

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(назва факультету)

Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему:

**Ефективність застосування МікроГЕС
для електропостачання віддалених споживачів**

Виконав: студент 6 курсу, групи ЕТм-62

напряму підготовки (спеціальності)

**141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»**

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Керівник

Нормоконтроль

Завідувач кафедри

Рецензент

Керестеші В.О.

(прізвище та ініціали)

Костик Л.М.

(прізвище та ініціали)

Мовчан Л.Т.

(прізвище та ініціали)

Коваль В.П.

(прізвище та ініціали)

Габрусєв Г.В.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2024

Факультет *прикладних інформаційних технологій та електроінженерії*
(повна назва факультету)

Кафедра *електричної інженерії*
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри *Коваль В.П.*

«_____» _____ 2024 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня *магістр*
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю *141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»*
(шифр і назва)

студенту *Керестеші Вадиму Олександровичу*
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Ефективність застосування МікроГЕС для електропостачання віддалених споживачів*

Керівник роботи *Костик Любов Миколаївна, к.т.н., доцент*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом по університету від *10 листопада 2023 року № 4/7-1042*

2. Термін подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи *Технічні параметри обладнання що використовується при будівництві МікроГЕС його потужність та ККД, капітальні витрати на будівництво та експлуатацію МікроГЕС, кількість віддалених споживачів.*

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

- 1. Аналітичний розділ.*
- 2. Розрахунково-дослідницький розділ.*
- 3. Проектно-конструкторський розділ.*
- 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях*

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Презентація з наведеними результатами роботи, порівняльні таблиці, рисунки з елементами МікроГЕС їх технічні параметри.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>к.т.н., доц. Гурик О.Я.</i>		
	<i>ст. викл. Клепчик В.М.</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>к.т.н., доц. Мовчан Л.Т.</i>		

7. Дата видачі завдання

01 вересня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Літературний огляд за напрямком дипломної роботи	14.01.24 – 20.02.24	
2	Підготовка основної частини пояснювальної записки дипломної роботи	21.02.24 – 01.03.24	
3	Підготовка розділу «Охорона праці та безпека в надзв. ситуаціях»	02.03.24 – 15.04.24	
4	Складання переліку використаних літературних джерел	16.04.24 – 01.06.24	
5	Підготовка вступу, висновків, змісту, реферату	02.06.24 – 14.06.24	
6	Отримання відгуку та рецензії на дипломну роботу, підготовка доповіді на захист	14.06.24 – 29.06.24	

Студент

(підпис)

Керестеші В.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Костик Л.М.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 86 сторінок. В роботі міститься 46 рисунків, 36 формул і 12 таблиць.

У магістерській кваліфікаційній роботі на тему «Ефективність застосування МікроГЕС для електропостачання віддалених споживачів» були вивчені основні технічні характеристики та принципи функціонування МікроГЕС. Окрема увага була приділена порівнянню ефективності цих систем з традиційними джерелами енергії, а також дослідженню можливостей їх інтеграції в існуючі енергетичні мережі.

Метою кваліфікаційної роботи є : розробка проєкту мікро-ГЕС для електропостачання споживачів у віддалених чи важкодоступних регіонах України.

Об'єктом дослідження є: мікроГЕС як джерело відновлюваної енергії для забезпечення електричною енергією віддалених регіонів.

Предметом дослідження є: процеси, що пов'язані з проєктуванням, встановленням та експлуатацією МікроГЕС.

Перелік ключових слів :

МІКРОГЕС, ВІДНОВЛЮВАЛЬНА ЕНЕРГІЯ, ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ВІДДАЛЕНІ СПОЖИВАЧІ, ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ, ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ, ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ.

ЗМІСТ

с.

ВСТУП	6
 1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	 8
1.1 Аналіз сучасних тенденції в розвитку систем енергозабезпечення віддалених споживачів	8
1.2 Стан малої гідроенергетики України та країн Європейського союзу	10
1.3 Основні підходи до створення високоефективних систем енергозабезпечення віддалених споживачів	14
1.4 Аналіз типових схем енергозабезпечення віддалених споживачів	17
1.5 Висновки до розділу 1	25
 2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	 27
2.1 Опис об'єкта дослідження.....	27
2.2 Розробка гідротехнічної частини проекту	28
2.2.1 Розрахунок діаметру напірного трубопроводу	28
2.2.2 Розробка плану напірного басейну.....	31
2.2.3 Вибір типу гідроагрегату для мікро-ГЕС.....	34
2.3 Розробка електротехнічної частини проекту	37
2.3.1 Розробка структурної схеми системи електропостачання	37
2.3.2 Розрахунок перерізу струмоведучих жил та вибір марки кабелю	38
2.3.3 Розрахунок та підбір захисного обладнання	42
2.3.4 Схема приєднання мікро-ГЕС до мережі.....	44
2.4 Висновки до розділу 2	46

3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	48
3.1 Попереднє обґрунтування вибору річки та місця для мікро-ГЕС	48
3.1.2 <i>Розрахунок енергетичних характеристик об'єкта електропостачання ..</i>	<i>50</i>
3.2 Розрахунок гідроенергетичного потенціалу річки Дністер	60
3.3 Математична модель мікро-ГЕС	62
3.4 Обчислення усталеного режиму	64
3.5 Розроблення методу підвищення ефективності гідротурбін для умов низьких напорів	65
3.6 Висновки до розділу 3	75
 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	76
4.1 Умови безпечної експлуатації гідротехнічних споруд на ГЕС	76
4.2 Правила безперебійної роботи гідротурбінного обладнання	78
4.3 Заходи для забезпечення безперебійної роботи електрообладнання	79
4.4 Шляхи запобігання виникнення пожежі	81
 ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	82
 ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	83

ВСТУП

Актуальність теми. Актуальність теми «Ефективність застосування МікроГЕС для електропостачання віддалених споживачів» зумовлена низкою сучасних соціально-економічних та екологічних проблем. У багатьох віддалених регіонах України, зокрема в гірських районах або на малонаселених територіях, централізоване електропостачання є складним і дорогим. Транспортування енергії на великі відстані за допомогою традиційних енергомереж вимагає значних витрат на їх облаштування та утримання. Водночас дизельні генератори, які використовуються для автономного енергозабезпечення таких районів, мають високі експлуатаційні витрати, потребують регулярного постачання пального та мають значний негативний вплив на навколишнє середовище через викиди парникових газів і забруднення повітря.

У цьому контексті, мікроелектрогенераційні системи (МікроГЕС) стають актуальними для вирішення цих проблем. МікроГЕС використовують енергію водяних потоків для вироблення електричної енергії, що робить їх екологічно чистими та стійкими джерелами енергії. Ці системи можуть бути застосовані на малих річках, струмках або каналах, що є доступними практично в кожному регіоні. Вони здатні забезпечити електричною енергією навіть невеликі громади або окремі будинки, підвищуючи енергетичну автономію.

Використання МікроГЕС не шкодить екології, так, як має мінімальний вплив на оточуюче середовище, окрім того їх застосування сприяє боротьбі з глобальним потеплінням та захисті екології.

Фінансова обґрунтованість застосування МікроГЕС є важливим аспектом. Хоча початкові витрати на їх установку можуть бути значними, з часом ці витрати окуповуються завдяки низьким експлуатаційним витратам та відсутності потреби у придбанні пального. Технічні характеристики та економічна ефективність МікроГЕС роблять їх привабливим варіантом для

використання в віддалених районах, де традиційні енергетичні системи є занадто дорогими або недоступними.

Таким чином, дослідження ефективності застосування МікроГЕС для електропостачання віддалених споживачів є важливим для розробки нових рішень у сфері енергетики, які можуть забезпечити стійке і екологічно безпечне постачання електричної енергії в умовах, де традиційні методи енергозабезпечення є неефективними або недоступними.

Метою кваліфікаційної роботи є : розробка проєкту мікро-ГЕС для електропостачання споживачів у віддалених чи важкодоступних регіонах України.

Об'єктом дослідження є: мікроГЕС як джерело відновлюваної енергії для забезпечення електричною енергією віддалених регіонів.

Предметом дослідження є: процеси, що пов'язані з проектуванням, встановленням та експлуатацією МікроГЕС.

Апробація роботи. Керестеші В.О. Ефективність застосування МікроГЕС для електропостачання споживачів. // Л.М. Костик, В.О. Керестеші // Збірник тез доповідей. Матеріали VII міжнародної студентської науково - технічної конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання» (м. Тернопіль, 25 - 26 квітня 2024р.) / М-во освіти і науки України, Тернопільський нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя – Т.: ТНТУ, 2024.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 4-х розділів, висновків, переліку посилань (30 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини – 86 сторінок, 36 формул, 12 таблиць

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Аналіз сучасних тенденцій в розвитку систем енергозабезпечення віддалених споживачів

Сьогодні одним з найважливіших напрямів розвитку енергетики є ефективне використання гідроенергетичних ресурсів для забезпечення надійного енергопостачання віддалених районів нашої країни. У таких районах здебільшого проживає сільське населення, а за останніми статистичними даними, на таких територіях проживає понад 1,5 мільйона людей, які або залежать від енергопостачання локальних дизельних електростанцій, або стикаються з нестачею стабільного енергопостачання.

Сучасні тенденції в розвитку автономного енергопостачання зосереджені на створенні комбінованих енергоустановок, які забезпечують одночасне вироб-ництво теплової енергії та генерацію електричної енергії за допомогою одного комплексу. Хоча такі установки вже застосовуються на практиці, більшість з них побудовані на основі дизель-генераторів, які мають високі експлуатаційні витрати і не є екологічними. Ці фактори суттєво впливають на вартість вироб-леної енергії, що особливо важливо для автономних споживачів.

Тому нам важливо оцінити поточний стан енергетики та окреслити шляхи вирішення проблем енергозабезпечення віддалених споживачів.

Окрему увагу варто приділити аналізу відновлюваних джерел енергії як джерела доступної енергії. Варто відзначити, що низькі показники виробництва енергії, порівняно з іншими джерелами, є наслідком початкової стадії розвитку та обмеженої встановленої потужності ГЕС. Однак сьогодні спостерігається позитивна динаміка збільшення потужностей, перш за все завдяки актуалізації розвитку та практичному використанню ГЕС. Очікується, що до 2035 року встановлена потужність ГЕС зросте в двадцять разів. Незважаючи на це, увага до малої гідроенергетики, навіть з урахуванням її відродження, залишається на

незаслужено низькому рівні.

Необхідність розвитку цієї галузі полягає в тому, що малі водні ресурси є найбільш стійкими серед поновлюваних [10]. На рис. 1.1 і 1.2 наведено приклади вже збудованих ГЕС у віддалених районах України.



Рисунок 1.1 – ГЕС на р. Яновець Тячівського району Закарпатської області



Рисунок 1.2 – ГЕС на р. Ріка Хустського району Закарпатської області

МікроГЕС сьогодні важко вважати повністю освоєною технологією, оскільки розвиток зосереджений на великих гідроагрегатах, які проектують для високих потужностей. Внаслідок цього вдосконалені методи та алгоритми створення енергетичного обладнання стали малоефективними для мікро-гідротурбін, які працюють за умов низьких напорів та невеликих витрат робочої рідини. Це ускладнило ефективне використання потенціалу численних малих річок на рівнинних територіях.

Проте незалежні наукові дослідження показують, що сучасний науково-технічний рівень дозволяє вирішити цю задачу і створювати ефективні низьконапірні маловитратні гідроагрегати для живлення споживачів у віддалених районах України. Також це відкриває можливість впровадження гідроенергетичних потужностей, що не супроводжуються традиційними екологічними проблемами, такими як затоплення заплав річок, зміна місцевого клімату та загибель природної біомаси через створення непроточних умов.

1.2 Стан малої гідроенергетики України та країн Європейського союзу

Одним з ключових чинників, що визначають розвиток малої гідроенергетики, є рівень освоєння гідроенергетичного потенціалу територій. Розвинені країни, зокрема Чехія та Австрія, які мають подібні до України гідроресурси та рельєф місцевості, зіткнулися з проблемою освоєння малих річок, більш ніж 75% яких залишилися не задіяними.

Подальший розвиток гідроенергетики став можливим лише через створення МікроГЕС на базі малих річок, які зазвичай мають невеликі перепади висот (приблизно 2-3 м) і низькі швидкості течії, що ускладнює розробку ефективного енергетичного обладнання. Однак у сучасних умовах розвиток цього напрямку є необхідним, адже прагнення зменшити екологічне навантаження на навколишнє середовище відповідно до європейських стандартів якості виробництва енергії визначає його актуальність.

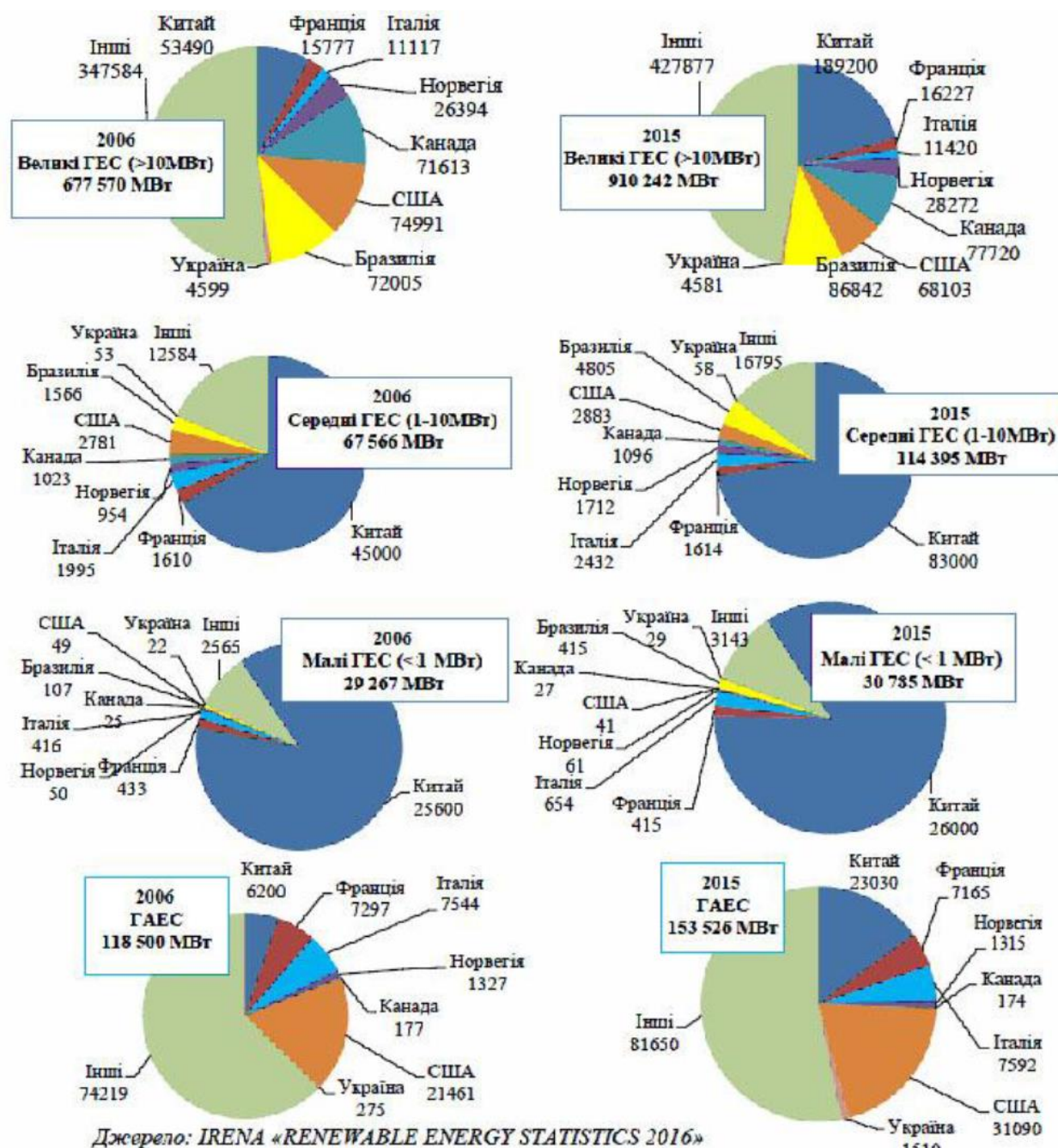


Рисунок 1.3 – Встановлена потужність ГЕС в Україні та деяких країн Європейського союзу

Тому важливим завданням є як розвиток вже освоєного, так і відкриття нового гідроенергетичного потенціалу не лише в Україні, а й у європейських країнах. Згідно з класифікацією річок, значний інтерес викликають малі річки. Гідроенергетичний потенціал таких джерел наразі ще не насичений генерувальними потужностями. Невеликий перепад висот у малих річках є основною причиною труднощів, а іноді й неможливості створення ефективних

гідротурбін. Як показано на рисунку 1.4 територією України протікає більше шістдесяти тисяч річок, поруч з якими розташовані десятки невеликих населених пунктів, які сьогодні незабезпечені централізованим енергопостачанням. Загалом, території без електрики, на яких проживає близько 1,5 мільйона людей, знаходяться поблизу малих водних об'єктів і становлять, за різними оцінками, близько 5 до 10% всієї території України. Крім того, необхідне надійне енергопостачання для віддалених сіл та селищ, власників приватних будинків і дачних ділянок, яким потрібно забезпечити потужність від 15 до 30 кВт на один будинок. В таких населених пунктах по всій Україні проживає приблизно 1 мільйон людей.

У Чехії ситуація складається аналогічно, там подібні потреби в енергопостачанні відчують понад 3 млн людей. До цієї групи можна включити й віддалені технічні служби спостереження та зв'язку, які також потребують стабільного енергопостачання.

Таким чином, явно простежується необхідність розвитку невеликих (мікромасштабних) генерувальних потужностей на основі ВДЕ, а також створення високоінтегрованих інтелектуальних системоутворюючих і розподільчих електричних мереж нового покоління (Smart Grids).

Необхідно все ж таки зазначити, що в Україні розкид статистичних даних про кількість діючих МікроГЕС досить значний. Приблизно така ж кількість об'єктів мікрогідроенергетики знаходиться в Чехії. Досить великий розкид наведених статистичних даних зумовлений труднощами обліку мікромасштабних гідроенергетичних потужностей. Це пов'язано ще й з тим, що більшість автономних установок є поодинокими, в тому числі створеними за особистою ініціативою. У більшості випадків такі МікроГЕС не позбавлені серйозних недоліків. Вони проектуються, як правило, так, що експлуатація гідроагрегату в оптимальній робочій зоні не забезпечується. Гідродинаміка проточної частини таких установок не досліджується належним чином, що необхідно для оцінки та досягнення максимальної ефективності створюваного схемного рішення.

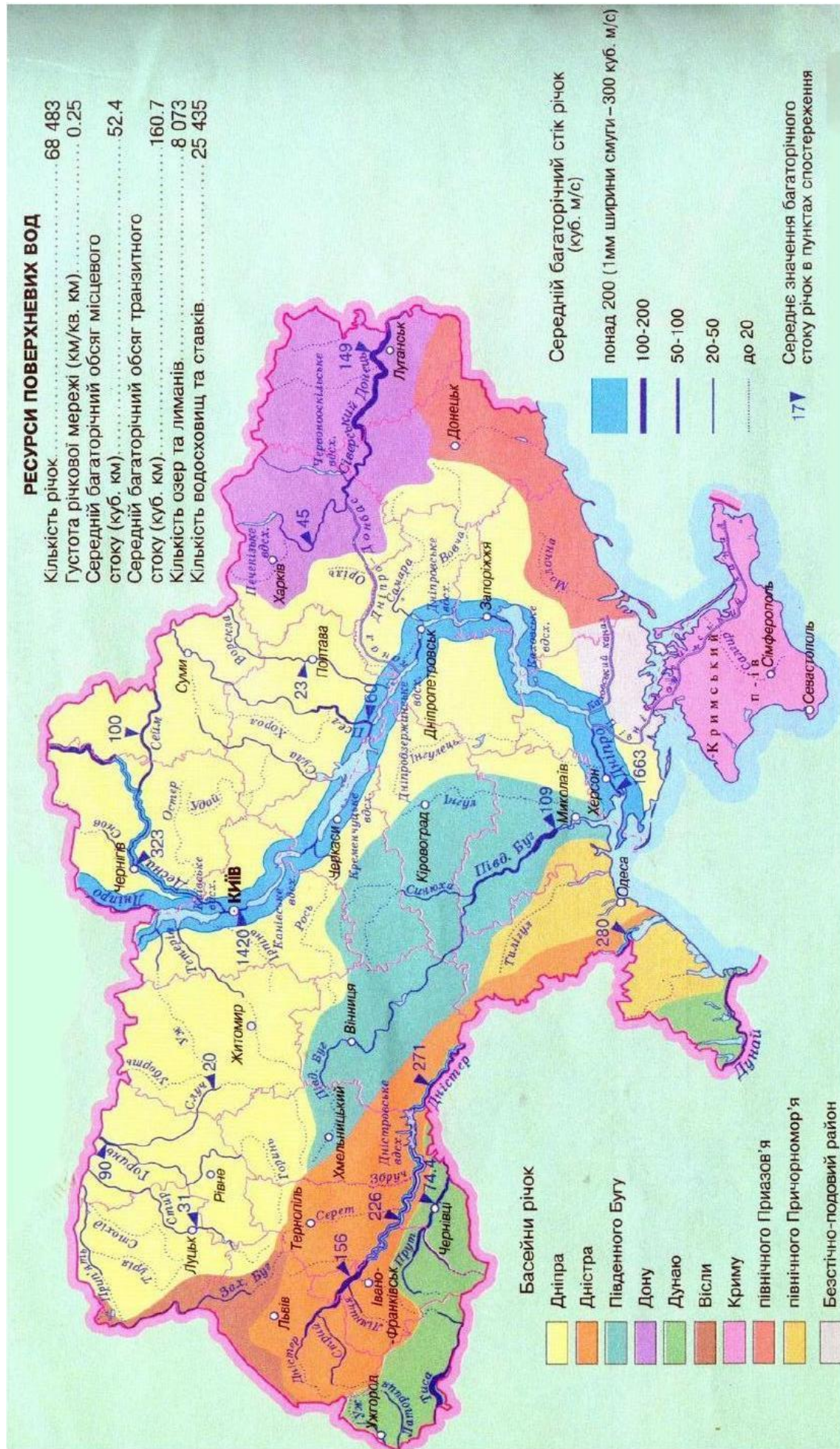


Рисунок 1.4 – Карта поверхневих водних ресурсів України

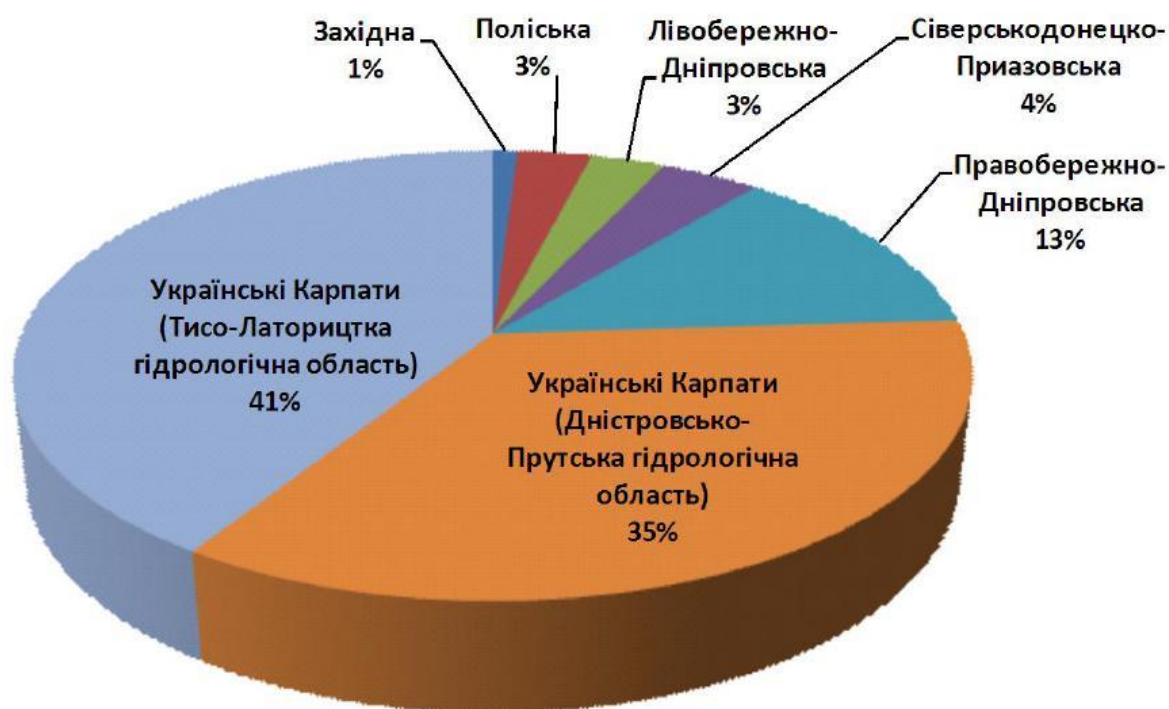


Рисунок 1.5 – Гідроенергетичний потенціал України

У зв'язку з великою кількістю віддалених споживачів на території України та європейських країн, існує затребуваність створення джерел для їх енергопостачання. Тому збільшення пропозиції з виробництва енергетичного обладнання такого класу сьогодні є дуже актуальним завданням. Така ситуація вимагає вжиття заходів щодо організації серійного виробництва високоефективних генерувальних потужностей, створених за добре відпрацьованими методиками проектування, включно з багатопараметричною оптимізацією робочих органів, та таких, що відповідають високому рівню технологічності, що особливо актуально для об'єктів мікрогідроенергетики.

