

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Поліщук Павло Миколайович

УДК 621.359.4

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Розробка варіанту будівництва малої гідроелектростанції для
забезпечення електроенергією у важкодоступних місцях**
(тема роботи)

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

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

Поліщук П.М.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Савченко Л.Г.

(прізвище, ім'я, по батькові)

**к.і.н., доцент кафедри електрифікації,
автоматизації виробництва та інженерної екології**
(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир – 2025

АНОТАЦІЯ

Поліщук П.М. Розробка варіанту будівництва малої гідроелектростанції для забезпечення електроенергією у важкодоступних місцях. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка – Поліський національний університет, Житомир, 2025.

Малі гідроелектростанції (МГЕС) відіграють значну роль у розвитку сталої енергетики та децентралізації енергопостачання. Їхнє значення обумовлене рядом факторів, що роблять їх привабливими у контексті сучасних енергетичних викликів. Перш за все, МГЕС використовують відновлювальний ресурс – енергію води, що забезпечує екологічно чисте виробництво електроенергії. У роботі розглядаються приклади розрахунків по створенню малих гідроелектростанцій для Карпатського регіону.

Ключові слова: гідроелектростанції, греблі, гідроакумулятори, турбіна.

ABSTRACT

Polischuk P.M. Development of a small hydropower plant construction option for providing electricity in hard-to-reach areas. Qualification work for obtaining a bachelor's degree in specialty 141 – Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics – Polissia National University, Zhytomyr, 2025.

Small hydropower plants (SHPPs) play a significant role in the development of sustainable energy and the decentralization of power supply. Their importance is due to a number of factors that make them attractive in the context of modern energy challenges. First of all, SHPPs use a renewable resource – water energy, which ensures environmentally friendly electricity production. The paper considers examples of calculations for the creation of small hydropower plants for the Carpathian region.

Keywords: hydropower plants, dams, pumped storage, turbine.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. АРХІТЕКТУРА ГЕС: ЕЛЕМЕНТИ ТА ФУНКЦІЇ	6
1.1. Гідроелектричні станції. Основні Типи.	7
1.2 Переваги ГЕС	11
1.3 Недоліки ГЕС	12
1.4 Вплив на навколишнє середовище	14
1.5 Економічна доцільність	15
Висновок по першому розділу	18
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ РІЧОК КАРПАТ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ТА ВСТАНОВЛЕННЯ МАЛОЇ ГЕС.	19
Висновки по другому розділу	23
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ТА РОЗРАХУНКИ МАЛИХ ГЕС	24
3.1. Розрахунок міні-гідроелектростанції горизонтального розташування обертового колеса.	24
3.2. Варіанти концепцій міні-гідроелектростанцій.	26
3.3 Розрахунок встановлення гідроелектростанції в Карпатах.	28
Висновки по третьому розділу	31
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	33
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	34

ВСТУП

В умовах глобального кліматичного кризу та прагнення до декарбонізації енергетичного сектору, питання про необхідність малих гідроелектростанцій (МГЕС) набуває особливої актуальності. З одного боку, вони представляються як відновлюване джерело енергії, здатне зменшити залежність від викопного палива. З іншого боку, критика щодо їхнього впливу на місцеві екосистеми річок стає все більш гучною.

Необхідність МГЕС визначається насамперед потребами регіональної енергетичної безпеки, особливо у віддалених місцевостях, де доступ до централізованих мереж ускладнений. Вони можуть забезпечити стабільне енергопостачання, сприяючи розвитку місцевого виробництва та зменшуючи енергетичну бідність. Крім того, МГЕС потенційно можуть бути інтегровані у децентралізовані енергетичні системи, підвищуючи їхню стійкість та надійність.

Проте, екологічні наслідки будівництва та експлуатації МГЕС не можуть бути проігноровані. Зміна гідрологічного режиму річок, порушення міграційних шляхів риб, зміна біорізноманіття – це лише частина потенційних проблем. Тому, прийняття рішення про будівництво МГЕС має базуватися на комплексному екологічному аналізі та враховувати соціально-економічні потреби місцевих громад.

Отже, необхідність малих гідроелектростанцій є складним питанням, що потребує збалансованого підходу. Їхня роль у забезпеченні енергетичної безпеки не може бути заперечена, проте екологічні ризики вимагають ретельної оцінки та впровадження заходів з мінімізації негативного впливу. Лише за умови дотримання суворих екологічних стандартів та врахування інтересів місцевих громад, МГЕС можуть стати дійсно ефективним та екологічно прийнятним джерелом енергії.

Основною метою є забезпечення децентралізованого виробництва електроенергії з відновлювального джерела – енергії води. Це сприяє диверсифікації енергетичного балансу країни, зменшує залежність від

імпортованих енергоносіїв та знижує викиди парникових газів, що позитивно впливає на екологічну ситуацію.

Предмет дослідження охоплює розробку практичного варіанту будівництва малої гідроелектростанції (МГЕС) для забезпечення сталим електропостачанням важкодоступних регіонів.

Об'єктом дослідження в даній роботі виступає процес будівництва малої гідроелектростанції (МГЕС).

Методи дослідження є створення технічно обґрунтованого, економічно ефективного та екологічно безпечного рішення для забезпечення електроенергією у важкодоступних місцях за допомогою МГЕС.

Перелік публікацій автора за темою дослідження :

1. Поліщук П. М.

ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАЦІЙ

«СТУДЕНТСЬКІ ЧИТАННЯ – 2024» ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ 31 жовтня 2024 року м. Житомир.

2. Почивалова П. Ю., Поліщук П. М.

ВЗАЄМОДІЯ SCADA ТА РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ: СИНЕРГІЯ ДЛЯ НАДІЙНОСТІ ЕНЕРГОСИСТЕМИ.

НАУКОВІ ЧИТАННЯ за підсумками I-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей НАДІЙНОСТІ ЕНЕРГОСИСТЕМИ 23 квітня 2025 р. м. Житомир

РОЗДІЛ 1

АРХІТЕКТУРА ГЕС: ЕЛЕМЕНТИ ТА ФУНКЦІЇ

Кількість електроенергії, яку може виробляти гідроелектростанція, залежить від кількості води, що проходить через турбіну (об'єм потоку води) та висоти, з якої вода «падає» (напір). Чим більший потік і напір, тим більше виробляється електроенергії. Щоб використовувати енергію проточної води, воду необхідно спочатку контролювати. Таким чином, створюється велике водосховище, зазвичай шляхом перекриття річки для створення штучного озера або водосховища. Потім вода направляється через тунелі в греблі. Сила води, що протікає через тунелі греблі, змушує обертатися турбіни, а турбіни, в свою чергу, приводять в рух генератори. Генератори – це машини, які виробляють електроенергію. Трансформатор всередині фактичної електростанції приймає змінний струм і перетворює його на струм більш високої напруги. Інженери контролюють систему водозабору. Коли потрібно багато енергії, більшість тунелів до турбін відкриті, і через них проходять мільйони галонів води. Коли потрібно менше енергії, інженери можуть уповільнити роботу впускної системи, закривши деякі тунелі. Існують також відвідні трубопроводи, якими використана вода повертається в річку вниз за течією для повторного використання. З екологічної точки зору, це чудовий спосіб контролювати кількість виробленої енергії, оскільки вода практично не витрачається даремно. Використовується лише реально необхідна кількість. Під час повеней водозабірній системі допомагає водоскид. Водоскид — це, по суті, споруда, яка дозволяє воді текти прямо в річку або іншу водойму нижче греблі, минаючи всі тунелі, турбіни та генератори. Водоскиди запобігають пошкодженню греблі та громади, що оточує греблі. Водоскиди виглядають як довгі пандуси і, як правило, більшу частину часу порожні та сухі, якщо тільки це не потрібно у випадку затоплення системи. Вода у водосховищі вважається потенційною запасеною енергією. Коли ворота відкриваються, потенційна

енергія води, що протікає через затвор, стає кінетичною енергією, тому що вона знаходиться в русі. Кількість виробленої електроенергії визначається кількома факторами. Двома з цих факторів є об'єм потоку води та величина гідравлічного напору. Напір відноситься до відстані між поверхнею води і турбінами. Зі збільшенням напору та витрати збільшується і вироблена електроенергія. Племінна енергія та енергія навколишнього середовища.

Гідроелектростанції, по суті, вловлюють енергію, що вивільняється водою, яка падає вертикально, і перетворюють цю енергію на корисну електроенергію. Як правило, вода, що падає, проходить через турбіну, яка перетворює енергію води на механічну енергію. Обертання водяних турбін передається генератору, який виробляє електроенергію. Важливим розрахунком, який слід враховувати при будівництві та визначенні того, яка витрата води необхідна для отримання певної кількості кВт електроенергії на гідроелектростанції, є наступне рівняння/розрахунок [1]:

$$P = eHQg, \quad (1)$$

де P – вихідна електрична потужність, кВт;

e – ефективність;

H – напір у метрах (наскільки далеко знаходиться крапля води);

Q – розрахункова витрата, м³/с;

g – гравітаційна стала, 9,81 м/с²[4].

1.1 Гідроелектричні станції. Основні Типи.

Як вже згадувалося, гідроелектростанції зазвичай можна поділити на дві категорії: електростанції «Високий напір» та «Низький напір». «Високий напір» є найбільш поширеним типом і зазвичай використовує греблю для зберігання води на більшій висоті. Використання греблі також дає можливість накопичувати воду в дощові періоди та скидати її в посушливі періоди. Це призводить до стабільного і, отже, надійного виробництва електроенергії, здатної задовольнити вищі потреби. Напір для цього типу силової установки може бути більшим за 1000 метрів. Високонапірні електростанції з

накопичувачами дуже цінні для електроенергетичних компаній, оскільки їх можна швидко налаштувати для задоволення потреби в електроенергії в розподільчій системі [2].

Низьконапірні гідроелектростанції – це електростанції, які зазвичай використовують напір всього кілька метрів або менше. Електростанції цього типу можуть використовувати низьку греблю для відведення води або не використовувати греблю взагалі, а просто використовувати «річище річки». Річкові електростанції не можуть накопичувати воду, тому їхня електрична потужність залежить від сезонної витрати води в річці. Великий об'єм води повинен пройти через турбіни низьконапірної гідроелектростанції, щоб виробити корисну кількість енергії [3].

