

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра теплоенергетики та гідроенергетики
Рівень вищої освіти другий магістерський
Спеціальність 145 «Гідроенергетика»
(код та назва)
Освітня програма Гідроенергетика
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

« 30 » 06 2021 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Федорець Анастасія Валеріївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

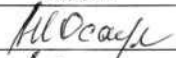
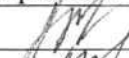


Тема роботи Дослідження автономних вихрових систем для енергозабезпечення об'єктів інфраструктури с. Зелений Яр місто Запоріжжя

Керівник роботи Осаул Олександр Іванович, канд. техн.наук, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджено наказом ЗНУ від «30» червня 2021 року № 975-с

- 1 Строк подання студентом роботи 03 грудня 2021 р.
- 2 Вихідні дані до роботи Розглянути використання енергії невеликих водотоків за допомогою малих гідроелектростанцій. Визначити фактори, які можуть підвищити ефективність використання гідротурбіни на річці.
- 3 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) У кваліфікаційній роботі магістра розглядається використання енергії невеликих водотоків за допомогою малих гідроелектростанцій (міні- і мікро-ГЕС). Зроблен розрахунок потужності міні-ГЕС на основі діапазона потужності турбіни, витрати води, повного гідростатичного напору, швидкості течії річки Суха Московка та діаметра робочого колеса.
- 4 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Робота пов'язана з визначенням факторів, які можуть підвищити ефективність використання гідротурбіни на річці. Розраховується статистичний аналіз результатів експериментальних досліджень окремих складових частин мікро-ГЕС.


5 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	О.І. Осаул		
2	О.І. Осаул		

6 Дата видачі завдання 05 травня 2021 р.**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Мала гідроенергетика, перспективи та напрями розвитку	05.05.2021	<i>виконано</i>
2	Варіанти побудови та розміщення міні ГЕС	01.08.2021	<i>виконано</i>
3	Комп'ютерне моделювання	05.11.2021	<i>виконано</i>
4	Опис модельної установки	01.12.2021	<i>виконано</i>
5	Підготовка презентації	03.12.2021	<i>виконано</i>

Студент


 (підпис)
А.В. Федорець

(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)


 (підпис)
О.І. Осаул

(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер


 (підпис)
О.І. Осаул

(ініціали та прізвище)

АНАТОЦІЯ

А. В. Федорець. Дослідження автономних вихрових систем для енергозабезпечення об'єктів інфраструктури с. Зелений Яр місто Запоріжжя.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 145 – Гідроенергетика, науковий керівник доц. Осаул О. І. Запорізький національний університет, Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні, кафедра теплоенергетики та гідроенергетики, 2021.

У кваліфікаційній роботі магістра розглядається використання енергії невеликих водотоків за допомогою малих гідроелектростанцій (міні- і мікро-ГЕС). Питання використання енергії малих річок України, а саме їх гідроенергетичний потенціал для вироблення електроенергії у віддалених та важкодоступних сільських регіонів. Розроблена діюча, працездатна електрогенеруюча установка, в основі якої лежить використання водяної турбіни і електрогенератора, що розміщуються неподалік водойми яка протікає поряд з селищем Зелений Яр. Зроблен розрахунок потужності міні-ГЕС на основі діапазона потужності турбіни, витрати води, повного гідростатичного напору, швидкості течії річки Суха Московка та діаметра робочого колеса.

Розглянуто доцільність встановлення міні-ГЕС для енергозабезпечення місцевості. Зроблено висновки.

Ключові слова: ГІДРОЕНЕРГЕТИКА, ГІДРОЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ, МІНІ ГЕС, МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ РУХУ РІДИНИ, SOLIDWORKS, ТЕХНІКО- ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА.

ABSTRACT

A. V. Fedorets. Research of autonomous vortex systems for energy supply of infrastructure objects p. Green Yar is a city of Zaporozhye.

Qualification final work for obtaining a master's degree in specialty 145 - Hydropower, supervisor Assoc. Osaul OI Zaporizhzhya National University, Engineering Educational and Scientific Institute named after Yu. M. Potebny, Department of Heat and Hydropower, 2021.

The master's thesis considers the use of energy from small streams with the help of small hydropower plants (mini- and micro-hydro). The issue of using the energy of small pockets of Ukraine, namely their hydropower potential for the removal of electricity from remote and difficult-to-reach people. An operating, operational power generating unit has been developed, which is based on the use of a water turbine and an electric generator located near a reservoir that flows near the village of Zeleny Yar. The power of the mini-hydropower plant was calculated on the basis of the turbine power range, water flow, total hydrostatic pressure, the speed of the Sukha Moskovka river and the diameter of the impeller.

The expediency of installing mini-hydropower plants for energy supply of the area is considered. Conclusions are made.

Keywords: HYDROENERGY, HYDROENERGY POTENTIAL, MINI HEC, MODELING OF LIQUID MOVEMENT PROCESSES, SOLIDWORKS, ENGINEERING AND ECONOMICS.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, скорочень і термінів.....	5
ВСТУП.....	6
1. МАЛА ГІДРОЕНЕРГЕТИКА.....	9
1.1. Перспективи та напрями розвитку.....	9
1.2. Досягнення малої гідроенергетики в світі	18
1.3. Переваги та недоліки малої гідроенергетики.....	22
1.4. Гідротурбінне обладнання.....	24
1.5. Типи малих ГЕС та класифікація гідротурбін.....	41
1.6. Характеристики діючих малих ГЕС.....	45
1.7. Характеристики гідроенергії.....	47
1.8. Методи оцінки гідропотенціалу малих річок.....	48
2. ВАРІАНТИ ПОБУДОВИ ТА РОЗМІЩЕННЯ МІНІ ГЕС.....	54
2.1. Вибір місця для розташування міні ГЕС.....	54
2.2. Визначення гідропотенціалу р. Суха Московка на вибраній ділянці.....	55
2.3. Геодезичні дослідження створу міні ГЕС.....	56
2.4. Вибір гідроенергетичного обладнання.....	57
2.5. Варіант міні ГЕС із турбіною Банкі.....	59
2.6. Варіант міні ГЕС із турбіною Каплана.....	63
2.7. Варіант міні ГЕС з роторно-лопатевою гідротурбіною Самойленка.....	63
2.8. Вибір турбіни.....	64
2.9. Вибір типу гідротурбіни.....	64
2.10. Нормативно правова база при будівництві міні ГЕС.....	63
3. КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ.....	65
3.1. Аналіз існуючих комп'ютерних програм для моделювання гідродинамічних задач.....	65
3.2. Моделювання руху рідини в робочому елементі поворотно-лопатевої турбіни.....	65

3.3. Аналіз впливу зміни кута нахилу лопаті турбіни на швидкість та тиск рідини в робочому елементі турбіни Каплана.....	68
4. ОПИС МОДЕЛЬНОЇ УСТАНОВКИ.....	74
4.1. Модельна лабораторна установка гідроагрегата.....	74
4.2. Електрична частина модельної лабораторної установки.....	77
4.3. Робота модельної установки.....	81
4.4. Випробування моделі гідроагрегата.....	82
ВИСНОВКИ.....	85
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	86

Перелік умовних позначень, символів, скорочень і термінів

Умовні позначення та символи

- N_0 – теоретична потужність водотоку;
 $P_{ГЕС}$ – потужність ГЕС;
 V – швидкість водяного потоку;
 S – площа поперечного перерізу річки;
 ρ – густина води;
 g – прискорення вільного падіння;
 H – напір;
 $\nabla_{ВВ}, \nabla_{НБ}$ – верхній і нижній б'єф ділянки річки;
 Q – середня багаторічна витрата води;
 η – ККД ГЕС.

Скорочення

- ГЕС – гідроелектростанція;
МГЕС – мікро гідроелектростанція;
ГП – гідроенергетичний потенціал;
АЕС – атомна електростанція;
ТЕС –теплова електростанція;
ККД – коефіцієнт корисної дії.

Терміни

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

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

МГЕС – гідроелектростанції із потужністю до 10 МВт.

ВСТУП

Актуальність роботи. Мала гідроенергетика дозволяє використати значний гідроенергетичний потенціал малих рік і притоків, а в багатьох випадках забезпечити локальне електропостачання віддалених районів або населених пунктів, особливо в країнах які зіткнулися з енергетичною кризою та значним падінням економіки. Малі гідроелектростанції мають невеликі капіталовкладення та досить швидкий термін окупності.

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

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

Мета та задачі роботи. У роботі розглядається використання енергії невеликих водотоків за допомогою малих гідроелектростанцій (міні- і мікро-ГЕС). У роботі розглядається питання використання енергії малих річок України, а саме їх гідроенергетичний потенціал для вироблення електроенергії у віддалених та важкодоступних сільських регіонів. За останні роки в Україні спостерігається значна енергетична криза, тому зростає потреба в зменшенні споживання паливно-енергетичних ресурсів та впровадженні відновлювальних джерел енергії.

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

Розраховується статистичний аналіз результатів експериментальних досліджень окремих складових частин мікро-ГЕС.

Виконана розрахункова робота для ефективного енергозабезпечення

селища Зелений Яр.

Об'єкт досліджень – міні-ГЕС.

Предмет дослідження – отримання електроенергії на малих річках за допомогою гідротурбін.

Методи дослідження. У роботі використовувалися відомі методи визначення гідроенергетичного потенціалу та моделювання потоку у турбіні, що дозволить отримати результати, максимально наближені до реальних умов.

Наукова новизна роботи полягає у побудові вертикального профілю річки Суха Московка з метою визначення оптимального місця встановлення міні гідроелектростанції та визначенні ефективності роботи гідротурбіни при зміні кута нахилу лопаток, за характеристиками певної річки.

Практичне значення роботи полягає у створенні систем електропостачання для невеликих селищ, промислових об'єктів, що розташовані поблизу невеликих річок та водотоків.

Апробація роботи. Результати роботи представлені на загально університетській конференції студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «Молода наука-2021» та I Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти, аспірантів та молодих вчених «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України» 19-21 жовтня 2021.

Обсяг та структура роботи. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів основної частини, висновків та переліку посилань. Повний обсяг роботи складає 89 сторінок, включає у себе 39 рисунків, 8 таблиць та 1 презентацію. Список використаної літератури складається з 40 найменувань.

1. МАЛА ГІДРОЕНЕРГЕТИКА, ПЕРСПЕКТИВИ ТА НАПРЯМИ РОЗВИТКУ

1.1. Перспективи та напрями розвитку

Мала гідроенергетика на даний час не може істотно впливати на умови енергозабезпечення країни через малу її частку в загальному енергобалансі. Але уважний аналіз енергетичного потенціалу малих річок України показує, що хазяйське його використання може дати істотну прибавку екологічно чистої енергії в енергетичний баланс країни. Якщо загальний гідроенергетичний потенціал малих річок складає 12.5 млрд кВт·год/рік, то економічно раціональний для використання потенціал представляє 3.7 млрд кВт·год/рік. При цьому характерним є те, що 7.23 млрд кВт·год/рік із загального потенціалу припадають на територію трьох областей: Закарпатської, Львівської і Чернівецької. Тобто основна енергія малих річок криється в Карпатах і Прикарпатті, і подальший розвиток малої енергетики доцільно починати з цього регіону.

Значні енергетичні ресурси малих річок (загальні – 2300...2400 МВт, технічні – 1600...1700 МВт, першочергові – 600...700 МВт) практично не використовуються. Розрахунки показують, що розвиток малої гідроенергетики в Україні здатний забезпечити надійне енергопостачання споживачів промислового і житлово-комунального господарства сіл та районних центрів, інтенсивний розвиток сільського господарства, поліпшити стан соціальної сфери та екології. Для регіонів Західної України впровадження МГЕС дасть значний вклад в енергозабезпечення і, крім того, покликане зменшити наслідки частих руйнівних паводків.

В Україні нараховується понад 63 тисячі малих річок і водотоків загальною довжиною 135,8 тис. км, з них близько 60 тисяч (95%) – дуже малі (довжина менше ніж 10 км), їхня сумарна довжина – 112 тис. км, тобто середня довжина такого водотоку – 1,9 км. Більшість малих річок довжиною менш ніж 10 км мають площу водозбору від 20,1 до 500 км² (87% всієї кількості і 72% всієї довжини малих річок України). Малих річок з площею водозбору від 50,1

до 100 км² нараховується 890 (28% всієї кількості), а 797 річок (25%) мають площу водозбору 20,1...50 км².

Основною гідрологічною характеристикою є середній багаторічний стік, або норма річного стоку. Найбільшою водоносністю відрізняються річки Карпат, стік яких значною мірою залежить від висоти басейна. При використанні енергетичних ресурсів малих річок велике значення має стан льодоставу на річках взимку. Це особливо важливо для мікроГЕС, які найчастіше використовують кінетичну енергію потоку.

Енергетичний потенціал малих річок України, його розподіл по областях приведено в таблиці 1.1.

Із збудованих до початку 50-х років більш як 900 малих гідроелектростанцій в Україні на цей час діють близько 90, більшість з яких потребує реконструкції. До них відносяться такі порівняно потужні станції, як Теремля-Рікська, Гайворонська, Корсунь-Шевченківська, Стеблівська, Ладжинська.

Технічний стан діючих ГЕС характеризується значним або повним зношенням основного гідроенергетичного, гідромеханічного і електротехнічного устаткування, наявністю несправностей у спорудах напорного фронту, що може стати причиною виникнення аварійних ситуацій, замулення водоймищ, розмиву кріплень водозливних і берегових ділянок нижніх б'єфів тощо.

Розвиток малої гідроенергетики України повинен передбачати:

- оновлення та реконструкцію наявних діючих малих ГЕС;
- відбудову великої кількості існуючих покинутих гребель та оснащення їх необхідним обладнанням;
- будівництво нових малих ГЕС в районах децентралізованого енергопостачання;
- будівництво малих ГЕС в регіонах централізованого енергопостачання на наявних перепадах водосховищ та водотоків;
- нове будівництво з концентрацією напору, але із урахуванням мінімального затоплення земель.

Таблиця 1.1 – Розподіл гідроенергетичного потенціалу малих річок по областях України

Область	Потенціал, млн КВт·год/рік
1	2
Автономна Республіка Крим	211,0
Київська	200,0
Вінницька	360,0
Волинська	115,2
Дніпропетровська	101,2
Донецька	189,0
Житомирська	336,0
Закарпатська	4532,0
Запорізька	50,5
Івано-Франківська	399,0
Кіровоградська	170,0
Луганська	436,0
Львівська	1814,0
Миколаївська	156,8
Одеська	37,5
Полтавська	396,0
Рівненська	304,0
Сумська	298,0
Тернопільська	427,2
Харківська	268,0
Херсонська	2,2
Хмельницька	303,5
Черкаська	331,0
Чернівецька	883,7
Чернігівська	178,2

Мала гідроенергетика України через її незначну питому вагу в загальному енергобалансі (0,2 %) не може суттєво впливати загальну кількість вироблення електроенергії в країні. Однак експлуатація малих ГЕС – це можливість виробляти близько 250 млн. кВт·год. електроенергії на рік, що еквівалентно щорічній економії до 75 тис. т дефіцитного органічного палива.

За оцінками Світової енергетичної ради, економія органічного палива за рахунок малої гідроенергетики у загальному виробництві енергії на 2020 рік буде складати 69 млн. т умовного палива відповідно до мінімального варіанта розвитку або 99 млн. т – відповідно до максимального.

Завдання в Україні полягає не тільки в будівництві нових МГЕС, але і у відновленні занедбаних або частково зруйнованих, коли є споруди, та немає обладнання, або, як видно на мал.4. споруди частково збереглися і мають досить міцний вигляд, а ГЕС відсутня.

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

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

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

Розвиток гідроенергетики має довгострокові економічні переваги, перш за все з позиції можливості її диверсифікації, більш ефективного

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

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

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

Малі гідроелектростанції можуть експлуатуватися до 50 років без істотних витрат на заміну обладнання. Інвестиційні витрати на будівництво малих ГЕС мають значні відмінності між промислово розвиненими і країнами, що розвиваються. В країнах, що розвиваються, наприклад, у зв'язку з низькою вартістю робочої сили витрати на загальнобудівельні роботи істотно менше, ніж у промислово розвинених країнах. При умовно рівній вартості обладнання і монтажних робіт будівництво гідроенергетичного комплексу в країнах, що розвиваються може бути економічно більш виправданим, ніж в розвинених країнах [2].

З урахуванням обмеженості гідроресурсів в світі можна припустити, що в період до 2030 року темпи розвитку малої гідроенергетики помітно знизяться, але при цьому буде підтримуватися диверсифікація малої гідроенергетики. При темпі зростання в (4,5...4,7)% виробництво

електроенергії на малих ГЕС досягне до 2030 року 770-780 ТВт/год, що становитиме понад 2 % всього виробництва електроенергії в світі. Таким чином, можна сказати, що мала гідроенергетика в доступній для огляду перспективі залишиться одним з найважливіших і конкурентоспроможних поновлюваних джерел енергії [1]. Україна має значний потенціал використання ресурсів малих річок (головним чином у західних регіонах), що складає майже 28 % загального гідропотенціалу всіх річок України (див. рис. 1.1)[3].

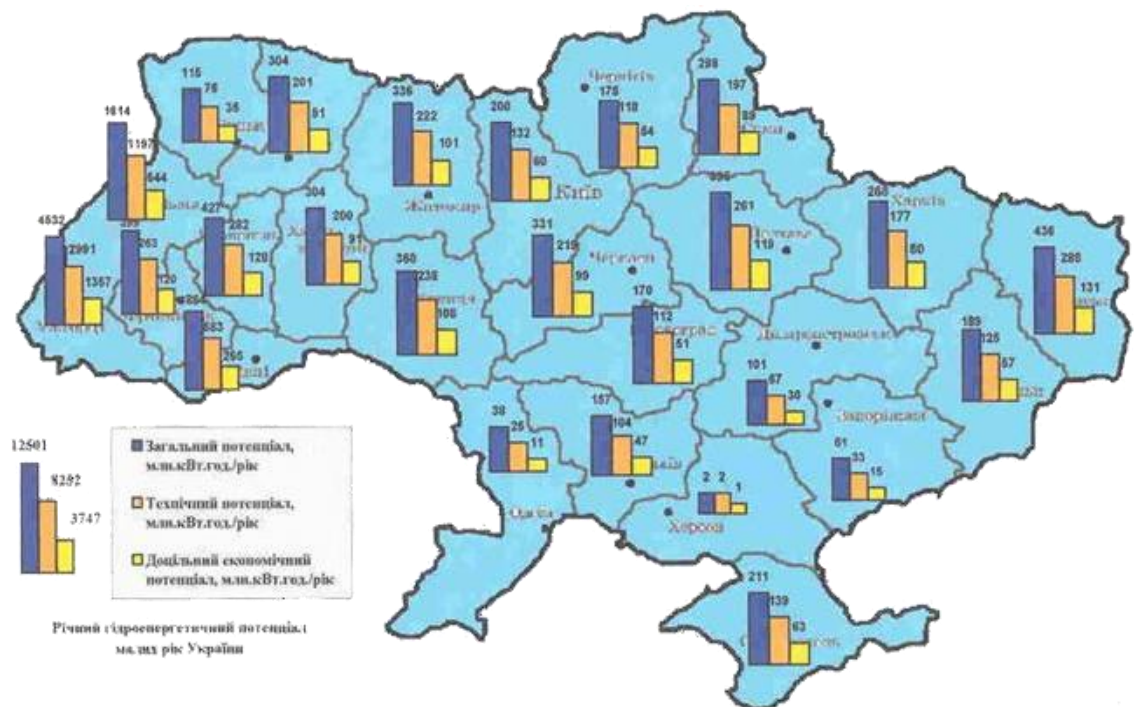


Рисунок 1.1, – Гідроенергетичний потенціал малих річок України

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

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

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

1.2. Досягнення малої гідроенергетики в світі

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

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

Таблиця 1.2 – Частка гідроенергетики, в тому числі малої, у виробництві електроенергії в світі

Джерело енергії	Виробництво електроенергії (ТВт/год)		Частка(%)		Темп зростання (%)
	2006 р.	2030 р.	2006 р.	2030 р.	2007–2030 рр.
Великі ГЕС	2725	4383	14,4	12,4	2
Малі ГЕС	252	778	1,4	2,2	4,7

Інвестиційні витрати МГЕС (1-10 МВт) і дуже малих ГЕС (≤ 1 МВт) можуть варіюватися від \$2000 до \$7500 за 1 кВт і від \$2500 до \$10000 за

1 кВт, відповідно, і складати для зазначених видів ГЕС в середньому \$4500–5000 за 1 кВт встановленої потужності [1].

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

У Китаї до малих належать ГЕС потужністю від 1 до 50 МВт, вони грають важливу роль в забезпеченні електроенергією сільських районів: 45 тис. малих гідроспоруд виробляють 70 млрд кВт/год для 300 млн сільських жителів. Китай планує розширити використання малої гідроенергетики: в найближчі роки в її розвиток буде інвестовано \$ 16,5 млрд. З 300 до 782 зросте кількість повітів, в яких будуть побудовані такі об'єкти. Значна їх частина працює в комплексі з іригаційними спорудами. У сфері використання відновлюваних джерел енергії країна поступово завойовує лідируючі позиції в світі. До 2020 року в Китаї сумарна потужність ГЕС всіх типів повинна скласти до 190 ГВт, а до 2025 року майже 300 ГВт. Центр виробництва обладнання для малих гідроелектростанцій поступово зміщується в Китай, який забезпечує значну частку його світового випуску [2].