1.3 Основні підходи до створення високоефективних систем енергозабезпечення віддалених споживачів

Нині Україна та інші країни світу перебувають у науково-технічному пошуку способів створення альтернативних високоефективних систем енергопостачання, тому що необхідний поступовий перехід від високовитратних

традиційних технологій виробництва електроенергії до ефективніших, безпечніших і екологічно чистіших.

Розвиток мікрогідроенергетики пов'язаний із розв'язанням завдань з енергопостачання віддалених споживачів, які не потребують великих генерувальних потужностей і розташовані в районах, що не мають централізованого енергопостачання. Однак у сучасній науково-технічній літературі практично відсутня інформація про створення ефективних і високотехнологічних гідроенергетичних рішеннях.

У царині альтернативних джерел енергії слід зазначити науково-технічний напрям, що активно розвивається, який можна віднести до добре відпрацьованих енергетичних технологій. Це - створення джерел комбінованого енергопостачання, тобто комплексів, що поєднують електро- і тепло- або холодопостачання в одному пристрої. Вони зручні та ефективні насамперед для споживача, оскільки є енергоємними, простими, мобільними і можуть бути модульного виконання. Однак сучасні джерела комбінованого енергопостачання засновані, як правило, на традиційних видах виробництва енергії. У дизель-генераторних установках - це використання відпрацьованих газів для організації контуру теплопостачання, для газотурбінних установок - додатковий комплекс тепло- або холодопостачання та ін.

Новим важливим етапом розвитку енергокомплексів відповідно до загальносвітових потреб у галузі енергопостачання є створення екологічно чистих комбінованих енергокомплексів, а саме заміна в них традиційних джерел енергії на ВДЕ.

Звідси виникає необхідність проведення таких заходів:

- розроблення нових схем побудови джерел комбінованого енергопостачання на основі ВДЕ;
- вивчення особливостей регулювання агрегатів системи;
- розв'язання проблем і завдань, покладених на систему автоматичного керування;
- встановлення діапазону ефективної роботи джерела і можливості

розширення цього діапазону.

Попередні аналітичні дослідження в галузі комбінованого енергопостачання також свідчать про актуальність створення ефективних і надійних енергоустановок, що поєднують у собі блочно-модульне виконання, високу щільність компонування. Перспективність розвитку енергопостачання на основі таких установок зумовлена, насамперед, низькою собівартістю як самого енергетичного комплексу, так і більш вигідним тарифом на вироблену ним енергію. Комбіноване компонування, а також особливості схемних рішень, представлені далі, забезпечують підвищення енергетичної ефективності комплексу приблизно на 10%.

У матеріалах цієї роботи показано науково-технічні підходи, засновані на екологічно чистих технологіях, які можна застосувати як для відродження виведених з експлуатації малих і мікроГЕС, так і для модернізації наявних.

Крім того, розвиток мікрогенеруючих потужностей є провідним напрямом у забезпеченні надійного та маневреного енергопостачання. Особливо важливою для автономних споживачів є стійка робота енергетичної мережі в режимах високих ризиків порушення її працездатності (під час крижаного дощу, урагану тощо). Як уже зазначалося, сьогодні в Україні та Європі існує значна кількість малопотужних віддалених споживачів електроенергії. Серед них виділяються невеликі населені пункти, які відчують серйозні проблеми, пов'язані з постачанням не тільки електричної, а й інших видів енергії. Практично у всіх випадках такі об'єкти під'єднані до автономної енергомережі групами і споживають електроенергію, вироблену порівняно потужними енергетичними установками. Як правило, потужність, що виробляється кожною такою енергетичною установкою, у цьому разі не є максимальною, що визначає її тривалу роботу в неоптимальному режимі. Це призводить до зростання експлуатаційних витрат і, як наслідок, підвищення вартості електроенергії для споживача. Тому одним із головних питань при створенні джерела комбінованого енергопостачання на основі ВДЕ є забезпечення ефективного регулювання його агрегатів.

1.4 Аналіз типових схем енергозабезпечення віддалених споживачів

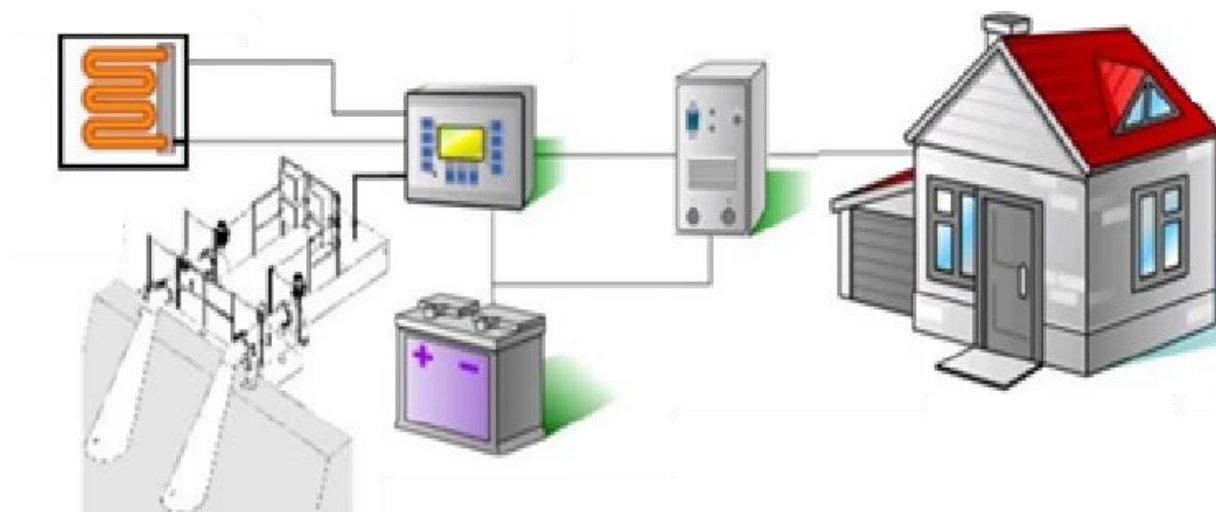


Рисунок 1.6 – Типова схема електропостачання споживача

Існуючі схеми енергозабезпечення віддалених споживачів найчастіше схожі до схеми наведеної на рис. 1.6, де основним джерелом енергії є мікроГЕС. Її потужність регулюється системою автоматичного керування, що складається з таких основних елементів, як баластне навантаження, джерело енергії та інвертор.

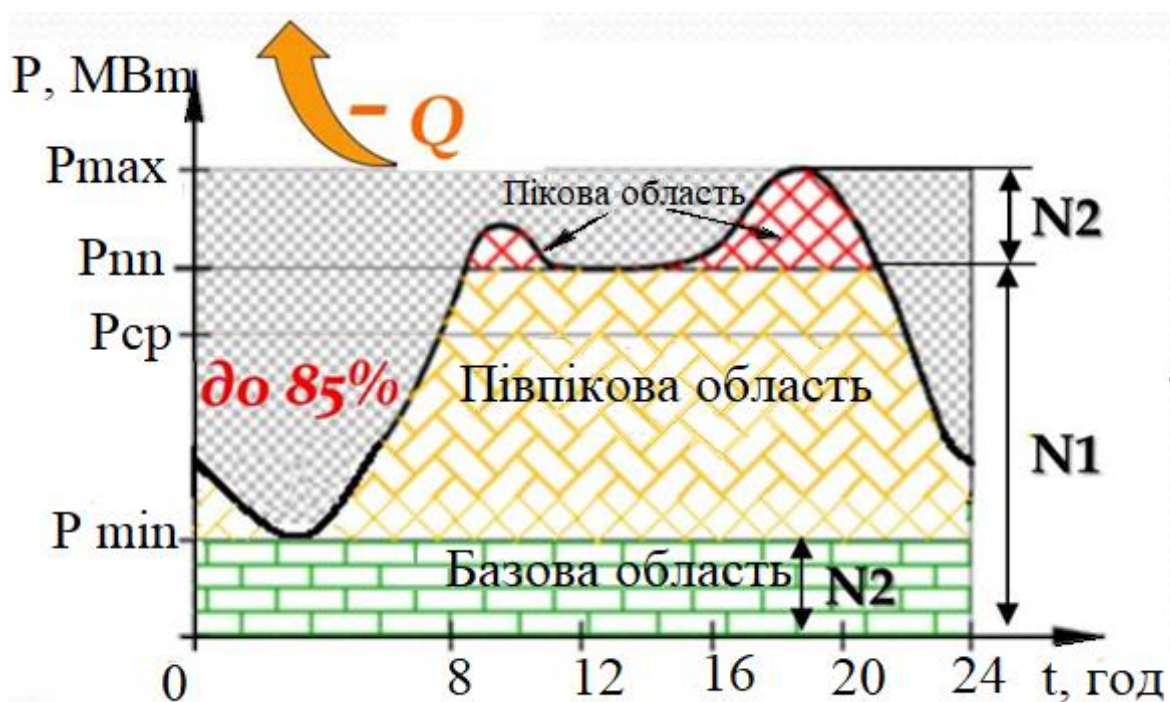


Рисунок 1.7 – Добовий графік навантаження споживача

Аналіз добового графіка навантаження приватного будинку (рис. 1.7) показує існування стандартних областей енергоспоживання – базову, що характеризується наявністю постійно під'єднаних до мережі споживачів, яка задає мінімально допустимий рівень виробленої енергії $P_{\min}$; напівпікову, яка характеризується підвищеним енергоспоживанням у денний час доби та обмежена величиною потужності в діапазоні $[P_{\min}...P_{np}]$, водночас середнє значення споживаної потужності в даній області прийнято за P_{cp} ; і, нарешті, пікову, що характеризується короткочасними періодами максимального навантаження в діапазоні $[P_{np}...P_{\max}]$.

Важливо зазначити, що зона, розташована вище графіка навантаження протягом доби, становить до 85% площі графіка навантаження і характеризується тепловими втратами Q на баластному навантаженні при регулюванні потужності комбінованого енергетичного комплексу в добовому циклі. Очевидно, для економічної роботи такої схемної реалізації окрім баластного регулювання також необхідно забезпечити й дискретне регулювання щонайменше двома гідроагрегатами різних потужностей, що задовольняють нерівності $N_1 > N(2)$, де перший гідроагрегат є основним та покриває напівпікову ділянку необхідного навантаження, а другий є резервним та призначений для покриття пікових та базової ділянок графіка навантаження споживача.

Така схема має суттєвий недолік, що полягає в надзвичайно низькому ККД системи, пов'язаному з високими тепловими втратами, особливо в темний час доби, коли рівень енергоспоживання мінімальний. З метою усунення виявлених суттєвих недоліків необхідно розглянути вдосконалену схему комплексного енергопостачання споживача (рис. 1.8).

Схема відрізняється від наведеної на рис. 1.7 тим, що баластне навантаження, яке відповідає за регулювання під'єднане в теплогідравлічний контур із циркуляційним насосом, пов'язаним зі споживачем.

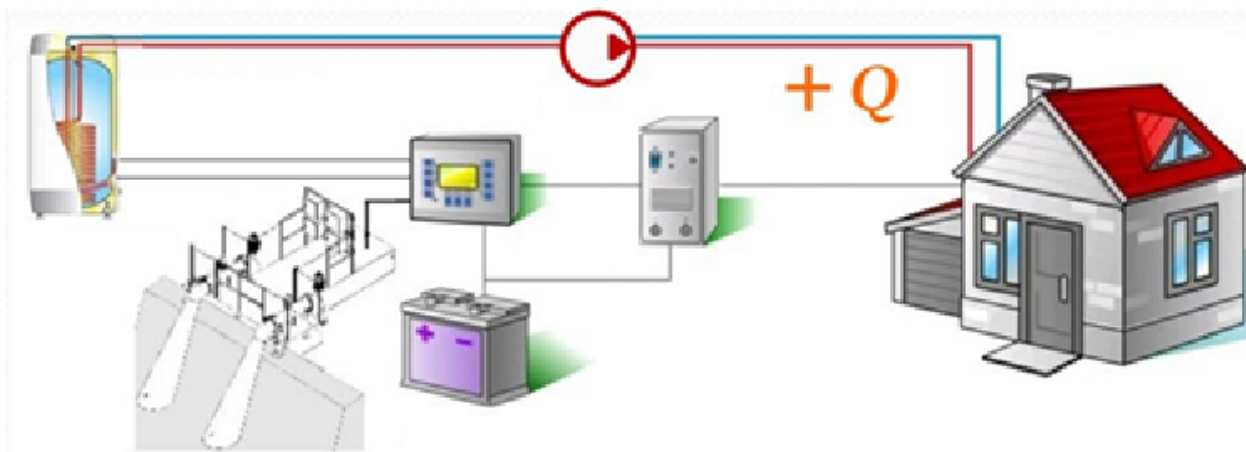


Рисунок 1.8 – Удосконалена схема енергозабезпечення споживача

Таким чином, втрати Q , пов'язані з перетворенням електричної енергії в теплову та розсіюванням останньої в навколишнє середовище, пропонується корисно використовувати для покриття потреб ГВП та опалення.

Це завдання зі створення комбінованого джерела енергії на основі об'єктів малої та мікрогідроенергетики в умовах низьких напорів ($H \leq 2-3$ м) на сьогодні слабо реалізоване також у зв'язку і з тим, що його розв'язання значно ускладнене такою необхідністю:

1. Збільшення встановленої потужності комбінованого джерела енергії;
2. Мінімальними термінами виконання будівельних робіт;
3. Максимальними вимогами до надійності;
4. Максимальними вимогами до безаварійної експлуатації і збільшенні терміну служби мікроГЕС.

Так, збільшення потужності комбінованого джерела енергії на основі об'єктів малої та мікрогідроенергетики шляхом збільшення характерних розмірів гідравлічної машини в її складі недоцільно. Для максимального скорочення будівельних робіт, необхідний пошук найпростіших технічних рішень, що стосуються конструкції гідравлічної частини комбінованого джерела енергії, що включають уніфіковані вузли і серійно вироблювані комплектуючі, а також використання готового напірного фронту, що не вимагає штучного створення геометричного напору.

Для створення енергоефективних мікроГЕС на ділянках з напором близько двох метрів, найкращою турбіною що вирізняється високою частотою обертання відповідають осьові робочі колеса і гідравлічні турбіни Банкі-Мітчела або турбіни Оссбергера рис.1.9.



Рисунок 1.9 – Ротор турбіни Оссбергера

Аналіз експлуатації цих двох типів гідравлічних турбін, показує, що гідро-турбінам Банкі притаманні деякі недоліки порівняно з осьовою: вона має меншу частоту обертання, а також має відкриту систему лопатей.

В реальних умовах експлуатації це може призводити до інтенсивного обмерзання її конструкції в холодну пору, що може призвести до повної втрати працездатності.

Таким чином, основним гідроагрегатом для створення системи енергозабезпечення віддалених споживачів до проєктування приймемо осьову гідравлічну турбіну пропелерного типу, що дасть змогу розширити області застосовуваності робочих коліс цього типу в бік менших напорів, рис. 1.10.



Рисунок 1.10 – Загальний вигляд осьової гідротурбіни

Наступним кроком в процесі створення конструктивної схеми є вибір конфігурації напірного водоводу. Така схема дає змогу розташувати гідравлічну машину в проточній частині водоводу, забезпечивши її повне занурення в робочу рідину. Це дає можливість використовувати майбутню конструктивну схему в набагато ширших природно-кліматичних зонах країни, значно розширюючи географію використання мікроГЕС, що з урахуванням широких територій і великих перепадів температур на території країни є важливим фактором.

Вибір komponування гідроагрегату зумовлений питанням розміщення гідравлічної машини в напірному водоводі на об'єкті застосування. Аналіз можливих варіантів розташування гідравлічної машини, наведених на рис. 1.11,

пов'язаний із вибором найкращого варіанта, який оцінюють за такими показниками:

- можливість запуску без додаткових зовнішніх пристроїв,
- максимальне зниження гідравлічних втрат
- гарантоване заповнення проточної частини під час запуску
- високий кавітаційний запас.



Схема №1

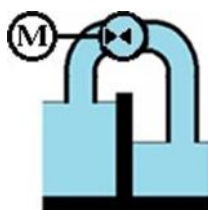


Схема №2

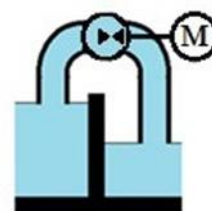


Схема №3



Схема №4



Схема №5



Схема №6

Рисунок 1.11 – Можливі варіанти компоновання гідравлічної частини

Якісний аналіз запропонованих схем було проведено за критерієм кавітаційного запасу, на основі якого виявлено, що найвищим кавітаційним запасом володіє схема №6 внаслідок розташування гідравлічної турбіни на вході в проточну частину напірного водоводу, а найгіршим - схема №5.

Необхідно зазначити, що схема №1 поступається схемі №6 у зв'язку з різницею висот розташування гідротурбіни в цих схемах. Аналогічно, схема №2 поступається схемі №3 за показником місцевого гідравлічного опору, обумовленого витратами енергії на обтікання приводного валу на вході в гідротурбіну. Порівняння схем із застосуванням закону зміни кількості руху в напірному водоводі показує, що робочий процес схеми №6 ідентичний іншим

розглянутим компонуванням.

Схеми №1-4 конструктивного компонування мікроГЕС подібні за розміщенням гідротурбіни у верхній частині напірного водоводу між верхнім і нижнім б'єфами. Отже, для всіх цих схем справедливе рівняння швидкості потоку в напірному водоводі з гідравлічною машиною. Таким чином, з погляду втрат, схеми №1-5 ідентичні і повністю порівнювані з урахуванням прийнятих припущень що сумарний коефіцієнт гідравлічного опору у водоводі гідроагрегаті малозмінний.

Під час розгляду схеми компонування №6 бачимо, що гідравлічна машина в ній розташована у верхньому б'єфі й занурена в робочу рідину. Таке розміщення гідравлічної машини в проточній частині не змінює розрахункової схеми напірного водоводу, що вказує на застосовність до неї виразів для швидкості потоку в напірному водоводі та повну ідентичність робочого процесу з іншими схемами.

Представлений аналіз можливих схем компонування гідравлічної машини в напірному водоводі дає змогу судити про перевагу схеми компонування №6, незважаючи на високі показники і в інших розглянутих схемах. Окрім максимального кавітаційного запасу, ця схема має ще низку інших переваг. Перш за все, це експлуатаційні переваги.

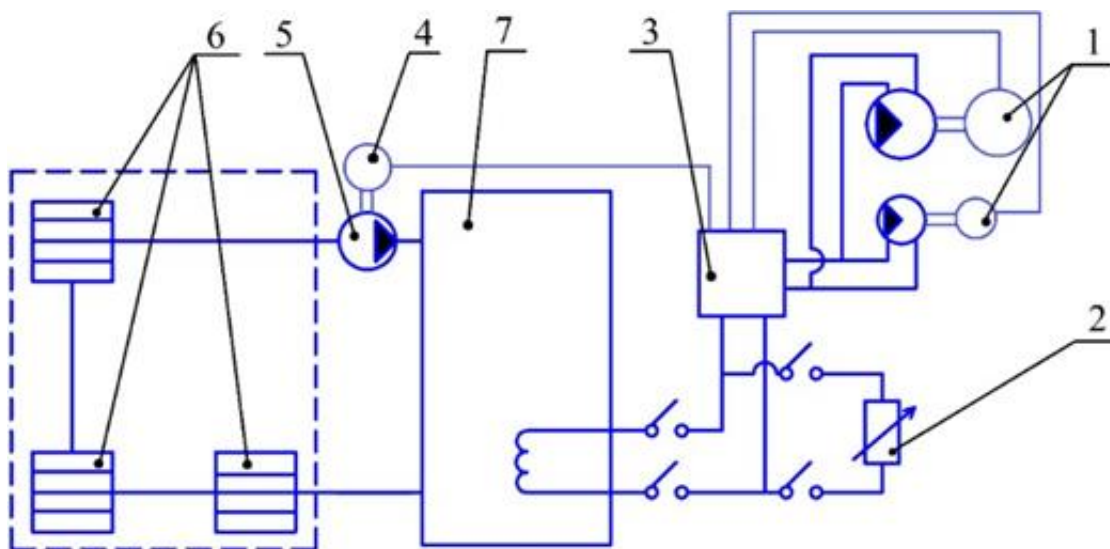
Робоче колесо гідравлічної машини, завдяки його зануренню під рівень верхнього б'єфа, дає змогу спростити процес запуску в роботу шляхом заміни використання системи вакуумування для заповнення робочою рідиною проточної частини на застосування оборотної гідравлічної машини, здатної забезпечити заповнення напірного водогону в насосному режимі та забезпечити подальшу роботу в турбінному режимі.