Гідроелектростанції потужністю менше приблизно 25 мегават (1 МВт = 1 000 000 ват) зазвичай називають «малими гідроелектростанціями», хоча гідроенергетична технологія в основному однакова незалежно від генерованої потужності.

Рівняння, яке найкраще описує співвідношення «високий напір» і «низький напір», — це закон Дарсі. Закон Дарсі дозволяє оцінити середній час проходження від джерела водоносного горизонту до точки, розташованої нижче за течією. Він забезпечує точний опис потоку підземних вод майже у всіх гідрогеологічних середовищах. Анрі Дарсі був французьким інженером, який вивчав рух води через пісок у 1856 році. Він виявив, що швидкість потоку води через трубку пропорційна різниці у висоті води між двома кінцями трубки і обернено пропорційна довжині трубки. Він також виявив, що потік пропорційний коефіцієнту K , який називається гідравлічною провідністю. Хоча закон Дарсі був заснований лише на повільно рухомих ґрунтових водах у замкнутих водоносних горизонтах, більшість законів допомогла розробити рівняння для інших умов водоносних горизонтів, які ми використовуємо сьогодні, таких як гідроенергетика. Рівняння для закону Дарсі:

$$Q = -KA[(hA - hB) / L] \text{ АБО } Q = -KA(dh/dl), \quad (2)$$

де Q – об'єм потоку води в м³/день;

K – гідравлічна провідність у футах/день;

A – площа поперечного перерізу у фут²;

dh/dl – гідравлічний градієнт (зміна напору, dh , залежно від відстані, dl).

Від'ємний знак вказує на напрямок потоку, який спрямований до нижчого гідравлічного напору. Ідея полягає в тому, що підземні води течуть або переміщуються з областей з вищим гідравлічним напором до областей з нижчим гідравлічним напором, як згадувалося раніше. На основі закону Дарсі ми можемо оцінити швидкість води або швидкість руху води між точками (як у випадку з гідроелектричними турбінами). Швидкість розраховується з використанням гідравлічної провідності, пористості та гідравлічного градієнту. Рівняння, що використовується для розрахунку швидкості води, має наступний вигляд:

$$V = (K/n) (dh/dl), \quad (3)$$

де n – пористість;

K – константа пропорційності (спосіб пов'язати зведені витрати з втратами напору та довжиною колони);

dh/dl – гідравлічний градієнт.

«Гідроакумулювання» — це ще одна форма гідроенергетики. Насосні гідроакумулюючі електростанції (ГАЕС) використовують надлишкову потужність електричної системи, яка зазвичай доступна в нічний час, для перекачування води з одного резервуара в інший резервуар, розташований на більшій висоті. У періоди пікового попиту на електроенергію вода з верхнього резервуара скидається через турбіни в нижній резервуар, і виробляється електроенергія. Хоча гідроакумулюючі електростанції не є чистими виробниками електроенергії (фактично, для перекачування води потрібно більше електроенергії, ніж відновлюється при її скиданні), вони є цінним доповненням до систем електропостачання. Їх цінність полягає в їх здатності накопичувати електроенергію для використання у більш пізній час, коли виникають пікові навантаження.

При проектуванні гідроелектростанції необхідно враховувати низку елементів та обладнання. Розмір греблі, розмір і глибина басейну, контрольні ворота, турбіни, генератори, трансформатори тощо – все це необхідно оглянути. Стратегічне розташування гідроелектростанцій знаходиться поруч із водоспадами, оскільки вода, що стікає по лінії падіння, сповнена енергії та може забезпечити електроенергією мільйони домівок. Відомим прикладом цього є гідроелектростанція біля Ніагарського водоспаду, розташована на кордоні між США та Канадою. Однак найбільшою гідроелектростанцією у світі є гребля "Три ущелини", перекинута через річку Янцзи в Китаї. Її висота 185 метрів, а товщина біля основи 115 метрів (Відділ водних ресурсів). Він має загалом 26 турбін і загальну генеруючу потужність 18 000 мегават, яка забезпечує енергією мільйони домівок, підприємств і шкіл по всьому Китаю. Хоча гребля "Три ущелини" працює, інженери все ще працюють над підвищенням її ефективності. В даний час вони додають до проекту ще більше турбін і генераторів [4].

На рис.1. показано, як виглядає зсередини гідроелектростанція:

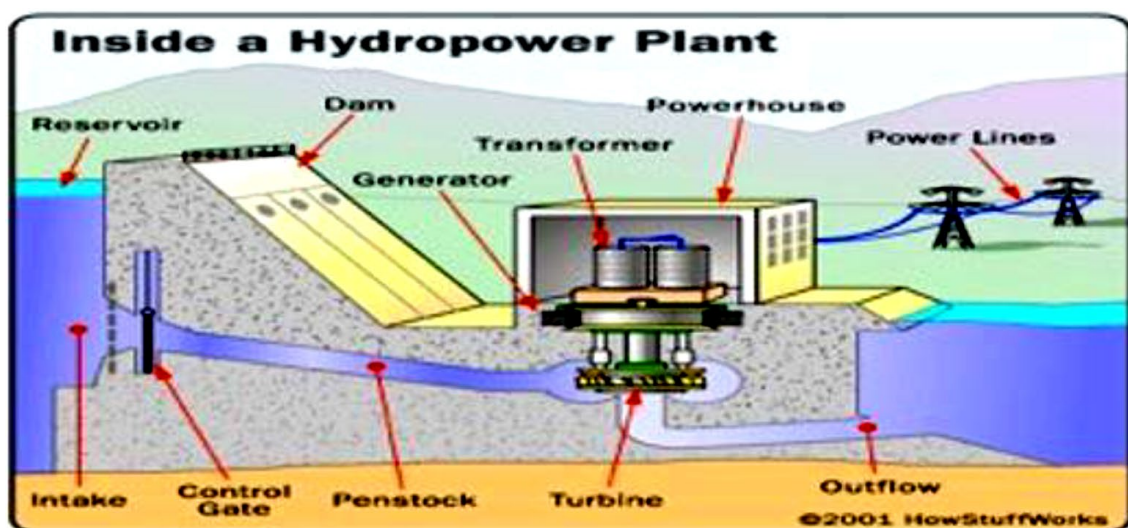


Рис. 1. – Будова ГЕС

Гідроенергетика забезпечує майже всю енергію для деяких країн. Норвегія, Бразилія та Демократична Республіка Конго отримують понад 90% електроенергії від гідроелектростанцій. Найбільшою гідроелектростанцією США є електростанція Гранд-Кулі потужністю 6800 мегаватів на річці

Колумбія в штаті Вашингтон. Побудована в 1942 році, Гранд-Кулі сьогодні є однією з найбільших гідроелектростанцій у світі після гідроелектростанції Ітайпу потужністю 13 320 мегаватів на річці Парана між Парагваєм і Бразилією. У 2009 році вона виробила майже 58 мільйонів мегаватів електроенергії. Крім того, гребля Гувера, одна з найбільших гребель, була побудована під час Великої депресії. Гребля Гувера досі використовується, забезпечуючи електроенергією 1,7 мільйона людей в Арізоні, Каліфорнії та Неваді. Його часто вважають великою інженерною спорудою, і він названий на честь Герберта Гувера, президента США, який допоміг здійснити проект. З точки зору того, скільки енергії система може виробляти, гідроелектростанції зазвичай мають розмір від кількох сотень кіловат до кількох сотень мегават, але кілька величезних електростанцій мають потужність близько 10 000 мегават, щоб забезпечувати електрикою мільйони людей. За даними Національної лабораторії відновлюваних джерел енергії, загальна потужність світових гідроелектростанцій становить 675 000 мегават, що дозволяє виробляти понад, але кілька величезних електростанцій мають потужність близько 10 000 мегават, щоб забезпечувати електрикою мільйони людей. За даними Національної лабораторії відновлюваних джерел енергії, загальна потужність світових гідроелектростанцій становить 675 000 мегават, що дозволяє виробляти понад 2,3 трильйони кіловат-годин електроенергії щорічно; постачає 24% електроенергії у світі [5].

1.2 Переваги ГЕС

Існує багато переваг щодо того, чому ми повинні використовувати гідроелектроенергію та інвестувати в неї. Перша перевага полягає в тому, що після побудови греблі електроенергія може вироблятися з постійною швидкістю. Якщо електроенергія не потрібна, то ворота шлюзу можна закрити, щоб зупинити виробництво електроенергії. Це також є перевагою, оскільки воду можна зберегти для використання іншим разом, коли попит на електроенергію високий. Озеро, яке утворюється за греблею, можна використовувати для занять водними видами спорту та інших видів активного

відпочинку. Часто великі греблі ставали туристичними визначними пам'ятками. Ще однією перевагою є те, що під час використання електроенергія, вироблена гідроелектростанціями, не виробляє парникових газів і жодним чином не забруднює атмосферу, як це роблять газові, вугільні чи нафтові електростанції. Сьогодні гідроенергетика запобігає викидам парникових газів, що відповідає спалюванню 4,4 мільйона барелів нафти на день у всьому світі, що є дуже значною кількістю. Гідроелектроенергія також сприяє зберіганню питної води, оскільки водосховища електростанцій збирають дощову воду, яку потім можна використовувати для споживання або для зрошення. Запасаючи воду, вони захищають ґрунтові води від виснаження та знижують нашу вразливість до повеней і засух. Гідроенергетика також сприяє гарантованій стабільності енергії та цін. Річкова вода є місцевим ресурсом, який, на відміну від палива чи природного газу, не піддається ринковим коливанням. Крім того, середній термін служби гідроелектростанцій становить від 50 до 100 років, і це довгострокові інвестиції, які можуть принести користь різним поколінням.

1.3 Недоліки ГЕС

Як і будь-яка технологія відновлюваної енергії, гідроелектроенергія також має різні недоліки. Перший недолік полягає в тому, що вона порушує водні екосистеми. Греблі, побудовані поперек річок, можуть турбувати водне життя та призводити до його масштабного руйнування. Існує ймовірність того, що риба та інші водні тварини можуть потрапити у водогін і, зрештою, в турбіни електростанції, де вони загинуть. Греблі також можуть заважати шлюбним сезонам і місцям спарювання водних тварин. У деяких випадках водним тваринам доводиться плисти проти течії води в період розмноження. Якщо на шляху мігруючих риб побудувати греблю, вони можуть застрягти.

