

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

першого (бакалаврського) рівня освіти

на тему: **“Обґрунтування гідроагрегату безплотинної
мікрогідроелектростанції”**

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають
посилання на відповідне джерело _____ В. В. Филип'юк

Виконав: студент IV курсу групи Ен-41
спеціальності 141 “Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка”
(шифр і назва спеціальності)

Филип'юк Владислав Васильович
(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент Бабич Михайло Іванович
(Прізвище та ініціали)

Рецензент: к.т.н., доцент Гошко Маркіян Орестович
(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський) рівень
Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
Завідувач кафедри _____
доцент, к.т.н., С. В. Сиротюк
“ ____ ” _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту

Филип`юку Владиславу Васильовичу

1. Тема роботи: “Обґрунтування гідроагрегату безплотинної мікрогідроелектростанції”.

Керівник роботи Бабич Михайло Іванович, кандидат технічних наук, доцент
затверджені наказом по університету від 30 грудня 2022 року № 453 / к-с.

2. Термін подання студентом роботи 03.06.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: матеріали літературного огляду, патентного пошуку і аналізу існуючих типів гідроелектростанцій, гідроагрегатів, схем, елементів системи енергозабезпечення, довідкова та спеціальна література, аналіз останніх досягнень науки і техніки в галузі енергозабезпечення.

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

Вступ

1. Характеристика об'єкта проектування

2. Обґрунтування типу та основного обладнання мікрогідроелектростанції

3. Методика розрахунку параметрів гідроагрегату безплотинної мікро-ГЕС

4. Охорона праці та довкілля

5. Техніко-економічне обґрунтування розробок кваліфікаційної роботи

Висновки

Перелік джерел посилання

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Графічний матеріал представлено у вигляді презентації.

6. Консультанти з розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
4	<i>Городецький І. М., доцент кафедри управління проектами та безпеки виробництва</i>	30.12.22 р.	30.12.22 р.

7. Дата видачі завдання

30 грудня 2022 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Написання першого розділу</i>	<i>30.12.22-20.01.23</i>	
2	<i>Виконання другого розділу</i>	<i>21.01.23-26.02.23</i>	
3.	<i>Виконання третього розділу</i>	<i>27.02.23-05.04.23</i>	
4.	<i>Написання розділу: «Охорона праці та довкілля»</i>	<i>05.04.23-29.04.23</i>	
5.	<i>Розрахунок економічної ефективності розробок кваліфікаційної роботи</i>	<i>30.04.23-09.05.23</i>	
6.	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та ілюстративної частини</i>	<i>10.05.23-21.05.23</i>	
7	<i>Завершення кваліфікаційної роботи в цілому</i>	<i>22.05.23-03.06.23</i>	

Студент _____ Филип`юк В. В.
(підпис)

Керівник роботи _____ Бабич М. І.
(підпис)

УДК 621.311.212

Кваліфікаційна робота: 42 ст. текстової частини, 2 табл., 16 рис., 26 найменування бібліографічних джерел.

Обґрунтування гідроагрегату безплотинної мікрогідроелектростанції. Филип'юк Владислав Васильович. Кваліфікаційна робота. Кафедра енергетики. Дубляни, Львівський НУП, 2023.

У кваліфікаційній роботі зроблено аналіз перспектив використання мікро-ГЕС на гірських річках Карпатського регіону.

Обґрунтовано, що для зменшення негативного впливу на навколишнє середовище доцільно відмовитись від гідротехнічних споруд, зокрема гребель, які затоплюють значні площі. Встановлено, що для умов передгірської місцевості ефективним є використання дериваційних мікроГЕС.

Обґрунтовано місце розташування мікроГЕС, та визначено складові гідроенергетичного потенціалу досліджуваної ділянки річки Голятинка.

Обґрунтовано тип та структуру мікроГЕС з роботою на загальну мережу, зокрема гідроагрегат у складі пропелерної турбіни Hydro-eKIDS Type M та асинхронного генератора ГА-315-75-14УЗ, та дериваційний склопластиковий закритий трубопровід діаметром 1,2 м та довжиною 40 м.

Розроблено питання охорони праці та довкілля.

Спорудження мікроГЕС на річці Голятинка встановленою потужністю 48,34 кВт дасть змогу виробити 338660 кВт·год. Термін окупності мікроГЕС складатиме менше трьох років.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ’ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ.....	8
1.1. Класифікація малих гідроелектростанцій та технологічні особливості їх роботи	8
1.2. Перспективи використання малих гідроелектростанцій на гірських річках Карпатського регіону.....	9
1.3. Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи.....	11
2. ОБҐРУНТУВАННЯ ТИПУ ТА ОСНОВНОГО ОБЛАДНАННЯ МІКРОГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ.....	12
2.1. Вибір і обґрунтування місця розташування мікро-ГЕС.....	12
2.2. Дослідження складових гідроенергетичного потенціалу річки...	13
2.3. Обґрунтування типу і структури мікро-ГЕС.....	16
3. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ГІДРОАГРЕГАТУ БЕЗПЛОТИННОЇ МІКРОГЕС.....	20
3.1. Підбір гідротурбіни та розрахунок її параметрів.....	20
3.2. Підбір та розрахунок електрогенератора мікро-ГЕС.....	25
3.3. Обґрунтування гідротехнічних споруд мікро-ГЕС на досліджуваній ділянці річки Голятинка.....	28
4. ОХОРОНА ПРАЦІ	31
4.1. Структурно-функціональний аналіз процесу виробництва електричної енергії на мікро-ГЕС та розроблення моделі травмонебезпечних та аварійних ситуацій.....	31
4.2. Вимоги з охорони праці в процесі експлуатації мікро-ГЕС.....	33
4.3. Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях на мікро-ГЕС.....	34
4.4 Охорона водних ресурсів річок під час їх енергетичного освоєння.	35
6. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБОК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ.....	36

	6
ВИСНОВКИ.....	39
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	40

ВСТУП

У сучасних умовах енергетична безпека формується на регіональному рівні. Тому ступінь забезпеченості власними паливно-енергетичними ресурсами є одним з важливіших показників сприйнятливості регіонів до загроз енергетичної безпеки.

Освоєння і використання місцевих енергетичних ресурсів, зокрема гідроенергетики малих річок Карпатського регіону, дозволяє збільшити доступу до електроенергії у віддалених та важкодоступних районах, сприяє прискоренню економічного та соціального розвитку ряд регіону, дозволяє збільшити можливості вкладу цих районів у продовольчу незалежність, організації туризму та створення сучасних умов відпочинку у цих екологічно чистих віддалених регіонах. І зважаючи на значний гідроенергетичний потенціал, Карпатського регіон у перспективі може стати енергетично незалежним [1;14].

Для обґрунтування економічної ефективності та підвищення екологічності гідроелектростанції ключовим є правильне обґрунтування її параметрів, зокрема гідроагрегату.

Мала гідроелектростанція, характеризується комплексом властивостей, які визначають ефективність її функціонування в різних умовах, та відображають її економічну ефективність, надійність та якість виробництва електроенергії, впливом на навколишнє середовище, економічні і соціальні умови.

Виходячи з цього, кваліфікаційна робота, де розглядається питання обґрунтування параметрів мікроГЕС є важливим і актуальним.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ

1.1 Класифікація малих гідроелектростанцій та технологічні особливості їх роботи

До гідроелектростанцій відносять електростанції, що застосовують енергію водного потоку в якості джерела енергії. Гідроелектростанції, як правило будують на річках, і для ефективного виробництва електроенергії на них необхідно забезпечити постійну витрату води та напір.

Необхідний напір води забезпечує комплекс гідротехнічних споруд, яка надходить на лопаті гідротурбіни, що приводить у дію генератори, що виробляють електроенергію. Напір створюють, штучно, за рахунок греблі, або за рахунок деривації – природній потік води. Інколи ці способи створення напору об'єднують. Гідроелектростанція, як правило розміщується в будинку, де є все енергетичне обладнання. Основне силове обладнання – гідроагрегати (турбіна з генератором), яке призначене для перетворення гідроенергії в електричну енергію.

Гідроелектростанції поділяють в залежності від виробленої потужності, зокрема в Україні [7]: малі гідроелектростанції потужністю до 10 МВт, середні - до 25 МВт, і великі – від 25 МВт. Оскільки гідроресурси для великих і середніх практично використані, доцільними є застосування малих гідроелектростанцій (МГЕС), особливо це актуально для малих річок Карпатського регіону України. До МГЕС відносять мікро-ГЕС – до 0,2; міні-ГЕС – до 1 МВт; малі ГЕС – до 10 МВт.

ГЕС також поділяють у залежності від способів використання природних ресурсів та створення концентрованого напору на: того Гідроелектричні станції також поділяються залежно від принципу використання природних ресурсів, і, відповідно, концентрації води, що утворюється. Тут можна виділити такі ГЕС [11]:

Греблеві та руслові, які по суті є найбільш використовуваними. Напір води для них створюється за рахунок греблі, що повністю перегороджує річку або піднімає рівень води до необхідної позначки. Такі ГЕС будують на багатоводних рівнинних річках, рідше на гірських річках, де русло вузке.

Пригребельні ГЕС застосовують при великих напорах води. Як і в попередньому випадку річка перегороджується повністю греблею, а будівля ГЕС розташовується у нижній її частині за греблею. Вода поступає до гідротурбін через спеціальні напірні тунелі.

Дериваційні ГЕС будують переважно у гірській місцевості, де є великий ухил річки. Необхідна концентрація води створюється у вигляді деривації – а вода відводиться із річки через спеціальні дериваційні канали, якими підводиться безпосередньо до гідротурбіни [1].

Гідроакмулюючі електростанції (ГАЕС), які накопичують (акумулюють) вироблену електричну енергію, і використовують її під час пікових навантажень. Крім основного обладнання – гідроагрегатів ГАЕС, застосовують насоси, які у періоди не пікового навантаження, закачують воду у спеціальні басейни. При потребі вода з басейнів надходить у напірний трубопровід і запускає гідротурбіни.

