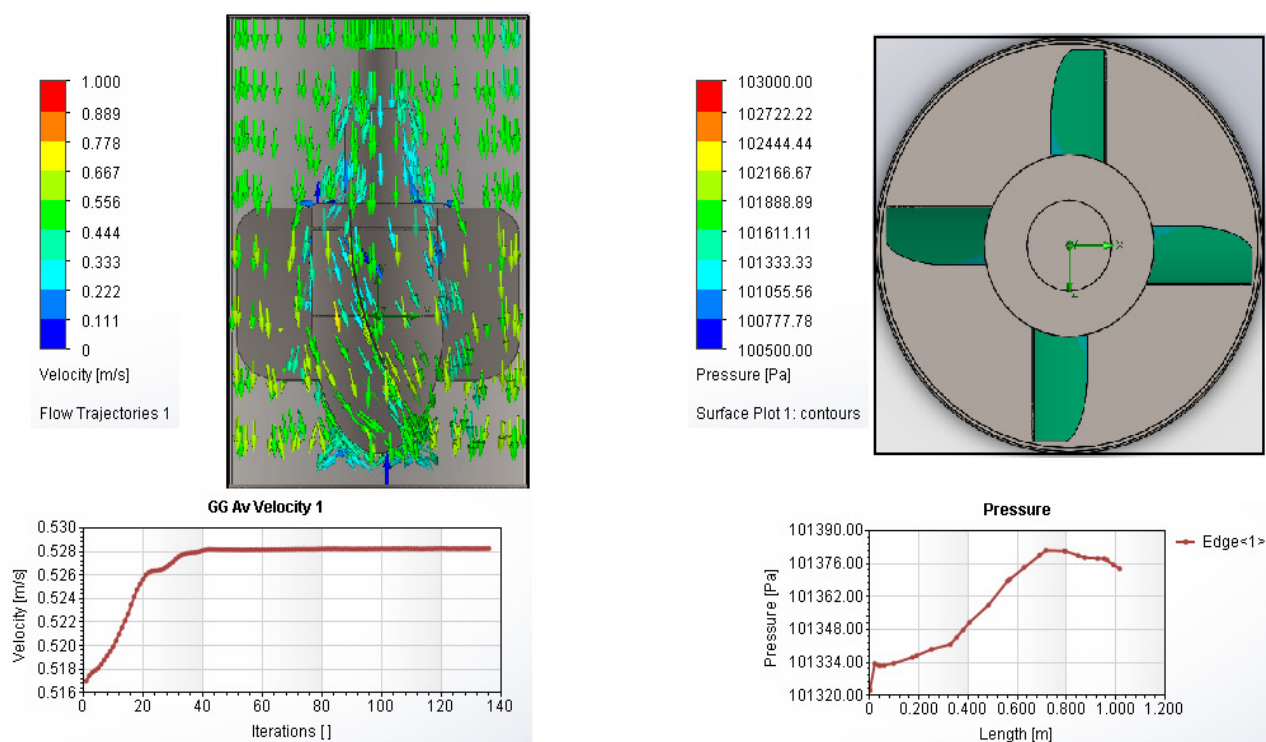


Рисунок 4.10 – Розподіл швидкості та тиску на лопаті при їх положенні 90°

Швидкість потоку не висока, тому пропонується встановити лопаті більш полого. При такому положенні вода при проходженні через робоче колесо буде збільшувати тиск на лопатки, а при оптимальному пологому положенні швидкість потоку у роторі також збільшиться. Для більш зручної оцінки результатів пропонується звести отримані результати у таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати моделювання

Кут нахилу лопаток, °	Тиск на лопаті, Па	Швидкість потоку у робочому елементі гідротурбіни, м/с
0	102850	0,585
15	102536	0,608
30	102311	0,62
45	102070	0,6
60	101881	0,594
75	101632	0,558
90	101383	0,528

Із таблиці видно, що найгірший результат спостерігається при куті нахилу лопаток 90° , у такому випадку маємо низький тиск на лопаті 101383 Па та малу швидкість потоку у робочому елементі 0,528 м/с, оскільки велика частина води проходить без перешкод. При куті 0° спостерігається високий тиск по всій поверхні лопаток 102850 Па, але за рахунок великих завихрень потоку швидкість не стабільна і становить 0,585 м/с. Найбільш оптимальний результат досягається при встановленні лопаток під кутом 30° , у такому випадку маємо більш рівномірний розподіл тиску на лопатках 102536 Па та найбільшу швидкість потоку води у робочому елементі гідроагрегату 0,62 м/с.

Як бачимо дане дослідження дало змогу вибрати оптимальний кут нахилу лопаток для забезпечення оптимального кута атаки, який в свою чергу дозволить збільшити ККД гідротурбіни.

4.4. Розрахунок енергетичних характеристик міні ГЕС за допомогою програмного забезпечення RETScreen 4

Для оцінки доцільності впровадження міні ГЕС на річці Гнилоп'ять біля села Бистрик, в Бердичівському районі Житомирської області було побудовано модель в програмному забезпеченні RETScreen 4. Кожна модель технології RETScreen 4 розроблена в рамках окремої електронної таблиці Microsoft Excel «Робочий журнал». Файл робочої книги в свою чергу складається з ряду робочих таблиць. Ці робочі аркуші мають загальний вигляд і дотримуються стандартного підходу для всіх моделей RETScreen.

Для розрахунків користувач вводить дані в «затінені» клітинки робочої таблиці. Усі інші комірки, які не потребують введення даних, захищені, щоб запобігти помилковому видаленню користувачем формули або еталонної комірки. Нижче наведено діаграму кодування кольорів RETScreen 4 для вхідних і вихідних комірок [32].

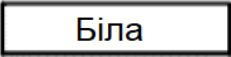
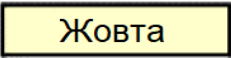
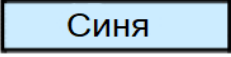
Кодування кольорів комірок	
	Комірка виходу моделі - розраховується програмою за даними моделі.
	Комірка введення користувача - необхідна для запуску розрахунків моделі.
	Комірка введення користувача - необхідна для запуску моделі та доступних онлайн баз даних.
	Комірка введення користувача - тільки для довідкових цілей. Не є необхідним для запуску моделі.

Рисунок 4.11 – Кодування кольорових комірок RETScreen 4

Спочатку створюємо початковий аркуш.

Інформація по проєкту [Див. базу проєктів](#)

Назва проєкту	150 кВт
Місце розташування проєкту	с. Бистрик Бердичівський район Житомирська область
Підготовано для	НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського", ІЕЕ, ТЕ
Підготовано	Пелєвін А.С., гр. ОТ-61м
Тип проєкту	Потужність
Технологія	Гідротурбіна
Тип мережі	Центральна мережа
Тип аналізу	Метод 1
Нормативна величина для опалення	Нижча теплота згорання
Показати настройки	☒
Мова	Ukrainian - Українська
Керівництво користувача	English - Anglais
Валюта	Україна
Одиниці	Метричні одиниці

Вихідні умови місцезнаходження [Оберіть кліматичну зону](#)

Розміщення кліматичних даних	Zitomir
Показат дані	☒

Рисунок 4.12 – Початковий аркуш

Початковий аркуш включає у себе інформацію про проєкт та вихідні умови місцезнаходження системи. Необхідно вибрати тип проєкту, технологію та тип аналізу розрахунків. Також треба звернути увагу на «Нормативна величина для опалення», у нашому випадку це «Нижча теплота згорання». Також можна вибрати мову, валюту та одиниці виміру.

Місцезнаходження важливо для багатьох розрахунків, оскільки для них необхідні кліматичні дані обраної місцевості, тому обов'язково обираємо кліматичну зону. Якщо вибрати «Показати дані», то програма покаже кліматичні дані обраної зони.