Там і вбивали, так і не дійшовши до місця призначення. Це може призвести до знищення популяції риб. Ще одним недоліком гребель гідроелектростанцій є руйнування, які вони спричиняють у прилеглих районах. Рослинний і тваринний світ навколо річок процвітає завдяки постійному течією прісної

води в річці. Через будівництво дамб доводиться розчищати безліч територій, що порушує рослинний і тваринний світ. У багатьох випадках доводиться вирубувати дерева, що знищує не тільки рослинне життя, а й тварин, які від них залежать. Навіть зміна русла течії води в річці через будівництво греблі порушує рослинний і тваринний світ. Третій недолік полягає в тому, що для цього потрібні великі земельні площі, оскільки для їх підключення до національної мережі необхідні електростанції та трансформатори. Це потребує вирубки лісів, порушуючи роботу багатьох місцевих природних екосистем. Нарешті, оскільки греблі будуються в таких великих масштабах, людям часто доводиться переїжджати. Це стає досить незручним для багатьох людей і, таким чином, викликає масові протести та повстання проти будівництва гребель. В Індії, наприклад, великий опір одному з найбільших гідроенергетичних проектів під назвою «Сардар Саровар». Хоча мільйони людей отримують вигоду від проекту, уряд не вирішив важливе питання переселення людей, які були переміщені з прилеглих районів проекту. Це призвело до однієї з найбільших акцій протесту в історії Індії, під час якої були голодування, марші протесту і навіть напади поліції на протестувальників. Оскільки греблі будуються в таких великих масштабах, людям часто доводиться переїжджати. Це стає досить незручним для багатьох людей і, таким чином, викликає масові протести та повстання проти будівництва гребель.

1.4 Вплив на навколишнє середовище

З точки зору впливу на навколишнє середовище/відходів, гідроенергетика має свою частку недоліків. Хоча гідроенергетика дозволяє виробляти електроенергію без використання викопного палива та без його викидів, ця технологія має різні наслідки для довкілля. Перший вплив на навколишнє середовище полягає в тому, що, оскільки для роботи гідроелектростанцій потрібні великі водосховища, це може спричинити затоплення берегів річок, що може зруйнувати біологічно багаті райони, такі як місця проживання водно-болотних угідь. Ще один вплив на навколишнє

середовище припадає на тропічні регіони: резервуари електростанцій можуть виробляти значну кількість метану через розкладання рослинного матеріалу в затоплюваних районах, який є парниковим газом. Резервуари можуть збирати відкладення, які концентрують поживні речовини, а також забруднюючі речовини. Коли ці відкладення накопичуються, це призводить до обміління водойм. Згідно зі звітом Всесвітньої комісії з гребель, «там, де водосховище велике порівняно з генеруючою потужністю (менше 100 ват на квадратний метр площі поверхні) і перед засипкою водосховища не проводилася вирубка лісів у цьому районі, викиди парникових газів з водосховища можуть бути вищими, ніж у звичайної теплової електростанції, що працює на рідкому паливі». Таким чином, це спричинить набагато більшу шкоду та викид метану, ніж при природному розпаді лісу. Деякими ключовими факторами, що впливають на викиди з водосховища, є дегазація, наприклад, видалення газів з води, бульбашки метану, ріст і розкладання планктону, розкладання затопленої біомаси та ґрунту, надходження вуглецю з водозбору, ріст і розкладання водних рослин, тривалість річного льоду, дифузія CO₂.

Експлуатація електростанції може також призвести до підвищення температури води у водосховищі, що може спричинити міграцію рослин і тварин поблизу греблі в інші місця, тим самим змінюючи місцеве природне середовище існування в регіоні. Ще один вплив полягає в тому, що гідроелектростанції можуть порушити водні екосистеми як вгору, так і вниз за течією від майданчика електростанції. Наприклад, деякі дослідження показали, що греблі, розташовані вздовж атлантичного та тихоокеанського узбережжя Північної Америки, скорочують популяцію лосося, оскільки не дозволяють їм рухатися вгору за течією. Однак на деяких греблях, таких як гребля Бонневіль, встановлені «рибні драбини», щоб допомогти рибі мігрувати, особливо тим, які намагаються плисти вгору за течією. Рибні драбини являють собою серію широких сходинок, побудованих на березі річки та греблі, і дозволяють рибі повільно плисти вгору за течією замість того, щоб бути повністю заблокованою греблею. Ще одним недоліком є те, що

гідроенергетика часто тягне за собою зміну природних коливань води в даному природному водотоці. Зміни рівня води протягом року можуть спричинити ерозію та інші проблеми на прилеглих територіях, наприклад, втрату берегів річок. Нарешті, лінії електропередачі, побудовані для гребель гідроелектростанцій, можуть вплинути на популяції птахів в результаті зіткнення або короткого замикання через контакт птахів з цими штучними спорудами.

1.5 Економічна доцільність

Гідроелектроенергія має різні фактори, які впливають на її загальну структуру витрат та економіку. Ці витрати включають в себе інвестиційні витрати (купівля землі, будівництво греблі, придбання турбін, генераторів змінного струму та іншого електрообладнання тощо) та експлуатаційні витрати протягом усього терміну служби об'єкта, наприклад, витрати на технічне обслуговування та заробітну плату. Приблизно 75% витрат на гідроелектроенергію становлять інвестиційні витрати (початковий капітал та відсотки), що робить загальні витрати стабільними на етапах виробництва електроенергії (порівняно з газовими турбінами, вугільними тепловими або водо-водяними ядерними реакторами). Сьогодні світові гідроелектростанції мають загальну потужність 675 000 мегават і виробляють понад 2,3 трильйони кіловат-годин енергії на рік. Це забезпечує приблизно одну чверть електроенергії у світі. Багато країн за межами Північної Америки отримують значну частину електроенергії від гідроелектростанцій. Наприклад, майже десять років тому 99% електроенергії в Норвегії вироблялося за допомогою гідроелектростанцій. У 2010 році в США було вироблено близько 159,74 гігават.

За даними Агентства енергетичної інформації, це приблизно 6,67% від загального обсягу виробництва в США. З точки зору структури собівартості, гідроелектроенергія має високі початкові витрати. Середня початкова вартість будівництва греблі або гідроелектростанції становить близько 1,2 мільйона доларів, а щорічні витрати на технічне обслуговування становлять близько 12

368 доларів. Однак, усі початкові витрати залежать від розміру та потужності греблі. Наприклад, гребля Гувера має потужність 2,8 млн кВт і коштувала близько 49 млн доларів, що майже дорівнює вартості атомної електростанції. З іншого боку, гребля «Три ущелини», за даними BBC News, коштувала близько 25–75 мільярдів доларів, а вихідна потужність становить близько 49 мільйонів кВт-год. Хоча гідроелектростанція має високі капітальні витрати, витрати на технічне обслуговування мінімальні, якщо порівнювати з деякими іншими джерелами виробництва енергії. Термін служби установки можна економічно продовжити за рахунок відносно недорогого обслуговування та періодичної заміни обладнання (заміна робочих коліс турбіни, перемотування генераторів тощо). Як правило, гідроелектростанція, що експлуатується протягом 40–50 років, може подвоїти свій термін служби.

Порівнюючи вартість електроенергії з початковими інвестиціями в гідроенергетичну систему, період окупності невеликий. Теоретично, гідроелектростанція повинна бути в змозі виробляти електроенергію за фіксовану суму протягом усього терміну служби агрегату. Експлуатаційні витрати не повинні змінюватися, тому що немає пов'язаної ціни на воду. На відміну від електростанцій, що працюють на викопному паливі, ціна на природний газ, вугілля тощо коливається в залежності від того, що робить ринок. Щодо палива, гідроенергетика не потребує палива, як більшість інших джерел енергії. Це величезна перевага в порівнянні з іншими видами викопного палива, вартість яких різко зростає з кожним роком. З точки зору транспорту, країни без великих річок не можуть отримати гідроелектроенергію. Однак, в країнах, де є великі річки, транспортування гідроелектроенергії не є проблемою. Електроенергія виробляється на самій греблі, а потім транспортується в міста по електричних кабелях. Отже, поки в країні є річки, придатні для будівництва гребель, вироблена електроенергія буде доступна всім, хто підключений до енергосистеми. По суті, основні витрати ГЕС складаються в основному з будівництва станції, без подальших витрат на паливо та його транспортування. Гідроенергетика є одним з

найдешевших способів отримання електроенергії. В середньому, виробництво електроенергії на гідроелектростанції коштує близько семи центів за кіловат-годину. Переобладнавши обладнання на гідротехніці, ви можете підвищити його ефективність. Покращення всього на 1% забезпечить електроенергією додатково 300 000 домогосподарств. Також важливо відзначити, що уряд субсидує витрати та потужність, пов'язані з гідроенергетикою. Право власності та розподіл електроенергії належить різним адміністраціям з продажу електроенергії. Роль цих адміністрацій полягає в тому, щоб продавати гідроелектроенергію споживачам за мінімально можливими цінами, дотримуючись при цьому принципів ведення бізнесу. Цими адміністраціями, які є частиною Міністерства енергетики США, є Енергетична адміністрація Бонневілля, Південно-Східна енергетична адміністрація, Південно-Західна енергетична адміністрація та Енергетична адміністрація західного регіону.