Підсумовуючи, варто відмітити що ГЕС для виробництва електричної енергії використовують відновлювані джерела енергії. Оскільки, якогось іншого додаткового палива в процесі виробництва електроенергії не застосовується, собівартість виробленої електроенергії, є значно нижчою у порівнянні з іншими видами електростанцій.

1.2 Перспективи використання малих гідроелектростанцій на гірських річках Карпатського регіону

За останніми розрахунками гідроенергетичний потенціал малої гідроенергетики складає близько 3,1 млрд кВт·год [4; 7]. Якщо брати до уваги

загальний гідропотенціал усіх річок України, то біля 30 % припадає на малі річки, що зконцентровані у Карпатському регіоні України [4].

Оскільки гідропотенціал великих річок майже використаний, доцільно освоювати малі гірські річки для виробництва електроенергії використовуючи МГЕС, зокрема мікроГЕС. Використання мікроГЕС (виробленою потужністю до 200 кВт) має ряд переваг, у порівнянні з іншими джерелами:

а) Мала гідроенергетика в порівнянні з іншими традиційними видами електроенергетики є найбільш економічним та екологічно безпечним способом отримання електроенергії. Використання мікроГЕС дозволяє зберігати природний ландшафт, довкілля як на етапі експлуатації, так і у процесі будівництва. Відсутній негативний вплив на якість води, яка повністю зберігає свої природні властивості. Вода може використовуватись для водопостачання населення, а у річках зберігається риба.

б) На відміну від сонячної та вітрової енергії, мала гідроенергетика майже не залежить від погодних умов і здатна забезпечити постійну подачу дешевої електроенергії споживачеві.

в) Наявність мініатюрних автономних електронних пристроїв з регулювання і контролю технологічних процесів, зокрема для дистанційного керування гідрогенераторами, що працюють автономно або в мережі.

Тому перспективним для даного регіону виглядає освоєння річок за допомогою мікро ГЕС, потужністю до 200 кВт. Зокрема на річках у передгірних і гірських районах, сам ландшафт створює необхідний напір води, що значно знижує капіталовкладення. Вартість спорудження таких мікроГЕС у 2 рази нижча за МГЕС.

Найбільш прості та технологічні мікроГЕС дериваційного типу, які ефективні якраз для використання на передгірних і гірських ділянках річок із значними ухілами дна річки. Водозабором для мікроГЕС є невелика ґратчаста споруда, через яку частина води забирається в підземну трубу й подається на турбіну нижче за течією. Напір створюється за рахунок прокладання напірної деривації, тобто немає необхідності споруджувати греблю.

Аналіз свідчить, що термін окупності будівництва мікроГЕС складає від трьох до п'яти років. А зважаючи на постійне підвищення вартості виробленої електроенергії за рахунок традиційної енергетики, перспективи освоєння гідропотенціалу малих річок Карпатського регіону за рахунок мікроГЕС є очевидними.

1.3 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи

У Карпатському регіоні західної України зосереджено значний неосвоєний гідроенергетичний потенціал малих гірських річок, який можна використати як для задоволення потреб автономного споживача та і для роботи гідроелектростанції на загальну електромережу.

Для освоєння гідропотенціалу насамперед необхідно обґрунтувати тип та структуру гідроелектростанції для умов конкретної ділянки річки, з врахуванням того щоб вплив від діяльності гідроелектростанції на навколишнє середовище мав мінімальний вплив. З огляду на це, кваліфікаційна робота, яка присвячена обґрунтуванню параметрів гідроагрегату безплотинної мікро-ГЕС на гірській річці є актуальною і важливою.

2 ОБҐРУНТУВАННЯ ТИПУ ТА ОСНОВНОГО ОБЛАДНАННЯ МІКРОГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

2.1 Вибір і обґрунтування місця розташування мікро-ГЕС

Тип мікро-ГЕС, її розміщення параметри та виконувані функції визначають на основі загальної концепції об'єкта, природоохоронних, природних і соціально-економічних потреб, а також потреб ринку електроенергії.

Першочерговим кроком є обґрунтування місця розташування гідроелектростанції на вибір якого впливають: розміри гідроелектростанції, відстань до споживача (автономної або загальної мережі), об'єми потенційно виробленої електроенергії, рельєф місцевості та вартість подібного проекту.

Водозабір повинен забезпечувати безперебійну та необхідну подачу води на гідротурбіну для задовільної ефективності гідроагрегатів, що сприятиме забезпеченню статичного графіка виробленої електроенергії. Інфраструктура населеного пункту теж повинна бути розташована поруч, оскільки мікро-ГЕС, які можуть виробляти лише до 200 кВт електроенергії і неефективно через втрати подавати електроенергію на значні відстані. Оскільки мова йде про освоєння малих гірських річок, важливо прийняти таку ділянку де є значний ухил для створення напору. Це дозволить зменшити негативний вплив на екологію, оскільки відпадає необхідність будувати греблі, які сприяють затопленню значних площ.

Для обґрунтування місця розташування мікро-ГЕС здійснений аналіз за наступними критеріями:

- наявність під'їздів до річки;
- близьке розташування ліній електропередач;
- природній рельєф ділянки;
- вузьке русло ріки, для зменшення будівельних робіт.

Врахувавши критерії та дослідивши гідроенергетичні показники річок Карпатського регіону, встановлено що для проектування і будівництва мікроГЕС підходить річка Голятинка, поблизу м. Майдан Закарпатської області.

2.2 Дослідження складових гідроенергетичного потенціалу річки

У руслах річки маса води під впливом сили тяжіння переміщується з високих відміток на нижчі. Поточна вода безперервно виконує роботу, втрачаючи енергію на подолання сил тертя між шарами води та між водним потоком та руслом річки.

Отже, будь який водний потік є носієм енергії. Щоб визначити його значення розглянемо довільну ділянку річки між створами I–I і II–II довжиною L з різницею відміток води на початку та кінці ділянки $A - B = H$ (рис. 2.1) [11].

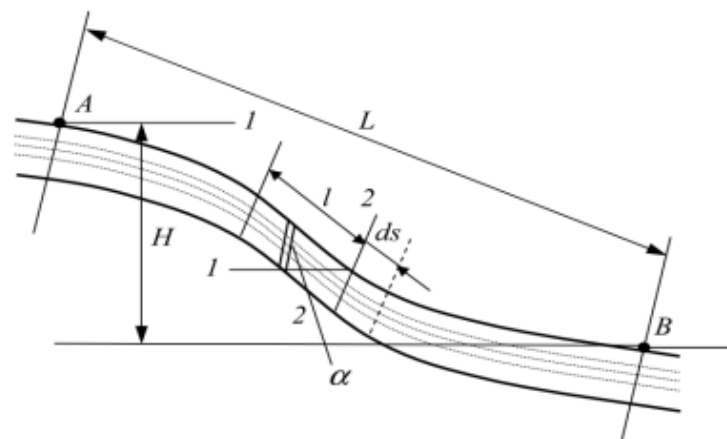


Рисунок 2.1 – Схема визначення потужності водного потоку

Виділимо елементарний фрагмент ділянки річки між перетином 1 – 1 та 2 – 2 довжиною l , у межах якого зберігаються постійними ухил, середня швидкість течії води V та площа живого перерізу S . Об'єм води на ділянці l буде Sl , а маса води, mSl . За проміжок часу dt елемент $l - \rho gSl$ зміститься вздовж русла на величину $ds=Vdt$, а центр застосування сили тяжкості у вертикальному напрямку переміститься на відстань

$$dS \sin \alpha = Vdt \sin \alpha. \quad (2.1)$$

Роботу, що здійснюється силою тяжіння за час dt , визначимо з виразу

$$dA = \rho g S V dt \sin \alpha \quad (2.2)$$

Потужність водного потоку в межах l , тобто робота за одиницю часу

$$dN = \frac{dA}{dt} = \rho g S V dt \sin \alpha = \rho g Q dh, \quad (2.3)$$

де $Q = SV$ – витрата води в річці; $dh = l \sin \alpha$ – елементарний напір.

Потужність водного потоку на ділянці L рівна сумі потужностей визначених фрагментів

$$N_{\text{діл}} = \int_0^H \rho \cdot g \cdot Q dh = \rho g Q H, \text{ Bm}, \text{ або } N_{\text{діл}} = 9,81 Q H, \text{ кВт}. \quad (2.4)$$

Таким чином для визначення гідроенергетичного потенціалу досліджуваної ділянки річки необхідно дослідити витрату води та напір.

Дослідження витрати води відбувалось на ділянці річки Голятинка (м. Майдан). Вихідними даними для дослідження витрати води є багаторічні дані спостережень у визначеному для проектування мікроГЕС створі річки. Дослідження проводили як пасивний експеримент на основі даних водомірного посту за 2017-2019 рр. Середньомісячні показники витрати води представлено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Витрата води в досліджуваному створі річки Голятинка

Рік \ Місяць	2017	2018	2019	Qсер.
Січень	1,33	0,95	1,08	1,12
Лютий	0,93	0,57	0,62	0,71
Березень	3,43	2,89	3,81	3,37
Квітень	5,75	6,24	5,99	5,99
Травень	1,74	2,89	1,96	2,19
Червень	2,78	1,68	1,69	2,05
Липень	0,73	1,60	0,92	1,08
Серпень	2,57	2,37	1,64	2,19
Вересень	1,49	1,16	1,77	1,47
Жовтень	0,51	1,95	1,57	1,35
Листопад	1,42	1,25	1,53	1,39
Грудень	0,55	1,56	1,58	1,23

На підставі аналізу спостережень за річкою в досліджуваному створі побудовано графік середньої витрати води протягом року (рис. 2.2).