Широта	Розміщення кліматичних даних		Місце розташування проекту	
	Одиниця			
Широта	°N	50,2	50,2	
Довгота	°E	28,7	28,7	
Підняття	м	224	224	
Розрахункова температура опалення	°C	-15,9		
Розрахункова температура охолодження	°C	27,1		
Амплітуда коливань температури землі	°C	21,6		

Місяць	Температура повітря	Відносна вологість	Денна сума сонячної радіації на	Атмосферний тиск	Швидкість вітру	Температура землі	Градусо-дні опалювального сезону	Градусо-дні з від'ємною температурою
	°C	%	кВтгод/м²/день	кПа	м/с	°C	°C-д	°C-д
Січень	-3,8	84,1%	1,01	99,5	4,3	-5,5	676	0
Лютий	-3,4	82,1%	1,82	99,4	4,2	-4,6	599	0
Березень	0,9	77,2%	2,87	99,4	4,0	0,6	530	0
Квітень	8,4	69,1%	3,88	99,1	3,6	9,6	288	0
Травень	14,4	66,4%	5,16	99,2	3,2	16,4	112	136
Червень	17,0	72,4%	5,19	99,0	3,0	19,1	30	210
Липень	19,0	73,0%	5,04	99,1	2,9	21,1	0	279
Серпень	18,1	72,9%	4,66	99,2	2,7	21,0	0	251
Вересень	13,1	77,9%	3,06	99,3	3,2	15,2	147	93
Жовтень	7,5	80,2%	1,87	99,6	3,5	8,4	326	0
Листопад	1,4	85,6%	1,04	99,6	3,8	0,6	498	0
Грудень	-2,5	86,0%	0,83	99,6	4,0	-4,7	636	0
Щорічний	7,6	77,2%	3,04	99,3	3,5	8,2	3 841	970
Виміряно в	м				10,0	0,0		

Рисунок 4.13 – Кліматичні дані обраної зони

Тепер можна перейти до наступного аркушу із назвою «Енергетична модель». В нашому випадку робочий аркуш енергетичної моделі використовується для того, щоб допомогти користувачеві розрахувати річне виробництво енергії для невеликого гідропроекту, що базується на місцевих умовах та характеристиках системи. Результати обчислюються в загальних одиницях МВт·год для зручного порівняння різних технологій.

У аркуші «Енергетична модель» для оцінки гідрологічних даних необхідно ввести наступні дані:

- 1) Річка – Гнилоп'ять.
- 2) Загальний напір $H_g = 5$ м – статичний напір дорівнює різниці відміток верхнього й нижнього б'єфів [5]:

$$H_g = \nabla_{\text{ВБ}} - \nabla_{\text{НБ}},$$

де верхній б'єф (ВБ) і нижній б'єф (НБ) – відповідно ділянки річки вище водопідпійної споруди ГЕС і нижче будинку ГЕС (рисунок 4.14) [5].

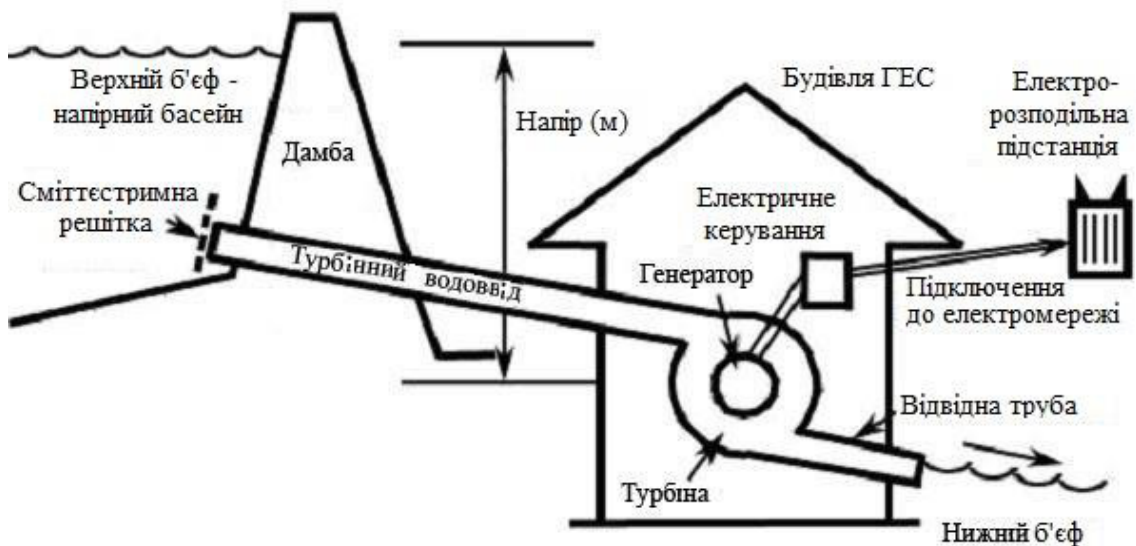


Рисунок 4.14 – Схема руслової ГЕС

3) Рівень води в нижньому б'єфі $\nabla_{\text{НБ}}$, оскільки напір було прийнято 5 м, тоді:

$$\nabla_{\text{НБ}} = \nabla_{\text{ВБ}} - H_g = 7 - 5 = 2 \text{ м},$$

де $\nabla_{\text{ВБ}} = 7 \text{ м}$ гідно з [15].

4) Середня багаторічна витрата води за весь період спостереження $Q = 3,7 \text{ м}^3/\text{с}$ [15].

5) Залишкова витрата – це потік води, який не використовується гідротурбіною. Програма пропонує його враховувати виключно з екологічної точки зору, для того щоб не перекривати повністю річку і залишити шлях для «річних жителів». Згідно з рекомендаціями [32] приймаємо $0,08 \text{ м}^3/\text{с}$. Звісно цією величиною можна знехтувати.

6) Відсоток часу, коли є стійкий стік – програма пропонує вказати стійкий стік у відсотках при аналізі кривої забезпечення стоку в залежності від водності року коли є стійкий стік (рисунок 4.15). Зазвичай відсоток часу коли спостерігається стійкий стік приймають рівним 80-100% [32]. Для наших розрахунків приймаємо 90%.

