

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

Теплоенергетики та гідроенергетики

(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

другий (магістрський) рівень

(рівень вищої освіти)

на тему Підвищення енергоефективності промислового підприємства  
за рахунок утилізації оборотних технологічних вод

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1459

спеціальності 145 Гідроенергетика

(код і назва спеціальності)

спеціалізації \_\_\_\_\_

(код і назва спеціалізації)

освітньої програми Гідроенергетика

(назва освітньої програми)

К.А. Амірян

(ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н., доц. Радченко В.В.

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

Рецензент д.т.н., проф. Банах В.А.

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

Запоріжжя

2020

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерний навчально-науковий інститут \_\_\_\_\_  
Кафедра Теплоенергетики та гідроенергетики \_\_\_\_\_  
Рівень вищої освіти другий (магістрський) рівень \_\_\_\_\_  
Спеціальність 145 – Гідроенергетика \_\_\_\_\_  
(код та назва)  
Спеціалізація \_\_\_\_\_  
(код та назва)  
Освітня програма Гідроенергетика \_\_\_\_\_

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

д.т.н., проф.

А.О. Чейлитко

« 14 » грудня 2020 року

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

Амірян Катерина Артемівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи Підвищення енергоефективності промислового підприємства за рахунок утилізації оборотних технологічних вод

керівник роботи Радченко Віталій Васильович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом ЗНУ від « 14 » вересня 2020 року № 1305-с

2 Строк подання студентом роботи 01 грудня 2020 р.

3 Вихідні дані до роботи Водотоки металургійного підприємства, основні технічні характеристики мікро ГЕС, діапазон витрат від 0,7 до 12 м<sup>3</sup>/с в межах напорів від 2,5 до 20 м, загальне водоспоживання 714907466 м<sup>3</sup>/рік.


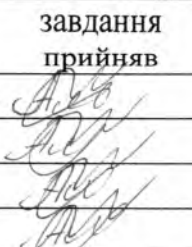

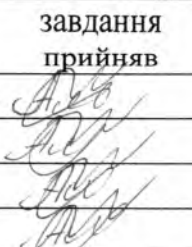

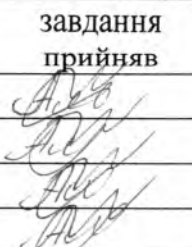

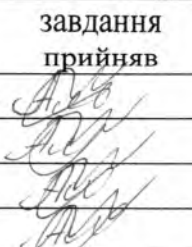
4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Теоретичні аспекти утилізації вторинного гідроресурсу промислових підприємств. 2) Дослідження щодо підвищення енергоефективності ПрАТ «Запоріжсталь» за рахунок вторинних гідроенергетичних ресурсів 3) Техніко-економічні розрахунки ефективності впровадження модульних мікро ГЕС в умовах ПрАТ «Запоріжсталь». 4) Охорона праці та техногенна безпека.

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

1) План розміщення цехів основного виробництва 2) Водоспоживання

підприємства за цехами. 3) Енергетичні характеристики гідроагрегатів 4) Характеристики джерел вторинної води. 5) Дослідження ефективності роботи модульної мікро ГЕС. 6) Розробка регулятора 7) Техніко - економічні показники впровадження мікро ГЕС. 7) Охорона праці та техногенна безпека.

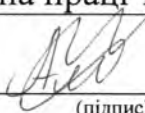
#### 6 Консультанти розділів роботи

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

7 Дата видачі завдання 01.09.2020 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Теоретичні аспекти утилізації вторинного гідроресурсу промислових підприємств	30.09.2020	
2	Дослідження щодо підвищення енергоефективності ПрАТ «Запоріжсталь» за рахунок вторинних гідроенергетичних ресурсів	30.10.2020	
3	Техніко-економічні розрахунки ефективності впровадження модульних мікро ГЕС в умовах ПрАТ «Запоріжсталь»	19.11.2020	
4	Охорона праці та техногенна безпека.	30.11.2020	

Студент  (підпис) К.А. Амірян (ініціали та прізвище)

Керівник роботи  (підпис) В.В. Радченко (ініціали та прізвище)

**Нормоконтроль пройдено**

Нормоконтролер  (підпис) Ю.М. Каюков (ініціали та прізвище)

## АНОТАЦІЯ

Амірян К. А. Підвищення енергоефективності промислового підприємства за рахунок утилізації оборотних технологічних вод.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 145 – Гідроенергетика, науковий керівник В.В. Радченко. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут, кафедра теплоенергетики та гідроенергетики, 2020.

Досліджена система утилізації вторинних гідроенергоресурсів, розроблено кілька проектів гідроутилізації в залежності від топології системи. Вибрано варіант з найменшою собівартістю і максимальним виробленням електроенергії. Застосовано комформні відображення для виключення похибки системи управління гідроагрегатом мікро ГЕС, що дозволило більш точно визначати її енергетичні характеристики за змінних обертів турбіни.

Ключові слова: ВТОРИННІ ЕНЕРГОРЕСУРСИ, ГІДРОУТИЛІЗАЦІЯ, МІКРОГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, КОМФОРМНІ ВІДОБРАЖЕННЯ, ЗМІННА ЧАСТОТА ОБЕРТАННЯ ТУРБІНИ.

## ABSTRACT

Amiryan K. A. Improving the energy efficiency of an industrial enterprise through the utilization of circulating process water.

Qualification final work for obtaining a master's degree in specialty 145 - Hydropower, supervisor V.V. Radchenko. Zaporizhia National University. Engineering Educational and Scientific Institute, Department of Thermal Power Engineering and Hydropower Engineering, 2020.

The system of utilization of secondary hydropower resources is investigated, several projects of hydro utilization depending on topology of system are developed. The option with the lowest cost and maximum electricity generation was chosen. Comfortable reflections were used to eliminate the error of the control system of the

hydro-unit of the micro-HPP, which allowed to more accurately determine its energy characteristics at variable turbine speeds.

Keywords: SECONDARY ENERGY RESOURCES, HYDRO UTILIZATION, MICROHYDROELECTRIC POWER PLANT, COMFORTABLE REFLECTIONS, VARIABLE TURBINE SPEED.

## АННОТАЦИЯ

Амирян К. А. Повышение энергоэффективности промышленного предприятия за счет утилизации оборотных технологических вод.