Розвитку малої гідроенергетики приділяється значна увага і в інших країнах. Європейський союз планував до 2010 року довести встановлені потужності малих ГЕС до 14 ГВт. Середня вартість 1 кВт/год електроенергії, виробленої на такій станції, в Європі в 2005 році становила близько \$ 0,03(див. рис. 1.2) [2].

У таблиці 1.3 представлені світові тенденції з розвитку малої гідроенергетики, а саме техніко-економічні та прогнозні показники малої гідроенергетики.

Таблиця 1.3 – Техніко-економічні та прогнозні показники малої гідроенергетики

Технічні показники	Міжнародні визначення типів ГЕС		
Категорії ГЕС	Мікро ГЕС (до 1 МВт)	Малі ГЕС (1-10 МВт)	Інші ГЕС (> 10 МВт)
ККД гідротурбін (%)	до 92	до 92	до 92
Терміни будівництва (місяць)	6-10	10-18	18-96
Можливий термін експлуатації ГЕС (років)	до 100		
Коефіцієнт використання встановленої потужності (%)	50-60(50)	34-56 (45)	34-56 (45)
Коефіцієнт навантаження ГЕС (%)	98	98	98
Вплив на навколишнє середовище			
Викиди CO ₂ та інших парникових газів (кг/МВт/год)	несуттєвий		
Витрати на будівництво ГЕС (в цінах 2008 року, \$)			
Інвестиційна вартість, включаючи витрати на будівельні роботи (\$/кВт)	2500-10000 (5000)	2000-7500 (4500)	1750-6250 (4000)
витрати на експлуатацію та обслуговування (фіксовані і змінні) (\$/кВт)	50-90 (75)	45-85 (65)	35-85 (60)
Економічний термін служби (років)	30		
Загальна вартість виробленої електричної енергії (\$/МВт/год)	55-185 (90)	45-120 (82,5)	40-110(75)
Період прогнозу	2010 рік	2020 рік	2030 рік
Інвестиційна вартість, включаючи витрати на будівельні роботи (\$/кВт)	5000	4000	3500

Продовження таблиці 1.3

1	2		
Загальна вартість виробленої електричної енергії (\$/МВт/год)	82,5	75	67,5
Частка електроенергії ГЕС в загальному електроенергетичному ринку (%)	16-17	18-20	20-21

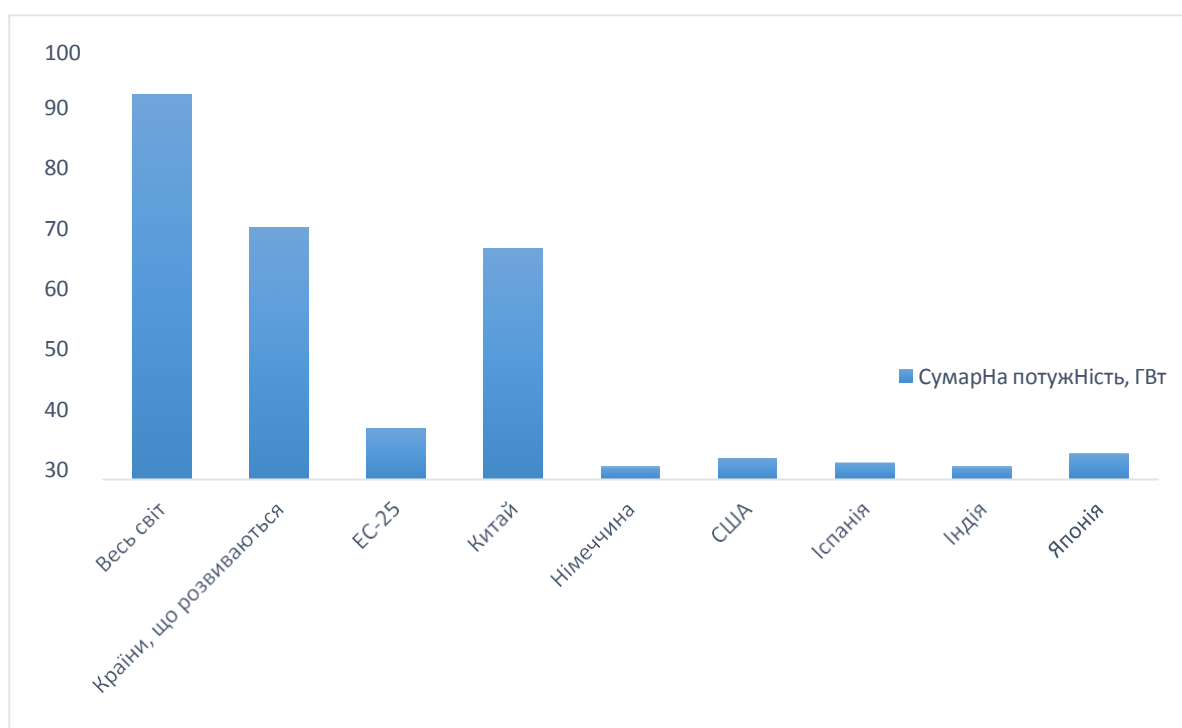


Рисунок 1.2, – Сумарні потужності малих ГЕС

В Україні налічується понад 63 тис. малих річок і водотоків загальною довжиною 135,8 тис. км, з них близько 60 тис. (95 %) дуже маленькі (довжиною менше 10 км), їх сумарна довжина – 112 тис. км (середня довжина такого водотоку – 1,9 км). Більшість (87 %) малих річок довжиною менше 10 км мають площу водозбору від 20,1 до 500 км². Найбільшою водоносністю відрізняються річки Західної України [1].

1.3. Переваги та недоліки малої гідроенергетики

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

Серед економічних, екологічних та соціальних переваг об'єктів малої гідроенергетики можна назвати наступні. Їх створення підвищує енергетичну безпеку регіону, забезпечує незалежність від постачальників палива, що знаходяться в інших регіонах, економить дефіцитне органічне паливо. Спорудження такого енергетичного об'єкта не вимагає великих капіталовкладень, великої кількості енергоємних будівельних матеріалів і значних трудовитрат, відносно швидко окупується. Крім того, є можливість для зниження собівартості зведення за рахунок уніфікації та сертифікації обладнання [4]. У процесі вироблення електроенергії ГЕС не викидає парникових газів і не забруднює навколишнє середовище продуктами горіння і токсичними відходами. Подібні об'єкти не є причиною наведеної сейсмічності і порівняно безпечні при природному виникненні землетрусів. Вони не роблять негативного впливу на спосіб життя населення, на тваринний світ і місцеві мікрокліматичні умови.

Як будь-яке локалізоване джерело енергії, в разі ізолюваного застосування, об'єкт малої гідроенергетики вразливий з точки зору виходу з ладу, в результаті чого споживачі залишаються без енергопостачання (вирішенням проблеми є створення спільних або резервних генеруючих потужностей: вітроагрегату, когенеруючих міні-котелень на біопаливі, фотоелектричної установки тощо [4]. Найбільш поширений вид аварій на об'єктах малої гідроенергетики – руйнування греблі і гідроагрегатів в результаті переливу через гребінь дамби при несподіваному підйомі рівня води і неспрацьовуванні запірних пристроїв. У деяких випадках МГЕС сприяють замулюванню водосховищ і впливають на руслоформуєчі процеси.

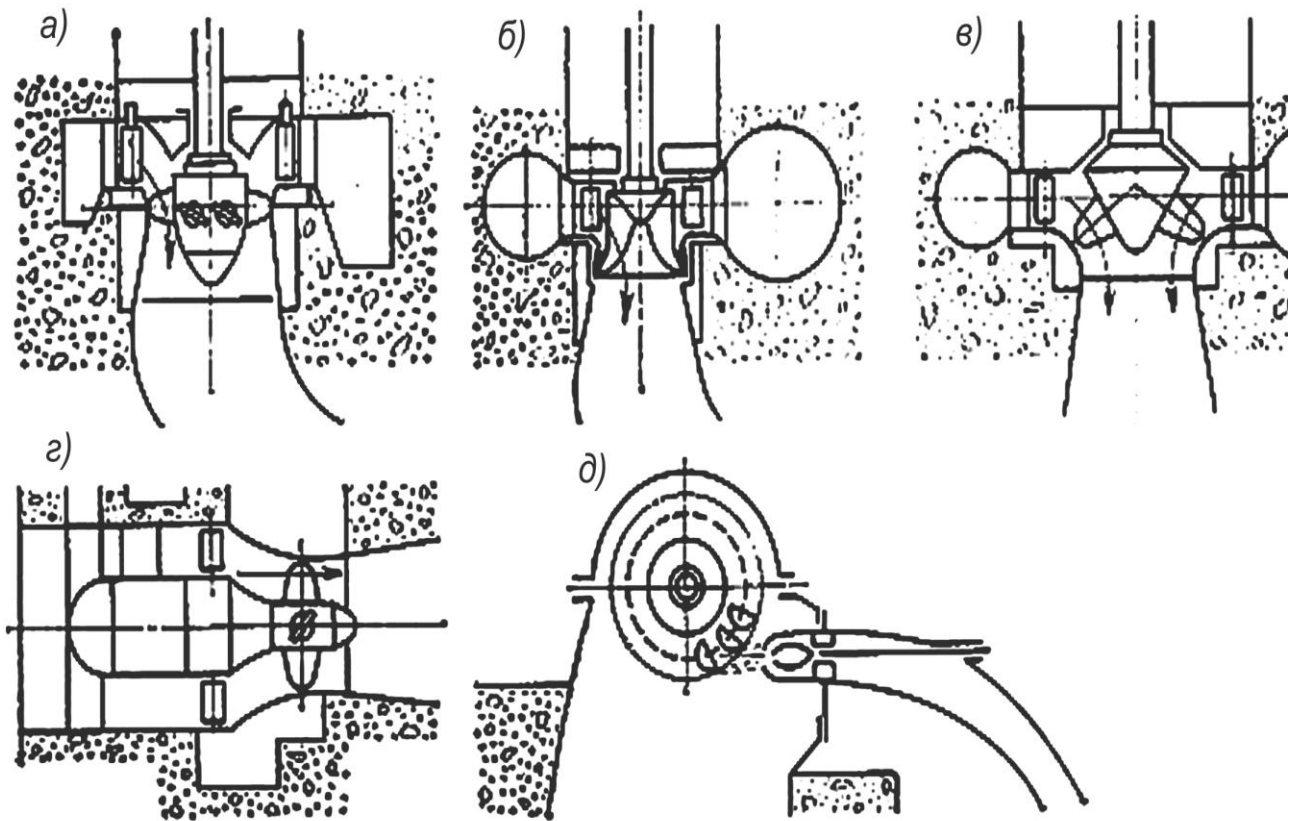
Існує певна сезонність у виробленні електроенергії (помітні спади в зимовий і літній період), яка призводить до того, що в деяких регіонах

мала гідроенергетика розглядається як резервна (дублююча) генеруюча потужність.

Серед факторів, що гальмують розвиток малої гідроенергетики в Україні, більшість експертів називають неповну поінформованість потенційних користувачів про переваги застосування невеликих гідроенергетичних об'єктів; недостатню вивченість гідрологічного режиму та обсягів стоку малих водотоків; низька якість діючих методик, рекомендацій, що є причиною серйозних помилок в розрахунках; нерозробленість методик оцінки та прогнозування можливого впливу на навколишнє середовище і господарську діяльність; слабку виробничу і ремонтну базу підприємств, які виробляють гідроенергетичне встаткування для МГЕС, а масове будівництво об'єктів малої гідроенергетики можливо лише в разі серійного виробництва обладнання, відмови від індивідуального проектування і якісно нового підходу до надійності і вартості обладнання – в порівнянні зі старими об'єктами, виведеними з експлуатації [4].

1.4. Гідротурбінне обладнання

Класифікація та номенклатура гідротурбін. З початку розвитку світового гідротурбобудування, внаслідок удосконалення турбін, склалося два конструктивних класи потужних гідротурбін – клас активних турбіни і клас реактивних. У складі активного класу в користуванні лишилися лише ковшові турбіни, а до складу реактивного класу входять досить досконалі радіально-осьові, осьові поворотно-лопатеві і пропелерні та поворотно-лопатеві діагональні. Всі вони схематично зображені на рисунку 1.3. Серед головних переваг сучасних турбін слід відзначити те, що вони мають можливість регулювання потужності, що їм притаманні достатньо висока швидкохідність, добрі кавітаційні властивості, зручність обслуговування і експлуатації та висока надійність в роботі.



Реактивні: а – поворотно-лопатева (пропелерна) осьова;
 б – радіально-осьова; в – поворотно-лопатева діагональна;
 г – горизонтальний капсульний гідроагрегат;

Рисунок 1.3, – Схеми сучасних поширених типів гідротурбін

Постійне технічне удосконалення конструкцій і параметрів гідротурбін, досвід застосування їх для різних умов і напорів та виробничий відбір останнім часом майже остаточно склали основну номенклатуру турбін різних типів і зони їх доцільного застосування в залежності від призначення і умов функціонування, які наглядно зображені на рисунку 1.4.

Для указаних вище основних типів турбін, що найбільш широко застосовуються, введено умовне маркірування, яке містить чотири складових: тип турбіни, максимальний напор у метрах, конструктивну схему установки та діаметр робочого колеса у сантиметрах.

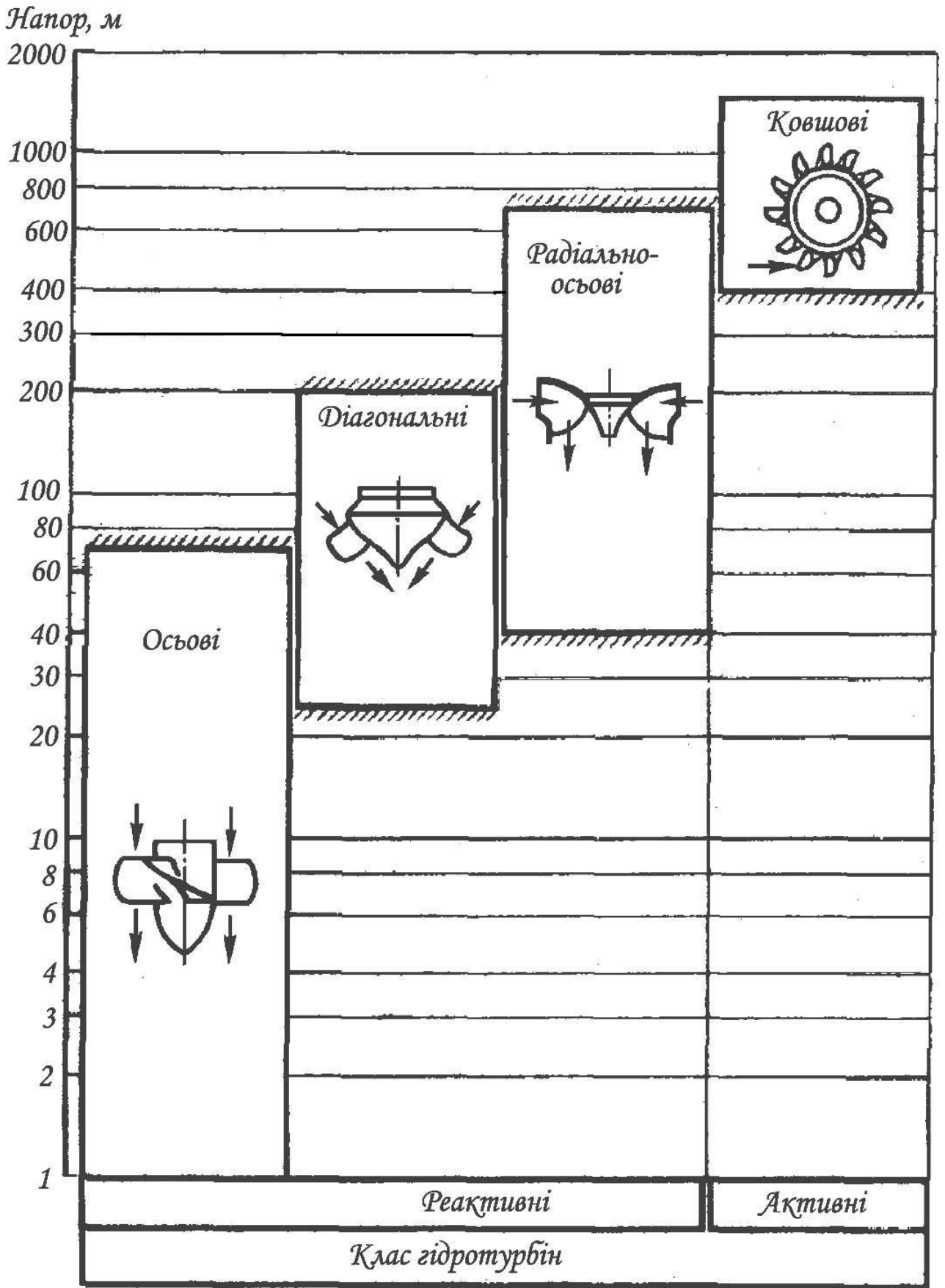


Рисунок 1.4, – Зони застосування найбільш поширених гідротурбін

Тип турбіни позначається великими літерами: поворотно-лопатева – ПЛ, пропелерна – ПР, радіально-осьова – РО, діагональна – ПЛД і ковшова – К. Наприклад, турбіна ПЛ 60-В-750 – поворотно-лопатева на напор до 60 м, вертикальна, діаметр робочого колеса 7,5 м. У складі горизонтального капсульного гідроагрегата поворотно-лопатева турбіна маркірується чотирма літерами ПЛГК. Історичний досвід використання гідротурбін різних типів наглядно зображений у вигляді графіка номенклатури крупних вертикальних турбін (рисунок 1.5), на якому у логарифмічних координатах напору і потужності показані зони застосування кожного із включених у номенклатуру типів робочих коліс.

Таких типів у номенклатурі прийнято: для поворотно-лопатевих осьових турбін – 9, діагональних – 8, радіально-осьових – 8. Номенклатурою передбачені діаметри робочих коліс поворотно-лопатевих турбін – від 2,0 до 10,6 м, а радіально-осьових – від 1,8 до 9,0 м. Межі потужностей для робочих коліс кожного типу визначаються прийнятими максимальними і мінімальними діаметрами, позначеними біля відповідних похилих ліній. Межі застосування робочих коліс за напором встановлені орієнтовно, виходячи із звичайних припустимих на практиці економічно доцільних висот відсмоктування та із умови міцності лопатей.

Номенклатура, що склалася на підставі історичного досвіду використання гідротурбін, встановлює доцільні зони напорів для поворотно-лопатевих турбін від 2 до 80 м, радіально-осьових – від 40 до 500 м, діагональних поворотно-лопатевих турбін – від 30 до 200 м. При напорах до 20 м більш раціональними вважаються горизонтальні капсульні гідроагрегати з осьовими або діагональними турбінами. Ковшові турбіни використовуються при напорах від 500 м і вище.

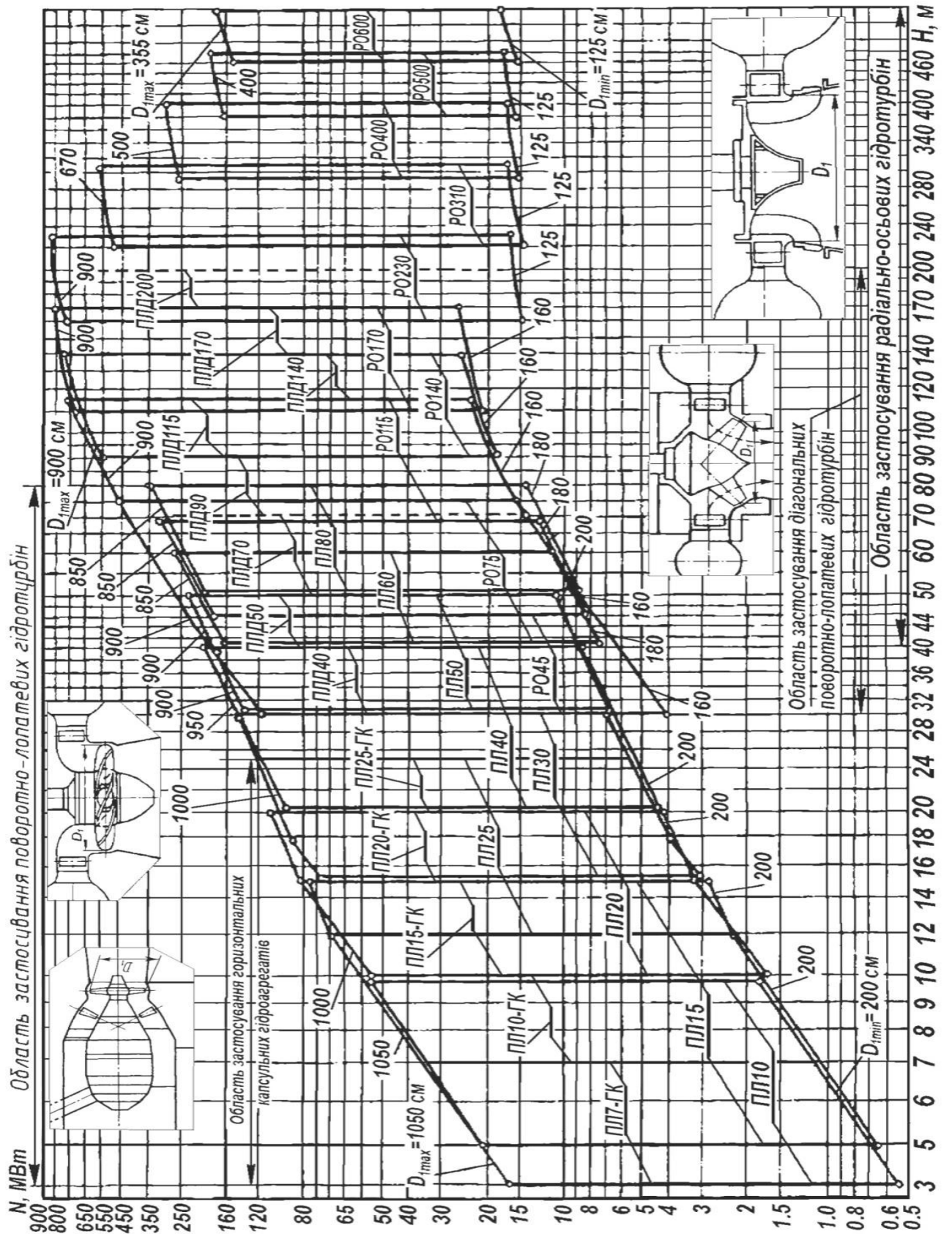


Рисунок 1.5, – Зведений графік номенклатури і зон застосування крупних реактивних гідротурбін

Конструктивні схеми гідротурбін визначаються в залежності від розташування головної осі обертання турбіни і розподіляються на вертикальні і горизонтальні. Обидві ці схеми мають певні переваги та недоліки, вагомість яких найчастіше визначається потужністю гідроагрегата, діючим напором, типом ГЕС та її компоновкою, а іноді і природними умовами будівництва гідровузла та способом створення напору.

