

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

Електротехніки та енергоефективності

(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

другий (магістрський) рівень

(рівень вищої освіти)

на тему Аналіз можливості підвищення ефективності споживання  
електричної енергії гідротехнічним цехом ВП НАЕК «Запорізька АЕС»

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1410з  
спеціальності 141 Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка

(код і назва спеціальності)

спеціалізації

(код і назва спеціалізації)

освітньої програми 141.00.11 Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка

(назва освітньої програми)

Мокієнко Т.В.

(ініціали та прізвище)

Керівник д.т.н., доц. Коваленко В.Л.

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

Рецензент Артемчук В.В.

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

Запоріжжя

2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут \_\_\_\_\_  
Кафедра електротехніки та енергоефективності  
Рівень вищої освіти другий (магістрський) рівень  
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
(код та назва)  
Спеціалізація \_\_\_\_\_  
(код та назва)  
Освітня програма 141.00.11 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувача кафедри

д.т.н., доц.

В.Л. Коваленко

« 08 » 12

2021 року

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

Мокієнко Тарас Віталійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи Аналіз можливості підвищення ефективності споживання електричної енергії гідротехнічним цехом ВП НАЕК «Запорізька АЕС»

керівник роботи Коваленко Віктор Леонідович, д.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

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

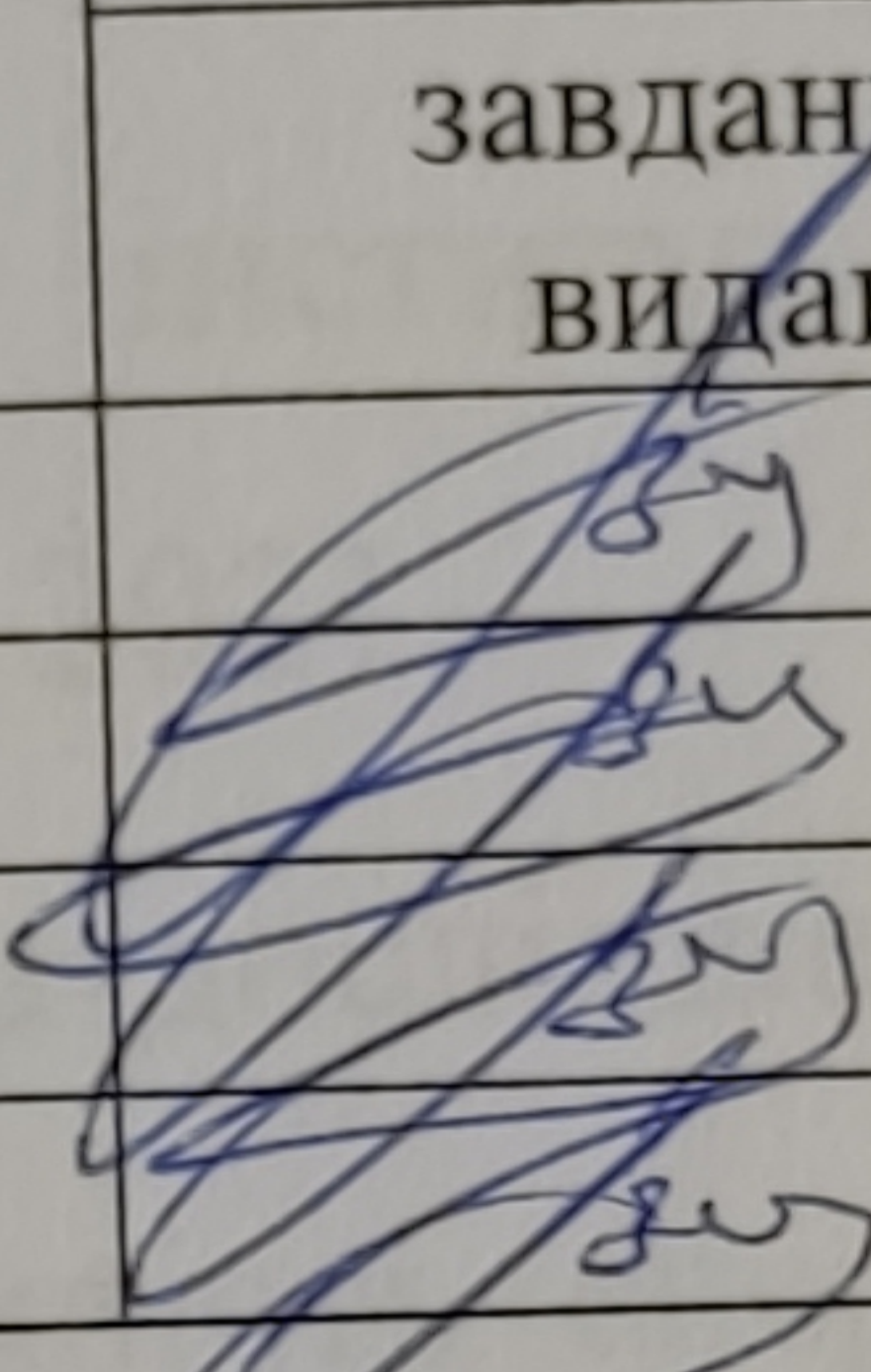
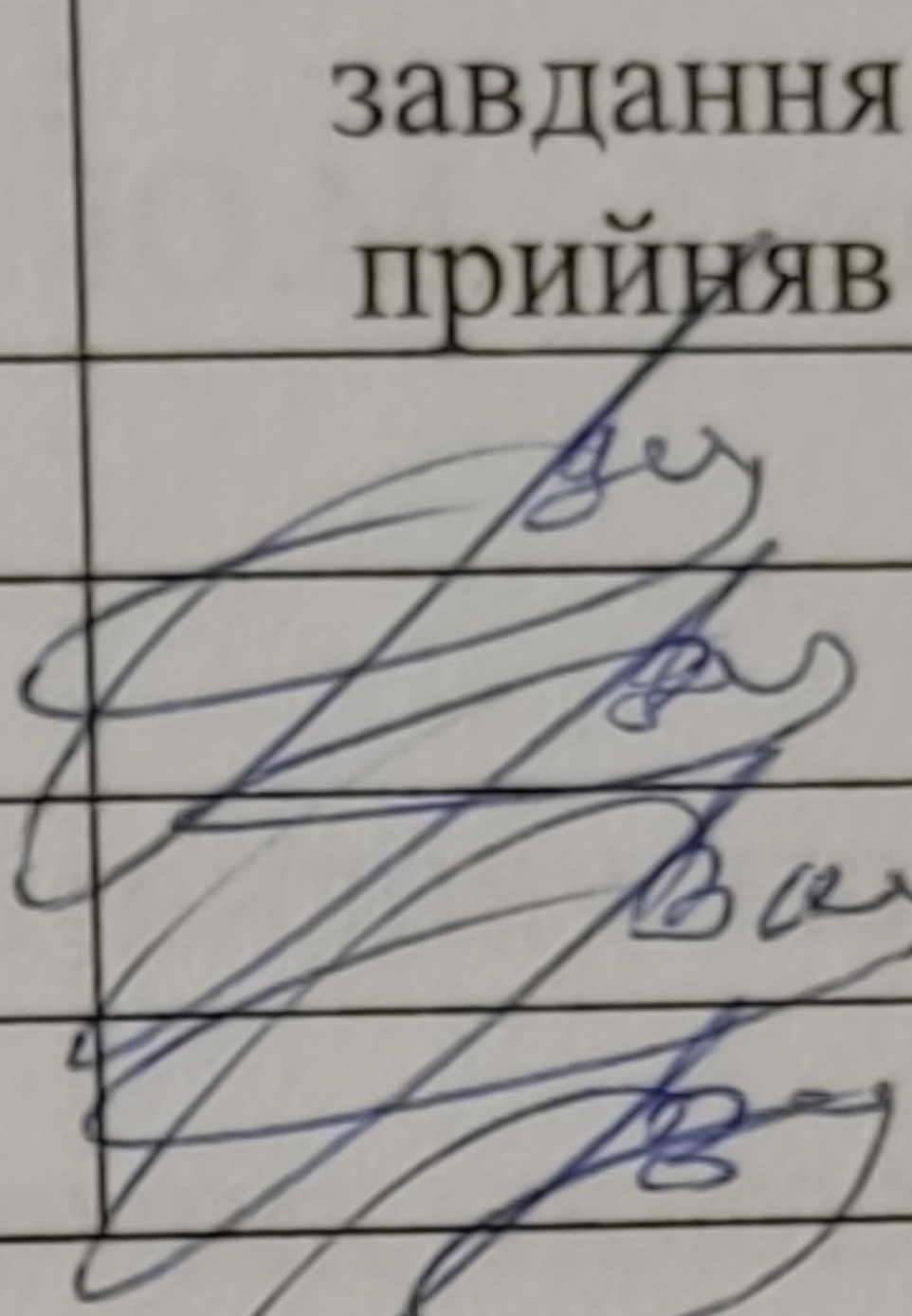
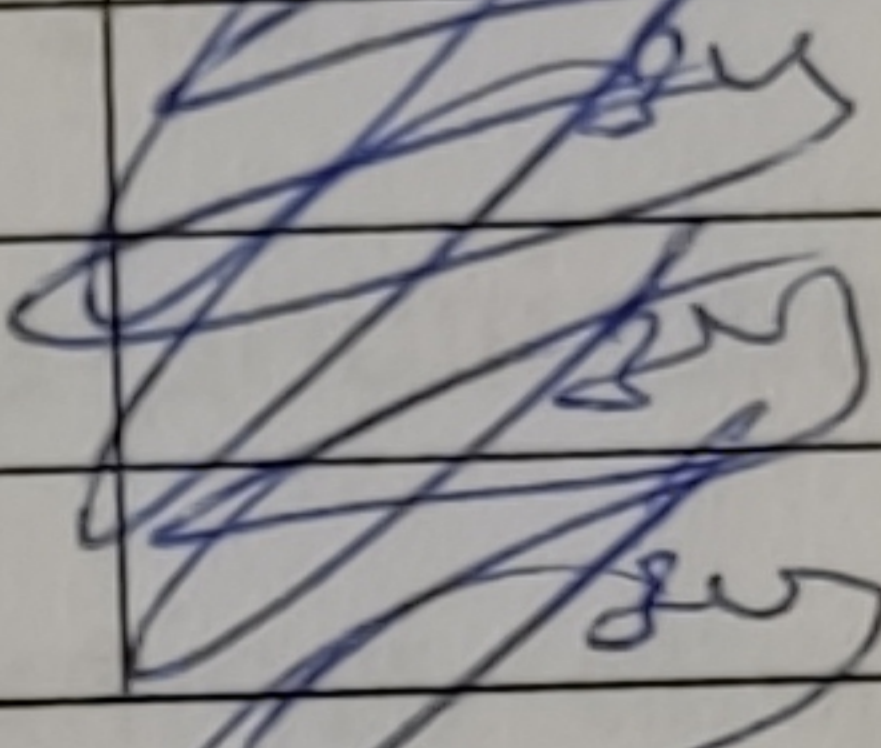
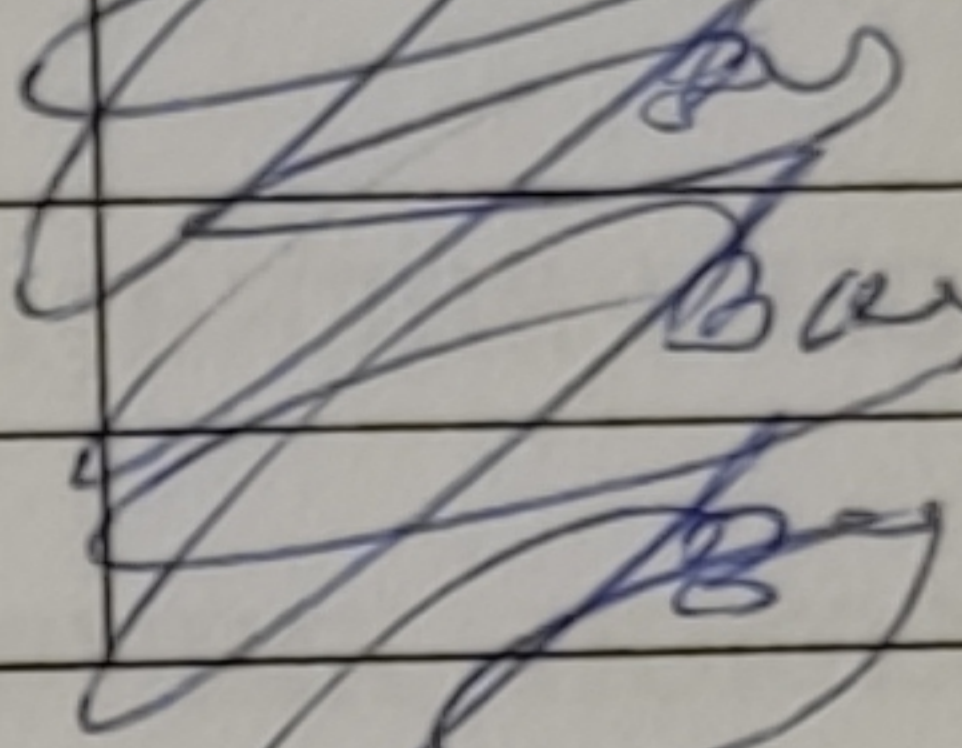
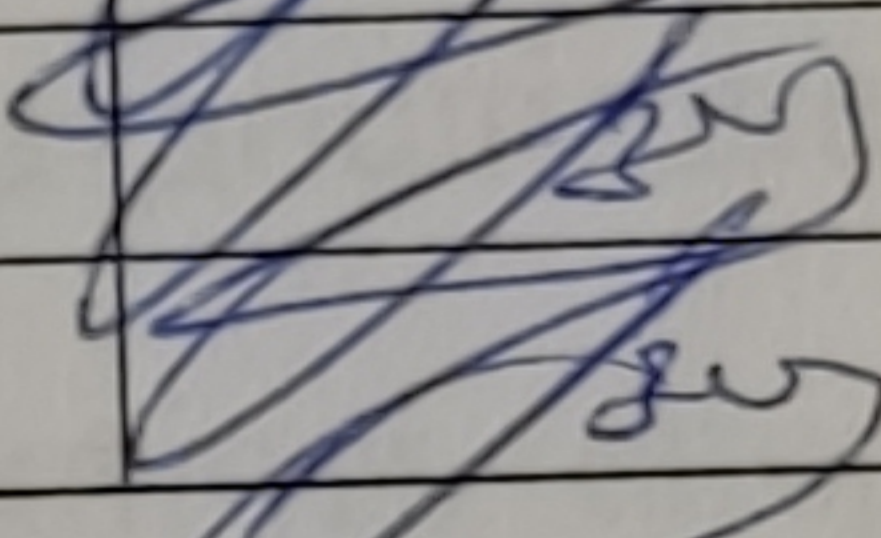
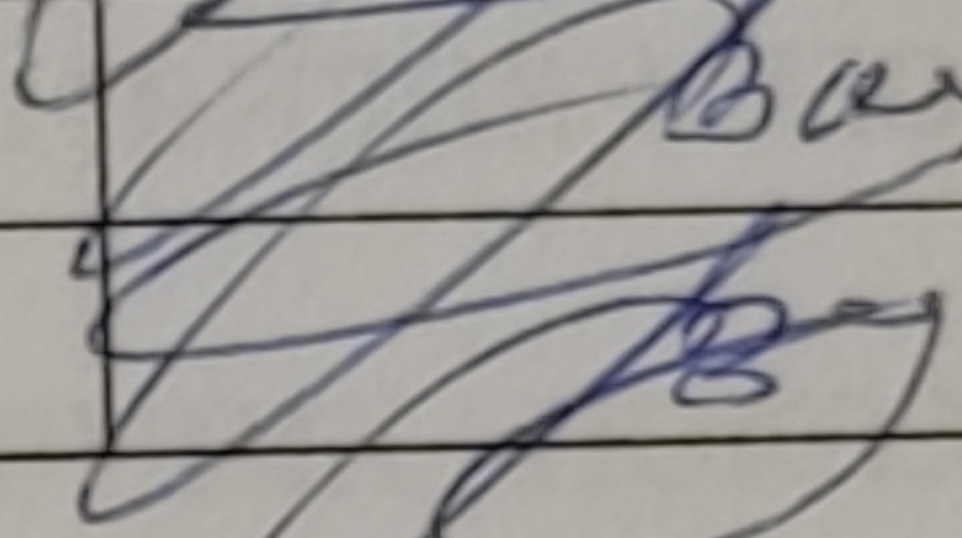
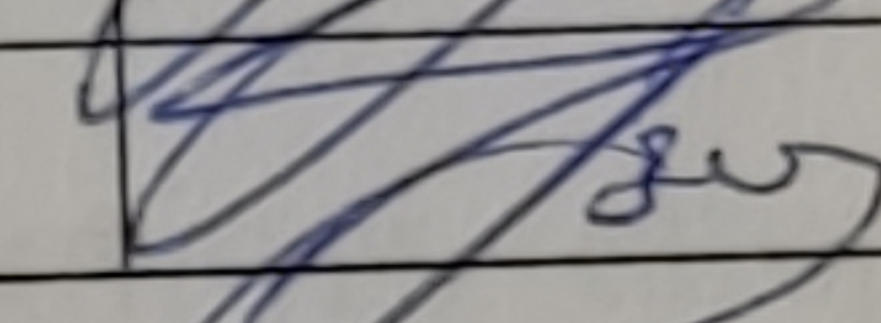
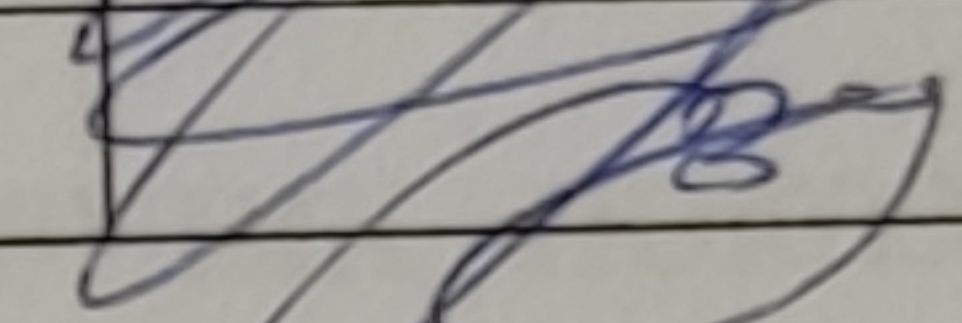
2 Строк подання студентом роботи 01 грудня 2021 р.

3 Вихідні дані до роботи Насосні станції бризкальних басейнів № 1,2 в кількості 42 шт. Два бризкальних басейни № 1,2. Ставок-охолоджувач, відокремлений наливною греблею від Каховського водосховища. Канал підживлення ставка-охолоджувача. Насосна станція подачі води на градирні та бризкальні басейни.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Аналіз теоретичних засад гідроенергоутилізації 2) Дослідження щодо підвищення енергоефективності гідротехнічного цеху ВП НАЕК «Запорізька АЕС» за рахунок скидних вторинних гідроенергетичних ресурсів 3) Техніко-економічні розрахунки ефективності впровадження вільнопоточних мікро-ГЕС в умовах гідротехнічного цеху ВП НАЕК «Запорізька АЕС» 4) Охорона праці та техногенна безпека.

5 Перелік графічного матеріалу 1) План розміщення обладнання цеху 2) Аналіз водоспоживання та водотоків цеху 3) Енергетичні характеристики гідроагрегатів 4) Дослідження ефективності роботи модульної мікро ГЕС 5) Биноміальний розподіл. 6) Автокореляційна функція 7) Стохастичний генератор 8) Охорона праці та техногенна безпека.

6 Консультанти розділів роботи

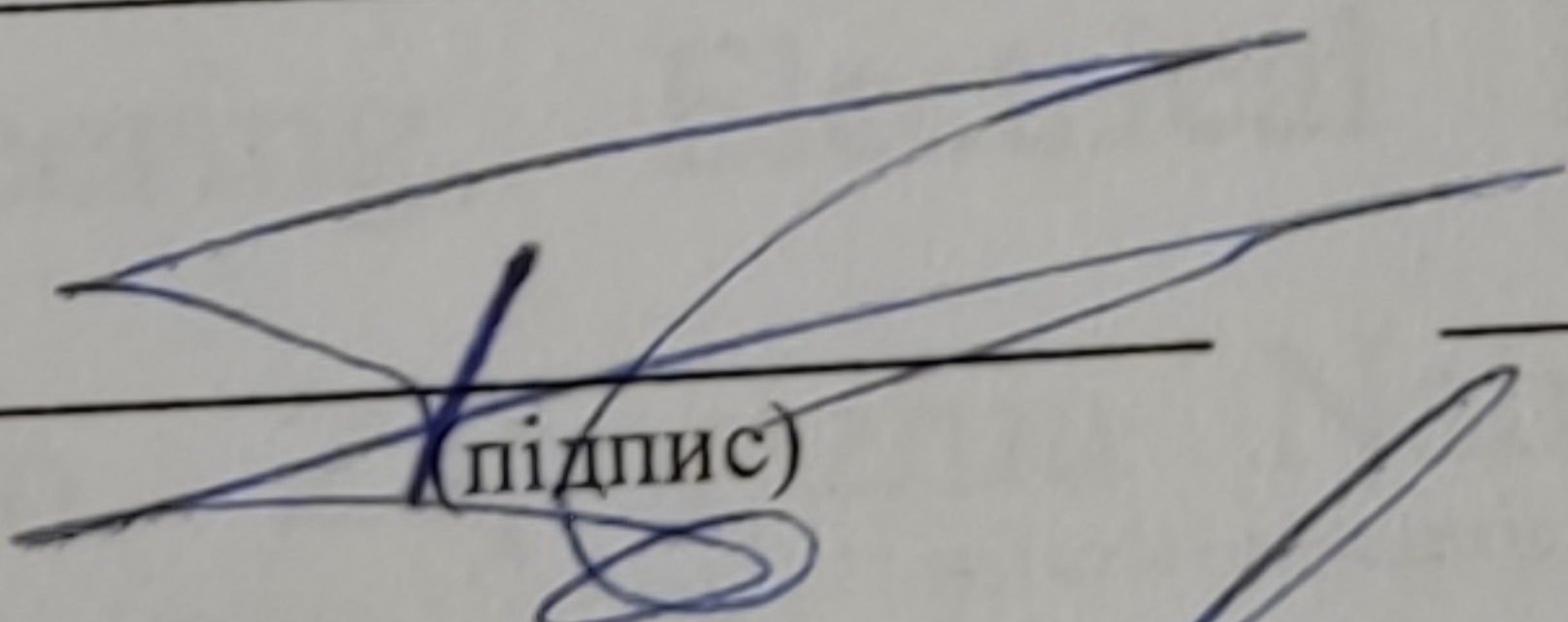
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Коваленко В. Л. д.т.н. доцент		
Розділ 2	Коваленко В. Л. д.т.н. доцент		
Розділ 3	Коваленко В. Л. д.т.н. доцент		
Розділ 4	Коваленко В. Л. д.т.н. доцент		

7 Дата видачі завдання 01.09.2021 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз теоретичних засад гідроенергоутилізації	30.09.2021	
2	Дослідження щодо підвищення енергоефективності гідротехнічного цеху ВП НАЕК «Запорізька АЕС» за рахунок скидних вторинних гідроенергетичних ресурсів	30.10.2021	
3	Техніко-економічні розрахунки ефективності впровадження вільнопоточних мікро-ГЕС в умовах гідротехнічного цеху ВП НАЕК «Запорізька АЕС»	19.11.2021	
4	Охорона праці та техногенна безпека	30.11.2021	

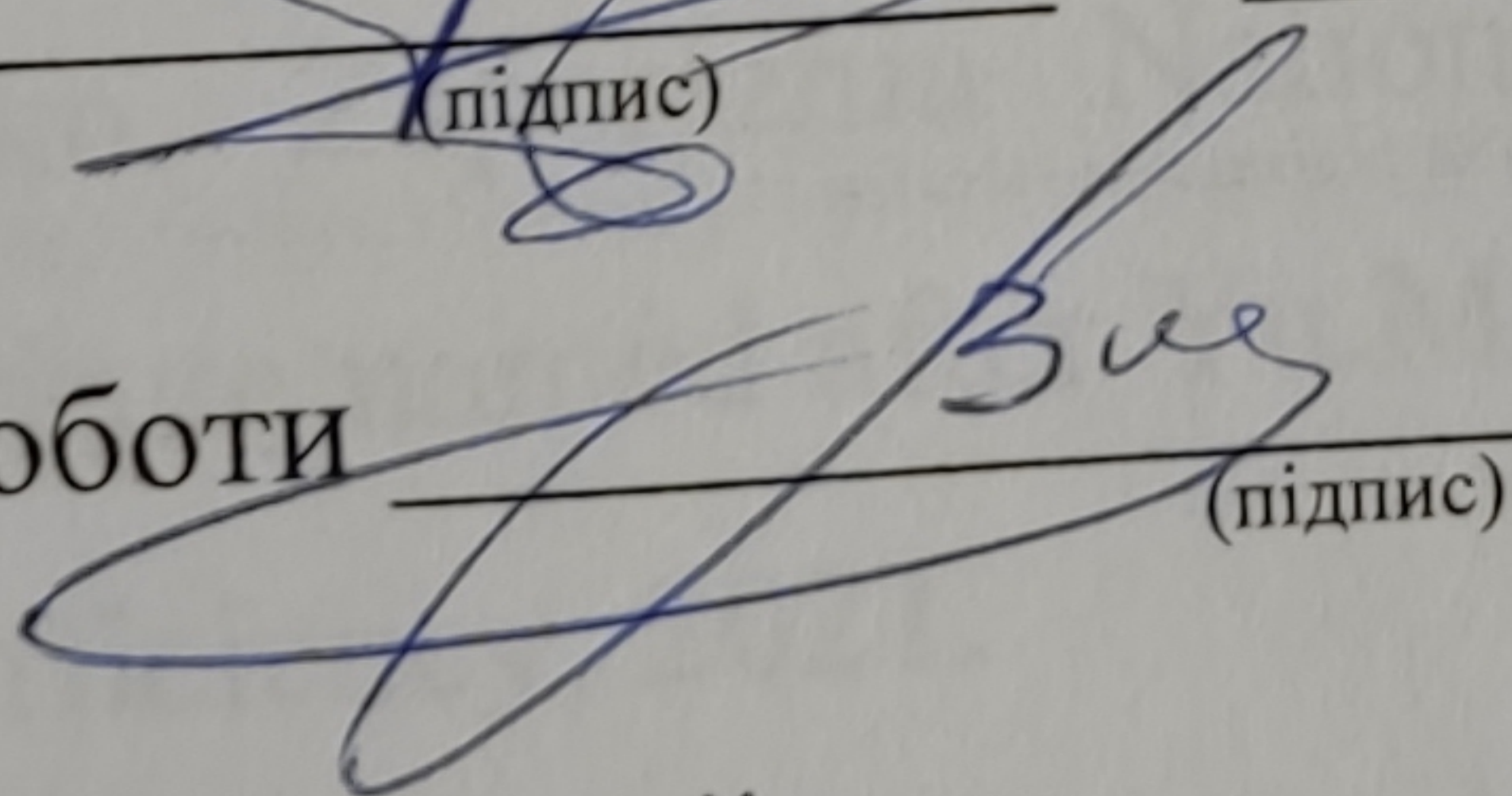
Студент

  
(підпис)

Т.В. Мокієнко

(ініціали та прізвище)

Керівник роботи

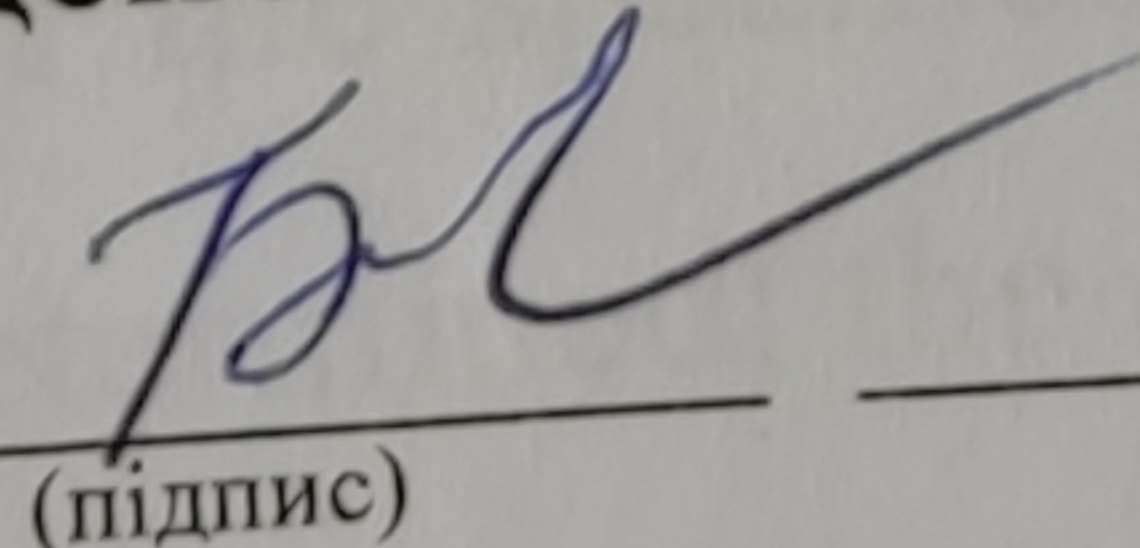
  
(підпис)

В.Л. Коваленко

(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер

  
(підпис)

С.В. Башлій

(ініціали та прізвище)

## АНОТАЦІЯ

Мокієнко Т. В. Аналіз можливості підвищення ефективності споживання електричної енергії гідротехнічним цехом ВП НАЕК «Запорізька АЕС».