У порівнянні з іншими методами використання відновлюваних джерел енергії, гідроелектроенергія залишається досить конкурентоспроможною, оскільки при спалюванні викопного палива, такого як двоокис сірки, окис азоту, окис вуглецю та ртуть, не утворюються викиди парникових газів. Це також дозволяє уникнути небезпек і впливу видобутку вугілля на навколишнє середовище та здоров'я людини. У порівнянні з ядерною енергетикою, вона не виробляє ядерних відходів (тому немає потреби шукати рішення для зберігання відходів) і немає небезпек, пов'язаних з видобутком урану. Наприклад, порівняно з вітровими та сонячними електростанціями, гідроелектростанції більш передбачувані, оскільки вони мають резервуар для зберігання і можуть генерувати електроенергію, коли це необхідно. Їх також можна легко регулювати відповідно до вимог і змін потужності. Крім того, з точки зору задоволення світових потреб в енергії, гідроелектростанції здатні це зробити. Наприклад, у 1998 році гідроелектростанції Норвегії та Демократичної Республіки Конго забезпечували 99% електроенергії кожної країни, а гідроелектростанції Бразилії забезпечували 91% всього споживаної

електрики. У США понад 2000 гідроелектростанцій роблять гідроелектроенергію найбільшим джерелом відновлюваної енергії в країні (на 49%). В цілому США збільшили виробництво гідроелектроенергії з приблизно 16 мільярдів кіловат-годин у 1920 році до майже 306 мільярдів кіловат-годин у 1999 році. Проте Канада на сьогоднішній день є найбільшим виробником гідроелектроенергії у світі. У 1999 році вона виробила понад 340 мільярдів кіловат-годин електроенергії, або 60% всієї електроенергії, що значно перевищує частку гідроенергетики США. Колишній Радянський Союз, Бразилія, Китай та Норвегія входять до числа інших провідних країн-виробників гідроелектроенергії.

Висновки до першого розділу

Необхідно використовувати багатогранний підхід для об'єднання цих енергетичних ресурсів з іншими відновлюваними джерелами енергії для підтримки життєдіяльності людей у глобальному масштабі. Гідроелектроенергію та енергію вітру слід використовувати належним чином, щоб найкраще відповідати географічному розташуванню країни, оскільки кожна країна має свої унікальні природні ресурси, які можна запропонувати для загального виробництва електроенергії. Також можна включити до загальної системи видобутку сонячної енергії за допомогою сонячних електростанцій.

З точки зору впливу на навколишнє середовище / відходів, гідроенергетика має свою частку недоліків. Гідроелектроенергія має різні фактори, що впливають на її загальну структуру витрат та економіку. Перевага полягає в тому, що після побудови греблі електроенергія може вироблятися з постійною швидкістю. Недолік полягає в тому, що це порушує водні екосистеми.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ РІЧОК КАРПАТ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ТА ВСТАНОВЛЕННЯ МАЛОЇ ГЕС.

Питання енергобезпеки та енергонезалежності є актуальними для більшості країн в умовах глобалізації та інтенсивного використання вичерпних паливних енергоресурсів. Такі обставини спонукають до використання альтернативних джерел енергії, підвищення енергоефективності використання енергоносіїв і вдосконалення підходів, методів управління та споживання енергоресурсів. Гідроенергетика не є винятком у даному разі. Законом України Про альтернативні джерела енергії визначено, що гідроенергія є одним із ключових альтернативних різновидів енергії [6]. Крім того, на її генерацію встановлюється "зелений тариф". Це робить гідроенергетику одним із пріоритетних напрямів на шляху до енергонезалежності та підвищення енергобезпеки України.

В Україні 63119 річок [6], потенційні гідроенергоресурси яких надзвичайно слабо освоєні. Не враховуючи великих гідроелектростанцій на Дніпрі та Дністрі, станом на 2015 рік в Україні нараховується лише 105 малих гідроелектростанцій (з потужністю менше 10000 кВт). Їхня загальна потужність становить близько 150000 кВт (150 МВт) . Тому розвиток саме малої гідроенергетики є одним із пріоритетних напрямів енергетичного сектора України, особливо враховуючи вразливість енергонезалежності та енергобезпеки України [6].

Одним із найбільш перспективних регіонів розвитку малої гідроенергетики в Україні виступає регіон Українських Карпат. Водотоки Карпат характеризуються значною водністю (порівняно з річками рівнинної території України) та гідравлічним напором, який є визначальним показником гідроенергетичного потенціалу водотоку. Саме тому вивчення гідроенергоресурсів річок Карпат є першим кроком на шляху зміцнення енергетичної системи України.

Для визначення гідроенергетичного потенціалу водотоків карпатського регіону були розглянуті та проаналізовані річки басейнів Тиси, Сірету, Пруту та Дністра (у межах території Українських Карпат), які мають довжину понад 10 км.

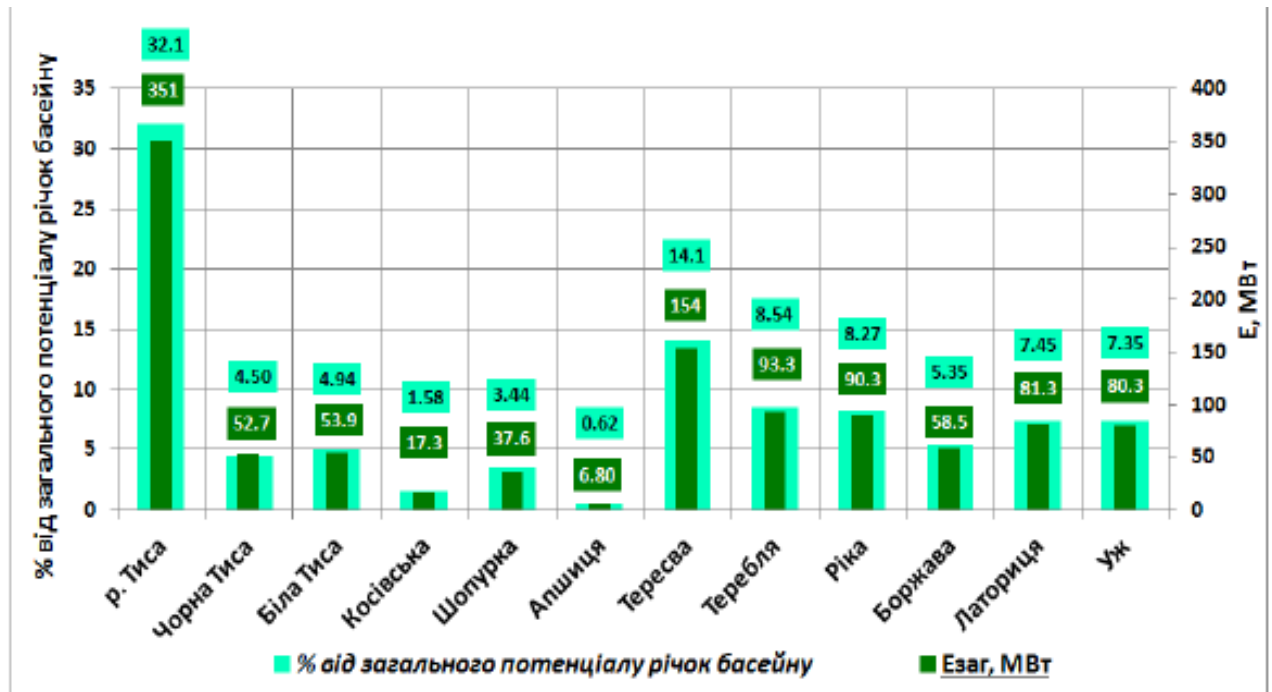


Рис. 2. Розподіл показників (% , МВт) загального енергетичного потенціалу річок основних суббасейнів басейну р. Тиси (у межах регіону Українських Карпат)

Т а б л и ц я 1. Показники гідроенергетичної потужності річок Українських Карпат і гідроенергетичних комплексів України [6]

№	Гідроенергетичні комплекси та річки	$E_{\text{гвп}}, \text{кВт}$	$E_{\text{гвп}}, \text{МВт}$	$E_{\text{гвп. за рік, тис. кВ}}$
1	2	3	4	5
1	Річки Українських Карпат	2340531	2340,5	20503052
2	ГЕС Дніпровського каскаду	3660800	3660,8	-
3	ГЕС Дністровського каскаду	743000	743	-
4	Київська ГАЕС	235500	235,5	-
5	Дністровська ГАЕС	972000	972	-
6	Малі ГЕС України	150000	150	-
7	Усі гідроенергетичні комплекси України	6063300	6063,3	11000000
8	Економічно ефективний гідроенергетичний потенціал річок України	-	-	17500000

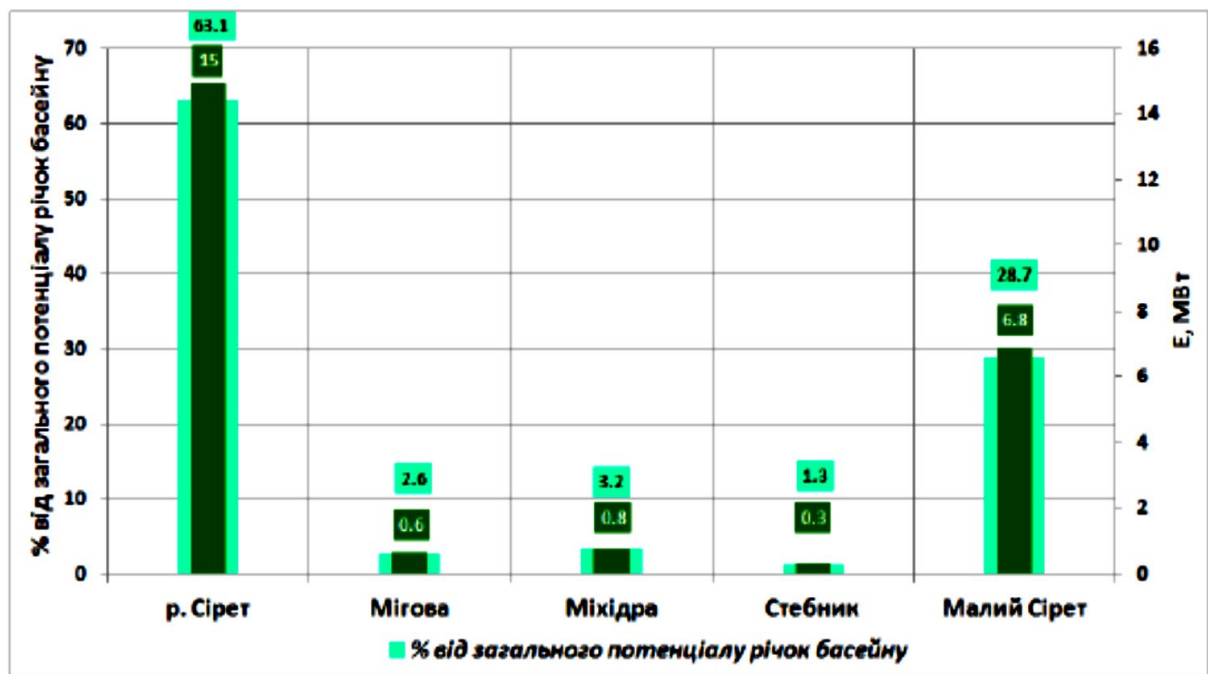


Рис. 3. Розподіл показників (% , МВт) загального гідроенергетичного потенціалу річок основних суббасейнів басейну р. Сірет (у межах Українських Карпат)