Для потужних турбін середніх і високих напорів вертикальна схема (рисунок 1.6) має цілий ряд істотних переваг перед горизонтальною:

- компактність розташування гідроагрегатів в цілому у будинку ГЕС, зручність розміщення габаритної спіральної камери нижче рівня полу;
- можливість улаштування поміж турбінами глибинних водоскидних отворів в суміщених будівлях ГЕС без потреби додаткового будівельного простору;
- зменшення горизонтальних габаритів будівлі ГЕС за рахунок збільшення вертикальних, що має значення при компонуванні ГЕС при греблі;
- зручність спряження високонапорного водоводу з габаритною спіральною камерою;
- можливість застосування прогресивних технологій монтажу закладних частин при зведенні будівлі ГЕС;
- зниження питомої вартості будівельної частини станції.

Завдяки цим перевагам, майже всі сучасні потужні гідроелектростанції із середнім і більш високим напором оснащені вертикальними турбінами.

Але за певних умов горизонтальні конструктивні схеми дають такі значні переваги у порівнянні із вертикальними:

- можливість створення компактної будови ГЕС у складі напорного фронту руслової станції;
- більш досконалий проточний тракт із прямою відсмоктувальною трубою, який обумовлює менші гідродинамічні втрати у турбіні;
- можливість компонування машинного залу з малими вертикальними габаритами при суміщенні водозливних прольотів із будовою ГЕС і переливі води через поверх машинного залу;

- зменшення обсягу будівельних робіт (розробка і бетонування) углиб нижче рівня дна ріки.

Особливе місце серед гідроагрегатів горизонтальної компоновки посідають горизонтальні капсульні гідроагрегати, які з'явилися на технічному обрії відносно недавно. Вони швидко завоювали певну сферу в гідроенергетиці і останнім часом набули поширеного застосування на ГЕС з напорами до 15...20 м.

За одиничною потужністю горизонтальні капсульні гідроагрегати не конкурують з вертикальними, але скомпоновані із поворотно-лопатевими осьовими та діагональними турбінами, вони досягають значно більшої потужності, ніж відкриті горизонтальні. На перевагу деяким складностям у виготовленні, монтажі і експлуатації вони дають значний економічний і технічний вигравш при будівництві низьконапорних гідроелектростанцій руслового типу.

Гідроагрегати малої потужності взагалі краще компонуються з горизонтальними турбінами як для низьких, так і для високих напорів, особливо на станціях з напорними водоводами, розташованими паралельно до русла ріки.

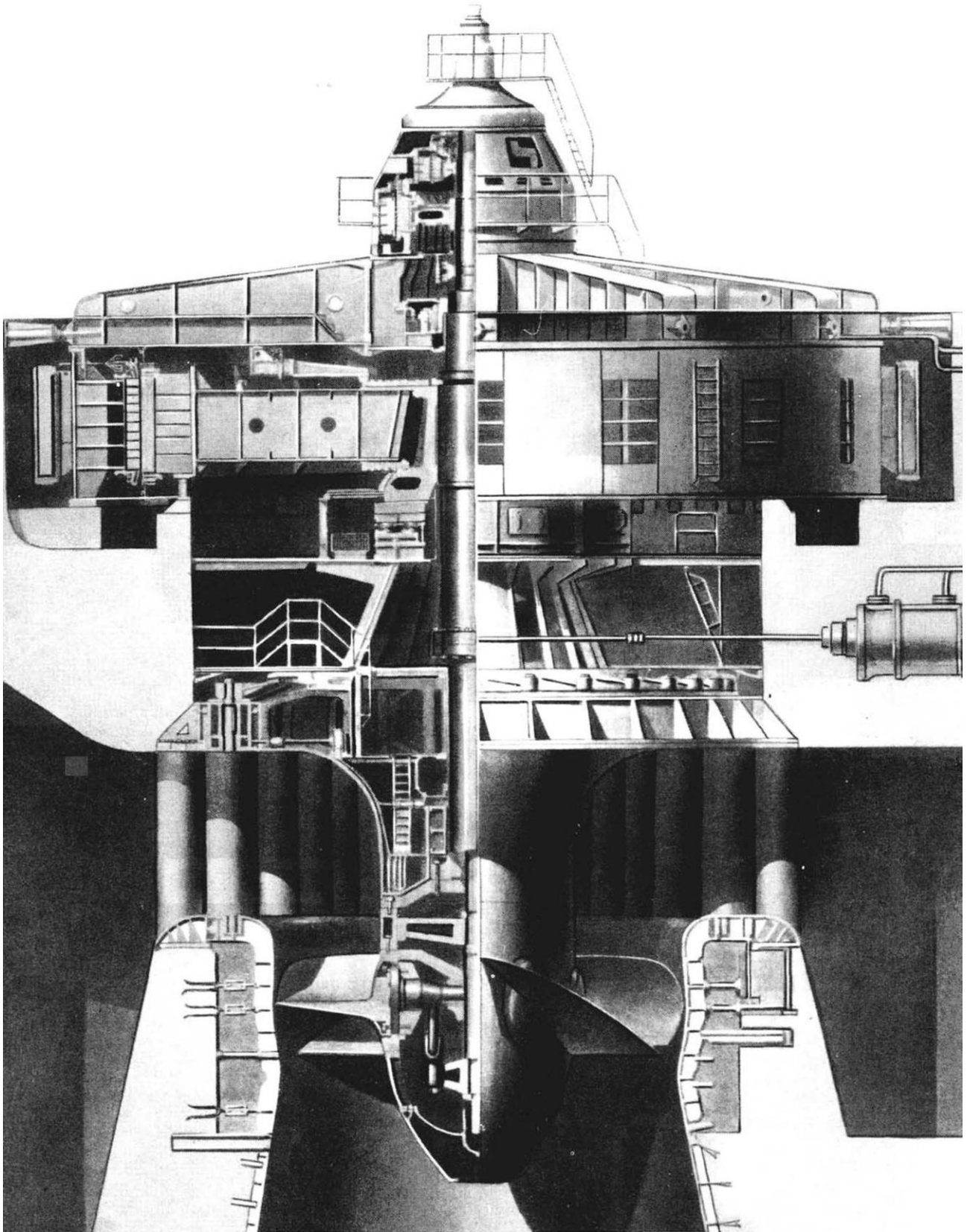


Рисунок 1.6, – Вертикальна поворотно-лопатєва турбіна,
скомпонована з гідрогенератором зонтичного типу

Радіально-осьова турбіна – це один із найпоширеніших типів турбін, що має широкий діапазон застосування від 30...40 до 500...600 м. Конструктивне виконання їх залежить від напору, але загальна компоновочна схема вертикальних турбін цього типу практично однакова. Підведення води до робочого колеса здійснюється, як правило, за допомогою металевої спіральної камери крізь багатолопатковий напрямний апарат, а відведення – вигнутою відсмоктувальною трубою. Робоче колесо турбіни своїм фланцем приєднується до вала, вертикальне положення якого фіксується напрямним підшипником, що встановлений у кришці турбіни. На кришці турбіни змонтоване регулююче кільце з механізмом повороту напрямних лопаток. У конструкціях крупних турбін на кришці безпосередньо біля регулюючого кільця встановлюють також і сервомотори напрямного апарата, а іноді і опору підп'ятника.

Радіально-осьові турбіни (див. рис. 1.7) мають цілий ряд певних значних переваг у порівнянні з іншими типами турбін, що і визначило їх поширеність у користуванні. Вони характеризуються тим, що без втрат якості проточної частини, конструктивно простіші відносно, наприклад, поворотно-лопатевих турбін і при цьому забезпечують досить високий коефіцієнт корисної дії (ККД) в межах значних коливань потужності і напору, мають високі кавітаційні властивості, вони надійні і досить прості у експлуатації і не чинять шкідливого впливу на навколишнє середовище.

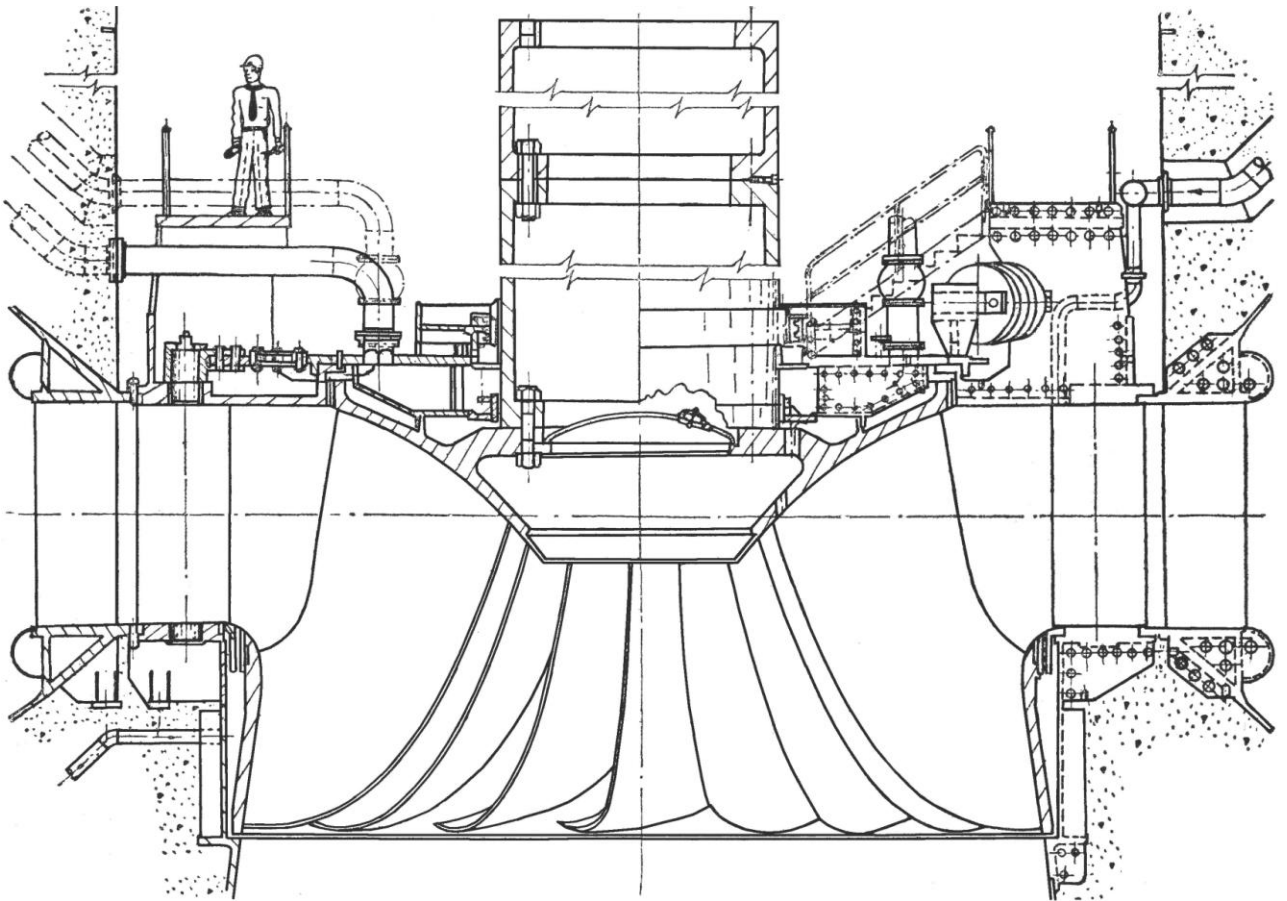


Рисунок 1.7, – Одна з найпотужніших
і найкрупніших радіально-осьових гідротурбін

З радіально-осьовими турбінами пов'язані і проблеми, а саме: як термо-обробка робочого колеса в цілому після його зварювання, так і транспортування готового робочого колеса з місця виготовлення до місця монтажу. На рисунку 6.5 показана одна з найпотужніших радіально-осьових турбін, яка має робоче колесо діаметром 9,91 м, розвиває номінальну потужність 700 МВт і розрахована на максимальний напор 108.3 м. Пропускна спроможність цієї турбіни досягає $880 \text{ м}^3/\text{с}$ при розрахунковому напорі 86.5 м. Такими турбінами оснащена ГЕС Гранд Кулі 4 у США.

На рисунку 1.7 зображено гідроагрегат Нурекської ГЕС, скомпонований з гідрогенератором підвісного типу і з високонапорних радіально-осьовою гідротурбіною потужністю 310 МВт, з максимальним напором 275 м і з робочим колесом діаметром 4,75 м.

Поворотно-лопатеві турбіни набули значного поширення на гідроелектро-станціях з напорами до 60 м, а в окремих випадках – і до 80 м. Застосування їх на більш високі напори приводить до надмірного збільшення втулочного коефіцієнта та, у порівнянні з радіально-осьовими турбінами, – коефіцієнта кавітації. Загальна компоновочна схема вертикальних поворотно-лопатевих турбін аналогічна до схеми радіально-осьових, але конструкція деяких вузлів значно ускладнюється через необхідність повертання лопатей робочого колеса в процесі роботи. Значно ускладнюється і схема подвійного регулювання, яка пов'язує розворот лопатей робочого колеса з відкриттям напрямного апарата і з коливаннями напору. А всі ці ускладнення в свою чергу викликають збільшення експлуатаційних витрат.

Проте, при наявності певних умов, все згадане вище переважають такі достоїнства поворотно-лопатевих турбін, як досить високий коефіцієнт корисної дії в широкому діапазоні змін потужності та напору, і значно вища у порівнянні з радіально-осьовими турбінами швидкохідність.

На рисунку 1.8 показана одна з найбільш високонапорних поворотно-лопатевих турбін потужністю 79,5 МВт, яка має робоче колесо діаметром 4,1 м і розрахована на максимальний напор 68 м. Турбіна відрізняється досить не вигідними конструктивними пропорціями, особливо, відносним втулочним коефіцієнтом робочого колеса, який становить 0,6 і значно знижує пропускну спроможність турбіни. Такими турбінами оснащена Вілюйська ГЕС-1.

Пропелерні турбіни виникли, як осьові, в результаті трансформації радіально-осьових турбін при переміщенні їх в зону більш низьких напорів, що привело до деякого вирівнювання поверхні лопатей, зменшення їх довжини і кількості. При цьому також відпала необхідність у зовнішньому ободі робочого колеса турбіни. Саме ці турбіни завдяки винаходу В. Каплана надалі перетворилися на осьові поворотно-лопатеві. Компоновки цих двох типів турбін майже не відрізняються, але робоче

колесо пропелерної турбіни не має механізму і автоматики регулювання кута розвороту лопатей. Лопаті закріплюються болтами безпосередньо на втулці із можливістю деякого їх повороту і фіксування для отримання найбільшого коефіцієнта корисної дії (див.рис. 1.8).

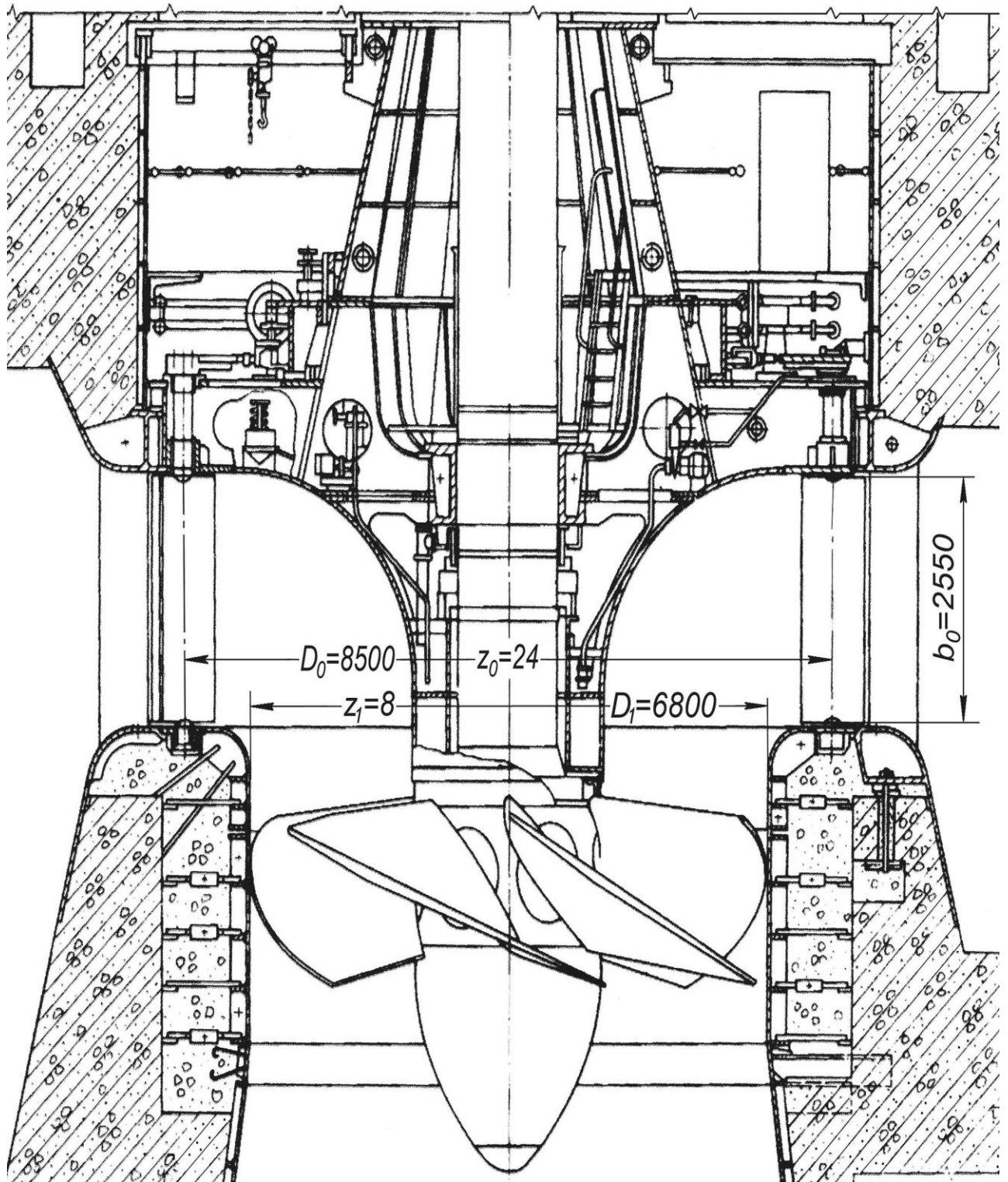


Рисунок 1.8, – Пропелерна турбіна ПР40 Дніпровської ГЕС-II

Така конструкція осьової турбіни надала їй значних переваг:

- спрощення конструкції і, як наслідок, спрощення технології її виготовлення;
- зниження металомісткості і вартості виготовлення турбіни у порівнянні з поворотно-лопатевою;
- зменшення експлуатаційних і ремонтних витрат, підвищення надійності і наближення цих якостей до радіально-осьової турбіни;
- відсутність проблеми транспортування;
- зменшення втулочного коефіцієнта робочого колеса і, як наслідок цього, збільшення пропускної властивості і питомої потужності турбіни;
- покращення екологічних властивостей.

Поряд із такими значними перевагами турбіни цього типу мають і досить вагомі недоліки:

- дуже вузька зона високого ККД в залежності від коливань потужності і напору;
- високий рівень вібрації і великі витрати води у режимі холостого ходу (до 45% від повних витрат при роботі із навантаженням).

Але з ростом потужності енергосистеми, в яку вливають свою потужність всі джерела електроенергії, і в умовах зарегульованості річок вказані вище недоліки пропелерних турбін поступово втратили свою вагомість, бо з'явилася можливість експлуатувати турбіни тільки при номінальній потужності і стабільному напорі. А це дало змогу використовувати найвищу, у порівнянні з іншими типами, швидкохідність пропелерної турбіни.

Наприклад, при розширенні Дніпровської ГЕС (будівництво ДніпроГЕС-II) на перших двох агрегатах були встановлені поворотно-лопатеві турбіни з діаметром робочого колеса 6,8 м і втулочним коефіцієнтом 0,38, розрахунковою потужністю 107 МВт кожна. Шість наступних агрегатів оснащені пропелерними турбінами із такими ж діаметром робочого колеса і габаритами, але із втулочним коефіцієнтом 0,3.

І вже розрахункова потужність кожної такої турбіни склала 115 МВт (на 8% більше, ніж поворотно-лопатевої).