Кваліфікаційна випускна робота на здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, науковий керівник В.Л. Коваленко. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні. Кафедра електротехніки та енергоефективності, 2021.

Досліджено водотоки зазначеного об'єкта дослідження і визначено його гідроенергетичний потенціал; визначено залежність енергетичних показників роботи мікро-ГЕС від кутової частоти обертання в умовах нестационарних потоків вторинної води; розроблено математичний апарат, що дозволяє визначати енергетичні характеристики генераторів вільнопоточних мікро-ГЕС; визначено економічні показники запропонованої системи гідро утилізації.

Ключові слова: ВТОРИННІ ЕНЕРГОРЕСУРСИ, ГІДРОУТИЛІЗАЦІЯ, МІКРОГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, НЕСТАЦІОНАРНІ ПОТОКИ ВОДИ, ЗМІННА ЧАСТОТА ОБЕРТАННЯ ТУРБИНИ

## ABSTRACT

Mokienko T.V. Analysis of the possibility of increasing the efficiency of electricity consumption by the hydraulic shop of NNEGC "Zaporizhzhya NPP".

Qualification final work for obtaining a master's degree in specialty 141 - Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, supervisor V.L. Kovalenko. Zaporizhia National University. Engineering Educational and Scientific Institute named after Yu.M. Potebni. Department of Electrical Engineering and Energy Efficiency, 2021.

The watercourses of the specified object of research are investigated and its hydropower potential is determined; the dependence of energy performance of micro-hydropower plants on the angular frequency of rotation in conditions of non-stationary flows of secondary water is determined; developed a mathematical

apparatus that allows to determine the energy characteristics of generators of free-flow micro-hydropower plants; the economic indicators of the proposed hydro-utilization system are determined.

Keywords: SECONDARY ENERGY RESOURCES, HYDROUTILIZATION, MICROHYDROELECTROSTATION, NON-STATIONARY WATER FLOWS, VARIABLE TURNOVER

### АННОТАЦИЯ

Мокиенко Т. В. Анализ возможности повышения эффективности потребления электрической энергии гидротехническим цехом ОП НАЭК «Запорожская АЭС».

Квалификационная выпускная работа на соискание высшего образования магистра по специальности 141 – Электроэнергетика, электротехника и электромеханика, научный руководитель В.Л. Коваленко. Запорожский национальный университет. Инженерный учебно-научный институт им. Ю.М. Потемкина. Кафедра электротехники и энергоэффективности, 2021.

Исследованы водотоки указанного объекта исследования и определен его гидроэнергетический потенциал; определена зависимость энергетических показателей работы микро-ГЭС от угловой частоты вращения в условиях нестационарных потоков вторичной воды; разработан математический аппарат, позволяющий определять энергетические характеристики генераторов свободнотекущих микро-ГЭС; определены экономические показатели предлагаемой системы гидроутилизации.

Ключевые слова: ВТОРИЧНЫЕ ЭНЕРГОРЕСУРСЫ, ГИДРОУТИЛИЗАЦИЯ, МИКРОГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ, НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ПОТОКИ ВОДЫ, ПЕРЕМЕННАЯ ЧАСТОТА ВРАЩЕНИЯ ТУРБИНЫ

## ЗМІСТ

Вступ.....	9
1 Аналіз теоретичних засад гідроенергоутилізації .....	11
1.1 Аналіз вторинних водних енергоресурсів підприємств різних галузей.....	11
1.2 Аналіз напрямків водовикористання в промисловості.....	12
1.3 Енергетичні характеристики водотоків промислових підприємств.....	18
1.4 Стан сучасного розвитку малої гідроенергетики.....	20
1.5 Перелік існуючих засобів гідроенергоутилізації .....	21
1.6 Аналіз водовикористання структурних одиниць гідротехнічного цеху ВП НАЕК «Запорізька АЕС».....	29
1.6.1 Технологія вироблення електроенергії на АЕС.....	32
1.6.2 Призначення головної схеми блоку, її основні елементи, режими експлуатації.....	36
1.6.3 Опис складових елементів гідроцеху.....	38
2 Дослідження щодо підвищення енергоефективності гідротехнічного цеху ВП НАЕК «Запорізька АЕС» за рахунок скидних вторинних гідроенергетичних ресурсів.....	54
2.1 Визначення потенціалу гідроенергетичних ресурсів.....	54
2.2 Експериментальне визначення витрат вторинної води .....	59
2.3 Розрахунок оптимальної СГЕУ для ділянки гідротехнічного цеху ВП НАЕК «Запорізька АЕС».....	49
2.4 Дослідження ефективності мікро-ГЕС шляхом математичного моделювання в середовищі Matlab.....	61
2.4.1. Розрахунок енергетичних характеристик водотоків гідротехнічного цеху.....	61

2.4.2. Встановлення залежності енергетичних характеристик мікро-ГЕС від динаміки вторинних водотоків гідротехнічного цеху ВП НАЕК «Запорізька АЕС».....	63
2.5 Прогнозування витрат скидних вторинних водотоків умовах гідротехнічного цеху ВП НАЕК «Запорізька АЕС».....	67
2.6 Математичне моделювання процесу вироблення електричної енергії в середовищі Simulink.....	67
3 Техніко-економічні розрахунки ефективності впровадження вільнопоточних мікро-ГЕС в умовах гідротехнічного цеху ВП НАЕК «Запорізька АЕС».....	76
3.1 Визначення складових собівартості електричної енергії.....	76
3.2 Розрахунок капітальних вкладень в систему гідроенергетичної утилізації.....	79
3.3 Визначення техніко-економічних показників впровадження системи гідроенергетичної утилізації.....	81
4. Охорона праці та техногенна безпека.....	88
4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища.....	88
4.2 Заходи щодо захисту від впливу шкідливих факторів виробничого середовища працівника градирні.....	90
4.3 Технічні рішення по гігієні праці і виробничій санітарії.....	97
4.4 Захисні заходи з електробезпеки.....	98
4.5 Пожежна безпека.....	99
4.6 Засоби індивідуального захисту.....	101
Висновки.....	105
Перелік посилань.....	107

## ВСТУП

Атомна енергетика заслужено посідає одне з провідних місць в економіці України. Галузь забезпечує роботою близько 38 тис. Працівників. Протягом останніх років атомні електростанції в осінньо-зимовий максимум перевантажень виробляли майже 50% електроенергії країни, маючи лише 22,7% встановлених потужностей. Причому частка виробництва електроенергії на АЕС щороку зростає: так у 1996 році вона складала 43,8%, у 2000 році - 45,3%, в 2009 році - 47%. В даний час в експлуатації на українських АЕС знаходиться 15 енергоблоків, з них 13 - ВВЕР-1000, 2 - ВВЕР-440 (но-вого покоління).

Запорізька атомна електростанція є найбільшим виробником електроенергії з річним виробленням електроенергії 40 - 42 млрд. кВт·год, що становить п'яту частину загальнорічного виробництва електроенергії в державі і половину на українських атомних станціях. Одночасно з цим споживання для виробництва електроенергії становить 5% від виробленої електроенергії. Ця електроенергія йде на привід насосів, вентиляторів та іншого технологічного обладнання, необхідного для вироблення електроенергії. Для АЕС з шістьма енергоблоками по 1000 МВт це 300 МВт. Це для нашої країни найбільший споживач електроенергії, яких не дуже багато навіть серед найбільших і енергоємних підприємств.

Паливно-енергетичні ресурси є стрижнем всієї економіки будь-якої країни і мають значний вплив на можливості розвитку галузей народного господарства. В останні роки склалася ситуація, обумовлена порівняно високими темпами зростання витрат енергоресурсів, особливо електроенергії, і відносно обмеженими можливостями задоволення попиту на енергію ресурсами органічного палива. При цьому, ККД використання останнього залишається на досить низькому рівні і в залежності від виду виробництва, велика кількість енергії втрачається. Очевидно, що при певних умовах частину цих енергетичних втрат можливо утилізувати.



Одним із вагомих вторинних енергоресурсів є технічна вода, велика кількість якої використовується в промисловості, в основному, для забезпечення оптимального температурного балансу обладнання, тобто охолодження, а також на інші цілі. Сама відпрацьована вода є носієм не тільки теплової, але й механічної (кінетичної і потенціальної) енергії, яку можливо утилізувати і перетворити в інший вид, наприклад, електричну. Але для рішення комплексу питань, пов'язаних з гідроутилізацією, необхідно розробити відповідні методики кількісної оцінки потенціалу гідроресурсу, раціонального вибору і розташування обладнання таких систем, впровадження певних технічних рішень для забезпечення максимально можливої виробітки електроенергії з урахуванням економічної доцільності такої генерації.

Відомо, що об'єми технічної води, яка споживається промисловими підприємствами, величезні. В деяких випадках їх можна порівняти з водотоками малих річок, а кількість механічної енергії, що в них міститься, при перетворенні її на електричну, може бути достатньою для часткового енергозабезпечення виробництва або зменшення витрат на транспортування тієї ж води на технологічні потреби. Очевидно, що утилізація енергії водотоків потребує створення відповідних систем збору, раціонального вибору і розміщення електрогенеруючих установок на території об'єкта гідроенергетичної утилізації з щільним і складним розташуванням технологічного та допоміжного обладнання. Для максимальної ефективності систем, що розглядаються, необхідні першочергові заходи, такі як: обґрунтований (бажано на оптимізаційному рівні) вибір їх параметрів; впровадження нових ефективних технічних рішень. Саме тоді, такі системи стануть економічно доцільними. Використання в енергопостачанні додаткового джерела електроенергії, за рахунок утилізації гідроенергетичного ресурсу - шлях до підвищення енергоефективності і економічної стабільності підприємства в цілому, особливо на фоні стрімкого зростання цін на енергоресурси і електричну енергію зокрема.

Таким чином, створення методології, технічних та алгоритмічних (програмних) засобів, що дозволяють розробляти ефективні системи утилізації вторинного гідроенергетичного ресурсу та оптимізувати їх параметри за економічним критерієм, з урахуванням існуючих тарифів на енергоресурси, цін на комплектуючі й енергетичне устаткування є в даний час актуальним.

Втілення у життя енергозберігаючих технологій є цілком реальною перспективою, і дозволить, по попереднім оцінках, знизити щорічне споживання енергоресурсів в галузі. Собівартість продукції при цьому знизиться. У рамках реалізації політики енергозбереження ключовий напрям – удосконалення механізмів фінансування енергозберігаючих заходів, зокрема, заохочення самофінансування їх підприємствами. За відсутності реальних джерел фінансування заходів з енергозбереження доцільно передбачити створення фондів енергозбереження на підприємствах, наповнення яких здійснювалося б на основі пільгового оподаткування приросту прибутку, отриманого в результаті енергозберігаючих заходів.

# 1 АНАЛІЗ ТЕОРЕТИЧНИХ ЗАСАД ГІДРОЕНЕРГОУТИЛІЗАЦІЇ

## 1.1 Аналіз вторинних водних енергоресурсів підприємств різних галузей

Підвищення ефективності роботи промисловості потребує підвищення якості та цінності всіх енергоносіїв, що нею використовуються [1]. Прогресивний напрямок і розвиток промисловості – створення безвідходних виробництв, за технологією яких використовуються всі елементи виробничого процесу, а також енергія реакції технологічних процесів для одержання корисної продукції.

Під вторинними енергетичними ресурсами варто розуміти енергетичний потенціал продукції, відходів, побічних і проміжних продуктів, що утворюються в технологічних агрегатах (установках, процесах), який не використовується в самому агрегаті, але може бути частково або повністю використаний для енергопостачання інших споживачів [1, 2].

Вторинні енергоресурси за своїми технічними характеристиками та ціннісні значущості можуть бути розділені на наступні види:

- горючі (паливні) ВЭР - це утримуючі хімічно зв'язану енергію відходи технологічних процесів, невикористовувані або непридатні для подальшої технологічної переробки, які можна використати як котельно-пічне паливо;

- теплові ВЭР – це фізичне тепло відходящих газів, технологічних агрегатів, основної, побічної, проміжної продукції й відходів виробництва, теплота робочих тіл систем примусового охолодження технологічних агрегатів і установок, гарячої води й пари;

- ВЭР надлишкового тиску – потенційна енергія газів та рідин, що виходять із технологічних агрегатів з підвищеним тиском, який необхідно знижувати перед подальшим використанням цих газів чи рідин або викидом їх в атмосферу.

За напрямом можливого використання ВЕР розрізняють:

- теплотехнічне – використання та споживання безпосередньо отримуваних в якості ВЕР пари і гарячої води або при виробленні їх за рахунок утилізації горючих та теплових ВЕР в утилізаційних котельних;

- електроенергетичне – при генеруванні електроенергії в утилізаційних установках за рахунок ВЕР;

- комбіноване – з виробленням в утилізаційних теплоелектроцентралях теплоти та електроенергії за теплофікаційним графіком.

Вторинні енергетичні ресурси можуть використатися для задоволення потреби в енергії безпосередньо, без зміни виду енергоносія або зі зміною енергоносія шляхом вироблення теплової енергії (пара, гаряча вода), штучного холоду або електроенергії в утилізаційних установках.

## 1.2 Аналіз напрямків водовикористання в промисловості

Використання води на охолодження агрегатів, після чого вона може бути використана як вторинний енергоресурс, відбувається в наступних технологічних процесах [3]:

- холодильники для охолодження сталевих смуги при термообробці на базі двофазних термосифонів;

- чавунні холодильні плити, виготовлені із продувкою стисненим повітрям і отжигом у ливарній формі;

- енерготехнологічний агрегат для нагрівання металу й виробітку пари енергетичних параметрів;

- модульні енерготехнологічні котли-утилізатори (КУ);

- установка випарного охолодження потужних нагрівальних печей із крокуючими балками й новими конструкціями шарнірних з'єднань;

У доменному цеху виробляється виплавка чавуну із шихти (агломерату, руди й вапняку з коксом, використовуваним як паливо) у безперервно діючих

доменних печах із внутрішнім обсягом від 250 до 5000 м<sup>3</sup>. Вапняк є флюсом, що сприяє сплавці й ошлакуванню порожньої породи руди. Необхідне для горіння повітря подається в піч повітродувками; перед надходженням у піч повітря проходить через повітронагрівачі. Для інтенсифікації процесу в доменну піч може подаватися кисень, одержуваний на спеціальній станції, а також природний газ.

Продукти виробництва - чавун і шлаки - випускаються з печей у ковші; чавун відвозять для подальшої переробки в сталь або ж розливають у злитки у вигляді паць, а шлаки подають на грануляційну установку. Крім чавуну й шлаків з доменних печей виходить газ, використовуваний після попереднього очищення як паливо на тому ж заводі.

Вода в доменному цеху при виплавці чавуну витрачається на зволоження шихти, охолодження доменних печей через холодильники і арматури повітронагрівачів, на пожежогасіння зливальних коробів СВО (на змочування колошникового пилу при вивантаженні з пиловловлювача), на охолодження та грануляцію шлаків, на циркуляцію насосів скіпової ями, на охолодження чавуну на розливних машинах і в підбункерних приміщеннях, на охолодження паць чавуну, на охолодження мульд верхньої й нижньої гілок конвеєра, а також на інші дрібні потреби [4].

Шихта воложитьься для зменшення виносу з доменної печі пиловатих часток руди, флюсів і коксу. Для цього звичайно використовується вода (0,5 м<sup>3</sup> на 1 т виплавленого чавуну), що відробила в системі охолодження доменних печей.

Схема охолодження доменних печей може бути однозонною або двохзонною. При однозонному водопостачанні вся охолодна вода подається в холодильники доменної печі під одним загальним напором, достатнім для її надходження в найвищу точку. При двохзонном водопостачанні вода для нижньої частини печі (распар, заплічники, фурмена зона, горно й під) подається під одним (зниженим) напором, а для верхньої частини - під іншим (підвищеним) напором [5].

Останнім часом водопостачання великих доменних печей улаштовують однозонним. Як при однозонному, так і при двохзонном водопостачанні вода подається до доменного цеху по двох самостійно працюючим водоводам і мережах (паралельним водоводам). При цьому між паралельними водоводами є перемички з електрифікованими засувками, закритими при нормальному режимі роботи й відкривають тільки при ремонтах; на введеннях води до печей установлені зворотні клапани, що перешкоджають зворотній течії води з водопровідного кільця доменної печі у випадку аварії на одному з водоводів. Керування засувками на перемичках дистанційне з диспетчерського пункту.

Охолодження клапанів повітрянагрівачів (циліндричного спорудження у вигляді металевого кожуха, заповненого спеціальною кладкою з вогнетривкої цегли) має на меті захист клапанів від руйнування минаючими через них газами й повітрям, нагрітими до температури 800 °С і більше. Клапани служать для регулювання нагрівання повітря, що надходить від повітродувних машин у доменну піч; повітря нагрівається спалюванням очищеного доменного газу. Споживання води в доменному цеху на 1 т виплавленого чавуну (без урахування її витрати на грануляцію шлаків і розливання металу) становить близько 24 м<sup>3</sup>, у тому числі 3-4% свіжої води. Основна кількість води (приблизно 95%) витрачається на охолодження конструкцій і арматури і не одержує специфічних забруднень. Коефіцієнт годинної нерівномірності витрати води дорівнює 1,05 [6,7].

Водопостачання доменного цеху - оборотне; вода, що відробила, з холодильників печей і арматури повітрянагрівачів зливається в прийомні коробки й надходить для охолодження на градирні або в бризкальний басейн; охолоджена вода забирається насосами й знову подається в цех. Необхідний напір оборотної води в мережі доменних печей становить від 45 до 70 м залежно від корисного обсягу печі [8].

Грануляція шлаків полягає в перетворенні їх з рідкого стану у твердий зернистий матеріал шляхом швидкого охолодження водою. Із гранульованих

шлаків виготовляються жужільна цегла й цемент; шлаки можна використати й для інших цілей.

На сьогодні застосовують переважно напівсуху грануляцію шлаків, а в нових доменних печей - мокру грануляцію в ринвах з повітлінням оборотної води у відстійнику. Витрата оборотної води на мокру грануляцію становить  $8 \text{ м}^3$  на 1 т шлаків; безповоротно втрачається в обох випадках близько  $1 \text{ м}^3$  на 1 т шлаків.

Розливання чавуну в чушки відбувається на спеціальних розливних машинах, до яких рідкий чавун підвозять від печей у ковшах. Чавун розливають у мульди (виливниці), що безупинно рухаються разом з несучим їхнім ланцюгом (стрічкою). Розлитий в виливниці чавун інтенсивно поливають водою з дірчастих труб; охолоджені й затверділі злитки (паці) чавуну подають зі стрічки на залізничну платформу, на якій після доохолодження водою їх відвозять на склад.

Загальна витрата води при розливі на 1 т чавуну становить до  $4 \text{ м}^3$ , при цьому близько 20% води втрачається. Водопостачання оборотне з очищенням води, що відробила, від шматочків ламаного чавуну й вапна у відстійнику. Втрати в системі заповнюють свіжою водою.

Напір води для розливних машин повинен бути 30 м.

Останнім часом у нашій країні й за рубежом широко впроваджується система випарного охолодження металургійних печей (доменних, мартенівських, електроплавильних, нагрівальних і вагранок [9,10]. При випарному охолодженні тепло від нагрітих елементів печі відводиться водою, що нагрівається до утворення пароводяної емульсії. При цьому використовується захована теплота пароутворення, тобто тепло, що відбирається охолодною водою, витрачається на її випар. У холодильники печі подається вода, звільнена від солей твердості й позбавлена корозійних властивостей. Одержувана пара використовується на технологічні потреби заводу.

При випарному охолодженні 1 кг води, випаровуючись, відбирає в охолоджуваній деталі 539 ккал. Крім того вода, що надходить у систему,

нагріваючись до кипіння, відбирає ще 70 ккал. Щоб відібрати таку ж кількість тепла при водяному охолодженні при підвищенні температури води на 10°C треба було б  $(539+70)/10 \sim 60$  кг води, тобто в 60 разів більше, ніж при випарному охолодженні [11].

У схемі із примусовою циркуляцією вода з бака-сепаратора подається до деталі за допомогою спеціального насоса, при цьому тиск у системі може бути доведений до 18-40 кгс/см<sup>2</sup>.

Випарне охолодження має наступні переваги:

- вода необхідна для охолодження деталей лише нижньої будови металургійних печей, тобто потрібно приблизно 30% її загальної витрати при водяному охолодженні;
- забезпечується надійність роботи печі й скорочуються її простой для ремонту охолоджуваних деталей;
- використовується тепло охолодного середовища у вигляді пари;
- зменшуються в три рази обсяг споруджень і потужність системи водопостачання.

Дотепер системи випарного охолодження доменних печей резервуються пристроєм водяного охолодження, що викликає додаткові капіталовкладення [12].

Таким чином, як видно з перерахованого вище, практично в будь-якій галузі промисловості є достатня кількість вторинної теплоти, що є побічним продуктом, щоб частково або навіть повністю забезпечити потреби підприємства в цьому виді енергії, або розглядати її як додатковий товарний продукт. Однак, реалізувати його виявляється важко, а, найчастіше, і практично неможливо, через складності, пов'язані зі створенням систем відбору й транспортування, що вимагають значних потоків і напорів теплоносія. У результаті собівартість вторинної теплової енергії виявляється настільки великою, що втрачається економічна доцільність її придбання й навіть використання на власному підприємстві.



Як правило, для відводу вторинного тепла від технологічних агрегатів використовується теплоносій з максимально можливою теплоємністю й найменшою вартістю. Таким універсальним і доступним теплоносієм є вода. Як очевидно з вищевикладеного, практично у всіх галузях промисловості необхідно використати її величезну кількість. При цьому подавана для охолодження вода, по суті, є носієм не тільки теплової, але й механічної (кінетичної і потенційної) енергій.

З огляду на великі обсяги води, кількість наявної в ній механічної енергії буває часто більшою за теплову. Якщо відбір вторинної теплоти здійснюється на комунальні й виробничі потреби хоча б частково, то потенційна енергія й енергія руху води безповоротно втрачаються. Очевидно, що перетворення останніх в електричну енергію, що є, по суті, утилізацією надлишкового гідроресурсу (гідроутилізацією), могло б істотно знизити споживання електроенергії на транспортування води й, отже, підвищити економічну ефективність утилізації, властиво, теплоти.

Так, наприклад, у металургії, як і в інших галузях, одержали широке розповсюдження системи випарного охолодження вузлів устаткування. Їхня основна перевага - економія живильної води в порівнянні із системами водяного охолодження за рахунок перетворення останньої у водяну пару високого тиску й температури, що, найчастіше, використовується не в повному обсязі через недостатню кількість споживачів пари й труднощами його транспортування до місця споживання. Переклад устаткування на водяне охолодження різко підвищує витрату води (приблизно в 30 разів), однак, утилізація механічної енергії даного теплоносія шляхом перетворення її в електричну може істотно підвищити ефективність утилізації теплових ВЕР і збільшити можливості її реалізації іншим споживачам.

### 1.3 Енергетичні характеристики водотоків промислових підприємств

Вода широко застосовується для охолодження конструктивних елементів вогнетехнічних установок, а також у ряді виробничих процесів, що протікають при низьких температурах, для штучного охолодження технологічного продукту або апаратури. Прикладами можуть служити: водяне охолодження металургійних печей, печей хімічних виробництв; охолодження гарячої сірчаної кислоти після контактного апарата або конденсатора; охолодження водою різних нафтопродуктів; охолодження конденсаторів парових турбін, масло- та повітроохолоджувачів генераторів на електростанціях, конденсаторів змішуючого типу, випарних батарей алюмінієвих розчинів на глиноземних заводах; охолодження сорочок циліндрів двигунів внутрішнього згорання і т. ін.

Нагріту виробничу воду можна використовувати для теплопостачання та гарячого водопостачання, агротеплофікації та для вироблення електричної енергії.

Значні кількості нагрітої виробничої води на промислових підприємствах не завжди можна використати для теплопостачання у зв'язку з обмеженою потребою в теплоті й сезонному характері теплоспоживання. У ряді випадків ефективно застосування цього виду ВЕР для вироблення електроенергії.

Як правило, агрегати-джерела ВЕР розосереджені територіально, вироблені ними однотипні вторинні ресурси нерівномірні, як за часом виходу, так і по параметрах. Наприклад, у більшості технологічних процесів металургії, хімічного, коксохімічного й іншого видів виробництв використовується величезна кількість води. Компонування устаткування таке, що вода подається примусово на різні рівні висоти й, потім, після використання в технологічному циклі зливаються за межі циклу, або перекачується назад у цикл. При цьому втрачається величезна кількість теплової й потенційної енергії рідини. Таких вторинних потоків з різних рівнів висот може бути сотні в межах одного

підприємства. Ці потоки не стаціонарні й можуть бути незначні за обсягом для підбора стандартного утилізуючого устаткування.

Однак якщо їх просумувати, величина буде достатньою, щоб розглядати її як потенційне джерело ВЕР, тобто можливість використання ВЕР стає доцільним. Цю бросову енергію можна утилізувати вже існуючими технологіями, однак, для вибору устаткування необхідно знати кількість (оцінити обсяг) бросового гідроресурсу і його параметри, проаналізувати топологію розосередження ресурсів на підприємстві, від яких залежить вибір устаткування і його проектна потужність, розробити топологію розміщення генеруючих пристроїв.