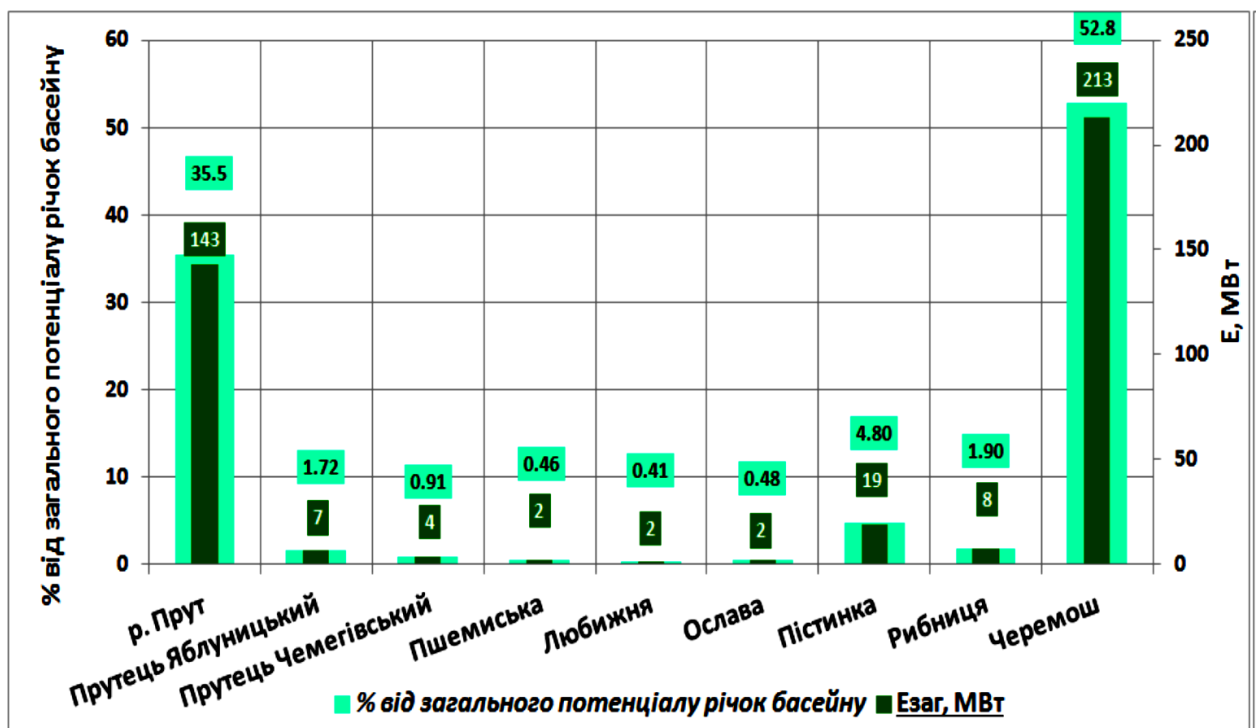


Рис.4. Розподіл показників (% , МВт) загального гідроенергетичного потенціалу річок основних суббасейнів басейну р. Прут (у межах Українських Карпат)

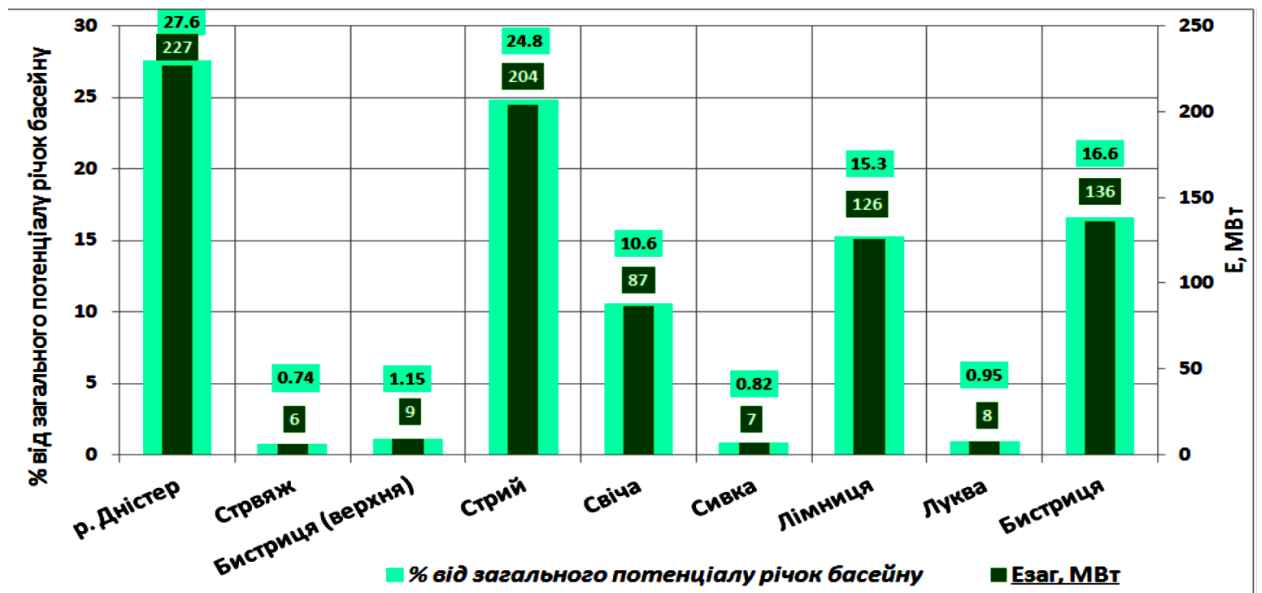


Рис. 5. Розподіл показників (% , MWt) загального гідроенергетичного потенціалу річок основних суббасейнів басейну р. Дністер (у межах Українських Карпат)

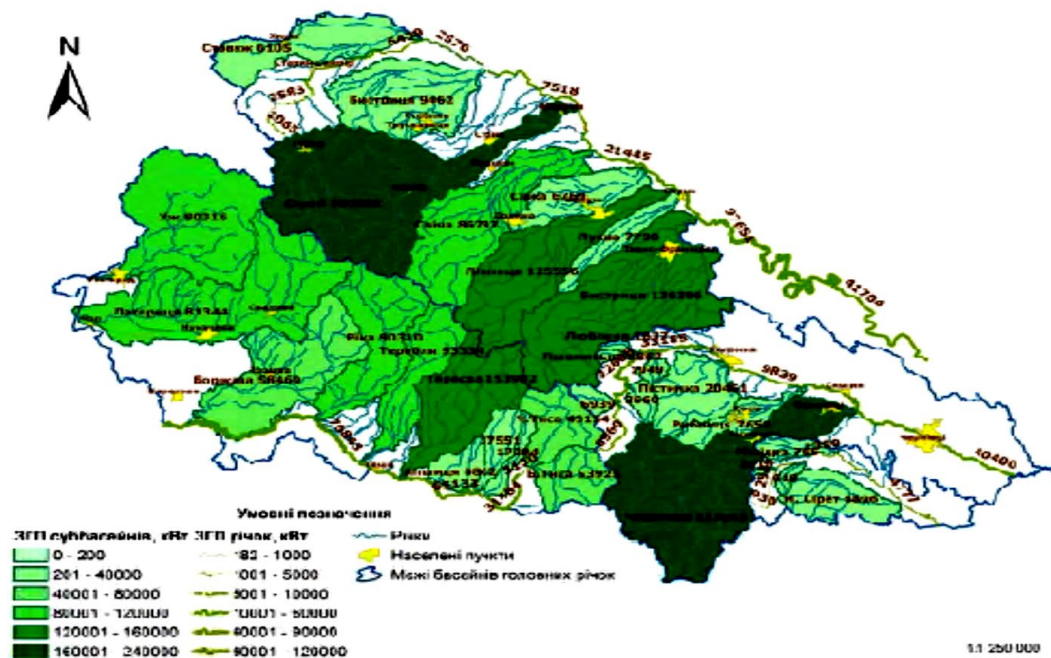


Рис. 6. Карта сумарного загального гідроенергетичного потенціалу річок Українських Карпат по суббасейнах

Сумарна загальна потужність річок Українських Карпат порівняно з виробничою потужністю ГЕС Дніпровського каскаду становить 63,9 % (табл. 1). Якщо порівнювати її з потужністю всієї системи гідроенергетичних

комплексів України, то частка потужності річок карпатського регіону в межах України становить 38,6 %.

Висновки по другому розділу.

Річки регіону Українських Карпат відіграють важливу роль у контексті перспективи розвитку альтернативної енергетики, зокрема малої гідроенергетики. Дослідження показали, що водотоки чотирьох основних басейнів карпатських річок, а саме басейнів Тиси, Сірету, Пруту та Дністра забезпечують 2340531 кВт або 2340,5 МВт загальної гідроенергетичної потужності. Порівняно з потужністю системи гідроенергетичних комплексів України частка потужності річок карпатського регіону в межах України становить 38,6 %.

Обсяги потенційної річної потужності всіх водотоків Українських Карпат становлять 20,5 млрд кВт*г/рік. Найбільшою гідроенергетичною потужністю відзначаються водотоки басейну р. Тиса (у межа регіону Українських Карпат). Їхній сумарний загальний гідроенергетичний потенціал становить 1092,4 МВт, що забезпечує 46,4 % усієї гідроенергетичної потужності всіх водотоків карпатського регіону України.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА ТА РОЗРАХУНКИ МАЛИХ ГЕС

3.1. Розрахунок міні-гідроелектростанції горизонтального розташування обертового колеса.