Діагональні поворотно-лопатеві турбіни, запропоновані професором В. С. Квятковським, за багатьма ознаками конструктивної схеми подібні до осьових поворотно-лопатевих турбін з тією лише різницею, що діагональні турбіни використовуються як з циліндричними напрямними апаратами, так і з конусними.

Але істотною різницею між цими двома типами є те, що осі повороту лопатей діагональної турбіни розташовані під деяким непрямим кутом до осі обертання турбіни, і водяний потік надходить у міжлопатевий простір непаралельно до осі обертання турбіни (діагонально). Завдяки цьому втулка робочого колеса опинилася за межами потоку, і тому відпала сама по собі проблема втулочного коефіцієнта. Виникла можливість значно збільшити розмір втулки робочого колеса, встановити на ній більше лопатей і застосовувати турбіну на напори значно більші, ніж напори, на які застосовуються осьові турбіни. Отже, діагональна поворотно-лопатева турбіна вдало заповнила деякий пробіл між зонами застосування осьових і радіально-осьових турбін.

На рисунку 1.9 зображена діагональна турбіна потужністю 90 МВт з умовним діаметром робочого колеса 4.35 м, розрахована на ефективну роботу при коливаннях напору від 58,5 до 66,0 м. Турбіна виконана за класичною конструктивною схемою з конічним напрямним апаратом. Основні її складові вузли:

- 1 – спіральна камера;
- 2 – кільцевий статор конічний;
- 3 – напрямний апарат конічний;
- 4 – робоче колесо;
- 5 – відсмоктувальна труба;
- 6 – підшипник;
- 7 – вал;

8 – кришка турбіни.

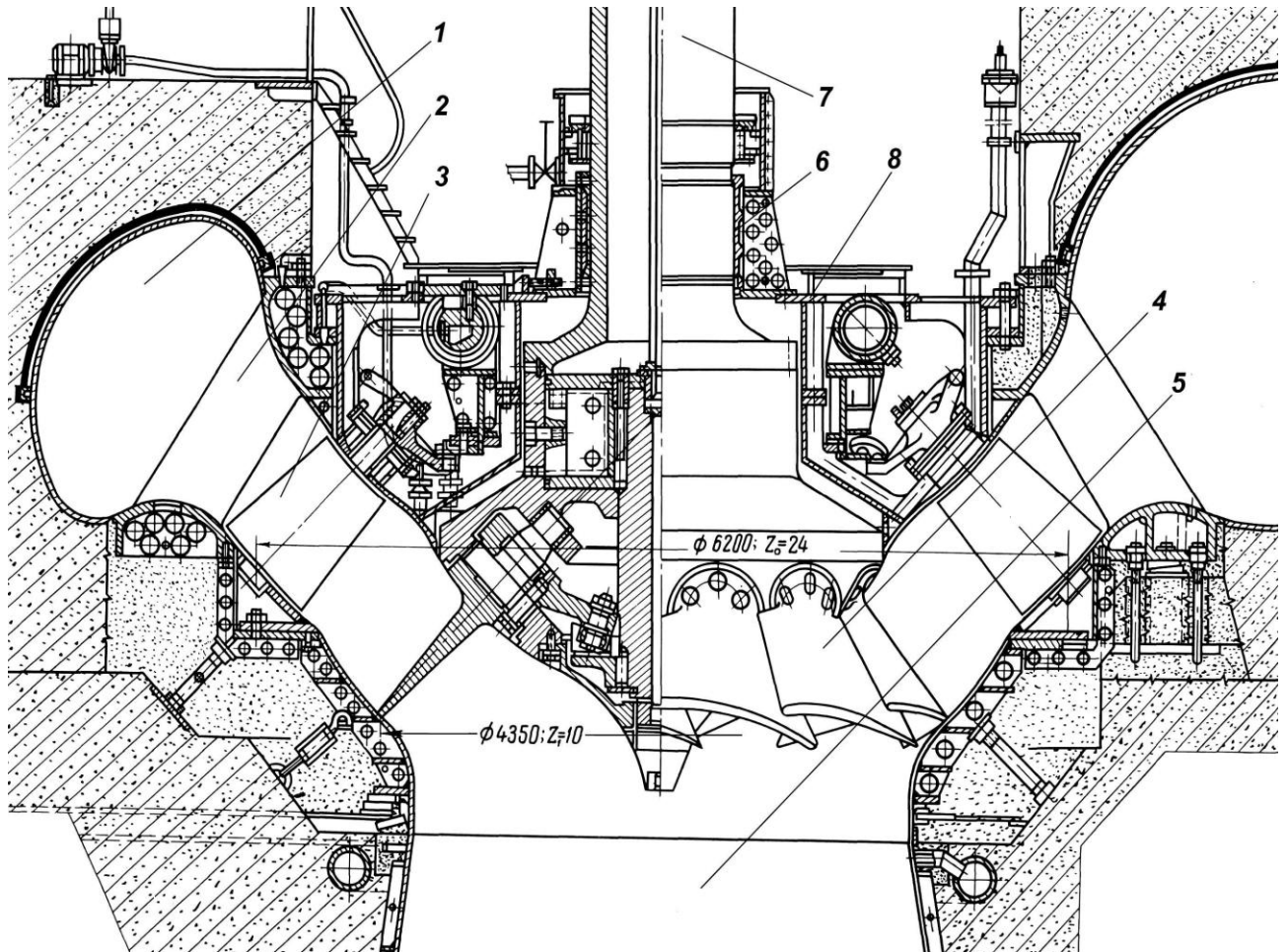


Рисунок 1.9, – Поворотно-лопатева
діагональна турбіна Бухтармінської ГЕС

Характеристика діагональної турбіни буде не повною, якщо не згадати про те, що її конструкція складніша від конструкції інших турбін і потребує більш високих технологій при виготовленні. Складніша, дещо, ця турбіна і в експлуатації, але ці ускладнення компенсуються більш високими енергетичними параметрами.

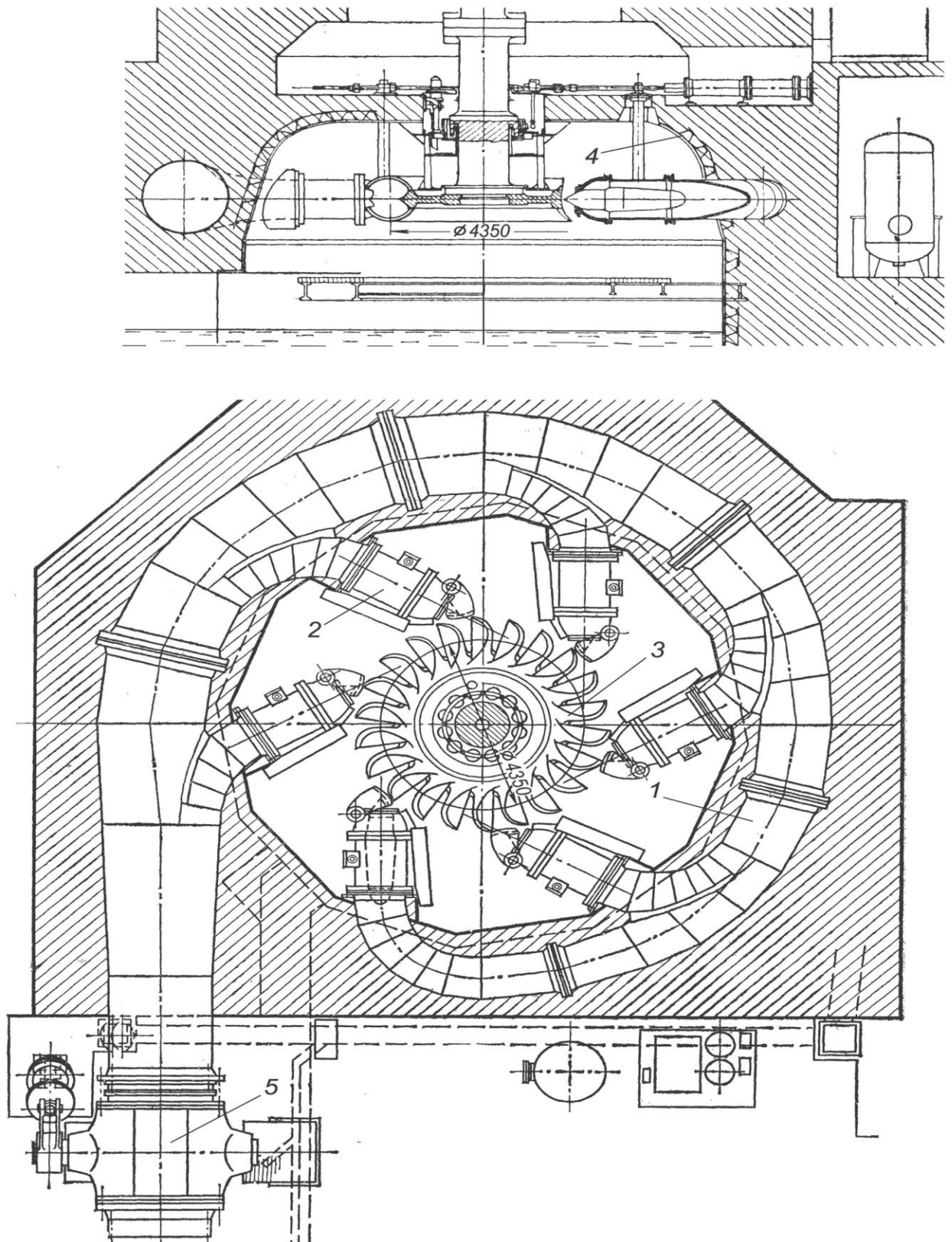
Ковшові турбіни – це єдиний тип з активних турбін, що знайшли практичне застосування в умовах сучасності. Ковшові турбіни використовуються на напори від 400...500 м і вище. Це також єдина у використанні турбіна, яка не може працювати, як зворотна, тобто не може застосовуватись на гідроакумуючих електростанціях, як насос-турбіна. Досить значною перевагою цього типу турбін є те, що вони розвивають

відносно високі швидкості обертання, а це, в свою чергу, дає можливість зменшити габарити і вагу гідрогенератора. Швидкохідність ковшових турбін залежить від кількості сопел (їх може бути не більше 6), але у порівнянні з іншими типами турбін вона сама нижча.

Конструктивна схема цих турбін буває як вертикальною, так і горизонтальною, а в залежності від кількості сопел вони бувають більш або менш швидкохідними. В умовах нашої країни ковшові турбіни досі не знайшли значного розповсюдження, але у перспективі, при використанні високих напорів річок, наприклад, у Карпатах, вони, безсумнівно, знайдуть широке застосування.

На рисунку 1.10 представлена ковшова шестисоплова вертикальна турбіна, що встановлена на ГЕС Нью Колгейт, яка розвиває потужність 169 МВт при розрахунковому напорі 397 м, діаметрі робочого колеса 4,35 м і швидкості обертання 180 об/хв.

Найбільш значні вітчизняні ковшові шестисоплові вертикальні турбіни, що встановлені на Татівській ГЕС, мають потужність 54,6 МВт при розрахунковому напорі 569 м, діаметрі робочого колеса 1,86 м і швидкості обертання 500 об/хв. А найбільш високонапорна в світі ковшова турбіна потужністю 22,8 МВт і з напором 1767 м встановлена у Австрійських Альпах на гідроелектростанції Рейсел. Але для ковшових турбін і ці параметри – не межа.



1 – колектор; 2 – напрямний апарат; 3 – робоче колесо;
4 – кожух; 5 – шаровий затвор.

Рисунок 1.10, – Ковшова шестисоплова турбіна ГЕС Нью Колгейт

1.5. Типи малих ГЕС та класифікація гідротурбін

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

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

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

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

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

За своїм призначенням, режимом роботи і розташуванню в загальній схемі електропостачання споживачів, малі ГЕС поділяються на системні та автономні. Однією з основних ознак класифікації гідроелектростанцій

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

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

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

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

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

Крім перерахованих ГЕС необхідно виділити ще одну категорію – мобільні ГЕС. Проектування і будівництво малих і міні-ГЕС здійснюється за тими самими правилами, що і великих ГЕС. Мікро-ГЕС потужністю кілька

десятків кіловат відрізняються схемами, складом і компонованням гідротехнічних споруд. Ця категорія ГЕС включає в себе безгреблеві, рукавні, вільно-потоківі, переносні і інші типи ГЕС компактного і блочного виконання [5].

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

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

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

- греблеві, використовують для створення напору греблі або будівлі ГЕС. В залежності від розташування ГЕС розрізняють пригребельні і руслові гідроелектростанції;
- дериваційні, які використовують потенційну енергію тиску води в трубопроводі або каналі;
- вільнопоточні, в яких встановлюється безпосередньо гідротурбіна в річковий потік без будь-яких гідротехнічних споруд і працює за рахунок його кінетичної енергії.

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

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

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

- низьконапірні $H < 20$ м;
- середньонапірні $H = 20 - 100$ м;

- високонапірні $H > 100$ м.

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

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

Якщо територія розташування досліджуваного водяного потоку є замкнутою – відсутні джерела зміни його обсягу (впадають річки, струмки, підводні ключі або розгалуження, водозабори тощо), витрату річки можна вважати постійною і пов'язаною з її швидкістю, згідно із законом Бернуллі, наступним співвідношенням

$$Q = S \cdot V,$$

де V – швидкість водяного потоку, м/с;

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

де n – глибини річки, м;

$Шр$ – ширина річки, м.

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

—

де i – номер перерізу;

j – номер вимірювання в поточному перерізі;

m – кількість інтервалів.

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

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

де ρ – густина води, кг/м^3 ;

g – прискорення вільного падіння, м/с^2 ;

η – ККД ГЕС.

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

$$P = 0.5 \cdot \rho \cdot S \cdot V \cdot \eta$$

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

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

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

— —

На виході з робочого колеса [9]

— —

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

————— —————

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

—————

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

У практиці прийнято гідротурбіни поділяти на класи, системи, типи і серії.

Існує два класи гідротурбін: активні й реактивні.

Якщо в гідротурбінах використовується тільки кінетична енергія потоку, то вони називаються активними. У таких турбінах $z_1 = z_2$, $p_1 = p_2$, тобто вода надходить на робоче колесо без надлишкового тиску. Для досягнення високого ККД у них майже весь тиск перетворюється на швидкість.

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

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

Потужність турбіни може бути виражена [9]

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

де η – ККД турбіни.

Клас реактивних турбін об'єднує наступні системи: осьові-пропелерні і поворотно-лопатеві, діагональні, поворотно-лопатеві і радіально-осьові турбіни. До класу активних турбін входять системи ковшових, похило-струменевих турбін і турбін подвійної дії. Останні дві системи не мають такого широкого поширення, як ковшові.

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

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

До малих турбін належать ті, у яких діаметр робочого колеса $D \leq 1,2$ м при низьких напорах і $D \leq 0,5$ м при високих, а потужність становить не більше 1000 кВт. До середніх – ті турбіни, у яких $1,2 < D \leq 2,5$ м при низьких напорах і $0,5$

D 1,6 м при високих, а потужність $1000 < N < 15000$ кВт. До великих турбін відносяться ті, які мають D і N більше, ніж у середніх [9].

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

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

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

Таблиця 1.5 – Застосування гідротурбін у відповідності з напорами

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

1.6. Характеристики діючих малих ГЕС

В Україні на даний час залишилося функціонуючих малих ГЕС тільки 102. Загалом найбільше з них мають потужність менше 10 МВт та подібні

характеристики. Для прикладу можна навести декілька типових функціонуючих на даний час малих ГЕС [10]:

1. Ладизинська ГЕС (див. рис. 1.11) – мала ГЕС на р. Південний Буг у місті Ладизин (Вінницької області). Входить до складу ПАТ «Західенерго». Дана мала ГЕС, працює на напорі Ладизинського водосховища, що використовується як ставок – охолоджувач Ладизинської ГЕС. За радянських часів (до пуску в експлуатацію Олександрівської ГЕС) – найпотужніша на Південному Бузі. Річне виробництво електроенергії – 36,2 млн кВт·год. Різновид електростанції – пригребельна. Електрична потужність – 7,5 МВт.



Рисунок 1.11, – Ладизинська ГЕС

2. Касперівська ГЕС (див. рис.1.12) – найпотужніша гідроелектростанція в Тернопільській області. Розташована на річці Серет біля села Касперівці Заліщицького району. Річне виробництво електроенергії > 13 млн кВт·год. Різновид електростанції: гребле-руслова. Електрична потужність – 7,5 МВт.



Рисунок 1.12, – Касперовська ГЕС

3. Теремля-Рікська ГЕС (див. рис. 1.13) – гідроелектростанція на річці Теремля у села Противень (Нижньо-Бистровська сільрада) в Хустському районі Закарпаття.

Річне виробництво електроенергії – 133 млн кВт/год. Різновид електростанції – гребле-дериваційна. Розрахунковий напір – 200 м. Електрична потужність – 27 МВт. Тип турбін – радіально-осьові.



Рисунок 1.13, - Теремля-Рікська ГЕС

1.7. Характеристики гідроенергії

Гідроенергія – це енергія, яка зосереджена в потоках водних мас у руслових водоводах та припливних рухів. Гідроенергетика – галузь відновлюваної енергетики, що вивчає використання потенціальної та

кінетичної енергії води шляхом перетворення її в електричну. Таке перетворення відбувається на гідроелектростанціях.

Гідроелектрика – електрика, отримана за допомогою води.

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

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

1.8. Методи оцінки гідропотенціалу малих річок

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

Постає необхідність визначення величини ГП регіону та його основних складових.

Оцінка ГП річок регіону дослідження виконана згідно рекомендацій Комітету з електроенергії Європейської економічної комісії ООН, відповідно до яких у структурі ГП виділяють [13]:

- теоретичний валовий (брутто) гідроенергетичний потенціал (або загальні гідроенергетичні ресурси).
- експлуатаційний чистий (нетто) гідроенергетичний потенціал, який включає:
 - а) технічний (технічні гідроенергоресурси) – частину теоретичного валового річкового потенціалу, яка технічно може бути використана або вже використовується;
 - б) економічний (економічні гідроенергоресурси) – частину технічного потенціалу, використання якої в існуючих реальних умовах економічно виправдане.

Теоретичний валовий гідроенергетичний потенціал:

Для розрахунку величини валових теоретичних гідроенергоресурсів використані два методи:

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

За методом лінійного (поділянкового) обліку потенційна потужність річки визначається додаванням таких потужностей розрахункових ділянок, які виділяються у межах найвигідніших для гідроенергетичного освоєння створів. Потужність ділянки річки визначається за формулою [14]

де N – потужність, кВт;

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

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

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

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

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

Встановлені за картою значення модуля стоку (л/с з 1 км²) у центрах басейнів невивчених в гідрологічному відношенні річок, перераховані у витрати (м³/с) в їх гирлах [15], стали основою для розрахунку теоретичної потужності річок.

2. ВАРІАНТИ ПОБУДОВИ ТА РОЗМІЩЕННЯ МІНІ ГЕС

2.1. Вибір місця для розташування міні ГЕС

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

Таблиця 2.1 – Фактори, які враховуються моделлю і їх зв'язок з критеріями

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

Після аналізу даних критеріїв, а також зібраних даних по гідрології річки Суха Московка було вирішено розташувати міні ГЕС біля селища Зелений Яр. Згідно вертикального профілю річки на цій ділянці спостерігається відповідний для будівництва перепад висоти, який дозволить підвищити напір нашої ГЕС.

Дане розташування допоможе забезпечити селище цілорічним стабільним запасом електроенергії. Також це вирішить цілий комплекс економічних, екологічних і соціальних проблем.

2.2. Визначення гідропотенціалу р. Суха Московка на вибраній ділянці

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

Чисельне значення роботи, яка здійснюється потоком на кожній ділянці, можна визначити наступним чином. Нехай є деяка ділянка річки АВ довжиною L (рисунок 2.1) з постійним ухилом $\sin(\alpha)$, площею поперечного перерізу S і середньою швидкістю v . За деякий проміжок часу t об'єм води на ділянці переміститься в напрямку руху на відстань $L = v \cdot t$, а точка прикладання сили тяжіння цього об'єму $F = m \cdot g = v \cdot L \cdot \rho \cdot g$ зміститься в вертикальному напрямку на висоту $L \cdot \sin(\alpha) = v \cdot \sin(\alpha) \cdot t$ [23].

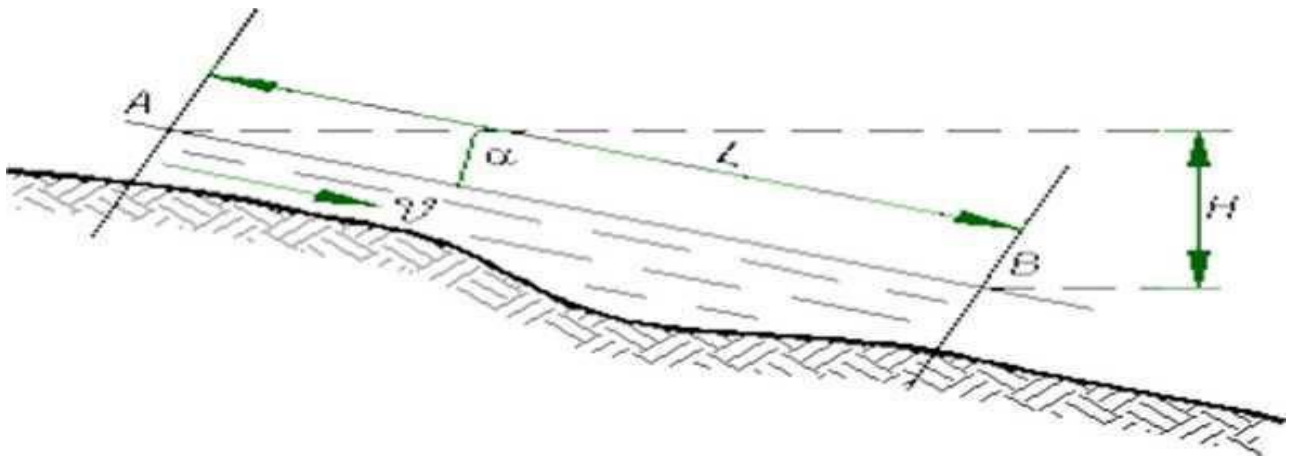


Рисунок 2.1, – До розрахунку потужності водного потоку на ділянці річки

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

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

Потужність:

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

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

Отже, беручи $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$, $g = 9,81 \text{ м/с}$, середній багаторічний стік

$$Q = 3,7 \text{ м}^3/\text{с} [15] \text{ і } H = 5 \text{ м, отримуємо потужність } P, \text{ кВт [23]:}$$

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

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

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

де η – ККД гідротурбіни, який можна взяти в межах 70-90%. Отже, теоретична потужність міні ГЕС на даній ділянці:

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

2.3. Геодезичні дослідження створу міні ГЕС

Дослідження не були детальними, оскільки перепад рівнів на ній знаходиться в межах $2 \div 2,3 \text{ м}$, і потужність потоку в її створі складає приблизно 130 кВт. В разі необхідності ці дослідження можуть бути більш деталізовані.