Енергетична ефективність використання вторинних енергетичних ресурсів для вироблення електроенергії, як правило, не залежить від загальної схеми енергопостачання даного підприємства і могло б істотно знизити споживання електроенергії на транспортування води й, отже, підвищити економічну ефективність утилізації.

Зазначеною проблемою зараз практично не займаються, пов'язані з нею питання вивчені недостатньо й вимагають подальшого поглибленого дослідження.

У такий спосіб для підвищення ефективності утилізації теплових вторинних енергетичних ресурсів підприємства поряд з удосконалюванням системи обліку й планування їхнього використання необхідно вирішити ряд технічних і організаційних проблем. До них у першу чергу відноситься оцінка потенціалу невикористовуваного гідроресурсу і його параметрів, аналіз топології розміщення на підприємстві джерел теплоти, від чого залежить проектна потужність утилізуючого устаткування, розробка топології розосередження електрогенеруючих пристроїв.

Для рішення цілого комплексу питань, пов'язаних з гідроутилізацією, як засобом підвищення ефективності використання вторинної теплоти, необхідно: розробити відповідні методики оцінки потенціалу теплових викидів і обсягів можливої гідроутилізації механічної енергії потоків охолодної води, методику

вибору утилізуючого устаткування, виходячи з топології розміщення джерел теплових ВЕР; визначити місця раціонального розміщення використовуваних мікроГЕС. І все це повинне підтверджувати економічну доцільність генерації такої електроенергії.

#### 1.4 Стан сучасного розвитку малої гідроенергетики

Одним з перших видів гідроелектростанцій є мікро-ГЕС [14]. З початку 20-х років в Україні нараховувалося 84 гідроелектростанції загальною потужністю 4000 кВт, а наприкінці 1929 року - вже 150 станцій загальною потужністю 8400 кВт, серед них Вознесенська (840 кВт), Бузька (570 кВт), Сутиська (1000 кВт) та ін. 1934 року було введено в експлуатацію Корсунь-Шевченківську ГЕС (2650 кВт), яка за своїми технічними показниками була однією з найкращих станцій того часу.

У післявоєнний період електрифікація сільського господарства теж ґрунтувалася на збільшенні потужностей та поліпшенні техніко-економічних показників малих електростанцій.

На початку 50-х років кількість збудованих малих гідроелектростанцій в Україні становила 956 із загальною потужністю 30 тис. кВт. Однак через розвиток централізованого електропостачання та стійку тенденцію до концентрації виробництва електроенергії на потужних тепло- та гідроелектростанціях будівництво малих ГЕС було зупинено. Почалась їх консервація, демонтаж, сотні малих ГЕС було зруйновано.

Сьогодні в Україні збереглося всього 48 малих гідроелектростанцій, більшість яких потребує реконструкції. До них відносяться такі порівняно потужні станції, як Теремле-Рикська, Гайворонська, Корсунь-Шевченківська, Стеблівська, Ладжинська та інші.

Створена ще в 40-х роках номенклатура мікрогідротурбін містила в собі усі основні види, що застосовуються й до тепер. Із збудованих в 50-ті роки в СРСР шести тисяч ГЕС більшість належала до розглянутої категорії. Саме вони забезпечували житлово-побутові та виробничі потреби багатьох сільських населених пунктів та невеликих промислових об'єктів. Таким чином, хоча ми і маємо, з точки зору зазначеної енергетики, багате історичне минуле, зараз її необхідно створювати знову [15,16].

Проте в мікроенергетиці є ще один не менш перспективний й поки що зовсім не використовуваний напрямок. Це, звичайно ж, утилізація гідроенергетичних ресурсів, які перебувають у водотоках і скиданнях питного й виробничого водопостачання промислових підприємств, каналів, зрошувальних систем і каскадів водоймищ. Зрозуміло, що з погляду енергопостачання необхідно перш за все скоротити нераціональне використання водних ресурсів, що зменшить обсяг їх транспортування водотоками. Але істотний надлишок гідроенергії пов'язаний на виробництві все ж таки з реалізованими технологіями й конкретним багатоповерховим компонуванням устаткування.

### 1.5 Перелік існуючих засобів гідроенергоутилізації

Як було визначено, об'єми вторинної води можна порівняти зі стоком малих річок . Тому, для даного виду утилізації як найбільш доцільне генеруюче обладнання можуть розглядатися стандартні мікро - (до 100 кВт) і міні - (від 100 до 1000 кВт) ГЕС. Вони є надійним і екологічно чистим джерелом електричної енергії [17-19]. Можуть працювати як автономно в місцях, віддалених від ліній електропередач, так і паралельно з іншими мікро-ГЕС в локальну або промислову мережу. Вони мають такі переваги: придатні для тривалої експлуатації без ремонтів; як правило, поставляються одним або кількома скомпонованими блоками, що спрощує монтаж на місці установки;

мають максимально спрощену конструкцію з мінімальною кількістю регулюючих органів; потребують незначних витрат на установку і обслуговування в процесі експлуатації.

В даний час ряд вітчизняних та закордонних виробників випускають придатні для зазначених цілей мікро- і міні-ГЕС, а також пропонують широкий модельний ряд такого енергетичного устаткування. Їх номінальні параметри дозволяють утилізувати потік води практично будь-якого напору й витрати. Виходячи з особливостей конструкції і способу установки розрізняють вільнопоточні (застосовуються в основному в руслах річок) і заглибні мікро-ГЕС. Для реалізації проектів гідроутілізації в рамках підприємства краще використовувати останні, так як вони є більш маневреними з точки зору монтажу та підключення до мережі.

Проектуванням і розробкою устаткування для таких ГЕС займаються багато російських науково-виробничих організацій і фірм. Одна з найбільших - міжгалузеве науково-технічне об'єднання "ІНСЕТ" (Санкт-Петербург), що спеціалізується на розробці, серійному виготовленні і монтажі енергомодулів для малих і мікро-ГЕС. На теперішній час зазначеним підприємством створено широкий модельний ряд в кількості 34 гідроагрегата на напори від 3 до 450 м одиничною потужністю від 3 до 5000 кВт. Використання таких систем не вимагає постійної присутності на об'єкті обслуговуючого персоналу - гідроагрегат надійно працює в автоматичному режимі. Система керування виконана на базі контролера, що програмується. Це дозволяє візуально контролювати параметри гідроагрегата на екрані комп'ютера.

Гідроагрегати для малих і мікро-ГЕС, що випускають МНТО "ІНСЕТ", характеризуються високими енергетичними показниками й випускаються із пропелерними, радіально-осьовими й ковшовими турбінами (рис. 1.1). У комплект поставки входять, як правило, турбіна, генератор і система автоматичного керування гідроагрегатом. Проточні частини всіх турбін розроблені з використанням методу математичного моделювання. Мікро-ГЕС відповідного типу представлені на рисунку 1.2 (а, б).

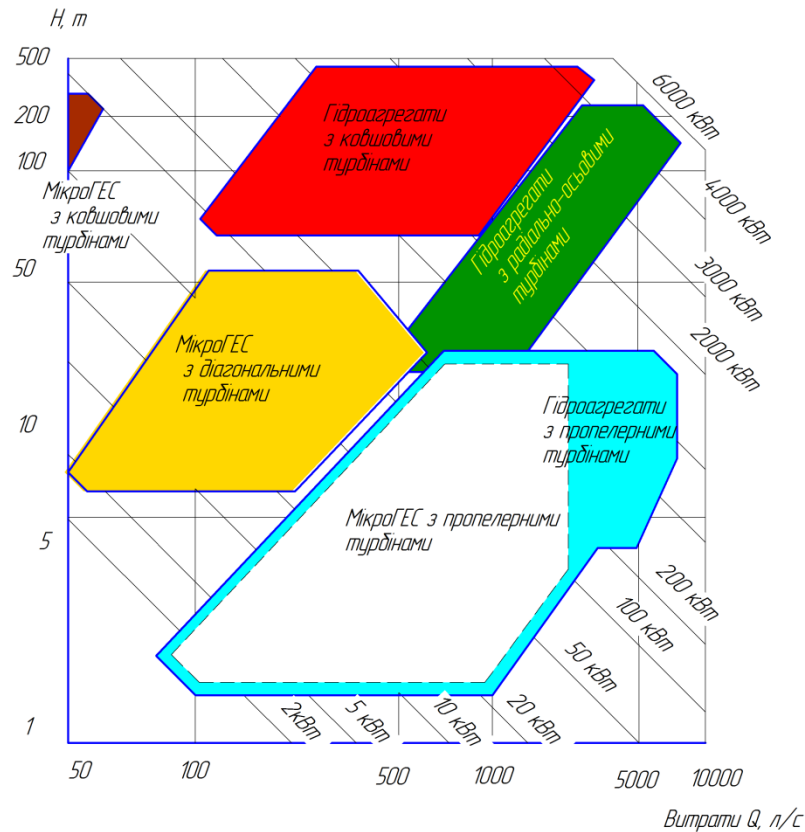
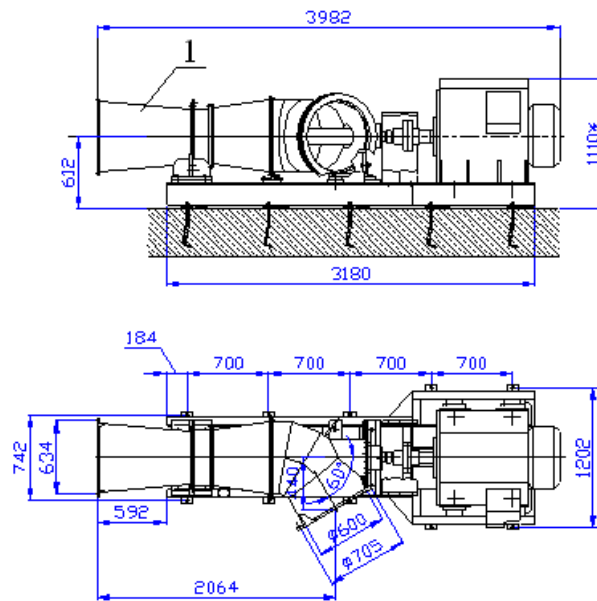
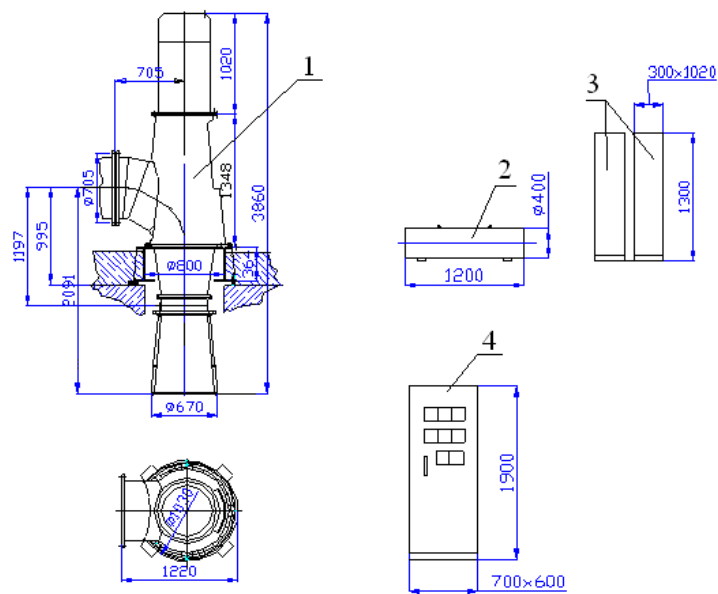


Рисунок 1.1 - Енергетичні характеристики гідроагрегатів МНТО «ІНСЕТ»

Проектуванням і розробкою устаткування для таких ГЕС займаються багато російських науково-виробничих організацій і фірм. Одна з найбільших - міжгалузеве науково-технічне об'єднання "ІНСЕТ" (Санкт-Петербург), що спеціалізується на розробці, серійному виготовленні і монтажі енергомодулів для малих і мікро-ГЕС. На теперішній час зазначеним підприємством створено широкий модельний ряд в кількості 34 гідроагрегата на напори від 3 до 450 м одиничною потужністю від 3 до 5000 кВт. Використання таких систем не вимагає постійної присутності на об'єкті обслуговуючого персоналу - гідроагрегат надійно працює в автоматичному режимі. Система керування виконана на базі контролера, що програмується. Це дозволяє візуально контролювати параметри гідроагрегата на екрані комп'ютера.



a)



б)

Рисунок 1.2 - Габаритні і установочні розміри пропелерної мікро-ГЕС 100 Пр

*a, б* - горизонтальна і вертикальна компоновка енергоблоку, відповідно:

*1* - енергоблок,

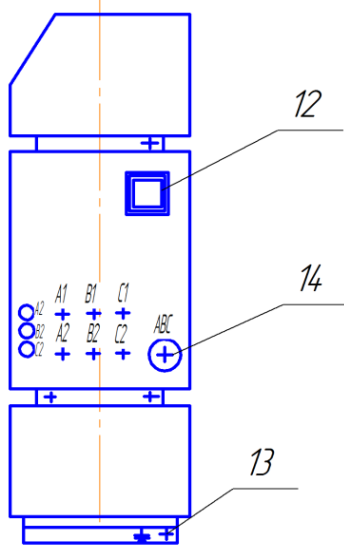
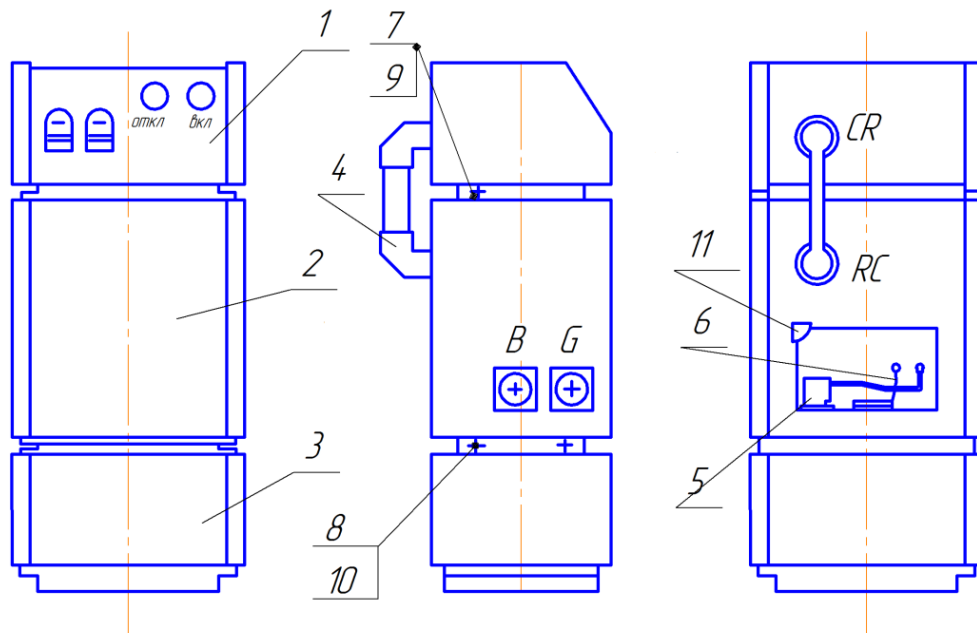
*2* – блок баластного навантаження з водяним охолодженням,

*3* – блок баластного навантаження з повітряним охолодженням,

*4* – пристрій автоматичного регулювання



Пристрій автоматичного регулювання більш докладно зображений на рисунку 1.3.



1. Пристрій керування (ПК).
2. Пристрій регулювання (ПР).
3. Пристрій збудження.
4. Кабель RC.
5. Кабель RCL
6. Перемичка.
7. Гвинт М4.
8. Гвинт М5.
9. Шайба 4.
10. Шайба 5.
11. З'ємна кришка з гравіруванням "RCL", "CRL".
12. Автоматичний вимикач.
13. Гвинт М8.
14. Розетка для підключення складної техніки.

Рисунк 1.3 - Пристрій регулювання напруги і частоти

До головних недоліків серійних мікро-ГЕС комплектного виконання можна віднести спрощену систему регулювання швидкості. За підвищених обертів (частоти) зайва потужність автоматично гаситься на баластному навантаженні. Широкому використанню таких агрегатів на водотоках систем

технічного водопостачання перешкоджає відсутність гідравлічних турбін для малих напорів – 1,5-3 м за досить великих витрат води – 2-10 м<sup>3</sup>/с.

Основні характеристики мікро-ГЕС представлені в таблиці 1.3 та 1.4.

Таблиця 1.3 - Основні технічні характеристики мікро-ГЕС із пропелерними турбінами виробництва МНТО «ІНСЕТ»

Параметри	Тип мікро-ГЕС					
	10Пр		15Пр	50Пр		100Пр
Потужність, кВт	0,6-4	2,2-10	3,5-15	10-30	10-50	40-100,0
Напір, м	2,0-4,5	4,5-10	4,5-12	2,5-6	4-10	6-18
Витрата, м <sup>3</sup> /с	0,07-0,14	0,1-0,21	0,1-0,3	0,3-0,8	0,4-0,9	0,5-1,2
Частота обертання, хв <sup>-1</sup>	1000	1500	1500	600	750	1000
Номінальна напруга, В	230		400	230, 400		230, 400
Номінальна частота струму, Гц	50					

Таблиця 1.4 - Основні технічні характеристики мікро-ГЕС із діагональною й ковшовою турбінами МНТО «ІНСЕТ»

Параметри	Тип мікро-ГЕС		
	20ПрД	100ДО	200ДО
Потужність, кВт	10 - 20	до 100	до 200
Напір, м	8-18	40-250	
Витрата, м <sup>3</sup> /с	0,080-0,170	0,015-0,046	0,015-0,130
Частота обертання, хв <sup>-1</sup>	1500	600; 750; 1000	
Номінальна напруга, В	230,400	230 , 400	
Номінальна частота струму, Гц	50	50	

Потоки із зазначеними характеристиками досить часто зустрічаються в багатьох галузях промисловості. Лише останніми роками на ці потенційні енергоресурси звернули увагу в гідромашинобудуванні. Але переважно за кордоном. Наприклад, в Фінляндії розпочато виробництво таких гідротурбін з напорами 1,5-3,5 м, які застосовуються в технічно-транспортних системах.

В Україні (ВАТ «Турбоатом») сертифіковане обладнання мікро-ГЕС створюється здебільшого на напори, що перевищують 5 м. При роботі з меншими напорами різко знижується ККД турбін, погіршуються можливості регулювання швидкості обертання. Отже, вибирати таке обладнання для роботи в умовах низьких напорів недоцільно.

Екологічність і економічність міні-енергетики вже давно привернули увагу іноземців. Мікро-ГЕС працюють у Японії, Південній Кореї, Бразилії, Гватемалі, Швеції, Польщі. Так, енергоефективне, високоякісне, але набагато дорожче вітчизняного обладнання комплектних (вертикальних) мікро-ГЕС виготовляє шведська фірма Flugt. Воно має ряд переваг і характеризується в першу чергу економічністю, достатньою керованістю, маневреністю, спроможністю працювати в паралель з мережею. Гідрогенератори цієї фірми є стандартними виробами модульної конструкції, що дозволяє пристосувати їх практично до всіх експлуатаційних умов у діапазоні витрат від 0,7 до 12 м<sup>3</sup>/с і в межах напорів від 2,5 до 20 м. При цьому їх номінальна потужність складає від 40 до 710 кВт (рис. 2.5). Заглибні гідротурбогенератори Flugt є агрегатами, що складаються з напівповоротно-лопастної турбіни, трифазного асинхронного генератора й, при необхідності, планетарного редуктора з великим терміном експлуатації. Цим компактним закритим турбоагрегатам не потрібні довгі вали і звичайні силові передачі. Такий гідротурбогенератор працює в повністю зануреному стані в простій вертикальній колоні й утримується на місці своєю власною масою. Він охолоджується проточною водою й може бути легко занурений і піднятий для технічного обслуговування.

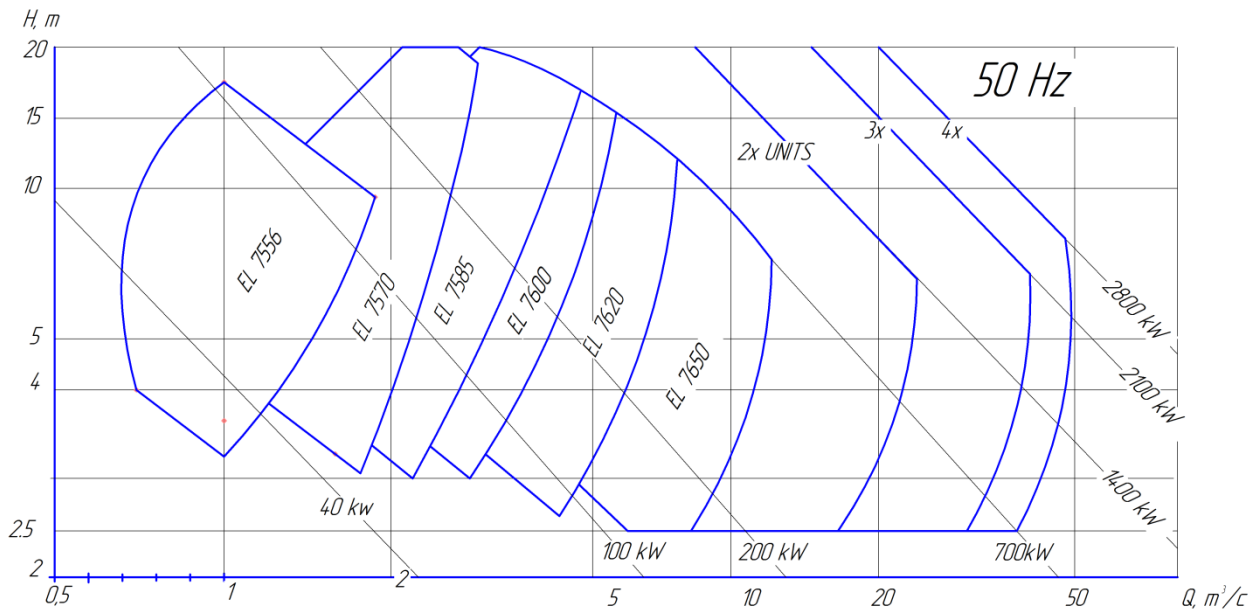


Рисунок 1.4 - Енергетичні характеристики гідроагрегатів Flugt

За принципом установки заглибні гідротурбогенератори призначені для розміщення у вертикальному положенні. Найменші моделі (EL 7556 і EL7570), а також типи EL7585 і EL7600 із прямим приводом, можуть бути також установлені і горизонтально або під нахилом.

Більш дешеве аналогічне обладнання виробляється фірмою Waterpumps Wp Oy (Фінляндія). Мікро-ГЕС потужністю 10-100 кВт з турбінами, розробленими на основі лопатевих насосів, виробляє чеський завод "Долні Бенешов". Їх основним недоліком є необхідність великих напорів (8-20 м), спричинена використанням у зворотних режимах насосних технологій.

Унікальні комплектні модулі ГЕС на напори від 1,3 м виробляються серійно фірмою SINK (Чехія). Вони найбільш придатні для утилізації енергії в системах водопостачання, навіть питної води. Комплекти оснащуються досконалою мікропроцесорною системою автоматичного регулювання вихідних параметрів генератора і забезпечують максимальний ККД гідромашин. В основному, останні працюють паралельно з електромережею. Гідротурбіни безкавітаційні і водночас є аераторами води. Поперечноструйні турбіни даного виробника найбільш конкурентоздатні і виготовляються на

основі п'яти базових (за діаметром) робочих колес, що дозволило майже без додаткових технологічних витрат виробляти понад 110 модифікацій гідромашин для застосування в конкретних умовах, але з високими значеннями ККД і необхідної зони регулювання режиму.

На жаль, поки що немає вітчизняних аналогів зазначених агрегатів, очевидно, у зв'язку з відсутністю їх розглянутого застосування. Якщо ж імпортувати більш придатне для даного виду гідроутілізації устаткування, то, якщо враховувати високу вартість останнього і діючу ставку митного збору, використання його стає економічно недоцільним.

#### 1.6 Аналіз водовикористання структурних одиниць гідротехнічного цеху ВП НАЕК «Запорізька АЕС»

Запорізька атомна електростанція ЗАЕС - найбільша в Європі і в Україні атомна електростанція, знаходиться на південному сході України в Кам'янсько-Дніпровському районі Запорізької області. Вона розташована поряд з тепловою електростанцією, що працює на органічному паливі (вугілля, мазут, газ). Взяті разом, Запорізька АЕС та Запорізька ТЕС утворюють потужний енергетичний комплекс, експлуатаційний персонал якого проживає в розташованому неподалік місті Енергодарі.

Енергодар - місто в північно-західній частині Запорізької області України. Розташований на лівому березі річки Дніпро, на узбережжі Каховського водосховища.

Місто було засноване 12 червня 1970, з початком будівництва Запорізької ДРЕС. У 1972 році отримав назву Енергодар. У 1981 почалося будівництво Запорізької АЕС, яка на сьогоднішній день є найбільшою АЕС у Європі.

У 1977 році у зв'язку із загостренням проблеми забезпечення енергією південних районів країни, Радою Міністрів СРСР було прийнято рішення про будівництво Запорізької АЕС, і з 1979 року вона стала головним будівництвом в серії атомних електростанцій, що будуються по уніфікованому проекту . У 1980 році був затверджений технічний проект першої черги Запорізької АЕС, а складі чотирьох енергоблоків з реакторами ВВЕР - 1000 сумарною потужністю 4000 МВт. Першого квітня покладений перший кубометр бетону в фундамент реакторного відділення першого енергоблоку, і в кінці 1982 року почався монтаж його реактора. У 1983 році споруди ЗАЕС було оголошено всесоюзним комсомольським будівництвом.

9 листопада 1984 перший енергоблок Запорізької АЕС потужністю один мільйон кВт почав виробляти енергію. Три наступних блоку вводилися в експлуатацію щорічно, так: другий - в 1985 році; третій енергоблок - в 1986 році; четвертий енергоблок - в 1987 році.

У 1988 році був запропонований проект розширення станції (друга черга), що передбачає будівництво ще двох енергоблоків з аналогічними реакторами. Так, в 1989 році почав працювати п'ятий енергоблок, а в жовтні 1995 року блок № 6.

Експлуатацію станції здійснює відокремлений підрозділ «Запорізька АЕС» (ВП ЗАЕС) державного підприємства Національна атомна енергогенеруюча компанія «Енергоатом» юридична особа, яка має відповідну державну ліцензію.

В ЗАЕС входить 56 промислових підрозділів і 26 непромислових підрозділів із загальною чисельністю працюючих понад 13 000 чоловік.

Призначення АЕС - вироблення електроенергії та забезпечення населення, а так же підприємств і заводів електроенергією та теплом. Для цього потрібно здійснити багато різних технологічних операцій, забезпечити безвідмовну та безпечну роботу складного обладнання.