Квалификационная выпускная работа для получения степени высшего образования магистра по специальности 145 - Гидроэнергетика, научный руководитель В.В. Радченко. Запорожский национальный университет. Инженерный учебно-научный институт, кафедра теплоэнергетики и гидроэнергетики, 2020.

Исследована система утилизации вторичных гидроэнергоресурсов, разработано несколько проектов гидроутилизации в зависимости от топологии системы. Выбрано вариант с наименьшей себестоимостью и максимальным выработкой электроэнергии. Применен комформного отображения для исключения погрешности системы управления гидроагрегатом микро-ГЭС, что позволило более точно определять ее энергетические характеристики по переменных оборотов турбины.

Ключевые слова: ВТОРИЧНЫЕ ЭНЕРГОРЕСУРСЫ, ГИДРОУТИЛИЗАЦИЯ, МИКРОГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ, КОМФОРМНОГО ОТОБРАЖЕНИЯ, ПЕРЕМЕННАЯ ЧАСТОТА ВРАЩЕНИЯ ТУРБИНЫ.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ СТАНУ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННИХ ГІДРОЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ ПІДПРИЄМСТВ .....	12
1.1 Джерела, рівень та перспективи використання вторинних гідроенергетичних ресурсів за галузями виробництва .....	12
1.2 Загальні принципи побудови систем гідроенергетичної утилізації промислових підприємств .....	15
1.3 Оцінка потенціалу утилізації вторинних гідроенергетичних ресурсів основних промислових підприємств регіону .....	18
1.4 Аналіз існуючих технічних засобів утилізації гідроенергетичних ресурсів .....	22
1.5 Аналіз водоспоживання ПрАТ «Запоріжсталь».....	27
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ» .....	33
2.1 Визначення потенціалу гідроенергетичних ресурсів.....	33
2.2 Розрахунок системи утилізації для киснево-компресорного цеху ПрАТ «Запоріжсталь».....	38
2.3 Дослідження ефективності модульних мікро ГЕС шляхом математичного моделювання в середовищі SIMULINK.....	45
2.3.1. Визначення характеристик водотоків підприємства.....	45
2.3.2. Визначення залежності енергетичних характеристик мікро ГЕС від динаміки вторинних водотоків ПрАТ «Запоріжсталь».....	48
2.4 Застосування конформних відображень для управління системою збудження мікро ГЕС в умовах водотоків ПрАТ «Запоріжсталь»... ..	51
3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ МОДУЛЬНИХ МІКРО ГЕС В УМОВАХ ПРАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ».....	59
3.1 Визначення складових собівартості електричної енергії.....	59

3.2 Розрахунок капітальних вкладень в систему гідроенергетичної утилізації.....	62
3.3 Визначення техніко-економічних показників впровадження системи гідроенергетичної утилізації.....	65
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....	72
4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища.....	72
4.2 Заходи щодо захисту від впливу шкідливих факторів виробничого середовища горнового.....	75
4.3 Технічні рішення по гігієні праці і виробничій санітарії.....	76
4.3.1 Мікроклімат.....	76
4.3.2 Вентиляція й кондиціонування.....	76
4.3.3 Освітлення.....	83
4.4 Захисні заходи з електробезпеки.....	85
4.5 Пожежна безпека.....	88
4.6 Засоби індивідуального захисту.....	90
4.7 Розробка заходів захисту від тепловиділень.....	90
ВИСНОВКИ.....	96
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	97

## ВСТУП

*Актуальність теми.* Актуальність проблеми енергозбереження майже в усіх галузях народного господарства ні в кого не викликає сумнівів. Енергоефективність чорної металургії є однією з найбільш енергоємних і енергоспоживаючих галузей вітчизняної промисловості. Залежність від імпортованих первинних енергетичних ресурсів ставить в основу питання енергоспоживання й енергобезпеки вітчизняних виробництв. Виробництво сталі в Україні вимагає майже в чотири рази більше енергоресурсів, ніж в Китаї та країнах ЄС. Більше того, навіть конвертерний спосіб виплавки сталі споживає в нас на 30% більше енергоресурсів, ніж у середньому по цих країнах. Отже, чим швидше ми підвищимо енергоефективність виробництв, тим більш конкурентними будуть наші позиції на внутрішньому й зовнішніх ринках.

*Об'єкт дослідження* - система водопостачання та водовідведення ПрАТ «Запоріжсталь».

*Предмет дослідження* - процес генерації електричної енергії з вторинних водотоків ПрАТ «Запоріжсталь».

*Мета роботи* – дослідити можливість підвищення енергоефективності ПрАТ «Запоріжсталь» за рахунок гідроенергетичної утилізації.

*Задачі дослідження.* Для досягнення поставленої мети в роботі визначені наступні задачі:

- дослідити водотоки зазначеного металургійного підприємства і визначити його гідроенергетичний потенціал; визначити залежність енергетичних показників роботи мікро ГЕС від кутової частоти обертання в умовах нестационарних потоків вторинної води;

- розробити математичний апарат, що дозволить коригувати енергетичні характеристики генераторів мікро ГЕС;

- визначити економічні показники новоствореної системи гідроутилізації.



*Методи та засоби дослідження.* Задачі дослідження вирішувались шляхом математичного моделювання та зі застосуванням розрахункового методу.

*Наукова новизна.* У результаті теоретичних досліджень були знайдені нові наукові рішення. Розрахунковим експериментом визначено залежність енергетичних показників роботи мікро ГЕС в умовах нестационарних потоків вторинної води. Встановлено, що ККД енергомодуля мікро ГЕС значно зменшується при відхиленні параметрів водотоку від номінальних;

*Практична цінність роботи* полягає в розробці математичного апарату і регулятора на його основі, який дозволяє коригувати енергетичні характеристики генераторів мікро ГЕС, що працюють на автономне навантаження і, таким чином, збільшити кількість виробленої електроенергії із вторинних водотоків ПрАТ «Запоріжсталь». Регулятор дозволяє забезпечити необхідну якість сталих і перехідних режимів роботи генератора мікро ГЕС при різних збуреннях з боку навантаження, а також збільшити кількість електричної енергії, придатної для більшості споживачів якості в середньому на 12 - 26%.

*Апробація роботи.* Положення роботи викладені в збірнику тез:

- XXV науково - технічної конференції студентів магістрантів, аспірантів і викладачів ІННІ ЗНУ (м. Запоріжжя, 2020);
- науково-практичної конференції «Молода наука - 2020» ІННІ ЗНУ (м. Запоріжжя, 2020).