Основна увага була приділена дослідженню параметрів створу низової греблі. Вимірювання висотних позначок виконувались відносно позначки поверхні основи греблі, яка прийнята за позначку $\blacktriangledown 0.00$. Перепад рівнів на греблі на момент вимірювань, тобто статичний напір $H_{\text{ст}} = 3.75 \text{ м}$.

Обслідування акваторії технологічного басейна показали, що в разі необхідності його рівень можливо підвищити на $0.3 \div 0.4 \text{ м}$ без порушення

режиму водопостачання, а це дасть певну прибавку потужності потоку в створі. Особливу увагу необхідно звернути також і на характер русла річки нижче низової греблі. За благоприємної характеристики геологічного складу дна русла канал відводу води від турбіни можна заглибити на $0.5 \div 1.0$ м, що теж дасть прибавку потужності. Завдяки цим двом заходам статичний напір у створі низової греблі може бути доведений до $4.5 \div 5.0$ м.

При визначенні глибини відвідного каналу необхідно враховувати те, що відсмоктувальна труба реактивної гідротурбіни повинна виходити під рівень нижнього б'єфа. Оскільки вона являє собою дифузор, то чим більша її довжина, тим більше використання в ній енергії потоку, що вийшов з робочого колеса.

2.4. Вибір гідроенергетичного обладнання

Однією з відомих поставників гідротурбін для малих ГЕС є компанія SINK Hydro-Energy. При цьому для низьких напорів пропонуються два типи турбін: проточна активного класу горизонтальна турбіна Банкі (див. рис. 2.2) з особливостями конструктивної розробки Ossberger і вертикальна реактивного класу

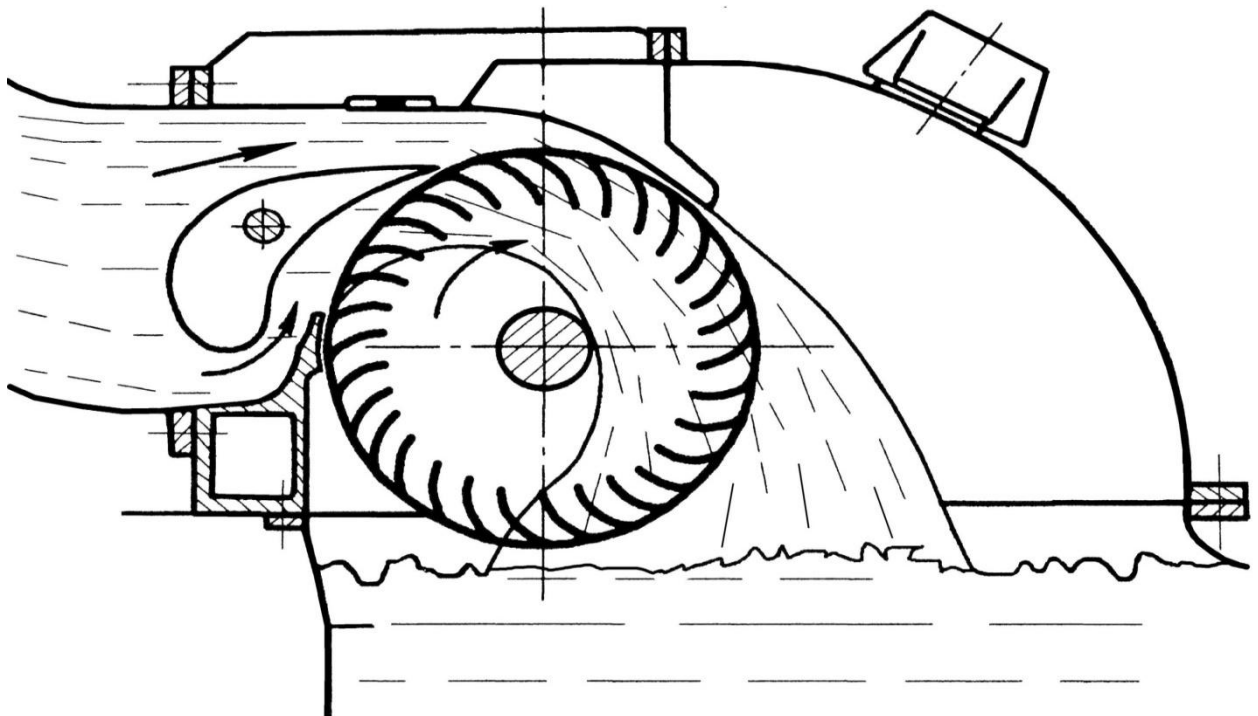


Рисунок 2.2, – Конструктивна схема турбіни Банкі

Ця турбіна розрахована на широкий діапазон параметрів. Але слід зважити на те, що чим ширше діапазон застосування турбіни, тим вона менш ефективна.

Для розрахунку варіантів застосування турбіни прийняті такі оптимальні параметри створу низової греблі:

- статичний напір $H_{ст} = 4.5$ м;
- витрата води $Q = 5.9$ м³/с .

Потужність потоку за таких параметрів створу складає:

$$N_{пот} = 9.81 \cdot Q \cdot H = 9.81 \cdot 5.9 \cdot 4.5 = 260 \text{ кВт.}$$

2.5. Варіант міні ГЕС із турбіною Банкі

Турбіна Банкі з конструктивними доробками Ossberger належить до активного класу – вона вільнострумінна. Тобто на робоче колесо, на його лопаті діє вільний струмінь при атмосферному тиску. У такої турбіни одночасно працює лише третина лопатей робочого колеса, а на решту вода не потрапляє.

Другою негативною особливістю турбіни Банкі є те, що напір діє на неї лише до нижньої кромки напрямного апарата, а робоче колесо при цьому розташовується вище поверхні нижнього б'єфа. Тобто розрахунковий напір H частково втрачається, оскільки він менший від статичного $H_{ст}$ на висоту, та дещо більше, ніж половина діаметра робочого колеса, тому для установки турбіни в низовій греблі необхідне заглиблення в її основу на 2.3 м.

Потужність турбіни, яку можна отримати, визначається за оптимальних параметрів потоку:

- розрахунковий напір $H = 3.46$ м;
- витрата через турбіну $Q = 5.9$ м³/с;
- коефіцієнт корисної дії турбіни $\eta = 0.87$ (максимально можливий за даними проспекту компанії SINK, що додається).

Отже потужність турбіни:

$$N = 9.8 \cdot Q \cdot H \cdot \eta = 9.81 \cdot 5.9 \cdot 3.46 \cdot 0.87 = 175 \text{ кВт};$$

Активна потужність генератора визначається за умов, що його коефіцієнт корисної дії $\eta_r = 0.93$, а коефіцієнт корисної дії редукторного мультиплікатора, застосованого на гідроагрегаті, $\eta_m = 0.96$

$$N_r = N \cdot \eta_r \cdot \eta_m = 175 \cdot 0.93 \cdot 0.96 = 156 \text{ кВт}.$$

2.6. Варіант міні ГЕС із турбіною Каплана

Реактивна вертикальна поворотно-лопатєва гідротурбіна, яку пропонує компанія SINK, повністю використовує статичний напір, як розрахунковий H . Попередньо вона розрахована на напір 3 м, та на широкий діапазон витрати – від 4.33 до 20 м³/с. Через це, як витікає з характеристики турбіни, при оптимальній витраті проектованої міні ГЕС $Q = 5.9 \text{ м}^3/\text{с}$ її ККД $\eta = 0.83$.

Отже потужність турбіни:

$$N = 9.8 \cdot Q \cdot H \cdot \eta = 9.81 \cdot 5.9 \cdot 4.5 \cdot 0.83 = 215 \text{ кВт};$$

Активна потужність генератора визначається за умов, що його коефіцієнт корисної дії $\eta_r = 0.93$, а коефіцієнт корисної дії плоскоремінного мультиплікатора, застосованого на гідроагрегаті, $\eta_m = 0.9$

$$N_r = N \cdot \eta_r \cdot \eta_m = 215 \cdot 0.93 \cdot 0.9 = 180 \text{ кВт}.$$

Вирішуючи питання вибору варіанта турбіни, необхідно врахувати те, що наявність у складі вертикальної осьової турбіни об'ємної турбінної камери і вигнутої відсмоктувальної труби турбіни вимагає виконання значного об'єму бетонних робіт і заглиблення в основу греблі на 3.63 м.

2.7.Варіант міні ГЕС з роторно-лопатевою гідротурбіною Самойленка

Розглянуті вище варіанти 2.5 і 2.6 мають одну загальну вагому перевагу – постачальником пропонуються обладнання у готовому вигляді «під ключ». Тобто проблема виготовлення основного гідроенергетичного обладнання відсутня. Але з іншого боку, значним їх загальним недоліком є те, що за конкретних умов річки Суха Московка гідроагрегати з такими турбінами використовують енергію потоку не більш, як на $k = N_r / N_{\text{пот}} = 180/260 = 0.70 = 70\%$.

Роторно-лопатева турбіна, теж відноситься до реактивного класу, але вона принципово відрізняється від існуючих реактивних турбін характером і складом проточного тракту. Потік води, проходячи через турбіну, на протязі всього шляху зберігає постійний перетин і швидкість і зазнає лише одну деформацію – рух по гвинтовій траєкторії в турбінній камері, а це обумовлює більш високий коефіцієнт корисної дії, ніж у існуючих реактивних турбін.

У складі цієї турбіни, на відміну від турбіни Каплана, відсутні такі громіздкі вузли, як складний багатолопатковий напрямний апарат і об'ємні спіральна камера та відсмоктувальна труба. Габарити роторно-лопатевої турбіни фактично дорівнюють діаметру робочого колеса, тому вона потребує значно меншого будівельного простору, ніж турбіни за варіантами 2.1. і 2.2. Важливим параметром є коефіцієнт корисної дії турбіни. За попередніми розрахунками для даної турбіни при діаметрі робочого колеса $D_1 = 2.2$ м $\eta = 0.925$. Отже при оптимальних параметрах вибраного створу на річці потужність турбіни:

$$N = 9.8 \cdot Q \cdot H \cdot \eta = 9.81 \cdot 5.9 \cdot 4.5 \cdot 0.925 = 241 \text{ кВт};$$

Активна потужність генератора визначається за умов, що його коефіцієнт корисної дії $\eta_r = 0.93$, а коефіцієнт корисної дії планетарного мультиплікатора, який може бути застосований на гідроагрегаті, $\eta_m = 0.98$

$$N_r = N \cdot \eta_r \cdot \eta_m = 241 \cdot 0.93 \cdot 0.98 = 220 \text{ кВт.}$$

2.8. Вибір турбіни

Аналіз трьох розглянутих вище варіантів застосування гідротурбіни для міні ГЕС на річці Суха Московка показує, що:

– за коефіцієнтом використання потужності потоку в створі низової технологічної греблі Понінківського картонно-паперового комбінату найбільш прийнятним є гідроагрегат з роторно-лопатевою гідротурбіною Самойленка:

$$k = N_r / N_{\text{пот}} = 220/260 = 0.85 = 85 \%;$$

– в разі застосування роторно-лопатевої гідротурбіни необхідний об'єм будівельних робіт відносно найменший;

– оскільки роторно-лопатева турбіна конструктивно більш проста, ніж інші реактивні турбіни, її вартість порівняно буде нижча.

Роторно-лопатева гідротурбіна – це абсолютно нова гідравлічна машина, параметри якої не підтверджені заводськими лабораторними дослідженнями, як для існуючих турбін. Надалі при розробці проекту міні ГЕС параметри натурної турбіни необхідно розраховувати із використанням параметрів моделі за лабораторними дослідженнями.

2.9. Вибір типу гідротурбіни

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

Поворотно-лопатева турбіна, або турбіна Каплана – реактивна турбіна, лопаті якої можуть повертатися навколо своєї осі одночасно, за рахунок чого регулюється її потужність. Також потужність може регулюватися за допомогою лопаток направляючого апарату. Лопаті гідротурбіни можуть бути розташовані як перпендикулярно її осі, так і під

кутом. Дана гідротурбіна використовується при невеликих напорах та витратах води [24].

Радіально-осьова турбіна (турбіна Френсіса) – реактивна пропелерна гідротурбіна, у робочому колесі якої потік води має спочатку радіальний (до осі), а потім осьовий напрямок. Вода в напрямний апарат радіально-осьової турбіни надходить зі спіральної камери гідротурбіни, відсмоктуюча труба якої зазвичай вигнута. Основною перевагою турбін даного типу є найвищий оптимальний ККД з усіх існуючих типів, але для роботи необхідні досить великий напір та витрата води [25].

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

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

2.10. Нормативно правова база при будівництві міні ГЕС

Нормативно-правова база у сфері отримання дозволу на будівництво міні ГЕС представлена в таблиці 2.2 [29].

Таблиця 2.2 – Нормативно-правова база у сфері отримання дозволу на будівництво міні ГЕС

1	2
Закони України	«Про основи містобудування» «Про будівельні норми» «Про регулювання містобудівної діяльності» «Про дозвільну систему у сфері господарської діяльності» «Про Перелік документів дозвільного характеру у сфері господарської діяльності»
Постанови КМУ	«Питання прийняття в експлуатацію закінчених будівництвом об'єктів» від 13.04.2011 № 461 «Деякі питання виконання підготовчих і будівельних робіт» від 13.04.2011 № 466 «Про заходи щодо упорядкування видачі документів дозвільного характеру у сфері господарської діяльності» від 21 травня 2009 року № 526
Накази Міністерства регіонального розвитку, будівництва та ЖКХ України	«Про затвердження Порядку розроблення проектної документації на будівництво об'єктів» від 16.05.2011 № 45 «Про затвердження Порядку надання містобудівних умов та обмежень забудови земельної ділянки, їх склад та зміст» від 07.07.2011 р. № 109

Продовження таблиці 2.2

1	2
Нормативні акти технічного характеру	ДБН А.2.2-3-2004 «Склад, порядок розроблення, погодження та затвердження проектної документації для будівництва» ДБН А.2.2-1-2003 «Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє природне середовище (ОВНС) при проектуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд ДБН А.2.2-3-2004 «Склад, порядок розроблення, погодження та затвердження проектної документації для будівництва; СНІП 2.06.01-86 «Гідротехнічні споруди. Основні положення проектування», затверджений Державним будівельним комітетом від 1987 року
Судова практика	Постанова Пленуму Вищого господарського суду України від 17.05.2011 № 6 «Про деякі питання практики розгляду справ у спорах, що виникають із земельних відносин»

3. КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

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

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

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

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

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

3.2. Моделювання руху рідини в робочому елементі поворотно-лопатевої турбіни

За допомогою програмного забезпечення SolidWorks було побудовано модель робочого колеса гідротурбіни Каплана (рисунок 3.1). Для

проведення експериментів зі швидкістю руху води та розподілу тиску на лопатках гідротурбіни були задані наступні граничні умови (рисунок 3.2):

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

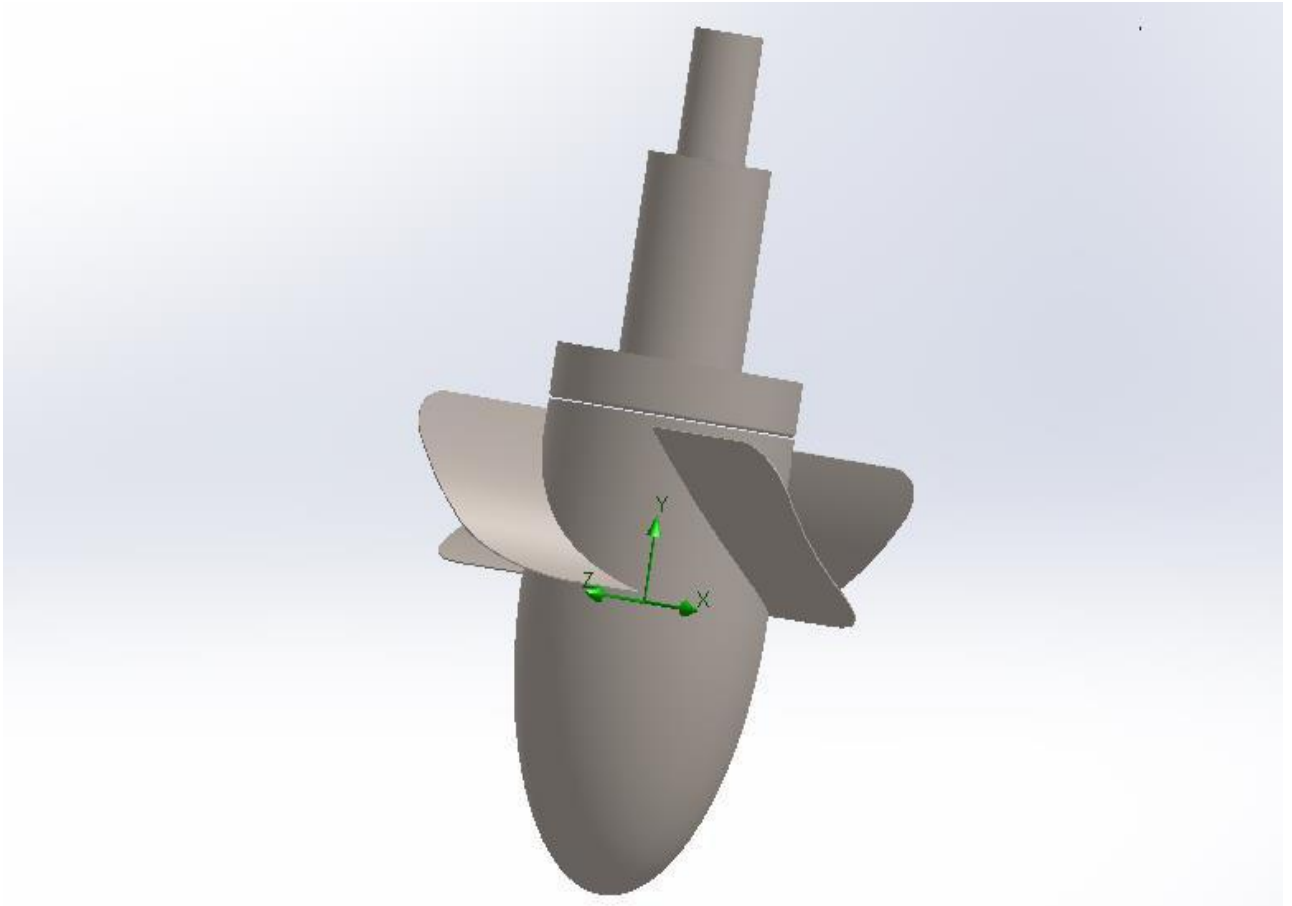


Рисунок 3.1, – Загальний вигляд робочого елемента турбіни Каплана у програмному середовищі SolidWorks

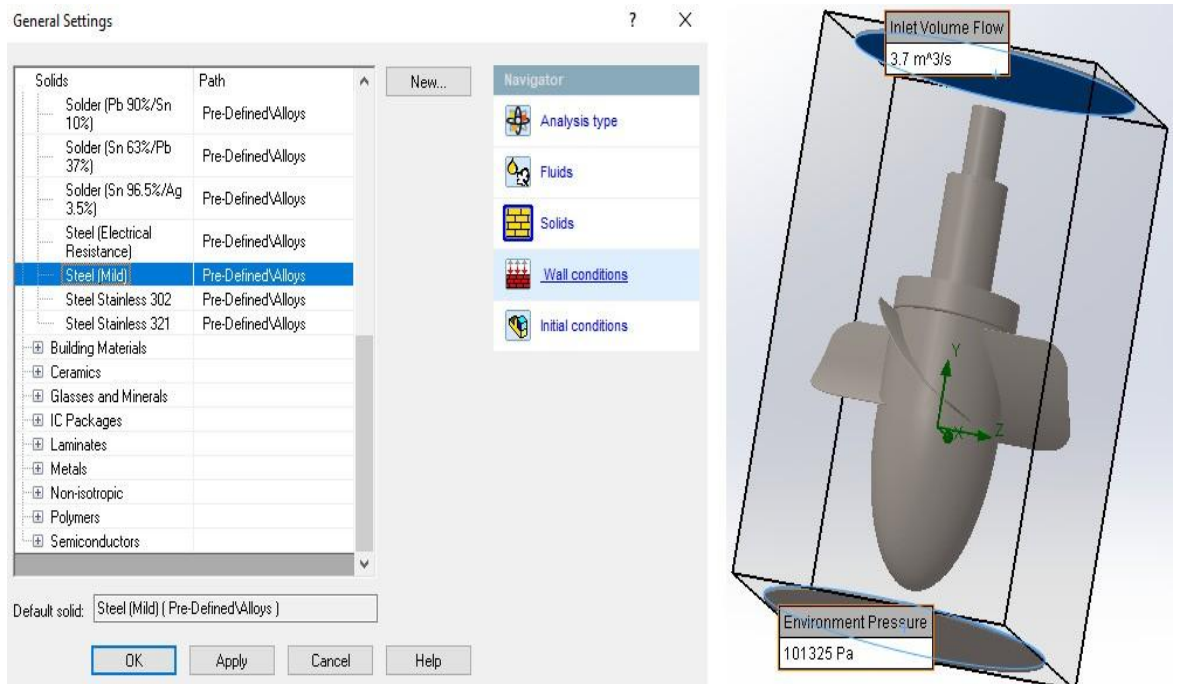


Рисунок 3.2, – Матеріал та граничні умови для розрахунку

Результати моделювання представлені на рисунку 3.3.