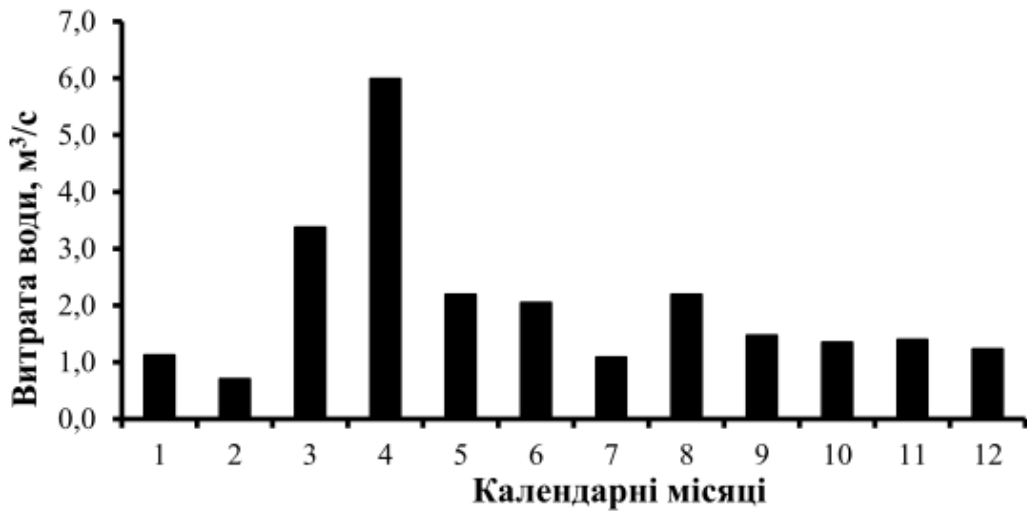


Рисунок 2.2 – Витрата води р. Голятинка у досліджуваному створі

Отримані дані по витратах води необхідні для визначення його розрахункової забезпеченості p_p – це ймовірність того, що витрата водив створі річки Голятинка для роботи мікроГЕС, буде більшими за розрахункові значення. Для мікроГЕС $p_p = 75 - 80\%$ [11]. Криву забезпеченості витрат води $Q = f(p)$ подано на рисунку 2.3.

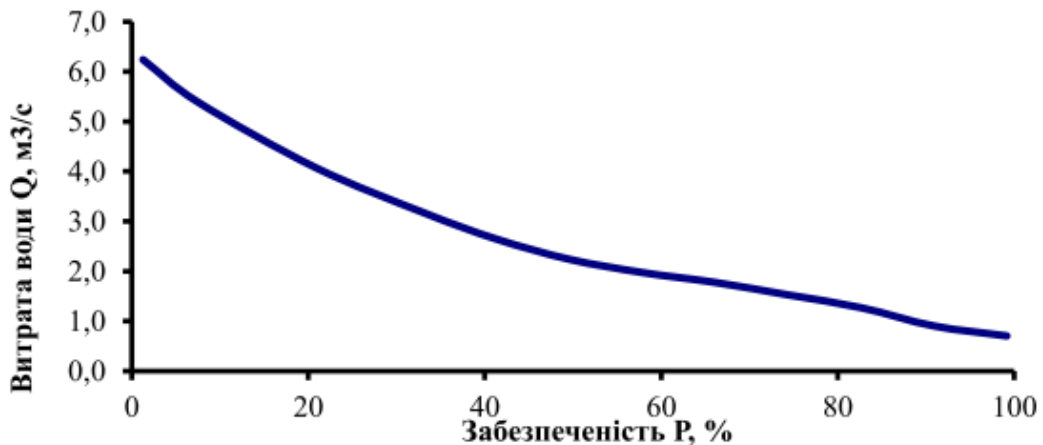


Рисунок 2.3 – Крива забезпеченості витрати води стоку

Для 80 % забезпеченості стоку приймаємо $Q = 1,3 \text{ м}^3/\text{с}$.

Напір на річці створюється штучно за допомогою дериваційного каналу. Гірська місцевість в межах досліджуваної ділянки річки Голятинка дозволяє створити напір брунто 7 м.

Таким чином використовуючи формулу (2.4) визначимо потенційну потужність ділянки

$$P_{80\%}=9,81 \cdot 1,3 \cdot 7=89,27 \text{ кВт.}$$

Для 80 % забезпеченості стоку, що рівно роботі мікроГЕС 7000 год/рік, потенційний виробіток електроенергії визначимо:

$$E_B = N_{B 80\%} \cdot t = 89,27 \cdot 7000 = 624897 \text{ кВт}\cdot\text{год.} \quad (2.5)$$

Використовуючи формулу (2.5) визначено потенціальні або теоретичні ресурси для досліджуваної річки. Для визначення дійсних показників роботи мікроГЕС необхідно обґрунтувати параметри гідроагрегату мікроГЕС для умов річки Голятинка.

2.3 Обґрунтування типу і структури мікро-ГЕС

На підставі аналізу виконаному в розділі 1 встановлено, що на даний момент як з позиції впливу на навколишнє середовище, так із необхідності мінімізації капіталовкладень, доцільно використовувати безплотинні мікроГЕС. На сьогоднішній день найпоширенішими з безплотинних є два види – це вільнопоточні або дериваційні.

МікроГЕС з вільнопоточними гідротурбінами використовують швидкісні потоки води та не вимагають ведення спеціальних гідротехнічних споруд. У цих гідроелектростанціях застосовують гідротурбіни різного типу: осьові, карусельні, гірляндні (рис. 2.4). Крім цього мікроГЕС з вільнопоточними турбінами виконують як з вертикальним, так і з горизонтальним розташуванням осі обертання вала турбіни [23].

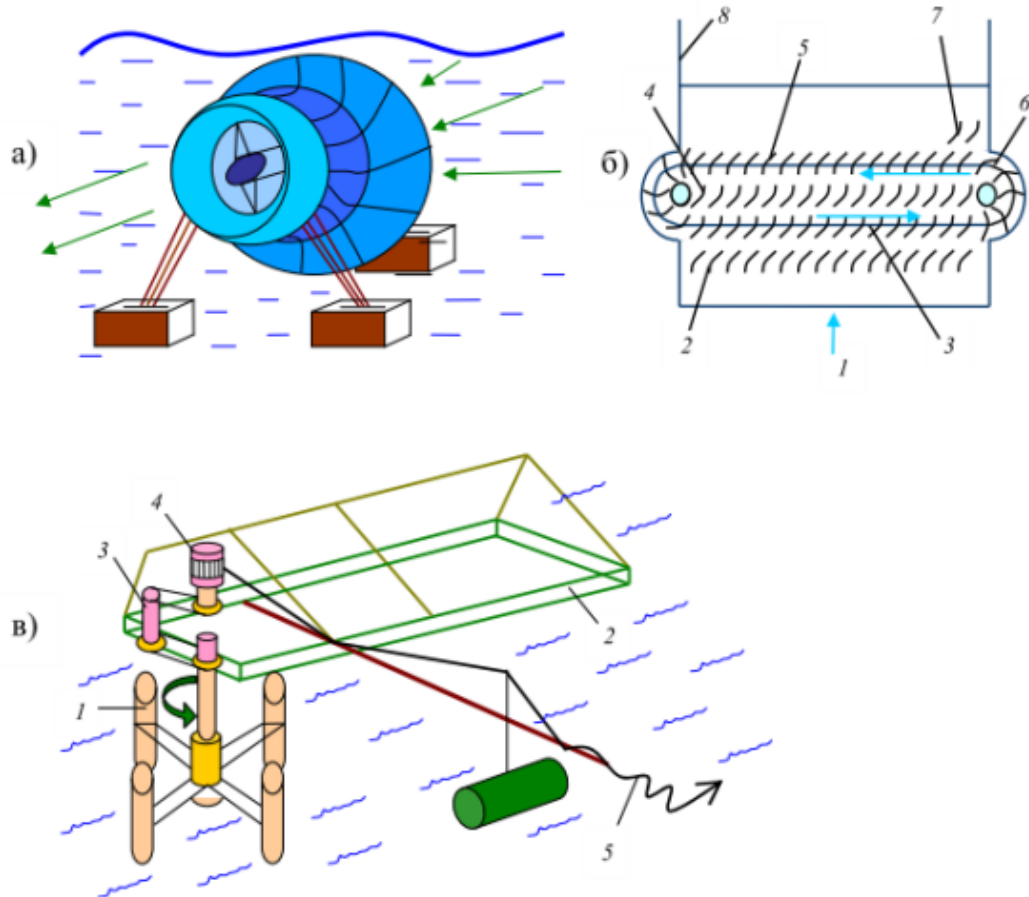


Рисунок 2.4 – Конструкція вільнопоточних мікроГЕС: а) з осьюовою гідротурбіною; б) з гідротурбіною Шнайдера: 1 – потік води; 2 – перша ступінь направляючих лопаток; 3 – перша ступінь лопастей; 4 – друга ступінь направляючих лопаток; 5 – друга ступінь лопастей; 6 – привідний ланцюг; 7 – третя ступінь направляючих лопаток; 8 – відсмоктуюча труба; в) з турбіною карусельного типу: 1 – турбіна карусельного типу; 2 – пліт для кріплення електромеханічного вузла; 3 – мультиплікатор; 4 – генератор; 5 – електрокабель, що зв’язує генератор установки зі споживачем).

Основними напрямками використання проаналізованого типу мікроГЕС є забезпечення електроенергією кемпінгів, котеджів, які віддалені від енергосистем та знаходяться біля гірських і передгірських річок.

Проте є ряд недоліків таких систем, зокрема: великі розміри турбіни, внаслідок використання малих напорів генерують невелику потужність;

потребують певної глибини річки для встановлення, що часто є неможливим в умовах гірських річок; існує небезпека їхнього руйнування під час паводків та льодоходу.

Для річки Голятинка, яка характеризується невеликими об'ємами води і значним ухилом, ефективнішим є застосування дериваційного способу створення напору (рис. 2.5) [1; 24]. Для використання такої схеми необхідне забезпечення наступних вимог, а саме: річка не повинна залишатися без води в будь-який момент часу, водопровідний трубопровід для подачі води до турбіни ні в якому разі не повинен йти по руслу, дериваційний канал має бути спроектований і побудований таким чином, щоб мінімізувати шкоду природі та землі, через яку він проходить.