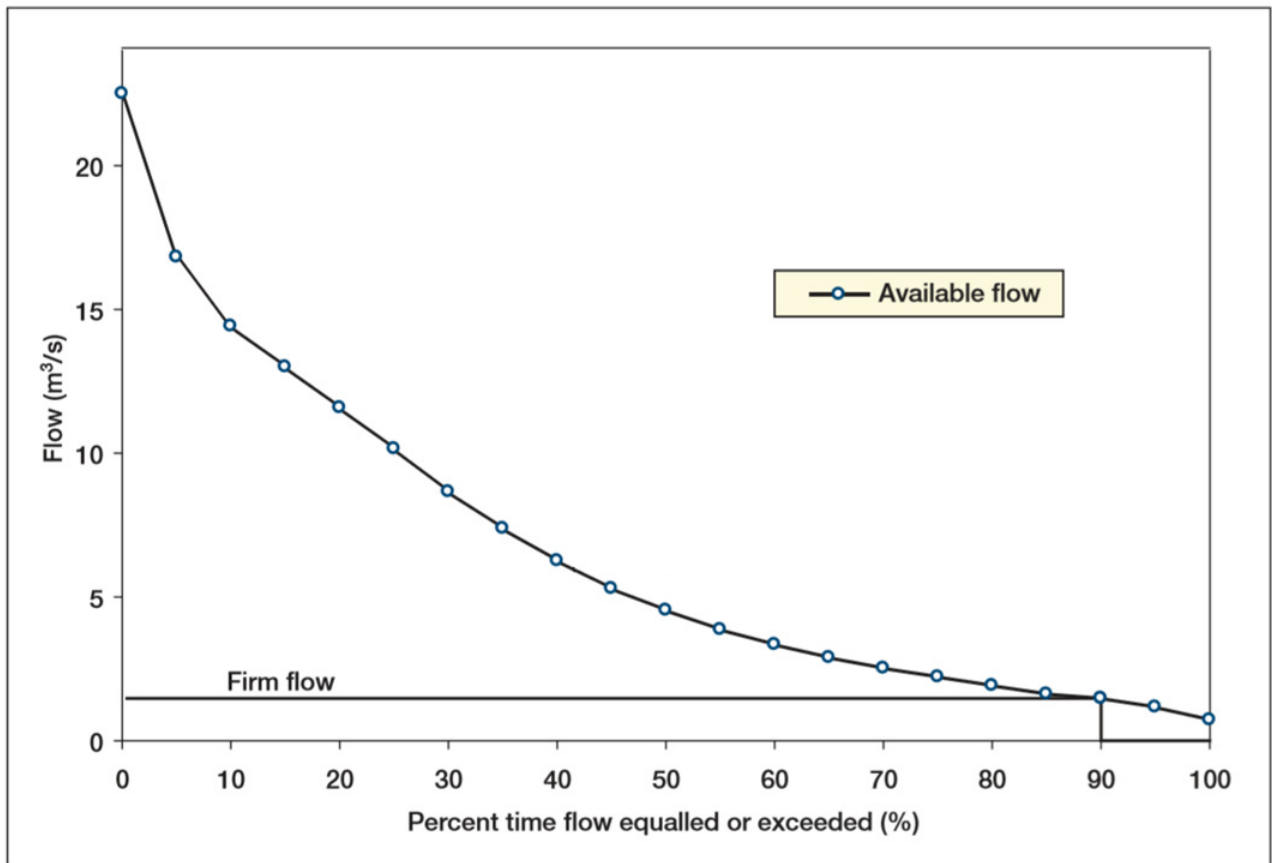


Рисунок 4.15 – Крива забезпечення стоку в залежності від водності року коли є стійкий стік

Після заповнення гідрологічних даних необхідно вибрати гідротурбіну та ввести наступні дані:

1) Розрахунковий потік – приймається більший за середню багаторічну витрату води за весь період спостереження. Оскільки $Q = 3,7 \text{ м}^3/\text{с}$, то розрахунковий потік приймаємо рівним $4 \text{ м}^3/\text{с}$. [32]

2) Тип турбіни – програма пропонує вибрати наступні типи гідротурбін: Каплана, Френсіса, Робоче колесо, Пелтона, Турго, Поперечний потік та ін. Обираємо гідротурбіну Каплана.

3) ККД турбіни – залишаємо «стандартний», у цьому випадку програма розрахує його максимально можливим згідно наших параметрів. При цьому програма не дозволяє вибрати кут нахилу лопаток, але згідно наших розрахунків

найвищий ККД буде досягатися під час нахилу лопаток 30° , при цьому забезпечується оптимальний кут атаки.

4) Кількість турбін – в нашому випадку ми розраховуємо 1 турбіну.

5) Розрахунковий коефіцієнт – цей коефіцієнт регулює ефективність роботи турбіни для врахування різних методів виробництва. Коефіцієнт є безрозмірним чинником, який використовується у формулах для розрахунку оціночної максимальної ефективності турбін. Як правило, чим більш витончена розробка/проектування турбіни, тим вище ефективність турбіни. Коефіцієнт виготовлення/проектування турбіни можна вибрати, використовуючи таблицю 4.2 [33].

Таблиця 4.2 – Коефіцієнт виготовлення/проектування турбіни

Матеріали та метод виготовлення турбіни	Розрахунковий коефіцієнт
Литий або відновлений ротор з вуглецевої сталі.	2,8
Литий ротор з вуглецевої сталі та нержавіючої накладкою у критичних областях.	3,8
Литий або відновлений ротор з нержавіючої сталі, лопатки якого зігнуті до бажаного профілю в пресі (за замовчуванням).	4,5
Литий або відновлений ротор з нержавіючої сталі, розробленим з використанням ПЗ динаміки обчислювальної рідини (CFD), лопатки якого зігнуті в пресі.	5
Литий або відновлений ротор з нержавіючої сталі, розробленим з використанням ПЗ CFD, лопатки якого литі, зігнуті в пресі та пройшли фрезерування.	5,6
Виготовлений на замовлення ротор з нержавіючої сталі, розробленим з використанням ПЗ CFD, лопатки якого литі, зігнуті в пресі та пройшли фрезерування.	6,1

Згідно таблиці обираємо розрахунковий коефіцієнт – 4,5.

6) Корегування ККД – у нашому розрахунку відсутнє, тому приймаємо 0% [32].

Тепер Маючи усі необхідні дані в програмі RETScreen 4 заповнюємо аркуш «Енергетична модель». Тип аналізу вибираємо «Метод 2» оскільки він більш детальний, та згідно вищевказаних даних заповнюємо комірки «Оцінка ресурсів» та «Гідротурбіна» (рисунок 4.16).

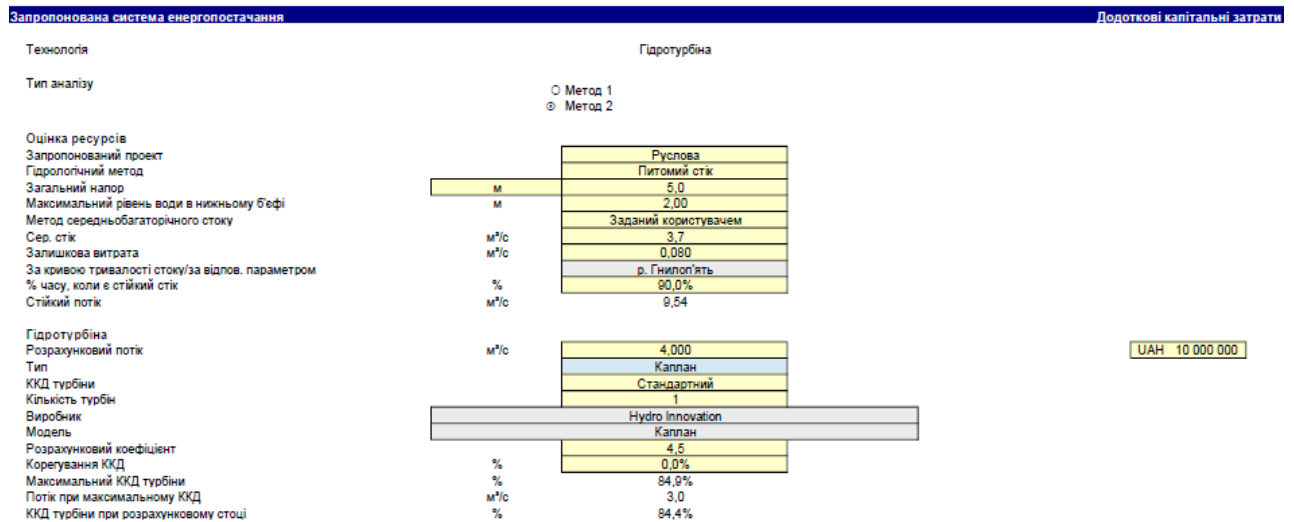


Рисунок 4.16 – Енергетична модель RETScreen 4 - Проект Електростанції

На рисунку 4.16 бачимо, що після введення усіх даних програма автоматично порахувала:

- стійкий потік: 9,54 м³/с;
- максимальний ККД турбіни: 84,9%;
- потік при максимальному ККД: 3 м³/с;
- ККД турбіни при розрахованому стоці: 84,4%.

Для розрахунку електричної потужності нашої ГЕС необхідні наступні дані:

1) Спочатку заповнюємо значення нормованого потоку. Потім фактичні дані потоку Q_n ($n = 0,5, \dots, 100$) обчислюються за допомогою нормалізованих даних потоку q_n , витягнутих з бази даних погоди за формулою [32]:

$$Q_n = q_n \bar{Q}.$$

Оскільки гідрологічна база даних RETScreen 4 обмежується тільки Канадою, то для річок України необхідні дані можна отримати з довідників. Згідно з [18] для річки Гнилоп'ять виписуємо значення нормованого потоку та заповнюємо таблицю (рисунок 4.17).