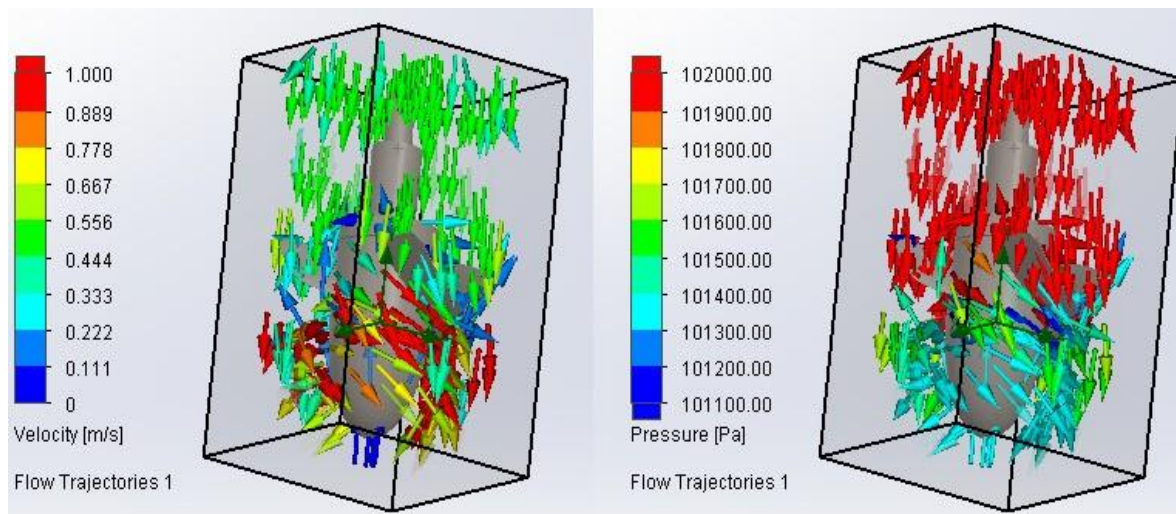


Рисунок 3.3, – Розподіл швидкості та тиску у робочому елементі гідротурбіни Каплана

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

Як видно з рисунку 3.3 потік води проходячи через турбіну ковзає по лопатям робочого колеса, в результаті цього можна побачити збільшення швидкості потоку до 1 м/с. Частина енергії турбіна отримує від імпульсної сили, тому у процесі проходження води через лопаті робочого колеса її кінетична енергія і тиск знижуються до 101,3 кПа.

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

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

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

- матеріал корпусу гідротурбіни: нержавіюча сталь;
- об'єм потоку на вході: 3,7 м³/с;
- тиск навколишнього середовища: 101325 Па;
- інтервал розподілу тиску: 101,5 кПа – 103 кПа;
- інтервал розподілу швидкості: 0 м/с – 1 м/с.

Результати моделювання представлені на рисунках 3.4.– 3.10.