Рисунок 2.5 – Дериваційна схема створення напору

Детальніше розглянемо принцип дії дериваційної мікро-ГЕС (рис. 2.6). Вода через ґратчасту споруду водозабору 1 потрапляє до напірного резервуару 2. Напірний резервуар обмежує поширення гідравлічного удару на дериваційний трубопровід, та сприяє стабільній подачі води на турбіни. Вода

дериваційним каналом 3 потрапляє на робоче колесо турбіни, яке обертаючись запускає ротор гідрогенератора для виробництва електричного струму. Відпрацьована вода через водозлив відводиться у русло річки [1; 26].

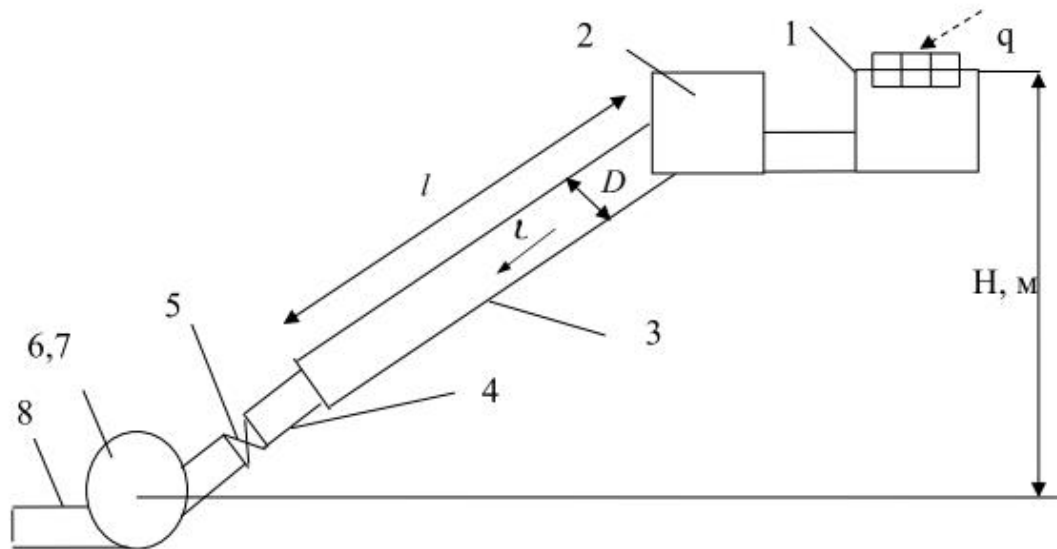


Рисунок 2.6 – Схема дериваційної мікроГЕС: 1 – водозабір; 2 – напірний резервуар; 3 – дериваційний канал; 4 – турбінний трубопровід; 5 – заслінка; 6 – турбіна; 7 – генератор; 8 – водозлив.

МікроГЕС дериваційного типу для передгірської місцевості річки Голятинка ефективно використовувати для роботи на загальну електричну мережу. А зважаючи на затверджений рівень «зеленого» тарифу, за яким держава зобов'язується закуповувати електроенергію вироблену на мікроГЕС – це ще є і економічного вигідним, що дає змогу досить швидко, для таких проектів повернути вкладені кошти.

3 МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ГІДРОАГРЕГАТУ БЕЗПЛОТИННОЇ МІКРО-ГЕС

3.1 Підбір гідротурбіни та розрахунок основних її параметрів

Гідроагрегат – це агрегат, що складається з гідравлічної турбіни та електричного генератора (гідрогенератора) з'єднаних одним валом. До гідроагрегату також входить допоміжне та комплектуюче обладнання.

Основним елементом гідроагрегату є гідротурбіна, яка перетворює гідроенергію потоку води в механічну енергію обертання вала.

Вибір типу та розрахунок турбіни здійснюють за вихідними даними – витратою води та напором досліджуваної ділянки річки. Як відомо, вибір типу гідротурбіни проводиться за основними характеристиками річки – статичним напором H і витратою води Q . При цьому, для ефективної роботи гідротурбіни ці показники мають бути постійними.

Здійснимо розрахунки основних параметрів гідротурбіни, виходячи з того, що для досліджуваної ділянки річки Голятинки $Q = 1,3 \text{ м}^3/\text{с}$ та $H_{br} = 7 \text{ м}$.

Концентрований напір H_{br} , створюють за допомогою дериваційного каналу. Частина цього напору втрачається у дериваційному каналі, на турбіні, водозаборі тощо. Для визначення втрат напору визначимо діаметр дериваційного трубопроводу d , через який вода поступає на турбіну, м [11]:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}}, \quad (3.1)$$

де v – швидкість руху води у трубопроводі ($v = 0,75\text{-}1,25 \text{ м/с}$).

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,3}{3,14 \cdot 1,25}} = 1,148 \text{ м}.$$

Найближчий до отриманого d склопластикових труб GRP є 1,2 м.

Визначимо середню швидкість для прийнятого діаметра ділянки [11]:

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 1,3}{3,14 \cdot 1,2^2} = 1,15 \text{ м/с}. \quad (3.2)$$

Число Рейнольдса визначимо [11]

$$R_e = \frac{v \cdot d}{\nu}, \quad (3.3)$$

де ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості рідини (для середньорічної температури Карпатського регіону приймаємо $\nu = 1,35 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ [11]), $\text{м}^2/\text{с}$.

$$R_e = \frac{1,15 \cdot 1,2}{0,00000135} = 102225.$$

Коефіцієнт гідравлічного тертя λ розрахуємо за формулою Блазіуса [11]

$$\lambda = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}}. \quad (3.4)$$

$$\lambda = \frac{0,3164}{102225^{0,25}} = 0,0177.$$

За формулою Дарсі-Вейсбаха визначимо втрати напору за довжиною h_l , м [22]:

$$h_l = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}, \quad (3.5)$$

де l – довжина дериваційного трубопроводу згідно умовами проекту (для створення необхідного напору необхідно $l = 40 \text{ м}$), м.

$$h_l = 0,0177 \cdot \frac{40}{1,2} \cdot \frac{1,15^2}{2 \cdot 9,81} = 0,36 \text{ м}.$$

Місцеві втрати напору у гідропоруках та гідрообладнанні мікроГЕС можна прийняти 5 – 10 % від загальних втрат [11]. Тоді загальні втрати напору:

$$h = 1,1 \cdot (h_l), \quad (3.6)$$

де $1,1$ – коефіцієнт, який враховує 10 % втрат у місцевих опорах.

$$h = 1,1 \cdot (0,36) = 0,396 \text{ м}.$$

Порахувавши втрати напору, розрахуємо робочий напір H [11; 17]:

$$H = H_{br} - h = 7 - 0,396 = 6,6 \text{ м.} \quad (3.7)$$

Визначивши робочий напір можемо розрахувати потужність гідротурбіни P_T , кВт [1]:

$$P_T = g \cdot Q \cdot H \cdot \eta_T, \text{ кВт} \quad (3.8)$$

де Q – витрата води на ділянці, $\text{м}^3/\text{с}$; H – робочий напір, м; η_T – коефіцієнт корисної дії пропелерної турбіни (приймають рівним 0,8...0,9 [11]).

$$P_T = 9,81 \cdot 1,3 \cdot 6,6 \cdot 0,85 = 71,54 \text{ кВт.}$$

Окрім потужності турбіни важливо також визначити діаметр її робочого колеса [11]:

$$D = 0,55 \cdot \sqrt{\frac{Q}{\sqrt{H}}}, \text{ м.} \quad (3.9)$$

$$D = 0,55 \cdot \sqrt{\frac{1,3}{\sqrt{6,6}}} = 0,38 \text{ м.}$$

Діаметр робочого колеса округлюємо до найближчого стандартного значення і приймаємо $D = 0,4$ м.

Для вибору турбіни також визначимо частоту обертання робочого колеса [11]:

$$n_T = 30 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot H}{\pi \cdot D}}, \text{ об/хв.} \quad (3.10)$$

$$n = 30 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 6,6}{3,14 \cdot 0,4}} = 304,5 \text{ об/хв.}$$

Маючи основні показники, зокрема витрату води, робочий напір, діаметр робочого колеса та частоту обертання можна обрати тип гідротурбіни.

Відомо, що гідротурбіни поділяють на активні та реактивні.

Активні турбіни потужністю до 200 МВт, переважно застосовують у великій гідроенергетиці. Такі турбіни використовують кінетичну енергію, тобто працюють під дією вільного струменя.

Реактивні гідротурбіни, окрім кінетичної енергії використовують також потенціалу енергію потоку рідини та перетворюють її у механічну енергію обертання колеса гідротурбіни. Цей вид використовують у малій гідроенергетиці (до 30 МВт). За конструктивними параметрами їх поділяють на радіально-осьові, поворотно-лопатеві, діагональні і пропелерні (рис.3.1).