Застосовувана в схемі мікроГЕС лопатева гідравлічна турбіна осьового типу в умовах роботи мікроГЕС із напірним водогоном здатна експлуатуватися в насосному і турбінному режимах без зміни напрямку свого обертання і напрямку течії робочої рідини у водогоні, що для мікроГЕС позначається на поліпшенні показників швидкодії та оперативності зміни насосного й

турбінного режимів роботи, необхідних для заповнення напірного водогону робочою рідиною і його запуску в роботу.

Таким чином, схему №6 було прийнято для подальшого дослідження і створення системи енергозабезпечення віддалених споживачів.

З використанням результатів раніше проведених досліджень гідравлічної частини низьконапірної мікроГЕС, проблема електропостачання віддалених споживачів може бути вирішена шляхом створення комбінованого енергетичного комплексу. На рис. 1.12 наведено його теплогідравлічну схему.



1 - гідроагрегати потужністю $N_1 > N_2$, 2 - баластний опір, 3 - контролер, 4 – електродвигун циркуляційного насоса, 5 - циркуляційний насос теплогідравлічного контуру, 6 - теплообмінні апарати.

Рисунок 1.12 – Теплогідравлічна схема комбінованого джерела теплової та електричної енергії на основі мікроГЕС

МікроГЕС - основне джерело такої схеми – яка складається із гідроагрегатів різної потужності N_1 і N_2 , що необхідно для забезпечення ефективної роботи комплексу залежно від потрібного навантаження (див. рис. 1.7). Блок керування мікроГЕС представлений системою динамічного моніторингу теплових і гідродинамічних параметрів енергетичного комплексу і, крім того, містить блок баластних опорів, призначених для дискретного регулювання навантаження електричної машини в добовому циклі. У міру

відключення споживачів від мережі, баластні опори підключаються до установки, замінюючи споживачів, і забезпечують компенсацію навантаження та роботу генератора в незмінному режимі.

За такого способу регулювання електричного навантаження в баластних опорах неминуче відбувається дисипація енергії внаслідок переходу електричної енергії в теплову. Запропоноване схемне рішення дає змогу виключити розсіювання енергії в навколишнє середовище і корисно використовувати вивільнену потужність для заповнення теплових втрат і підтримання робочої температури середовища в контурах ГВП та опалення споживачів. Циркуляційний насос забезпечує перекачування теплоносія по тепловому контуру до споживача. Таким чином, запропоноване рішення дає змогу забезпечити:

- стійку і надійну роботу в межах добового циклу;
- підвищення маневреності під час дискретного регулювання потужності,
- використання декількох гідроагрегатів різної потужності для аварійного резервування,
- принцип модульності (нарощування встановленої потужності залежно від потреб споживача).

1.5 Висновки до розділу 1

1 Розвиток систем енергозабезпечення віддалених споживачів є важливим аспектом для забезпечення сталого енергопостачання, зокрема в важкодоступних районах України. Найбільш перспективним напрямком є використання відновлюваних джерел енергії, зокрема МікроГЕС.

2. Потенціал малої гідроенергетики України не повністю використовується, попри значну кількість малих річок та водних ресурсів, доступних для використання. Технологічні обмеження, такі як недостатня ефективність гідротурбін на низьких напорах потребують подальших наукових досліджень та вдосконалення.

3. На основі досліджень європейських країн можна зробити висновок, що МікроГЕС можуть стати ефективним рішенням для забезпечення енергопостачання віддалених споживачів.

4. Одним із головних завдань є розробка комбінованих енергетичних систем, що поєднують виробництво електричної та теплової енергії, зокрема шляхом впровадження гідроенергетичних установок нового покоління на основі ВДЕ. Ці системи повинні бути мобільними, енергоефективними і простими в експлуатації.

5. Проблеми, пов'язані з низьким ККД існуючих енергосистем і високими експлуатаційними витратами, можна розв'язати шляхом модернізації технічних рішень і впровадження новітніх гідроагрегатів з високою частотою обертання, що дозволить досягти значної енергоефективності навіть за умов низьких напорів.

6. Впровадження комбінованих джерел енергопостачання на основі ВДЕ є стратегічно важливим для надійного та сталого енергозабезпечення віддалених споживачів, що дозволить значно знизити вартість виробленої енергії та підвищити екологічність таких систем.

2 ПРОЕКТНО - КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Опис об'єкта дослідження

Особливості існуючої гідромережі та ландшафту в районі села Липиці що у Львівській області дозволяють побудувати мікро ГЕС.

Метою будівництва мікро - ГЕС є виробництво електричної енергії з частотою струму 50 Гц для живлення типового туристичного котеджу і передачі надлишків в єдину державну електричну мережу.

Проект передбачає встановлення мікро - ГЕС з максимальною потужністю до 20 кВт. Максимальний напір бруто становить $H_{бр} = 7,50$ м.

Будівлі ГЕС будують безпосередньо біля річки в деяких випадках розташовують у глибокій виїмці. Збільшення обсягів робіт зі спорудження виїмки та відвідного каналу окупається за рахунок зменшення довжини трубопроводів.

За допомогою програми Google Earth, було побудовано профіль рельєфу вибраного створу мікро - ГЕС (рис. 2.1).

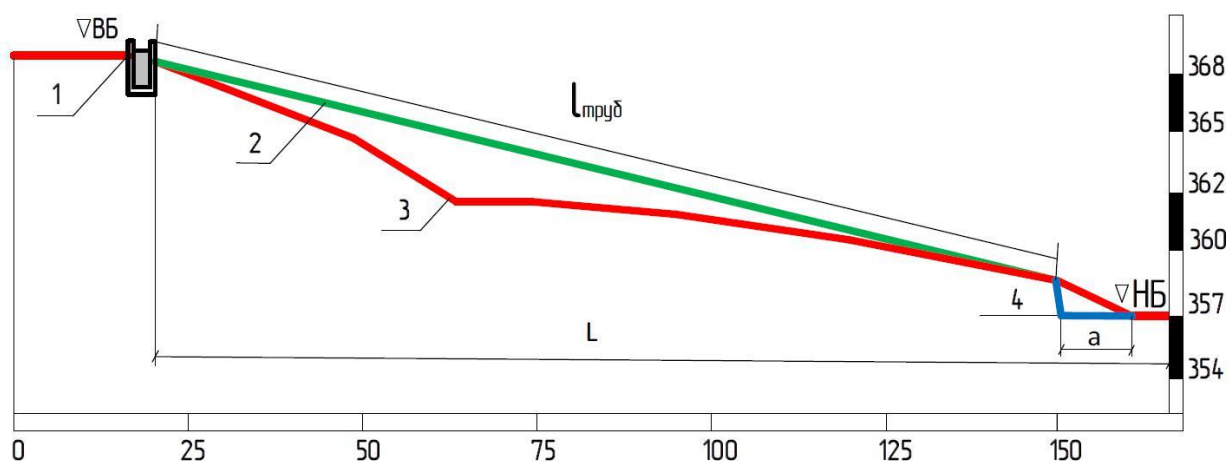


Рисунок 2.1 – Рельєф мікро - ГЕС.

1 - напірний басейн; 2 - напірний трубопровід; 3 - профіль рельєфу; 4- будівельний майданчик і дно відвідного каналу.

2.2 Розробка гідротехнічної частини проекту

Будівля ГЕС є конструкцією розмірами 10×12 м в якій розміщуються гідротурбіни, генератори, трансформатори та система керування.

Подача електроенергії в мережу, відповідно до технічних умов, здійснюватиметься через мережу 10 кВ. Обслуговувати мікро - ГЕС буде технічний персонал у складі 2-4 осіб.

На рисунку 2.2 наведено план будівлі мікро – ГЕС.

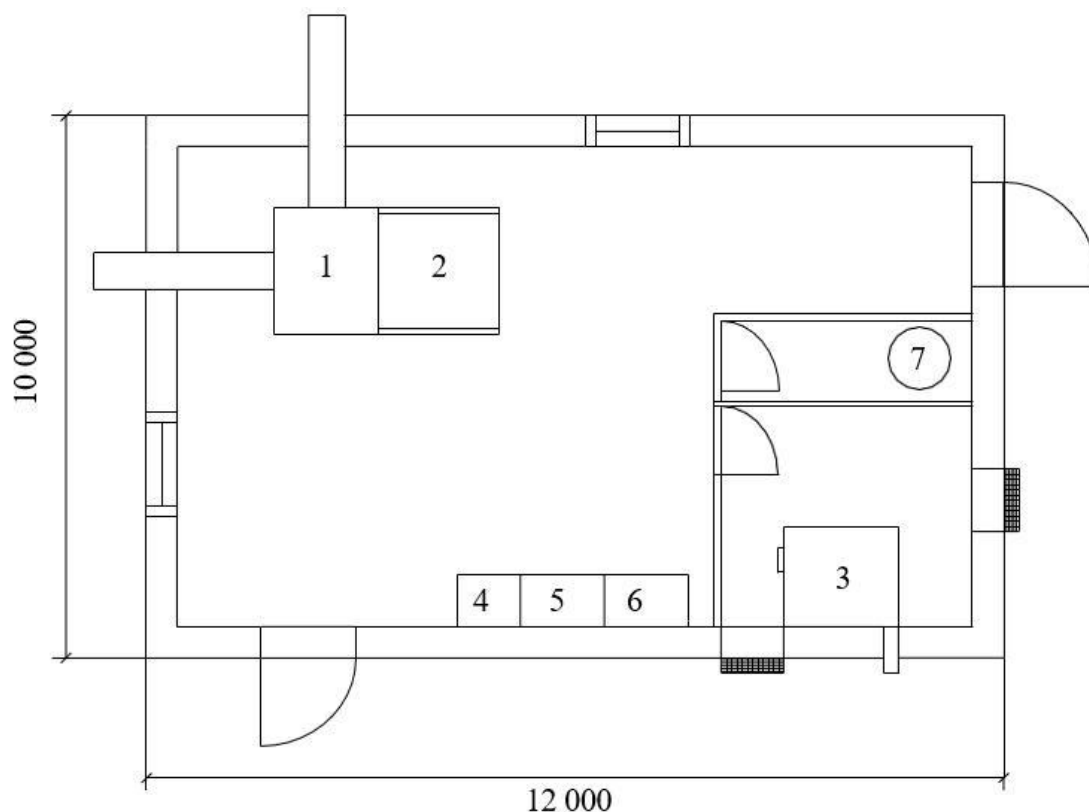


Рисунок 2.2 – План будівлі ГЕС.

1 - гідроагрегат; 2 - блок баластного навантаження; 3 - дизельний генератор; 3 - шафа керування гідроагрегатом; 4 - система запуску генератора; 5 - система автоматичного керування гідроагрегатом; 6 - система аварійної зупинки.

2.2.1 Розрахунок діаметру напірного трубопроводу

Під час проєктування підвідного напірного трубопроводу критично

важливим параметром є його діаметр, від якого залежать гідравлічні втрати в трубопроводі, зручність його монтажу та подальшої експлуатації.

Послідовність розрахунку діаметра трубопроводу проводимо в такій послідовності:

1. Визначимо допустиму швидкість течії води в трубопроводі за формулою:

$$V_{T,T} = (0,5 \dots 1,0) \cdot \sqrt{H_{ГЕС}} \quad (2.1)$$

де $H_{ГЕС}$ - параметр напору гідроелектростанції, заданий без втрат на тертя.

2. Наступним кроком стане визначення мінімального і максимального діаметра, що дасть можливість вибору відповідного турбінного трубопроводу:

$$D_{\min} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_T}{0,5\pi \cdot \sqrt{H_{ГЕС}}}} = \sqrt{1,27 \cdot \frac{Q_T}{\sqrt{H_{ГЕС}}}} = \sqrt{1,27 \cdot \frac{0,13}{\sqrt{10}}} = 0,228 \text{ м.} \quad (2.2)$$

$$D_{\max} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_T}{\pi \cdot \sqrt{H_{ГЕС}}}} = \sqrt{2,55 \cdot \frac{Q_T}{\sqrt{H_{ГЕС}}}} = \sqrt{2,55 \cdot \frac{0,13}{\sqrt{10}}} = 0,363 \text{ м.} \quad (2.3)$$

Знаючи значення мінімально необхідного і максимального діаметра, обираємо матеріал трубопроводу і його виробника.

У проєктах малих ГЕС напірні трубопроводи майже завжди виконували зі сталевих труб, але нині, з метою економії та зручності транспортування, монтажу застосовують сучасні поліетиленові труби типу ПНД 100.

Для нашої мікро - ГЕС виберемо трубу ПЕ-100 SDR-26 315 мм (рис. 2.3).

Щоб уточнити діаметр трубопроводу, необхідно врахувати гідравлічні втрати, які виникають під час протікання води трубою. При цьому враховуємо, що втрати істотно впливають на кінцеву величину напору.

Для розрахунку скористаємося формулою:

$$\Delta H = 1,1\lambda \frac{l_{дог}}{D_{cm}} \cdot \frac{V^2}{2g}. \quad (2.4)$$

де 1,1 - коефіцієнт, що впливає на втрати у водозаборі; D_{cm} - попередній

діаметр напірного трубопроводу, м; $l_{\text{дов}}$ - довжина напірного трубопроводу, м; λ - коефіцієнт опору по довжині водоводу.



Рисунок 2.3 – Загальний вигляд труби ПЕ-100.

Для пластмасових труб коефіцієнт опору по довжині водоводу визначається за формулою:

$$\lambda = \frac{0,01344}{(D_{cm} \cdot V)^{0,226}}. \quad (2.5)$$

Отже, гідравлічні втрати в напірному трубопроводі становитимуть:

$$\begin{aligned} \Delta H &= 1,1\lambda \frac{l_{\text{дов}}}{D_{cm}} \cdot \frac{V^2}{2g} = 1,1 \cdot \frac{0,01344}{(D_{cm} \cdot V)^{0,226}} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot 9,81} = \\ &= 0,7535 \cdot 10^{-3} \cdot l \cdot \frac{V^{1,774}}{D_{cm}^{1,26}} = 1,1566 \cdot 10^{-3} \cdot l \cdot \frac{Q^{1,774}}{D_{cm}^{4,774}} = \\ &= 1,1566 \cdot 10^{-3} \cdot 150 \cdot \frac{0,13}{0,315^{4,774}} = 1,155 \text{ м.} \end{aligned}$$

Напір на турбіні мікро – ГЕС після розрахунку втрат дорівнює 8,645

метрів.

В умовах, коли витрата води обмежена, потужність, що виробляється генератором, буде максимальною тільки в тому разі, коли втрати напору будуть рівними до нуля. При цьому втрати зменшуються при збільшенні діаметра.

За розрахованими допустимими параметрами труби є можливість збільшити діаметр напірного трубопроводу до 355 мм з каталогу виробника, значно зменшивши втрати.

Для подальшого проектування приймемо до встановлення трубу ПЕ-100 SDR-26 355 мм.

У результаті втрати на напірному трубопроводі (ΔH) становитимуть 0,65 метра, а напір збільшиться, порівняно з першим обраним варіантом, до 9,35 метра. В нашій роботі передбачено прокладання трубопроводу в попередньо підготовлену траншею, як показано на рис. 2.4.

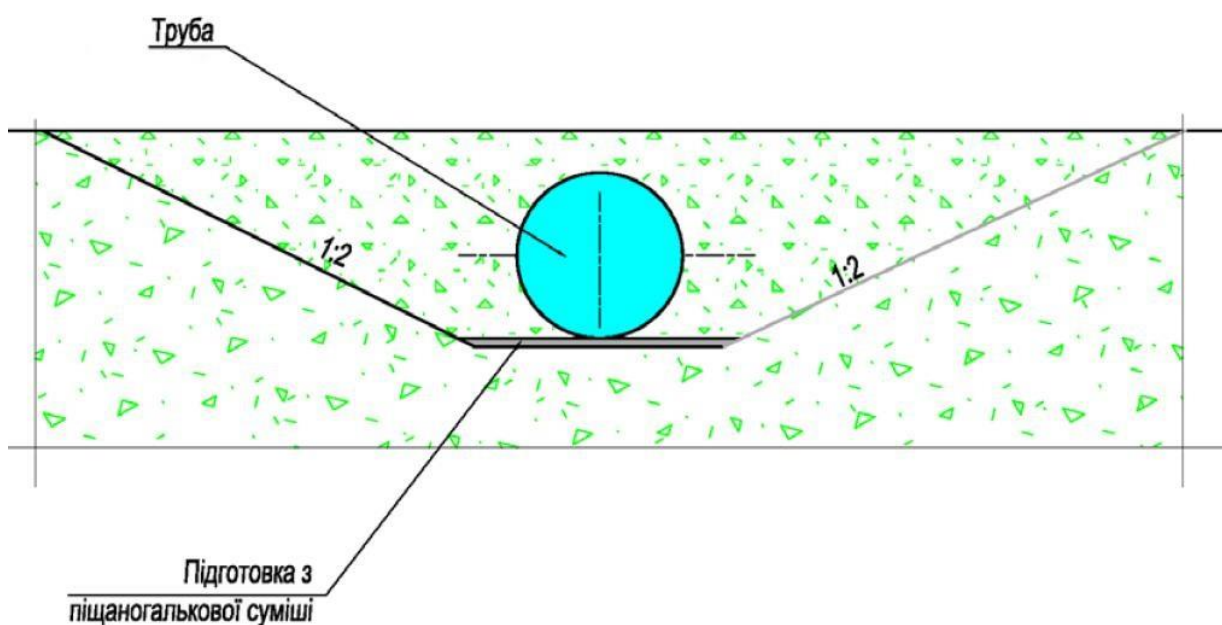


Рисунок 2.4 – Прокладання трубопроводу в траншеї.

2.2.2 Розробка плану напірного басейну

Для нормальної роботи гідроагрегату необхідно, щоб напірний трубопровід був повністю заповнений водою, тому, що тільки у такому випадку створюється необхідний тиск.

Це завдання вирішується шляхом будівництва перед трубопроводом напірного басейну (рис 2.5).

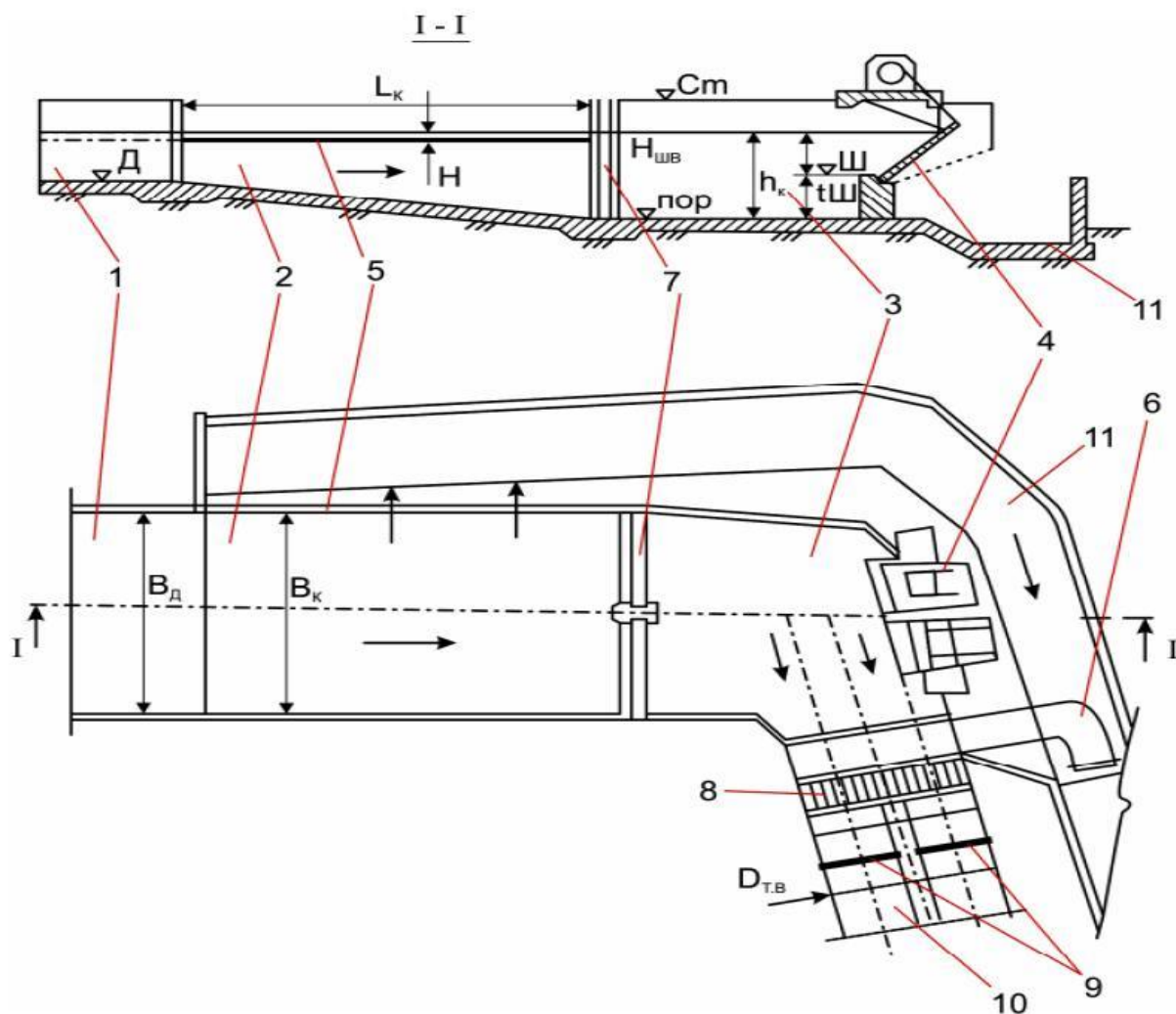


Рисунок 2.5 – Схема напірного басейну.