Більшість річок мають достатню швидкість течії, щоб генерувати своєю рушійною силою значну кількість енергії. Підрахувавши теоретичну потужність ідеальної ГЕС, використовуючи формулу:

$$N = p \cdot Q, \quad (8)$$

де N – це потужність;

p – тиск води в паскаль, що знаходиться перед турбіною;

Q – витрата води в кубічних метрах за секунду.

Наприклад, тиск 10-метрового стовпа води має тиск в одну атмосферу і дорівнює 100000 паскаль, а 1 літр води дорівнює 1/1000 м³. Розрахуємо уявну ГЕС, яка споживатиме 50 літрів на секунду і знаходиться на 2-метровому перепаді, що становить 20000 паскаль, за формулою ми отримаємо 1 кВт, але необхідно також враховувати, що це ідеальний розрахунок, а насправді як турбіна, так і генератор мають свій ККД і в сумі не видаватимуть ідеальної теоретичної кількості енергії [7]. Такий розрахунок проводиться для міні-гідроелектростанцій (рис. 7), що працюють на горизонтальному розташуванні обертового колеса.

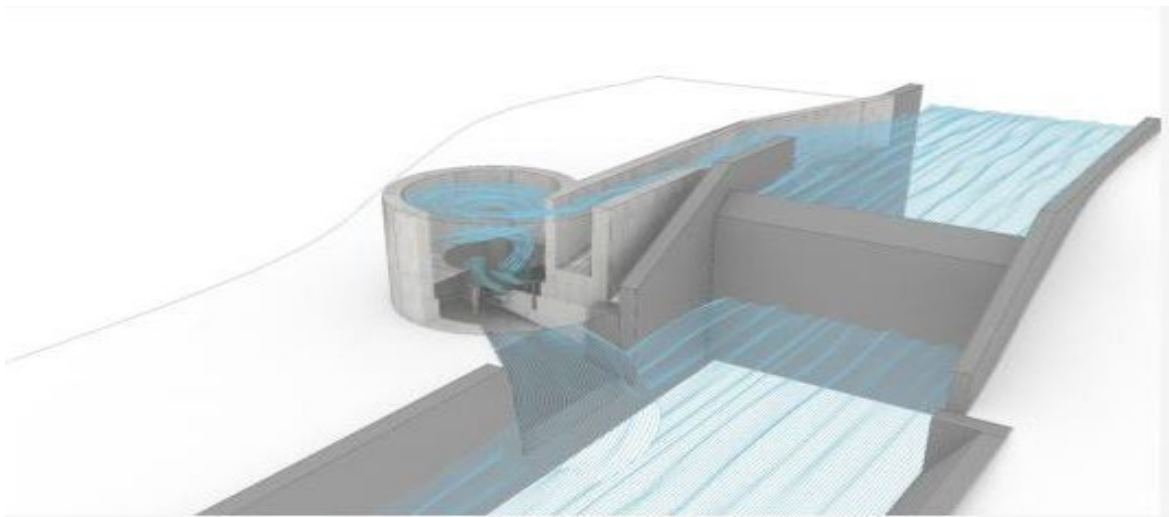


Рис. 7. – Міні ГЕС

Розрахуємо інший тип станцій, де обертове колесо встановлюється вертикально. Формула виглядає так:

$$N = 120 \cdot V^3 \cdot D^2, \quad (9)$$

де N – потужність (ват);

V – швидкість потоку (м/с);

D – діаметр колеса (м).

Це формула для ідеального колеса, така станція – вдосконалена версія водяного млина з сучасними технологіями перетворення та виробництва. Потужність залежить напряду від площі лопатей гвинта, які контактують з водою. Такі ГЕС доцільно встановлювати в місцях, де швидкість потоку досягає 0,7-1 м/с, що ідеально підходить для більшості карпатських річок. Дериваційна ГЕС ідеально підходить для гірських районів, а для виробництва в 1 кВт за наявності потоку в 2 м/с діаметр колеса буде всього лише 1 м, в такому випадку можна не ускладнювати конструкцію надмірністю, а просто перенаправити частину потоку, наприклад, через трубу або відгалуження, і насолоджуватися енергією. Окрім своєї прямої функції, такі споруди служать регулюванням паводкового та зливогого стоку (рис. 8).

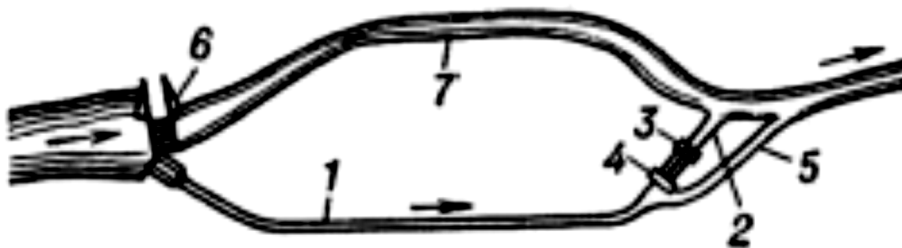


Рис.8. Схема ГЕС дериваційного типу: 1 — дериваційний підвідний канал; 2 — дериваційний відвідний канал; 3 — будівля ГЕС; 4 — напірний басейн; 5 — водоскидний канал; 6 — головний водозабірний вузол; 7 — річка.

3.2. Варіанти концепцій міні-гідроелектростанцій

Розглянемо два варіанти вже добре підготовлених концепцій станцій. Перший концепт являє собою гідротурбіну, яка шляхом створення вихору

води ефективніше розкручує турбіну та виробляє електроенергію. Вода рухається зі схилів або просто з витoku вже створеним тисячоліттями маршрутом і створює механічну енергію, яку ми обертаємо на свою користь. Встановлюючи турбіни на шляху водного потоку, ми отримуємо механічну енергію, яка, обертаючись на постійних магнітах, створює електричну за допомогою генератора. Відповідно, напір води може бути як природним, що характерно для малих ГЕС, або створений штучним шляхом, що характерно для великих станцій, здатних перекривати цілі річки, утворюючи водосховища, а потім мережу з таких водосховищ для постійного перегону води (рис. 9) її первісним маршрутом, маючи при цьому величезну кількість енергії.

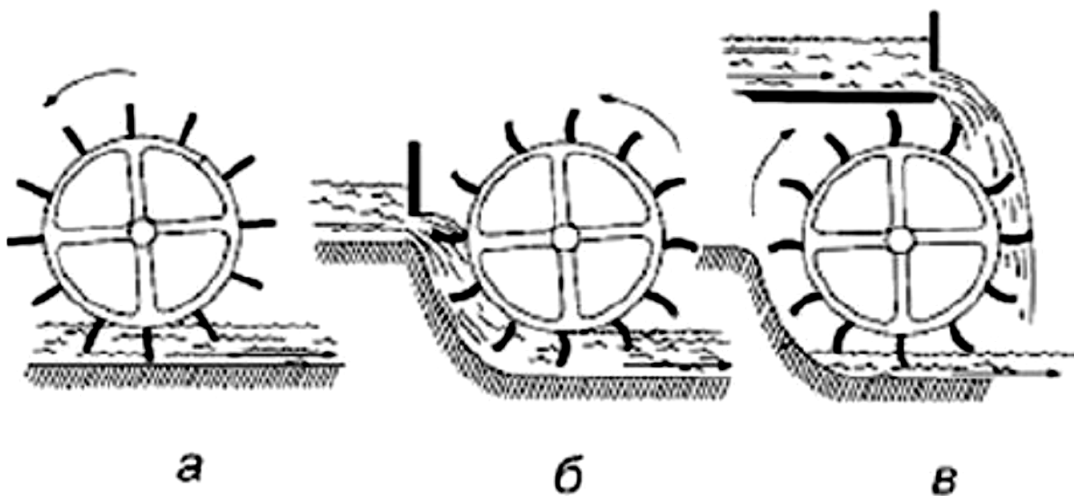


Рис. 9. – Принцип работы мини ГЭС

Малі ГЕС – це станції, які мають потужність до 5 МВт. Екологічно чистий спосіб використання енергії річок і каналів з невеликим перепадом висот як окремого проекту або групи турбін, що живлять цілі регіони. Одна турбіна може виробляти від 15 до 70 кВт постійної енергії цілодобово. У складі цієї станції використовується турбіна від VORTEX (рис. 10).

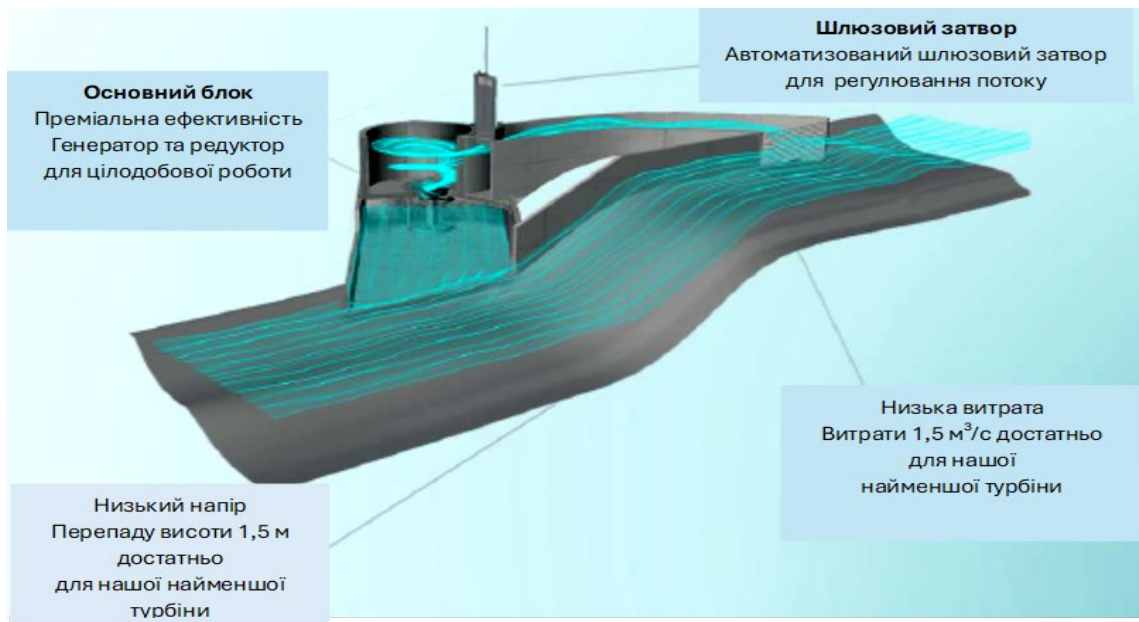


Рис.10. – Проект турбулентної міні ГЕС

Пристрій такого проекту являє собою котлован, споруду з бетону або іншого зносостійкого матеріалу, який формує вихровий потік, захисну сітку з підключенням контролера Arduino, який слідкуватиме за рівнем сміття та зчищатиме його при спрацюванні датчика і механізму сервопривода, ротор, генератор, корпус, обертові елементи (лопаті), допоміжний каркас для стабілізації конструкції на рекордних об'ємах [8] (рис. 11).