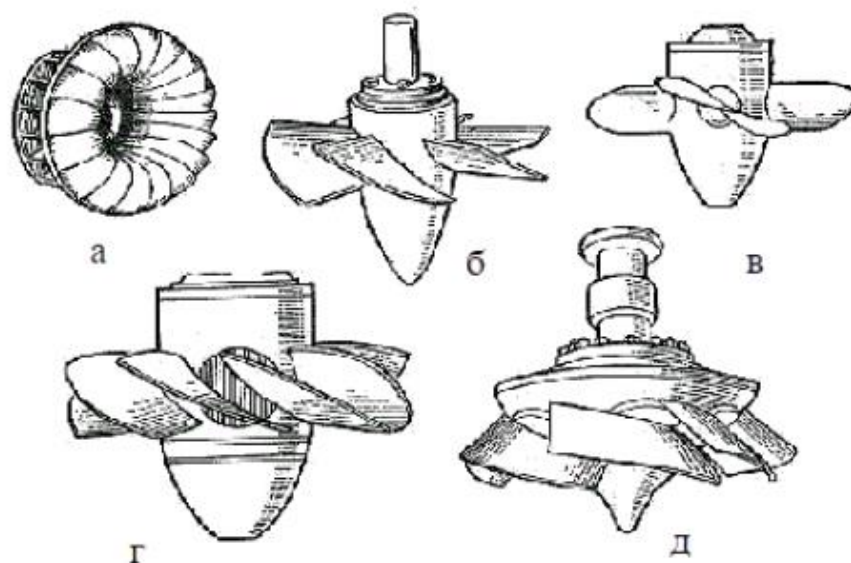


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд реактивних турбін: а – радіально-осьова; б – пропелерна; в – поворотно-лопатева; г – двоперова; д – діагональна [11]

На умови використання того чи іншого типу гідротурбіни впливає насамперед рельєф місцевості – рівнинна річка чи гірська, що впливає на концентрацію напору. Зокрема ковшові гідротурбіни застосовують для напорів від 30 до 160 м, радіально осьові розраховані на напір – 30 – 300 м, поворотно-лопатеві і пропелерні – 2-40 м [11; 26].

Відповідно до проведених розрахунків для гірської річки Голятинка, обраний тип гідротурбіни має задовільняти такі умови: напір – 6,6 м, витрата води – 1,3 м.

Для отриманих вихідних даних підходить пропелерна гідротурбіна Hydro-eKIDS Type M загальний вигляд якої представлено на рисунку 3.2, а технічні характеристики наведені у таблиці 3.1 [25].

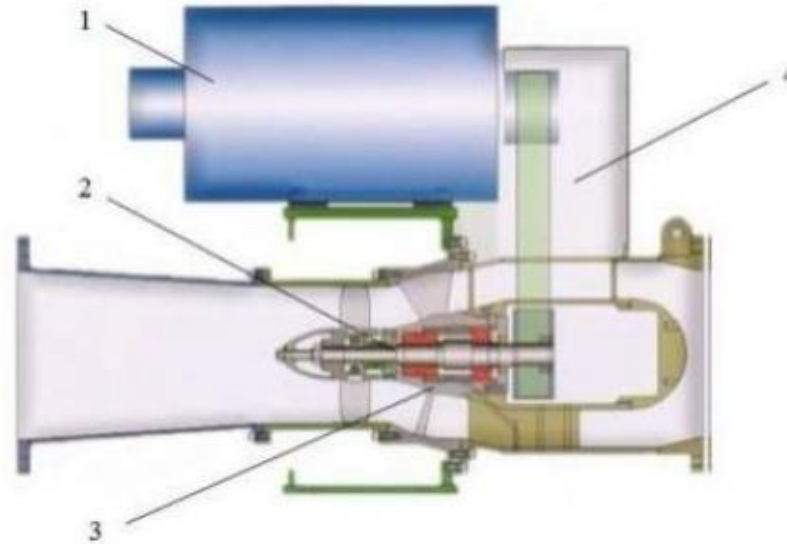


Рисунок 3.2 – Загальний вигляд гідроагрегату Hydro-eKIDS Type M:
1 – електрогенератор; 2 – гідротурбіна; 3 – підшипники; 4 – передача.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики гідротурбіни Hydro-eKIDS Type M

Тип турбіни	Потужність турбіни, кВт	Частота обертання, об/хв.	Діаметр робочого колеса, м	Діапазон напорів, м	Витрата, м ³ /с	ККД, η _г
Type M	5-100	750, 1000	0,4	2-15	0,1-1,4	0,85

Обґрунтувавши основні показники пропелерної гідротурбіни виконаємо перевірку її на кавітацію, зокрема визначимо допустиму висоту всмоктування з виразу:

$$H_s = 10 - \frac{\nabla}{900} - 1,05 \cdot \sigma \cdot H, \text{ м}, \quad (3.11)$$

де ∇ – розміщення гідротурбіни над рівнем моря (для заданих умов річки

Голятинка $\nabla = 400$ м), м; σ – коефіцієнт кавітації (приймають $\sigma = 0,35$ для гідротурбін пропелерних); H – напір, на якому працюватиме гідротурбіна, м.

$$H_s = 10 - \frac{400}{900} - 1,05 \cdot 0,35 \cdot 6,6 = 7,13 \text{ м.}$$

Як бачимо умова виконується, оскільки робочий напір гідротурбіни $H = 6,6$ м є меншим за допустиму висоту всмоктування $H_s = 7,13$ м.

3.2 Підбір та розрахунок електрогенератора мікро-ГЕС

На мікроГЕС, гідротурбіна з'єднана з електрогенератором та приводить його в дію (рис. 3.3). Гідротурбіна обертає вал 6, а при обертанні ротора 2 у стаціонарній обмотці виробляється електрична енергія.

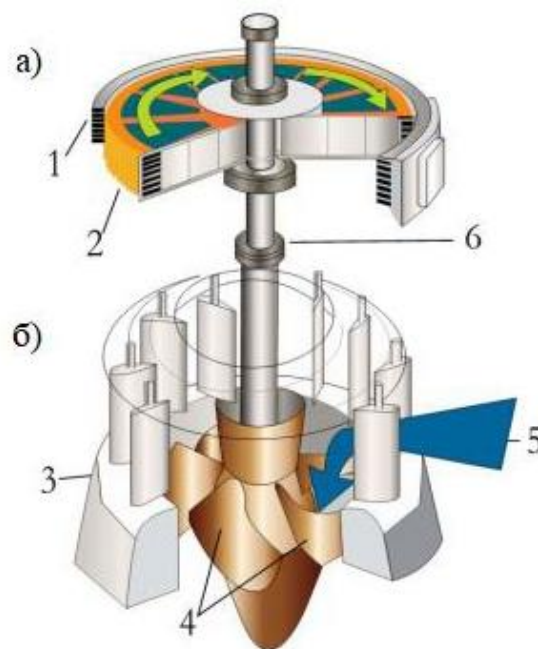


Рисунок 3.3 – Загальний вигляд гідроагрегату: а) електрогенератор;
б – гідротурбіна; 1 – статор, 2 – ротор, 3 – направляючий апарат,
4 – лопаті гідротурбіни турбіни, 5 – потік води, 6 – ротор гідроагрегату

Генератори можуть виконувати з вертикальним або горизонтальним розташуванням вала. Вертикальне розташування вала, як правило використовують на середніх та великих гідроелектростанціях. На малих і мікроГЕС використовують генератори з горизонтальним розташуванням вала. Принципові схеми гідроагрегатів представлено на рисунку 3.4 [8].

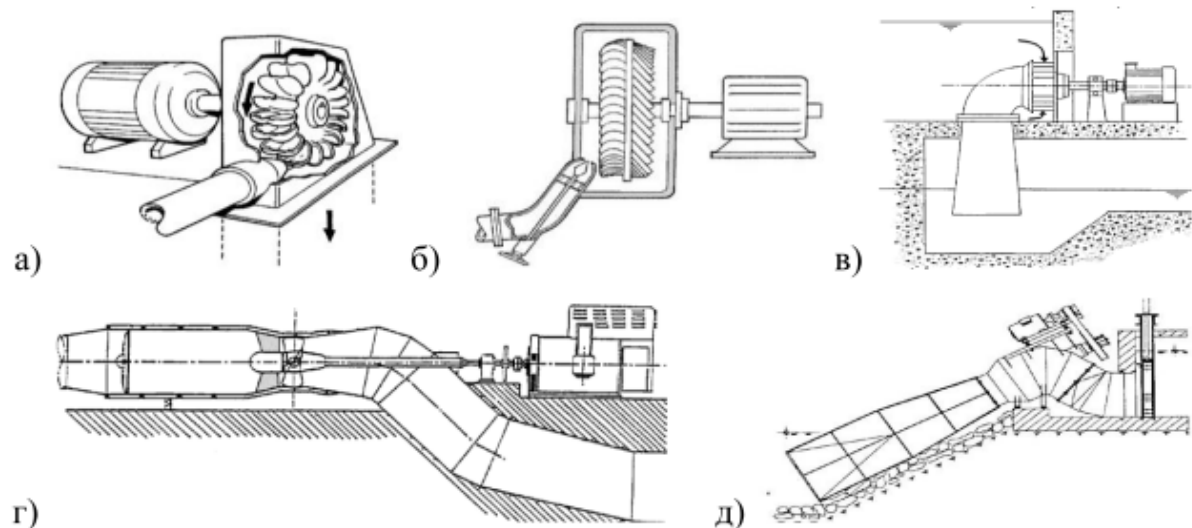


Рисунок 3.4 – Принципові схеми гідроагрегатів з турбінами різних типів:

- а) ковшова; б) похило-струменева; в) радіально-осьова; г) пропелерна;
д) радіально-лопатева

На малих та мікроГЕС переважно застосовують асинхронні генератори, які, як відомо, для виконання роботи потребують самозбудження. Враховуючи те, що у даній роботі розглядається робота ГЕС на мережу то і без самозбудження електрогенератора можна обійтись, оскільки необхідну реактивну потужність для формування обертового поля можна отримати з загальної електромережі. Для асинхронного генератора споживання реактивної потужності з електричної мережі відповідає її споживанню в режимі електродвигуна. Для компенсації реактивної потужності використовують установку її автоматичної компенсації, для підтримання значення $\cos\varphi$ близького до 1. Також у випадку підключення мікроГЕС до загальної мережі, напруга та струм задається електромережею.

Асинхронні генератори підбирають залежно від розміру та потужності гідротурбіни. Проаналізувавши ринок гідрогенераторів, які випускають безпосередньо для мікроГЕС, зупинились на продукції вітчизняної фірми НВП «НКЕМЗ», м. Нова Каховка. Зокрема було обрано асинхронний трифазний генератор з короткозамкнутим ротором ГА-315-75-14УЗ, призначений для роботи у складі мікроГЕС на мережу змінного струму частотою 50 Гц та напругою 400 В, та має такі характеристики: потужність – 75 кВт, частота обертання – 750 об/хв, ККД – 0,89, $\cos\varphi$ – 0,8, маса – 1300 кг [10].