1 - дериваційний канал; 2 - аванкамера; 3 - водоприймач; 4 - шугоскид; 5 - аварійний водозлив; 6 - шандорний паз; 7 - запобіжна решітка; 8 - запірна засувка; 9 - трубопроводи; 10 - водоскид.

Ширина аванкамери по верху, приймається рівною ширині дериваційного каналу, м.

$$\begin{aligned} B_k &\geq (1,4 \dots 1,6) n_{a.m} D_{m.6} \\ B_k &\geq (1,4 \dots 1,6) \cdot 1 \cdot 0,355, \\ B_k &\geq 0,5325. \end{aligned} \quad (2.6)$$

де: $n_{a.m}$ - кількість турбін, шт;

2.2.3 Вибір типу гідроагрегату для мікро-ГЕС

Опираючись на напір вибраного створу 10 метрів, враховуючи номенклатуру гідроагрегатів (рис. 2.7) і витрати у літньо - осінній сезон 130 л/с, визначимо тип гідроагрегата мікро-ГЕС:

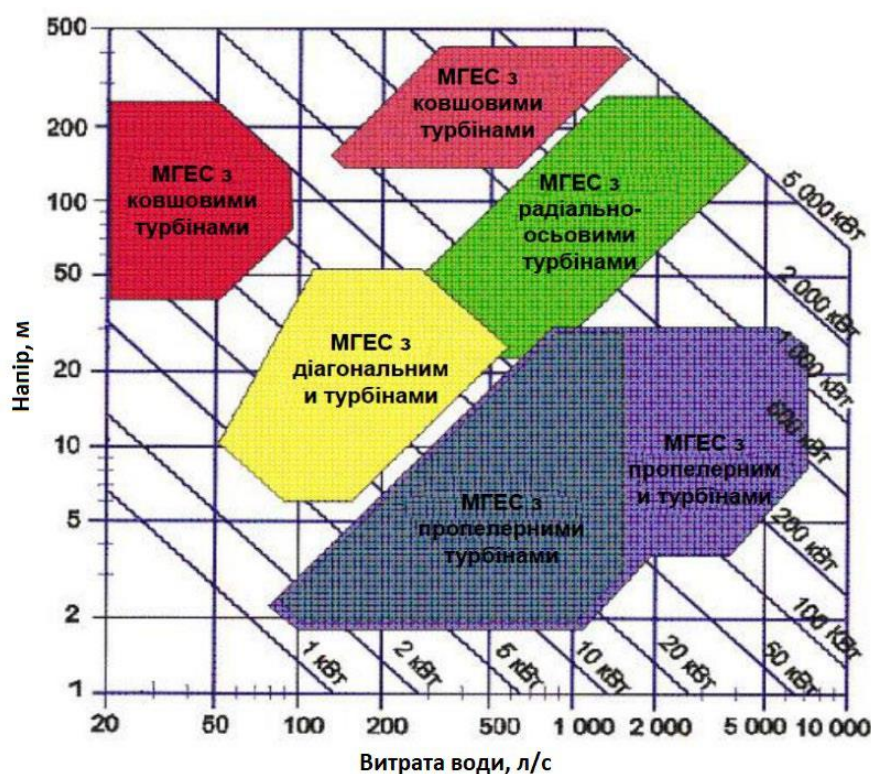


Рисунок 2.7 – Діаграма підбору гідроагрегатів.

Таким чином, приймаємо гідроагрегат з діагональними турбінами потужність рівною 20 кВт, для подальших розрахунків приймаємо гідроагрегат типу Т-32 українського виробника ТОВ «МініГідро».

Таблиця 2.1

Коротка технічна характеристика гідротурбіни Т-32

Параметр	Од. вимірювання	Значення
Тип турбіни	—	Пропелерна
Напір води	м	10
Витрата води	м ³ /с	0,7
Потужність	кВт	20

На рис.2.8 наведено будова гідротурбіни та показано розріз труби гідротурбіни

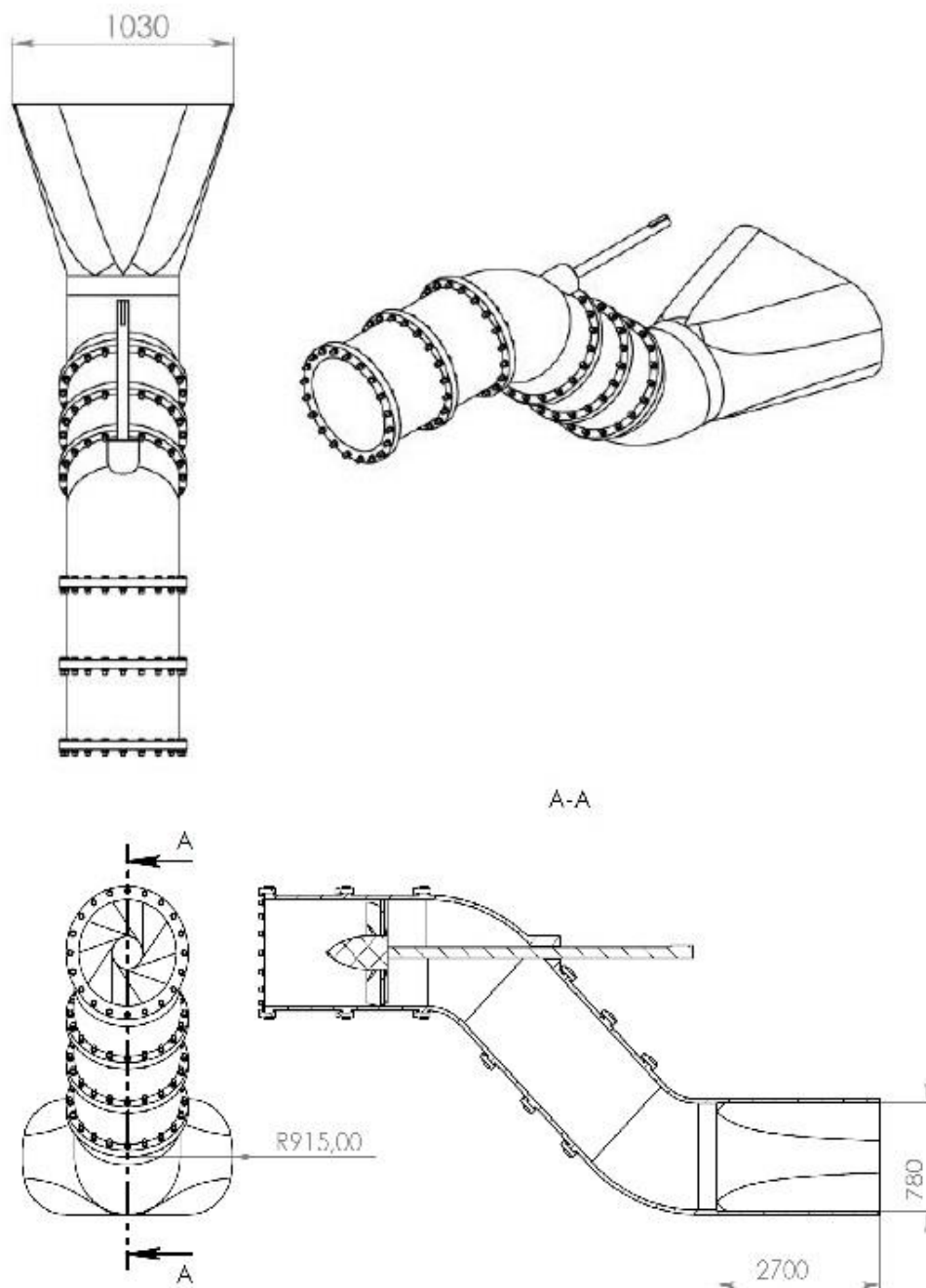


Рисунок 2.8 – Будова та розріз гідротурбіни

Вибираємо генератор на постійних магнітах потужністю 20 кВт, рис.2.9.

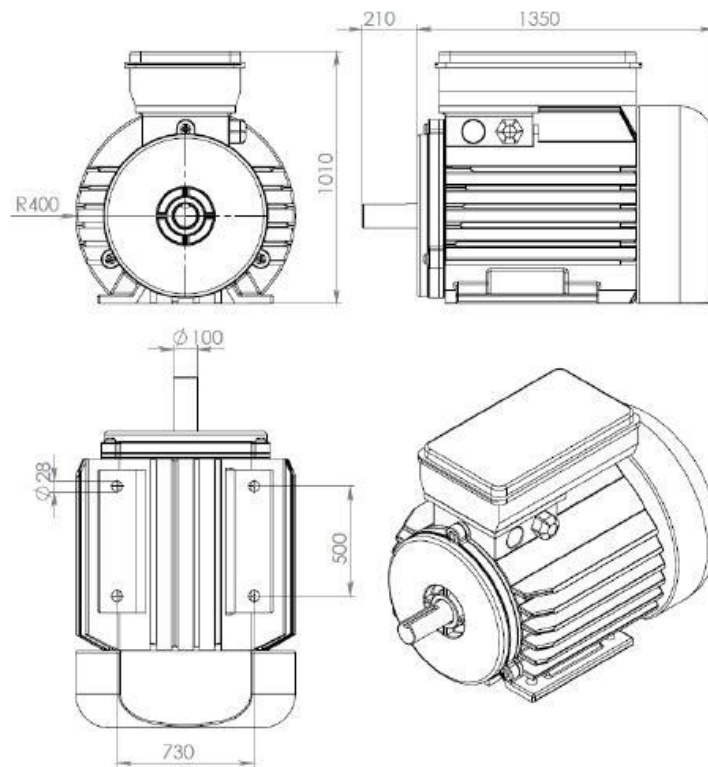


Рисунок 2.9 – Зовнішній вигляд генератора на 20 кВт

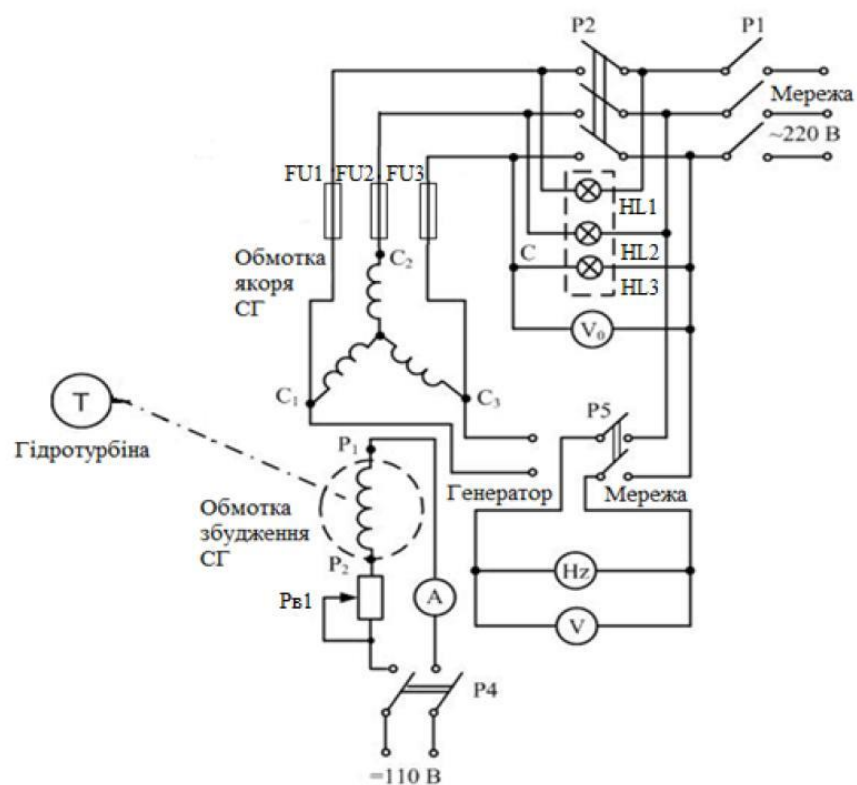


Рисунок 2.10 – Схема підключення генератора до мережі

На рис. 2.11 наведено загальну схему компоновки мікро-ГЕС.

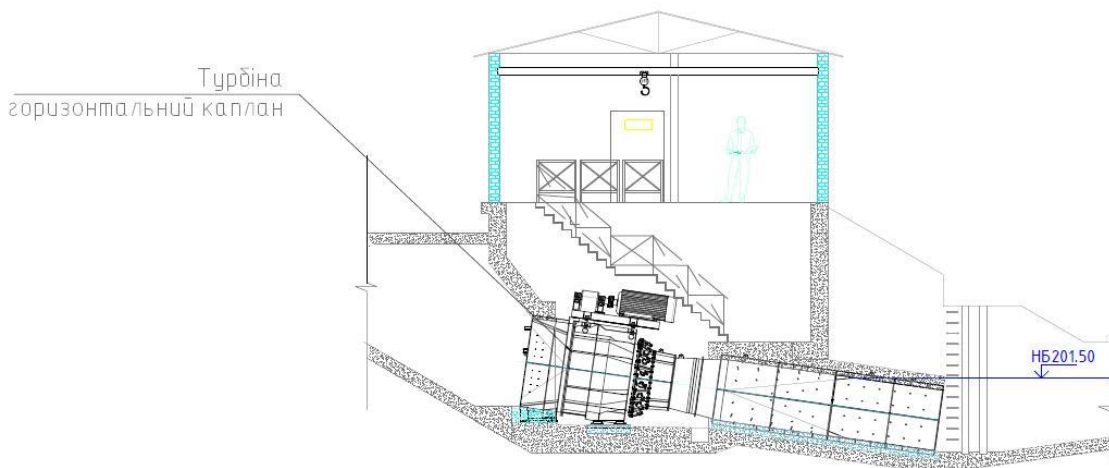


Рисунок 2.11 – Розріз Будівлі мікро-ГЕС

2.3 Розробка електротехнічної частини проекту

2.3.1 Розробка структурної схеми системи електропостачання

Перед розробкою загальної електричної схеми об'єкта електропостачання необхідно розділити існуючі електроприймачі за групами.

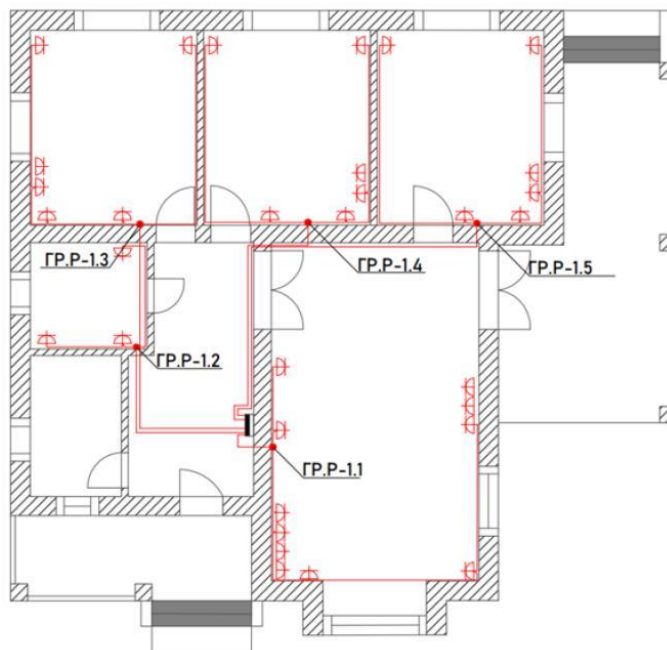


Рисунок 2.12 – Схема планування розеток

На рис. 2.12 проведено планування мережі розеток, а також розподілено

на групи освітлювальну мережу рис. 2.13.

Поділ на групи дозволяє розділити навантаження, забезпечити зручність та безпеку під час використання електроприймачів.

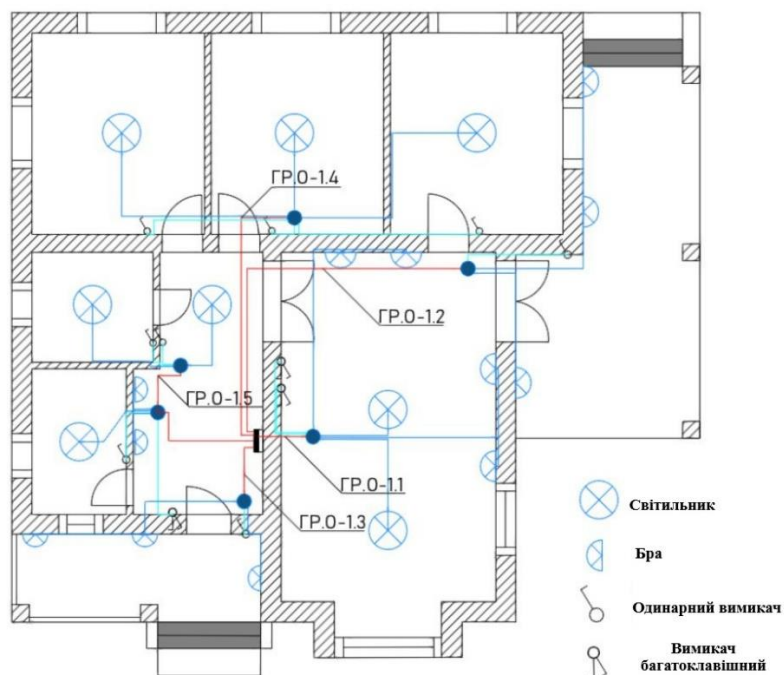


Рисунок 2.13 – Схема розташування освітлювальних приладів

2.3.2 Розрахунок перерізу струмоведучих жил та вибір марки кабелю

В процесі розробки системи внутрішнього електропостачання об'єкта (проект електропроводки), необхідно передусім визначитися з типом використаного кабелю, а також розрахувати його січення. При цьому необхідно дотримуватися певних умов:

1. Вибраний провід повинен проводити електричний струм і при цьому не нагріватись;
2. Витримувати короточасні перевантаження;
3. В провіднику, падіння напруги, має перебувати у встановлених межах.
4. Вибір типу проводу проводити з урахуванням попередньо обраного місця прокладання і способу монтажу, категорії приміщення, а також з врахуванням впливу зовнішнього середовища.

Згідно з ПУЕ « для внутрішньої електропроводки котеджів використову-

ють дроти та кабелі з мідними жилами, виконаними з три- або п'яти провідною системою».

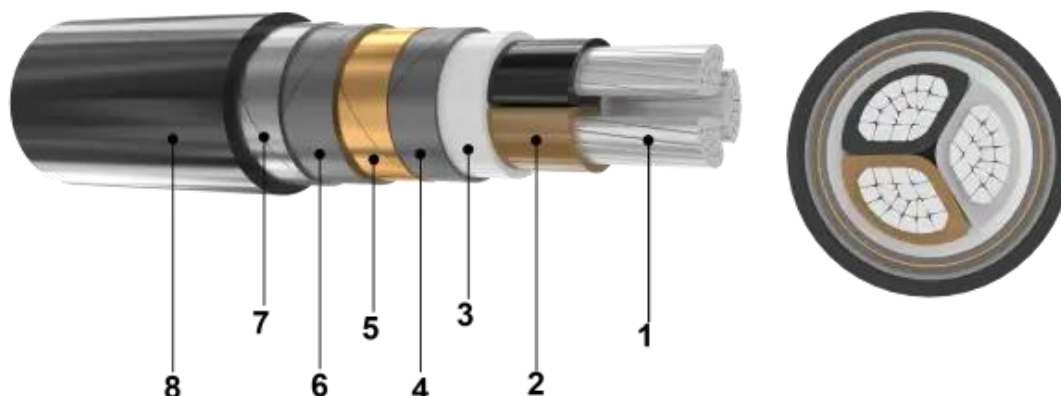
У зв'язку з цим, для внутрішнього електропостачання електроприймачів, вибираємо кабель марки ВВГнг LS-П виробника Одескабель, загальний вигляд кабелю наведено на рис.2.14.



Рисунок 2.14 – Загальний вигляд трьохжильного кабелю ВВГнг LS-П

- Кількість і тип жили: три мідні жили;
- Клас горючості - нг - пониженої горючості;
- Під час загоряння в атмосферу виділяється невелика кількість отруйних речовин, унаслідок плавлення ізоляції.

Для зовнішнього прокладання кабелю в ґрунті обираємо броньований кабель марки ВВБбШв, загальний вигляд кабелю показано на рис. 2.15.



- 1 - Мідна багатодротяна ущільнена струмопровідна жила; 2 - Ізоляція з ПВХ пластикату;
 3 - Джгут із ПВХ пластикату; 4 - Обмотка ПЕТ плівкою; 5 - Поясна ізоляція із ПВХ пластикату;
 6 - Шар обмотки напівпровідним папером; 7 - Мідний екран; 8 - Стрічкова подушка під броню;
 9 - Броня з двох сталевих оцинкованих стрічок; 10 - Випресований захисний шланг із ПВХ пластикату

Рисунок 2.15 – Загальний вигляд броньованого кабелю ВВБбШв

Після обраної марки кабелю, необхідно визначитися з його січенням, для цього необхідно дотриматися умови:

Допустимий номінальний струм навантаження кабелю, за температури $+25^{\circ}\text{C}$ має бути більшим за максимально розрахунковий струм навантаження:

$$I_{\text{доп.}} \geq I_{p,\text{max}} \quad (2.10)$$

При цьому необхідно враховувати, що допустимий струм проводу для внутрішнього прокладання залежить від способу прокладання кабелю в приміщенні.

Таким чином, у розрахунок максимального струму навантаження необхідно ввести коефіцієнти, тоді формула набуде вигляду:

$$I_{\text{доп.}} \geq \frac{I_{p,\text{max}}}{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3} \quad (2.11)$$

де:

K_1 - коефіцієнт, що враховує температуру навколишнього середовища, відмінну від 25°C ;

K_2 - коефіцієнт, що залежить від способу прокладання кабелю;

K_3 - коефіцієнт, що враховує вплив поруч прокладених провідників.

Під час вибору перерізу кабелю живлення мікро-ГЕС прокладеного в ґрунті від будівлі ГЕС, необхідно враховувати такі чинники:

- вплив температури ґрунту β_1 ;
- вплив способу прокладання кабелю β_2 ;
- дія на кабель прокладених поруч провідників β_3 ;
- врахування властивості ґрунту β_4 ;

Формула для розрахунку струму навантаження провідника набуде вигляду:

$$I_{\text{доп.}} \geq \frac{I_{p,\text{max}}}{\beta_1 \beta_2 \beta_3 \beta_4}, \quad (2.12)$$

Таким чином, використовуючи описані рекомендації, проведемо розрахунок січення кабелю для внутрішнього і зовнішнього прокладання.