*Структура та обсяг роботи.* Магістерська робота включає вступ, чотири розділи, висновки та список використаної літератури з 47 позицій. Загальний обсяг 101 сторінка.

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 СТАНУ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННИХ ГІДРОЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ ПІДПРИЄМСТВ

## 1.1. Джерела, рівень та перспективи використання вторинних гідроенергетичних ресурсів за галузями виробництва

Останнім часом, у зв'язку з порівняно високими обсягами споживання енергії й обмеженими можливостями задоволення попиту на органічне паливо відбувається подорожчання енергетичних ресурсів та електричної енергії зокрема. Тому усе більше уваги приділяється підвищенню енергоефективності підприємства. Одним із напрямів досягнення цієї мети є використання вторинних енергоресурсів, які, в більшості випадків, безповоротно втрачаються.

У промисловості, основному споживачі енергетичних ресурсів, використовується понад 55 % теплової енергії, що виробляється, і близько 50 % всього палива, що видобувається [1]. Разом з тим, коефіцієнт корисного використання останнього на підприємствах становить тільки 30-35%. Значна кількість енергії виноситься з технологічних агрегатів з димовими газами, нагрітою продукцією, водою, відходами. Очевидно, що за певних умов частину цих енергетичних втрат можна утилізувати [2].

Під вторинними енергетичними ресурсами (ВЕР), як правило, розуміють енергетичний потенціал продукції, що випускається, відходів, побічних і проміжних продуктів, що утворюються в технологічних агрегатах (установках), який не може бути використаний в самому агрегаті, але може бути джерелом енергопостачання інших споживачів [3]. Вторинні енергоресурси поділяються за видами на горючі, теплові та надлишкового тиску (напору). У енергетичному балансі багатьох галузей промисловості вони мають вагому частку.

Так, наприклад, у чорній металургії промислова теплопотреба забезпечується за рахунок ВЕР на 34 %, а в цілому по заводах, на яких вони утворюються і використовуються - більш ніж на 48 %, у газовій промисловості - на 35 %, у промисловості мінеральних добрив - понад 27 %, у

нафтопереробній і нафтохімічній промисловості - близько 14 %, у кольоровій металургії – 8 %, в цілому по промисловому теплоспоживанню - близько 7 %. У сумарному ж тепловому балансі країни надходження теплової енергії за рахунок ВЕР становить близько 5,5 %, хоча на окремих великих підприємствах (970...80) і навіть 100% [4-8].

Питомі капіталовкладення в заходи з використання ВЕР, віднесені на 1 т зекономленого палива, в (2...3) рази менше, ніж на видобуток і транспортування останнього. Поточні витрати при виробництві одиниці енергії в утилізаційних установках також значно нижче, ніж у генеруючих. Заходи щодо використання ВЕР окупаються за рахунок економії палива, як правило, протягом декількох років. [8] При цьому вони ще й значно зменшують екологічний збиток, що наноситься навколишньому середовищу, через скорочення шкідливих викидів.

Лідером серед вторинних енергоресурсів є на сьогоднішній день теплові викиди, найбільша кількість яких утворюється на підприємствах енергетики і металургії, наприклад, у таких металургійних циклах як: доменний, сталеплавильний, прокатний та ін. Зазначені викиди являють собою потоки гарячої води систем охолодження, вологої пари, гарячих газів, які істотно збільшують енергоємність кінцевої продукції та погіршують екологічні показники підприємств. Рівень використання таких ВЕР в галузі щорічно підвищується, але його не можна визнати задовільним.

У доменному виробництві в даний час частково використовується теплота випарного охолодження печей і клапанів повітрянагрівачів, ведуться розробки з утилізації теплоти відхідних газів повітрянагрівачів. Так, наприклад, навіть часткове використання тепла від охолодження доменної печі об'ємом  $2000 \text{ м}^3$  дозволяє зекономити (10...12) тис. т. умовного палива на рік [9]. У коксохімічному виробництві окрім фізичного тепла коксу можна використовувати ще вказане тепло коксового газу і вихідних газів печей спалювання сірководню в цехах сіркоочистки. У кольоровій металургії ж основними джерелами теплових ВЕР є: теплота охолодження шахтних печей,

газів, що відходять від сіркоспалювальних установок, печей киплячого шару і відбивних печей мідно-нікелевого виробництва [10-14].

На підприємствах нафтопереробної та нафтохімічної промисловості найбільша кількість теплоти (40%) утворюється при виробництві синтетичних каучуків [15]. У хімічній промисловості видами теплових ВЕР є: фізична теплота відхідних газів технологічних печей, теплота охолодження продуктових потоків, що утворюються при виробництвах (аміаку, азотної та сірчаної кислот, кальцинованої соди). У промисловості будівельних матеріалів тепло відхідних газів печей взагалі не утилізується, хоча його обсягів було б достатньо для покриття потреби підприємства в такому виді енергії [16-18].

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

Як правило, для охолодження технологічних агрегатів використовується теплоносій з максимально можливою теплоємністю і найменшою вартістю. Таким універсальним і доступним теплоносієм є вода. Її споживання у більшості галузей промисловості величезне. При цьому вода, що подається для охолодження, по суті, є носієм не тільки теплової, але й механічної (кінетичної і потенціальної) енергій.

На підприємствах в залежності від прийнятих технологій може існувати декілька систем водопостачання. Їх можна поділити на: протипожежні, господарсько - питні, виробничі. Найбільша кількість води витрачається на виробничі цілі, де її застосовують для: охолодження, промивання,

пароутворення, гідротранспорту, як складову продукції. Воду на охолодження використовують для конденсації пари, охолодження печей, машин, верстатів, агрегатів. Частка цих витрат значно перевищує інші витрати води і безперервно зростає. Наприклад, у чорній і кольоровій металургії, нафтопереробній промисловості на водяне охолодження використовується 95 % і тільки 5 % на підсобні потреби, в хімічній та коксохімічній – відповідно 90 і 10 %, на теплових електростанціях відповідно 99 і 1 % [19].