Важливим питанням є обґрунтування типу передачі, яка з'єднає гідротурбіну з асинхронним генератором. Враховуючи, що у дослідженні вали турбіни і генератора є паралельними, а також те, що потужність мікроГЕС до 200 кВт, пропонуємо використати клинопасову передачу (рис. 3.5).

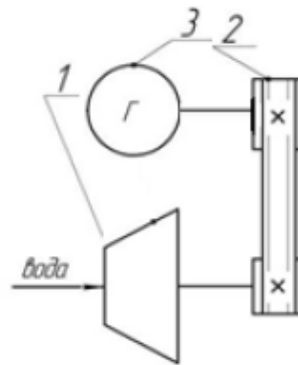


Рисунок 3.5 – Принципова кінематична схема: 1 – гідротурбіна;
2 – клинопасова передача; 3 – генератор

Клинопасові передачі мають коефіцієнт корисної дії $\eta_{\text{кл.пер}} = 0,95$.

Перерахуємо потужність P_G асинхронного генератора мікроГЕС [10]:

$$P_G = P_T \cdot \eta_G \cdot \cos\varphi \cdot \eta_{\text{кл.пер}}, \text{ кВт}, \quad (3.12)$$

де η_G – коефіцієнт корисної дії генератора; $\eta_{\text{пер}}$ – коефіцієнт корисної дії приводу від турбіни до генератора; $\cos\varphi$ – коефіцієнт потужності генератора.

$$P_G = 71,54 \cdot 0,89 \cdot 0,8 \cdot 0,95 = 48,38 \text{ кВт}.$$

Таким чином підібраний асинхронний генератор відповідає потребам мікроГЕС за встановленою потужністю.

3.3 Обґрунтування гідротехнічних споруд мікро-ГЕС на досліджуваній ділянці річки Голятинка

Гідротехнічні споруди відіграють дуже важливу роль в комплексі мікроГЕС. Від правильного їх обґрунтування залежить ефективність роботи мікроГЕС, та вплив діяльності гідроелектростанції на навколишнє середовище.

До гідротехнічних споруд дериваційної мікроГЕС на річці Голятинка, відноситься водозабір, закритий канал, який з'єднує водозабір з напірним резервуаром, дериваційний напірний трубопровід та будівля (рис. 3.6).

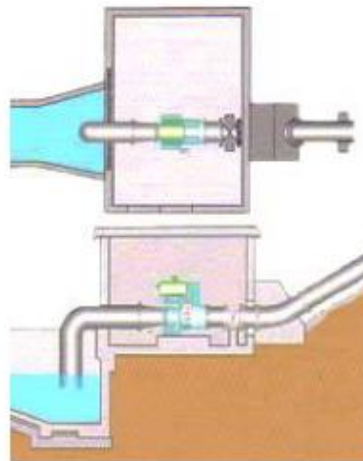


Рисунок 3.6 – Компонівка будівлі мікроГЕС з гідроагрегатом

Будівля мікроГЕС являє собою одноповерхову споруду виконану з залізобетонних матеріалів. Основним її призначенням є розташування у ній гідротурбіни, гідрогенератора, основного та допоміжного обладнання. Часто будівлю проектують як водонепроникну споруду, для того щоб запобігти доступу води до електрообладнання яке є всередині. Вироблена електрична енергія подається у загальну мережу через підвищувальний трансформатор, який може бути як всередині так і назовні будівлі. Також в будівлі розміщують затвори (на турбінному трубопроводі) для випадків коли потрібно відключити гідротурбіну.

У будівлі також передбачена відсмоктувальна труба і відповідний канал, за допомогою яких вода з турбіни відводиться в річку. Водоскид необхідно проектувати таким чином, щоб частина відсмоктувальної труби була завжди затоплена. Для того щоб не було розмивання каналу пропонується влаштувати бетонне облицювання навколо труби.

Для забору води з річки водозабір обладнують водоприймачем, який направляє воду до дериваційного каналу. Для уникнення попадання на турбіну сторонніх предметів, пропонуємо облаштувати сталеві решітки.

Дериваційний напірний трубопровід, являє собою водопровід довжиною 40 м із склопластикової труби умовним діаметром 1200 мм. Для даної місцевості пропонуємо улаштувати трубопровід закритого типу, який укладається в раніше підготовану траншею між прибережною смугою і річкою по лівому березі р. Голятинка (рис. 3.7). Ухил місцевості в місці проектування трубопроводу складає 7 м.

Для трубопроводу використано промислові труби GRP DN1200 до 90 атм. Труби випускають довжиною 6 і 12 м, і для їх з'єднання використовують фланці, муфти, ніпель-розтрубні з'єднання тощо. Трубопровід є криволінійним і є суцільною і нерозрізною системою, де за рахунок його ж кривизни компенсуються температурні деформації.

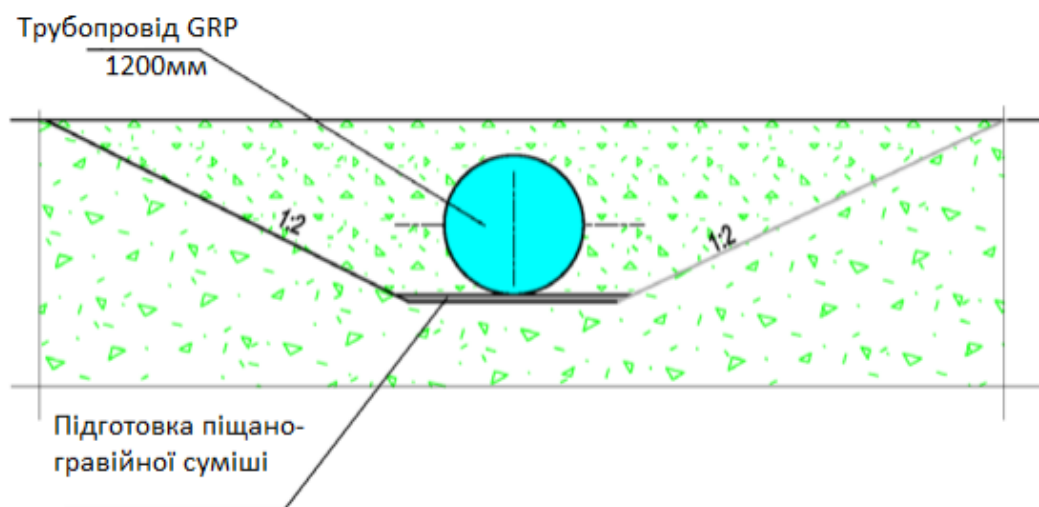


Рисунок 3.7 – Схема монтажу напірного трубопроводу

Трубопровід закритого типу пропонуємо влаштувати у траншеї із пісчано- гальковою основою і у насипі із місцевого ґрунту. Ґрунтова насип і засипка утрамбовується механічним способом. Таким чином схований дериваційний напірний трубопровід зменшить негативний вплив на навколишнє середовище, та покращить зовнішній вигляд самої мікроГЕС. Користуючись досвідом будівництва мікроГЕС в Європейських країнах, доцільно територію над дериваційним каналом озеленити.

Для ефективної експлуатації мікроГЕС немає потреби в залученні значної кількості обслуговуючого персоналу. Регулювання напруги, частоти струму та потужності є автоматичним. На станції необхідно час від часу очищати водозабір від сторонніх предметів, а також слідкувати за витратою води, у періоди паводків, або посушливі періоди. Для цього на водозаборі і на самому турбінному трубопроводі передбачена запірно-регулююча арматура.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ

4.1 Структурно-функціональний аналіз процесу виробництва електричної енергії на мікро-ГЕС та розроблення моделі травмонебезпечних та аварійних ситуацій

Розробка заходів з охорони праці розпочинається з визначення оцінюючих показників безпеки при роботі устаткування мікро-ГЕС [17].

Гідросилове устаткування включає гідротурбінну й гідрогенератор; допоміжне устаткування на агрегатному рівні; систему автоматичного регулювання роботи гідротурбіни; систему автоматичного керування допоміжним устаткуванням; систему збудження гідрогенератора. Це обладнання, з погляду безпеки праці, є акумуляторами ряду специфічних небезпечних і шкідливих виробничих чинників. Розглянемо основні з них.

Для технологічного процесу виробництва електроенергії на гідроелектростанціях характерні такі небезпечні фактори:

Травмування електричним струмом через несправність захисного заземлення, використання пошкоджених кабелів і електропроводів або неналежний санітарний стан підлоги приміщення.

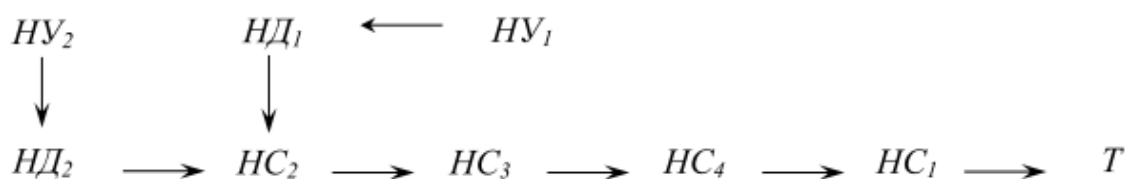


Рисунок 4.1 – Модель процесу

Проаналізуємо фактор:

1. Вид робіт: робота біля щита керування гідроелектктростанції;
2. Небезпечна умова (НУ): відсутні захисні дерев'яні щити на підлозі HU_1 ; вийшов з ладу захист заземлення HU_2 ;
3. Небезпечна дія (НД): при роботі працюючий стоїть у небезпечній зоні HD_1 ; при роботі працюючий знаходиться не у зазначеному місці HD_2 ;

4. Небезпечна ситуація (НС): ураження струмом через відсутність дерев'яних щитів НС₁; ураження струмом через неналежний стан підлоги НС₂; ураження струмом через пошкодження кабелів НС₃; ураження струмом через неналежний захист заземлення НС₄.