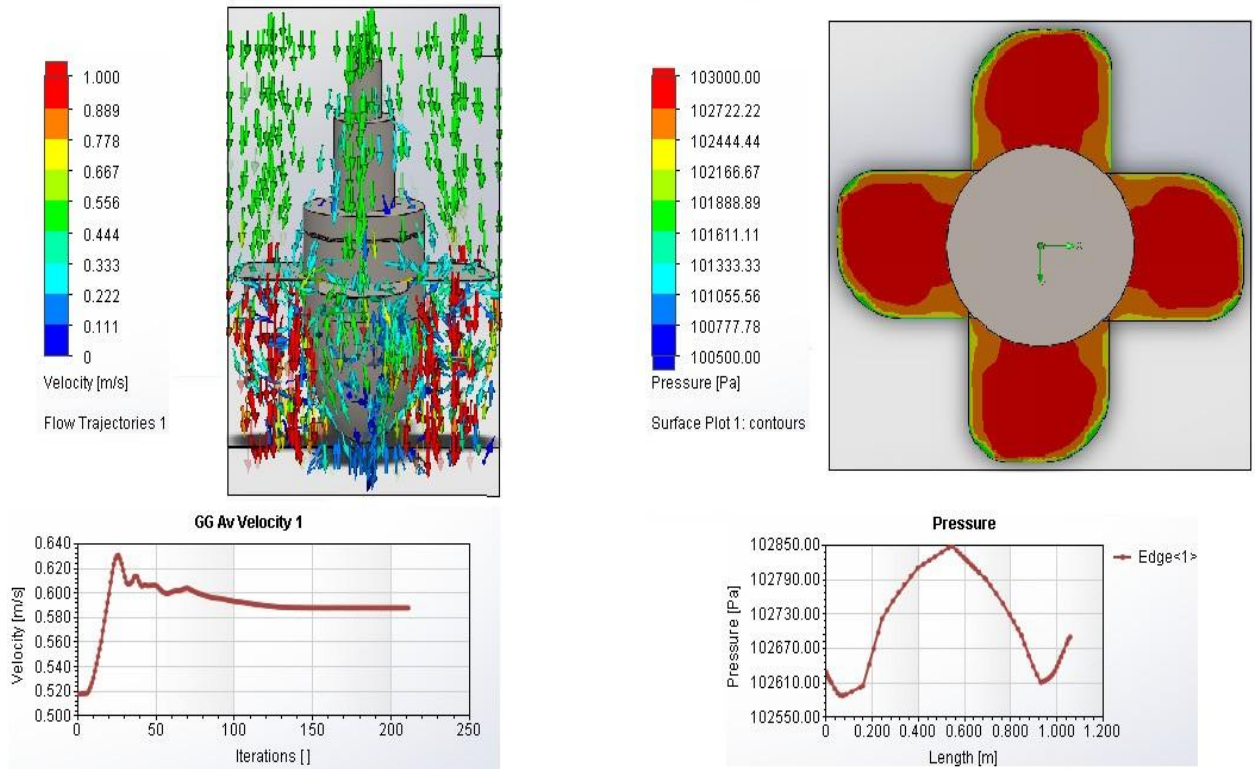


Рисунок 3.4, – Розподіл швидкості та тиску на лопаті при їх положенні 0°

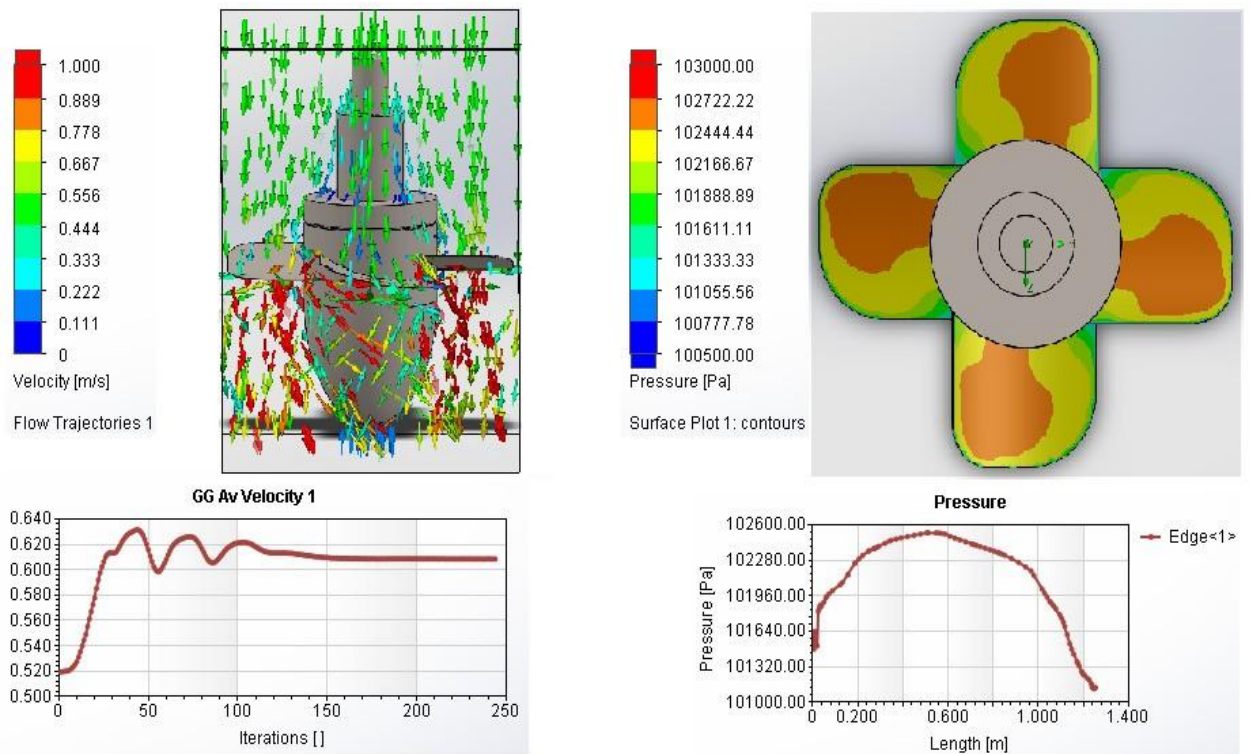


Рисунок 3.5, – Розподіл швидкості та тиску на лопаті при їх положенні 15°

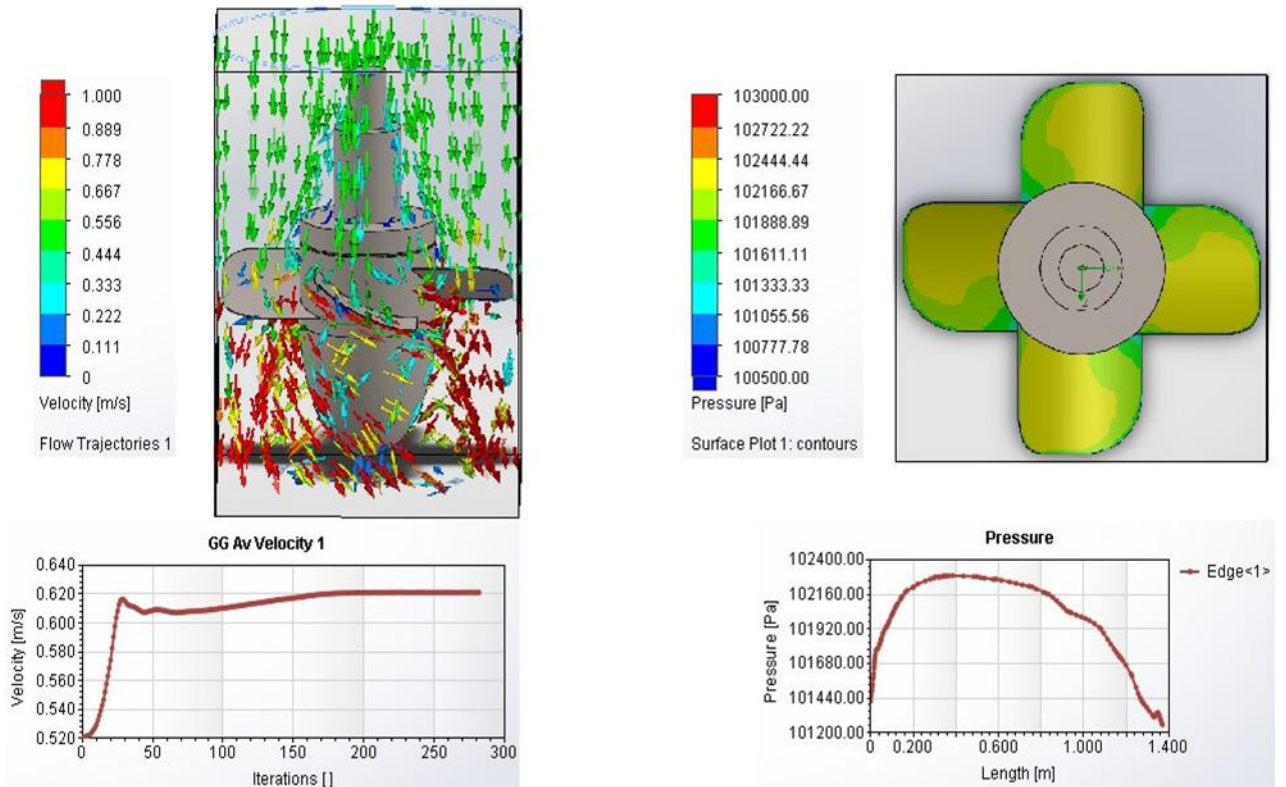


Рисунок 3.6, – Розподіл швидкості та тиску на лопаті при їх положенні 30°

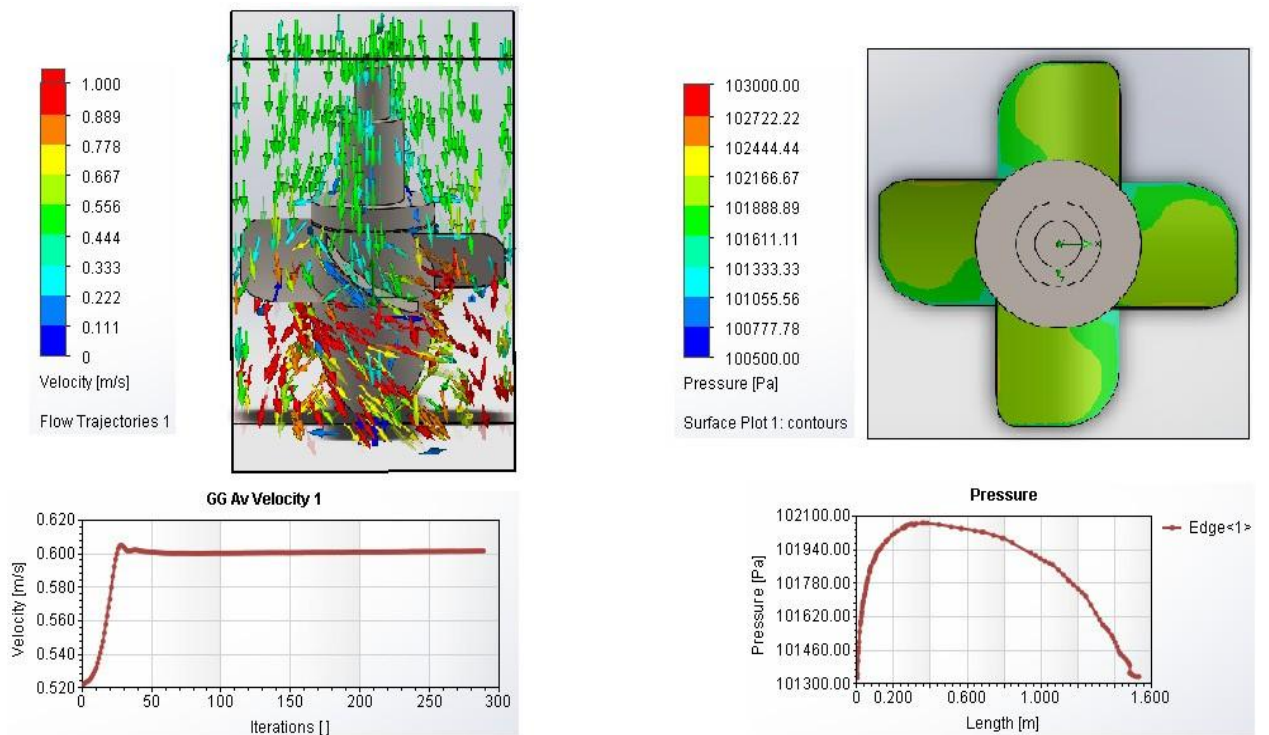


Рисунок 3.7, – Розподіл швидкості та тиску на лопаті при їх положенні 45°

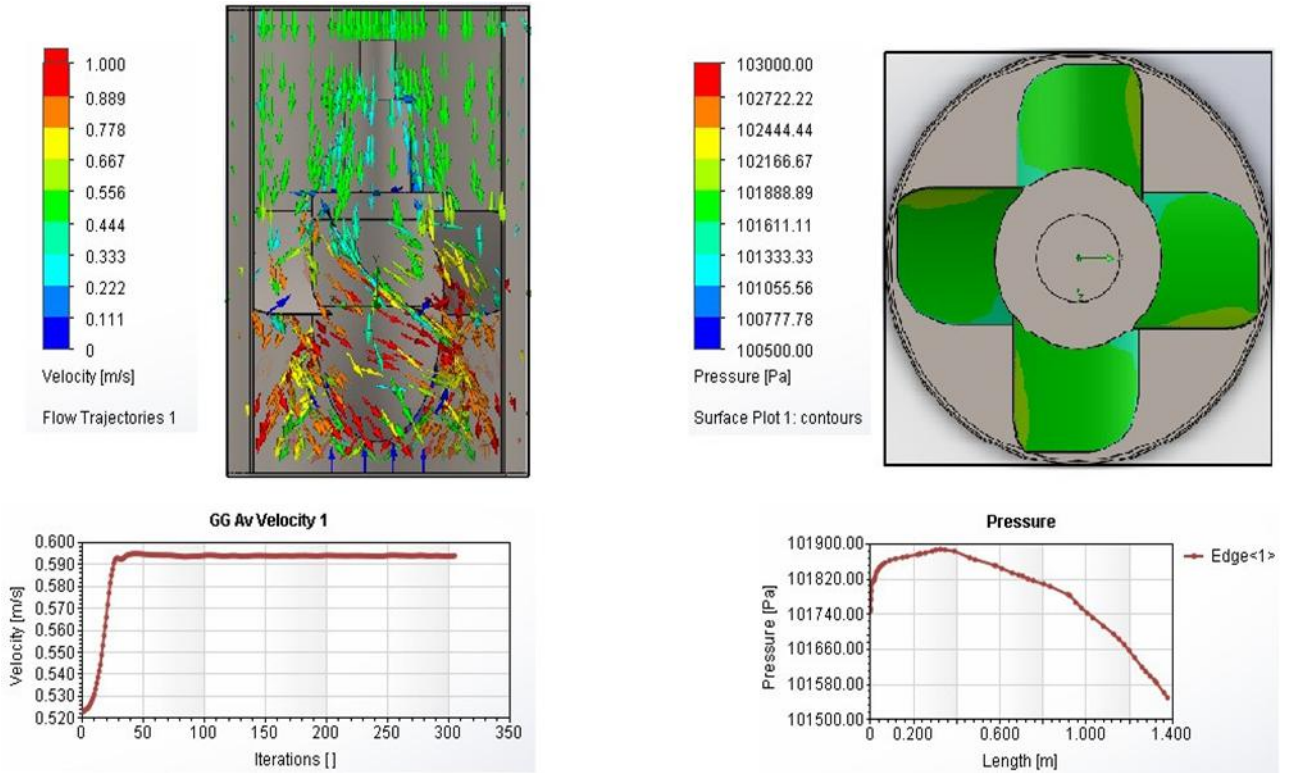


Рисунок 3.8, – Розподіл швидкості та тиску на лопаті при їх положенні 60°

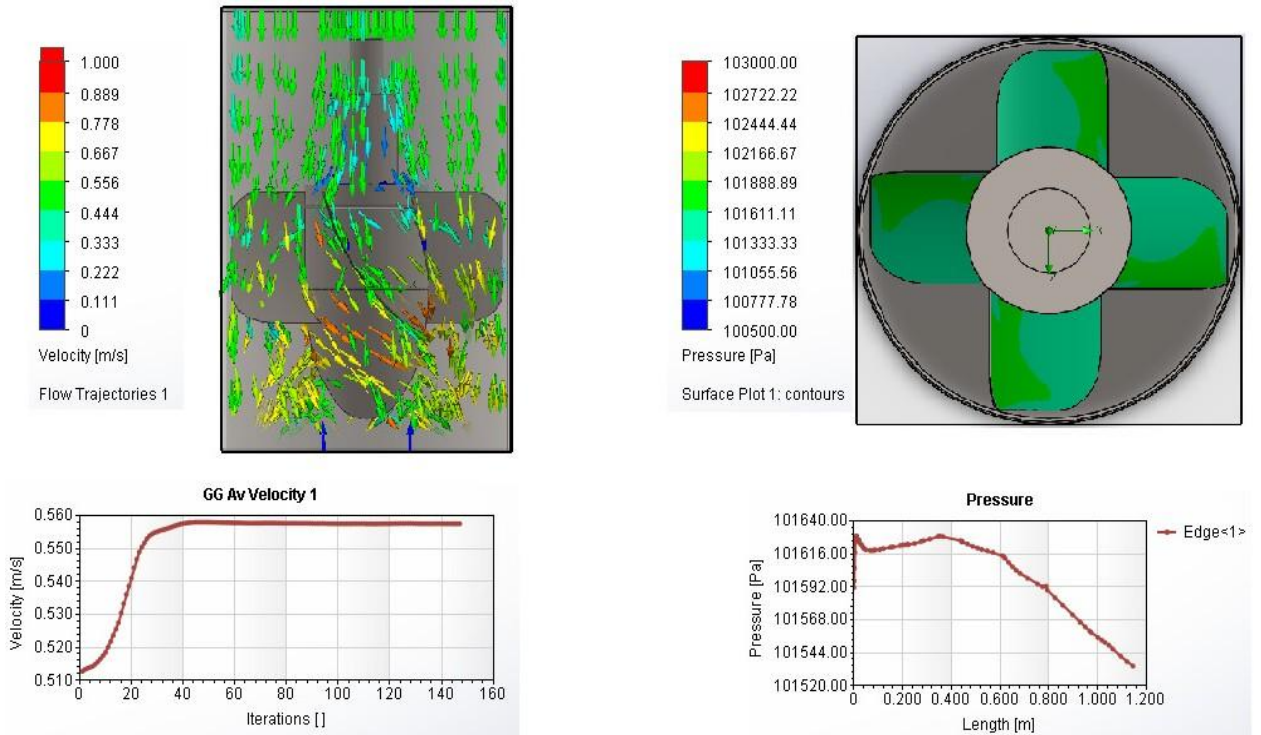


Рисунок 3.9, – Розподіл швидкості та тиску на лопаті при їх положенні 75°

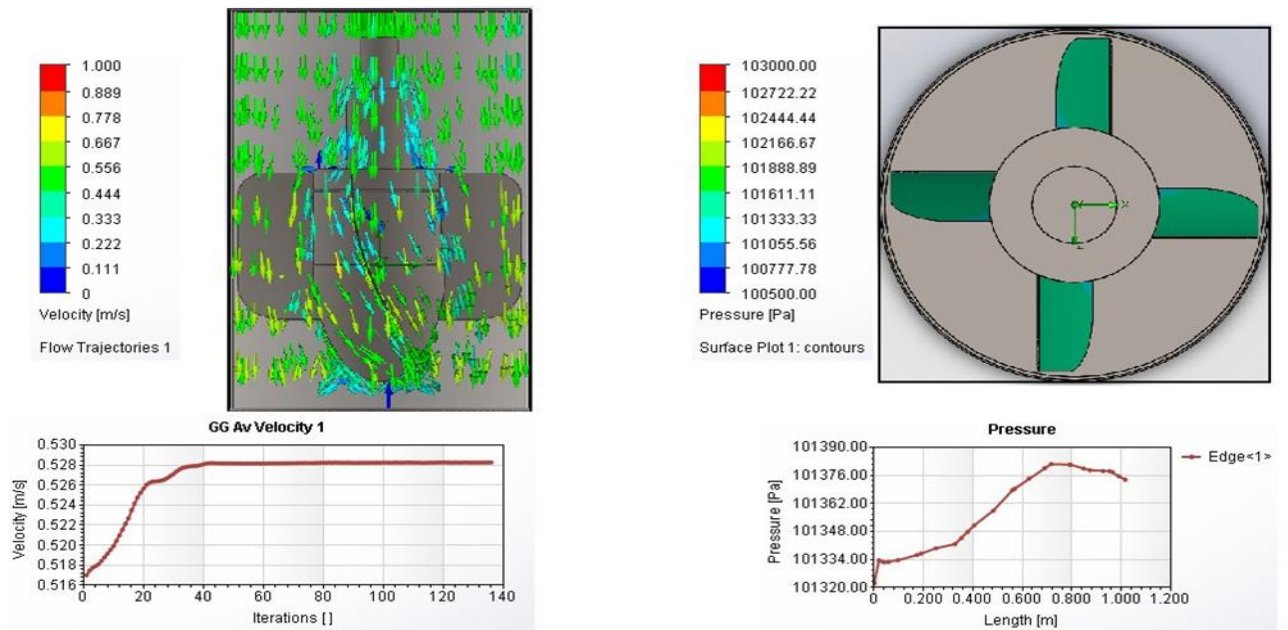


Рисунок 3.10, – Розподіл швидкості та тиску на лопаті при їх положенні 90°

Швидкість потоку не висока, тому пропонується встановити лопаті більш полого. При такому положенні вода при проходженні через робоче колесо буде збільшувати тиск на лопатки, а при оптимальному пологому положенні швидкість потоку у роторі також збільшиться. Для більш зручної оцінки результатів пропонується звести отримані результати у таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати моделювання

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

Із таблиці видно, що найгірший результат спостерігається при куті нахилу лопаток 90° , у такому випадку маємо низький тиск на лопаті

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

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

4. ОПИС МОДЕЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

4.1. Модельна лабораторна установка гідроагрегата

Модельна лабораторна установка гідроагрегата призначена для дослідження параметрів роторно-лопатевої гідротурбіни у відповідності до моделі автора Самойленка Є. Г. Модель турбіни виконана в масштабі 1:10 по кресленнях і ескізних розробках, виконуваних в процесі моделювання.

Загальний вигляд моделі представлений на рисунках 4.1 і 4.2.



Рисунок 4.1, – Модельна лабораторна установка гідроагрегата з роторно-лопатевою турбіною



Рисунок 4.2, – Установка мірної ванни в зливному коробі лабораторної установки. «Руслова модель»

Модель лабораторної енергетичної установки складається з напорного водоводу та підвідного патрубку, напрямного апарата у вигляді секторного затвора з електроприводом, роторно-лопатевої гідротурбіни, відсмоктувальної труби, генератора з тахогенератором і пульта керування. Гідроагрегат змонтований на опорній рамі і встановлений у мірній ванні, яка розміщена в зливному коробі лабораторної установки «Руслова модель», рисунок 4.3.



Рисунок 4.3, – Встановлення у циркуляційну систему додаткового насоса

Циркуляційна лабораторна система до того забезпечувалась відцентровим насосом продуктивністю 10 л/с. Оскільки для модельної установки такої витрати води за розрахунками недостатньо, в систему вмонтований додатковий насос з такою ж продуктивністю. Певну технологічну складність представляло виготовлення елементів модельної установки, оскільки переважна більшість роботи виконувалась вручну. Лопаті робочого колеса на рисунку 4.4 та 4.5 кували із алюмінієвої полоси 8x60 мм. Кріплення лопатей на ступиці здійснено за допомогою шпильок М8, а це викликало необхідність наплавлення алюмінієм на лопатях потовщень для нарізання різьби. Фіксування лопатей на ступиці виконано наплавленням із олова своєрідних упорів.

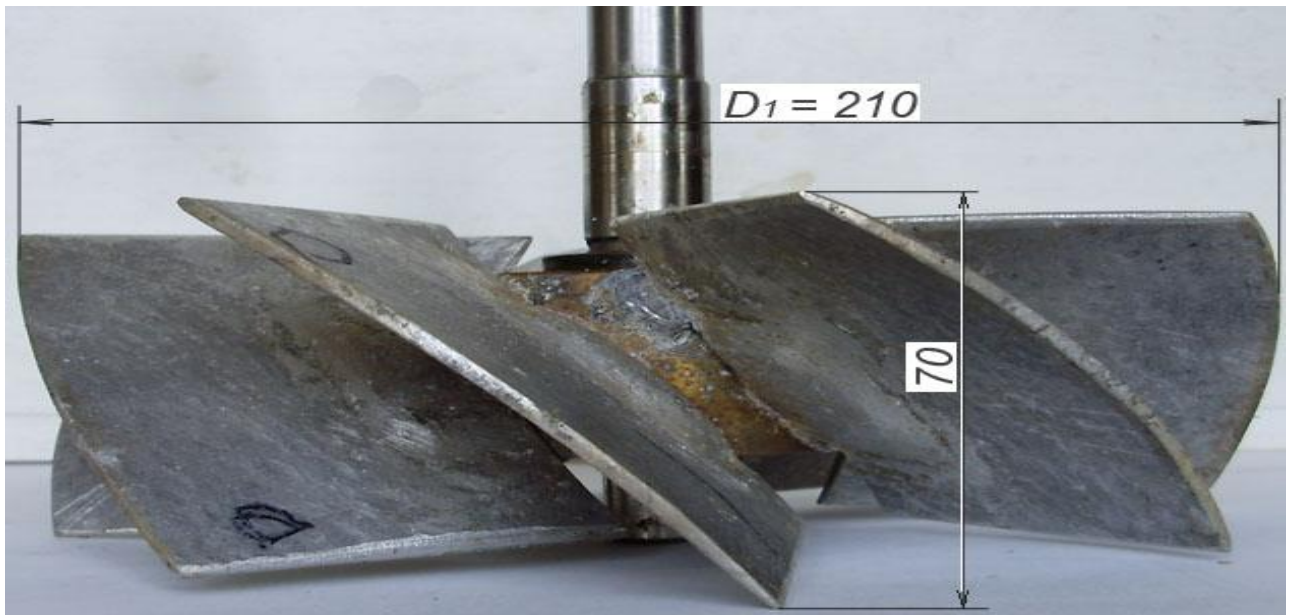


Рисунок 4.4, – Робоче колесо турбіни. Горизонтальний вигляд



Рисунок 4.5, – Робоче колесо турбіни. Вертикальний вигляд

Окремі частини проточного тракту моделі виготовлені з оргскла (поліакрилату). Для цього оргскло розігрівалося у спеціально виготовленій печі. Розігріте до необхідної температури оргскло гнули і утягували по заданій формі на заздалегідь виготовлених об'ємних шаблонах(див. рис. 4.6 та 4.7). Стики з'єднання елементів моделі ретельно шліфували і склеювали за допомогою діхлоретану, а надалі за допомогою перегрітого повітря зварювали вініпластовими електродами.

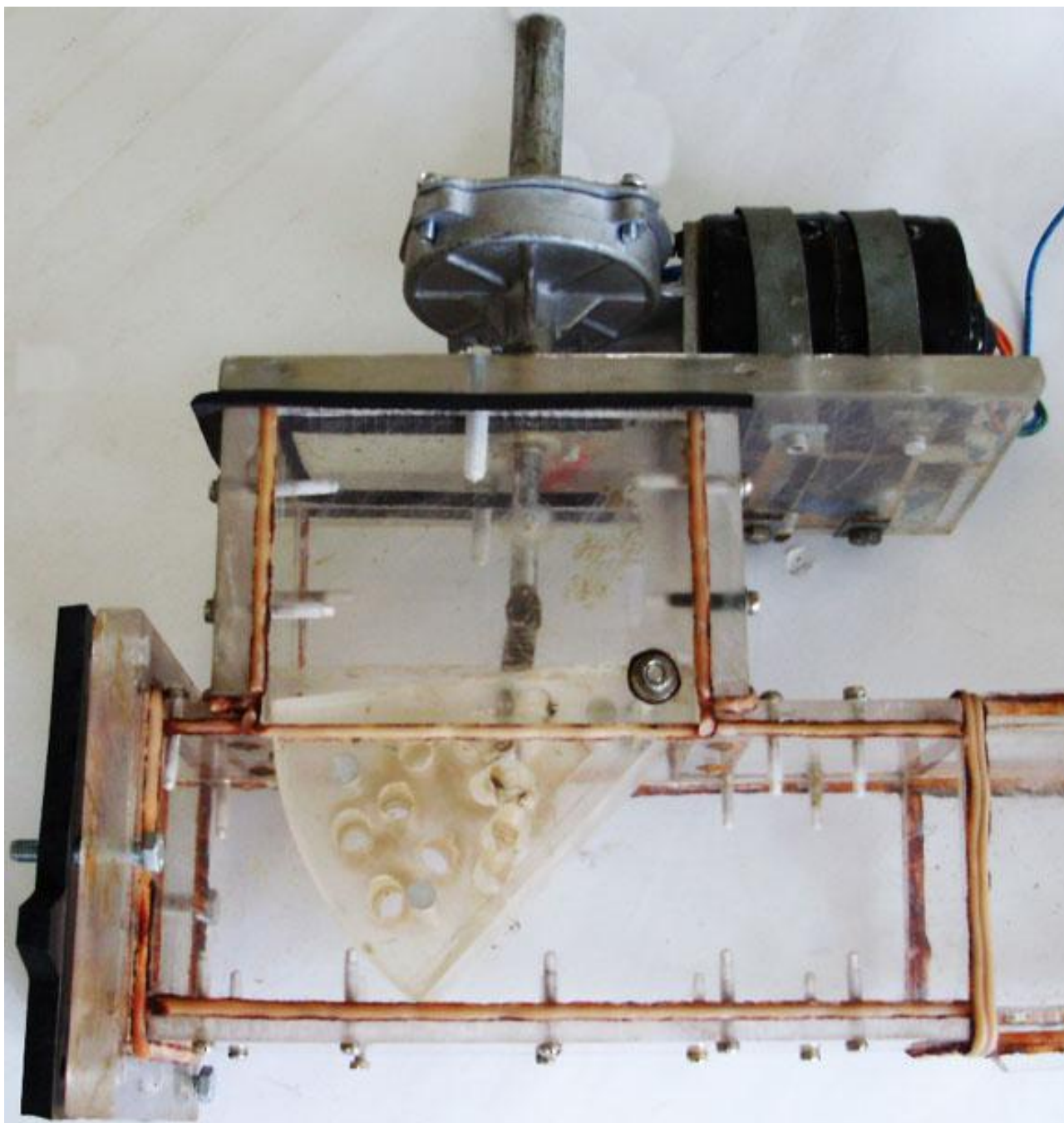


Рисунок 4.6, – Напрямний апарат з приводом

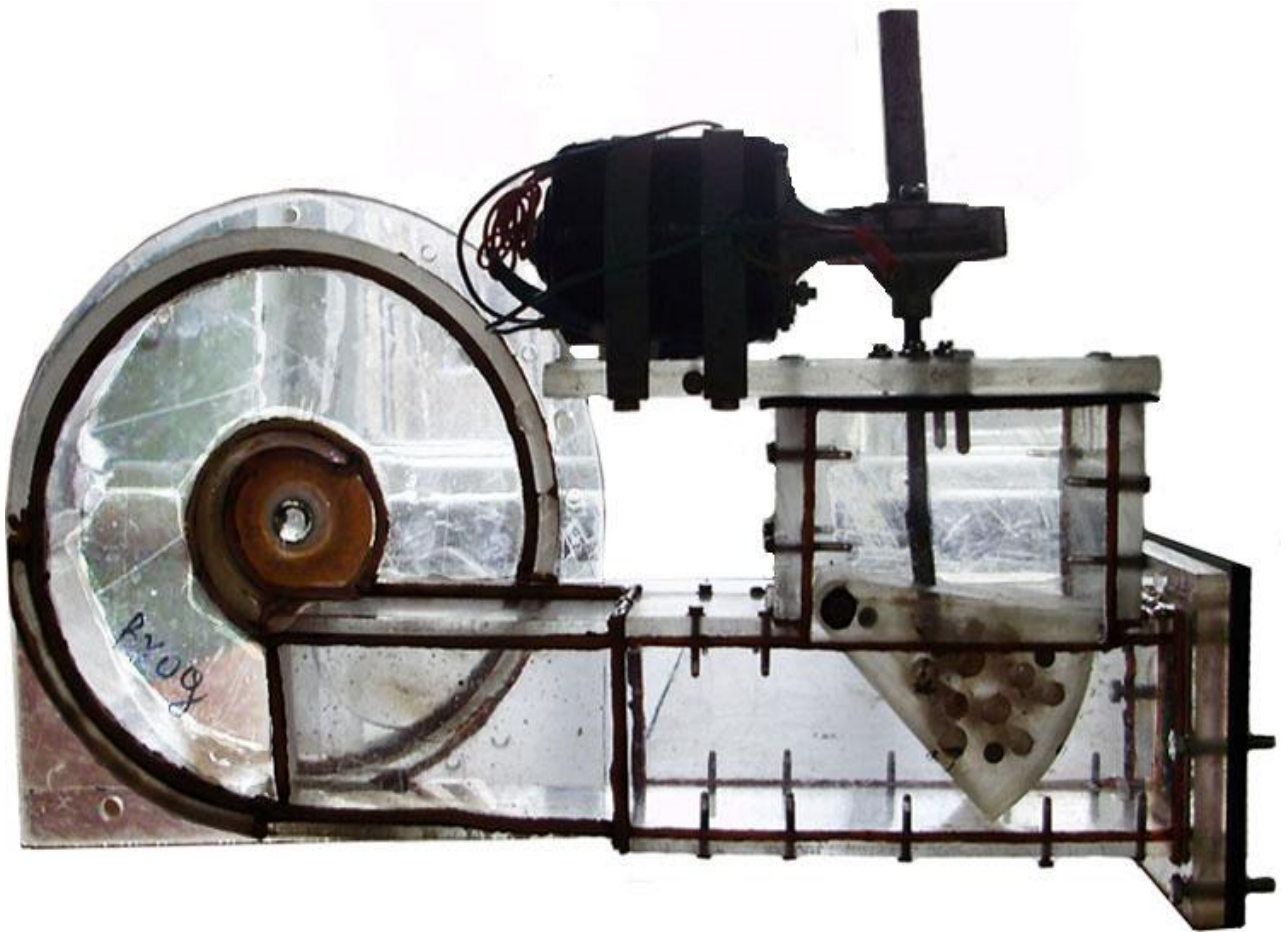


Рисунок 4.7, – Турбінна камера з напрямним апаратом

Генератор модельної установки, за попередньою задумкою, повинен бути подібним до натурального гідрогенератора. Тому було застосовано автомобільний генератор змінного струму, реконструйований, як синхронна трифазна електрична машина змінного струму незалежного збудження. Для контролю і вимірювання швидкості обертання на генераторі встановлено тахогенератор, електрично пов'язаний із показчиком-тахометром на пульті керування (див. рис. 4.8).

Низьконапорні гідротурбіни відзначаються малою швидкістю обертання, а застосований в модельній установці генератор для нормальної роботи потребує кількох тисяч об/хв. Тому для передачі обертаючого моменту від турбіни до генератора застосований мультиплікатор – підвищуюча клиноремінна передача із передаточним числом $i = 2.75$.



Рисунок 4.8, – Генератор трифазний синхронний змінного струму незалежного збудження з тахогенератором

4.2. Електрична частина модельної лабораторної установки

Електрична частина модельної лабораторної установки гідроагрегата виконана у вигляді єдиного блоку з пультом керування (рисунок 4.9, а і б). Пульт керування дає можливість контролювати і регулювати струм збудження за допомогою реостата; контролювати і змінювати величину навантаження на генератор; контролювати на виході силу та напругу змінного струму і постійного струму; контролювати швидкість обертання ротора генератора за допомогою показчика-тахометра. Для електронавантаження на генератор використані освітлювальні лампи по 40 W на 12V – 5 шт. і додатковий дротяний опір 2.3 Ω .