### 1.6.1 Технологія вироблення електроенергії на АЕС

Атомна електростанція-електростанція, в якій атомна (ядерна) енергія перетворюється в електричну. Генератором енергії на АЕС (атомна електростанція) є атомний реактор. Тепло, яке виділяється в реакторі в результаті ланцюгової реакції ділення ядер деяких важких елементів, потім так само, як і на звичайних теплових електростанціях (ТЕС), перетворюється в електроенергію. На відміну від ТЕС що працюють на органічному паливі, атомна електростанція працює на ядерному пальному. Встановлено, що світові енергетичні ресурси ядерного пального (уран, плутоній і ін.) істотно перевищують енергоресурси природних запасів органічного палива (нафта, вугілля, природний газ і ін.). Це відкриває широкі перспективи для задоволення швидко зростаючих потреб в паливі. Крім того, необхідно враховувати об'єм вжитку вугілля, що все збільшується, і нафти для технологічних цілей світової хімічної промисловості, яка стає серйозним конкурентом теплових електростанцій. Не дивлячись на відкриття нових родовищ органічного палива і вдосконалення способів його видобутку, в світі спостерігається тенденція до відносного збільшення його вартості. Це створює найбільш важкі умови для країн, що мають обмежені запаси палива органічного походження. Очевидна необхідність якнайшвидшого розвитку атомної енергетики яка вже займає помітне місце в енергетичному балансі низки промислових країн світу.

Переважає більшість енергетичних реакторів працюють на збагаченому урані 235 і 238. Для підтримки керованої цінної реакції в ядерному реакторі використовуються сповільнювачі: графіт, важка вода, берилій. Ядерне паливо в реакторі знаходиться у вигляді ТВЕЛ (тепловиділяючих елементів), ТВЕЛі об'єднані в тепловиділяючі збори ТВЗ. Кількість ТВЗ в реакторі 163. Виділене тепло від реактора переноситься важка вода за допомогою ГЦН (головний циркуляційний насос до теплообмінника-парогенератору, потім, віддавши частину тепла, повертається в реактор. В парогенераторі вода 1 контуру віддає

тепло воді 2 контуру, яка, підігрівшись, переходить в пароподібний стан. У парогенераторі відбувається поділ 1 і 2 контуру (вода 1 і 2 контуру не змішується) тому принципом станція відноситься до 2-х затурного типу. До складу основного обладнання 1 контуру входить:

- ядерний реактор ВВЕР - 1000;
- компенсатор тиску (КТ);
- 4 головних циркулярних насоса (ГЦН);
- 4 парогенератора (ПГ);
- 4 петлі теплообміну.

До складу основного обладнання 2 контуру входить:

- турбіна;
- сепаратор парогенератора (СПГ);
- генератор;
- конденсатор турбіни;
- конденсаторні насоси 1 і 2 ступеня;
- блокова знесолюючих установка (БЗУ);
- підігрівачі потрібного тиску (ППТ);
- деаератор;
- турбінно-живильний насос (ТПН);
- конденсатор;
- підігрівачі високого тиску.

Контур умовно починається з парогенератора (ПГ). Свіжий пар надходить на турбіну, турбіна має циліндр високого тиску (ЦВТ) і три циліндра низького тиску (ЦНТ). На трубопроводі від парогенератора до турбіни знаходиться швидкодійний редуційний пристрій скидання пари в атмосферу, призначений для скидання тиску пари в атмосферу у випадку аварійної зупинки турбіни. Пар після парогенератора подається в циліндр високого тиску, приводить в обертання турбіну, потім виходить з ЦВТ і потрапляє в сепаратор парогенератора. Пар, відпрацювавши в ЦВД ще має



досить високу температуру, тому його можна ще використовувати для подачі на лопатки турбіни. У сепараторі пароперегрівів відпрацьований пар з ЦВТ підігрівається, з нього віддаляється конденсат і подається на ЦНТ. Тут пар подається на 2 шабелі турбіни і теж здійснює роботу аналогічну як в ЦВТ. До валу турбіни жорстко закріплений ротор генератора: обертаючись із швидкістю обертання турбіни генератор, виробляє електроенергію. Після цього, як пар відпрацював в ЦНТ він потрапляє в конденсатор турбіни. У конденсаторі турбіни пар конденсується (охолоджується) і перетворюється на воду. Пара проходить через систему охолоджених труб і на них охолоджується у вигляді крапель води, потім конденсат збирається на дні конденсатора. Вода в систему охолодження подається зі ставка-охолодження за допомогою циркуляційних насосів. Після конденсатора вода конденсатним електронасосами КЕН 1 шаблі подається на блочну знесолюючу установку (БЗУ). На БЗУ вода проходить через фільтр, очищається від механічних часток і з води видаляються солі та інші хімічні домішки. Після БЗУ вода прокачується КЕНами 2 шаблі. Для підвищення ККД вироблення електроенергії вода підігрівається в 4 ступенях підігріву ППТ-підігрівач потрібного тиску. Для підігріву води використовується пар. Після ППТ вода потрапляє в деаератор; в деаераторі з води видаляється розчинений кисень. Після деаератора воду качають турбінно-живильні насоси ТЖН. Після ТЖН вода підігрівається ще в підігрівачі високого тиску ПВТ. Після виходу з ПВТ температура води досить висока +235 С і тиск 75кгс/см. Вода надходить в парогенератор, підігрівається водою 1 контуру, перетворюється на пару і подається на турбіну.

Автоматизована система управління АЕС призначена для управління основним і допоміжними технологічними процесами виробництва теплової та електричної енергії на АЕС. АСУ повинна забезпечувати працездатність, надійність і безпеку АЕС при збереженні її економічності. АСУ - це система, що охоплює все обладнання і технологічні процеси. Відповідно з організаційною структурою в АСУ виділяється два рівні управління - загальностанційне і енергоблоків.

На загальностанційному рівні вирішуються завдання зв'язку та обміну інформацією з вищестоящою АСУ, прийом від неї команд і завдань, а також формування завдань окремим енергоблоків і видача в системи управління кожного енергоблоку відповідних команд.

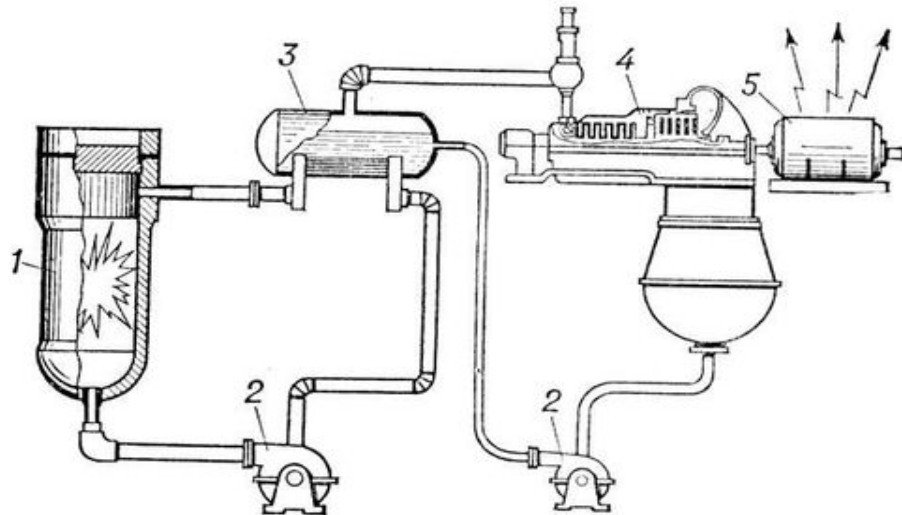
Крім того, на загальностанційному рівні здійснюється управління електричними пристроями, координація роботи загальностанційних установок, оперативний контроль за радіаційною безпекою ВП ЗАЕС. АСУ ВП ЗАЕС виробляє обчислення та видачу зведених даних про роботу станції на окремі періоди; функціонує як єдина система, що передбачає уніфікацію сигналів передачі інформації і команд, конструктивних, економічних і організаційних рішень, забезпечення взаємної сумісності всіх її підсистем.

В інформаційній частині АСУ здійснює такі функції: збір інформації, її перетворення, розподіл, обробка, подання інформації оперативному персоналу та її протоколювання. При цьому здійснюється вимірювання наступних параметрів:

- теплотехнічних (тиск, температура, рівень, витрата, різниця цих параметрів);
- електричних (напруга, струм, частота напруги, споживана потужність);
- хімічних (солеміст, концентрація, і т.д.);
- механічних величин (переміщення, вібрації, розширення);
- радіаційних (радіоактивність технологічних середовищ, газів, матеріалів і т.д.).

Керуючі функції АСУ призначені для виконання дистанційного і автоматичного управління, автоматичного регулювання, захистів, оптимізації управління.

Технологія вироблення електроенергії на АЕС зображена на рисунку 1.5



1-ядерний реактор, 2-циркуляційний насос, 3-теплообмінник, 4-турбіна, 5-генератор електричного струму.

Рисунок 1.5 - Технологія вироблення електроенергії на АЕС

1.6.2 Призначення головної схеми блоку, її основні елементи, режими експлуатації

Головна схема електричних з'єднань - це сукупність основного устаткування (генератор, трансформатор), збірні шини, комутаційної та іншої первинної апаратури з усіма виконаними між ними в натурі з'єднаннями. Вибір головної схеми є визначальним при проектуванні електричної частини електростанцій, так як він визначає повний склад елементів і зв'язків між ними. Обрана головна схема є вихідною при складанні принципівих схем електричних з'єднань, схем власних потреб, схем вторинних з'єднань і т.д.

Спрощена схема видачі потужності енергоблоку представлена на рисунку 1.6.

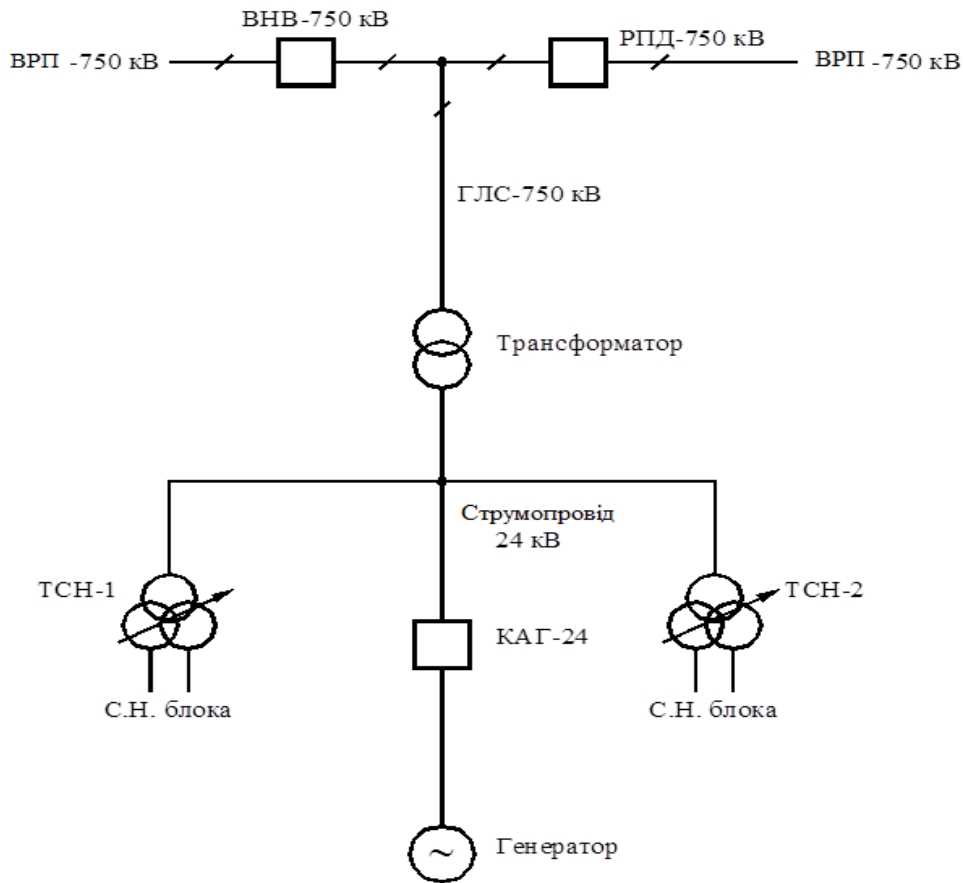


Рисунок 1.6 - Спрощена схема видачі потужності енергоблоку

Електрична схема ЗАЕС побудована за блоковим типом. Паралельний режим роботи турбогенераторів здійснюється тільки на підвищеній напрузі РУ станції. Турбогенератори через що підвищують групи однофазних трансформаторів під'єднуються до РУ підвищеної напруги станції. Схема видачі потужності призначена для виробництва, перетворення, передачі і видачі електроенергії в енергосистему.

У схему видачі потужності блоку входить електричне обладнання:

- генератори з системою збудження;
- струмопроводи 24 кВ з генераторним вимикачем КАГ-24;
- силовий трансформатор блоку;
- силові трансформатори власних потреб;
- гнучкі лінійні зв'язку 750 кВ.

Надійність, економічність, маневрені властивості АЕС багато в чому визначається її схемою видачі потужності.

Для Запорізької електростанції проектом обрана схема видачі потужності для шести енергоблоків по 1000 МВт на ВРП з напругою 750 кВ, двома системами шин і компонованням 4/3 (чотири вимикача на три приєднання) з однолінійним розташуванням вимикачів, через три повітряні лінії електропередач 750 кВ і автотрансформатор зв'язку 750/330 кВ і лінію електропередачі 330 кВ на ВРП-330 кВ Запорізької ТЕС.

Режим експлуатації обладнання головної схеми енергоблоку визначається режимом роботи енергоблоку (реактор, турбіна), вимог нормативних документів, що необхідно враховувати персоналу під час ремонту

### 1.6.3 Опис складових елементів гідроцеху

Гідротехнічні споруди циркуляційної системи технічного водопостачання призначені для відведення нагрітої циркуляційної води від конденсаторів турбін, допоміжного обладнання турбінних відділень і обладнання невідповідальних споживачів станції. Охолодження і підведення охолодженої води до блокових насосних станцій. Підтримання проектного рівня в циркуляційної системі технічного водопостачання. Підтримання необхідної якості циркуляційної води. До складу оборотної системи циркуляційного технічного водопостачання входять наступні гідротехнічні споруди і об'єкти:

Відкритий об'єднаний підвідний канал до блокових насосних станцій енергоблоків.

Блокові насосні станції енергоблоків.

Закриті підземні стічні канали від кожного енергоблоку до відкритого скидного каналу, з переходом у вигляді дюкерів під днищем відкритого підвідного каналу, для відводу відпрацьованої циркуляційної води.

Відкритий скидний канал відводу циркуляційної води в ставко-охолоджувач і до насосних станцій бризкальних басейнів.

Дві сполучні споруди №1 і №2 з струморозподільними дамбами для підтримки проектного рівня води у відкритому скидному каналі, гасіння енергії води на перепаді рівнів між відкритим скидним каналом і ставко-охолоджувачем і рівномірного розподілу потоків, що надходять в ставко-охолоджувач.

Розподільчий канал до насосних станцій бризкальних басейнів (продовжити поточну скидного каналу).

Насосні станції бризкальних басейнів № 1,2 в кількості 42 шт.

Два бризкальних басейну № 1,2 з бризкальними установками.

Кабельні траси по ГТС.

Ставок-охолоджувач, відокремлений наливний греблею від Каховського водосховища.

Канал підживлення ставка-охолоджувача.

Спорудження підживлення ставка-охолоджувача.

Спорудження продувки ставка-охолоджувача.

Насосна станція подачі води на градирні та бризкальні басейни.

Дві баштові градирні та два бризкальних басейну з бризкальними установками, розташовані на греблі ставка-охолоджувача.

Відвідний канал від градирень і бризкальних басейнів на греблі ставка-охолоджувача з сполучаються спорудою і переходом дюкером під днищем відкритого скидного каналу, для підведення води у відкритий підвідний канал. Ставок-охолоджувач є елементом комплексу гідротехнічних споруд циркуляційної системи технічного водопостачання Запорізької АЕС. Ставок-охолоджувач призначений для: - охолодження нагрітої циркуляційної води шляхом теплообміну з атмосферою за площею водного дзеркала; - підтримки проектного рівня в циркуляційної системі технічного водопостачання; - підтримання необхідної якості циркуляційної води. Параметри та технічні характеристики гідроцеху зазначено в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 - Параметри та технічні характеристики гідроцеку

№ з/п	Найменування об'єкту, параметри, одиниці вимірювання	Значення
1	2	3
1	Відкритий підвідний канал	
1.1	Пропускна здатність, м <sup>3</sup> /с	330
1.2	Довжина до БНС № 6, км	2,2
1.3	Глибина максимальна, м	6
1.4	Ширина по дну каналу: початок, м кінець, м	100,0 8,0
1.5	Ухил дна каналу: в началі, м кінець, м	0,0087 0,0003
1.6	Відмітка дна каналу (Б.С.): на початку, м в кінці, м	12,01 9,65
2	Закриті скидні канали	
2.1	Розміри поперечного перерізу (ширина і висота), м	6,0 x 4,0
2.2	Загальна довжина, м	240,0
2.3	Довжина дюкера, м	166,5
2.4	На блоці № 6 дюкер має на 180 м більшу протяжність	
2.4	Відмітка днища (Б.С.): горизонтальної ділянки блоків 1-2, м горизонтальної ділянки блоків 3-6, м в середині дюкера, м	14,40 14,00 5,93
2.5	Розрахункова пропускна здатність, м <sup>3</sup> / с	49,6

Продовження таблиці 1.6

1	2	3
2.6	Розрахункова швидкість води, м / с	2,7
3	Відкритий скидний канал	
3.1	Розрахункові витрати води в каналі для 6 енергоблоків, м <sup>3</sup> /с	330
3.2	Максимальний рівень води у сполучних споруд при роботі енергоблоків (Б.С.), м	19,20
3.3	Загальна довжина, включаючи розподільний канал, м	5912
3.4	Відмітка дамби каналу, м	20,00
3.5	Відмітка дна каналу (Б.С.): на початку, м в кінці, м	13,50 12,00
3.6	Ширина по дну каналу: на початку, м в кінці, м	20,0 75,0
4	Сполучні споруди	
4.1	Довжина водозливної фронту, м	55,0
4.2	Відмітка верху переливної стінки (Б.С.), м	18,0
4.3	Розрахункова витрата води, м <sup>3</sup> / с	110,0
5	Струменерозподільчі дамби	
5.1	Ширина струменерозподільчої дамби: по гребеню, м по підосві, м	5,0 30,5
5.2	Найбільша висота дамби, м	3,5
5.3	Довжина, м	148
5.4	Ухил укосів: верхнього нижнього	1:1,5 1:1,2



Продовження таблиці 1.6

1	2	3
5.5	Відмітка гребеня (Б.С.), м	16,00
6	Розподільчий канал уздовж бризкальних басейнів	
6.1	Довжина каналу, м	3950
6.2	Ширина по дну каналу: на початку, м в кінці, м	75,0 50,0
6.3	Відмітка дна каналу на початку (Б.С.), м	12,37
7	Бризкальні басейни № 1,2	
7.1	Ширина по дну, м	100,0
7.2	Довжина бризкальних басейнів № 1 і № 2, м	3328; 3945
7.3	Розрахунковий витрата бризкальних басейну, м <sup>3</sup> / год	110
7.4	Ухил укосів	1:4
7.5	Відмітка дна бризкальних басейнів № 1 і № 2 (Б.С.): на початку, м в кінці, м	12,88; 12,50 12,50; 12,01
8	Ставок - охолоджувач	
8.1	Відмітка НПУ (Б.С.), м	16,50
8.2	Площа водного дзеркала при НПУ, км <sup>2</sup>	8,2
8.3	Обсяг при НПУ, млн.км <sup>3</sup>	47,05
8.4	Максимальна глибина, м	13,5
8.5	Середня глибина, м	5,87
8.6	Довжина берегової лінії, км	11,2
9	Гребля ставка-охолоджувача	
9.1	Середні оцінки гребеня (Б.С.), м	18,50 - 19,80
9.2	Довжина по гребеню (включаючи дамбу вантажного причалу), км	6,5

Продовження таблиці 1.6

1	2	3
9.3	Ширина по урізу води, м	216-590
9.4	Закладання укосів біля підніжжя Закладання укосів у підшви в зоні хвильового впливу	1:6 - 1:7 1:40 - 1:45
9.5	Матеріал тіла греблі	пісок
10	Канал підживлення і спорудження підживлення ставка-охолоджувача	
10.1	Довжина каналу, км	1,2
10.2	Ширина по дну, м	3,0
10.3	ухил укосів	1:3
10.4	Робочі позначки води в каналі (Б.С.), м	17,0 - 17,5
10.5	Розміри водопропускних вікон споруди підживлення (2 шт), м	4,2 x 3,0
10.6	Відмітка порога перед спорудою підживлення (Б.С.), м	13,50
10.7	Розрахункова пропускна здатність, м <sup>3</sup> / с	25,0
11	Спорудження продувки ставка-охолоджувача	
11.1	Ширина водопропускних вікон (2 шт), м	3,0
11.2	Висота плоских затворів, м	5,5
11.3	Відмітка верху затворів (Б.С.), м	18,50
11.4	Розрахункова пропускна здатність споруди, м <sup>3</sup> / с	20,0
12	Бризкальні басейни на греблі ставка-охолоджувача	
12.1	Площа зрошення одного басейну, м <sup>2</sup>	70000
12.2	Витрата води на басейн, м <sup>3</sup> / год	43200
12.3	Глибина води в басейні Західного, м	0,5-0,6
13	Градирні	
13.1	Висота витяжної вежі, м	120,0
13.2	Висота воздуховодних вікон, м	10
13.3	Площа зрошення однієї градирні, м <sup>2</sup>	5300

Продовження таблиці 1.6

1	2	3
13.4	Щільність зрошення, м <sup>3</sup> / м <sup>2</sup> • год	8,15
13.5	Витрата води на одну градирню, м <sup>3</sup> / год	43200
13.6	Теплова потужність у режимі, Мкал / год	500000
14	Відвідний канал від градирень	
14.1	Довжина, м	3150
14.2	Ширина по дну, м	10,0
14.3	Максимальна глибина, м	6,0
14.4	ухил укосів	1:3

До складу гідротехнічних споруд ставка-охолоджувача входять: безпосередньо ставок-охолоджувач; гребля ставка-охолоджувача; канал підживлення ставка-охолоджувача; спорудження підживлення ставка-охолоджувача; спорудження продувки ставка-охолоджувача.

Споруди ставка-охолоджувача відносяться до 4 класу небезпечності, елементів систем нормальної експлуатації - (4Н). Ставок-охолоджувач споруджений шляхом вигороджування частини площі Каховського водосховища наливний піщаної греблею і має наступні проектні характеристики: - тип озерно-ставкової; - експлуатується окремо від водотоку (р. Дніпро); - нормальний проектний рівень 16,50 м (Б.С.); - площа дзеркала при НПУ - 8,2 км<sup>2</sup>; - обсяг при НПУ - 47,05 млн. м<sup>3</sup>; - середня глибина при НПУ - 5,87 м; - максимальна глибина при НПУ - 13,5 м; - довжина берегової лінії - 11,2 км; - коефіцієнт охолоджуючої здатності  $K = 0,78$ ; - максимальна фактична висота хвиль - 1,2 м; - льодовий покрив відсутній; - термін та інтенсивність замулення проектом не визначені; - чаша ставка-охолоджувача складена в основному дрібнозернистими пісками

Гребля ставка-охолоджувача. Гребля споруджена методом наливу з дрібнозернистих пісків, розроблених в чаші ставка-охолоджувача, і має

наступні проектні характеристики: довжина греблі - 6,5 км; ширина - 400-600 м; відмітка гребеня - 18,50-19,80 м (Б.С.); закладення укосів в зоні хвильового впливу - 1:40 - 1:45; закладення укосів у підшви - 1: 6 - 1: 7.

Для захисту від вітрової ерозії укоси і гребінь дамби закріплені чагарниковою рослинністю і деревами. Берегова смуга для захисту від розмиву з боку вантажного порту виконана у вигляді кам'яної начерки. З боку ставу-охолоджувача берегова смуга укріплена у вигляді кам'яної начерки в районі сполучають споруд №1 і №2, а також в районі водоприймального ковша насосної станції подачі води на градирні та бризкальні поля.

Канал підживлення ставка-охолоджувача. Канал підживлення призначений для пропуску технічної води з скидного каналу Запорізької ТЕС в ставок-охолоджувач.

#### 2.3.4 Спорудження підживлення.

Спорудження підживлення ставка - охолоджувача призначене для пропуску та регулювання витрати води з відкритого скидного каналу Запорізької ТЕС в ГТС циркуляційної системи Запорізької АЕС для компенсації безповоротних втрат і підтримки нормального проектного рівня (НПУ) ставка - охолоджувача.

#### 2.3.5 Спорудження продувки.

Спорудження продувки ставка-охолоджувача призначене для пропуску води зі ставка-охолоджувача в Каховське водосховище, з метою підтримки необхідної якості води в циркуляційній системі.

#### 2.4 Рівні води визначаються в метрах (м) абсолютних відміток (Б.С.) по рейках для контролю рівня води. Застосовувані ЗВТ повинні бути справні, повірені, відкалібровані і мати позначку про перевірки, калібрування в установленому порядку. Замість зазначених допускається застосування інших ЗВТ, з аналогічними або кращими метрологічними характеристиками.

Насосні станції бризкальних басейнів є елементом комплексу охолоджувачів оборотної води циркуляційної системи технічного водопостачання Запорізької АЕС і призначені для подачі нагрітої циркуляційної води на розбризкують пристрою бризкальних установок з метою її охолодження. Охолодження води на розбризкуючих пристроях здійснюється в результаті спільної дії двох процесів: тепловіддачі конвекцією при контакті

води з повітрям і відбору тепла за рахунок часткового випаровування. 2.2 До складу системи входять 42 бризкальних модуля, кожен з яких складається з насосної станції і бризкальних установки. У кожній насосній станції встановлено електронасосний агрегат (0UL10D01-0UL10D42), трубопроводи та арматура обв'язки насосного агрегату (1-42UL10S01,03,04,05,06), механічні фільтри охолоджуючої води (1-42UL10N02,03), ЗВТ.

Електронасосний агрегат ОВ2-110МБК насосної станції 0UL10D25 виведений з експлуатації відповідно до технічного рішення 00.ГЦ.00.ТР11460 від 29.09.2015 «Про зміну умов експлуатації електронасосні Агрегати ОВ2-110МБК насосної станції 0UL10D25» в зв'язку з використанням бризкальних басейну 0UL10D25 для проведення робіт по водно-біологічній меліорації ставка-охолоджувача і очищення циркуляційної води згідно технічного рішення 1-4.ГЦ.ВС.Тр.5473 від 29.12.98 «Про використання експериментальних бризкальних басейнів». 2.4 За впливом обладнання на безпеку АЕС, обладнання насосних станцій бризкальних басейнів циркуляційної системи відноситься до класу безпеки 4Н по [Б.1].

Насосні станції розташовані вздовж розділових дамб між розподільним каналом (що є продовженням відкритого скидного каналу) і бризкальними басейнами. Насосна станція складається з підводної споруди, підземної та надземної частин. У підвідному спорудженні перед аванкамер насоса встановлена сміттєстрімна решітка. Бризкальна установка складається з магістрального трубопроводу змінного діаметра (Ду 1600 мм, Ду 1400 мм) який над поверхнею бризкальних басейну розгалужується на п'ять променів трубопроводів змінного діаметра (Ду 1000 мм, Ду 800 мм, Ду 600 мм), розташованих перпендикулярно осі каналу до встановлених на них розбризкувальними пристроями (соплами). В кожній насосній станції встановлено насос типу ОВ2-110МБК - осьовий вертикальний, в моноблочному виконанні.