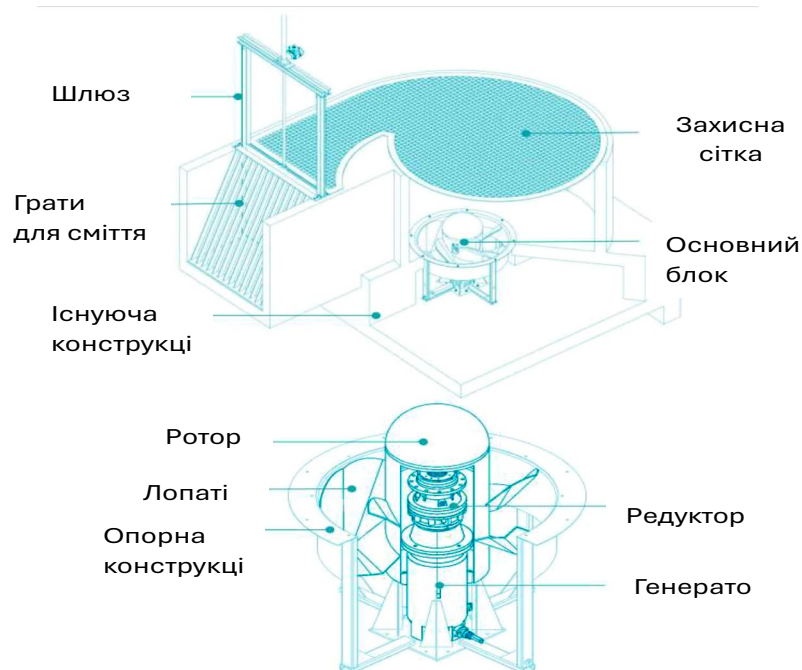


Рис. 11. – Пристрій міні-ГЕС

Лопатки вихрової турбіни оптимізовані для найкращої роботи у чітко визначеному діапазоні потоків і напорів. Через те, що вихрова турбіна працює з відкритим потоком, вкрай важливо ретельно підібрати комбінацію напору та витрати, яка гарантує найкращу продуктивність при проектуванні та експлуатації деталей на кожному об'єкті. Стандартні розміри робочого колеса турбіни варіюються від 1,3 до 1,9 метра, а стандартна вихідна електрична потужність – від 15 до 70 кВт. Для задоволення вищих вимог до енергоспоживання всі стандартні моделі можуть бути об'єднані та встановлені в кластери (Таблиця № 2) [9].

Таблиця № 2 мінімальних та максимальних параметрів для подібних ГЕС

Стандартний діапазон HFLH	Min	Max	Unit
Потік	1.5	4.7	m ³ /s
Напір (від вхідного каналу до рівня нижнього б'єфу)	1.4	2.7	m
Гідравлічний ККД в точці максимальної ефективності (TME)	0.65	0.75	-
Необхідна глибина води у вхідному каналі	1.3	2.3	m
Діаметр робочого колеса	1.3	1.9	m
Швидкість обертання робочого колеса	40	100	rpm

3.3 Розрахунок встановлення гідроелектростанції в Карпатах.

Для розрахунку встановлення подібних станцій у гірських регіонах Карпат потрібно буде розглянути точні перепади висоти потоків, якщо є детальні карти з контурними лініями або була проведена топографічна зйомка, загальний напір можна визначити, звернувшись до цих посібників. В іншому випадку для визначення напору можна використовувати наступні методи. Тепер ви виміряєте різницю висот між входом і виходом вашої майбутньої

турбіни. Можна використовувати наступні методи: Спиртовий рівень та планка (або мотузка): це покрокова процедура визначення загального напору ртутного стовпа між рівнем води на виході та верхнім рівнем води (біля водоспаду/ на вході) за допомогою спиртового рівня та дошки. Під час вимірювання на більшій відстані ви вимірюєте різницю висот у кількох секціях (з відстанню між ними, що дорівнює довжині вашої дошки). Потім ви підсумовуєте їх усі, використовуючи наступну формулу, щоб отримати загальний результат (Рис.12).

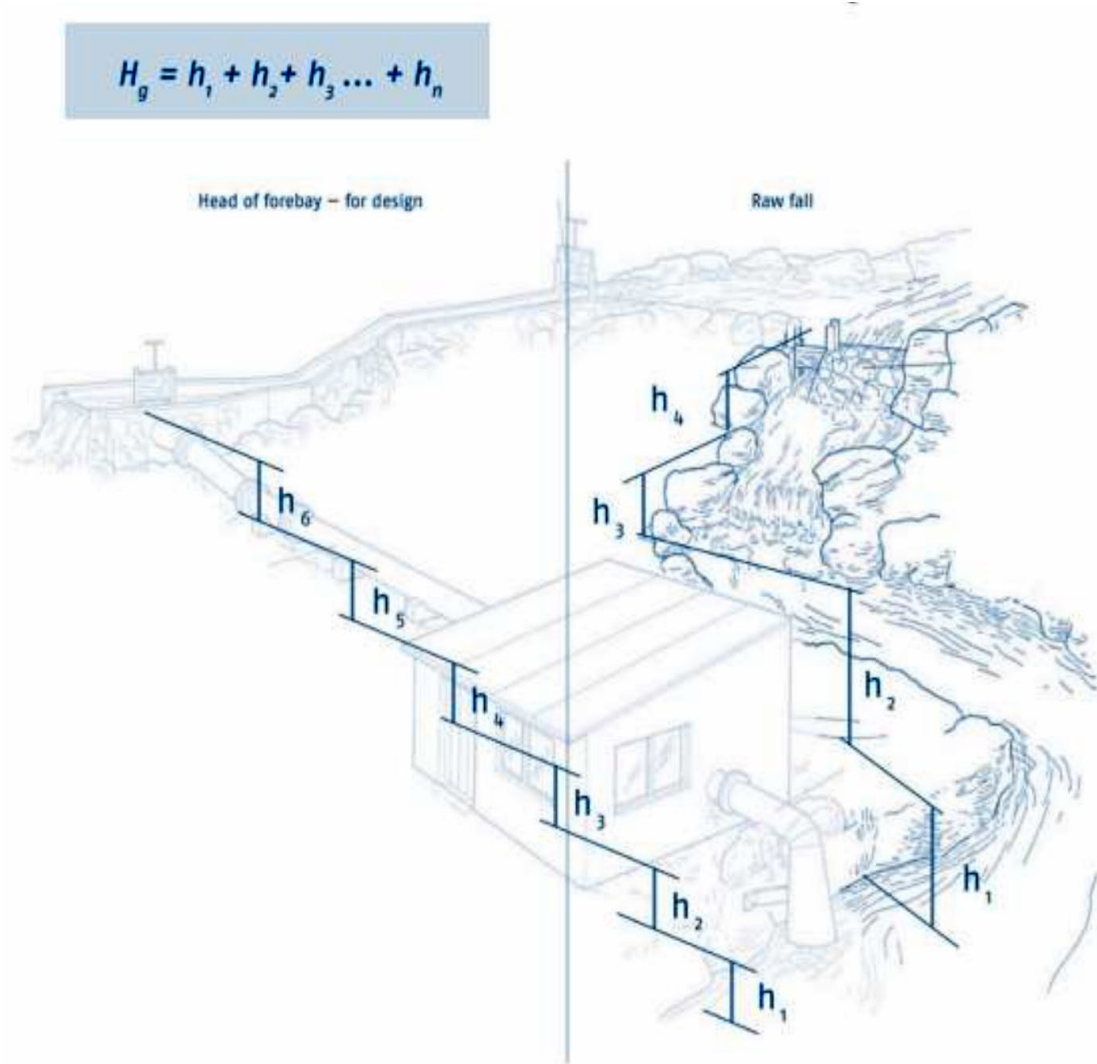


Рис. 12. – Формула розрахунку перепаду висоти

Правильно оцінити витрату води важко без спеціальних пристроїв, однак існує дуже простий спосіб зробити приблизну оцінку.

Це швидко покаже вам, чи підходить ваша ділянка для наших турбін.

Плаваючий метод:

Процедура:

знайдіть ділянку води з рівномірною течією певної довжини L [м], де практично відсутня турбулентність. Визначте поперечний переріз ділянки шляхом вимірювання

$$B[m] \text{ та } H[m]: A = BH, \quad (10)$$

де A – площа поперечного перерізу;

B – ширина річки;

H – глибина річки.

Щоб визначити швидкість V [м/сек], виміряйте час T [сек], необхідний поплавку для проходження вказаної вище довжини L (дайте поплавкам розігнатися перед стартом), а потім поділіть довжину L на час T . $V = L / T$. Щоб визначити витрату Q , помножте швидкість V на площу поперечного перерізу A . $Q = VA$ (рис.13).