З огляду на великі обсяги води, слід зауважити, що кількість наявної в ній механічної енергії може бути більше теплової. Якщо відбір вторинної теплоти здійснюється на комунальні та виробничі потреби хоча б частково, то потенційна енергія та енергія руху води поки що безповоротно втрачаються. Очевидно, що перетворення останніх в електричну енергію, що є по суті утилізацією надлишкового гідроресурсу (гідроенергоутілізацією), могло б істотно знизити споживання електроенергії на транспортування води.

## 1.2 Загальні принципи побудови систем гідроенергетичної утилізації промислових підприємств

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 [20]. У ряді випадків ефективно застосування цього виду ВЕР, як зазначалося вище, не можливе. Тому, для підвищення енергоефективності промислових підприємств слід створити системи утилізації гідроенергетичного потенціалу таких вторинних водотоків для вироблення власної електроенергії.

В загальному випадку вищезгадані системи можуть являти собою набір обладнання для збору вторинних водотоків, а також пристроїв для перетворення енергії потоку в електричну. З першого погляду, суттєвої

складності в проектуванні і виборі їх немає. Але для максимальної енергоефективності подібних систем необхідно враховувати ряд додаткових факторів, які є визначальними. До них в першу чергу відносяться: розташування технологічного обладнання і того, що буде застосовуватися для гідроенергоутилізації, порядок об'єднання існуючих джерел технічної води, розміщення в просторі елементів збору останньої, характер потоку на кожному з джерел, що формують сумарні водотоки. Дуже важливо при цьому, щоб і якість отриманої таким чином електричної енергії була задовільною.

Системи водопостачання промислових підприємств влаштовують за певними схемами, які представляють собою сукупність елементів водопроводу і послідовність розташування їх на місцевості. За технологічними особливостями виробничі водоводи поділяють на: прямоточні, з повторним використанням води, оборотні з охолодженням води, оборотні схеми з очищенням води [21-22]. Як правило, створення і впровадження систем утилізації їх гідроенергетичного потенціалу виконується на базі існуючих систем водоспоживання і водовідведення і не повинно впливати на технологічний процес підприємства.

Як правило, агрегати-джерела ВЕР розосереджені територіально, а вироблені ними однотипні вторинні ресурси нерівномірні, як за часом виходу, так і за значеннями параметрів, що їх характеризують. Наприклад, у більшості технологічних процесів металургії, хімічного, коксохімічного й іншого видів виробництв компонування устаткування таке, що вода подається примусово на різну висоту й потім, після відповідного використання, скидається за межі цеху, або перекачується назад за оборотним циклом. При цьому втрачається величезна кількість теплової й механічної енергії рідини. Таких вторинних потоків з різних рівнів висоти може бути декілька сотень в межах одного підприємства. Ці потоки не стаціонарні й здебільшого незначні за обсягом щоб використовувати стандартне устаткування для гідроенергоутилізації.

Однак, якщо їх об'єднати, то цього буде достатньою, щоб з'явилося потенційне джерело ВЕР, можливість використання якого буде доцільним. Цю



бросову енергію можна утилізувати вже існуючими технологіями, однак, для вибору устаткування необхідно знати кількість (оцінити обсяг) й параметри гідроресурсу і проаналізувати його розосередження на підприємстві, від чого залежить вибір устаткування за потужністю, розробити топологію системи в цілому в межах обмежень на розміщення генеруючих пристроїв.

Використання вторинних енергетичних ресурсів для вироблення електроенергії, як правило, не змінює загальну схему енергопостачання конкретного підприємства, але може істотно знизити споживання електроенергії саме на транспортування води й, отже, підвищити економічну доцільність 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 наявного потенціалу гідроресурсу і його параметрів, аналіз розосередження на підприємстві джерел води, від чого залежить проектна потужність устаткування для вищезгаданої утилізації, розробка топології системи збору води та розосередження електрогенеруючих пристроїв.

Для вирішення цілого комплексу питань, пов'язаних з гідроутилізацією, як одним із засобів підвищення ефективності використання вторинної теплоти, необхідно: розробити відповідні методики оцінки потенціалу гідроресурсу і обсягів можливої утилізації механічної енергії потоків технічної води, методику вибору утилізуючого устаткування, виходячи з реального розміщення джерел води; визначити місця раціонального розміщення відповідних мікро-ГЕС, що будуть використовуватись. І все це повинно підтверджувати економічну доцільність генерації такої електроенергії.

Очевидно, що поставлена задача є актуальною, особливо на тлі стрімкого зростання цін на енергоресурси та електричну енергію зокрема. Утилізація

механічної енергії охолоджуючої води перетворенням її в електричну - шлях до підвищення енергоефективності підприємства. Системи утилізації гідроенергетичного ресурсу створюються, в першу чергу, в інтересах самого підприємства. Вироблена електрична енергія за рахунок гідроутилізації може бути використана для живлення внутрішніх споживачів, але за умови її задовільної якості.

### 1.3 Оцінка потенціалу утилізації вторинних гідроенергетичних ресурсів основних промислових підприємств регіону

Витрати води, що споживається промисловими підприємствами, дуже значні. Вона використовується для охолодження обладнання безпосередньо в технологічному процесі або забезпечення стійкості агрегатів, що працюють у зонах високих температур. Вода також входить до складу продукції, що випускається як елемент, включаючи одержання пари для вироблення електроенергії (15...20) %, а також витрачається на підсобні потреби (полив, промивку, миття тощо). На долю цього споживання припадає (5...10) %. Таким чином, основним споживачем води в промисловості є охолодження [1,15].

Систему водяного охолодження застосовують там, де температура води визначає характер технологічного процесу. Суть її полягає в тому, що холодна вода надходить у охолоджуваний елемент і відбирає з його поверхні тепло без зміни агрегатного стану. Охолодження здійснюється тільки за рахунок конвективного теплообміну, тобто. руху потоку води. Остання входить у систему і відводиться з неї вже з температурою (35...60) °С. Незначний ступінь нагрівання води при такому охолодженні робить практично неможливою або малоефективною утилізацію тепла, що уноситься з нею.

Вказана особливість систем промислового охолодження обумовлює величезну витрату технічної води для підтримки заданого температурного

режиму. Як правило, потреба підприємства в останній розраховується за загальноприйнятими методиками. Вони дозволяють визначати її кількість, необхідну для охолодження, наприклад, конструкцій металургійних і нагрівальних печей, елементів технологічного обладнання (валків, прокатних станів, корпусів машин, підшипників тощо), готової продукції, на газоочистку і приготування технологічних розчинів.