2) Максимальні гідравлічні втрати – користувач вводить значення, яке відображає приблизно еквівалентні гідравлічні втрати (%) у водяних каналах. Значення 5% підходить для більшості невеликих гідроелектростанцій. Для малих гідроагрегатів з низькими напорами та довгими водяними каналами коефіцієнт може бути збільшений до 7% [33]. Для нашого проекту обираємо 7%.

3) Інші втрати – користувач вводить значення для обліку дозволеного споживання та різних втрат у структурах водопостачання. Зазвичай такі втрати становлять 1-3% [33]. Приймаємо рівним 1%.

4) ККД генератора – користувач вводить значення, що відповідає очікуваній ефективності генератора (%) на потужності установки. Це значення використовується в поєднанні з напором, проектом потоком та різними ефективностями/втратами для розрахунку потужності установки на малих ГЕС. Ефективність генератора може становити від 93 до 97% [33]. Беремо максимальне значення 97%.

5) Можливість використання – приймається більшим за відсоток часу, коли є стійкий стік [32]. У нашому випадку стійкий стік 90%, тому приймаємо можливість використання 95%.

6) Поправочний коефіцієнт доступного потоку – це коефіцієнт коригування потоку, який застосовується до кожного значення в кривій часу потоку. Наприклад якщо його значення рівне 1, тоді він корегує значення кривої витрати на 10% [33]. Залишаємо рекомендоване значення – 1.

Після заповнення всіх даних програма порахує електричну потужність за формулою, Вт [32]:

$$P = \rho g Q \left[H_g - (h_{hydr} + h_{tail}) \right] e_t e_g (1 - l_{trans}) (1 - l_{para}),$$

де $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ – густина води;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння;

$Q = 3,7 \text{ м}^3/\text{с}$ – середній багаторічний стік річки Гнилоп'ять;

$H_g = 5 \text{ м}$ – загальний напір;

$h_{hydr} = 0,07$ – гідравлічні втрати;

$h_{tail} = 0,01$ – інші втрати;

$e_t = 0,95$ – можливість використання при середньому багаторічному стоці Q ;

$e_g = 0,97$ – ефективність генератора;

$l_{trans} = 0,09$ – втрати трансформатора;

$l_{para} = 0,01$ – інші втрати електроенергії.

Заповнений лист енергетичної моделі і отримана електрична потужність нашої ГЕС зображено на рисунку 4.17.

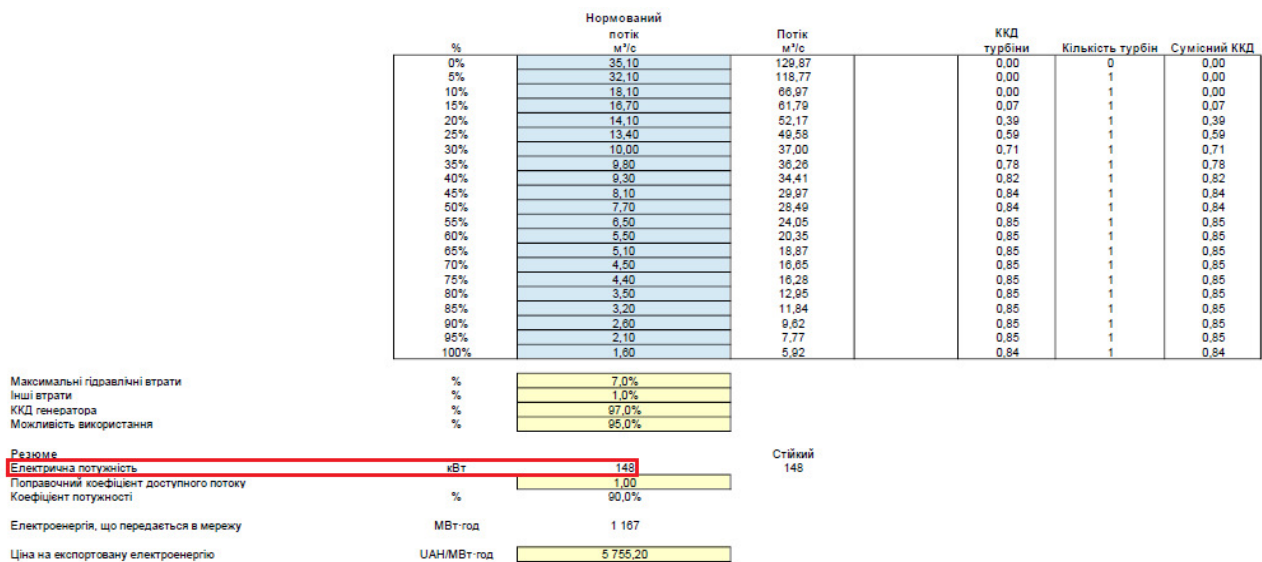


Рисунок 4.17 – Енергетична модель RETScreen 4 – Резюме

Отже, отримана електрична потужність 148 кВт, що дуже близька до графіка застосування гідротурбіни (рисунок 3.2) на якому при наших параметрах ми отримали приблизну потужність 150 кВт.

7) Також на рисунку 4.17 треба ввести «Ціна на експортовану електроенергію» – це ціна за електричну енергію яку будемо продавати у центральну мережу. На рисунку 4.18 наведена таблиця де вказана ціна на зелений тариф України за різні роки, і з прогнозом до 2029 року включно [34].

Згідно таблиці, яка зображена на рисунку 4.18, ціна на експортовану електроенергію 0,17 €/кВт·год. На сьогоднішній день курс приблизно такий: 1€ ≈ 33 грн, отже в українській валюті тариф буде рівен: 5,76 грн/кВт·год.

Оскільки у комірку «Ціна на експортовану електроенергію» треба вказати ціну за 1 МВт·год, тоді:

$$5,76 \cdot 1000 = 5755,20 \text{ грн/МВт} \cdot \text{год.}$$

Отримане значення вводимо у комірку програми.

Вид електростанції		Тариф залежно від графіку введення в експлуатацію				
		2015	2016	2017 – 2019	2020 - 2024	2025 - 2029
		€/кВт*год	€/кВт*год	€/кВт*год	€/кВт*год	конт/кВт*год
ВЕС	<= 600 кВт	5,81	5,81	5,81	5,17	49,11
	600 – 2 000 кВт	6,78	6,78	6,78	6,03	57,29
	> 2 МВт	10,17	10,17	10,17	9,04	85,94
СЕС	На поверхні землі	16,96	16,00	15,02	13,51	130,37
	На дахах /фасадах будівель	18,04	17,23	16,37	14,75	142,06
Біоенергетичні станції		12,38	12,38	12,38	11,14	107,57
Геотермальні електростанції		15,02	15,02	15,02	13,51	130,37
ГЕС	<= 200 кВт	17,44	17,44	17,44	15,72	151,41
	200 – 1 000 кВт	13,94	13,94	13,94	12,54	121,01
	1 – 10 МВт	10,44	10,44	10,44	9,42	90,61
Електростанції домогосподарств	СЕС до 30 кВт	20,03	19,00	18,09	16,26	157,26
	ВЕС до 30 кВт	11,63	11,63	11,63	10,44	101,14

Рисунок 4.18 – Зелений тариф України

Також у програмі можна подивитися наступні результати: ККД турбіни та криві тривалості стоку і потужності, які будуть зображені на рисунках 4.19 і 4.20 відповідно.

Згідно цих графіків можна оцінити ККД турбіни при різному відсотку номінальних витрат, а у кривій тривалості стоку і потужності - доступний потік

та доступну потужність при цьому потоці під час різного відсотку часу використання.