Здійснюємо вибір коефіцієнтів, приймаємо температуру навколишнього середовища в котеджі $t_{o,c} = +25^{\circ}\text{C}$, температура ґрунту $t_{\text{гр.}} = +15^{\circ}\text{C}$:

- 1) для кабелів у полівінілхлоридній ізоляції при $t_{o.c} = +25^{\circ}\text{C}$ $K_1=1,0$;
- 2) для кабелів у трубах, прокладених у термоізолюючому матеріалі (штукатурці) $K_2 = 0,77$;
- 3) для одного кабелю, прокладеного в стіні $K_3= 1,0$ для двох кабелів, прокладених у стіні $K_3 = 0,8$;
- 4) для кабелів у полівінілхлоридній ізоляції при зазначеній температурі ґрунту $t_{ep.} = +15^{\circ}\text{C}$, $\beta_1 = 1,05$;
- 5) для кабелів, безпосередньо прокладених у ґрунті $\beta_2= 1,0$;
- 6) для одного кабелю, прокладеного в моноліті в один шар $\beta_3= 1,0$;
- 7) для сирого ґрунту прокладено $\beta_4 = 1,05$.

Формули для розрахунку провідників набувають вигляду:

- для проводів прокладених у будівлі туристичного котеджу:

$$I_{\text{кот.}} \geq \frac{I_{p\cdot\text{max}}}{1,0 \cdot 0,77 \cdot 0,88}. \quad (2.13)$$

- для кабелю зовнішнього електропостачання:

$$I_{\text{зов.}} \geq \frac{I_{p\cdot\text{max}}}{1,05 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,05}. \quad (2.14)$$

Результати розрахунків, а також марки вибраних кабелів їх січення і кількість жил зведемо у таблицю 2.2.

Таблиця 2.2

Зведена таблиця вибору та розрахунку провідників

Найменування мережі	$I_{\text{доп. розрах.}}, \text{A}$	Марка кабелю, к-ть і січення жил, мм^2	$I_{\text{доп.}}, \text{A}$
1	2	3	4
Розетка у вітальній	18,44	ВВГнг-LS 3×2,5	21
Розетка у ванній	11,77	ВВГнг-LS 3×2,5	21
Розетка у спальній №1	12,32	ВВГнг-LS 3×2,5	21

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4
Розетка у спальній №2	12,32	ВВГнг-LS 3×2,5	21
Розетка у спальній №3	12,32	ВВГнг-LS 3×2,5	21
Освітлення вітальні	0,15	ВВГнг-LS 3×1,5	15
Освітлення тераси	0,13	ВВГнг-LS 3×1,5	15
Зовнішнє освітлення	0,13	ВВГнг-LS 3×1,5	15
Освітлення спальень	0,17	ВВГнг-LS 3×1,5	15
Освітлення коридору	0,14	ВВГнг-LS 3×1,5	15
Ввідний автомат	17,52	ВБШв 4×10	73

2.3.3 Розрахунок та підбір захисного обладнання

Вибір марки кабелю та його січення дозволяє перетину провести нам розрахунок захисного пристрою, який забезпечить безпеку електроприладів і самого провідника від перевантаження.

При цьому необхідно дотримуватися такої умови: допустимий номінальний струм захисного пристрою має бути більшим за допустимий робочий струм навантаження для провідника:

$$I_{н.д} \geq I_{н.н}. \quad (2.15)$$

Також необхідно враховувати температуру оточуючого середовища, оскільки температура прямо впливає на автоматичний вимикач, зокрема на терморозчеплювач і якщо температура перевищить +30°C, відбудеться помилкове спрацювання захисту.

Отже, під час вибору апаратів захисту, необхідно врахувати температурний коефіцієнт K_t :

$$I_{н.д} \geq I_{н.н} \cdot K_t. \quad (2.16)$$

де:

K_t - температурний коефіцієнт.

В таблиці 2.3 представлено величини коефіцієнта K_t , що залежать від

температури навколишнього середовища для автоматичних вимикачів.

Таблиця 2.3

Величина зміни температурного коефіцієнта від температури

$t, ^\circ\text{C}$	20	30	35	40	45	50	55	60
K_t	1,05	1,0	0,97	0,95	0,92	0,89	0,87	0,84

Враховуючи дані табл. 2.3 проводимо розрахунок і вибір автоматичних вимикачів. Температуру навколишнього середовища в котеджі приймаємо рівною $t_{o.c} = +25^\circ\text{C}$. Вибір автоматичних вимикачів здійснюємо за каталогом.

Для прикладу виконаємо розрахунок автоматичного вимикача QF1:

$$I_{\text{вим.}} \geq \frac{I_{\text{н.д.}}}{K_t} = \frac{6,73}{1,025} = 7\text{ А.}$$

За каталогом вибираємо диференціальний автоматичний вимикач типу АВДТ32, характеристика спрацьовування розчеплювача «С», номінальний струм 16А.

Результати по вибору автоматичних вимикачів зведемо в таблицю 2.4.

Таблиця 2.4

Розрахунок та вибір автоматичних вимикачів (апаратів захисту)

Позначення	Найменування автоматичного вимикача	Номінальний струм, А	Характеристика спрацьовування розчеплювача
QSF1	АВДТ32 С16 2Р	16	С
QSF2	АВДТ32 С16 2Р	16	С
QSF3	АВДТ32 С16 2Р	16	С
QSF4	АВДТ32 С16 2Р	16	С
QSF5	АВДТ32 С16 2Р	16	С
QF6	ВА47-29 1Р	0,5	С
QF7	ВА47-29 1Р	0,5	С
QF8	ВА47-29 1Р	0,5	С
QF9	ВА47-29 1Р	0,5	С
QF10	ВА47-29 1Р	0,5	С
QSF-H	АВДТ34 С20 3Р	25	С
QSF-H	АВДТ34 С20 3Р	25	С

Для обліку електроенергії котеджем виберемо однофазний лічильник

прямого включення NIK-2102/



Рисунок 2.16 – Загальний вигляд трифазного лічильника Nik-2102

За підсумками розділу, складено однолінійну електричну схему проєктованого котеджу рис.2.17.

2.3.4 Схема приєднання мікро-ГЕС до мережі

На рис. 2.18 показана електрична схема приєднання мікро-ГЕС до електро-
мережі. Гідроагрегат створює механічну енергію, яка потім передається до синхронного генератора (G), де вона трансформується в електричну енергію трифазного змінного струму.

Енергія від генератора через автоматичні вимикачі (QF), які забезпечують захист від коротких замикань і перевантажень передається до споживача.

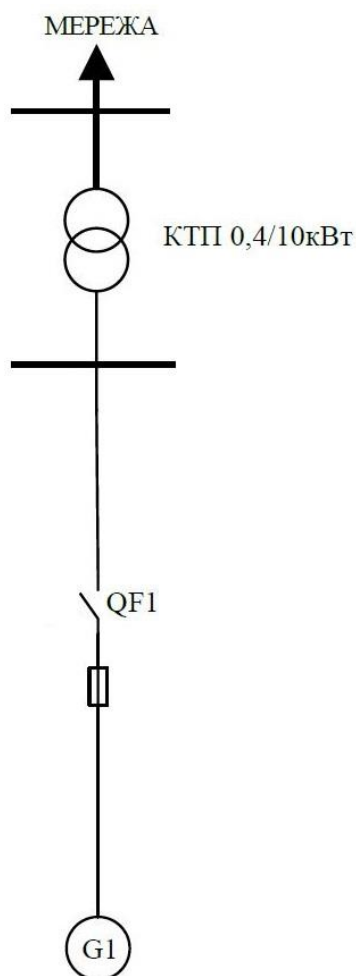


Рисунок 2.18 – Схема приєднання мікро – ГЕС до мережі

2.4 Висновки до розділу 2

1. Проведені дослідження і розрахунки підтверджують технічну життєздатність проекту мікро-ГЕС в районі села Липиці, з урахуванням особливостей гідромережі та ландшафту.

2. Вибір напірного трубопроводу, його діаметра і матеріалу (ПЕ-100 SDR-26) гарантує безперебійну роботу системи при наявності обмеженого витоку води.

3. Проект мікро-ГЕС з максимальною потужністю 20 кВт задовольняє потреби місцевого об'єкта (туристичного котеджу), одночасно дозволяючи продавати надлишкову електричну енергію в об'єднану електричну мережу України.

4. Детальні розрахунки і правильний вибір матеріалів гарантують безпеку і надійність всіх елементів мікро-ГЕС, а також їх безперебійну роботу протягом тривалого часу.

5. Спроектowana електрична система відповідає вимогам безпеки і зручності в експлуатації, забезпечуючи подачу електроенергії до мережі.

З РОЗРАХУНКОВО - ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Попереднє обґрунтування вибору річки та місця для мікро-ГЕС

Вивчивши потенційно перспективні річки і можливості для будівництва мікро-ГЕС для виробництва електроенергії, було обрано ділянку на річці Дністер біля села Липиці що у Львівській області, на рис. 3.1 ділянка для будівництва зафарбована жовтим кольором.



Рисунок 3.1 – Розташування мікро-ГЕС на карті

На рис.3.2 наведено проект мікро-ГЕС у руслі річки Дністер.



Рисунок 3.2 – Розташування мікро-ГЕС у руслі річки Дністер

Об'єкт електропостачання розташовуватиметься в селищі Липиці.

Село Липиці розташоване в Стрийському районі Львівської області, входить до складу Миколаївської міської громади. Населення складає 257 осіб. Площа села становить 0,54 км², що забезпечує високу густоту населення — близько 475,93 осіб/км². До складу села входить хутір Малі Липиці, розташований за 2,8 км на схід від центральної частини.

Історія села налічує понад п'ять століть: воно було засноване в 1487 році. Цікаво, що саме біля села Верхня Липиця було виявлено перший відомий пам'ятник липицької культури — тілопальний могильник, датований II–III століттями нашої ери. Ця культура є важливим елементом археологічної спадщини регіону.

У селі народився Ігор Возняк, який з 2005 року обіймає посаду архієпископа Львівського.

Липиці є частиною Миколаївської міської громади, яка налічує 24 населених пункти, включаючи місто Миколаїв та інші села, такі як Більче, Болоня, Велика Горожанна, Вербіж, Гірське та інші.

3.1.2 Розрахунок енергетичних характеристик об'єкта електропостачання

Об'єктом для електропостачання в даній роботі є проект типового котеджу для туристів. Приміщення складається з трьох спальень для відпочинку, ванної кімнати, вітальні суміщеної з кухнею, коридору і тераси. У кожній спальні присутні електроприлади, які забезпечать комфортні умови для відпочинку.

Розміри всього приміщення становлять 15385×13615 мм.

Також було прийнято рішення відмовитися від електричної плити на користь газової. Опалення приміщення можливо здійснити за допомогою блоку баластного навантаження.

Планування приміщень котеджу показано на рисунку 3.3.

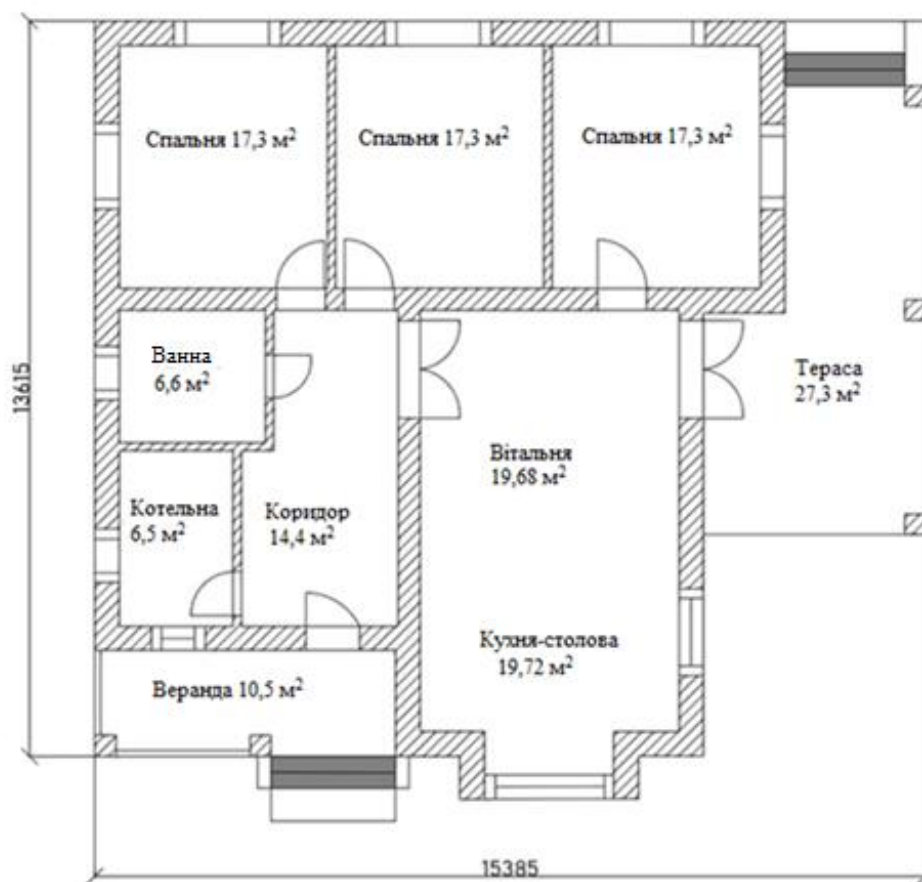


Рисунок 3.3 – План розташування приміщень котеджу

В таблиці 3.1 наведено перелік електроприладів, встановлених в котеджі із зазначенням номінальної потужності:

Таблиця 3.1

Зведена таблиця електроприладів по кімнатах

Тип приміщення	Площа-прим., м ²	Найменування електроприладів	Номінальна потужність, кВт
Вітальня	19,68	4 розетки на струм 6А	1
		Домашній кінотеатр	0,8
Кухня	19,72	Холодильник	1,7
		Чайник	1,45
		НВЧ - піч	1,2
		Витяжка	0,5
		Телевізор	0,1
		1 розетки на струм 6А	0,8
Спальня 1	17,3	Кондиціонер	2,5
		Телевізор	0,1
		Фен	1,6
		3 розетки на струм 6А	0,3
Спальня 2	17,3	Кондиціонер	2,5
		Телевізор	0,1
		Фен	1,6
		3 розетки на струм 6А	0,3
Спальня 3	17,3	Кондиціонер	2,5
		Телевізор	0,1
		Фен	1,6
		3 розетки на струм 6А	0,3
Ванна	6,6	Пральна машина	2,5
		Пральна машина	0,1
		Ванна з гідромасажем	1,6
		1 розетка на струм 6А	1
Сумарне навантаження, кВт			26,25

Наступним кроком в процесі розрахунку електроспоживання є проведення розрахунку внутрішнього і зовнішнього освітлення котеджу, для цього скористає-мося формулою:

$$P = S \cdot P_{вст} \cdot K_n \cdot K_{\epsilon} \quad (3.1)$$

де S – площа приміщення, у якому розташоване джерело освітлення, m^2 ,

$P_{вст}$ – встановлена потужність, $Вт/m^2$,

$K_{n\epsilon}$ – коефіцієнти попиту і використання.

Для розрахунку необхідної потужності освітлення для кожного приміщення необхідно обрати стандартні значення встановленої потужності одного джерела освітлення залежно від типу приміщення, а також відповідні їм коефіцієнти (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2

Параметри освітлення для кожного типу приміщення

Тип приміщення	$P_{вст}$, $Вт/m^2$	K_n	K_{ϵ}
Вітальня	4,5	0,8	0,8
Спальня	3,4	0,6	0,6
Кухня	4	1,0	0,8
Ванна	1	0,8	0,8
Інше	2,7	0,8	0,8

Таким чином, підсумковий розрахунок потужності набуде вигляду:

Розрахункова потужність освітлення:

У вітальні:

$$P = S \cdot P_{вст} \cdot K_n \cdot K_{\epsilon} = 19,68 \cdot 4,5 \cdot 0,8 \cdot 0,8 = 56,68 \text{ Вт};$$

У спальній, до цієї категорії належать 3 спальні:

$$P = S \cdot P_{вст} \cdot K_n \cdot K_{\epsilon} = 17,3 \cdot 3,4 \cdot 0,6 \cdot 0,6 = 21,17 \text{ Вт};$$

На кухні:

$$P = S \cdot P_{вст} \cdot K_n \cdot K_{\epsilon} = 19,72 \cdot 4 \cdot 1,0 \cdot 0,8 = 63,11 \text{ Вт};$$

У ванній:

$$P = S \cdot P_{\text{вст}} \cdot K_n \cdot K_{\text{е}} = 6,6 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 0,8 = 4,22 \text{ Вт};$$

У коридорі:

$$P = S \cdot P_{\text{вст}} \cdot K_n \cdot K_{\text{е}} = 14,4 \cdot 2,78 \cdot 0,8 \cdot 0,8 = 25,62 \text{ Вт}.$$

Крім внутрішнього освітлення котеджу необхідно передбачити вуличне освітлення. Прийmemo потужність 100 Вт.

Таким чином потужність усього освітлення буде рівною 0,3 кВт.

Використовуючи розрахункові коефіцієнти попиту і використання знайдемо розрахункову потужність електроприймачів:

$$P_p = \sum P_{\text{вст}} \cdot K_n \cdot K_{\text{е}}, \quad (3.2)$$

де $P_{\text{вст}}$ – встановлена потужність приймається з паспортних даних електроприладів, Вт.

K_n – коефіцієнт попиту;

$K_{\text{е}}$ – коефіцієнт використання активної потужності.

Формула для розрахунку реактивної та повної потужності електроприймачів.

$$Q = P_p \cdot \text{tg}\phi, \text{ кВАр} \quad (3.3)$$

$$S = \frac{P_p}{\cos\phi}, \text{ кВА}. \quad (3.4)$$

Оскільки представлені електроприймачі однофазні, а мережа живлення трифазна, потрібен розрахунковий струм для кожного приймача який визначається за формулою:

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\phi}, \text{ А} \quad (3.5)$$

Нижче наведено коефіцієнти потужності окремих побутових електроприймачів:

Таблиця 3.3

Коефіцієнти потужності побутових електроприймачів

Тип споживачів	$\cos \varphi$	$\tan \varphi$
Лампи освітлення	1,0	0
Люмінесцентні лампи	0,92	0,426
Холодильники	0,65	1,168
Вентилятори, кондиціонери	0,75	0,882
Телерадіоапаратура	0,65	1,168
Водонагрівачі, електроопалювачі	1,0	0
Сауна	1,0	0

Таблиця 3.4

Побутові електроприймачі з розрахованими характеристиками.

Споживачі	$P_{вст}$ кВт	Коефіцієнти			Розрахункова потужність		I_p А
		K_n	K_e	P_p	P кВт	Q кВАр	
1	2	3	4	5	6	7	8
Вітальня							
Телевізор	0,8	0,4	0,1	0,95	0,32	0,34	0,51
Кухня-столова							
Холодильник	1,7	1,0	0,5	0,95	0,85	0,89	1,36
Чайник	1,45	0,2	1,0	0,95	0,29	0,31	0,46
НВЧ - піч	1,2	0,2	1,0	1,0	0,24	0,24	0,36
Витяжна шафа	0,5	0,3	0,8	0,8	0,12	0,15	0,22
Телевізор	0,1	0,6	1,0	0,8	0,06	0,08	0,11
Ванна							
Пральна машина	2,0	0,8	0,6	1,0	0,96	0,96	1,46
Пральна машина	2,0	0,9	0,6	1,0	1,08	1,08	1,64
Ванна	1,0	0,8	0,8	0,8	0,64	0,8	1,21

Продовження таблиці 3.4.

1	2	3	4	5	6	7	8
Спальня 1							
Фен	1,6	0,05	0,9	0,95	0,08	0,08	0,12
Кондиціонер	2,5	0,7	0,8	0,75	1,4	1,86	2,83
Телевізор	0,1	0,6	1,0	0,8	0,06	0,08	0,12
Спальня 2							
Фен	1,6	0,05	0,9	0,95	0,08	0,08	0,12
Кондиціонер	2,5	0,7	0,8	0,75	1,4	1,87	2,83
Телевізор	0,1	0,6	1,0	0,8	0,06	0,08	0,12
Спальня 3							
Фен	1,6	0,05	0,9	0,95	0,08	0,08	0,12
Кондиціонер	2,5	0,7	0,8	0,75	1,4	1,87	2,83
Телевізор	0,1	0,6	1,0	0,8	0,06	0,08	0,12
Інші споживачі							
Мережа розеток	2,8	0,8	0,6	0,85	1,344	1,58	2,4
Освітлення	0,3	0,8	0,6	1	0,144	0,14	0,22
РАЗОМ					10,7		

Перерахунок графіків для необхідної розрахункової активної потужності здійснюється через коефіцієнт подібності (X), який визначається за формулою:

$$X = \frac{\sqrt{\left(\frac{\beta \cdot C_p \cdot \bar{P}}{100}\right)^2 + \bar{P} \cdot P_{\max}} - \frac{\beta \cdot C_p \cdot \bar{P}}{100}}{\bar{P}} \quad (3.6)$$

де β – коефіцієнт надійності розрахунку, прийнятий за ймовірності 0,975 рівним 2.

– $\bar{P}$ – параметр математичного очікування для максимального активного навантаження;

C_p – коефіцієнт варіації для активного навантаження, залежно від доби:

$$C_p = \frac{\sigma_p}{\bar{P}}, \quad (3.7)$$

де σ_p – середньоквадратичне відхилення, у.о.