Технічні характеристики насосу:

- подача води, м<sup>3</sup> / год .. ... 18000;

- допустимий кавітаційний запас, м ..... 12;
- напір, м ... ..... 15;
- потужність насоса, кВт ... ..... 950;
- частота обертання, об / хв ... ..... 485;
- ККД насоса,% ..... 84;
- кількість профільованих лопатей ..... 5;
- маса насоса, кг ... ..... 14160.

Насос складається з наступних складальних одиниць: корпусних частин (кільце закладний, кільце перехідне, кільце притискне, камера робочого колеса, апарат виправляється, відведення з дифузором, ліхтар, вал), вузла п'яти сальника, сальникового ущільнення валу, муфти, нижнього підшипника, робочого колеса. Вузол п'яти сальника призначений для сприйняття опорним сферичним підшипником осьового зусилля ротора насоса і передачі його на відведення насоса, а також для ущільнення валу насоса на виході з відведення.

Опорний сферичний підшипник (№9039452) внутрішнім кільцем запресований на вал насоса, а зовнішнім кільцем спирається на ліхтар, який укріплений на відведення насоса. Для змащення опорного підшипника маслованна заповнюється маслом турбінним ТП-30 по [Б.2], місткість маслованни до рівня, зазначеного на масломірній трубці - 20 літрів.

Температура охолоджуючої води повинна бути не вище 33 °С, тиск в межах від 2,5 до 3,0 кгс / см<sup>2</sup>. У холодну пору року, коли температура води у відкритому скидному каналі нижче 33 °С, для охолодження обладнання може використовуватися перекачується вода, для чого в насосних станціях на напірному трубопроводі виконані відгалуження з запірною арматурою і фільтром.

У кожній насосній станції встановлено вентиляційні отвори з клапанами для природної вентиляції приміщення. У кожній насосній станції і РУСН встановлені електричні обігрівачі типу ПЕТ-4, «ОНІКС»

Лінійні гідротехнічні споруди призначені для:

- відведення нагрітої циркуляційної води від конденсаторів турбін, допоміжного обладнання турбінних відділень і обладнання невідповідальних споживачів станції;

- охолодження і підведення охолодженої води до блокових насосних станцій;

- підтримки проектного рівня в циркуляційній системі технічного водопостачання;

- підтримання необхідної якості циркуляційної води.

У комплекс лінійних гідротехнічних споруд входять наступні об'єкти:

- закриті стічні канали блоків 1-6;
- дюкери з вихідними оголовками блоків 1-6;
- відкритий скидний і розподільний канал;
- сполучають споруди №1 і №2;
- дамби №1 і №2;
- ставок - охолоджувач з греблею;
- бризкальні басейни №1 і №2;
- баштові градирні № 1 і № 2;
- бризкальні басейни № 1 і № 2 на греблі ставка-охолоджувача;
- відвідний канал від градирень і бризкальних басейнів на греблі ставка-охолоджувача;
- спорудження та дюкер з вихідним оголовком відвідного каналу від градирень і бризкальних басейнів;
- відкритий підвідний канал;
- канал підживлення ставка-охолоджувача з спорудами на ньому;
- спорудження продувки ставка-охолоджувача.

Коротка характеристика гідротехнічних споруд. Закриті скидні канали призначені для відводу нагрітої циркуляційної води у відкритий скидний канал. Тип конструкції - закритий залізобетонний канал. Ґрунти підстави - пісок. Матеріал - монолітний залізобетон в блок-секціях, бетон гідротехнічний. Пропускна здатність 49,6 м<sup>3</sup> / с на блок, швидкість води 2,7 м / с.

Основні розміри: довжина - 240,0 м; ширина - 6,0 м; висота - 4,0 м. Гідроізоляція зовнішньої поверхні - бітумна. Закриті скидні канали блоків № 1-2 додатково мають по три зливних колодязя.

Дюкери з вихідними оголовками блоків 1-6. Дюкери є продовженням закритих скидних каналів в місцях перетину з відкритим каналом, вихідні оголовки - вузли сполучення з відкритим скидних каналом. Грунти підстави - пісок. Матеріал: днище з монолітного залізобетону, стіни блок-секції, заповнені залізобетоном, перекриття - збірні ребристі плити розміром 3 м на 6,36 м і монолітні ділянки з бетону. Тип конструкції - закритий залізобетонний канал прямокутного перетину. Основні розміри: довжина - 166,5 м на блок, ширина 6,0 м, висота - 4.0 м.

На блоці № 6 дюкер має на 180 м велику протяжність і два горизонтальних повороту під кутом 45°. Температурно-осадові шви передбачені через 18-27 м, ущільнення швів з профільної гуми шириною 0,25 м і металевої шпонки. Оголовок призначений для сполучення з відкритим каналом і відключення закритого скидного каналу з дюкером.

Відкритий скидний канал і розподільний канал (є продовженням відкритого скидного каналу вздовж бризкальних басейнів) призначений для відводу нагрітої циркуляційної води в ставок-охолоджувач і в бризкальні басейни № 1 і № 2 Тип конструкції - відкритий, трапецеїдального перетину. Грунти підстави - пісок. Сумарна пропускна здатність - 330 м<sup>3</sup> / с. Основні розміри:

- загальна довжина, включно з розподільний канал 5912 м;
- ухил 0,0001;
- відмітка дна на початку каналу 13,50 м, в кінці каналу 12,00 м;
- відмітка дамби каналу 20,00 м;
- ухил укосів 1: 3.

Кріплення каналу різне, в залежності від гідравлічних умов - монолітний залізобетон БГТ М-200 товщиною 0,2 м, кам'яне накидання товщиною 0,4 м на зворотному фільтрі з щебеню товщиною 0,2 м.



Розподільчий канал уздовж бризкальних басейнів. Основні розміри:

- довжина каналу 3950 м;
- відмітка дна на початку каналу 12,00 м.

Тип конструкції - триступеневий перепад з полігональним в плані водозливом у вигляді тонкої стінки. Ґрунти підстави - пісок. Матеріал - монолітний залізобетон. Пропускна здатність 50 - 110 м<sup>3</sup> / с при рівнях води 18,60 - 19,20 м (Б.С.). Довжина водозливної фронту 55,0 м кожного водозливу.

Деформаційні шви виконані уздовж переливних стінок і по флютбета біля укосів. Кріплення нижнього б'єфу після рісберми виконано кам'яною накидкою товщиною 0,5 м на зворотному фільтрі з щебеню. Дамби №1 і №2 призначені для рівномірного розподілу потоків, які скидаються в ставок-охолоджувач після зливу через сполучають споруди.

Тип конструкції - підводний кам'яно-накидна гребля на зворотному фільтрі з щебеню. Матеріал: гранітний камінь розміром 15-30 см. Основні параметри: відмітка верху дамби - 16,00 м (Б.С.); довжина - 148,0 м; ширина по верху - 5,0 м, ухил верхнього откоса 1: 1,5; ухил нижнього укосу 1: 1,5; 1: 1,2. Питання експлуатації ставка-охолоджувача детально розглянуті в [Б.4].

Відкритий підвідний канал призначений для підведення охолодженої циркуляційної води до БНС. Тип конструкції – відкритий. Сумарна пропускна здатність 330 м<sup>3</sup> / с. Основні розміри: довжина до БНС № 6 - 2,2 км; ширина по дну - 100 м, зі звуженням до 30 м; глибина максимальна - 6 м. Матеріал кріплення укосів - щебінь, кам'яна накидка. Монолітний залізо-бетон в межах АЕС.

Канал підживлення ставка-охолоджувача призначений для поповнення втрат води в ставку-охолоджувачі. Розрахункова витрата каналу - 25,0 м / с при швидкості води 1,4 м / с. Ґрунти підстави - пісок. Матеріал кріплення укосів - щебінь товщиною 0,1-0,2 м. Основні параметри: ширина по дну - 3,0 м; довжина - 1,2 км; ухил укосів 1: 3.

Баштові градирні та бризкальні басейни на греблі ставка-охолоджувача є елементами комплексу гідротехнічних споруд циркуляційної системи

технічного водопостачання Запорізької АЕС призначені для охолодження нагрітої циркуляційної води шляхом теплообміну з атмосферою. Охолодження води здійснюється в результаті спільної дії двох процесів: тепловіддачі конвекцією при контакті води з повітрям і відбору тепла за рахунок часткового випаровування. Основні конструктивні елементи баштової градирні: витяжна вежа, водозбірний басейн, водорозподільна система, зрошувач, водоуловлювач.

Зі ставка-охолоджувача вода насосною станцією подається до кожної з двох градирень за індивідуальним циркуляційного водоводу  $D_u = 2400$  мм. Безпосередньо в вежі підведення розділений на два водоводи змінюється діаметра від  $D_u = 2000$  до  $D_u = 1200$  мм, до яких вертикально підключені 8 стояків  $D_u = 1200$  для підйому води в водорозподільчу зону. Верхні торці стояків обладнані постійно відкритими воздушником з патрубків трубопроводів  $D_u = 200$  мм. У водорозподільній зоні на позначці +13,90 м до стояків підключені кільцеві магістральні трубопроводи  $D_u = 800$  мм, до яких в свою чергу приєднані робочі трубопроводи  $D_u = 200$  мм для розведення води по всій площі зрошення градирні. На градирні № 1 трубопроводи  $D_u = 200$  мм - сталеві, на градирні № 2 - поліетиленові. Водорозподільна система градирень обладнана пластмасовими розбризкувальними соплами розтрубного типу СР-2 з діаметром вихідного отвору 28 мм. З метою зниження ступеня засмічення водорозподільної системи, в кінцях робочих трубопроводів по контуру витяжної вежі додатково встановлено для промивання по одному соплу вертикально вниз. Зрошувач призначений для створення розгорнутої поверхні охолодження води і забезпечення її контакту з охолоджуючим повітрям.

Нижній ярус зрошувача виконаний з плоских азбестоцементних листів, зібраних в блоки (пакети) за допомогою стяжних шпильок і розташованих між листами дистанціують керамічних прокладок товщиною 25 мм. Блоки нижнього ярусу оросителя встановлені з вертикальним розташуванням листів. Висота блоків 1,2 м. Поверх азбестоцементного оросителя покладений другий ярус зрошувача з пластмасових елементів складного профілю, зібраних в куби і покладених в два ряди по 0,5 м кожен. Частина верхнього ярусу градирні № 1

виконано з пластмасових блоків (блоки об'ємних ґратчастих елементів) заввишки 1,2 м, встановлених під нахилом в 5°. Охолодження води відбувається в зрошувачі, де вона плівкою стікає по поверхні його елементів вниз, а охолоджуючий повітря рухається в просторі між елементами зрошення вгору. Охолоджена вода падає в водозбірний басейн градирні та відводиться по закритому залізобетонному каналу в відвідний канал. В залізобетонному каналі є пази для установки плоских колісних затворів в разі необхідності спорожнення водозбірного басейну при ремонті градирні. Витяжна залізобетонна вежа градирні призначена для створення сили тяги і забезпечення розрахункової витрати охолоджуючого повітря через зону зрошення.

У витяжної вежі градирні над водорозподільної системою на позначці +16,05 розташований водоуловлювач, призначений для уловлювання дрібних крапель води, що виносяться повітрям з зрошувача і водорозподільної системи. Він являє собою вертикальну хвилясту конструкцію, зібрану в блоки і покладену горизонтально на опорні балки. Частина блоків водоуловлювача виконана зі склопластику, частина з дерев'яних антисептованих елементів. Для зменшення затоплення водою території навколо градирень на рівні планування виконано покриття з асфальтобетону.

Підведення води від насосної станції до кожного басейну за індивідуальними циркуляційних водоводах змінного діаметру  $D_u = 2200$  (2000, 1800) мм. В одному бризкальних басейнів, розміщено три секції відвідав. Кожна секція бризкальних басейну складається з 5-ти розподільних трубопроводів змінного діаметру  $D_u = 1000$  (800, 600) мм з встановленими на них соплами ЦО-85 пляшкового типу. З метою зниження засмічення розподільних трубопроводів в їх торцях встановлені промивні сопла Б-50.

Розташування повітряних коридорів між променями розподільних трубопроводів збігається з напрямком пануючих вітрів. Охолоджена вода збирається в басейні, звідки через водозливи надходить в відвідний канал. Температура води на водозливу бризкальних басейнів і баштових градирень

вимірюється переносним термометром скляним рідинним робочим типу ТФ-3 з діапазоном вимірювань від + 100С до + 500С, ціною поділки 0,5С.

Отже, для вирішення комплексу питань, пов'язаних з гідроутилізацією, як засобом підвищення ефективності використання вторинної енергоресурсів, необхідно: розробити відповідні методики оцінки потенціалу теплових викидів і обсягів можливої гідроутилізації механічної енергії потоків охолодної води, а також застосувати для розрахунків методику вибору утилізуючого устаткування, виходячи з топології розміщення джерел теплових ВЕР; визначити місця раціонального розміщення використовуваних мікроГЕС. І все це повинне підтверджувати економічну доцільність генерації такої електроенергії.

Однак зараз, на жаль, поки що немає вітчизняних аналогів зазначених агрегатів, очевидно, у зв'язку з відсутністю їх розглянутого застосування. Якщо ж імпортувати більш придатне для даного виду гідроутилізації устаткування, то, якщо враховувати високу вартість останнього і діючу ставку митного збору, використання його стає економічно недоцільним.

Тому, в роботі необхідно дослідити водотоки зазначеного об'єкта дослідження і визначити точну цифру гідроенергетичного потенціалу заводу вцілому; визначити залежність енергетичних показників роботи мікро-ГЕС в умовах нестаціонарних потоків вторинної води; розробити математичний апарат, що дозволить коригувати енергетичні характеристики генераторів мікро-ГЕС шляхом виключення похибки системи управління і дозволить збільшити кількість виробленої електроенергії із вторинних водотоків Гідротехнічного цеху ВП НАЕК «Запорізька АЕС»; визначити економічні показники новоствореної системи гідроутилізації.

## 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ГІДРОТЕХНІЧНОГО ЦЕХУ ВП НАЕК «ЗАПОРІЗЬКА АЕС» ЗА РАХУНОК СКИДНИХ ВТОРИННИХ ГІДРОЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ

### 2.1 Визначення потенціалу гідроенергетичних ресурсів

Розрахунок необхідної кількості води для охолодження агрегатів [20] полягає у визначенні її витрати при заданому тепловому потоці, тепловому навантаженні і якості [21,22, 23-27]. Необхідна кількість рідини на охолодження елементів технологічного обладнання, що не мають паспортних даних, визначається як найбільша з таких, що:

забезпечує відведення теплоти від  $i$ -го елемента, який охолоджується,  $\text{м}^3/\text{год}$ :

$$Q_{\text{mexi}} \geq \frac{Q_{\text{mi}}}{1000 \cdot (t_{\text{вих}} - t_{\text{вх}}) \cdot C}, \quad (2.1)$$

де  $Q_{\text{mi}} = q \cdot F$  – теплове навантаження на  $i$ -й елемент, що охолоджується, приймається за матеріалами інструментальних замірів, ккал/г,

$q$  – теплова напруга, ккал/г · м<sup>2</sup>,

$F$  – площа поверхні, що нагрівається, м<sup>2</sup>,

$t_{\text{вих}}$  – гранична температура води, °С,

$t_{\text{вх}}$  – температура води, що поступає на охолодження, °С,

$C$  – питома теплоємність води, ккал/кг · °С.

визначається в залежності від наявності в воді механічних домішок, і розраховується виходячи з необхідної швидкості потоку,  $\text{м}^3/\text{год}$

$$Q_{\text{cmi}} \geq 3600 \cdot v_{\text{cmi}} \cdot F, \quad (2.2)$$

де  $v_{cmi}$  - швидкість в  $i$  – му елементі, що охолоджується [28], м/с;

$F$  - площа живого перетину проточної частини  $i$  – го елемента, що охолоджується,  $m^2$ .

виключає місцеве плівкове кипіння, тобто забезпечує теплообмін тільки за рахунок конвективного режиму, який також залежить від швидкості потоку [28],  $m^3/г$ :

$$Q_{mki} \geq \frac{1,32 \cdot 10^{-5}}{p^{0,2}} \cdot F^{1,2} \cdot q, \quad (2.3)$$

де  $p$  - змочений периметр елемента, що охолоджується, м.

Нормована величина необхідної кількості води на охолодження визначається за її сумарною витратою на відведення тепла від всіх нагрівальних елементів. Така норма водоспоживання і водовідведення визначається шляхом ділення річних об'ємів технічної води на річний обсяг основної номенклатури виробництва. У результаті цього в довідковій літературі і наводиться інформація за питомими нормами витрати води на одиницю продукції (на одиницю ваги готового продукту) [28]. Але вона не в повній мірі враховує специфіку конкретного підприємства (тип устаткування, що використовується і прийняту схему технологічного процесу) і може бути використана лише для приблизних розрахунків. Загальна витрата визначається за формулою [28],  $m^3$ :

$$Q = N \cdot q_m, \quad (2.4)$$

де  $N$  – кількість продукції, що випускається за рік, шт.,

$q_m$  – питомі витрати води на одиницю продукції, що випускається,  $m^3/т$ .

Слід мати на увазі, що в одних випадках (зокрема, для охолодження) споживання води йде майже рівномірно протягом доби, а в інших -

відбувається періодично для наповнення в заданий час різних баків, ванн і т. ін. Однією зі специфічних особливостей виробничого водоспоживання є залежність у ряді випадків кількості спожитої води від її якості, зокрема (і найбільш часто) від її температури. Чим остання менше, тим, очевидно, менший і обсяг води потрібний для того ж охолоджувального ефекту. Ця обставина обумовлює зміну витрати за сезонами року: взимку він значно нижче, ніж улітку, що серйозно позначається на результатах розрахунків.

Об'єм води, який може бути використаний для вироблення електричної енергії (гідроенергетичний ресурс) у загальному обсязі її споживання підприємством значно коливається залежно від параметрів та хімічного складу води, а також виду виробництва. Так, наприклад, рідина, яка використовується на зволоження шихти і генерацію електроенергії в парогенераторах, повністю випаровується або стає частиною продукції та, відповідно, як гідроенергетичний ресурс використана бути вже не може.

Очевидно, також, що для вироблення електричної енергії придатна тільки та вторинна вода, яка відповідає вимогам, що пред'являються заводами-виробниками мікро-ГЕС. Нормативні показники систем водяного охолодження промислових підприємств [29]: температура відпрацьованої води оборотних циклів не перевищує 45-60 °С, карбонатна жорсткість 2 – 3 мг·екв/л, вміст суспензії 50 – 100 мг/л. Така вода вважається умовно чистою і може бути використана в гідротурбінах.

З вищевикладеного випливає, що обсяг спожитої підприємством технічної води не дорівнює тому, який теоретично можна використати як гідроенергетичний ресурс. Отримана цифра, як правило, не відображає реальний обсяг останнього, оскільки не враховується територіальне розташування обладнання - джерел вторинної води. Утилізація ж механічної енергії водотоку передбачає створення відповідних систем збору. На основі проведеного аналізу ряду підприємств було зроблено висновок про те, що обсяг

води, який відповідає вищевикладеним вимогам може бути розрахований таким чином:

$$Q_3 = Q_{об} - Q_6 - Q_{уз}, \quad (2.5)$$

де  $Q_3$  - об'єм загального водоспоживання, м<sup>3</sup>/рік,

$Q_6$  - споживання, яке обумовлене винесенням води продукцією, що випускається, і охолодженням останньої, м<sup>3</sup>/рік,

$Q_{уз}$  - об'єм умовно забрудненої води, що потребує очищення, м<sup>3</sup>/рік.

Якщо висота, з якої відпрацьована вода відводиться з технологічного циклу, відповідає нульовій позначці, то потенційна енергія такого потоку наближається до нуля, навіть якщо витрата її величезна. Такий водотік в даному випадку інтересу не представляє і виключається із загального обсягу споживання.

При цьому,  $W_{можл}$  визначалися як [30]:

$$W_{можл} = N_{вод} \cdot t \quad (2.6)$$

де  $N_{вод}$  - потужність водотоку, кВт;  $N_{вод} = 9,81 \sum Q \cdot H$ ;

$\sum Q$  - сумарна витрата води, м<sup>3</sup>/год;

$H$  - напір, м;

$t$  - тривалість роботи підприємства на рік (при тризмінному графіку роботи -  $t = 8760$  годин).

Зрозуміло, що частка витрат підприємств на електроенергію з часом буде зростати. Утилізація ж гідроенергетичного ресурсу може внести вагомий внесок у зменшення споживання електроенергії з електромережі.

Отриманий таким чином потенціал гідроенергетичної утилізації основних металургійних підприємств м. Запоріжжя наведено в таблиці 2.1. Загальні дані



щодо обсягів водоспоживання і водовідведення кожного з об'єктів гідроенергетичної утилізації були отримані на основі офіційних нормативних документів, а об'єми вторинної води, придатної для гідроенергоутилізації і можлива вироблення електричної енергії визначені шляхом ретельного обстеження обладнання вищезгаданих підприємств.

З таблиці випливає, що обсяг води, який можна використовувати як гідроенергетичний ресурс становить близько 66% від загального водоспоживання. При цьому сумарна потужність водотоку перевищує 1МВт, що цілком порівняно з потужністю гідрогенераторів, які встановлюються в руслах малих річок, а кількість виробленої електричної енергії в даному випадку досягає 9,88 млн. кВт·год на рік, вартість якої близько 7,5 млн. грн. при діючому тарифі на електроенергію для промислових підприємств.

Таблиця 2.1 - Оцінка потенціалу утилізації гідроенергетичного ресурсу підприємств

Підприємство	Об'єм води оборотного циклу		Об'єм води, придатної для гідроенергоутилізації		Можливе вироблення електроенергії за рік $W_m$ , кВт·г
	тис.м <sup>3</sup> /рік	% від загального споживання	тис.м <sup>3</sup> /рік	%	
ПАТ «Запоріжсталь»	574554,3	80,4	458889,6	64	7502845
ВАТ «Дніпроспецсталь»	137992,7	86,1	116903,3	72	1911369
ВАТ «Український графіт»	12941,0	76,2	10851,4	63	211585
ВАТ «Запорізький феросплавний завод»	19365,2	78,8	15786,0	64	258100
Всього	744853,1	81,2	602430,2	66	9883899

З таблиці випливає, що обсяг води, який можна використовувати як гідроенергетичний ресурс становить близько 66% від загального водоспоживання. При цьому сумарна потужність водотоку перевищує 1МВт, що цілком порівняно з потужністю гідрогенераторів, які встановлюються в руслах малих річок, а кількість виробленої електричної енергії в даному випадку досягає 9,88 млн. кВт·год на рік, вартість якої близько 7,5 млн. грн. при діючому тарифі на електроенергію для промислових підприємств.

В таблиці 1.7 наведено досить приблизні дані щодо потенціалу гідроенергетичних ресурсів різних галузей виробництва Запорізького регіону. Для більш точних розрахунків за об'єкт дослідження слід приймати не підприємство в цілому, а складові його цехів окремо. Потім, на основі зведених даних робиться висновок про обсяг гідроенергетичного потенціалу всього підприємства. Запропонований підхід дозволяє з достатньою точністю оцінити обсяги придатною для цих цілей води. Утилізація ж останнього може розглядатися як джерело додаткового електропостачання промислового підприємства.

## 2.2 Експериментальне визначення витрат вторинної води

Розрахунок витрати води на технологічні потреби.

Розрахунок води на циркуляцію насосів:

$$d = 50 \text{ мм}; F_c = 0,002 \text{ м}^2; V_{oml} = 0,96 \text{ м/с}; n = 1;$$

$$W = 0,002 \cdot 0,96 \cdot 1 \cdot 3600 = 6,79 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Розрахунок води гідрозатвора обертового розподільника шихти [32]:

$$d = 65 \text{ мм}; F_c = 0,0033 \text{ м}^2; V_{отл} = 1,02 \text{ м/с}; n = 1;$$

$$W = 0,0033 \cdot 1,02 \cdot 1 \cdot 3600 = 12,18 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Розрахунок витрати води на пожежогашіння зливальних коробів СВО.

У зв'язку з відсутністю методики розрахунку, витрата води на змочування колошникового пилю при вивантаженні з пиловловлювача береться по досягнутому рівню експлуатації –  $W = 2,0 \text{ м}^3/\text{год.}$

Розрахунок безповоротних втрат у технологічному процесі.

Втрати води на випар у бризкальному басейні,  $\text{м}^3/\text{рік}$ :

$$W_1 = 0,02 \cdot 58019698 = 1160394,0.$$

Втрати води на краплевинесення у бризкальному басейні,  $\text{м}^3/\text{рік}$ :

$$W_2 = 0,01 \cdot 58019698 = 580197,0$$

Втрати води в колошниках на гідрозатвори обертових розподільників (становлять 13,3%),  $\text{м}^3/\text{рік}$ :

$$W_3 = 12,18 \cdot 8760 \cdot 4 \cdot 0,133 = 56763,0.$$

Втрати води в сухих пиловловлювачах (становлять 100,0%),  $\text{м}^3/\text{рік}$ :

$$W = 2 \cdot 8760 \cdot 4 = 70080,0.$$

Усього безповоротних втрат,  $\text{м}^3/\text{рік}$ :

$$W_{БВ} = 1160394,0 + 580197,0 + 56763,0 + 70080,0 = 1867434,0.$$

## 2.4 Дослідження ефективності мікро-ГЕС шляхом математичного моделювання в середовищі Matlab

### 2.4.1 Розрахунок енергетичних характеристик водотоків гідротехнічного цеху

Проектування систем утилізації вторинних гідроенергетичних ресурсів промислових підприємств пов'язане з проведенням комплексу складних техніко-економічних розрахунків. Залежність вищезазначених систем від технологічного процесу підприємств призводить до нестаціонарності режимів роботи обладнання для гідроенергоутилізації, наслідком чого є недостатня визначеність його розрахункових параметрів, що використовуються при проектуванні.

Як відомо, основними складовими СГЕУ є: елементи збору води у вигляді трубопроводів і саме генеруюче обладнання - турбіна та генератор, що обертається нею. Оскільки дане устаткування, зокрема, енергомодуль мікро-ГЕС, є досить дорогим, його слід вибирати таким чином, щоб уникнути недовантаженості електрогенератора. Не менш важливим є питання енергоефективності таких систем, які окрім того повинні забезпечувати економічно доцільне вироблення електричної енергії.

Кількість потенційної енергії водотоку, яку можна утилізувати, безпосередньо залежить від розосередження джерел вторинної води, що відводиться від технологічного обладнання, та конфігурації системи збору. Для створення оптимальної топології останньої необхідно синтезувати її математичну модель. Очевидно, що для цього, насамперед, необхідно визначити прогнозовані параметри результуючого потоку води, який буде поступати на гідротурбіну.

Як правило, режими споживання технічної води різні і визначаються видом технологічного процесу та самого устаткування, від якого вона відводиться. При цьому витрата рідини - процес нестаціонарний, оскільки

параметри водотоку змінюються в залежності від ряду факторів, таких як: час доби та пори року, початкова температура рідини, послідовність в часі складових техпроцесу. Так, існують споживачі, добовий графік витрати води яких постійний і не залежить від динаміки техпроцесу, або змінюється у відповідності з жорсткою послідовністю, продиктованою виробничим циклом. Інші ж - мають випадковий (стохастичний) характер споживання. У результаті, однаковим циклам виробництва, одному і тому ж найменуванню обладнання відповідають різні величини витрат вторинної води.