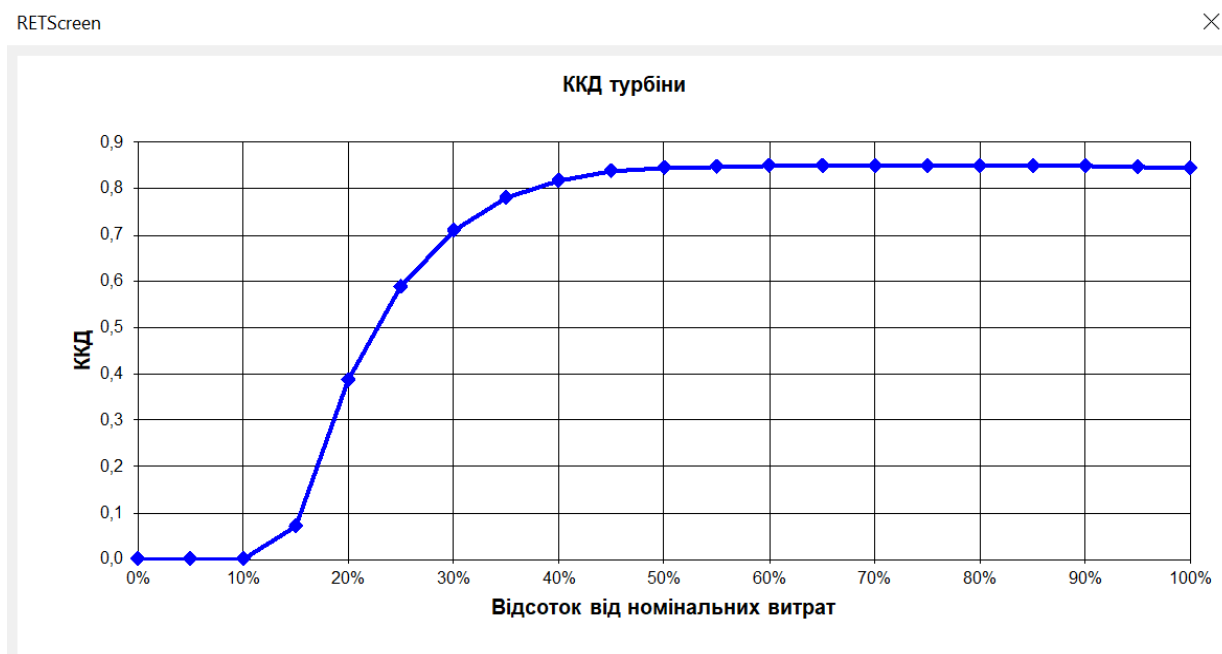


Рисунок 4.19 – ККД турбіни

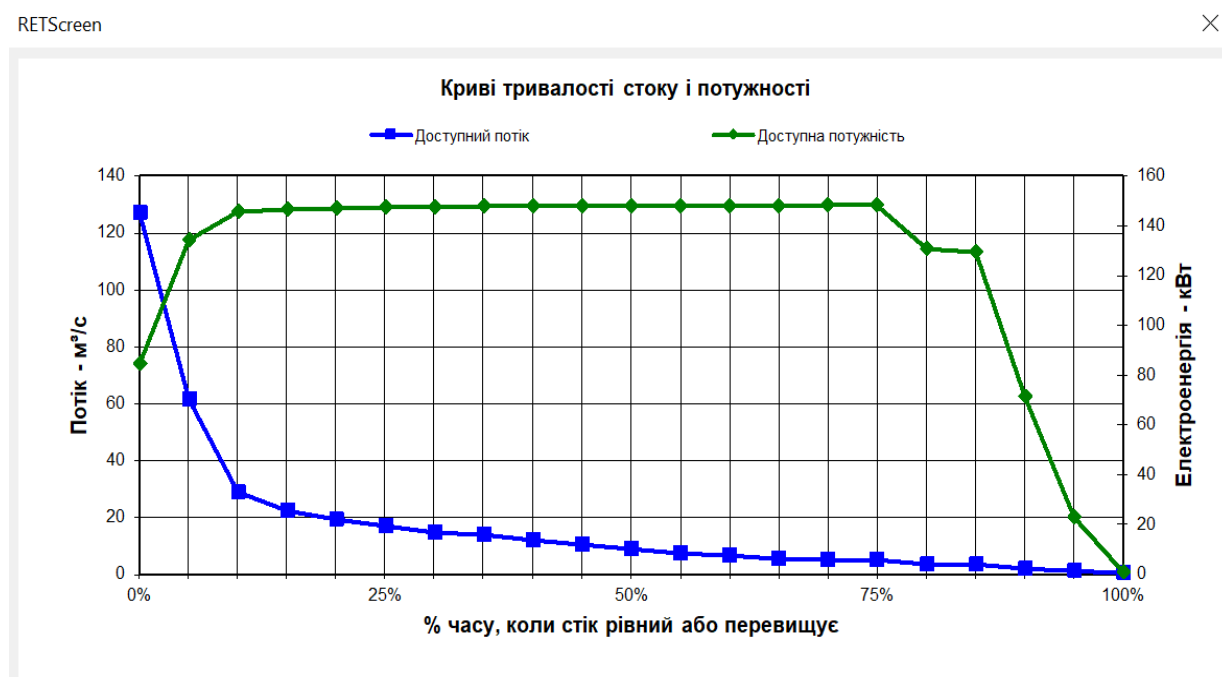


Рисунок 4.20 – Криві тривалості стоку і потужності

Програма дозволяє оцінити "Аналіз викидів" (рисунок 4.21). З рисунку видно, що екологічний ефект складає:

- коефіцієнт викидів парникових газів – $0,375 \text{ тСО}_2/\text{МВт}$;
- щорічне скорочення викидів ПГ $438,1 \text{ тСО}_2$, що еквівалентно 188224 літрам невикористаного бензину.

Аналіз викидів					
Базова система електропостачання (базова лінія)		Коефіцієнт викидів ПГ (до втрат)		Втрати при транспортуванні та розподіленні	Коефіцієнт викидів ПГ
Країна - регіон	Вид палива	тCO2/MВт		%	тCO2/MВт
Ukraine	Природний газ	0.375			0.375
Електроенергія, що передається в мережу		МВт·год	1 167	Втрати при транспортуванні та розподіленні	
Викиди ПГ					
Базовий випадок		тCO2	438,1		
Запропонований випадок		тCO2	0,0		
Загальне щорічне скорочення викидів ПГ		тCO2	438,1		
Операційний збір за надання кредиту по ПГ		%			
Чисте щорічне скорочення викидів ПГ		тCO2	438,1	еквівалентно	188 224
				Літри невикористаного бензину	
Дохід за рахунок зниження викидів ПГ					
Ставка кредиту на зменшення викидів ПГ		UAH/тCO2			

Рисунок 4.21 – Аналіз викидів

Висновки до розділу 4

1. За допомогою програмного забезпечення SolidWorks було побудовано модель робочого колеса гідротурбіни Каплана, на якій був розглянутий розподіл швидкості та тиску на лопаті у робочому елементі гідротурбіни при зміні їх кута нахилу. Було визначено, що оптимальний кут атаки досягається під час нахилу лопаток 30° , при цьому швидкість потоку у робочому елементі складає $0,62 \text{ м/с}$, а тиск на лопаті 102311 Па .

2. У програмному забезпеченні RETScreen 4 була розрахована міні ГЕС з гідротурбіною Каплана, у результаті було отримано потужність станції 150 кВт , та виробіток річної електроенергії 1167 МВт·год .

3. Під час оцінки проекту у програмі RETScreen 4 ми отримали значний екологічний ефект: чисте щорічне скорочення викидів ПГ $438,1 \text{ тСО}_2$.