Максимальне значення активного навантаження (P_{ij}) за i -у годину j -го місяця визначається з виразу:

$$P_{ij} = \bar{P}_{ij} + \beta \cdot \sigma_{pij} \quad (3.8)$$

де $\bar{P}_{ij}$ – математичне очікування для активного навантаження для певної години та сезону року,

k_{pj} - коефіцієнт сезонності,

σ_{pij} - середньоквадратичне відхилення для переобчислюваних графіків, що визначається з виразу:

$$\sigma_{P_{ij}} = \frac{2 \cdot \bar{P} \cdot C_{pik} \cdot X \cdot k_{pj}}{100} \quad (3.9)$$

Як приклад, проведемо розрахунок за наведеними вище формулами, для зимового сезону першої години (з 24:00 до 01:00):

1) Коефіцієнт подібності:

$$X = \frac{\sqrt{\left(\frac{\beta \cdot C_p \cdot \bar{P}}{100}\right)^2 + \bar{P} \cdot P_{\max}} - \frac{\beta \cdot C_p \cdot \bar{P}}{100}}{\bar{P}} =$$

$$= \frac{\sqrt{\left(\frac{2 \cdot 10 \cdot 100}{100}\right)^2 + 100 \cdot 10,7} - \frac{2 \cdot 10 \cdot 100}{100}}{100} = 0,18$$

2) Математичне очікування:

$$\bar{P}_{11} = \frac{\bar{P} \cdot \bar{P}_{11} \cdot X^2 \cdot k_{p1}}{100} = \frac{100 \cdot 25 \cdot 0,18^2 \cdot 1,0}{100} = 0,84 \text{ кВт}$$

3) Середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma_{P_{ij}} = \frac{2 \cdot \bar{P} \cdot C_{P11} \cdot X \cdot k_{P1}}{100} = \frac{2 \cdot 100 \cdot 10 \cdot 0,18 \cdot 1,0}{100} = 3,67$$

4) Тоді максимальне значення активного навантаження:

$$P_{11} = \bar{P}_{11} + \beta \cdot \sigma_{P11} = 0,84 + 2 \cdot 3,67 = 8,18 \text{ кВт}$$

Таблиця 3.5

Добові графіки активних і реактивних навантажень

	Зима	Весна	Літо	Осінь
Година	Р, кВт	Р, кВт	Р, кВт	Р, кВт
1	2	3	4	5
0-1	8,18	6,54	5,61	5,72
1-2	8,18	6,54	5,61	5,72
2-3	8,18	6,54	5,61	5,72
3-4	8,18	6,54	5,61	5,72
4-5	8,18	6,54	6,40	5,72
5-6	9,36	7,50	6,48	6,55
6-7	10,02	7,96	6,92	6,97
7-8	10,29	8,02	6,97	7,06
8-9	9,88	7,91	6,92	6,92
9-10	9,75	7,80	6,82	6,82
10-11	9,75	7,80	6,82	6,82
11-12	9,81	7,85	6,82	6,87
12-13	9,88	7,91	6,87	6,92

Продовження таблиці 3.5.

1	2	3	4	5
13-14	9,75	7,80	6,82	6,82
14-15	9,75	7,80	6,82	6,82
15-16	9,75	7,80	6,82	6,82
16-17	9,88	7,80	6,82	6,82
17-18	10,29	7,91	6,82	6,92
18-19	10,70	8,02	6,87	7,20
19-20	10,63	8,23	6,92	7,49
21-22	10,29	8,56	7,20	7,35
22-23	10,02	7,69	7,49	7,11
23-24	9,36	7,73	7,11	6,62

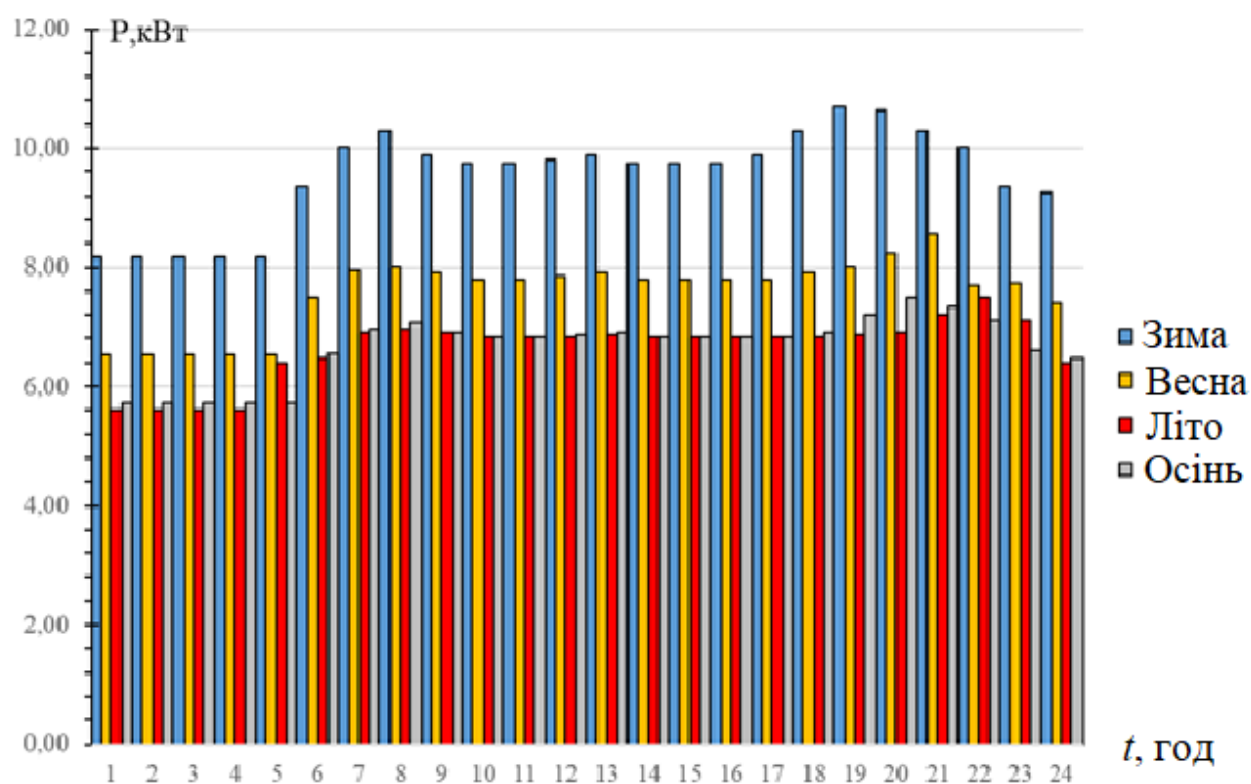


Рисунок 3.4 –Добові графіки навантажень за сезонами

Надалі проведемо розрахунок даних про споживання електроенергії.

Споживання електроенергії за добу для кожного сезону розраховується таким чином:

$$W_{a.c} = \sum_{i=1}^{24} P_{pi} \cdot \Delta t, \text{кВт} \cdot \Psi; \quad (3.10)$$

де Δt – крок дискретизації графіка навантаження (1 година).

Формула для розрахунку річного споживання електроенергії:

$$W_{a.2} = 365 \cdot (W_{s.c} + W_{e.c} + W_{r.c} + W_{o.c}), \text{кВт} \cdot \text{год}; \quad (3.11)$$

Підсумок за розрахунком споживання електроенергії заносимо в таблицю 3.6.

Таблиця 3.6

Споживання електричної енергії за сезонами

Сезон	Доба	Рік
	W _a , кВт·год	W _a , кВт·год
Зима	229,28	83688,95
Весна	182,17	66491
Літо	159,55	58236
Осінь	160	58400

У цій частині розділу було визначено площу електропостачального об'єкта, обрано користувачів, виконано розрахунок енергетичних параметрів та потужності споживання, побудовано добові графіки електричних навантажень.

Відомо, що в зимовий період збільшується електричне навантаження, а також відбувається зміщення точок ранкового і вечірнього максимумів. Із графіків навантаження також робимо висновок: найбільше споживання становить у зимовий період, споживання відносно рівномірне протягом дня і знижується до нічного часу.

3.2 Розрахунок гідроенергетичного потенціалу річки Дністер

Гідроенергетичний потенціал річки Дністер є важливим ресурсом для енергетичної системи України, оскільки річка має значний стік води і протікає через багато регіонів з потенціалом для будівництва гідроелектростанцій (ГЕС). Дністер є однією з найбільших річок України, що протікає через західну частину України, зокрема через Львівську, Івано-Франківську, Чернівецьку та інші області, і має довжину близько 1362 км, як показано на рис. 3.5.

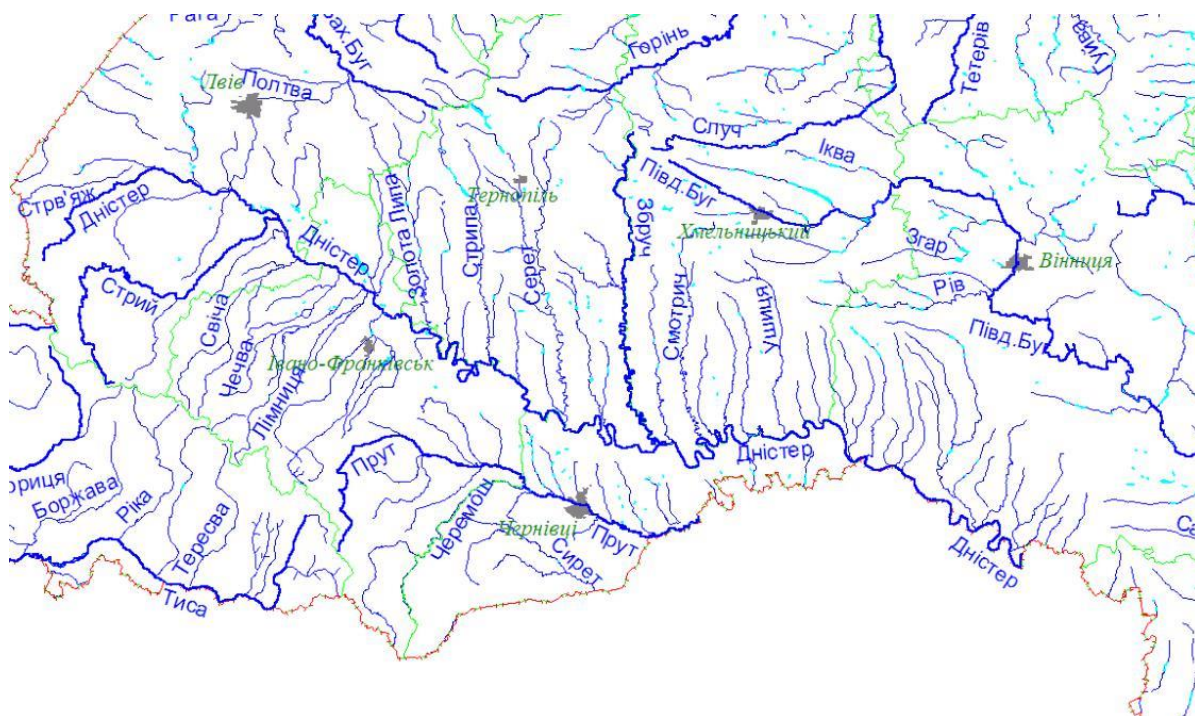


Рисунок 3.5 – Довжина басейну річки Дністер

Дністер має значний гідроенергетичний потенціал, завдяки великій кількості води та різким перепадам висот на його річковому шляху. Це створює умови для ефективного використання гідроенергії. При цьому важливою характеристикою річки є її сезонний режим, що може коливатися в залежності від опадів і температурних змін, що вимагає належного управління водними ресурсами для забезпечення стабільної генерації електроенергії.

Розрахунки гідроенергетичного потенціалу р. Дністер в районі села Липиці Львівської області проведено для характерних років, серед яких обрано роки з середнім рівнем води, що відповідає середньому багато-річному

значенню. Для цього року вибрані розрахункові місячні витрати води, які дозволяють визначити можливу виробітку електричної енергії при заданому напорі.

Таблиця 3.7

Показники середньомісячної витрати води в річці, м³/с.

Місяці року	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Середній рівень води	9,5	11,3	16,2	17,7	11,3	9,4	7,0	4,5	4,4	5,1	7,2	11,2

Визначимо потужність річкового потоку, при $Q_{\text{сер.рік}}$ за формулою:

$$P = 9,81 \cdot Q_{\text{сер.рік}} \cdot H = 9,81 \cdot 2,4 \cdot 12 = 282,58 \text{ кВт.} \quad (3.12)$$

Таблиця 3.8

Розрахунок потужності при розподілі стоку за сезонами, кВт.

Наповненість річки	Весна	Літо - Осінь
25%	165,55	60,75
50%	174,49	52,98
75%	186,26	42,39

Отже необхідна потужність для об'єкта електропостачання дорівнюватиме 10,7 кВт. Потужність річкового потоку в період Червень - Липень становитиме 42,39 кВт.

При цьому під час проектування мікро-ГЕС необхідно дотримуватися умо-ви використання потенціалу річкового потоку. У цьому випадку на електростанцію виділяється не більше 30% від усієї потужності річки. Таким чином потужність станції не перевищуватиме 12,72 кВт, а витрата води на лопатях тур-біни становитиме 0,13 м³/с.

3.3 Математична модель мікро-ГЕС

Взаємозв'язок між рівняннями електричної машини та еквівалентного навантаження реалізується через рівняння:

$$\begin{aligned} U_d &= i_d R_e - i_q X_e + X_e \frac{di_d}{dt}; \\ U_q &= i_q R_e - i_d X_e + X_e \frac{di_q}{dt}, \end{aligned} \quad (3.13)$$

де: R_e , X_e – Резистивний та індуктивний опір змінного навантаження;

U_d , i_d , U_q , i_q – Значення струму та напруги генератора по осях d та q.

Якщо припустити, що генератор працює лише в симетричному режимі, можна тоді можна використати:

$$\begin{aligned} \dot{\psi}_d &= -U_d + \omega \psi_q - r i_d; \\ \dot{\psi}_q &= -U_q + \omega \psi_d - r i_q; \\ \dot{\psi}_f &= U_f - r_f i_f; \\ \dot{\psi}_{kd} &= -r_{kd} i_{kd}; \\ \dot{\psi}_{kq} &= -r_{kq} i_{kq}; \\ \dot{\omega} &= \frac{1}{J} (\psi_d i_q - \psi_q i_d + M_m), \end{aligned} \quad (3.14)$$

де: r – активний опір обмотки якоря;

r_{kd}, r_{kq} – активний опір демпферної обмотки в осях d та q;

U_d, U_q, U_f – напруги обмоток якоря в осях d та q і обмотки збудження;

J – момент інерції частин електроустановки;

M_m – механічний момент турбіни.

Струми генератора, виражені через потокозчеплення утворюють наступну систему:

$$\begin{aligned}
i_d &= \frac{x_f x_{kd} - x_{ad}^2}{\Delta} \psi_d - \frac{x_{ad} (x_{kd} - x_{ad})}{\Delta} \psi_f - \frac{x_{ad} (x_f - x_{ad})}{\Delta} \psi_{kd}; \\
i_q &= \frac{x_{kq}}{\Delta'} \psi_q - \frac{x_{aq}}{\Delta} \psi_{kd}; \\
i_{kd} &= \frac{x_d x_f - x_{ad}^2}{\Delta} \psi_{kd} - \frac{x_{ad} (x_f - x_{ad})}{\Delta} \psi_d - \frac{x_{ad} (x_d - x_{ad})}{\Delta} \psi_f; \\
i_{kq} &= \frac{x_q}{\Delta'} \psi_{kq} - \frac{x_{aq}}{\Delta'} \psi_q,
\end{aligned} \tag{3.15}$$

де: $\Delta = x_d x_f x_{kd} + x_{ad}^3 - x_{ad}^2 (x_d + x_f + x_{kd})$;

$\Delta' = x_q x_{kq} - x_{aq}^2$;

x_{ad}, x_{aq} – індуктивний опір реакції якоря в осях d та q;

x_{kd}, x_{kq} – індуктивний опір демпферної обмотки в осях d та q;

x_f – індуктивний опір обмотки збудження;

x_d, x_q – повний індуктивний опір обмотки якоря в осях d та q.

$$x_d = x_{ad} + x_\sigma;$$

$$x_q = x_{aq} + x_\sigma;$$

$$x_{kd} = x_{ad} + x_{kd\sigma};$$

$$x_{kq} = x_{ad} + x_{kq\sigma};$$

$$x_f = x_{ad} + x_{f\sigma},$$

де: $x_\sigma, x_{kd\sigma}, x_{kq\sigma}, x_{f\sigma}$ – індуктивні опори розсіювання.

Насичення магнітного кола синхронної машини обумовлено впливом як основної гармоніки поля повітряного зазору, так і полями розсіювання. Однак при обраному способі керування струм якоря є близьким до номінального, тому врахування насичення стає необов'язковим. Силова частина регулятора збудження містить понижуючий трансформатор і випрямляч, що описується такою системою:

$$\beta = \frac{\pi}{2} - k_1(1-U) \tag{3.16}$$

де: β – кут провідності ключів;

k_1 – коефіцієнт підсилення регулятора;

x_{mp} – індуктивний опір трансформатора;

k_2 – коефіцієнт трансформації.

3.4 Обчислення усталеного режиму

Повна потужність визначається за формулою:

$$|S| = 3 |U_{нф} \parallel I_{нф}| \quad (3.17)$$

Тоді:

$$|I_{нф}| = \frac{|S|}{3 |U_{нф}|} = \frac{152000}{3 \cdot 400 / \sqrt{3}} = 219 \quad (3.18)$$

Оскільки коефіцієнт потужності 0,85, то це відповідає куту 36.9° . Оскільки на клеммах генератора струм позитивний, реактивна потужність видається генератором коли струм відстає від напруги. Таким чином $|I_{нф}| = 219 / -36.9^\circ$ А, оскільки машина буде видавати реактивну потужність під час нормальних робочих умов.

Тоді напруга, що генеруватиметься в системі координат статора:

$$U_a = U_{нф} + \left(r + j \frac{\omega_e}{\omega_b} X_q \right) I_{нф} \quad (3.19)$$

де: ω_e – робоча частота обертання генератора;

ω_b – базова кутова швидкість, що використовується для розрахунку індуктивного опору.

Електромагнітний момент визначається за формулою:

$$M_e = \frac{3}{2} \cdot \frac{p}{2} \cdot \frac{1}{\omega_b} \left(\frac{U_f \sqrt{2} |U_{n\phi}|}{(\omega_e, \omega_b) X_d} \sin \delta + \right. \\ \left. + \frac{1}{2} \left(\frac{\omega_e}{\omega_b} \right)^2 \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) (\sqrt{2} |U_{n\phi}|)^2 \sin 2\delta \right) \quad (3.20)$$

де: p – кількість пар полюсів;

δ – кут між струмом та напругою.

3.5 Розроблення методу підвищення ефективності гідротурбін для умов низьких напорів

Важливо зазначити, що під час проєктування гідротурбін для умов низьких наявних напорів основна увага приділяється створенню гідравлічних машин, що мають мінімальний гідравлічний опір проточної частини. У зв'язку з цим доцільно відмовитися від поворотно-лопатевого механізму, що значно здорожують конструкцію, і прямого апарату. Причому, стосовно малопотужних гідроенергетичних об'єктів - використання малих гідравлічних агрегатів істотно позначається на втратах і призводить до сильного зниження енергетичної ефективності, призводячи до критичного зниження вихідної потужності.

Тому, сьогодні існує потреба у пошуку підходів до вдосконалення проточної гідротурбін. Серед таких можна виокремити зміну конструктивного виконання з метою спрощення (напірний водовід у вигляді сифона, використання як гідроагрегатів серійних насосів у оберненому - турбінному режимі і деякі інші), удосконалення класичних методів проєктування гідротурбін.

Поряд з удосконаленням і відпрацюванням методів проєктування гідротурбін, часто необхідно застосовувати і принципово нові підходи до підвищення ефективності, пов'язані з модифікацією елементів проточної частини.

Одним із нових і маловивчених напрямків є дослідження природоподібних технологій у машинобудуванні. Закони природи завжди

стояли в основі інженерного проектування від самого початку його зародження. У сучасному рівні техніки вже відомі такі підходи, що досягли стадії впровадження в серійне виробництво. Наприклад, вертикальні крила («вінглети»), що застосовуються в галузі аеродинаміки літальних апаратів (рис. 3.6), слугують для зниження інтенсивності кінцевого вихору, спричиненого перетіканням повітряної течії з ділянки високого тиску в зону зниженого тиску, які розділяються площиною крила. Таким чином, зниження індуктивного опору на кінці крила дає змогу збільшити його ефективний розмах, підйомну силу і забезпечити економію палива за незмінної дальності польоту.

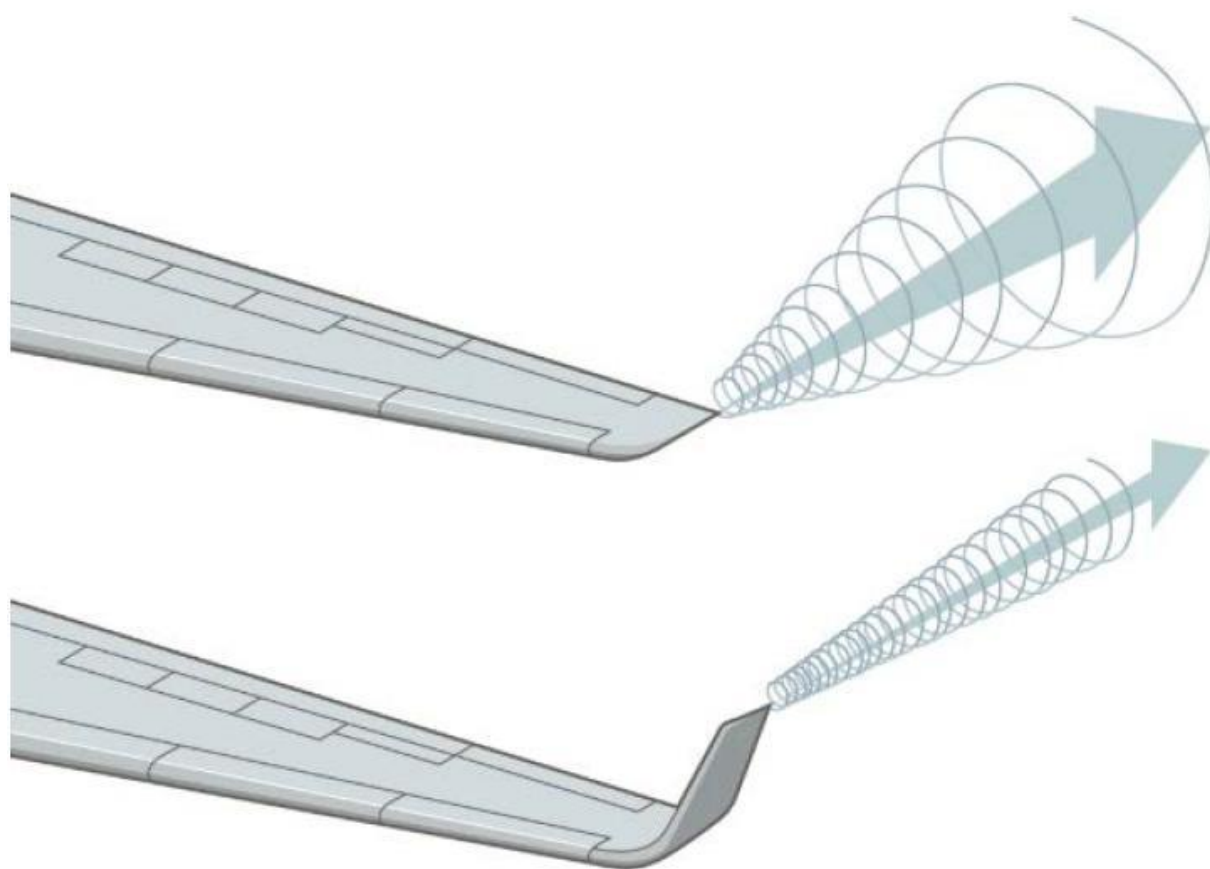


Рисунок 3.6 – Вінглети, розташовані в периферійній частині крил повітряного судна.