5. Травма (Т).

Для запобігання небезпечним ситуаціям необхідно здійснювати заходи. Зокрема необхідно перевіряти стан захисного заземлення, усувати несправність захисного заземлення, проводити нагляд за пошкодженнями електропроводів, виготовити необхідну кількість захисних щитів на підлогу.

Травмування через відсутність захисних пристроїв приводів та обертальних елементів під час роботи силового обладнання гідроелектростанції.

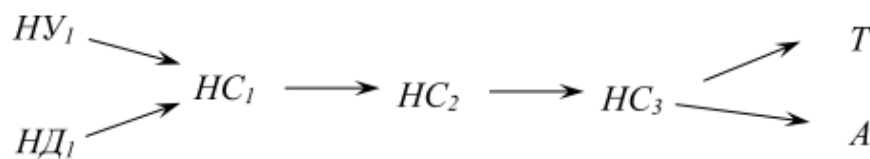


Рисунок 4.2 – Модель процесу

Здійснимо короткий аналіз даного фактора:

1. Вид робіт: обслуговування силового обладнання гідроелектростанцій;

2. Небезпечна умова (НУ): відсутні захисні пристрої приводу та гідротурбіни НУ₁;

3. Небезпечна дія (НД): при роботі працюючий знаходиться у небезпечній зоні НД₁;

4. Небезпечна ситуація (НС): захоплення одягу працівника НС₁; затягування його НС₂; заклинювання гідротурбіни НС₃;

5. Травма Т; аварія А.

Заходи запобігання небезпечним ситуаціям: організувати постійний контроль за станом і наявністю захисних пристроїв.

4.2 Вимоги з охорони праці в процесі експлуатації мікро-ГЕС

Під час експлуатації гідроустаткування мікро-ГЕС повинна бути забезпечена безперебійна його робота, постійна готовність до максимально можливого навантаження. Гідроагрегати і допоміжне устаткування, які знаходяться в експлуатації, повинні бути повністю автоматизовані. Пуск гідроагрегату в генераторний режим і режим синхронного компенсатора та виведення з генераторного режиму і режиму синхронного компенсатора, переведення гідроагрегату з генераторного режиму в режим синхронного компенсатора і навпаки повинні здійснюватися від командного імпульсу.

Гідроагрегати повинні працювати з повністю відкритими затворами, установленими на турбінних водоводах; граничне відкриття напрямного апарата гідротурбіни повинно бути не вище ніж значення, що відповідає максимально допустимому навантаженню гідроагрегату (генератора, генератора-двигуна) при даному напорі і висоті всмоктування [13].

Умови, які дозволяють пуск гідроагрегату, його нормальний та аварійний стан та незаплановану зміну навантаження, повинні бути викладені в інструкціях з експлуатації, затверджених технічним керівником гідроелектростанції, які знаходяться на робочих місцях персоналу.

Пуск гідроагрегату забороняється у випадках:

- напору, що виходить за межі допустимих значень;
- дефектів системи регулювання гідроагрегату, які призводять до невиконання гарантій регулювання і нормального управління гідроагрегатом;
- несправності пристроїв дистанційного управління аварійними затворами, клапанів зриву вакууму, клапанів впуску повітря і неробочих випусків, системи гальмування гідроагрегату.

У процесі експлуатації гідротурбіни повинен бути організований систематичний нагляд за витіканням оливи в системі регулювання гідротурбін, щоб не допускати забруднення акваторії б'єфу. У разі виявлення витікання оливи через ущільнення лопатей гідроагрегат підлягає ремонту.

4.3 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях на мікро-ГЕС

Гідроагрегат повинен бути негайно зупинений дією захистів або персоналом у таких випадках:

- пожежі в генераторі;
- зниженні тиску оливи в системі регулювання нижче допустимої межі;
- припинення потоку мастила через підшипник гідроагрегату;
- підвищенні частоти обертання ротора гідроагрегату понад значення, встановлене заводом-виробником;
- обриву тросу зворотного зв'язку у системі регулювання (за його наявності) або зникнення електричного сигналу зворотного зв'язку;
- виявлення несправності технологічних та/або електричних захистів, що діють на зупинення гідроагрегату.

Гідроагрегат повинен бути розвантажений або зупинений за узгодженням з технічним керівником мікро-ГЕС у таких випадках:

- несправній роботі системи регулювання;
- появі стукоту і невластивих шумів у проточній частині гідротурбіни або всередині генератора;
- збільшенні биття вала гідроагрегату і вібрації опорних вузлів агрегату, оливопроводів і золотників системи регулювання;
- зменшенні подачі води на змащування турбінного підшипника;
- підвищенні рівня води на кришці турбіни або в капсулі вище від допустимого значення у разі відмови або недостатній продуктивності дренажних насосів;
- порушенні нормальної роботи допоміжного устаткування, якщо усунення причин порушення неможливе без зупинки агрегату.

Значення усіх параметрів, що обмежують пуск і роботу гідроагрегату, повинні бути установлені на підставі даних заводів-виробників або спеціальних випробувань і вказані в інструкції з експлуатації.

4.4 Охорона водних ресурсів річок під час їх енергетичного освоєння

Річки є джерелами водопостачання багатьох населених пунктів, їх широко використовують при меліоративних роботах. Їх водні ресурси становлять понад 40% загального басейну річкового стоку [20].

Енергетичне освоєння малих річках, зокрема для виробництва електроенергії на гідроелектростанціях має свої наслідки. Для зменшення негативного впливу на малі річки насамперед важливо обмежитись від застосування водосховищ, адже будівництво водосховищ пов'язано з екологічними й соціальними проблемами, а саме: зменшенням площ плодоносних земель; порушенням природних водних екосистем; переселенням людей, які мешкають у зоні затоплення; скороченням кількості корисних речовин у землях, розташованих вниз за течією, тощо. Таке завдання можна вирішити за допомогою використання мікро-ГЕС. Для виробничих потреб забирають частину води з річки, використовують її кінетичну енергію для отримання електроенергії, а потім повертають до загального русла, що не впливає на якість води, вона не втрачає первинних природних якостей і може використовуватись для подальших потреб населення [13, 16].

Малі річки можуть бути збережені за раціонального і екологічно обґрунтованого освоєння їх стоку, особливо за умови використання екологічних гідроустановок. Використання мікро-ГЕС дає ряд позитивних наслідків: перетворення гідрографічної мережі; здійснення необхідного для народного господарства комплексного перерозподілу стоку в часі на потреби енергетики, меліорації, водного транспорту тощо; зменшення або повна ліквідація таких шкідливих явищ природи, як повені, селі, маловоддя; поліпшення природних умов; оздоровлення прилеглих територій; водний благоустрій.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБОК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Даний розділ присвячений техніко-економічному обґрунтуванню ефективності впровадження мікро-ГЕС на ділянці річки Голятинка біля м. Майдан Закарпатської області. Оскільки проекти малої гідроенергетики потребують значних капіталовкладень важливо шукати шляхи їх окупності та ефективності. Одним з таких шляхів є виробництво електроенергії на мікро-ГЕС та реалізації її безпосередньо у загальну електромережу за спеціальним «зеленим» тарифом.

Специфіка об'єктів гідроенергетики полягає у тому, що чим менша їх потужність тим більша питома вартість. У структурі затрат на спорудження мікро-ГЕС основні витрати припадають на будівельну частину – гідроспоруди, 45 % (рис. 6.1) [2; 5].

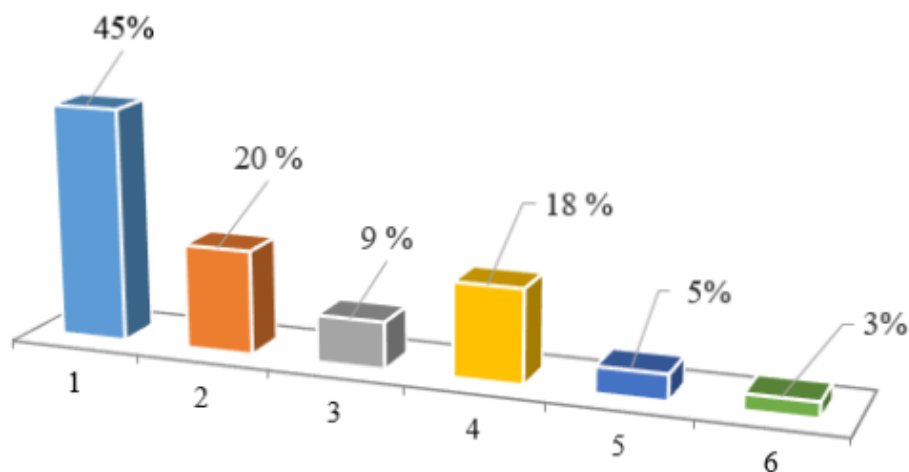


Рисунок 6.1 – Розподіл затрат на будівництво мікро-ГЕС:

- 1) будівельні роботи; 2) проектні роботи; 3) неочікувані витрати; 4) затрати на гідроагрегат; 5) електрообладнання допоміжне; 6) інше обладнання

Для визначення вартості об'єктів мікро-ГЕС скористаємось [3], де наведена технічна пропозиція будівництва мікро-ГЕС дериваційного типу на річці Боржава Закарпатської області. Документ вийшов у 2020 році, тому ціни на обладнання є актуальними.

Також для обґрунтування вартості гідроагрегату та допоміжного енергоустаткування скористались прайс-листами фірм виробників [10; 18; 25].