Запропонована система енергопостачання

Технологія	Гідротурбіна		Гідротурбіна	
Тип аналізу	○ Метод 1 ⊗ Метод 2		○ Метод 1 ⊗ Метод 2	
Оцінка ресурсів				
Запропонований проект				
Гідрологічний метод				
Загальний напор	М		М	
Максимальний рівень води в нижньому б'єфі	М		М	
Метод середньобіагаторичного стоку				
Сер. стік	м³/с		м³/с	
Залишкова витрата	м³/с		м³/с	
За кривою тривалості стоку/за відпов. параметром				
% часу, коли є стійкий стік	%		%	
Стійкий потік	м³/с		м³/с	
Гідротурбіна				
Розрахунковий потік	м³/с		м³/с	
Тип				
ККД турбіни				
Кількість турбін				
Виробник				
Модель				
Корегування ККД	%		%	
Максимальний ККД турбіни	%		%	
Потік при максимальному ККД	м³/с		м³/с	
ККД турбіни при розрахунковому стоці	%		%	

Рисунок 5.2 – Порівняння ККД гідротурбін Каплана і Поперечного потоку

Максимальні гідравлічні втрати	%	7,0%	%	7,0%
Інші втрати	%	1,0%	%	1,0%
ККД генератора	%	97,0%	%	97,0%
Можливість використання	%	95,0%	%	95,0%
Резюме				
Електрична потужність	кВт	148	кВт	138
Поправочний коефіцієнт доступного потоку		1,00		1,00
Коефіцієнт потужності	%	90,0%	%	90,0%
Електроенергія, що передається в мережу	МВт·год	1 167	МВт·год	1 092
Ціна на експортовану електроенергію	UAH/МВт·год	5 755,20	UAH/МВт·год	5 755,20

Рисунок 5.3 – Порівняння потужності та вироблення електроенергії на гідротурбінах Каплана і Поперечного потоку

Як видно на рисунках 5.2 і 5.3 максимальний ККД з використанням гідротурбіни Поперечного потоку замість турбіни Каплана зменшився з 84,9% до 79,4%. Відповідно потік при максимальному ККД також зменшився з 3 м³/с до 2,63 м³/с. Згідно цих даних електрична потужність з турбіною Поперечного потоку становить 138 кВт, а кількість виробленої річної електроенергії в порівнянні з турбіною Каплана зменшилась на 75 МВт·год.

Також у програмі, з метою проведення додаткового експерименту, можна вибрати тип турбіни який не підходить для характеристик нашої річки. Для прикладу у комірці «Тип турбіни» обираємо турбіну Френсіса (рисунок 5.4).

Запропонована система енергопостачання

Технологія	Гідротурбіна	
Тип аналізу	☐ Метод 1 ☒ Метод 2	
Оцінка ресурсів		
Запропонований проект	Руслова	
Гідрологічний метод	Питомий стік	
Загальний напор	м	5,0
Максимальний рівень води в нижньому б'єфі	м	2,00
Метод середньобаторічного стоку	Заданий користувачем	
Сер. стік	м³/с	3,7
Залишкова витрата	м³/с	0,080
За кривою тривалості стоку/за відпов. параметром	р. Гнилоп'ять	
% часу, коли є стійкий стік	%	90,0%
Стійкий потік	м³/с	9,54
Гідротурбіна		
Розрахунковий потік	м³/с	4,000
Тип	Френсіса	
ККД турбіни	Стандартний	
Кількість турбін	1	
Виробник	Hydro Innovation	
Модель	Френсіса	
Розрахунковий коефіцієнт	4,5	
Корегування ККД	%	0,0%
Максимальний ККД турбіни	%	-4,7%
Потік при максимальному ККД	м³/с	0
ККД турбіни при розрахунковому стоці	%	0,0%
Резюме		
Електрична потужність	кВт	0
Поправочний коефіцієнт доступного потоку		1,00
Коефіцієнт потужності	%	0,0%
Електроенергія, що передається в мережу	МВт·год	0

Стійкий
0

Рисунок 5.4 – модель міні ГЕС з використанням турбіни Френсіса

Після встановлення гідротурбіни Френсіса у нашу модель з рисунку 5.4 маємо наступні дані:

Максимальний ККД турбіни: -4,7%;

Потік при максимальному ККД: 0 м³/с;

Електрична потужність: 0 кВт;

Електроенергія, що передається у мережу: 0 МВт·год.

Проаналізувавши отримані дані можна зробити висновок, що при виборі невідповідної заданим характеристикам даним турбіни, програма не в змозі зробити коректний розрахунок.

Отже, виходячи із вищесказаного можна сказати, що на річці Гнилоп'ять, згідно наших даних доцільно використовувати лише поворотно-лопатевою гідротурбіну.

5.2. Техніко-економічна оцінка використання міні ГЕС з різними типами гідротурбін

Для визначення терміну окупності нашої міні ГЕС необхідно встановити її вартість. Так як програма RETScreen 4 містить у моделі «Фінансовий аналіз», пропонується ввести в програму наступні дані:

- 1) Загальні початкові затрати: 10000000 грн. Інвестиційні витрати МГЕС (1-10 МВт) і дуже малих ГЕС (≤ 1 МВт) можуть варіюватися від \$2000 до \$7500 за 1 кВт і від \$ 2500 до \$ 10000 за 1 кВт, відповідно [1]. Для нашої країни пропонується прийняти ціну 2500\$ за 1 кВт. Оскільки на сьогоднішній день курс приблизно $1\$ \approx 27$ грн і він не стабільний, тоді приблизна ціна міні ГЕС з потужністю 148 кВт у гривнях буде рівна:

$$2500 \cdot 27 \cdot 148 = 9990000 \text{ грн} \approx 10000000 \text{ грн};$$

- 2) Темп інфляції: 12%;
- 3) Щорічні затрати на експлуатацію та обслуговування: 1000000 грн;
- 4) Так як сумарна, за нашими розрахунками, щорічна економія і дохід становлять 6716698 грн (рисунок 5.5), тоді для графіку сукупного грошового потоку пропонується встановити строк реалізації проекту 5 років. У такому випадку з графіка можна добре побачити повернення капіталу та простий термін окупності.

Після введення необхідних даних на рисунку 5.5 у комірці «Економічна доцільність» можна побачити:

- 1) ВНР до виплати податків – активи: 67,5%;
- 2) Простий термін окупності: 1,7 роки;
- 3) Повернення капіталу: 1,5 роки.

Фінансовий аналіз

Фінансові показники				
Темп інфляції	%		12,0%	
Строк реалізації проекту	рік		5	
Коефіцієнт заборгованості	%			
Початкові затрати				
Енергосистема	UAH		10 000 000	100,0%
Інше	UAH			0,0%
Загальні початкові затрати	UAH		10 000 000	100,0%
Стимулювання і гранти				
	UAH			0,0%
Щорічні затрати і виплата займового капіталу				
Затрати на експлуатацію і обслуговування (економія)	UAH		1 000 000	
Вартість палива - Запропонований випадок	UAH		0	
	UAH			
Сумарні щорічні затрати	UAH		1 000 000	
Щорічна економія і дохід				
Вартість палива - Базовий випадок	UAH		0	
Прибуток від експорту електроенергії	UAH		6 716 698	
	UAH			
Сумарна щорічна економія і дохід	UAH		6 716 698	
Економічна доцільність				
BHP до виплати податків - активи	%		67,5%	
Простий строк окупності	рік		1,7	
Повернення капіталу	рік		1,5	

Графік сукупного потоку грошових коштів

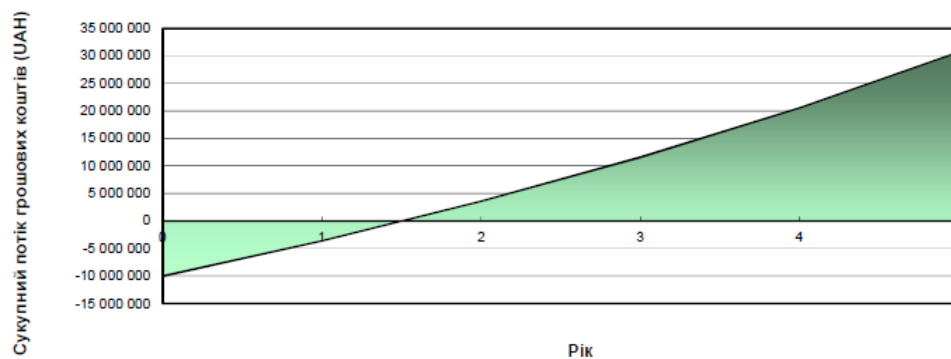


Рисунок 5.5 – Фінансовий аналіз міні ГЕС з використанням гідротурбіни Каплана

Отже, даний проект показав свою економічну доцільність. Тепер необхідно виконати перевірку доцільності даної моделі з використанням гідротурбіни Банки-Мітчелла.