Перелік обладнання цехів основного виробництва доцільно класифікувати по тому, як вони впливають на енергетичні параметри результуючого потоку вторинної води. Умовно їх можна розділити на три згадані вище типи: із незмінними в часі, стохастичними і жорстко прив'язаними до технологічного циклу витратами. Очевидно, що у випадку постійної витрати вторинної води і коли вона циклічно змінюється у часі, прогнозування параметрів водотоку не є складним завданням. Однак, при стохастичному характері водоспоживання і водовідведення, необхідна розробка більш складного математичного інструмента визначення зазначених параметрів за відомими статистичними даними, одержаними на об'єкті гідроенергетичної утилізації.

Крім того, з урахуванням конфігурації систем гідроенергетичної утилізації, що створюються, важливу роль будуть мати параметри потоку, що безпосередньо поступає на гідротурбіну. Тобто, наприклад, на вхід останньої, при єдиному центрі збору для кількох джерел вторинної води буде подаватися вже сумарний потік невизначеної витрати і напору. До того ж, необхідно враховувати, що технологічні агрегати, які, відповідно, і є джерелами води, як правило, розосереджені нерівномірно по території підприємства (цеху), по різному віддаленні від центру збору і мають відмінні один від одного габаритні розміри. Все вищеперелічене призведе до невизначеності енергетичних характеристик реального сумарного водотоку, який для більш точного визначення енергоефективності СГЕУ потребує окремого моделювання.

Отже, звідси очевидно, що питання створення енергоефективних систем утилізації гідроенергетичних потенціалів промислових підприємств є досить складним, а вибір їх структури, визначення технічних характеристик елементів СГЕУ пов'язаний з проведенням великого обсягу взаємозалежних розрахунків. Для комплексного підходу до синтезу таких систем, необхідно, в першу чергу, розробити відповідні стохастичні генератори витрат вторинної води, що враховують специфіку і режими водоспоживання технологічних агрегатів, а також змодельовати реальний сумарний потік від кількох джерел вторинної води, що надходить на гідротурбіну мікро-ГЕС. Вищеперелічене й повинно стати основою імітаційного математичного аналогу СГЕУ, що дозволить проводити відповідні обчислювальні дослідження та розрахунки.

#### 2.4.2 Визначення залежності енергетичних характеристик мікро-ГЕС від динаміки вторинних водотоків гідротехнічного цеху ВП НАЕК «Запорізька АЕС»

Як було визначено, такі характеристики вторинного водотоку, як витрата і напір для більшості з джерел, мають динамічний характер. Тому, очевидно, останнє може вплинути на енергетичні показники обладнання, яке використовується для утилізації гідроенергетичних ресурсів промислових підприємств. До того ж, характерна особливість типової мікро-ГЕС така, що будь-яке коливання потоку впливає на параметри процесу перетворення енергії води, в тому числі змінюється коефіцієнт корисної дії, частота струму, і, відповідно, якість отриманої електроенергії [37]. ККД в даному випадку є функцією, аргументом якої виступає величина швидкохідності турбіни  $\eta_T = f(\lambda)$ . Остання визначається за відомим виразом [38]:

$$\lambda = \frac{D}{2 \cdot v} \cdot \omega, \quad (2.9)$$

де  $\omega$  - частота обертання турбіни;

$D$  - діаметр робочого колеса;  $v$  - швидкість потоку води.

Звідси отримаємо:

$$\omega = \frac{2 \cdot \lambda \cdot v}{D}. \quad (2.10)$$

Рівняння руху турбіни з урахуванням моменту інерції мас, що обертаються, і тертя у підшипникових опорах [39]:

$$J \frac{d\omega}{dt} + f\omega = M_p - M_n, \quad (2.11)$$

де  $J$  - сумарний момент інерції турбіни і ділянки валу, що до неї відноситься,

$M_p$  - момент тертя у підшипникових опорах турбіни і генератора,

$M_n$  - момент навантаження, що створюється електричним генератором.

Інтегрування дозволяє отримати вираз для визначення кутової швидкості:

$$\omega = \frac{1}{J} \int (M_m - M_c) dt, \quad (2.12)$$

де  $M_m$  - момент на валу турбіни;

$M_c = M_p + M_n$  - сумарний момент опору обертанню.

Тобто, визначальним параметром, що буде впливати на енергетичні показники електрогенератора, який входить до складу енергомодуля мікро-ГЕС, буде саме кутова частота обертання валу турбіни, яка, в свою чергу, напряму залежить від швидкості руху потоку вторинної води в трубопроводах.

Відповідні математичні операції з визначення потужності водотоку при відомій величині сумарної витрати  $Q_{p\gamma}$ , де  $p = \overline{1, q}$  - кількість центрів збору, проводяться для оцінки потенціалу вищезгаданої утилізації. Так, для всієї СГЕУ розраховується сумарна потужність водотоку, що дорівнює сумі потужностей  $N_{p\gamma}$  в окремих центрах збору:

$$N_{\gamma} = \sum_{p=1}^q N_{p\gamma}. \quad (2.13)$$

Енергія, що виробляється генераторами, визначається згідно з виразом:

$$W_{\gamma} = \sum_{p=1}^q W_{p\gamma}, \quad (2.14)$$

а для кожного з центрів збору вона дорівнює:

$$W_{p\gamma} = N_{p\gamma} \cdot T \cdot \mu_{tp} \cdot \mu_{gp}, \quad (2.15)$$

де  $T$  – проміжок часу,  $\mu_{tp}$  і  $\mu_{gp}$  - ККД турбіни і генератора, відповідно.

Відомо, що нестабільність потоку негативно впливає на роботу обладнання для гідроенергоутилізації і призводить до завищення потужності обраних генераторів і діаметрів трубопроводів, що, в свою чергу, спричиняє збільшення вартості системи гідроенергетичної утилізації взагалі. Тому для уникнення вищезгаданих наслідків необхідно впроваджувати додаткові технічні заходи, які дадуть змогу застабілізувати потік води і, відповідно,



вирішити проблему не повної завантаженості обладнання, тобто вийти на максимально можливу виробничу потужність.

Отже, при визначенні енергетичних показників СГЕУ, що проектуються, нестабільність вторинного водотоку повинна обов'язково враховуватися. Останнє дозволить більш точно визначити параметри таких систем шляхом застосування стохастичних генераторів, що моделюють реальний потік, який надходить на гідротурбіну. Очевидно, що розрахунок необхідно починати з аналізу характеру водоспоживання кожного з джерел об'єкта гідроенергетичної утилізації. Динамічний характер сумарного потоку води негативно впливає на ефективність системи гідроенергетичної утилізації, а також призводить до зменшення кількості згенерованої електричної енергії і може викликати погіршення показників її якості.

Залежність ККД мікро-ГЕС від кутової частоти обертання  $\omega$  наведено на рисунку 2.2.

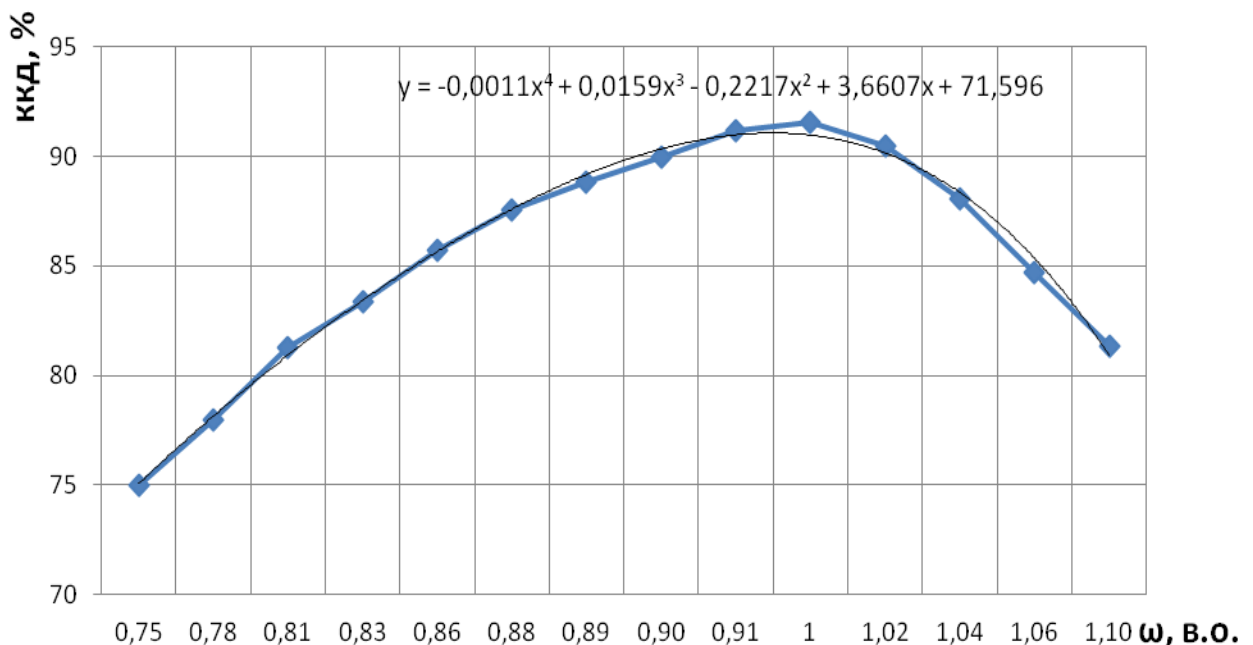


Рисунок 2.2 - Залежність ККД мікро-ГЕС від кутової частоти обертання  $\omega$

З графіку видно, що будь-яке відхилення кутової частоти обертання валу гідротурбіни від номінального значення викликає значне зниження ефективності енергомодуля мікро-ГЕС.

## 2.5 Прогнозування витрат скидних вторинних водотоків умовах гідротехнічного цеху ВП НАЕК «Запорізька АЕС»

В роботі розроблено математичну модель вторинних водотоків з метою більш точного розрахунку параметрів систем утилізації гідроенергетичного потенціалу промислових підприємств. Моделювання потоку відпрацьованої технічної води з урахуванням динаміки водоспоживання конкретного устаткування може бути здійснено на основі статистичних даних, отриманих шляхом відповідних вимірювань. Періодичність останніх має бути достатньою для визначення законів розподілу розглядуваних випадкових величин і забезпечення достатньої точності подальшого прогнозування.

Для більш точного прогнозування величини витрати технічної води розроблений генератор повинен враховувати коливання цієї витрати відповідно до закону її розподілу. Якщо у випадку сталості витрати і її жорсткій залежності від технологічного циклу створення вищезазначених генераторів не є складним, то в третьому випадку (при стохастичному характері споживання) синтез останнього вимагає додаткових розрахунків на основі вихідних статистичних даних. Алгоритм таких розрахунків можна реалізувати за відомою схемою [41] у послідовності, наведеній на рисунку 2.3.

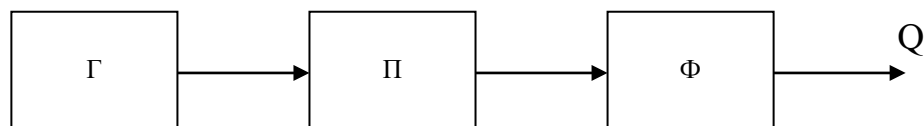


Рис. 2.3. Генератор величини витрати технічної води

У блоці Г виробляється рівномірно розподілена некорельована випадкова величина в інтервалі (0,1). П - перетворювач закону розподілу (з рівномірного в заданий). Ф - фільтр, який перетворює некорельованої випадкову послідовність у корельовану із заданою автокореляційною функцією.

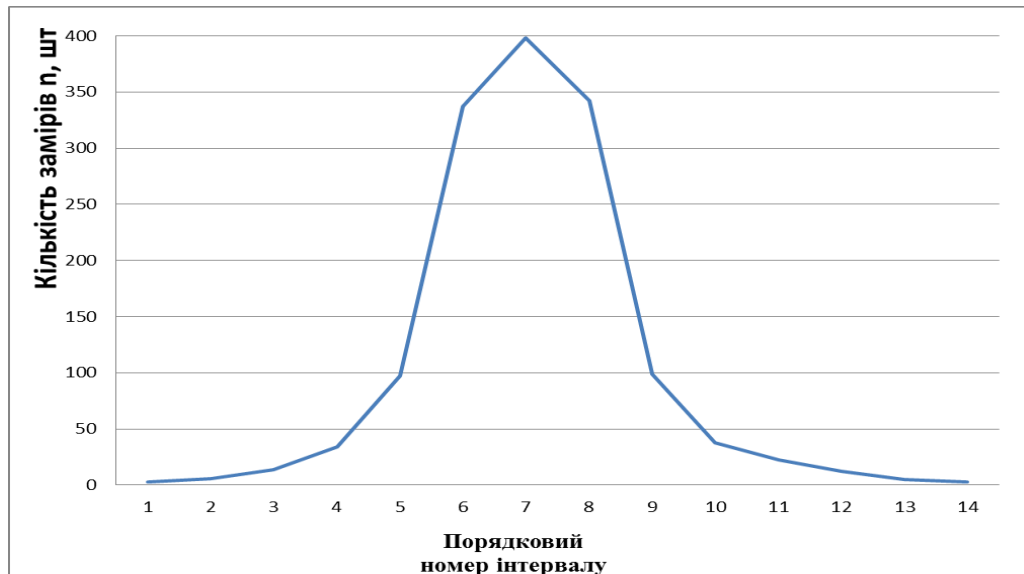
Як приклад наявності джерел скидної вторинної води були розглянуті водотоки Гідротехнічного цеху ВП НАЕК «Запорізька АЕС», з безперервним потоком води. У таблиці 2.6 наведені оброблені дані вимірів витрати технічної води скидної води вищевказаного підприємства за зимово-весняний період 2014 року, за якими побудований відповідний графік розподілу (рис. 2.3, а). Сезонними коливаннями витрати в даному випадку можна знехтувати з огляду на їх незначність, оскільки температура води в даному проміжку часу практично незмінна. Загальна кількість замірів із періодичністю 0,5 години склало  $i = 1440$ .

Згідно [40-43], експериментальні спостереження за витратою води найбільш точно описуються біноміальним законом розподілу. В результаті перевірки вказаної гіпотези за критерієм  $\chi^2$  було підтверджено відповідність отриманих значень цьому закону [43].

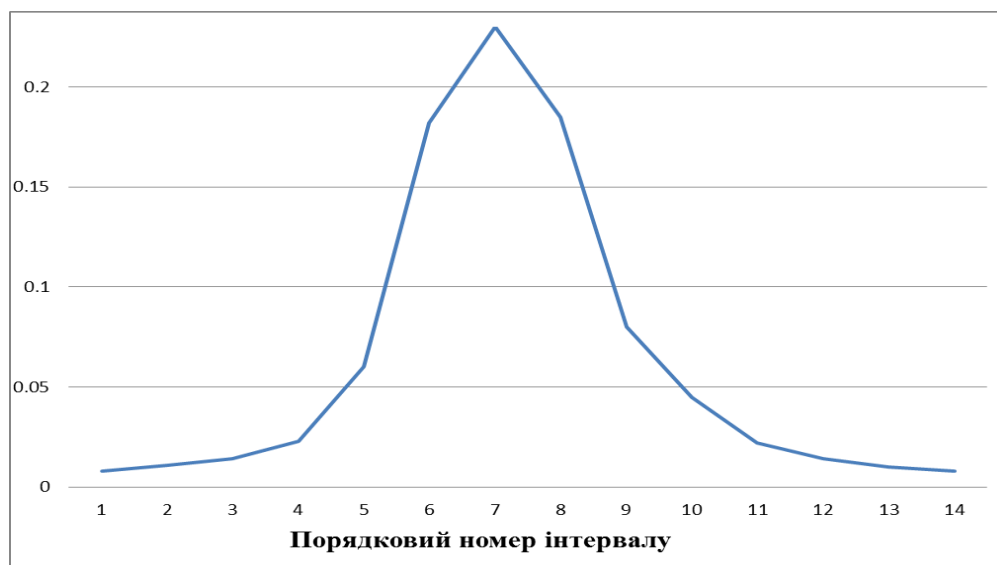
Таблиця 2.6 - Розподіл витрати скидної води на умовні інтервали

№ інтервалу	Витрата, м <sup>3</sup> /хв	Кількість замірів
1	1701-1750	3
2	1751-1800	6
3	1801-1850	14
4	1851-1900	34
5	1901-1950	97
6	1951-2000	337
7	2001-2050	398
8	2051-2100	342
9	2101-2150	99
10	2151-2200	38
11	2201-2250	23
12	2251-2300	12
13	2301-2350	5
14	2351-2400	3

Наведені оброблені дані вимірів витрати скидної води, за якими побудований відповідний графік розподілу наведено на рисунку 2.4.



а)



б)

Рисунок 2.4 - Розподіл витрат скидної води

а) - експериментальні дані; б) - щільність ймовірності біноміального розподілу.

Автокореляційна функція, що реалізується у блоці Ф, визначається за виразом [43]:

$$y(j) = \sum_{k=0}^m b_k E(j-k), j = 0; \pm 1; \pm 2; \dots, \quad (2.16)$$

де  $m$  – число інтервалів, що покривають час спаду автокореляційної функції випадкового процесу;  $b_k$  – коефіцієнти;  $E(j-k)$  – стаціонарна одинична некорельована випадкова послідовність.

Для реалізації даного методу попередньо побудована автокореляційна функція витрати технічної води (рисунок 2.5) і розраховані значення коефіцієнтів  $b_k$  шляхом розв'язання системи рівнянь:

$$R(0) = \sum_{k=0}^m b_k^2;$$

$$R(1) = \sum_{k=0}^m b_k b_{(k-1)}; \quad (2.17)$$

.....

$$R(m) = b_m b_0,$$

де  $R_k$  – значення центрованої автокореляційної функції для відповідних  $k = \overline{1, m}$ .

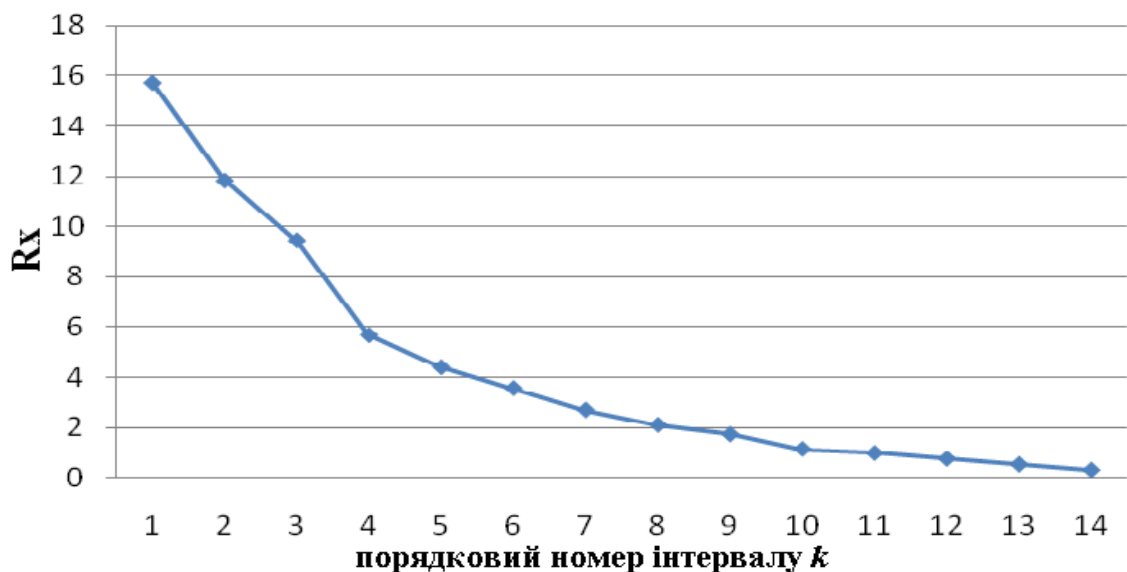


Рисунок 2.5 - Автокореляційна функція витрати

Визначимо коефіцієнти  $b_k$  при автокореляціях  $R_X(k)$ .

$$R_X(k=0) = b_1^2 + b_2^2 + b_3^2 + b_4^2 + b_5^2 + b_6^2 + b_7^2 + b_8^2 + b_9^2 + b_{10}^2 + b_{11}^2 + b_{12}^2 + b_{13}^2 + b_{14}^2,$$

$$R_X(k=1) = b_1b_2 + b_2b_3 + b_3b_4 + b_4b_5 + b_5b_6 + b_6b_7 + b_7b_8 + b_8b_9 + b_9b_{10} + b_{10}b_{11} + b_{11}b_{12} + b_{12}b_{13} + b_{13}b_{14}$$

$$R_X(k=2) = b_1b_3 + b_2b_4 + b_3b_5 + b_4b_6 + b_5b_7 + b_6b_8 + b_7b_9 + b_8b_{10} + b_9b_{11} + b_{10}b_{12} + b_{11}b_{13} + b_{12}b_{14},$$

$$R_X(k=3) = b_1b_4 + b_2b_5 + b_3b_6 + b_4b_7 + b_5b_8 + b_6b_9 + b_7b_{10} + b_8b_{11} + b_9b_{12} + b_{10}b_{13} + b_{11}b_{14},$$

$$R_X(k=4) = b_1b_5 + b_2b_6 + b_3b_7 + b_4b_8 + b_5b_9 + b_6b_{10} + b_7b_{11} + b_8b_{12} + b_9b_{13} + b_{10}b_{14},$$

$$R_X(k=5) = b_1b_6 + b_2b_7 + b_3b_8 + b_4b_9 + b_5b_{10} + b_6b_{11} + b_7b_{12} + b_8b_{13} + b_9b_{14},$$

$$R_X(k=6) = b_1b_7 + b_2b_8 + b_3b_9 + b_4b_{10} + b_5b_{11} + b_6b_{12} + b_7b_{13} + b_9b_{14},$$

$$R_X(k=7) = b_1b_8 + b_2b_9 + b_3b_{10} + b_4b_{11} + b_5b_{12} + b_6b_{13} + b_7b_{14},$$

$$R_X(k=8) = b_1b_9 + b_2b_{10} + b_3b_{11} + b_4b_{12} + b_5b_{13} + b_6b_{14},$$

$$R_X(k=9) = b_1b_{10} + b_2b_{11} + b_3b_{12} + b_4b_{13} + b_5b_{14},$$

$$R_X(k=10) = b_1b_{11} + b_2b_{12} + b_3b_{13} + b_4b_{14},$$

$$R_X(k=11) = b_1b_{12} + b_2b_{13} + b_3b_{14},$$

$$R_X(k=12) = b_1b_{13} + b_2b_{14},$$

$$R_X(k=13) = b_1b_{14}.$$

У таблиці 2.7 наведені значення коефіцієнтів  $b_k$  при  $k = \overline{0,13}$ , які були отримані шляхом розв'язання системи рівнянь у середовищі Mathcad.

Таблиця 2.7 - Коефіцієнти  $b_k$  автокореляційної функції

$k$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$b_k$	0,24	0,03	0,12	0,15	0,35	0,48	0,30	0,94	0,01	1,76	2,02	1,92	1,23	0,24

Отже, запропонований математичний апарат дозволить коригувати енергетичні характеристики генераторів вільнопоточних мікро-ГЕС, і, таким чином, більш точно прогнозувати кількість виробленої електроенергії із скидних вторинних водотоків гідротехнічного цеху ВП НАЕК «Запорізька АЕС».

## 2.6 Математичне моделювання процесу вироблення електричної енергії в середовищі Simulink

Як було визначено, потік скидної вторинної води, що поступає на гідротурбіну, зазвичай має нестационарний характер, його параметри змінюються в часі з певним інтервалом. Очевидно, що така нестабільність може впливати на кількість електричної енергії, що виробляється електричним генератором.

Для аналізу впливу нестабільності потоку вторинної води на енергетичні характеристики систем гідроенергетичної утилізації, було створено математичну модель такої системи і реалізовано в середовищі Simulink. За наявності декількох джерел води, витрата з окремих джерел підсумовується за допомогою суматора 6 і таким чином на вході в гідротурбіну маємо реальний сумарний потік вторинної води. Також в моделі застосовується допоміжне обладнання: вимірювальні прилади 4 і конденсаторна система збудження 5..

Дослідження проводилися на прикладі реального промислового підприємства Гідротехнічного цеху ВП НАЕК «Запорізька АЕС», де для гідроенергетичної утилізації потоку вторинної води було підібране відповідне обладнання. Також, в системі, що моделюється, передбачена робота АГ як в автономному режимі, так і паралельно з мережею. Для цього використовуються відповідні перемикачі 7.

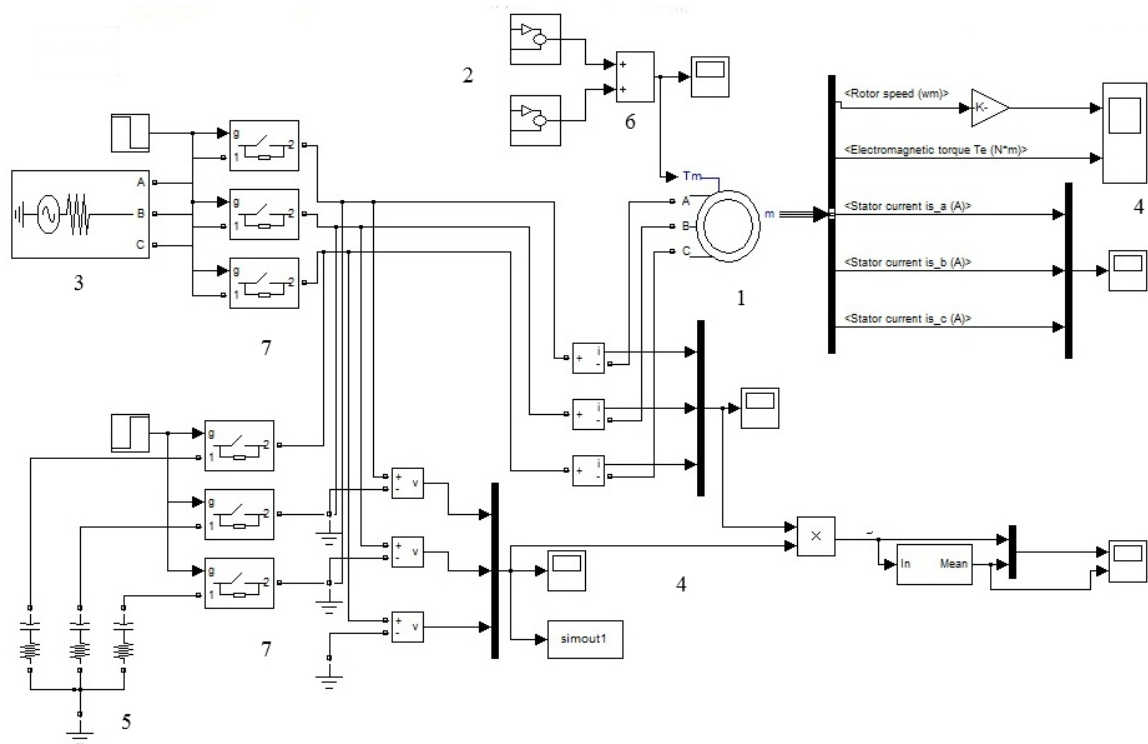


Рисунок 2.6 - Модель дослідження роботи системи генерування електроенергії за рахунок вторинних водотоків підприємств

У якості генератора був використаний двигун потужністю 110 кВт. Останній використовується в мікро-ГЕС типу 100 Пр, яка, як правило, застосовується як автономне джерело електричної енергії і не потребує підживлення від мережі, але, в такому випадку, роботу асинхронної машини у якості генератора можливо забезпечити, якщо подавати в обмотку статора необхідну реактивну потужність від батареї конденсаторів. В загальному випадку, ємність, що необхідна для отримання номінальної напруги асинхронного генератора може бути визначена за виразом:

$$C = P_{ном} \cdot (tg\varphi_2 + tg\varphi_n) / (2 \cdot \pi \cdot f \cdot m \cdot U_c^2), \quad (2.18)$$

де  $P_{ном}$  - номінальна потужність генератора,  $U_c$  - напруга на конденсаторах,  $f$  - частота струму,  $m$  - кількість фаз,  $\varphi_2, \varphi_n$  - максимальні кути зсуву фаз між напругою і струмами генератора та навантаження. Для двигуна



вищезазначеної потужності, у випадку автономної роботи мікро-ГЕС, згідно формули (2.18), достатньо ємності 1065 мкФ на кожен фаза.