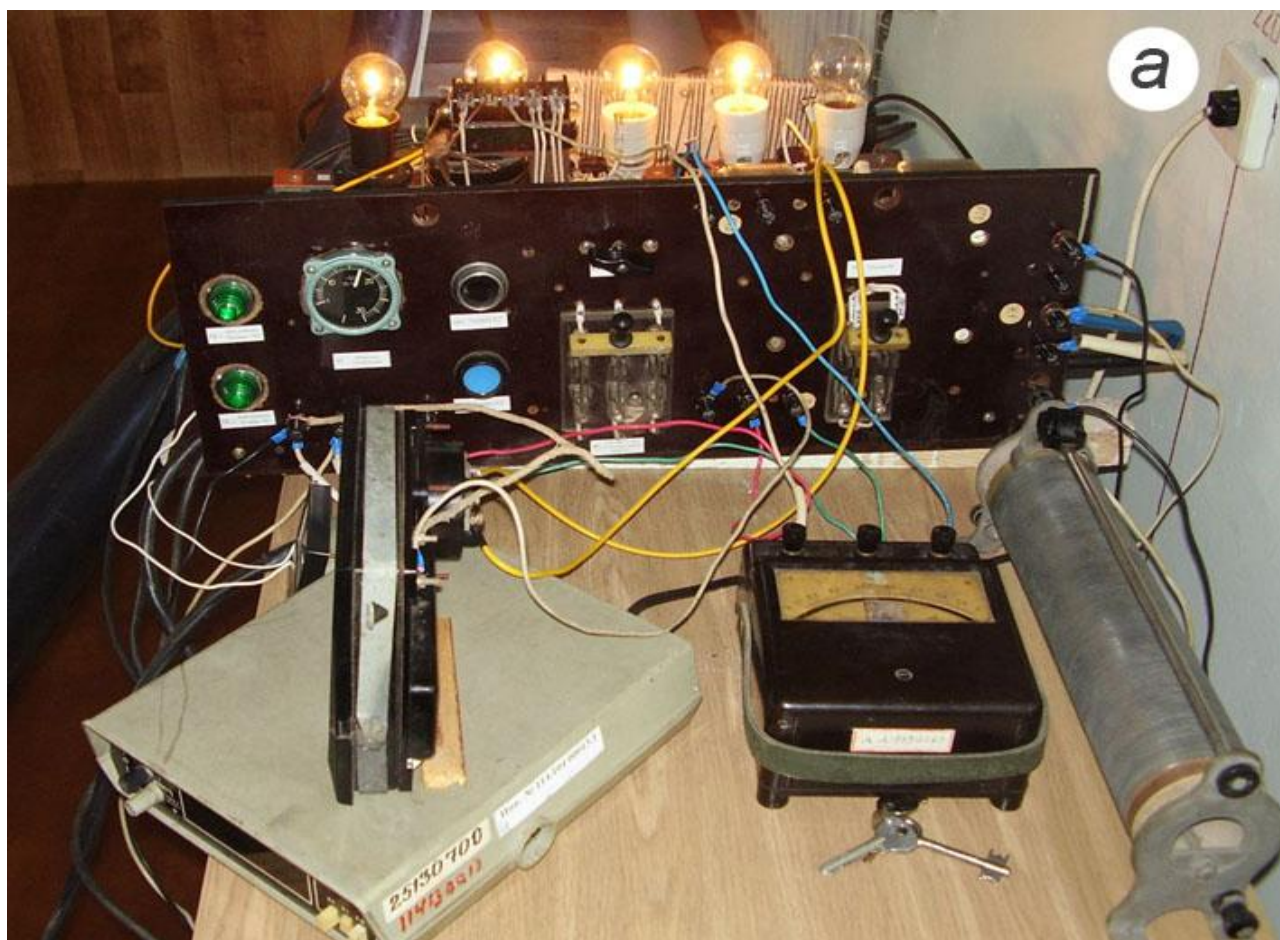


Рисунок 4.9 (а), – Електрична частина модельної лабораторної установки з пультом керування

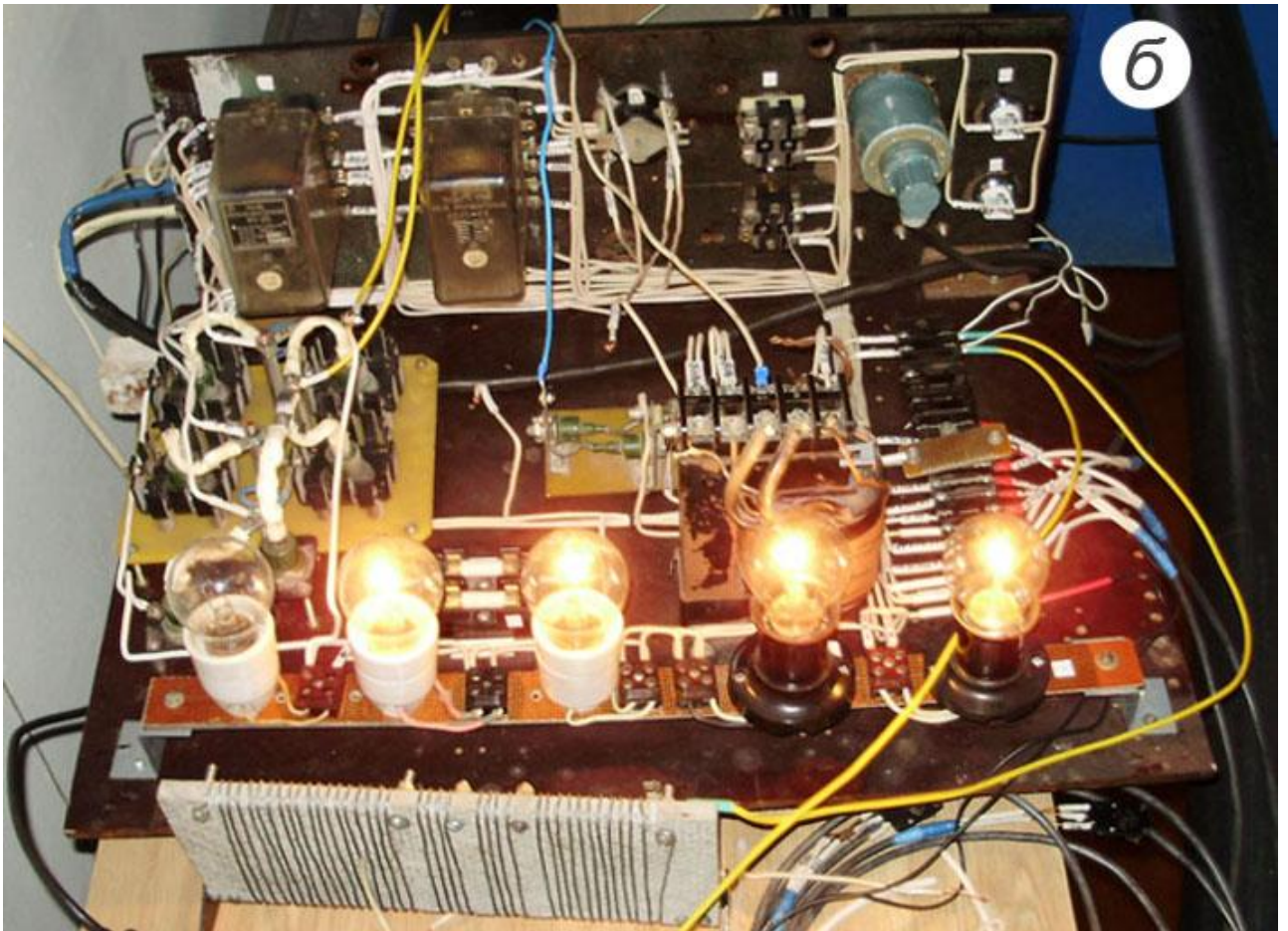


Рисунок 4.9 (б), – Електрична частина модельної лабораторної установки з пультом керування

Підведення води до турбіни здійснено напорним водоводом з поліпропіленової труби діаметром 110 мм і довжиною 6 м із застосуванням зварювання перегрітим повітрям. Вимірювання напору на турбіні проводиться за допомогою манометра (див. рис. 4.10 а) з подальшим перерахунком. вимірювання витрати води через турбіну забезпечується тим, що установка на опорній рамі змонтована у мірній ванні з кутовим водозливом. Вимірювання рівня води у ванні здійснювалось спеціальним пристроєм із шпіль-масштабом у сполученому з ванною вертикальному патрубку, показаним на рисунку 4.10 (б).

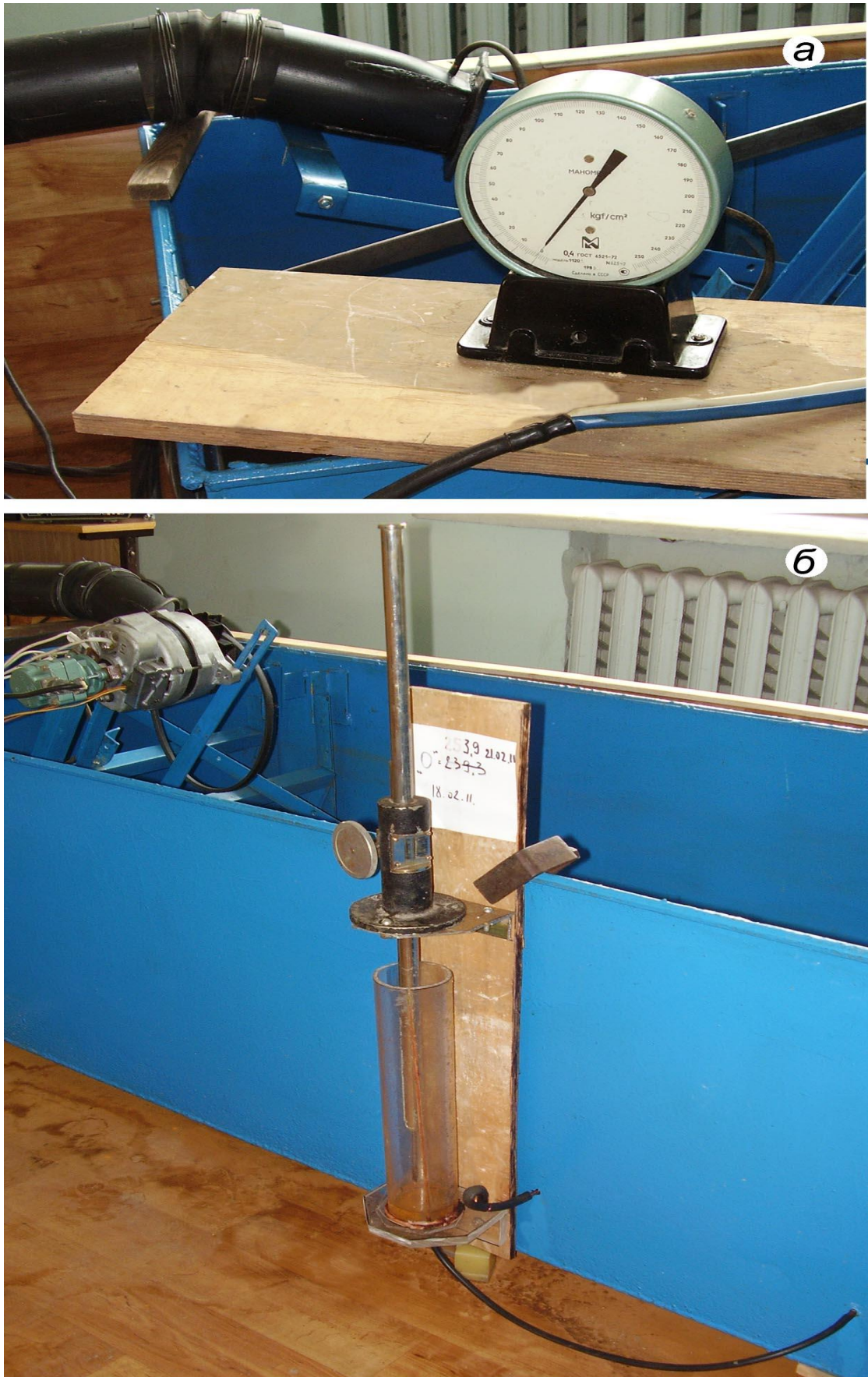


Рисунок 4.10, – Вимірювання витрати через турбіну і рівня води у мірній ванні

Для забезпечення нормальних умов роботи і випробування модельної установки виконані додаткові роботи. Це – гідроізоляція майданчика «Руслової моделі», загальною площею 32 м², і реконструкція лабораторної зливної системи з метою збільшення пропускної спроможності, для чого прокладено заново 18 м поліпропіленового трубопроводу діаметром 160 мм із зварюванням перегрітим повітрям (рисунок 4.11, а і б).



Рисунок 4.11 (а), – Вивід зливної труби крізь перекриття



Рисунок 4.12 (б), – Поворот труби і підведення у зливний бак

4.3. Робота модельної установки

Модельна установка працює таким чином. Вода з нижнього приймального бака двома циркуляційними насосами загальною продуктивністю 20 л/с подається у верхній напорний бак. Під тиском верхнього б'єфа по напорним водовадам через відкритий секторний затвор напрямного апарата вода надходить в турбінну камеру. При цьому витрата води через турбінну регулюється за допомогою привода напрямного апарата.

Далі потік води, рухаючись по гвинтовій траєкторії в турбінній камері, проходить простір між лопатями робочого колеса і через відсмоктувальну трубу надходить до мірної ванни. Витікаючи через кутовий водозлив, вода потрапляє у зливну систему і надходить до нижнього приймального бака.

Проходячи через робоче колесо, вода віддає робочому колесу енергію тиску і швидкісного напору, яка перетворюється на механічну енергію у вигляді обертаючого моменту на валу. Механічна енергія з робочого колеса через мультиплікатор передається на ротор генератора і перетворюється на електричний струм.

4.4. Випробування моделі гідроагрегата

Змодельована роторно-лопатева турбіна істотно відрізняється від використовуваних на гідроелектростанціях тим, що її турбінна камера виконана у вигляді гвинтоподібного циліндра, лопаті робочого колеса розміщені безпосередньо в порожнині циліндра, а для регулювання витрати застосований секторний затвор (напрямний апарат), встановлений перед турбінною камерою. Гвинтоподібна турбінна камера виконує одночасно і функцію камери робочого колеса, завдяки чому габарити турбіни зменшені до розміру діаметра робочого колеса.

Проточний тракт роторно-лопатевої турбіни відрізняється тим, що на всьому його протязі потоку завдається лише одна деформація – рух по гвинтовій траєкторії, а напрямний апарат у відкритому стані взагалі не створює опору потоку. Конструкція турбіни значно спрощена, і її можна використовувати у водоводах з низьким напором води при будь-якому положенні осі обертання.

Розрахункові попередні параметри моделі:

- напор статичний $H = 4.09$ м;
- витрата води $Q = 0.02$ м³/с;
- потужність турбіни $N \approx 0.48$ кВт;
- швидкість обертання ротора генератора $n \approx 440$ об/хв.
- потужність генератора $N_{\Gamma} \approx 0.18$ кВт;
- напруга на генераторі $V \approx 12$ в;
- швидкість обертання ротора генератора $n_{\Gamma} \approx 1200$ об/хв.

Для забезпечення розрахункової витрати води через турбіну в циркуляційну систему лабораторії встановлено додатковий насос із подачею води 10 л/с (сумарно з існуючим подача складає 20 л/с).

Метою першого етапу випробувань було визначення загальної працездатності модельної установки, тому циркуляція води в системі забезпечувалась із використанням одного насоса (подача – 10 л/с). При цьому турбіна показала стабільну швидкість обертання, а секторний напрямний

апарат забезпечував необхідне регулювання витрати води. При половинній витраті води (щодо розрахункової) навантаження було доведене приблизно до 80 Вт, і швидкість обертання ротора генератора при цьому досягала 1500 об/хв.

Результати першого етапу випробувань моделі гідроагрегата дали можливість зробити такі висновки:

- установка загалом працездатна;
- всі елементи проточного тракту турбіни виконують свої функції;
- секторний напрямний апарат забезпечує необхідне регулювання витрати води;
- робоче колесо забезпечує швидкість обертання більшу, ніж передбачалось попередніми розрахунками, і достатній обертаючий момент;
- потужність генератора ефективно реагує на регулювання напруги збудження.

В ході другого етапу випробувань для забезпечення циркуляції води використовувались два насоса (подача – 20 л/с), що дало можливість забезпечити повне навантаження на турбіну.

Параметри, які показала модельна установка:

- напор на турбіні фактичний $H = 3.18$ м;
- витрата воли $Q = 19.3$ л/с = 0.0193 м³/с;
- швидкість обертання ротора турбіни $n = 603$ об/хв.;
- швидкість обертання ротора генератора $n_{\Gamma} = 1660$ об/хв.;
- потужність на виході установки (постійний струм) $N_{\text{вих}} = 160$ Вт = 0.16 кВт;
- потужність генератора (змінний струм) $N_{\Gamma} = 172$ Вт = 0.172 кВт;
- потужність турбіни $N = 445$ Вт = 0.445 кВт;
- потужність потоку $N_{\text{пот}} = 602$ Вт = 0.602 кВт;
- коефіцієнт корисної дії турбіни (ККД) $\eta = N / N_{\text{пот}} = 0.445 / 0.602 = 0.74$.

Розрахунки параметрів модельної установки виконані за умов, що:

- ККД генератора $\eta_{\Gamma} \approx 0.44$;
- ККД мультиплікатора (клиноремінної передачі) $\eta_{\text{м}} \approx 0.88$;
- ККД випрямляча $\eta_{\text{випр}} \approx 0.93$;

– передаточне число мультиплікатора $i = 2.75$.

За результатами другого етапу випробувань можна зробити такі висновки:

- а) Гідротурбіна загалом показала задовільну працездатність;
- б) За попередніми розрахунками необхідно виконати корегування кута установки лопатей робочого колеса;
- в) Отримані результати випробувань можуть бути прийняті за основу при проектуванні реальної натурної роторно-лопатевої турбіни.

ВИСНОВКИ

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

При дослідженні гідроенергетичного потенціалу річок в Україні було визначено, що загальна потенційна потужність досліджуваних річок, розрахована методом Григор'єва, складає 125,5 МВт, що обумовлює перспективність розвитку малих ГЕС в Україні.

Аналіз факторів, які враховуються моделлю міні ГЕС, їх зв'язок з критеріями будівництва, а також зібрані дані по гідрології річки Суха Московка визначив розташування міні ГЕС біля селища Зелений Яр, що забезпечить цілорічне електропостачання.

В програмному забезпеченні SolidWorks було побудовано модель робочого колеса гідротурбіни Каплана, на якій був розглянутий розподіл швидкості та тиску на лопаті у робочому елементі гідротурбіни при зміні їх кута нахилу. Визначено, що оптимальний кут нахилу досягається при 30° /град, при цьому швидкість потоку у робочому елементі складає 0,62 м/с, а тиск на лопаті 102311 Па.

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

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

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

Михайла Коцюбинського. Серія: Географія – Вінниця, 2009. – Вип. 18. – С.211-219.

13. Гидроэнергетические ресурсы / А.Б.Авакян, В.А.Баранов, Л.Б.Бернштейн [и др.]. – М.: Наука, 1967. – 600 с.

14. Золотарев Т.Л. Гидроэнергетика / Т.Л.Золотарев. – Ч.I Основы использования гидравлической энергии: учебное пособие для высших технических учебных заведений. – М.-Л.: Государственное энергетическое издательство, 1950. – 196 с.

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

16. Гинко С.С. Основы гидротехники / С.С.Гинко. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 368 с.

17. Ресурсы поверхностных вод СССР. – Т.6. Украина и Молдавия. – Вып. 2 Среднее и нижнее Поднепровье. – Описания отдельных рек и водохранилищ бассейна р. Днепр / Под ред. М.С.КАГАНЕРА – Л.: ГИМИЗ, 1970. – 520 с.

18. Бабич М.І. Особливості ідентифікації конфігурації проектів каскаду малих дериваційних гідроелектростанцій в умовах стохастичного середовища / О.В. Сидорчук. В.М. Боярчук, М.І. Бабич. А.В. Татомир // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. - 2010. - № 43, Т. 1. - С. 40 - 42.

19. Мороз А.В. Технічний потенціал гідроенергетичних ресурсів малих річок України. / Інститут відновлювальної енергетики НАН України. – К, 2015

20. Пупасов-Максимов А.М., Орлов А.В., Федосеев А. В.. – Задача оптимизации местоположения и структуры малой ГЭС на стадии обоснования инвестиций. Институт Государственного управления, права и инновационных технологий (ИГУПИТ) / Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» №5 – 2013

21. Сокольский А.К. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Учебное пособие.-М.: РГОТУПС, 2006 – 104 с.

22. Academic [Електронний ресурс]: Поворотно-лопастная турбина. Режим доступа: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1395890>

23. Academic [Электронный ресурс]: Радиально-осевая турбина. Режим доступа: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/polytecHnic/7513>
- Academic [Электронный ресурс]: Ковшовая турбина. Режим доступа: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/polytecHnic/4034>
24. Academic [Электронный ресурс]: Турбина поперечного потока. Режим доступа: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/polytecHnic/8076>
25. Обухов С.Г. МИКРОГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ // Томский политехнический университет. Т, 2009 – 63 с.
26. Природа України [Электронный ресурс]: Нормативно-правова база у сфері отримання дозволу на будівництво міні ГЕС. Режим доступа: <http://pryroda.in.ua/miniges/normatyvno-pravova-baza-u-sferi-otrymanna-uz-dozvolu-na-vudivnytstvo-mini-Hes/>
27. SolidWorks [Электронный ресурс]: SolidWorks. Режим доступа: <https://www.solidworks.com>
28. Асоціація біоенергетичних структур [Электронный ресурс]: Розвиток відновлюваних джерел енергії в Україні – Режим доступа: <http://авс.in.ua/wp-content/uploads/2017/03/Rozvitok-VDE-v-Ukrai-ni.pdf>
29. Пылаев, Н.И. Кавитация в гидротурбинах / Н.И. Пылаев, Ю.У. Эдель. М., Машиностроение, 1974. – 240 с.
30. Захаров, А.В. Автоматизированный программ- ный комплекс «Гидродинамический расчет насосов и турбин» / А.В. Захаров, Г.И. Гопаж // Энергомашиностроение. Труды СПбГПУ. 2004. №491. С. 80-99.
31. Степанов, Г.Ю. Гидродинамика решеток турбомашин / Г.Ю. Степанов – М.: ГИФМЛ, 1962. – 512 с.
32. Гутовский Е.В. Теория и гидродинамический расчет гидротурбин : Учеб. пособие для вузов / Е.В. Гутовский, А.Ю. Колтон – Л. : Машиностроение, 1974. – 365 с.
33. Холщевников, К.В. Теория и расчет авиационных лопаточных машин / К.В. Холщевников, О.Н. Емин, В.Т. Митрохин – М.: Машиностроение, 1986. – 432 с.

34. Ковалёв Н. Н. Гидротурбины. Конструкции и вопросы проектирования [Текст] : научное издание / Н. Н. Ковалев. - 2-е изд., доп. и перераб. – Ленинград : Машиностроение, 1971. – 584 с.
35. Викторов Г.В. Гидродинамическая теория решеток / Г. В. Викторов – М.: Высшая школа, 1969. – 368с.
36. Булашенко А.В. Інформатика: конспект лекцій у чотирьох частинах. – Частина 4: Обробка інженерної інформації за допомогою математичного пакета MathCAD / Укладач А.В. Булашенко. – Суми: Видавництво СумДУ, 2010. – 123 с.
37. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці: підручник / В.Ц. Жидецький, В.С. Джигирей, О.В. Мельников; Вид. 5-те доповнене. – Львів: Афіша, 2000. – 350 с.
38. Зеркалов Д.В. Основи охорони праці: навчальний посібник / Д.В. Зеркалов. – К.: Науковий світ, 2000. – 278 с.
39. Цапка В.Г. Безпека життєдіяльності: Навч. Посібник / За ред. В.Г. Цапка – 2-ге вид., перероб. і доп. – К.: Знання-Прес, 2003. – 397 с.
40. Джигирей В.С., Шидецький В.Ц. Безпека життєдіяльності. Навчальний посібник. – Вид. 3-тє, доповнене. – Львів: Афіша, 2000. – 256 с.
41. НТУУ КПІ. Енергетика: економіка, технології, екологія. [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Науковий журнал № 1 (35) – 2014. – Режим доступу: http://energy.kpi.ua/files/2014/1_2014 (дата звернення 25. 04. 2015).