Запозичення цього принципу відбулося з орнітології – особливості аналогічної будови пір'я крила використовують деякі види птахів для зниження енергетичних витрат у польоті та з метою полювання (рис. 3.7).

Обладнання, яке базувалося на цьому ефекті, було вперше запропоноване англійцем Фредеріком Ланчестером у 1897 році для авіації. Однак технологія

набула практичного застосування лише в середині 1970-х років і досі використовується в серійному виробництві.



Рисунок 3.7 – Пір'я, що піднімаються на краях крил орла

Аналогічні підходи, які дозволяють знижувати енергетичні витрати через наслідування еволюційних рис живих організмів у техніці, можна знайти в різних сферах.

Одну з найновіших ознак, що привернула увагу дослідників, було виявлено у представника іхтіофауни – горбатого кита. Результати спостереження за його переміщеннями у воді довели незвичайну, порівняно з іншими представниками сімейства китів, здатність до різкого маневрування в процесі полювання на здобич за відносно малої гнучкості тіла, зумовленої особливостями будови травної системи, що обмежує їхню рухливість. Було встановлено, що цей вид використовує особливості будови своїх грудних плавників, які мають морфологічні нарости вздовж переднього краю. (рис. 3.8).

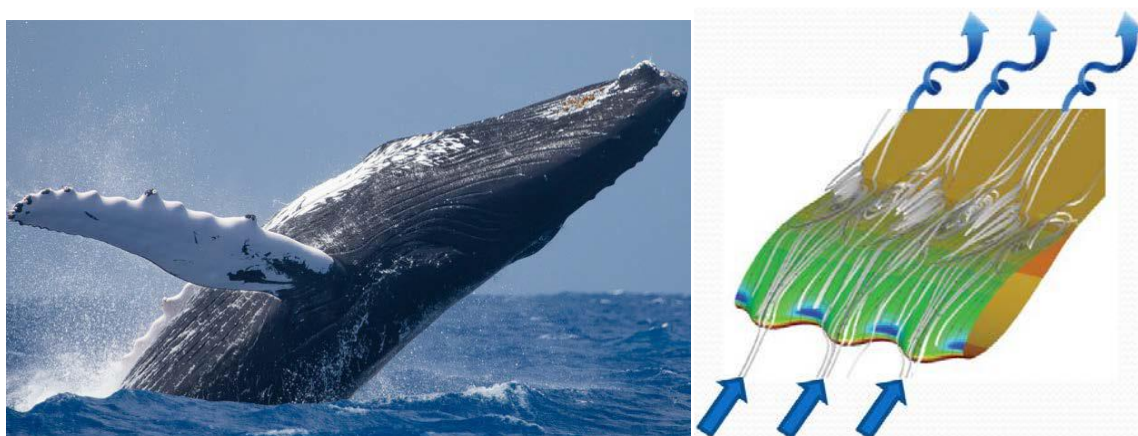


Рисунок 3.8 – Фотознімок передньої частини тіла горбатого кита і схема ролі наростів під час обтікання плавця

Слід зазначити, що цей ефект був успішно експериментально апробований у лабораторії відділу аерокосмічної техніки Військово-морської академії США стосовно модифікації вхідного краю лопатей вітрогенераторів з метою зниження аеродинамічного опору. Також, у Технічному університеті м. Брно було проведено розрахункові дослідження зі встановлення впливу форми та розмірів цих наростів на характер обтікання тіла (рис. 3.9).

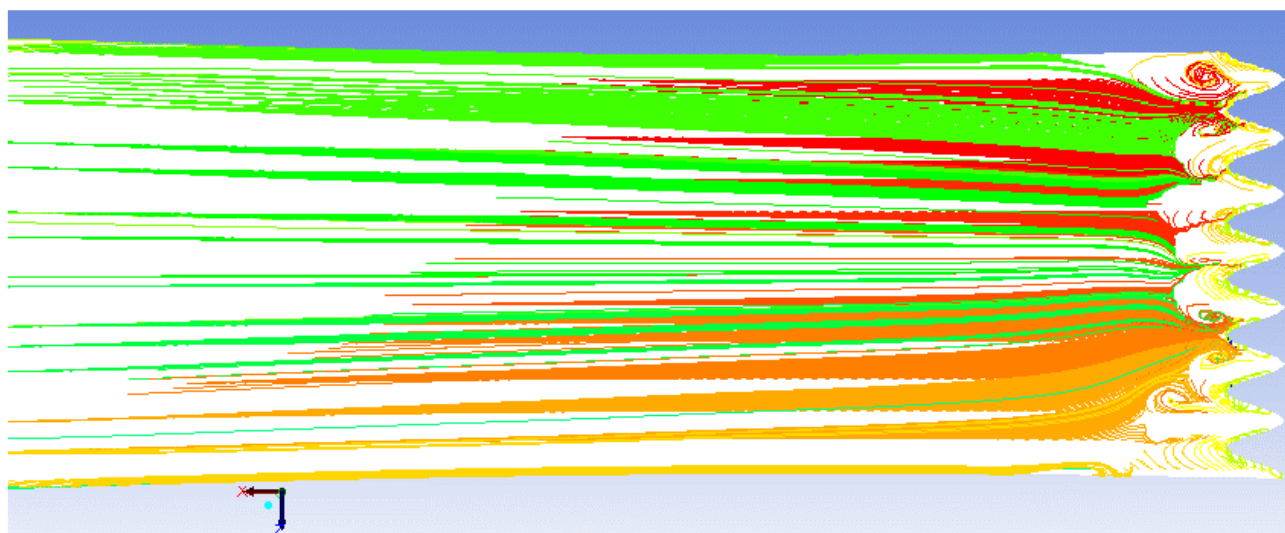


Рисунок 3.9 – Лінії струму, отримані під час CFD – моделювання процесів обтікання одного з варіантів поверхонь, подібних до будови плавця горбатого кита.

Було встановлено, що розташування, розмір і кількість наростів

впливають на умови обтікання робочих частин мікрогідротурбін, пов'язане з поліпшенням гідродинамічних характеристик потоку в проточній частині.

Однак, цей принцип біоміметики експериментально ще не був апробований у світі в галузі гідроенергетики.

В процесі виконання цієї роботи було поставлено завдання дослідити цей ефект для вдосконалення проточної частини мікрогідротурбін з метою підвищення енергетичної ефективності в основному – турбінному режимі роботи. Було встановлено, що розташування, розмір і кількість наростів впливають на умови обтікання робочих частин мікрогідротурбін, що пов'язано з поліпшенням гідродинамічних характеристик потоку в проточній частині.

Спеціально для теоретичного апробування виявленої закономірності було спроектовано робоче колесо мікрогідротурбіни осьового типу, 3D-модель якої, виконана у віртуальному середовищі системи автоматизованого проектування (САПР), подано на рис. 3.10.

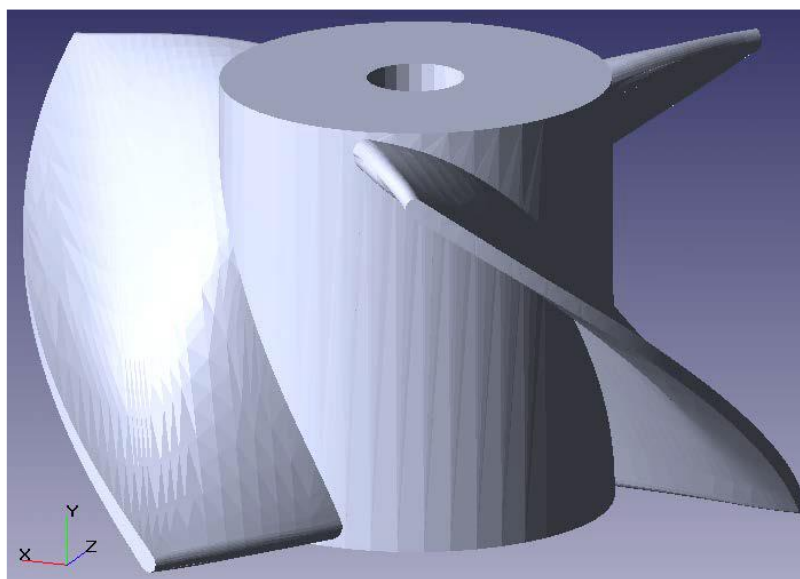


Рисунок 3.10 – Початкове робоче колесо мікрогідротурбіни, спроектоване за класичною методикою

Для виявлення відповідності робочого колеса до типового вигляду напірної характеристики, притаманної осьовим гідромашинам, було проведено його розрахункові дослідження в насосному режимі. Результати представлені на рис. 3.11. Отримана напірна характеристика досліджуваного робочого

колеса, що має коефіцієнт швидкохідності $n_s = 635$, демонструє звичний для осьових насосів вигляд.

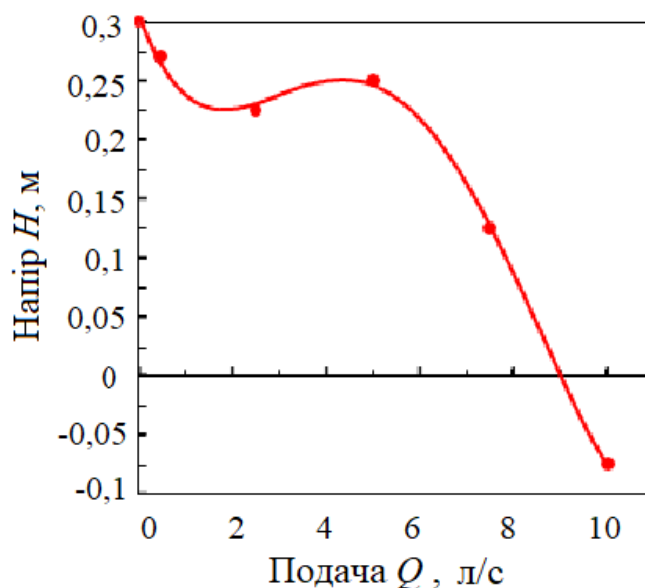


Рисунок 3.11 – Напірна характеристика мікрогідротурбіни з вихідним робочим колесом, отримана в насосному режимі

Ці результати підтвердили успішне застосування класичних підходів до проектування робочого колеса мікрогідротурбіни та дали змогу перейти до подальшого проектування і створення модифікованих варіантів її лопатевої системи.

Очікується, що нарости, розташовані саме вздовж вхідного краю лопатевої системи робочого колеса мікрогідротурбіни, виступлять у ролі додаткових генераторів впорядкованих вихорів у примежовому шарі робочої сторони лопаті, що дасть змогу поліпшити гідродинамічну якість обтікання лопатей потоком шляхом зниження пульсацій тиску, перетікання, індуктивних і кінцевих втрат, що, зрештою, вплине на підвищення ефективності головної робочої частини мікрогідротурбіни.

Для проведення попередніх розрахункових досліджень підготовлено комплекс розрахункових моделей із трьома варіантами лопатевої системи робочого колеса:

0 – Початковий варіант робочого колеса з лопатевою системою без

наростів (згідно рис.3.10);

I – Варіант робочого колеса з вихідною лопатевою системою, що відрізняється наявністю наростів, розташованих строго вздовж вхідного краю лопаті (згідно з рис.3.12). Закон зміни діаметра тіла наростів уздовж вхідного краю лопаті задано дискретним;

II – Варіант робочого колеса з лопатевою системою, що відрізняється від I варіанта тим, що нарости накладено на $2/3$ своєї довжини на поверхню робочої сторони лопаті (згідно з рис. 3.13). Закон зміни діаметра тіла наростів уздовж вхідної кромки лопаті – лінійний.

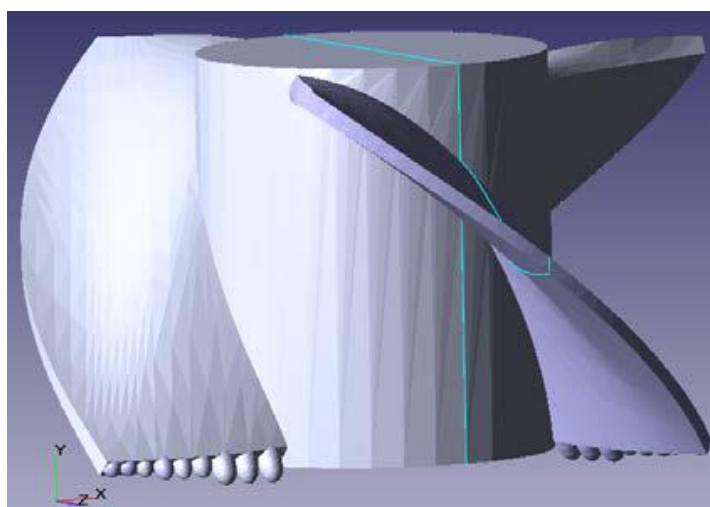


Рисунок 3.12 – Робоче колесо мікрогідротурбіни з наростами за подобою плавця горбатого кита (варіант I)

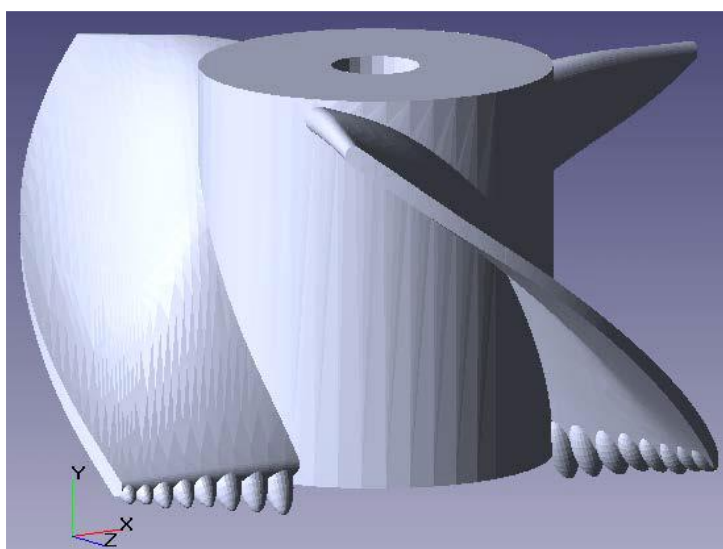
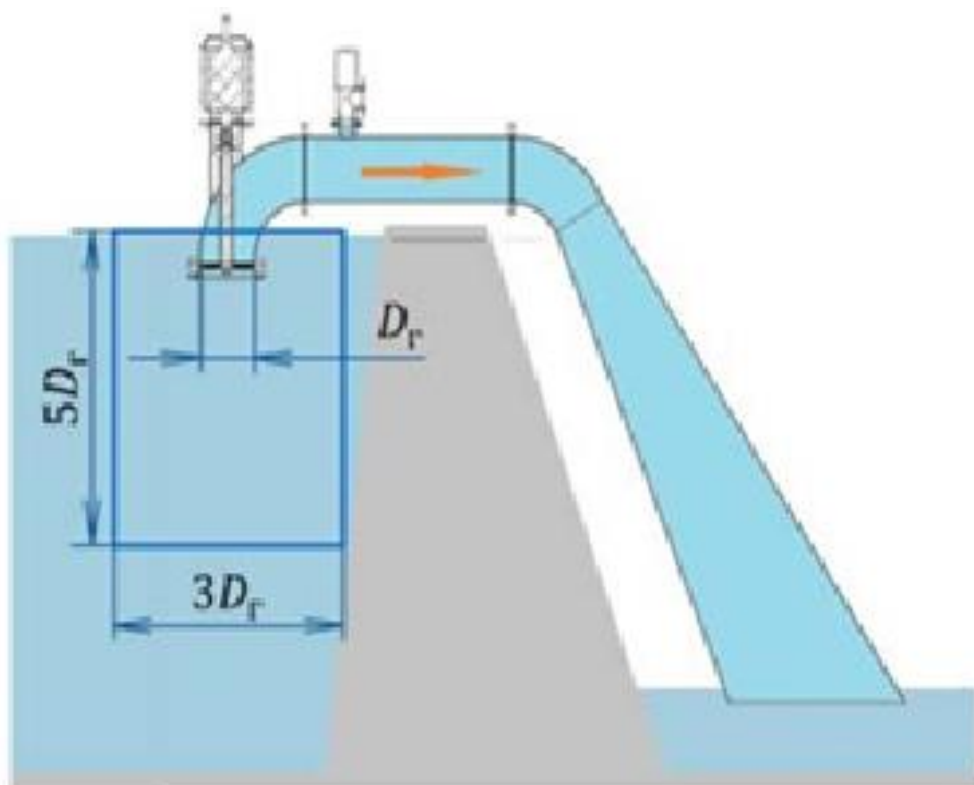


Рисунок 3.13 – Робоче колесо мікрогідротурбіни з наростами за подобою плавця горбатого кита (варіант II)

Розрахункові гідродинамічні дослідження енергетичних характеристик

проведено у віртуальному середовищі CFD-коду, які спрямовані на проведення попередньої апробації досліджуваного принципу і встановлення чисельного значення позитивного ефекту, який він надає, на прикладі фрагмента проточної частини мікрогідротурбіни (рис. 3.14) з трьома варіантами робочого колеса.



D_r – гідравлічний діаметр проточної частини

Рисунок 3.14 – Фрагмент проточної частини мікрогідротурбіни, використаний для розрахункових досліджень

Сітка розрахункової моделі – ортогональна, розмір сторони куба одиничної комірки – 5 мм. Розрахунок ключових параметрів проводили на поверхні однієї з лопатей, а потім виконували їхнє сумування за кількістю лопатей на робочому колесі з метою отримання величин вихідних параметрів мікрогідротурбіни. З цієї ж причини розрахункова сітка в ділянці лопатей робочого колеса має збільшену густоту. У цій розрахунковій ділянці розмір сторони куба одиничної частинки склав 2,5 мм (рис. 3.15).

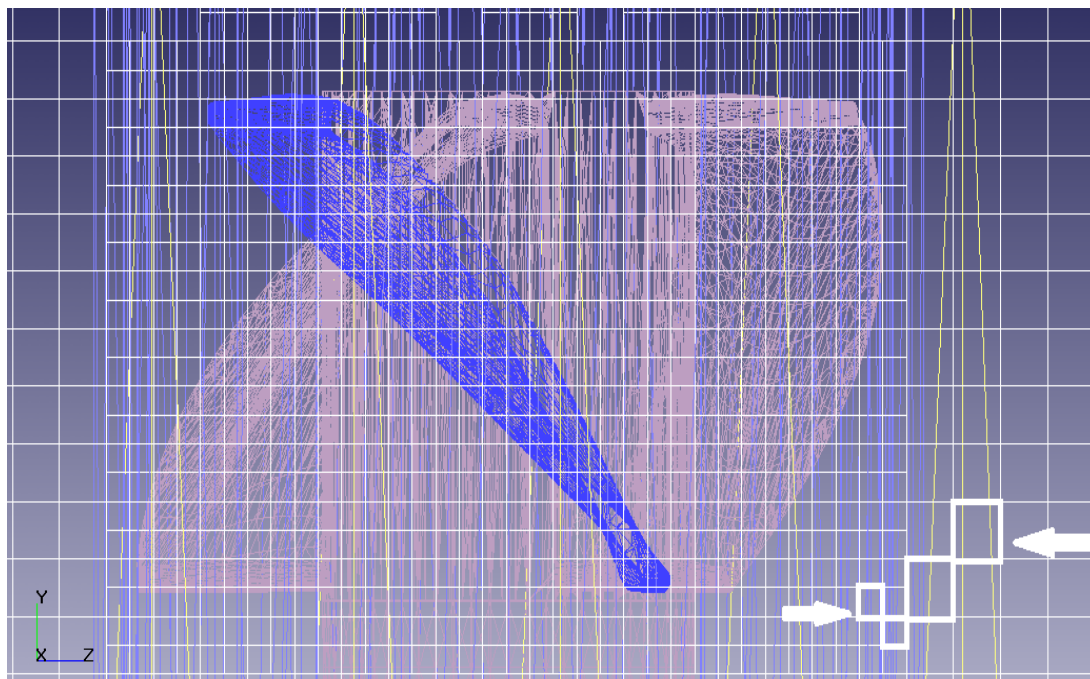
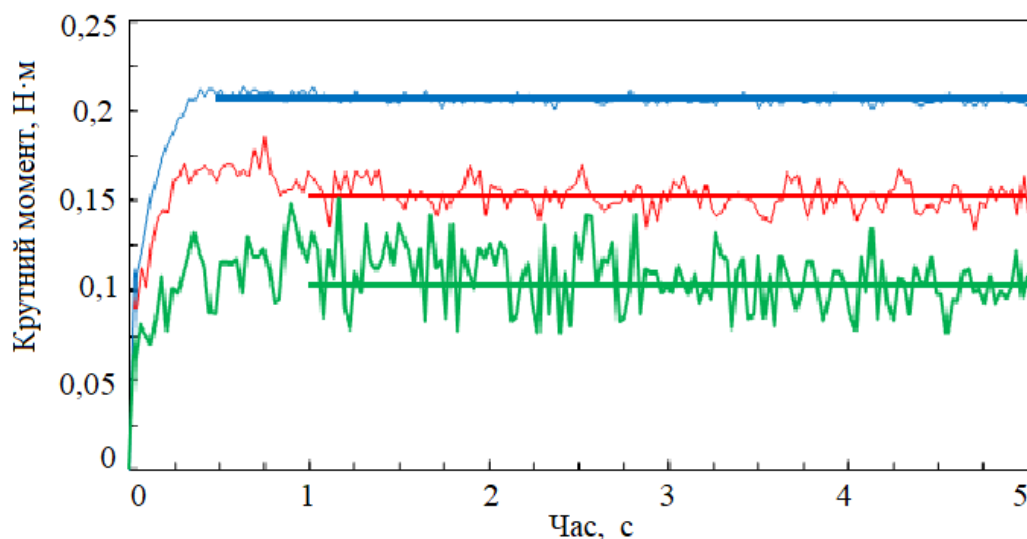


Рисунок 3.15 – Зовнішній вигляд адаптованої розрахункової сітки на прикладі моделі з вихідним робочим колесом

Збіжність проведених віртуальних розрахунків представлено на рис. 3.16 у вигляді графічної залежності досліджуваної величини – крутного моменту на валу мікрогідротурбіни від віртуального часу розрахунку.



Червона лінія – вихідне робоче колесо мікрогідротурбіни;

Зелена лінія – робоче колесо, модифіковане за I варіантом;

Синя лінія – робоче колесо, модифіковане за II варіантом.