Як було сказано, основними характеристиками систем технічного водопостачання підприємства є температура і хімічний склад води, що використовується для охолодження технологічного обладнання, а також її напір і витрата. Дві останні з них визначають потенціал вторинного гідроенергоресурсу підприємства, який практично у всіх галузях промисловості залишається незадіяним через відсутність кількісної оцінки та економічного обґрунтування доцільності його використання [8,18].

Так, наприклад, на підприємстві металургійного комплексу ПрАТ «Український графіт», який спеціалізується на випуску графітових і футеровочних блоків для мартенівських та інших типів печей, основними джерелами теплоти є дугові і обпалювальні печі [24]. Згідно паспорту системи оборотного водопостачання цього підприємства допустимі параметри технічної води такі: жорсткість - 5 мг/л, вміст зважених часток - 100 мг/л, температура води – (30...40) °С (вище 60 °С не допускається). Зазначене досить жорстке обмеження по температурі призводить до того, що сумарне споживання заводом технічної води є значним і добігає до 3000 м<sup>3</sup>/г.

Основними цехами даного підприємства, що споживають воду для промислових цілей, є:

- змішувально-пресові - № 1 і 2: на охолодження головок прокалочних печей, маси заготовок у пресовому відділенні, маси у відділенні формування, маси при навантаженні її у вагони, для роботи гідросистеми і насосних станцій пресового відділення, на холодильники прокалочного відділення;

- обпалювальний: на охолодження вузлів підсипки корпусів, димососів печей, компресорів просочення, а також просоченої продукції;

- графітації: на охолодження струмопроводів печей графітації (електрокальцінаторів), димососів печей, продукції і підсипки, підшипників димососів;

- енергосилових: на охолодження трансформаторних установок і компресорів центральної компресорної станції.

Дані, представлені в таблиці 1.1, отримані шляхом вимірювань і розрахунків на основі паспортів систем водопостачання та технічної документації устаткування. Втрати води складаються з суми втрат на випаровування та краплевинесення в системах охолодження бризкальних басейнів.

Таблиця 1.1 - Потреба в технічній воді основних металургійних підприємств м. Запоріжжя

Підприємство	Потреба в технічній воді, м <sup>3</sup> /Г	Втрати, м <sup>3</sup> /рік	Річна витрата, м <sup>3</sup> /рік
ПрАТ «Запоріжсталь»	81610	24688600	714907471
ПрАТ «Дніпроспецсталь»	18310	17645195	160394241
ПрАТ «Український графіт»	2629	4051800	16992800
ПрАТ «Запорізький феросплавний завод»	2806	3302765	24578654
Всього	105355	49688360	916873166

Також, уявлення про обсяги можливої гідроенергоутилізації можна одержати, наприклад, з даних, наведених у таблиці 1.2, які отримані з кадастру технологічних водотоків Запорізької області, перспективних для використання в якості об'єктів зазначеної утилізації шляхом установки відповідних міні - і мікро-ГЕС. Кадастр розроблений на основі «Регіональної програми енергозбереження». У таблиці розглянуті найбільші водотоки зазначених підприємств, де великі об'єми технічної води після використання вже

самопливом попадають на більш низькі обрії. Перепади між останніми можуть становити кілька десятків (до сотні) метрів, і, навіть, при невеликих витратах води розрахункові потужності водотоків виявляються значними [33-36].

Таблиця 1.2 - Обсяги можливої гідроутилізації на деяких підприємствах Запорізької області

Підприємство	Джерело води	Витрата, м <sup>3</sup> /с	Напір, м	Об'єм води, млн.м <sup>3</sup>	Розрахункова потужність водотоку, кВт
ЗАТ «Запорізький залізорудний комбінат»	Трубопровід скидання шахтних вод у ставок-випаровувач на Утлюкському лимані	0,57	12,40	-	58,84
	Ставок-накопичувач шахтних вод	-	1,80	1,80	1100,72 при використанні 40% об'єму на протязі 10 год
Запорізька ТЕС	Канал скидання	140,00	5,00	-	6867
КП «Водоканал»	Центральні очисні споруди	2,54	2,00	-	42,35
	Водопровідна станція №1	1,83	5,00	-	42,62
	Водопровідна станція №2	1,16	5,00	-	42,62

Найбільшу кількість технічної води на ПрАТ «Український графіт» споживає цех графітації. Її сумарна витрата становить 644 м<sup>3</sup>/г, в тому числі 300 м<sup>3</sup>/г - на охолодження електрокальцінаторів, 180 м<sup>3</sup>/г – барабанів-

охолоджувачів, 144 м<sup>3</sup>/г – підшипників димососів і 20 м<sup>3</sup>/г – формовочних машин. Підведення води на охолодження обладнання цеху здійснюється двома шляхами: на електрокальцінатори, як найбільш чутливе до безперервності охолодження обладнання, її подачу виконують від окремого насоса, на інше обладнання - від центральної насосної станції.

Існує кілька методик, що дозволяють оцінити потребу підприємства в технічній воді. Розрахунок індивідуальних норм водоспоживання та водовідведення у відповідності з методикою [25,26] зводиться до визначення необхідної витрати води за операціями і агрегатами як основного, так і допоміжного виробництва. Така витрата визначається:

- для обладнання заводського виготовлення приймається за паспортними даними заводу-виготовлювача;
- для прокатного обладнання (охолодження валків, гідрозбивання окалини і т.п.), у зв'язку з відсутністю методики розрахунку, приймається за досягнутого рівня експлуатації;
- на охолодження елементів обладнання, що не має паспортних даних, визначається за формулами методики [27].

#### 1.4 Аналіз існуючих технічних засобів утилізації гідроенергетичних ресурсів

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 [7-9]. 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, оскільки 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", 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. У комплект поставки входять, як правило, турбіна, генератор і система автоматичного

керування гідроагрегатом. Проточні частини всіх турбін розроблені з використанням методу математичного моделювання.

Основні характеристики мікро-ГЕС представлені в таблицях 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					

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.

отоки 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 [33].

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

Параметри	Тип мікро-ГЕС		
	20 ПрД	100 ДО	200 ДО
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	
Номинальна напруга, В	230, 400	230, 400	
Номинальна частота струму, Гц	50	50	

ПВ Україні 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 [7-9]. 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. 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.

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 [23].

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.