Для гідротурбіни Поперечного потоку у комірках «Фінансового аналізу» вводимо аналогічні дані.

Фінансовий аналіз

Фінансові показники			
Темп інфляції	%	12,0%	
Строк реалізації проекту	рік	5	
Коефіцієнт заборгованості	%		
Початкові затрати			
Енергосистема	UAH	10 000 000	100,0%
Інше	UAH		0,0%
Загальні початкові затрати	UAH	10 000 000	100,0%
Стимулювання і гранти	UAH		0,0%
Щорічні затрати і виплата займового капіталу			
Затрати на експлуатацію і обслуговування (економія)	UAH	1 000 000	
Вартість палива - Запропонований випадок	UAH	0	
	UAH		
Сумарні щорічні затрати	UAH	1 000 000	
Щорічна економія і дохід			
Вартість палива - Базовий випадок	UAH	0	
Прибуток від експорту електроенергії	UAH	6 283 243	
	UAH		
Сумарна щорічна економія і дохід	UAH	6 283 243	
Економічна доцільність			
ВНР до виплати податків - активи	%	61,8%	
Простий строк окупності	рік	1,9	
Повернення капіталу	рік	1,6	

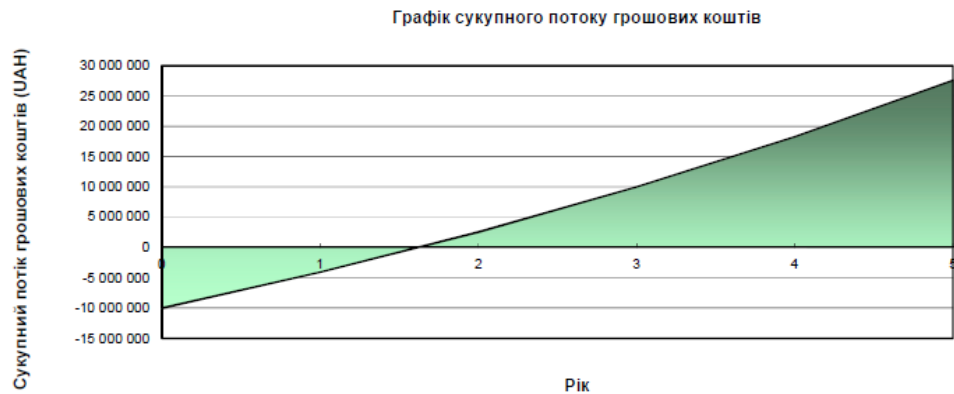


Рисунок 5.6 – Фінансовий аналіз міні ГЕС з використанням
гідротурбіни Поперечного потоку

На рисунку 5.6 у комірці «Економічна доцільність» бачимо наступні дані:

- 1) ВНР до виплати податків – активи: 61,8%;
- 2) Простий термін окупності: 1,9 роки;
- 3) Повернення капіталу: 1,6 роки.

Отже, даний проект також показав свою економічну доцільність невеликим терміном окупності, але за рахунок того, що з гідротурбіною Поперечного потоку виробляється менше річної електроенергії доцільніше використовувати на даній річці гідротурбіну Каплана.

Висновки до розділу 5

1. За допомогою програмного забезпечення RETScreen 4 було проведено порівняння кількості виробленої електроенергії міні ГЕС та проведена техніко-економічна оцінка з гідротурбінами Каплана і Банки-Мітчелла. У результаті розрахунків міні ГЕС з гідротурбіною Каплана має потужність 148 кВт, з турбіною Поперечного потоку 138 кВт. Згідно цих даних кількість виробленої річної електроенергії в порівнянні з турбіною Каплана зменшилась на 75 МВт·год.

2. Поставлений експеримент, у якому було вибрано тип турбіни який не підходить для характеристик р. Гнило'ять, показав, що при виборі невідповідної заданим характеристикам даним турбіни, програма не в змозі зробити коректний розрахунок.

3. Інвестиції на будівництво даної міні ГЕС склали 10000000 грн. Невдівлячись на такі великі початкові затрати обидві станції показали свою економічну доцільність, простий термін окупності міні ГЕС з турбіною Каплана становить 1,6 роки, а з турбіною Банки-Мітчелла 1,9 роки при темпі інфляції 12%.

6 СТАРТАП-ПРОЕКТ

Для визначення доцільності установки міні ГЕС на річках України пропонується стартап проект, що являє собою шаблон моделі, в якій об'єднуються можливості програм Google Earth Pro, SolidWorks, RETScreen 4 та гідрологічні дані для річок України.

1. Програмне забезпечення Google Earth Pro використовується для побудови вертикального профілю заданої річки та вибору місця розташування міні ГЕС.

2. Гідрологічні дані для річок України зібрані протягом багатьох років та зараз існують у вільному доступі дозволяють оцінити гідроенергетичний потенціал кожної річки.

3. У Програмному забезпеченні SolidWorks, яке використовується для обчислення характеристик потокових процесів, створюється модель для знаходження оптимального значення кута нахилу лопатей турбіни і відповідно ККД турбіни в залежності від параметрів потоку.

4. В програмі RETScreen 4 відсутня інформація про річки України, тому результати розрахунків отримані в пунктах 1 - 3 вносять в цю програму, що дає змогу визначити річну кількість виробленої електроенергії за рахунок міні ГЕС, екологічний вплив та техніко-економічну доцільність установки ГЕС.

Можна виділити ряд переваг наявності такого шаблону для проекту:

- перевірка доцільності використання певної гідротурбіни на будь-якій річці;
- можливість задати максимально можливий напір, що вплине на сумарну потужність станції;
- внесення детальних багаторічних даних стоку для кожного місяця, що в свою чергу зробить розрахунок більш детальним;
- екологічна та техніко-економічна оцінка проекту.

Даний шаблон проекту створюється для будь-якої річки з можливістю підбору гідротурбін: Каплана, Поперечного потоку, Френсіса, Пелтона, Турго. Гідротурбіна Френсіса підійде до малих річок з великою витратою води, турбіни

Пелтона і Турго розраховані на великі напори і добре підійдуть до малих річок у Закарпатті, а гідротурбіни Каплана та Поперечного потоку можна використовувати на багатьох малих річках України з невеликим напором та витратою води.

Звісно у даній моделі є недоліки:

- у програмі Google Earth Pro для отримання реального профілю річки необхідно задати параметри площини в перетині кожної місцевості на річці, щоб отримати всі необхідні точки для його побудови;

- SolidWorks не відноситься до вільних програмних забезпечень;

- RETScreen 4 – безкоштовна програма, але вона працює лише на базі платних електронних таблиць Excel від корпорації Microsoft.

Дані недоліки є незначними, тому що сумарна щорічна економія і дохід від встановлених малих та міні ГЕС є досить великими і покривають витрати на придбання цих програмних продуктів.