Рисунок 3.16 – Графічна залежність крутного моменту на валу мікрогідро – турбіни від віртуального часу

Графік демонструє не лише стабільність розрахункового процесу, а й досить швидке досягнення усталеного стану – приблизно за 1 секунду віртуального часу. Також помітно зменшення амплітуди коливань розраховуваної величини в моделі з робочим колесом, зміненим за аналогією до плавника горбатого кита. Подібне зменшення було відзначене й у графіках тиску в проточній частині. Це свідчить про позитивний ефект, пов'язаний зі зміною характеру течії в примежовому шарі під час обтікання лопаті, що проявляється у формуванні спрямованих ліній потоку рідини, які відходять від поверхні виступів, виконуючи функцію керувальних елементів.

Величини крутного моменту на валі мікрогідротурбіни $M_{кр}$, отримані при розрахунках за результатами віртуальних досліджень, склали:

Початкове робоче колесо $M_{кр. 0} = 0,152 \text{ Н}\cdot\text{м}$;

Модифіковане робоче колесо за I варіантом $M_{кр. I} = 0,103 \text{ Н}\cdot\text{м}$;

Модифіковане робоче колесо за II варіантом $M_{кр. II} = 0,207 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

Віртуальні експерименти для базового та двох модифікованих варіантів робочого колеса були проведені за однакових граничних умов, однакових вхідних параметрів і тієї ж густоти обчислювальної сітки. Це, разом з особливостями програмного комплексу, що використовувався, забезпечує достовірність попередньої оцінки енергетичних характеристик. Згідно з виявленими раніше тенденціями, прогнозовані значення крутного моменту на валу мікрогідротурбіни виявляються удвічі завищеними.

Водночас, розрахунки моделі з робочим колесом першого модифікованого варіанту показують помітне зниження крутного моменту, що, ймовірно, пов'язано зі специфікою розміщення виступів на лопатях. Як пояснення цьому можуть слугувати дві причини:

Суцільне розташування виступів на передній частині вхідного краю спричиняє підвищення в'язких втрат у примежовому шарі.

Зміна відносного кроку та діаметра виступів вздовж вхідного краю лопаті реалізована дискретно: виступи поділено на три групи з однаковими

геометричними параметрами в кожній.

Отримані результати вказують на необхідність проведення порівняльних досліджень лопатевих систем, модифікованих за аналогією до будови плавника горбатого кита, з різними геометричними характеристиками: формою тіла, його довжиною l_T , діаметром d_T , відносним кроком $\bar{t} = l/d_T$, та законом зміни параметрів вздовж вхідного краю $\Phi_T = f(d_T, l_T)$. Оскільки ці дослідження виходять за межі цієї роботи, перший модифікований варіант далі не розглядається.

На основі аналізу можна припустити, що після експериментального підтвердження енергетичних характеристик вихідної лопатевої системи, вихідна потужність мікрогідротурбіни становитиме близько 10 Вт, а другий модифікований варіант, розроблений опираючись на форму вхідного краю плавця горбатого кита, продемонструє щонайменше не гірші результати.

3.6 Висновки до розділу 3

1. Розглянуто вибір місця для будівництва мікро-ГЕС на річці Дністер в районі села Липиці Львівської області, де враховано різні екологічні та технічні фактори.
2. Проведено розрахунок енергетичних характеристик для типового котеджу для туристів, включаючи потужність електроприладів та освітлення.
3. Оцінено гідроенергетичний потенціал річки Дністер, зокрема в районі села Липиці. Визначено середньомісячні витрати води і можливу потужність, яку можна отримати за допомогою мікро-ГЕС.
4. Розроблено математичну модель для мікро-ГЕС, що дозволяє оцінити ефективність використання гідроенергетичного потенціалу на річці.
5. Зосереджено увагу на розробці методів підвищення ефективності гідротурбін для умов низьких напорів. Введення нових технологій, таких як модифікація лопатевих систем за аналогією до природних форм (наприклад, плавців горбатого кита), може значно покращити енергоефективність.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Умови безпечної експлуатації гідротехнічних споруд на ГЕС

Під час експлуатації гідротехнічних споруд повинна бути забезпечена їхня безпека та надійна робота, а також безперебійна й економічна робота технологічного устаткування з дотриманням вимог охорони навколишнього середовища. Особливу увагу слід звернути на забезпечення надійності роботи протифільтраційних і дренажних пристроїв.

Гідротехнічні споруди (підпірні греблі й дамби, канали, тунелі, трубопроводи, водозабори і водоскиди, дамби тощо) повинні відповідати нормативним (проектним) вимогам щодо стійкості, міцності, довговічності та екології. Споруди і конструкції, що знаходяться під напором води, а також їхні основи і примикання повинні відповідати нормативним (проектним) показникам водонепроникності і морозостійкості.

Гідротехнічні споруди повинні охоронятися від пошкоджень, викликаних несприятливими фізичними, хімічними і біологічними процесами, впливом навантажень і води. Виявлені пошкодження повинні бути своєчасно усунені. Усі напірні гідротехнічні споруди, які перебувають в експлуатації понад 25 років, незалежно від їхнього стану, повинні періодично піддаватися багатофакторному дослідженню з урахуванням процесів "старіння" і з оцінкою їхньої міцності, стійкості і експлуатаційної надійності із залученням спеціалізованих організацій. За результатами досліджень повинні бути вжиті заходи щодо забезпечення працездатності споруд.

У бетонних гідротехнічних спорудах згідно з графіком і обсягом, затвердженим технічним керівником енергооб'єкту, повинна проводитися перевірка міцності бетону на ділянках, які зазнають дії динамічних навантажень, регулярного промерзання і розташовані у зонах постійної зміни рівня. Виявленні пошкодження, зумовлені впливом води та навантажень, повинні своєчасно усуватися. У разі зниження міцності конструкцій споруд порівняно з встановленою проектом, вони повинні бути підсилені.

Ґрунтові греблі і дамби повинні бути захищені від розмивів і переливів води через гребінь. Кріплення відкосів, дренажна і водовідвідна мережі повинні бути у справному стані. Ґрунтові греблі, особливо канали в насипах і водопроникних ґрунтах, а також дамби повинні бути захищені від пошкодження тваринами. Берми і кювети каналів повинні регулярно очищатися від ґрунту, не повинно допускатися заростання укосів і гребня земляних споруд деревами і кущами, якщо це не передбачене проектом. На підвідних і відвідних каналах у необхідних місцях повинні бути встановлені сходи, містки й огорожі.

Повинна бути забезпечена надійна робота ущільнень деформаційних швів. Розміщення вантажів і будівництво будь-яких споруд, у тому числі причалів, автомобільних і залізничних доріг на бермах і відкосах каналів, гребель, дамб і біля підпірних стінок у межах розрахункової призми обвалення, забороняється. Небезпечна зона обвалення повинна бути позначена на місцевості розпізнавальними знаками. На ділянках відкосів ґрунтових гребель і дамб при високому рівні ґрунтових вод у низовому клині для уникнення промерзання і руйнування повинен бути обладнаний дренаж або утеплення.

Дренажні системи для відведення води, що профільтрувалася, повинні бути оснащені водомірними пристроями і утримуватися у справному стані. Вода з дренажних систем споруд повинна відводитися безперервно. У разі виявлення виносу ґрунту водою, що фільтрується, повинні бути вжиті заходи для його припинення. Суглинкові ядра і екрани ґрунтових гребель повинні захищатися від морозного випинання і промерзання, а дренажні пристрої і перехідні фільтри - від промерзання. Великоуламковий матеріал упорних призм, що зазнає сезонного заморожування і розморожування, повинен відповідати нормативним (проектним) вимогам з морозостійкості і через кожні 10-15 років експлуатації випробовуватися на механічну і зсувну міцність.

Під час експлуатації підземної частини ГЕС необхідно забезпечувати постійну робочу готовність pomp відкачування води, яка потрапляє внаслідок фільтрації або через непередбачені прориви з водопровідних трактів, справність вентиляційних установок, аварійного освітлення, запасних виходів.

4.2 Правила безперебійної роботи гідротурбінного обладнання

Під час експлуатації гідротурбінного устаткування повинна бути забезпечена безперебійна робота з максимально можливим для заданого навантаження і діючого напору коефіцієнтом корисної дії.

Гідроагрегати повинні працювати з повністю відкритими заслонами, установленими на турбінних водоводах. Граничне відкриття направляючого апарату гідротурбіни повинне відповідати максимально допустимому навантаженню гідроагрегату (генератора, генератора - двигуна) при даному напорі. Перепад рівнів на сміттєзбиральних ґратах не повинен перевищувати граничного значення.

Умови, які дозволяють пуск гідроагрегату, його нормальну та аварійну зупинку та незаплановану зміну навантаження повинні бути викладені в інструкціях з експлуатації, затверджених технічним керівником ГЕС, які знаходяться на робочих місцях оперативного персоналу. Значення всіх параметрів, які визначають умови пуску гідроагрегату та режим його роботи, повинні бути встановлені на підставі рекомендацій виробника та спеціальних випробувань.

Пуск гідроагрегату забороняється у таких випадках:

- при напорі , що виходить за межі допустимих значень, встановлених заводом-виробником гідротурбін;
- при несправності будь-якого із захистів, що діють на зупин устаткування;
- при дефектах системи регулювання гідроагрегату, що можуть призвести до перешкод у регулювання і нормального керування гідроагрегатом;
- при несправності пристроїв дистанційного керування, клапанів зривання вакууму, клапанів впуску повітря і системи гальмування гідроагрегату;
- при якості оливи, що не задовольняє норми експлуатаційні оливи і температурі нижчій від встановленої інструкціями заводу-виробника;

– при рівні оливи у підшипниках, зливному баці і повітряному котлі оливи напірної установки, нижчому від встановленого інструкціями заводу-виробника.

Під час експлуатації гідроагрегату шляхом огляду і систематичних вимірювань за допомогою стаціонарних і переносних приладів повинен бути організований контроль за роботою устаткування з періодичністю, вказаною в інструкціях з експлуатації.

Система технічного водопостачання гідроагрегату повинна забезпечувати охолодження опорних вузлів, статора і ротора генератора, змащення гумового турбінного підшипника та інших споживачів у всіх режимах роботи гідроагрегату.

Капітальний ремонт гідротурбін повинен проводитися один раз на 5-7 років. В окремих випадках за узгодженим дозволом допускається відхилення від установлених термінів.

4.3 Заходи для забезпечення безперебійної роботи електрообладнання

Експлуатація обладнання неминуче пов'язана з використанням електричної енергії. Електробезпека – це система організаційних, технічних заходів і засобів, які забезпечують захист людей від шкідливого і небезпечного впливу електричного струму.

Електричний струм, проходячи через тіло людини, спричиняє термічну, електролітичну і біологічну дію, викликає місцеві і загальні електротравми. Дія електричного струму на організм людини супроводжується зовнішнім ураженням тканин та органів у вигляді механічних ушкоджень, електричних знаків електрометалізації шкіри, опіків.

Термічна дія струму виявляється в опіках окремих ділянок тіла, ураженні внаслідок високої температури кровоносних судин, нервових клітин, серця, мозку, що призводить до серйозних функціональних розладів.

На підприємствах теплопостачання споживачами електроенергії є: електроприводи, освітлювальні прилади, електрощит. Все це обладнання може стати небезпечним при виникненні короткого замикання, пробою ізоляції, оголення проводів, попадання струму на струмоведучі частини обладнання. Для уникнення небезпечної дії електричного струму на персонал котелень проводяться заходи з метою уникнення ураження працівників струмом.

Для забезпечення роботи електрообладнання використовується напруга 380 та 220 В, яка є смертельно небезпечна для людини. Вражаюча дія електричного струму при цій напрузі залежить від наступних факторів: величини і тривалості протікання струму через тіло людини, роду і частоти струму, індивідуальних властивостей людини. Людина починає відчувати струм величиною 0,6 – 1,5 мА. Струм 10-15 мА (при $f = 50$ Гц) викликає судоми м'язів, які людина не може подолати сама. Цей струм називається пороговим невідпускаючим. При 100 мА і тривалості дії більше 0,5 с струм може спричинити зупинку або фібриляцію серця. Опір тіла людини різко падає в залежності від часу дії струму. Найбільш небезпечним є змінний струм з частотою 20 – 100 Гц. Постійний струм людина відчуває при 6-7 мА, пороговий невідпускаючий струм складає 50-70 мА, а фібриляційний – 300 мА.

Заходи по захисту, поділяють на заходи, які забезпечують безпеку при нормальному режимі роботи електроустановок, і заходи, які забезпечують безпеку при аварійних режимах. При нормальному режимі роботи безпека в електроустановках забезпечується наступними заходами:

- ізоляцією струмоведучих частин;
- виконання електричних мереж, ізольованих від землі;
- компенсацією ємнісної складової струму замикання на землю;
- недоступністю струмоведучих частин.

Захисне заземлення – це спеціальне електричне з'єднання з землею металічних не струмопровідних частин обладнання, які можуть опинитися під напругою. Заземлюючий пристрій складається з заземлювача і заземлюючого провідника, який з'єднує заземлюванні частини з заземлювачем. В якості

заземлювачів використовують металічні конструкції і арматуру залізобетонних конструкцій, які мають сполучення з землею.

Захисне відключення – це швидкодіючий захист, який забезпечує автоматичне відключення електроустановки при виникненні в ній небезпеки ураження людини електричним струмом. Установка автоматичного відключення, яка застосовується на котельнях повинна відповідати наступним вимоги: висока чутливість, малий час відключення, селективність роботи, самоконтроль і надійність.

4.4 Шляхи запобігання виникнення пожежі

Як уже зазначалось, вибухопожежна безпека об'єкта забезпечується системами:

- попередження вибухів і пожеж;
- протипожежного та противибухового захисту;
- організаційно-технічних заходів.

Система попередження вибухів і пожеж має за мету не допустити виникнення вибухів і пожеж.

Заходи і засоби попередження утворення горючого середовища в кожному конкретному випадку визначаються реальними умовами, що розглядаються, вибухопожежонебезпечними властивостями речовин і матеріалів, що використовуються у технологічному циклі.

Попередження утворення горючого середовища може забезпечуватись загальними заходами або їх комбінаціями, що наведені в ГОСТ 12.1.007.-91.

Найбільш радикальним заходом попередження утворення горючого середовища є заміна горючих речовин і матеріалів, що використовуються, на негорючі та важкогорючі.

Тому попередження виникнення в горючому середовищі або внесення до нього джерел запалювання є головним стратегічним пріоритетом у роботі щодо запобігання пожежам.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Використання МікроГЕС для забезпечення енергопостачання віддалених споживачів є важливим технічним рішенням. Такі системи мають потенціал для вирішення проблеми енергозабезпечення в регіонах, де традиційні джерела енергії є надто дорогими або недоступними.

2. В Україні існує великий потенціал для розвитку сектору малої гідроенергетики., однак існують технічні та економічні бар'єри, які потребують подолання для збільшення ефективності цих систем. У порівнянні з Європейським Союзом, Україна відстає в плані інвестицій та інфраструктури.

3. Основні напрямки розробки включають оптимізацію вибору гідротурбін, вдосконалення схем електропостачання, а також ефективне використання ресурсів місцевих річок, що може значно підвищити ефективність мікро-ГЕС.

4. Розроблена математична модель мікро-ГЕС є основним інструментом для прогнозування ефективності роботи установки в різних умовах. Модель дозволяє визначити оптимальні параметри для гідротурбін, обчислити енергетичний потенціал річки та передбачити її реакцію на зміни параметрів, таких як дебіт води і висота падіння.

5. За результатами розробки гідротехнічних і електротехнічних частин проекту, зроблено кілька ключових технічних розрахунків, що включають вибір типу гідроагрегату та діаметр напірного трубопроводу, що є основою для реалізації подібних проектів в майбутньому. Такі проекти можуть значно покращити енергозабезпечення у віддалених районах.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Коваль В.П. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра для здобувачів другого рівня вищої освіти за ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ В.П. Коваль, М.Г. Тарасенко, О.А. Буняк, Л.Т. Мовчан – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 51 с.
2. Тарасенко М.Г., Зінь М.М. Підгайний Ю.Б. Переваги і проблеми кількісного розвитку малої гідроенергетики та шляхи їх розв’язання // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2014. – Вип. 2(85). – С. 31–40.
3. Тарасенко М.Г., Зінь М.М., Підгайний Ю.Б. Шляхи прискорення темпів розвитку малої гідроенергетики в Україні // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2014. – Вип. 4(87). – С. 56–61.
4. Зінь М.М. Технічне й екологічне обґрунтування вибору типорозмірів гідротурбін для низьконапірних малих ГЕС // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2022. – № 4. – С. 94–101.
5. Zin M., Koval V., Tarasenko M., Sysak I. Creation and substantiation of the matrix for model series of tubular propeller turbines for small hydropower plants // Scientific Journal of TNTU. – Tern.: TNTU, 2023. – Vol 109. – No 1. – P. 24–32.
6. Koval V., Zin M., Kostyk L., Buniak O. Ensuring the energy efficiency of heat supply energy systems functioning by justifying the choice of glazing units for the external enclosing structures of buildings // Scientific Journal of TNTU. — Tern.: TNTU, 2023. – Vol 110. – No 2. – P. 57–67.
7. Тарасенко М., Козак К., Лукман О., Зінь М. Аналіз ефективності використання типових та не типових вітроенергетичних установок // Вісник Хмельницького національного університету. – 2023. – №2 (319). – С. 391–400.
8. Тарасенко М. Dependences of relative and absolute glazed area from

configuration and common areas of window embrasure / М. Тарасенко, В. Бурмака, К. Козак // Вісник Тернопільського національного технічного університету. – 2018. – №1 (89). – С. 122-131.

9. Тарасенко М. Шляхи економії паливно-енергетичних ресурсів у побуті / М. Тарасенко, К. Козак // Вісник Тернопільського національного технічного університету. – 2017. – №1 (85). – С. 101-108.

10. Енергетика: історія, сучасність і майбутнє [Електронний ресурс]: Мала гідроенергетика – Режим доступу: <http://energetika.in.ua/ua/books/book-5/part-1/section-2/2-4>

11. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України [Електронний ресурс]: Гідроенергетика. Режим доступу: <https://saee.gov.ua/diialnist/vidnovliuvalna-enerhetyka/alternatyvna-enerhetyka/hidroenerhetyka>.

12. Кудря С.О. Основи конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії / С.О. Кудря, В.М. Головка. – Київ, 2019. – 201 с.

13. Цепенда М.М. Методичні особливості економіко-географічної оцінки гідроенергетичного потенціалу Середнього Придністров'я / М.М.Цепенда // Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського. Серія: Географія – Вінниця, 2009. – Вип. 18. – С.211-219.

14. Малі річки України: Довід. / За ред. А.В.Яцика. – К.: Урожай, 1991. – 296 с.

15. Водні ресурси Тернопільської області [Електронний ресурс]: Гнилоп'ять. - Режим доступу: http://www.nature.org.ua/gitom/02_02.htm.

16. Природа України [Електронний ресурс]: Нормативно-правова база у сфері отримання дозволу на будівництво міні ЕЕС. - Режим доступу: <http://pryroda.in.ua/miniges/normatyvno-pravova-baza-u-sferi-otrymannya-dozvolu-na-budivnytstvo-mini-hes/>.

17. Асоціація біоенергетичних структур [Електронний ресурс]: Стратегія розвитку біоенергетики в Україні – Режим доступу: <https://uabio.org/bioenergy-transition-in-ukraine/>.
18. Kishore, T.S.; Patro, E.R.; Harish, V.S.K.V.; Haghighi, A.T. A Comprehensive Study on the Recent Progress and Trends in Development of Small Hydropower Projects. *Energies* 2021, 14, 2882. <https://doi.org/10.3390/en14102882>.
19. Lazuardi L., Akhlis Rizza M., Maryono M. Application planning of microhydro electricity generating technology with 55 kw power in the mountains using the river flow of Coban Rondo waterfall, Krajaan, Pandesari, Kec. Pujon, Malang, east Jawa. – *Journal of Evrimata: Engineering and Physics*. – Vol. 01. – No. 02. – 2023. – P 61 – 69.
20. Вовчак В. Мала гідроенергетика України. Аналітичний огляд. Том 1 /В. Вовчак, О. Тесленко, О. Самченко. – Київ. – 2018. – 181 с.
21. «Перехід України на відновлювану енергетику до 2050 року» / О. Дячук, М. Чепелєв, Р. Подолець, Г. Трипольська та ін. ; // Пред-во Фонду ім. Г. Бьолля в Україні. – Київ : Вид-во ТОВ «АРТ КНИГА», 2017. – 88 с. <http://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2017/03/Rozvitok-VDE-v-Ukrai--ni.pdf>.
22. Хлапук М. М. Інженерно-топографічне обґрунтування будівництва дериваційних ГЕС на гірських річках Лівану / М. М. Хлапук, Л. А. Шинкарук, О. В. Безусляк, О. М. Ніколайчук./ *Гідроенергетика України*. – 2010. – № 1. – С.45-48.
23. Яцик А. В. Управління розвитком та ефективністю використання малої гідроенергетики в Україні / А. В. Яцик, В. А. Яцик, Т. О. Басюк // *Гідроенергетика України*. – 2011. – № 3 - 4, – С. 7 – 10.
24. Ковальчук О. А. Малі ГЕС в локальних електричних системах з розосередженим генеруванням / О. А. Ковальчук, О. В. Нікіторович, П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик *Гідроенергетика України*. – 2011. – № 1. – С. 54 - 58.

25. Ободовський О. Методика встановлення гідроенергетичного потенціалу річок (на прикладі річок Українських Карпат) / О. Ободовський, К. Данько, О. Почаєвець, Ю. Ободовський // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – 2016. – Вип. 1 (64). – С. 5-12.

26. Ободовський О. Загальний гідроенергетичний потенціал річок українських Карпат / О. Ободовський, К. Данько, О. Почаєвець, // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – 2017. – Вип. 1 (66)/2(67). – С. 15-28.

27. Licari, M., Benoit, M., Anselmet, F., Kocher, V., Fauchaux, P. Le, Licari, M., Benoit, M., Anselmet, F., Kocher, V. & Clément, S. 2020. Study of low-head hydrostatic pressure water wheels for harnessing hydropower on small streams To cite this version : HAL Id : hal-02568541 <https://hal.science/hal-02568541v1>.

28. Quaranta, E., Revelli, R. Gravity water wheels as a micro hydropower energy source: A review based on historic data, design methods, efficiencies and modern optimizations. Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2018.–№ 97. – P.414–427. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.08.033>.

29. Simmons, S.C., Lubitz, W.D. Archimedes screw generators for sustainable micro-hydropower production. International Journal of Energy Research. – 2021. – 45(12).

30. Yoosef Doost, A., Lubitz, W.D. Archimedes screw turbines: A sustainable development solution for green and renewable energy generation-a review of potential and design procedures. Sustainability (Switzerland). – 2020. – 12(18).