Однак, за відповідного корегування законодавчої бази щодо товарів, які імпортуються, і звільнення від мита тих з них, до яких належить і

енергозберігаюче утилізаційне обладнання, впровадження останнього може стати рентабельним. Так, наприклад, в Україні діє Закон № 760-V (стаття 19) від 16.03.2007 р., згідно з яким «устаткування, яке працює на нетрадиційних та поновлюваних джерелах енергії, енергозберігаюче обладнання і матеріали, засоби вимірювання, контролю та управління витратами паливно-енергетичних ресурсів, обладнання та матеріали для вироблення альтернативних видів палива, які ввозяться на митну територію України вітчизняними підприємствами, за умови, що ці товари використовуються ними для власних потреб і якщо ідентичні товари з аналогічними якісними показниками не виробляються в Україні» звільняється від ввізного мита.

У законі, на жаль, не враховується, що виготовлені на вітчизняних підприємствах мікро-ГЕС хоча і мають практично однакові технічні параметри з імпортованими, однак ККД останніх значно вище, а при обмеженій витраті технічної води в плані підприємства (цеху) саме він є визначальним. Очевидно, що якщо зняти обмеження на ввезення зазначеного імпортного енергогенеруючого обладнання, собівартість електроенергії, що буде ним вироблятися, значно знизиться, і, отже, можна буде говорити про конкурентоспроможність останнього.

### 1.5 Аналіз водоспоживання ПрАТ «Запоріжсталь»

До складу доменного цеху входять 5 доменних печей, 20 кауперів, 4 машини розливання чавуну, рудний двір з вагонами-перекидачами, шлакові відвали.

Всі печі працюють із тиском під колошником (0,8...12) атм, температура дугтя (1100...1200) °С. Дугтя збагачене киснем до (22...23) %.

Доменні печі №1,2, пущені відповідно, в 1933, 1934 р. мали корисний об'єм по 930 м<sup>3</sup>, а в 1959 р. доменна піч №2 була доведена до корисного об'єму

1513 м<sup>3</sup>. Через низьку продуктивність доменної печі №1. морального й фізичного старіння, ухвалено рішення її зупинити й у 2006 році демонтувати.

Доменна піч №3, пущена в 1938 р. мала корисний об'єм 1300 м<sup>3</sup>, в 1971 році корисний об'єм доведений до 1513 м<sup>3</sup>.

Доменна піч №4 1940-1948 р. мала корисний об'єм 1239 м<sup>3</sup>. В 1961 році корисний об'єм доведений до 1513 м<sup>3</sup>.

Розташування доменних печей після демонтування ДП-1 на сьогодні острівне. Фонд терміну їх роботи й продуктивність представлено в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Фонд терміну роботи й продуктивність доменних печей

Доменні печі	Чавун, т/рік	Фонд терміну роботи, год	Середньорічна продуктивність, т/год
ДП-2	588197,80	6122,60	96,07
ДП-3	989617,20	8760,00	112,97
ДП-4	955983,10	8705,00	109,89
ДП-5	970201,95	8499,36	114,15

Доменна піч №5 пущена в експлуатацію в 1952 році з корисним об'ємом 1386 м<sup>3</sup>. В результаті капітальних ремонтів був знижений рівень чавунної льотки, у зв'язку із чим корисний об'єм збільшений до 1410 м<sup>3</sup>. В 1967 році корисний об'єм збільшений до 1513 м<sup>3</sup>.

Водопостачання доменних печей здійснюється за оборотною схемою. Це дозволяє повернути у систему їх охолодження до 90-95 % використаної на такі цілі води.

В якості охолоджувача оборотної води застосовується бризкальний басейн, що складається з п'яти секцій. Охолодження нагрітої води здійснюється за допомогою тангенціальних сопел. Діаметр вхідного отвору сопла 50 мм, вихідного – 25 мм.

Нагріта вода від охолоджуваних елементів доменних печей самопливом надходить у 2 колектори діаметром 700 мм і по 6 трубопроводам транспортується на бризкальний басейн і циркуляційні насоси для подачі води на бризкала.

Розміри секцій бризкального басейну:

«Д» - 40 x 28 x 2,5 (2800) м;

№1 - 40 x 28 x 2,5 (2800) м;

№2 - 40 x 28 x 2,5 (2800) м;

№3 - 50 x 50 x 2,0 (5000) м;

№4 - 50 x 44 x 2,0 (4400) м.

Охолоджена в басейні вода подається по 4 водоводам (3 водовода діаметром 1000 мм і один – 700 мм) на 2 колектори з перемичками (діаметром 800 мм і 700 мм) з подачею з них води двома трубопроводами на охолоджувані елементи доменної печі (для надійності з різних колекторів).

Оборотною водою забезпечуються холодильники поду, горна, фурмена зона, заплечики всіх доменних печей, а також шахти ДП-3,5 і шибери повітрянагрівачів ДП-5.

Холодильники шахти ДП-2,4 і шибери повітрянагрівачів ДП-2,3,4 працюють на випарному охолодженні. Підживлення системи випарного охолодження (СВО) здійснюються знесоленою водою, вироблюваною хімводоочищенням ТЕЦ.

Пара від ДП-2 подається в паропровід низького тиску ТЕЦ, від ДП-3,4 – випускається в атмосферу.

Для зовнішнього охолодження кожуха по периметрі печі укладають три кільцеві перфоровані труби діаметром 80 мм. Всі кільцеві трубопроводи збирають із чотирьох відсіків. Для зручності ремонту й очищення відсіки збирають на болтових фланцевих з'єднаннях.

Структуру водоспоживання і водовідведення ПрАТ «Запоріжсталь» наведено в таблиці 1.6, а відповідну діаграму на рисунку 1.1.