Потік від джерела, який поступає на гідротурбінну, моделюється статистичними генераторами (рис. 2.7), які складаються з блоку 8, що видає некорельовані послідовності витрати вторинної води, блоку автокореляції 9, і блоку 10, який коригує потужність гідротурбіни залежно від кутової частоти обертання.

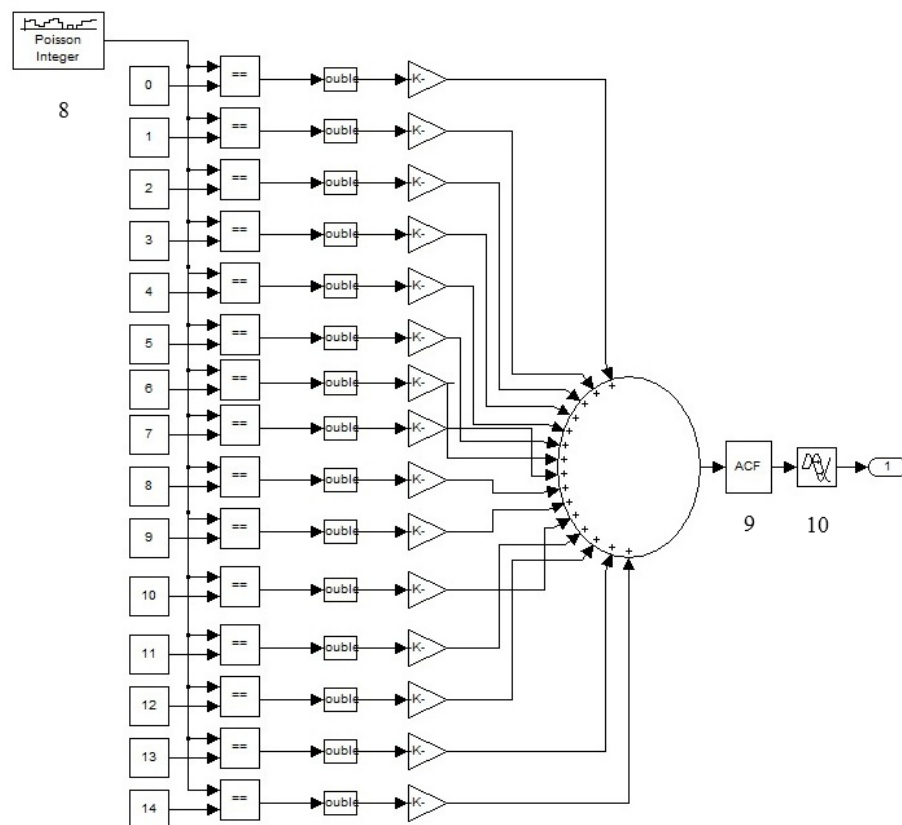


Рисунок 2.7 - Модель статистичного генератора витрати вторинної води, реалізований в середовищі Simulink

Наведена модель системи гідроенергетичної утилізації дозволяє з достатньою точністю відстежувати динаміку величин, що отримуємо на виході електрогенератора, таких як активної потужності та статорних напруг і струмів. Однак, робота мікро-ГЕС в автономному режимі, в даному випадку, не доцільна, тому що, по-перше, на промислових підприємствах споживачі достатньо великої потужності у порівнянні з потужністю електрогенератора і є можливість підключення до мережі, а, по-друге, відсутність конденсаторної

системи збудження зменшує вартість системи утилізації вторинних гідроенергетичних ресурсів взагалі.

### 3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ВІЛЬНОПОТОЧНИХ МІКРО-ГЕС В УМОВАХ ГІДРОТЕХНІЧНОГО ЦЕХУ ВП НАЕК «ЗАПОРІЗЬКА АЕС»

#### 3.1 Визначення складових собівартості електричної енергії

Основними і головними економічними показниками системи утилізації гідроенергетичного ресурсу, що визначають рентабельність останньої, є собівартість електричної енергії, яка виробляється нею і термін окупності. В загальному випадку, перша величина розраховується методом визначення відношення річних затрат на виробництво електроенергії до обсягів її споживання за аналогічний період, а друга – сумарних річних витрат на прибуток від генерації електричної енергії за рік:

$$C_{EE} = \frac{B_{зв}}{W_{EE}} \quad (3.1)$$

$$T_{ок} = \frac{B_{зв}}{W_{EE} \cdot (C_{м} - C_{EE})} \quad (3.2)$$

де  $C_{EE}$  - собівартість електричної енергії, що виробляється,

$B_{зв}$  - затрати виробництва за відповідний період,

$W_{EE}$  - кількість відпущеної електроенергії,

$C_{м}$  - діючий тариф на покупну електроенергію з мережі.

В свою чергу, чисельник у вищезазначених формулах може змінюватися від багатьох факторів, таких як: вартість обладнання, придатного для даного виду утилізації, вартість монтажних і пусконаладжувальних робіт; заробітна платня найманим працівникам та обслуговуючому персоналу; геометричні розміри об'єкту, для якого створюється СГЕУ, вартість проекту, тощо. Ці показники можуть коливатися з часом і, як правило, у бік їх збільшення.

Як було сказано, вітчизняних аналогів мікро-ГЕС, які б за своїми характеристиками задовольняли умовам експлуатації на території промислових підприємств, поки що не існує, а імпортні модулі, окрім того, що є досить дорогими, обкладаються державним ввізним митом, що робить їх використання нерентабельним. За корегування законодавства і стимулювання виробників енергетичного обладнання, ситуація, що склалася, з часом зміниться. Вже зараз декілька вищезазначених підприємств накопичили достатній науково-технічний рівень в цій галузі і, навіть, мають дослідні зразки енергоефективних агрегатів для гідроенергоутилізації. Але їх впровадження стримується саме через відсутність відповідної сфери застосування, ринків збуту і методик їх раціонального використання. Очевидно, що при наявності останніх, стане можливим масове серійне виробництво, що призведе до суттєвого здешевлення даного виду обладнання і економічної доцільності зазначеної утилізації.

Визначення оптимальної чисельності персоналу для обслуговування вищезгаданих систем також є важливим і суттєво впливає на економічні показники СГЕУ. В економічній практиці існує значна кількість методів визначення кількості працюючих, але найбільш поширеними з них є [43]:

- за трудомісткістю робіт;
- за нормами виробітку;
- за кількістю робочих місць з урахуванням норм їх обслуговування і контролю.

Обладнання для систем гідроенергетичної утилізації є досить дорогим. Значну частину вартості останнього складають засоби перетворення механічної енергії в електричну, тобто турбіни і електрогенератори із системою регулювання їх вихідних параметрів. Також, до капітальних витрат слід віднести вартість з'єднувальних трубопроводів. Дані, представлені в таблицях 3.1 і 3.2 складені за діючими на 2011 рік цінами виробників відповідного обладнання (БМУ «Запоріжстальбуд – 1» і МНТО «ІНСЕТ») і можуть бути прийняті для подальших розрахунків. Також наведений перелік

може бути доповнений і розширений іншими (новими і більш досконалыми) зразками енергетичного і допоміжного обладнання.

Таблиця 3.1 - Номенклатура, питома вартість трубопроводу з урахуванням вартості виробу і монтажних робіт

№ п/п	Діаметр трубопроводу, мм	Загальна вартість, грн./км
1	32	28309
2	38	32968
3	42	35135
4	45	39493
5	48	43582
6	51	45876
7	57	47305
8	76	51310
9	89	57743
10	108	75465
11	159	159009
12	219	311608
13	273	401543
14	325	661992
15	425	774856
16	530	929162
17	630	1049307
18	720	1139357
19	800	1152564
20	820	1176278
21	920	1221516

Таблиця 3.2 - Номенклатура і одинична вартість енергетичного модуля виробництва МНТО «ІНСЕТ»

	Тип мікро-ГЕС			
	10Пр	15Пр	50Пр	100Пр
Вартість, тис. грн.	114,576	127,596	546,84	941,6

Останнім часом, тарифи на електричну енергію стрімко зростають, особливо для промислового сектору. Так, наприклад, в 1999 році середній роздрібний тариф для промисловості за даними НКРЕ України складав 0,1268 грн/кВт·год, тоді як на грудень 2010 року – 0,74322 грн/кВт·год, тобто збільшився майже у шість разів і продовжує підвищуватися щомісячно. Така тенденція, скоріш за все, продовжиться і надалі. Очевидно, що собівартість електричної енергії, що виробляється СГЕУ, повинна бути нижчою, ніж вартість покупної з мережі. Тому, навіть, якщо на момент проектування системи утилізації гідроенергетичного ресурсу спостерігається зворотна ситуація, то через кілька місяців вона може змінитися, тобто стати сприятливою.

### 3.2 Розрахунок капітальних вкладень в систему гідроенергетичної утилізації

Капіталовкладення на отримання електричної енергії з наведеного водотоку ЦЗ №1 будуть складатися з витрат на енергомодуль мікро-ГЕС, з'єднуючі трубопроводи, вартість робіт з монтажу. Відповідні коефіцієнти амортизації енергетичного обладнання – 24%, трубних конструкцій – 8%. Вартість монтажних і пуско-налагоджувальних робіт, в даному випадку, складе 7,5%, а на поточний ремонт і обслуговування основних фондів - 5% від капітальних витрат. Мікро-ГЕС типу 100Пр виробництва МНТО «ИНСЕТ» коштує 941,6 тис.грн., питома вартість трубопроводу діаметром 820 мм за даними БМУ «Запоріжстальбуд – 1» - 1176278 грн/км. Річна кількість електроенергії, що виробляється дорівнює  $W_2 = 0,687$  млн. кВт·год.

Тоді, з урахуванням вищезазначеного, отримаємо, грн:

$$K_{C1} = 1176278 \cdot 83,7 \cdot 10^{-3} + 941600 = 1040054,46 \text{ .}$$

Вартість робіт з монтажу і пуско-наладки, грн:

$$K_m = 1040054,46 \cdot 0,075 = 78004,08 .$$

Тоді, загальні капітальні витрати становлять, грн:

$$K_{C_1} = 1040054,46 + 78004,08 = 1118058,12 .$$

Амортизаційні відрахування, грн:

$$C_a = 98454,47 \cdot 0,08 + 941600 \cdot 0,24 = 232224,64 .$$

Поточні витрати з урахуванням амортизації, грн:

$$Z_n = 232224,64 + 1118058,12 \cdot 0,05 = 288126,44 .$$

Для ЦЗ №2 отримуємо наступні техніко-економічні показники: вартість мікро-ГЕС типу 100 Пр, що застосовується для утилізації енергії сумарного водотоку з параметрами  $Q_{\Sigma} = 1096$  л/с і  $H_{\Sigma} = 10,78$  м складає 941600 грн. При цьому капітальні  $K_{C_1} = 1029042,5$  грн, і, відповідно, поточні витрати  $Z_{n2} = 279873,1$  грн, а річна кількість електроенергії, що виробляється дорівнює  $W_2 = 0,688$  млн. кВт·год.

Собівартість електричної енергії  $C_{EE}$ , що виробляється всією СГЕУ, визначається за виразом:

$$C_{EE} = K_{nc\kappa} / W_{c\kappa}, \quad (3.3)$$

де  $K_{nc\kappa} = \sum_{p=1}^q K_{np}$  - поточні витрати,

$W = \sum_{p=1}^q W_p$  - кількість електроенергії, що виробляється за час  $T$ .

Тобто, можна записати:

$$C_{c_1} = \frac{288126,44 + 279873,1}{733000 + 688000} = 0,4 < C_m$$

За економічними і енергетичними показниками для об'єкта гідроенергетичної утилізації, що розглядається, визначено величину, яка відображає економічну доцільність капіталовкладень в проект. Остання, а саме

вигода, розраховується за виразом:  $B_i = W_i \cdot (C_m - C_i)$ , де  $W_i$  - кількість електричної енергії, що виробляється генераторами  $i$  - го варіанта СГЕУ, кВт·год./рік;  $C_m$ ,  $C_i$  - вартість електроенергії з мережі (для промислових підприємств станом на 1.12.2014р. – 1,26 грн./кВт·год.) і її собівартість, відповідно.

В результаті обчислювальних операцій, були визначені характеристики всіх можливих варіантів топології СГЕУ для об'єкту, що розглядається. Останні визначаються комбінаціями об'єднання джерел вторинної води з центрами збору гідроресурсу.

Передбачувані сумарні капіталовкладення в реалізацію проекту складають 59,15 млн. грн. згідно з діючою на 1.12.2017 р. вартістю обладнання, робіт з монтажу і обслуговування. При цьому, чиста вигода складе близько 24,5 тис. грн. на рік при собівартості електроенергії 1,42 грн./кВт·год.

### 3.3 Визначення техніко-економічних показників впровадження системи гідроенергетичної утилізації

Оскільки, вищезазначені системи утилізації на основі модульних мікро-ГЕС не потребують суттєвих витрат часу і робочої сили на їх поточне обслуговування, то при встановленні останніх на території промислових підприємств, їх надійна експлуатація може забезпечуватися внутрішнім персоналом без залучення додаткової штатної одиниці цієї ж організації. При цьому, всередині останньої відбувається лише перерозподіл обов'язків між співробітниками без збільшення витрат на заробітну платню.

Остаточний висновок щодо доцільності впровадження таких систем слід робити на основі основних показників ефективності останніх, таких як: собівартість електричної енергії, що вироблятиметься, термін окупності і економія коштів внаслідок реалізації проекту. Параметри систем, що



порівнюватимуться будуть суттєво відрізнятися і їх необхідно визначати окремо, шляхом постановки і вирішення оптимізаційних задач.

Кількість електричної енергії  $W_p$ , що виробляється мікро-ГЕС в  $p$  - му центрі збору впродовж часу  $T$ , очевидно, буде визначатися як сума відповідних енергій  $W_{p\gamma}$  за проміжки  $t_\gamma$ , тобто:

$$W_p = \sum_{\gamma=1}^L W_{p\gamma}. \quad (3.4)$$

Загальне вироблення електричної енергії для об'єкта гідроенергетичної утилізації визначається за виразом:

$$W = \sum_{p=1}^q W_p. \quad (3.5)$$

де  $q$  - кількість центрів збору гідроресурсів.

Тоді, виходячи з вищезазначеного, собівартість електроенергії дорівнює, грн/кВт·год:

$$C_{EE} = \frac{K_{нск}}{W}. \quad (3.6)$$

Розрахунок ефективності вкладень в реалізацію СГЕУ і терміну її окупності виконуємо наступним чином:

економія за рахунок вироблення власної електроенергії, тобто річна вигода, буде визначатися як, млн.грн/рік:

$$B_E = W_p \cdot (C_m - C_{EE}) \quad (3.7)$$

- розрахунковий коефіцієнт ефективності капіталовкладень [113-115]:

$$E_p = \frac{B_E}{K_{C_k}} \quad (3.8)$$

а термін їх окупності, років:

$$T_{ок} = \frac{K_{C_k}}{B_E} \quad (3.9)$$

Визначаємо кількість електричної енергії, що генерується за прийнятий термін експлуатації обладнання  $n$  років), млн.кВт·год :

$$W_{20} = W_p \cdot n \quad (3.10)$$

Економія ж за рахунок вироблення такої кількості власної електроенергії за весь термін експлуатації, млн.грн :

$$B_{E_{20}} = n \cdot B_E \quad (3.11)$$

Проведемо розрахунок техніко-економічних показників системи гідроенергетичної утилізації вторинних водотоків гідротехнічного цеху ВП НАЕК «Запорізька АЕС». Вихідні дані для відповідних обчислень наведені раніше.

Було визначено, що для об'єкта, який розглядається, річна величина 14,6 млн. кВт·год. При цьому капітальні вкладення в систему складають 59,15 млн. грн., поточні на обслуговування і амортизаційні відрахування

основних фондів -  $Z = 2,02$  млн. грн. Отже, собівартість електроенергії в такому разі дорівнює:

$$C_{EE} = 2,02 \cdot 10^6 / 2,46 \cdot 10^6 = 1,42 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год}.$$

Для того, щоб зробити висновок щодо доцільності впровадження оптимальної СГЕУ, необхідно визначити ряд техніко-економічних показників, а саме: річну вигоду від реалізації проекту, ефективність вкладень і термін її окупності. Перший з останніх, для об'єкта, що розглядається, буде дорівнювати:

$$B_E = 2,46 \cdot 1,26 = 3,1 \text{ млн.грн/рік}.$$

- коефіцієнт ефективності капіталовкладень:

$$E_p = \frac{3,1}{9,15} = 0,34.$$

термін окупності капітальних вкладень:

$$T_{ок} = \frac{9,15}{3,1} = 2,95 \text{ років}.$$

Кількість електричної енергії, що генерується за прийнятий термін експлуатації обладнання, наприклад  $n = 20$  років):

$$W_{20} = 2,46 \cdot 20 = 49,2 \text{ млн.кВт} \cdot \text{год}.$$

Економія, тобто вигода від вироблення такої кількості власної електроенергії за весь прийнятий термін:

$$B_{E_{20}} = 20 \cdot 3,1 = 62 \text{ млн.грн.}$$

Техніко-економічні показники СГЕУ зводяться в таблицю 3.5.

Таблиця 3.5 - Показники ефективності впровадження СГЕУ

Економічні показники	Значення
Капітальні витрати, <i>млн.грн</i>	59,15
Кількість виробленої ЕЕ за весь термін експлуатації, <i>млн.кВт · год</i>	49,2
Економічний ефект, <i>млн.грн</i>	24,52
Собівартість ЕЕ, <i>грн</i>	1,42
Ефективність капіталовкладень	0,41
Термін окупності, <i>років</i>	2,41

Економічні розрахунки системи утилізації гідроенергетичних ресурсів промислових підприємств показало, що СГЕУ сумарна вигода за весь період експлуатації (20 років) склала у найбільш вигідному варіанті більше 62 млн. грн. Строк окупності СГЕУ, розрахований за цінами на обладнання 2014 року коливається в межах від 3 до 5 років, що не перевищує нормативний.

Техніко-економічні показники впровадження вільнопоточних мікро-ГЕС різних заводів-виробників зведено до таблиці 3.6. Відповідне графічне представлення табличних даних наведено на рисунках 3.1, 3.2.

Таблиця 3.6 - Техніко-економічні показники впровадження модульних мікро-ГЕС в умовах гідротехнічного цеху ВП НАЕК «Запорізька АЕС»

Економічні показники	Значення		
	МНТО "ІНСЕТ"	ВАТ "ТУРБОАТОМ"	Flugt
Капітальні витрати, млн. грн.	59,15	57,945	89,811
Кількість виробленої ЕЕ за весь термін експлуатації, млн.кВт год.	14,6	10,3	14,5
Сумарна економія, млн. грн.	24,528	17,304	24,36
Собівартість ЕЕ, грн./кВт год.	1,42	1,89	2,01
Ефективність капіталовкладень	0,41	0,30	0,27
Термін окупності, років	2,41	3,35	3,69

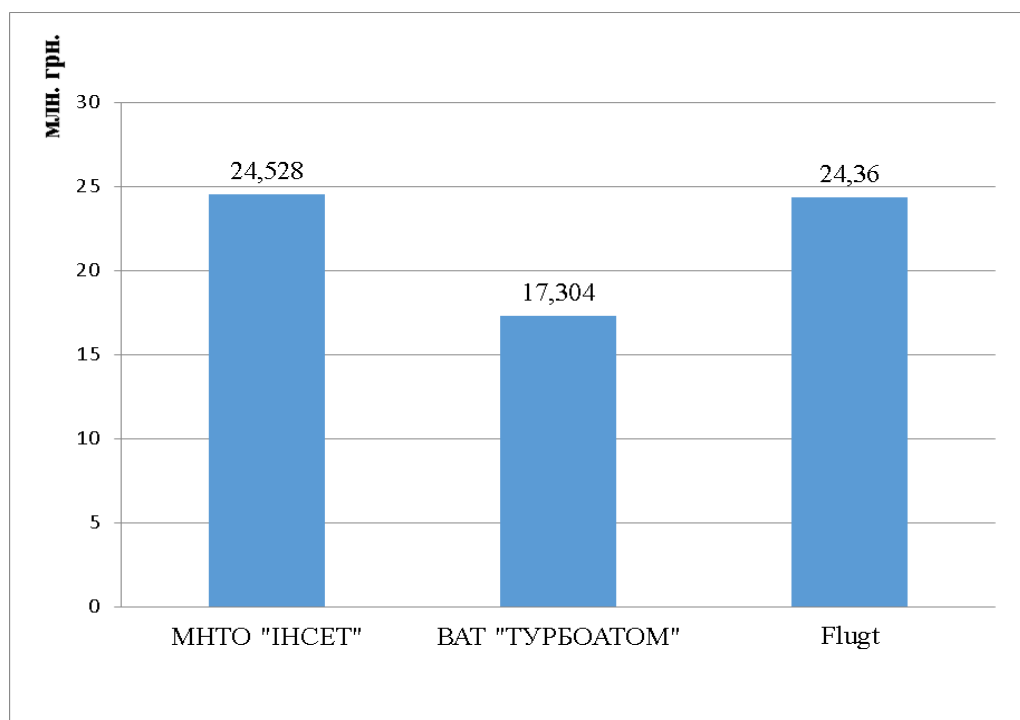


Рисунок 3.1 – Сумарна економія за проектами

Зважаючи на те, що вартість електроенергії для промислових підприємств постійно збільшується, вигода від реалізації проекту гідроенергоутилізації також, відповідно, зростатиме. До того ж, прийнята для розрахунку вартість обладнання може бути змінена в сторону зменшення шляхом використання вітчизняних аналогів мікро-ГЕС, що значно скоротить шуканий термін. Отже, економічні характеристики СГЕУ можуть коливатися в значних межах в залежності від виду устаткування, що застосовується і ситуації на ринку електроенергетики.

Отримані в результаті розрахунків техніко-економічні показники засвідчують, що виробництво власної електричної енергії дає значну економію коштів на придбання енергоресурсів промисловими підприємствами і електроенергії зокрема. Всі запропоновані проекти виявилися економічно вигідними, бо строк окупності та коефіцієнт капітальних вкладень ледь перевищує 6 років та більше 0,15 від нормативних, відповідно. Приймаючи до уваги дотримання умови  $C_{EE} \leq C_m$ , останнє підтверджує економічну доцільність впровадження таких систем.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

### 4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

До потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів приміщення гідротехнічного цеху належать:

- недостатня освітленість робочої зони;
- небезпека ураження електричним струмом;
- рухомі частини механізмів і приводів;
- вібрація від технологічного обладнання та вентустановок;
- шум, створюваний обладнанням [21,22].

Основними шкідливими чинниками в цеху є небезпека ураження електричним струмом та шум, що досягає 85 дБА, джерелом якого є:

- компресори;
- бризкальні насоси;
- інше насосне обладнання.

ККЦ є приміщенням категорії середньої важкості (виконуються роботи середньої важкості), тому повинні дотримуватися такі вимоги:

- оптимальна температура повітря – 22–24 °С (допустима – 19 –21 °С);
- оптимальна відносна вологість – 40–60% (допустима – не більше 75%);
- швидкість руху повітря не більше 0,1 м/с [24, 25].

Аналіз шкідливих і небезпечних факторів та карта умов праці для робочого місця працівника цеху представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Технологічна карта умов праці технолога насосної станції

№ п/п	Фактори виробничого середовища та трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас: шкідливі та небезпечні умови, характер праці			Час дії фактора, %
				I ступінь	II ступінь	III ступінь	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м <sup>3</sup> : I клас небезпеки II клас небезпеки III-IV клас небезпеки						
2	Пил переважно фіброгенної дії, мг/м <sup>3</sup>						
3	Вібрація (загальна і локальна), дБ	92	91				
4	Шум, дБА	80	88	8			75
5	Інфразвук, дБ						
6	Ультразвук, дБ						
7	Мікроклімат в приміщенні: - температура повітря, °С - швидкість руху повітря, м/с - відносна вологість повітря, %	15–23 не більше 0,3 не більше 75	18 0,2 75				100 100 100
8	Важкість і напруженість праці	категорія важкості праці – середньої важкості ІІа, категорія напруженості праці – помірно напружена ІІ					



Таким чином, аналіз шкідливих і небезпечних факторів дозволяє зробити висновок, що умови праці в цеху характеризуються наявністю шкідливих виробничих чинників, які не призводять до зростання захворюваності з втратою працездатності, проте характеризуються проявом початкових ознак професійної патології.

#### 4.2 Заходи щодо захисту від впливу шкідливих факторів виробничого середовища працівника градирні

Для створення і автоматичної підтримки в цеху оптимальних значень температури, вологості і швидкості руху повітря в холодну пору року використовується водяне опалення, в теплу пору року застосовується кондиціонування повітря.

У зв'язку з тим, що природне освітлення цеху здійснюється через віконні отвори і є дуже слабким, на робочому місці має застосовуватися також штучне освітлення. Штучне освітлення створюють електричним джерелом світла, яке включають в міру необхідності, регулюють інтенсивність світлового потоку і його спрямованість.

До заходів щодо захисту працівників від шуму належать:

- використання сучасного обладнання;
- розміщення пультів контролю та управління у звукоізовьованому приміщенні;
- установка на насосах шумопоглинального кожуха;
- застосування індивідуальних засобів захисту від шуму;
- раціональне планування приміщення [26, 27].

Найбільш ефективним засобом зниження шуму є заміна шумних технологічних операцій на малошумні або повністю безшумні, проте цей метод боротьби не завжди можливий, тому велике значення має зниження його в

джерелі. Зниження шуму у киснево-компресорному цеху досягається шляхом вдосконалення конструкції або схеми тієї частини устаткування, яка чинить шум, використання в конструкції матеріалів із зниженими акустичними властивостями, устаткування на джерелі шуму додаткового звукоізолюючого пристрою або обгороджування, розташованого по можливості ближче до джерела. Для боротьби з шумом на шляхах передачі передбачений шумопоглинальний кожух, який може закривати окремий шумний вузол машини.

Пропонується знизити шум від устаткування застосовуючи акустичні екрани, що відгороджують шумний механізм від робочого місця або зони обслуговування машини. Передбачається застосування шумопоглинальних облицювань для обробки стелі і стін шумних приміщень, що призводить до зміни спектру шуму у бік нижчих частот, що навіть при відносно невеликому зниженні рівня істотно покращує умови праці.

З метою захисту від шуму обслуговуючого персоналу на виробничих дільницях з шумними технологічними процесами або з шумним обладнанням необхідно влаштовувати кабіни спостереження та дистанційного контролю. Використовуючи звукоізольовані кабіни, можна забезпечити практично будь-яке необхідне зниження шуму [28].