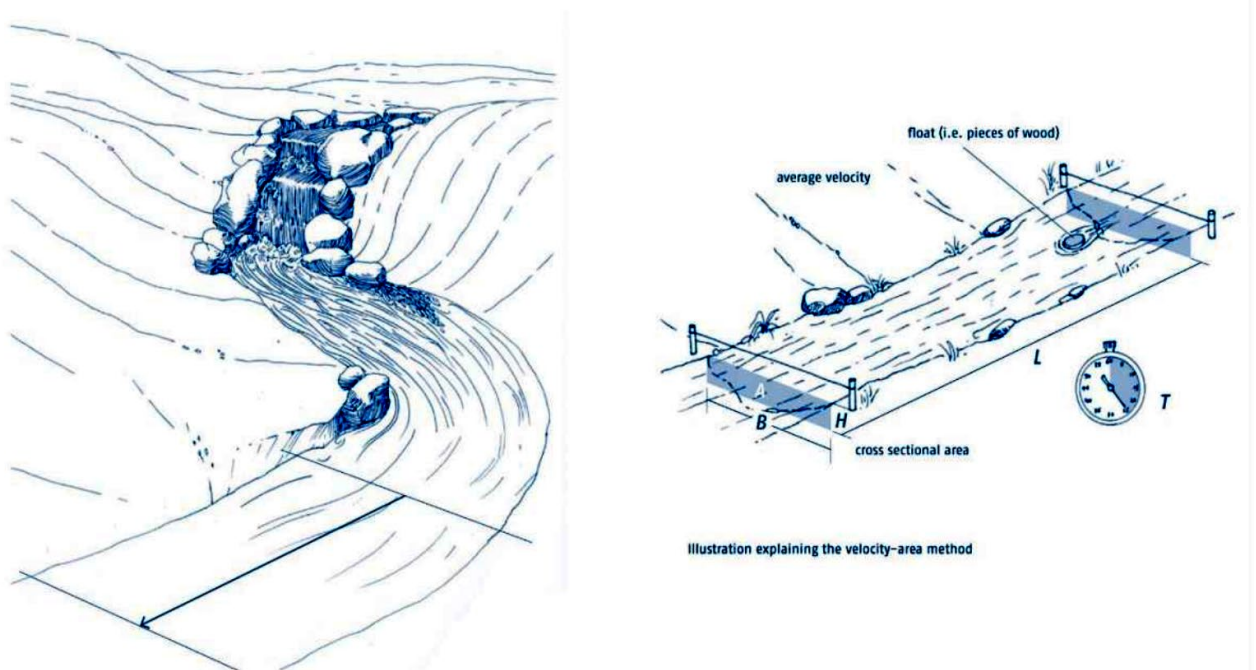


Рис. 13. – Розрахунок витрати

Підключення такої станції відбуватиметься через контролер, який зможе розподілити частину в акумуляторні батареї для збереження енергії, а частину безпосередньо споживачу через інвертор. Частину невикористаної енергії можна передати в мережу, якщо система до неї підключена (рис. 14) [10].

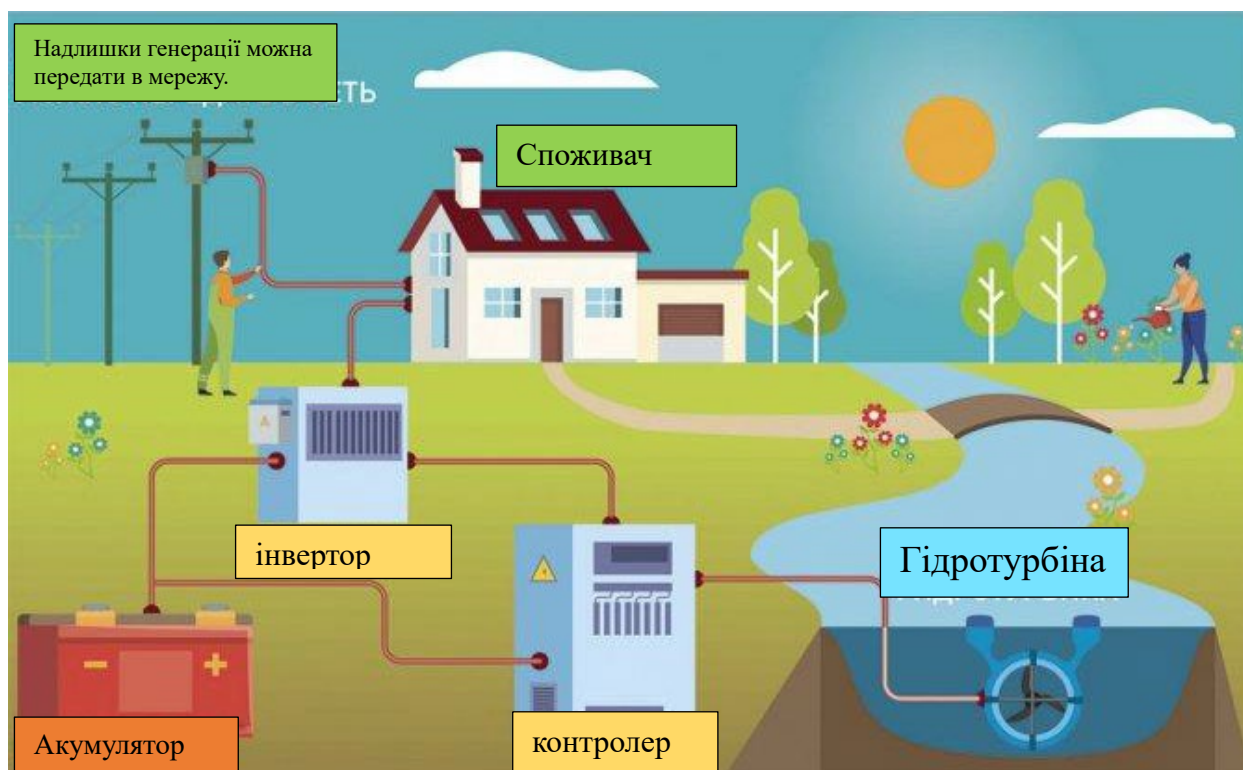


Рис. 14. – Схема підключення мікро ГЕС

Візьмемо відповідний інвертор, гібридний сонячний інвертор SILA V 3000MH, який також можна підключити до ГЕС. Цей гібридний інвертор чудово підходить для наших задач, щоб забезпечити споживача безперебійною енергією, але для ГЕС, що забезпечує більшу кількість споживачів, буде необхідний інший багатоканальний, потужніший інвертор.

Висновки по третьому розділу

Виходячи з тексту про розробку та розрахунки малих гідроелектростанцій (ГЕС) можна зробити слідуєчі висновки:

1. Потенціал річок. Багато річок мають достатню швидкість течії для генерації значної кількості енергії. Це відкриває можливості для використання малих ГЕС у різних регіонах.

2. Розрахунок потужності: Для оцінки потужності ГЕС використовуються формули, що залежать від тиску води і витрати. Треба враховувати, що реальна потужність завжди буде нижчою за ідеальну через ефективність обладнання (ККД).

3. Типи ГЕС: Розрізняють різні типи ГЕС: міні-ГЕС з горизонтальною установкою обертового колеса та вдосконалені версії з вертикальними колесами. Кожен тип має свої переваги та підходить для специфічних умов.

4. Екологічність та ефективність: Малі ГЕС є екологічно чистим рішенням для використання енергії річок, і можуть забезпечувати енергетичні потреби цілого регіону з використанням малої вартості і впливу на навколишнє середовище.

5. Технічні аспекти: Для правильного проектування ГЕС необхідно враховувати перепади висоти, витрату води та використовувати спеціалізовані методи вимірювання. Встановлення і впровадження таких станцій вимагає точного підходу до деталей та налаштування обладнання.

6. Інтеграція з енергетичними системами: ГЕС можуть бути інтегровані з акумуляторами для збереження енергії та безпосереднього постачання електроенергії споживачам, що підвищує їх ефективність і надійність у забезпеченні енергією.

Все це підкреслює важливість і потенціал малої гідроелектростанції (МГЕС), як джерела чистої енергії в сучасному світі.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Розвиток відновлюваної енергетики є ключовим аспектом енергетичної безпеки та екологічної стабільності України. З огляду на це, розробка варіанту будівництва МГЕС набуває особливої актуальності. Ефективна реалізація такого проекту вимагає комплексного підходу, що враховує техніко-економічні, екологічні та соціальні фактори.

Розглянуто архітектуру ГЕС її елементи та функції, переваги та недоліки, вплив на навколишнє середовище та економічна доцільність

Дан детальний аналіз гідрологічного режиму Карпатського регіону, що включає оцінку середньорічного стоку, мінімального та максимального рівнів води. Ці дані визначають потенційну потужність МГЕС та тип гідротурбінного обладнання. Далі, розглянуто кілька варіантів конструкцій греблі та водозабірних споруд, оцінюючи їх вартість, надійність та вплив на навколишнє середовище.

Отже, розробка варіанту будівництва МГЕС потребує збалансованого підходу, що враховує технічні, економічні, екологічні та соціальні аспекти. Лише за умови ретельного планування та врахування всіх факторів, МГЕС може стати ефективним інструментом для розвитку відновлюваної енергетики та забезпечення енергетичної безпеки України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гідроенергетика України. <https://uhe.gov.ua/diyalnist/hidroenerhetyka>
2. Гідроенергетика України в контексті світових тенденцій.
<https://epl.org.ua/wp-content/uploads/2022/01/AD-pro-gidroenergetyku-final-3.pdf>
3. Переваги та недоліки гідроенергетики.
<https://www.fstgenerator.com/uk/news/advantages-and-disadvantages-of-hydropower/>
4. Основні типи ГЕС і склад споруд. <http://energetika.in.ua/ua/books/book3/part-2/section-4/4-1>
5. Погляд в майбутнє: водні ресурси, зміни клімату та гідроенергетика
https://uhe.gov.ua/media_tsentr/novyny/poglyad-v-maybutne-vodni-resursi-zmini-klimatu-ta-gidroenergetika
6. <https://visnyk-geo.knu.ua/wp-content/uploads/2017/09/04-66-67.pdf>
7. Гідроенергетика зростає попри пандемію.
<https://eenergy.media/news/19182?ysclid=l4smpce19g136816209>
8. Dr. Franklin Ed Calculations for a Grid-Connected Solar Energy System // Ed Dr. Franklin. Arizona: The University of Arizona Cooperative Extension, 2019. 20 с.
9. Tao Y. Hongxing G. Development of inline hydroelectric generation system from municipal water pipelines // Energy. 2018. Т. 144. № 2. С. 535-548.
10. Telkomnika Wang Y., Wang Yong, Li Shun-chu. Indonesian Journal of Electrical Engineering // Institute of Advanced Engineering and Science. Indonesia, 2016. PP. С. 24-35.