Таблиця 1.6 – Водоспоживання ПрАТ «Запоріжсталь»

Назва структурної одиниці	Річне водоспоживання				
	Загальне	Оборотний цикл		Охолодження обладнання	
		м <sup>3</sup>	м <sup>3</sup>	%	м <sup>3</sup>
Агломераційний цех	5679651	-	-	1292473	23
Доменний цех	71648748	58819873	82	65562259	92
Мартенівський цех	52547860	39015505	74	41722771	79
Обжимний цех	6009720	182364	3	206071	3
ЦГПТЛ	106964734	74634277	70	34931822	33
Відділення ГП	1196353	1045973	87	1182600	99
ЦХП №1	32784832	11482196	35	24457078	75
ЦХП №3	846893	-	-	426149	50
Станція нейтралізації	195761	-	-	-	-
Всього по основному виробництву	277874552	185180188	67	169781223	61
ТЕЦ	275856880	252762414	92	269950258	98
ККЦ	105326411	98428546	93	105121687	100
Газовий цех	42992615	34748011	81	708503	2
Ливарний цех	4681666	2863679	61	919638	20
Копровий цех	964740	472344	49	472344	49
Упр. з\д транспортом	375031	8957	2	10122	3
Автотранспортний цех	56556	-	-	-	-
Цех товарів н\с	102170	90090	88	101622	99
Цех водопостачання	1523465	-	-	379109	25
Механічний цех	248377	-	-	9535	4
Всього по ПрАТ "Запоріжсталь"	714907466	574554229	80	547454041	77

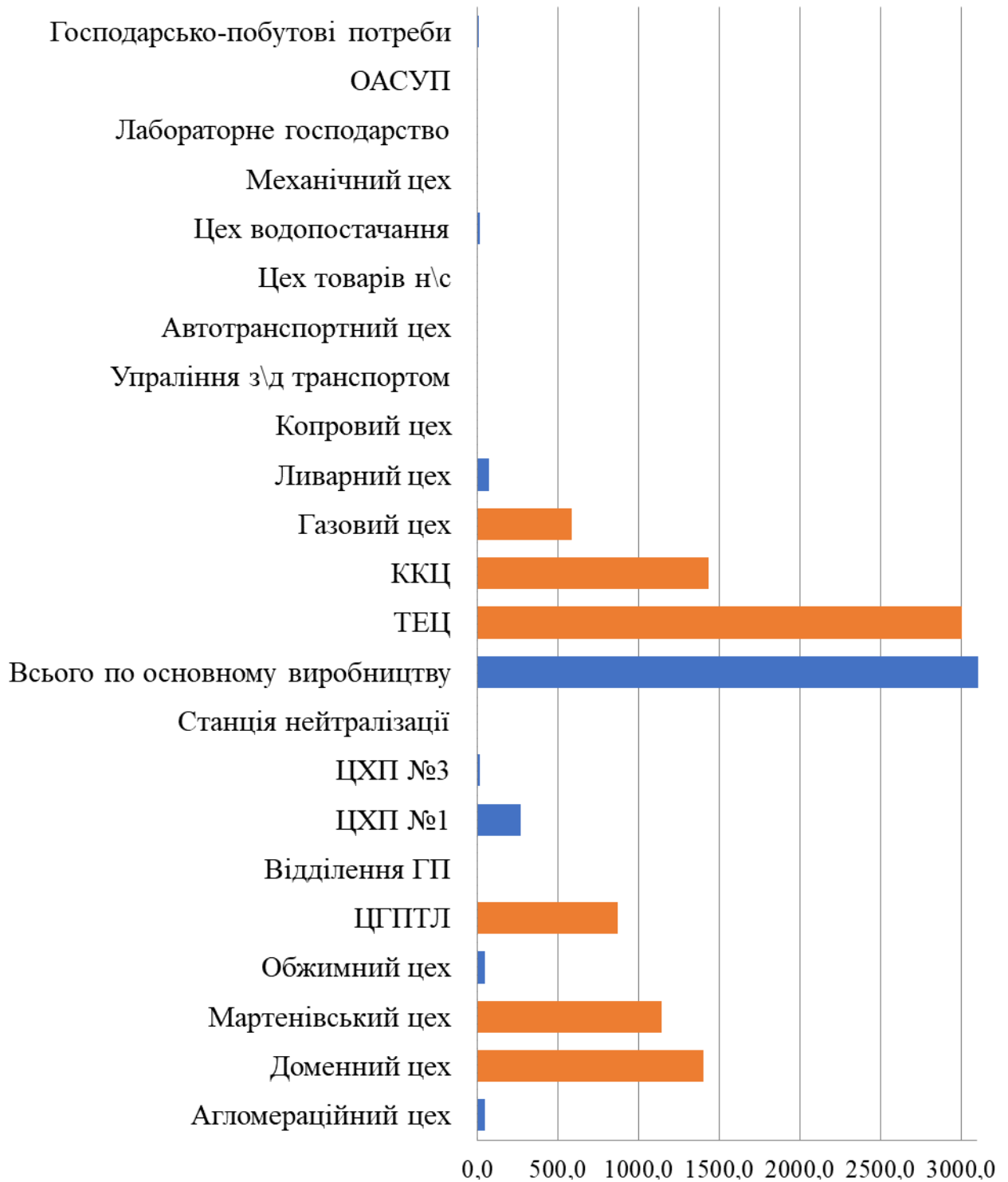


Рисунок 1.1 – Діаграма водоспоживання ПрАТ «Запоріжсталь»

Відвод води: вся вода від охолодних пристроїв надходить у прийомні резервуари, звідки по стояках відводиться в зливальне кільце діаметром 900 мм, покладене по периметрі доменної печі під робочою площадкою. Відвод повітря

від збірного кільцевого трубопроводу здійснюється по повітряних трубах діаметром 100 мм, концентрично встановленим усередині зливальних стояків, і по спеціальних трубах, врізаних у місцях спусків.

З діаграми видно, що найбільша кількість води споживається на виробничі цілі такими структурними одиницями комбінату як ТЕЦ, ККЦ, ЦГПТЛ, доменний цех, мартенівський цех., а загальне водоспоживання близько 715 млн. м<sup>3</sup>.

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 мікро ГЕС. 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 металургійного підприємства і визначити точну цифру гідроенергетичного потенціалу заводу в цілому; 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 ПрАТ «Запоріжсталь»; визначити економічні показники новоствореної системи гідроутилізації.



## 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

### ПРАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ»

#### 2.1 Визначення потенціалу гідроенергетичних ресурсів

Розрахунок необхідної кількості води для охолодження металургійних 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,  $\text{м}^3/\text{год}$

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

де  $Q_{mi} = q \cdot F$  – 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>,

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

$t_{вх}$  – 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,  $\text{м}^3/\text{год}$

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

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,  $m^3/г$ .