Кабіни виготовляються з цегли, бетону та інших будівельних матеріалів. Кабіни можуть бути збірними з металевих панелей. У приміщеннях з джерелами теплових випромінювань кабіни повинні також забезпечувати захист від цього шкідливого чинника.

Збірні звукоізольовані кабіни встановлюються на гумових віброізоляторах. З метою зниження шуму, який створюється припливно-витяжною системою вентиляції, необхідно встановлювати глушители шуму з боку входу та виходу повітря.

Вікна мають бути мінімальних розмірів з використанням товстого скла або з органічного скла. За периметром вікна необхідно герметизувати гумовими прокладками. При використанні подвійного скління між листами скла

встановлюється звукоізолювана прокладка по периметру вікна.

У дверях кабіни необхідно забезпечити щільність та герметичність по всьому периметру дверей. При умові високої необхідної ізоляції двері повинні бути подвійними. У місцях прокладки технологічних комунікацій слід також передбачати заходи звукоізоляції. Внутрішні поверхні кабіни личкуються звукопоглинальним матеріалом з максимальними коефіцієнтами звукопоглинання в діапазоні 250–2000 Гц.

Розрахунок необхідної ізоляції кабіни технолога проведено за наступним алгоритмом.

Необхідне зниження шуму кабіною визначається, як:

$$R_{\text{каб.н.}} = L_{\text{ш}} - L_{\text{доп}}, \quad (4.1)$$

де  $L_{\text{ш}}$  – октавний рівень звукового тиску на робочому місці шумного приміщення на запропонованому місці установки кабіни, виміряний в діючому приміщенні, дБ;

$L_{\text{доп}}$  – допустимий рівень звукового тиску на робочих місцях в кабінах, дБ.

Відповідно до формули 4.1 необхідне зниження шуму кабіною у киснево-компресорному цеху складає:

$$R_{\text{каб.н.}} = 88 - 80 = 8 \text{ дБ.}$$

Необхідна звукоізолювана здатність елементів огорожувальних конструкцій (вікон, стін та дверей звукоізолюваних кабін) визначається за формулою, дБ:

$$R_{\text{н.і}} = L_{\text{сеп}} - 10 \lg B + 10 \lg S_i - L_{\text{доп}} + 10 \lg(n), \quad (4.2)$$

де  $B_i$  – постійна кабіни у даній октавній смузі частот, м<sup>2</sup>;

$S_i$  – площа  $i$ -го елемента кабіни, через який шум проникає в кабіну, м<sup>2</sup>;

$n$  – кількість однакових елементів.

Постійну приміщення  $B_i$  визначають за формулою:

$$B = B_{1000} \cdot \mu, \quad (4.3)$$

де  $B_{1000}$  – постійна приміщення на середньгеометричній частоті 1000 Гц, визначається за таблицею 4.2 залежно від об'єму  $V$ , м<sup>3</sup> і типу приміщення, м<sup>2</sup>;

$\mu$  – частотний множник, визначається за таблицею 4.3.

Розрахунок проведено для частоти 125 Гц.

Об'єм кабіни складає, м<sup>3</sup>:

$$V_k = a \cdot b \cdot h = 3,3 \cdot 4,2 \cdot 2,3 = 31,88.$$

Постійна приміщення  $B_{1000}$  на середньгеометричній частоті 1000 Гц визначається, враховуючи тип приміщення за таблицею 4.2, м<sup>2</sup>:

$$B_{1000} = V/20 = 31,88/20 = 1,59.$$

Постійна приміщення  $B$  визначається за формулою (4.3), м<sup>2</sup>:

$$B = 1,59 \cdot 0,75 = 1,19.$$

Площа вікна складає, м<sup>2</sup>:

$$S_{\text{вікна}} = 3 \cdot 1 = 3.$$

Площа дверей становить, м<sup>2</sup>:

$$S_{\text{дверей}} = 0,8 \cdot 2 = 1,6.$$

Таблиця 4.2 – Постійна приміщення залежно від об'єму  $V$ ,  $m^3$  і типу приміщення

Тип приміщення	Описання приміщення	Постійна приміщення $E_{1000}$ , $m^2$
1	З невеликою кількістю людей (металообробні цехи, вентиляційні камери, генераторні, машинні зали, випробувальні стенди і т.п.)	$V/20$
2	З жорсткими меблями і великою кількістю людей або з невеликою кількістю людей і м'якими меблями (лабораторії, ткацькі і деревообробні цехи, кабінети і т.п.)	$V/10$
3	З великою кількістю людей і м'якими меблями (робочі приміщення будівель управлінь, аудиторії учбових закладів, класні приміщення в школах, житлові приміщення і т. п)	$V/6$
4	Приміщення із звукопоглинальним облицюванням стелі і частини стін	$V/1,5$

Таблиця 4.3 – Частотний множник

Об'єм приміщення $V$ , $m^3$	Частотний множник $\mu$ на середньгеометричних частотах октавних полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<200	0,8	0,75	0,7	0,8	1	1,4	1,8	2,5

Площа п'яти стін, тому що так розташована кабіна,  $m^2$ :

$$S_{стін} = 2 \cdot 4,2 \cdot 2,3 + 2 \cdot 3,3 \cdot 2,3 + 4,2 \cdot 3,3 = 48,36.$$

Необхідна звукоізолювана здатність елементів огорожувальних конструкцій становить, дБ:

$$\begin{aligned} R_{н.вікна} &= 90 - 10\lg 1,19 + 10\lg 3 - 80 + 10\lg 1 = 14,02, \\ R_{н.двері} &= 90 - 10\lg 1,19 + 10\lg 1,6 - 80 + 10\lg 1 = 11,29, \\ R_{н.стіни} &= 90 - 10\lg 1,19 + 10\lg 48,36 - 80 + 10\lg 5 = 33,08. \end{aligned}$$

Перевірочний розрахунок очікуваного зниження шуму кабіною  $R_{каб}$  визначається за формулою:

$$R_{каб} = R_{сер} + 10\lg B - 10\lg \sum_{i=1}^n S_i, \quad (4.4)$$

де  $R_{сер}$  – середня звукоізоляція всіх огорожень кабіни, дБ;

$S_i$  – площа кожного елемента огороження, м<sup>2</sup>;

$n$  – загальна кількість елементів огороження.

Середня ізоляція повітряного шуму даною неоднорідною (збірною) огорожувальною конструкцією  $R_{сер}$  визначається за формулою, дБ:

$$R_{сер} = 10\lg (S_{заг} / \sum_{i=1}^n S_i \cdot 10^{-0,1 \cdot R_i}), \quad (4.5)$$

де  $S_{заг}$  – загальна площа неоднорідного огороження, м<sup>2</sup>;

$S_i$  та  $R_i$  – площа, м<sup>2</sup>, та звукоізоляція окремого елемента, дБ.

Середня звукоізоляція  $R_{сер}$  за формулою 4.4 становить, дБ:

$$R_{сер} = 10\lg (52,96 / (3 \cdot 10^{-0,1 \cdot 23} + 1,6 \cdot 10^{-0,1 \cdot 12} + 48,36 \cdot 10^{-0,1 \cdot 38})) = 26,35.$$

Очікуване зниження шуму кабіною  $R_{каб}$  становить:

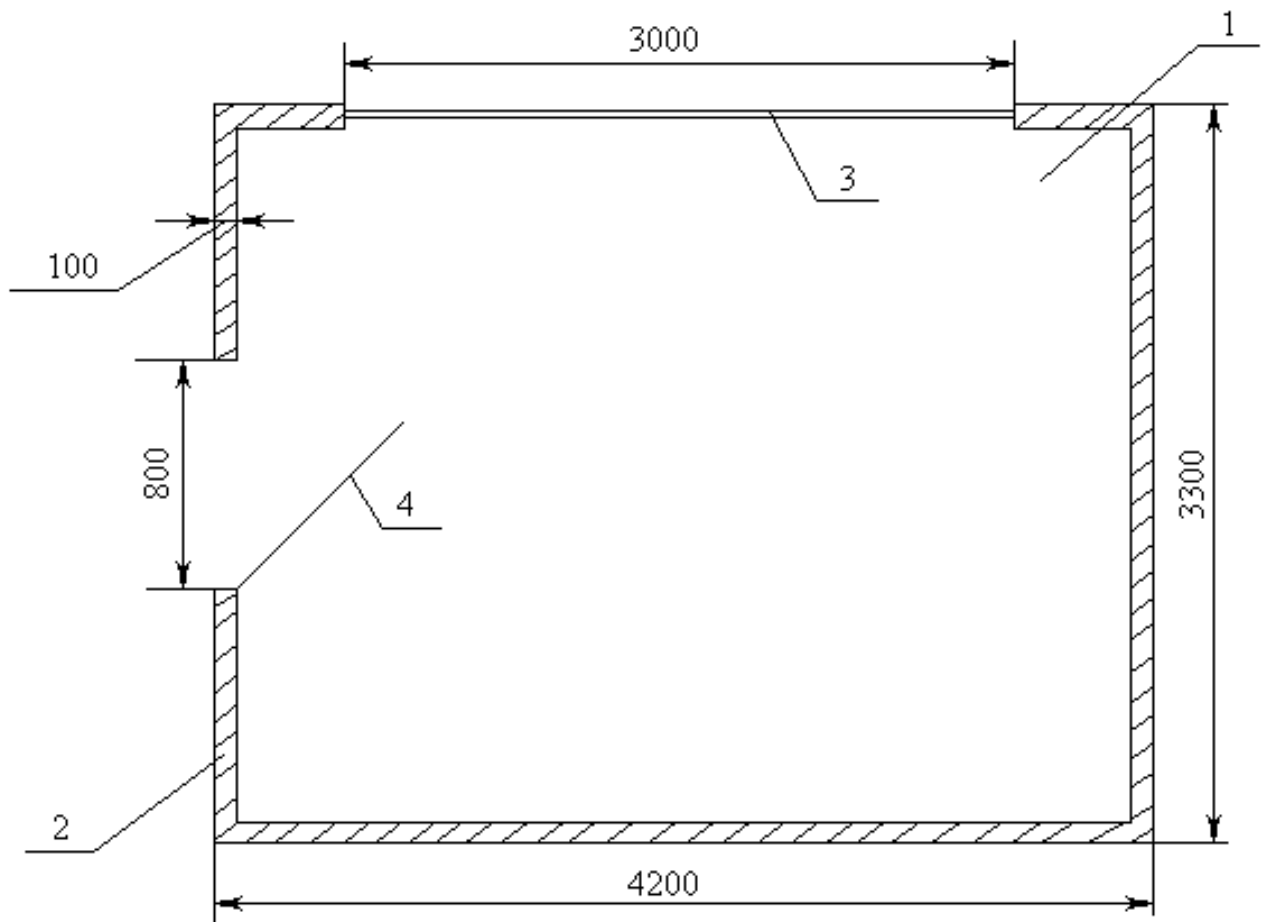
$$R_{каб} = 25,32 + 10\lg 1,19 - 10\lg 52,96 = 8,83.$$

Перевіряємо умову  $R_{каб} \geq R_{каб.н.}$ :  $8,83 \geq 8$  дБ – умова виконується.

Таким чином, вибрано звукоізолюючу кабінку технолога:

- стіни кабінки виготовляються залізобетонною панеллю товщиною 100 мм, поверхневою густиною  $250 \text{ кг/м}^2$ ;
- двері із стандартного полотна завтовшки 40 мм без ущільнювальних прокладок;
- одинарне вікно з органічним склом товщиною 20 мм.

Звукоізольовану кабінку технолога зображено на рисунку 4.1.



1 – робоча зона; 2 – стіна; 3 – вікно; 4 – двері.

Рисунок 4.1 – Звукоізольована кабінка технолога

Таким чином, кабінка технолога забезпечує необхідну звукоізоляцію, адже за розрахунком:  $R_{каб} \geq R_{каб.н.}$ :  $8,83 \geq 8$  дБ – умова виконується.

### 4.3 Технічні рішення по гігієні праці і виробничій санітарії

Суттєвий вплив на стан організму працівника, його працездатність здійснює мікроклімат (метеорологічні умови) виробничого приміщення, який визначається температурою, відносною вологістю та рухом повітря.

Під оптимальними мікрокліматичними умовами розуміють поєднання параметрів мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливі на людину забезпечують зберігання нормального теплового стану організму без активізації механізмів терморегуляції. Вони забезпечують відчуття теплового комфорту та створюють передумови для високого рівня працездатності.

Показники мікроклімату в приміщенні представлено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Нормовані величини температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в цеху

Період року	Категорія робіт	Температура			Відносна вологість, %		Швидкість руху, м/с	
		Оптимальна	допустима		Оптимальна	допустима	Оптимальна, не більше	Допустима на робочих місцях
			Верхня межа	Нижня межа		На робочих місцях, не більше		
			Постійна	Постійна				
Холодний	Середньої важкості-Па	19-21	23	17	40-60	75	0,2	Не більше 0,3
Теплий	Середньої важкості-Па	21-23	27	18	40-60	65 (при 26°C)	0,3	0,2-0,4

Створення необхідних параметрів мікроклімату у виробничому приміщенні забезпечується природною та механічною загальною вентиляцією



повітря, яка представляє собою зміну повітря в приміщенні, призначену підтримувати в ньому відповідні метеорологічні умови і чистоту повітряного середовища.

Вентиляція приміщень досягається видаленням з них нагрітого або забрудненого повітря і подачею чистого зовнішнього повітря.

Оптимальна температура повітря в цеху в холодну пору року забезпечується водяною системою опалення.

Одним із чинників, які визначають сприятливі умови праці, є раціональне освітлення робочої зони. Якщо освітлення виробничих приміщень правильно розраховане і виконане, очі працівника протягом тривалого часу зберігатимуть здатність добре розрізнити предмети і знаряддя праці, не втомлюючись. Це сприяє зниженню виробничого травматизму і професійного захворювання очей.

Недостатнє освітлення робочих місць є однією з причин низької продуктивності праці. У цьому випадку очі працівника сильно напружені, важко розрізняють оброблювані предмети, у людини знижується темп і якість роботи, погіршується загальний стан.

У киснево-компресорному цеху використовується природне бокове та штучне освітлення в якості люмінесцентних ламп типу ДРЛ.

Розряд зорових робіт у приміщенні цеху – VIII а. Загальне освітлення становить 75 Лк.

#### 4.4 Захисні заходи з електробезпеки

Приміщення цеху згідно ПУЕ можна віднести до I класу — з підвищеною небезпекою ураження струмом (відносна вологість повітря понад 75%; струмопровідний пил; температура понад 350С або короткочасно 400С незалежно від пори року; можливість одночасного дотикання людини до металевих корпусів електрообладнання і заземлених металевих конструкцій

будівлі; наявність струмопровідних підлог земляних, залізобетонних, цегляних та ін.) [29].

Для захисту від електричного струму передбачається надійне захисне заземлення електростаткування. Заземлюючі пристрої забезпечують безпеку людей і захист електроустановок, експлуатаційні режими роботи. Для тієї частини електростаткування, яка може виявитися під напругою внаслідок порушення ізоляції, забезпечено надійний контакт із заземлюючим пристроєм. Запропоновано проводити інструментальну перевірку стану захисного заземлення не рідше одного разу на рік, а також після монтажу або ремонту.

Для забезпечення електробезпеки запропоновано дотримуватися наступних вимог:

- конструкція виробничого устаткування, що приводиться в дію електроенергією, повинна включати пристрій для забезпечення електробезпеки;
- в устаткуванні має бути забезпечено захист від випадкового дотику до частин, що знаходяться під напругою;
- ручки, важелі і кнопки устаткування, до яких торкаються руками при нормальній експлуатації, не повинні виявлятися під напругою при пошкодженні ізоляції.

Основними організаційними заходами запобігання ураження електричним струмом є інструктаж і навчання безпечним методам праці, перевірка знань правил безпеки та інструкцій відповідно до виконуваної роботи.

#### 4.5 Пожежна безпека

Будівлю, в якій знаходиться лабораторія, по вибуховій і пожежній небезпеці можна віднести до приміщення категорії Д, оскільки в цеху є горючі і важкоспалимі речі, які при взаємодії з вогнем можуть горіти без вибуху. За

конструктивними характеристиками будівлю можна віднести до будівель переважно з каркасною конструктивною схемою. Елементи каркаса — з металевих незахищених конструкцій. Огороджувальні конструкції — з негорючих листових матеріалів з негорючим утеплювачем або утеплювачем груп низької та помірної горючості (ступінь вогнестійкості будівлі — Ша) [30].

Можливими причинами пожежі є підвищена температура довкілля, обладнання та наявність горючо-змазочних матеріалів.

Запобігання пожежі повинно досягатися запобіганням утворенню горючого середовища, запобіганням утворення в горючому середовищі джерел запалення.

Протипожежна безпека в енергосиловому цеху забезпечується:

- застосуванням засобів пожежогасіння і відповідної пожежної техніки;
- застосуванням автоматичних установок пожежної сигналізації;
- застосуванням основних будівельних конструкцій об'єктів з
- регламентованими межами вогнестійкості і межами поширення вогню;
- нанесенням на поверхні конструкцій вогнезахисних фарб;
- пристроями, що забезпечують обмеження поширення пожежі;
- організацією своєчасної евакуації людей;
- застосуванням засобів колективного і індивідуального захисту людей від небезпечних чинників пожежі;
- застосуванням систем протипожежного захисту.

Запобігання виникненню джерела вибуху досягаються шляхом: регламентації вогневих робіт; запобіганням нагріву устаткування до температури самозаймання вибухонебезпечного середовища; застосуванням швидкодіючих засобів захисного відключення можливих електричних джерел ініціації вибуху; застосуванням вибухозахищеного устаткування.

Для зовнішнього пожежогасіння передбачається установка гідрантів із загальною витратою води 20 л/с.

Для гасіння одягу, насиченого киснем, передбачено протипожежні душові кабінки з автоматичною подачею води при вході в кабінку.

У приміщеннях передбачаються первинні засоби пожежогасіння: пінні вогнегасники типу ОХП-10, ОП-М і ОП-9ММ (густопінні хімічні), ОХВП-10 (повітряно-пінний хімічний), вуглекислотні типу ВВ, азбестові ковдри, ящики з піском, протипожежні щити.

В якості датчиків використані димові і теплові датчики. На виході з приміщень встановлюються сповіщувачі ручні. Сигнал про пожежу виводиться на прилад “Дунай”, встановлюваний в приміщенні, в якому знаходиться цілодобовий черговий персонал. Передбачено автодозвон для передачі сигналу про пожежу на пульт централізованого спостереження державної пожежної охорони.

Передбачено систему оповіщення про пожежу першого і другого типу з використанням гучномовного зв'язку, установкою світлових покажчиків та звукових сигналів.

Передбачено блискавкозахист та заземлення споруд. В якості блискавкоприймального пристрою використовуються металоконструкції цеху.

Для захисту від занесення від високих потенціалів по підземних і надземних комунікаціям їх необхідно при вводі в споруду приєднати до заземлювального пристрою.

#### 4.6 Засоби індивідуального захисту

На робочих місцях, де не вдається знизити шум і вібрацію допустимих рівнів технічними засобами, або де це недоцільно з техніко-економічних міркувань, застосовують засоби індивідуального захисту (далі – ЗІЗ).

ЗІЗ не тільки сприяють профілактиці захворювань, прямо або побічно пов'язаних з впливом шуму (приглухуватість, шумова хвороба, порушення

нервової, серцево-судинної систем тощо), але і підвищують працездатність людини.

У залежності від конструктивного виконання ЗІЗ поділяються на протишумові навушники, що закривають вушну раковину зовні; протишумові вкладиші, що перекривають зовнішній слуховий прохід або прилеглі до нього; протишумові шоломи і каски; протишумові костюми.

Протишумові вкладиші роблять з твердих, еластичних і волокнистих матеріалів. Вони бувають одноразового та багаторазового користування.

Щодо ефективності захисту від шуму, маси і сили притиснення до привушної зони навушники й вкладиші діляться на три групи: А, Б та В. ЗІЗ вибирають виходячи з частотного спектру шуму на робочому місці і враховують зручність їх носіння при виконанні даної робочої операції і кліматичні умови.

Протишумові шоломи закривають всю голову, вони застосовуються при дуже високих рівнях шуму в поєднанні з навушниками, а також протишумні костюмами. Навушники виконані із звукопоглинальних матеріалів, щільно облягають вушну раковину і стримуються дугоподібною пружиною.

При роботі з ручним механізованим електричним і пневматичним інструментом застосовують ЗІЗ рук від дії вібрацій. Це рукавиці, а також віброзахисні прокладки або пластини, оснащені кріпленнями до рук. Враховуючи несприятливу дію холоду на розвиток віброхвороб, в зимовий час працівників треба забезпечувати теплими рукавицями.

При роботі з ручними механізмами та за умов дотримання гігієнічних норм, сумарний час роботи в контакт з вібрацією не повинен перевищувати 2/3 робочого часу. Крім того, одноразове безперервне дію вібрації, включаючи мікропаузи, не повинно перевищувати для ручних машин 15-20 хвилин. Обідня перерва рекомендується не менше ніж 40 хвилин, необхідні також дві регламентованих перерви (для активного відпочинку, виробничої гімнастики за спеціальним комплексом, фізіопрофілактичних процедур): 20 хвилин через 1-2 години після початку зміни і 30 хвилин через 2 години після обідньої перерви.

Таким чином, приміщення цеху відповідає майже всім вимогам з охорони праці та техногенної безпеки. Для зниження шуму, пов'язаного з роботою обладнання, розраховано шумоізоляцію кабіни технолога.

## ВИСНОВКИ

В результаті дослідження було встановлено, що за енергетичними параметрами водотоку доцільним для становлення модульних мікро-ГЕС є лише водотоки збірників градирень з перепадом висот близько 11 метрів, а вільнопоточних – на виході зі ставка-охолоджувача. Придатні для зазначених цілей мікро- і міні-ГЕС випускаються в даний час рядом вітчизняних та закордонних виробників.

Крім того, характеристики оборотного водотоку, такі як витрата і напір мають динамічний характер, а будь-яке коливання потоку впливає на процес перетворення типовою мікро-ГЕС енергії води, в першу чергу змінюється коефіцієнт корисної дії гідротурбіни.

Тому, для мікро-ГЕС, що за проектом встановлюються на зазначений водотік, розрахунковим експериментом було визначено залежність ККД від параметрів потоку оборотної води. Завдяки отриманій кривій можливо більш точно визначати енергетичні характеристики енергомодуля мікро-ГЕС за змінної частоти обертання.

В роботі, для прогнозування величини витрати оборотної води створено відповідний математичний апарат, який враховує її коливання відповідно до закону її розподілу. Моделювання потоку оборотної води може бути здійснено на основі статистичних даних. Загальна кількість замірів із періодичністю 0,5 години склала 1440. Експериментальні спостереження за витратою найбільш точно описуються біноміальним законом розподілу.

Також попередньо було побудовано автокореляційну функцію витрати оборотної води і розраховані значення коефіцієнтів  $b_k$  шляхом розв'язання системи рівнянь у середовищі Mathcad.

На базі розробленого математичного апарату в середовищі Simulink реалізовано модель статистичного генератора з коригуванням ККД вільнопоточної мікро-ГЕС в залежності від кутової частоти обертання її

турбіни, і адаптованого до вирішення поставлених завдань магістерської роботи.

Отже, запропонований математичний апарат дозволить коригувати енергетичні характеристики генераторів вільнопоточних мікро-ГЕС, і, таким чином, більш точно прогнозувати кількість виробленої електроенергії із вторинних водотоків гідротехнічного цеху ВП НАЕК «Запорізька АЕС». В результаті розрахунків з використанням запропонованого інструментарію встановлено, що кількість електричної енергії, яку можна отримати із зазначеного енергоресурсу складе близько 15 млн. кВт год, що становить 6% від витрат на транспортування води обладнанням для забезпечення необхідного температурного режиму, або дозволяє знизити температуру теплоносія на  $1,92^{\circ}$  С.

Економічні розрахунки варіантів запропонованої системи утилізації з енергомодулями різних виробників показало, що сумарна економія за рахунок вироблення електричної енергії у найбільш вигідному варіанті складе близько 24,5 млн. грн. на рік (плакат №8). Передбачувані сумарні капіталовкладення в реалізацію проекту близько 59,15 млн. грн. при собівартості електроенергії 1,42 грн./кВт·год. Строк окупності, розрахований за цінами на обладнання 2017 року складає близько 2,5 років, що не перевищує нормативний.



## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Федорова, А. А. Довідник по електропостачанню промислових підприємств [Текст] : довідник / А. А Федорова, Р. В. Сербинського. –М:Енергія, 1980, кн.1 - 576 с.; 1981, кн.2-624с.
2. Самойлов, М. В. Основи енергозбереження [Текст] : підручник, посібник для вузів / М. В. Самойлов, В. В.Паневчик, А. Н. Ковальов - 3-те вид., стереотип. – Мн. : БГЭУ, 2004. - 198 с.
3. Жилінський, Ю. М. Електричне освітлення і опромінення [Текст] / Ю. М. Жилінський, В. Д. Кумін. – М: Колос, 1982. – 272с.
4. Першин, В.П. Енергозбереження як фактор сталого розвитку вітчизняної економіки [Текст]: / Тези доп., МНТ конф., „Енергоефективність-2002”, Київ, 2002, 20-25с.
5. Жовтянський, В. А. Ключові проблеми енергозбереження у розрізі енергетичної стратегії України [Текст]: Жовтянський, В. А. / Тези доп., МНТ конф., „Енергоефективність-2002”, Київ, 2002, 20-25с.
6. Розанов, Ю.К. Сучасні методи регулювання якості електроенергії засобами силової електроніки [Текст]: Розанов, Ю.К./ Електротехніка. 1999. №4. 28-32с.
7. Хашимов, А.А. Енергозберігаючі системи автоматизованого електроприводу змінного струму [Текст] :Хашимов, А.А./ Електротехніка. 1995. №11. 34-39с.
8. Барський, В.А. і ін. Створення серії ЮВТ перетворювачів частоти для регульованих асинхронних електроприводів [Текст]: Барський, В.А. / Електротехніка. 1999. №7. 38-41с.
9. Корисних, Б.С., Застосування регульованого електроприводу в насосних установках систем водопостачання і водовідливу [Текст]/ Корисних, Б.С., Чебанов В.Б. / Електротехніка. 1995. №7. 9-12с.
10. Браславський, І.Я. Про можливості енергозбереження при

використанні регульованих асинхронних електроприводів [Текст]:  
Браславський, І.Я./ Електротехніка. 1998. №8. 2-5с.

11. Ковалко, М.П., Енергозбереження - досвід, проблеми, перспективи [Текст] / Ковалко М.П. Відпов. ред. Шідловській А.К; Держкоменергозбереження України - Київ: Ін-т Електродинаміки НАНУ, 1997. - 152с.

12. Копитов, Ю.В. , Економія електроенергії в промисловості [Текст]: довідник. Копитов, Ю.В. , Чуланов Б.А. -М: Енергія, 1978.-120с.

13. Мамалига, В.М. Енергозбереження в системах електроприводу[Текст]. Мамалига, В.М. - Київ: Енергетичний центр ЄС в Києві, 1995.-86с.

14. Гольфстрім, В.А., Довідник по економії паливоенергетичних ресурсів [Текст]/ Гольфстрім, В.А., Кузнєцов Ю. Л. - Київ: Техніка, 1985.- 383с.