Висновки до розділу 6

1. В основу розробки ідеї для стартап-проекту покладені результати дослідження можливостей застосування програмних продуктів Google Earth Pro, SolidWorks, RETScreen 4 та гідрологічних даних річок для впровадження малих гідроелектростанцій в Україні.

2. Для подальшого розвитку даної ідеї необхідно оцінити ринкові можливості, які можна використати під час впровадження проекту, а також проаналізувати інші програмні забезпечення, які можуть заважати реалізації проекту. Зібрані дані допоможуть визначити необхідність використання даного програмного забезпечення на ринку України в цілому.

ВИСНОВКИ

1. За останні роки у світі споживання електричної енергії збільшується, що призводить до енергетичної кризи (скорочення запасів органічного палива) та зростанню екологічних проблем. Ці проблеми визначають все більший інтерес до використання відновлюваних джерел енергії. Мала гідроенергетика, яка є найбільш освоєною з нетрадиційних відновлювальних джерел електроенергії дозволяє використати значний гідроенергетичний потенціал малих рік і притоків, а в багатьох випадках забезпечити локальне електропостачання віддалених районів або населених пунктів з обмеженою системою централізованого електропостачання.

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

3. Побудовано вертикальний профіль річки Гнилоп'ять за допомогою програмного забезпечення Google Планета Земля Про з метою визначення оптимального місця встановлення міні гідроелектростанції

4. Аналіз факторів, які враховуються моделлю міні ГЕС, їх зв'язок з критеріями будівництва, а також зібрані дані по гідрології річки Гнилоп'ять визначив розташування міні ГЕС біля села Бистрик, в Бердичівському районі Житомирської області, що забезпечить цілорічне електропостачання.

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

6. Визначено, що оптимальний кут атаки досягається під час нахилу лопаток 30° , при цьому швидкість потоку у робочому елементі складає 0,62 м/с, а тиск на лопаті 102311 Па.

7. 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.

8. За допомогою програми RETScreen 4 було проведено порівняння кількості виробленої електроенергії міні ГЕС 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 складає 1,7 і 1,9 роки відповідно.

9. При виборі турбіни, яка не відповідає заданим характеристикам, програма RETScreen 4 не в змозі зробити коректний розрахунок.

10. В основу розробки ідеї для стартап-проекту покладені результати дослідження можливостей застосування програмних продуктів Google Earth Pro, SolidWorks, RETScreen 4 та гідрологічних даних річок для впровадження малих гідроелектростанцій в Україні. Для подальшого розвитку даної ідеї необхідно оцінити ринкові можливості, які можна використати під час впровадження проекту.

11. 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.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Современное состояние и перспективы развития малой гидроэнергетики в странах СНГ. – Алматы, 2016. – с. 36
2. Гідроенергетика [Електронний ресурс]: Мала гідроенергетика світу. – Режим доступу: <https://msd.in.ua/mala-gidroenergetika-svitu/>
3. Держенергоефективності України [Електронний ресурс]: Гідроенергетика. Режим доступу: <http://saee.gov.ua/uk/ae/hydroenergy/>
4. Алхасов А. Б. Возобновляемая энергетика. — 2-е изд., перераб. и доп. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. - 256 с.
5. Гидроэлектростанции малой мощности: Учеб. пособие / Под. ред. В.В. Елистратова. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2005. 432 с.
6. Картанбаев, Б.А. Руководство по строительству и эксплуатации микро гидроэлектростанций (микро ГЭС) / Б.А. Картанбаев, К.А. Жумадилов, А.А. Зазульский. – Б.: «ДЭМИ», 2011. - 57 с.
7. Михайлов, Л.П. Малая гидроэнергетика / Л.П. Михайлов, Б. Н. Фельдман, Т. К. Марканова и др.; под ред. Л.П. Михайлова. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – с. 184
8. Кудря, С.О. Основи конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії / С.О. Кудря, В.М. Головка. – Киев, 2009. – 201 с.
9. В.В. Парлит. Гидравлические турбины. М. 1987 г. 328 с.
10. SensAgent - dictionary [Електронний ресурс]: Список гидроэлектростанций Украины. Режим доступу: <http://dictionary.sensagent.com/Список%20гидроэлектростанций%20Украины/ru-ru/>
11. НВИЭ [Електронний ресурс]: Гідроенергетика. Режим доступу: <http://www.bibliotekar.ru/alterEnergy/39.htm>

12. 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.
13. Гидроэнергетические ресурсы / А.Б.Авакян, В.А.Баранов, Л.Б.Бернштейн [и др.]. – М.: Наука, 1967. – 600 с.
14. Золотарев Т.Л. Гидроэнергетика / Т.Л.Золотарев. – Ч.І Основы использования гидравлической энергии: учебное пособие для высших технических учебных заведений. – М.-Л.: Государственное энергетическое издательство, 1950. – 196 с.
15. Малі річки України: Довід. / За ред. А.В.Яцика. – К.: Урожай, 1991. – 296 с.
16. Гинко С.С. Основы гидротехники / С.С.Гинко. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 368 с.
17. Водні ресурси Житомирщини [Електронний ресурс]: Гнилоп'ять. – Режим доступу: http://www.nature.org.ua/gitom/02_02.htm
18. Ресурсы поверхностных вод СССР. – Т.6. Украина и Молдавия. – Вып. 2 Среднее и нижнее Поднепровье. – Описания отдельных рек и водохранилищ бассейна р. Днепр / Под ред. М.С.КАГАНЕРА – Л.: ГИМИЗ, 1970. – 520 с.
19. Бабич М.І. Особливості ідентифікації конфігурації проектів каскаду малих дериваційних гідроелектростанцій в умовах стохастичного середовища / О.В. Сидорчук, В.М. Боярчук, М.І. Бабич, А.В. Татомир // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. - 2010. - № 43, Т. 1. - С. 40 - 42.
20. Google Earth Google [Електронний ресурс]: Планета Земля. – Режим доступу: <https://www.google.com/intl/ru/earth/>
21. Мороз А.В. Технічний потенціал гідроенергетичних ресурсів малих річок України. / Інститут відновлювальної енергетики НАН України. – К, 2015
22. 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

23. Сокольский А.К. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Учебное пособие.-М.: РГОТУПС, 2006 – 104 с.
24. Academic [Электронный ресурс]: Поворотно-лопастная турбина. Режим доступа: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1395890>
25. Academic [Электронный ресурс]: Радиально-осевая турбина. Режим доступа: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/polytechnic/7513>
26. Academic [Электронный ресурс]: Ковшовая турбина. Режим доступа: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/polytechnic/4034>
27. Academic [Электронный ресурс]: Турбина поперечного потока. Режим доступа: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/polytechnic/8076>
28. Обухов С.Г. МИКРОГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ // Томский политехнический университет. Т, 2009 – 63 с.
29. Природа України [Електронний ресурс]: Нормативно-правова база у сфері отримання дозволу на будівництво міні ГЕС. – Режим доступу: <http://pryroda.in.ua/miniges/normatyvno-pravova-baza-u-sferi-otrymannya-dozvolu-na-budivnytstvo-mini-hes/>
30. SolidWorks [Електронний ресурс]: SolidWorks. Режим доступа: <https://www.solidworks.com>
31. Ressources naturelles Canada [Електронний ресурс]: RETScreen. Режим доступа: <http://www.nrcan.gc.ca>
32. Retscreen Engineering & Cases Textbook. Small hydro project analysis chapter /Minister of Natural - Resources Canada 2001 – 2004, – 50 art.
33. RETScreen Software Online User Manual. Small Hydro Project Model /Resources Canada 2001 - 2004, – 109 art.
34. Асоціація біоенергетичних структур [Електронний ресурс]: Розвиток відновлюваних джерел енергії в Україні – Режим доступу: <http://abc.in.ua/wp-content/uploads/2017/03/Rozvitok-VDE-v-Ukrai-ni.pdf>