Формулу для визначення капіталовкладень у спорудження мікро-ГЕС на річці Голятинка запишемо [2]:

$$K = Z_{ГА} + Z_{ВВ} + Z_{Б} + Z_{ТР} + Z_{ДОП}, \text{ грн}, \quad (6.1)$$

де $Z_{ГА}$ – затрати на гідроагрегат та комплектуюче обладнання, грн; $Z_{ВВ}$ – затрати на водозабору та водоспоруди (включаючи ґрати, затвори, напірний резервуар, дериваційний водопровід, водовідвід), грн; $Z_{Б}$ – затрати на будівлю мікро-ГЕС, грн; $Z_{ТР}$ – затрати на спорудження трансформатора, грн; $Z_{ДОП}$ – затрати на допоміжне електроустаткування та обладнання, грн.

Для ГЕС встановленою потужністю до 500 кВт питомі затрати на: трансформатори, лінії електропередач – від 1000 грн/кВт, допоміжне обладнання – 1500-1800 грн/кВт, гідроагрегати – 13500-24500 грн/кВт [2; 5].

Виходячи з того, що питома вартість об'єктів мікро-ГЕС складає 70000 грн/кВт [8] визначимо капіталовкладення в будівництво мікро-ГЕС, грн:

$$K = 810000 + 1900000 + 720000 + 67000 + 84000 = 3581000 \text{ грн.}$$

Сумарні річні відрахування V_p на мікро-ГЕС розрахуємо з виразу, грн:

$$V_p = A_e \cdot K, \text{ грн}, \quad (6.2)$$

де A_e – відрахування на амортизацію (для мікро-ГЕС нормативний коефіцієнт ефективності A_e приймають 10 % від капітальних затрат [2; 11]).

$$V_p = 0,1 \cdot 3581000 = 358100 \text{ грн.}$$

Для визначення собівартості виробленої електроенергії розрахуємо річний виробіток електроенергії W , з врахуванням 80 %-вої забезпеченості витрати води, а відповідно роботи мікро-ГЕС $T = 7000$ год/рік, кВт·год

$$W_p = P \cdot t = 48,38 \cdot 7000 = 338660 \text{ кВт·год.} \quad (6.3)$$

Тоді собівартість виробленої електроенергії z_z , грн/ кВт·год:

$$z_z = \frac{B_p}{W_p} = \frac{358100}{338660} = 1,05, \text{ грн/кВт·год.} \quad (6.4)$$

Для визначення терміну окупності мікро-ГЕС розрахуємо прибуток від виробленої та реалізованої електроенергії. Оскільки в даному дослідженні вироблена електроенергія подається в загальну мережу, та врахувавши, що за умовами «зеленого» тарифу, держава зобов'язується закуповувати електроенергію вироблену на ГЕС потужністю до 150 кВт, за ціною $k_{z,t} = 4,84$ грн/ кВт·год [22], прибуток Π визначимо, грн

$$\Pi = W_p \cdot (k_{z,m} - z_z) = 338660 \cdot (4,84 - 1,05) = 1283521 \text{ грн.} \quad (6.5)$$

Термін окупності мікро-ГЕС розрахуємо, грн

$$T = \frac{K}{\Pi} = \frac{3581000}{1283521} = 2,78 \text{ років.} \quad (6.6)$$

Отже, спорудження мікро-ГЕС на річці Голятинка встановленою потужністю 48,34 кВт, яка буде працювати на загальну мережу 7000 год/рік, дасть змогу виробити 338660 кВт·год. За наявного «зеленого» тарифу термін окупності такої мікро-ГЕС складатиме менше трьох років.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі зроблено аналіз перспектив використання мікро-ГЕС на гірських річках Карпатського регіону. Встановлено, що потенціал річок регіону, що становить 275 МВт, можна використати як для подачі виробленої електричної енергії у електромережу так і для забезпечення потреб автономного споживача.

Обґрунтовано, що для зменшення негативного впливу на навколишнє середовище доцільно відмовитись від гідротехнічних споруд, зокрема гребель, які затоплюють значні площі. Проаналізувавши безплотинні гідроелектростанції встановлено, що для умов передгірської місцевості ефективним є використання дериваційних мікро-ГЕС.

Для проектування мікро-ГЕС обрано ділянку річки Голятинка біля м. Майдан Закарпатської області. Обґрунтовано місце розташування мікро-ГЕС, та визначено складові гідроенергетичного потенціалу досліджуваної ділянки.

Для даної ділянки обґрунтовано тип та структуру мікро-ГЕС з роботою на загальну мережу, зокрема гідроагрегат у складі пропелерної турбіни Hydro-eKIDS Туре М та асинхронного генератора ГА-315-75-14УЗ, і дериваційний закритий трубопровід діаметром 1,2 м та довжиною 40 м.

Представлено питання охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях, дано рекомендації щодо їх покращення. Приведені заходи з охорони довкілля.

Спорудження мікро-ГЕС на річці Голятинка встановленою потужністю 48,34 кВт дасть змогу виробити 338660 кВт·год на рік. За наявного «зеленого» тарифу термін окупності такої мікро-ГЕС складатиме менше трьох років.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Бабич М. І. Обґрунтування варіантів конфігурації проекту мікрогідроенергетики Карпатського регіону України. *Вісник Львівського державного аграрного університету : агроінженерні дослідження*. 2007. № 11. С. 37–43.
2. Боярчук В., Бабич М., Кригуль Р., Шолудько Я. Дослідження функціональних та вартісних показників малих гідроелектростанцій. *Вісник Львівського національного аграрного університету : агроінженерні дослідження*. 2013. № 17. С. 281-286.
3. Будівництво мікро ГЕС дериваційного типу на р. Боржава. URL: <https://uamap.org.ua/storage/uploads/3740.pdf> (дата звернення: 15.02.2023).
4. Васько П. Ф., Мороз А. В. Потенціал використання гідроенергетичних ресурсів основних малих річок України. *Відновлювальна енергетика України*. 2016. № 3. С. 50-56.
5. Віхорев Ю. О. Аналіз особливостей впровадження об'єктів малої гідроенергетики в Україні та європейських країнах. *Гідроенергетика України*. 2005. № 3. С. 56–60.
6. Власюк Ю. С., Стефанишин Д. В. Про проблеми та перспективи малої гідроенергетики в Україні. Математичне моделювання в економіці. 2018. № 1. С. 126-138.
7. Вовчак В., Тесленко О., Самченко О. «Мала гідроенергетика України. Аналітичний огляд. Том І». Інститут проблем екології та енергозбереження. Київ. 2018. 181 с.
8. Вовчак В., Тесленко О., Самченко О. «Мала гідроенергетика України. Технологічні особливості малих ГЕС. Том ІІ». Інститут проблем екології та енергозбереження. Київ. 2018. 145 с.
9. Гідроенергетика. веб-сайт. URL: <https://saee.gov.ua/uk/ae/hydroenergy>. (дата звернення: 10.01.2023).
10. Генератори НВП «НКЕМЗ»: веб-сайт. URL:

<https://nkmez.com.ua/>(дата звернення: 21.03.2023).

11. Золотухін В.І., Лутаєв В.В. Водноенергетичні розрахунки при проектуванні гідроелектростанцій : навч. посіб. Рівне, 2005. 203 с.

12. Карамушка О. М. Мала гідроенергетика – основа подальшого соціально-економічного розвитку західної України. *Гідроенергетика України*. 2021. № 1-2. С. 13-16.

13. Ландау Ю. М., Сіренко Л. И. Гідроенергетика і навколишнє середовище. Київ: Лібра, 2004. 481 с.

14. Мала гідроенергетика на Закарпатті: веб-сайт. URL: https://zn.ua/ukr/energy_market/mala-gidroenergetika-na-zakarpatti-pershiy-mlinec-blevkiy-.html (дата звернення: 12.12.2021).

15. Огляд ситуації щодо гідроенергетики в Україні. URL: https://sensor.net.ua/blogs/4415/oglyad_situats_schodo_gdroenegetiki_v_ukran (дата звернення: 11.11.2021).

16. Охорона та раціональне використання природних ресурсів і рекультивация земель: навч. пос. / П.П. Надточій, Т.М. Мислива, В.В., Морозов та ін.; За заг. ред. П.П. Надточія, Т.М. Мисливої. Житомир: Видавництво “Державний агроекологічний університет”, 2007. 420 с.

17. Пістун І. П. Безпека життєдіяльності: навч. посіб. Суми : Університетська книга, 1999. 301 с.

18. Прайс-лист Міні ГЕС. URL: http://www.stozhary.biz/price_miniges.php (дата звернення: 11.04.2023).

19. Принципи збалансованого розвитку гідроенергетики : Аналітичний документ / Г. К. Веремійчик, Р. Б. Гаврилюк, та ін. Київ : Видавництво «Фенікс», 2018. 20 с.

20. Сухарев С. М., Чудак С. Ю., Сухарева О. Ю. Техноекологія та охорона навколишнього середовища : навч. посібник. Львів: Новий світ, 2004. 280 с.

21. Суходоля О. М., Сидоренко А. А., Бегун С. В., Білуха А. А. Сучасний стан, проблеми та перспективи розвитку гідроенергетики України : аналіт.

доп. Київ : НІСД, 2014. 112 с.

22. Україна після “зеленого” тарифу. Нові механізми підтримки відновлюваної енергетики. URL: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2021/03/energia-vde-s.pdf> (дата звернення: 16.01.2023).

23. Щербина О. М. Гідроенергетика західного регіону. *Зелена енергетика*. 2003. № 2. С. 20–22.

24. Щербина О. М. Енергія для всіх: техн. довідник. Ужгород : Вид-во В. Падяка, 2000. 192 с.

25. Hydro-eKIDS Type M. Micro hydro power generating equipment. URL: <http://www.bur-oak-resources.ca/attachments/ekids.pdf>. (дата звернення: 22.02.2023).

26. Micro Hydropower System - A Buyer's Guide. URL: https://energypedia.info/wiki/File:Micro_Hydropower_System_-_A_Buyer%27s_Guide.pdf (дата звернення: 17.01.2023).