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

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

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

$Q_е$  - 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], кВт·год

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

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 гідроенергоут ілізації		Можливе вироблення електроенергії за рік $W_m$ , кВт·г
	тис.м <sup>3</sup> /рік	% від загального споживання	тис.м <sup>3</sup> /рік	%	
ПрАТ «Запоріжсталь»	574554,3	80,4	458889,6	64	7502845
ПрАТ «Дніпроспецсталь»	137992,7	86,1	116903,3	72	1911369
ПрАТ «Український графіт»	12941,0	76,2	10851,4	63	211585
ПрАТ «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 1 МВт,

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 Розрахунок системи утилізації для киснево-компресорного цеху ПрАТ «Запоріжсталь»

Як приклад, в якості об'єкта гідроенергетичної утилізації, був розглянутий киснево-компресорний цех, який входить в склад підприємства ПрАТ «Запоріжсталь». На його території розміщується наступне обладнання: турбокомпресори, турбоконденсатори, підшипники димососів, колонки водоохолодження, системи охолодження яких і є, в даному випадку, джерелами вторинної води з витратами від 20 до 50 м<sup>3</sup>/год. Відмітка висоти, з якої відбувається водовідведення коливається в межах (4,8...17,1) м. Основні характеристики об'єкта, що є вихідними для визначення оптимальної СГЕУ, зведено до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Характеристики джерел вторинної води

Джерело води	Координати джерел вторинної води, $(x, y, z)_k$ , м	Гранична витрата, $Q_{kmax}$ , $м^3/г$	Напір, м	Координати центрів збору, $(x, y)_p$ , м
Турбо - компресори	23,5;55;19 36,5;55; 19 49,5;55; 19 62,5;55; 19 75,5;55; 19 88,5;55; 19	1350	7,1	105;55
Турбо-конденсатори	21,75;41,5;6 34,75;41,5;6 47,75;41,5;6 60,75;41,5;6 73,75;41,5;6 86,75;41,5;6	1230	5	95;32
Колонки водоохолодження	65;28;11	200	10	
Підшипники димососів	108;26;6 108;23;6 108;20,5;6 108;17,5;6 108;14; 6	28,8	4,8	25;10

Технічно, є можливість, зважаючи на наявність на площі цеху іншого технологічного обладнання та допоміжних споруд, розміщення центрів збору гідроресурсу лише в трьох точках. До того ж, вищезазначене устаткування відноситься, в даному випадку, до так званих «заборонених зон», тобто місць

неприпустимого розташування елементів СГЕУ. Як було визначено, останнє прийнятно задавати у вигляді паралелепіпедів, найбільш простий аналітичний опис яких являє собою сигнатурна функція. На плані цеху місця неприпустимого розміщення елементів системи, що проектується, задаються наступним чином:  $x_{\gamma}(x_{\gamma \min} \dots x_{\gamma \max})$ ;  $y_{\gamma}(y_{\gamma \min} \dots y_{\gamma \max})$ ;  $z_{\gamma}(z_{\gamma \min} \dots z_{\gamma \max})$ .

При цьому, характеристики оптимальної СГЕУ на першому етапі розраховувалися на умовно постійне максимальне значення витрати, тобто без врахування динаміки потоку, що значно спрощує алгоритм. Так, згідно з останнім, для об'єкта, що розглядається, визначаються всі можливі комбінації об'єднання джерел вторинної води з центрами збору. В даному випадку, загальна їх кількість буде дорівнювати, шт

$$r = 3^{18} = 387420489.$$

Після відсіювання варіантів, які не відповідають вимогам щодо їх довжини  $p = \overline{1, q}$  кількість останніх зменшилася.

Для першої комбінації  $c_k = 1$  розподілення джерел по центрах збору відбулося наступним чином:

ЦЗ №1 – турбокомпресори;

ЦЗ №2 – турбоконденсатори, колонки водоохолодження, підшипники димососів;

ЦЗ №3 – джерела відсутні.

Розрахунок необхідного діаметра трубопроводу від турбокомпресора №1-б до ЦЗ №1 для забезпечення необхідної пропускної спроможності проводиться так, м

$$d_{11} = 2 \cdot \sqrt{\frac{1350}{3600 \cdot \pi \cdot 1,25}} = 0,812 .$$



Виходячи із величини  $d_{11}$  з номенклатури стандартних діаметрів трубопроводів (табл. 1.9) вибирається найближчий більший, тобто  $d_{11cm} = 0,82$  м.

Наступним кроком є визначення відстані  $l_{кр}$  між джерелами і центрами збору за їх заданими координатами. Для цього, згідно з розробленим в [33] алгоритмом простір цеху розбивається на куби із загальною кількістю вузлів в їх вершинах (точки пролягання траси), шт

$$n = \left(\frac{115}{\Delta} + 1\right) \cdot \left(\frac{60}{\Delta} + 1\right) \cdot \left(\frac{22}{\Delta} + 1\right) = 162748,$$

де  $\Delta$  - крок зміни координат (вибирається довільно в залежності від прийнятої точності розрахунків. Для задачі, що розглядається, приймаємо  $\Delta = 1$  м). Множина шляхів можливого пролягання трас трубопроводів, що проходять через отримані таким чином вузли, генерується на наступному кроці. В результаті відсіювання маршрутів, точки яких належать забороненим зонам розташування  $j$ -го обладнання СГЕУ із застосуванням сигнатурної функції, визначено, що найкоротшим з них є шлях довжиною 83,7 м.

Ухил водовідвідної мережі обчислюється за формулою, м

$$i_{11} = 1/325 = 0,0031.$$

Потім визначаються характеристики потоку рідини в трубопроводі.  
Швидкість руху води, м/с

$$v_k = 52,26 \cdot \sqrt{\left(\frac{0,325}{4}\right)} \cdot 0,0031 = 0,83.$$

При  $0,1 < R < 3$  м

$$C = \frac{1}{0,013} \cdot \left( \frac{0,325}{4} \right)^{0,154} = 52,26,$$

$$y = 2,5 \cdot \sqrt{0,013} - 0,13 - 0,75 \cdot \frac{0,325}{4} \cdot (\sqrt{0,013} - 0,1) = 0,154.$$

Загальні втрати напору в трубопроводі складаються з місцевих та лінійних втрат, м

$$H_{втр} = 0,26 + 6 \cdot 0,018 = 0,37 .$$

Де втрати напору по довжині трубопроводу визначаються за формулою, м

$$H_{ли} = \frac{0,83^2}{52,26^2 \cdot (0,325/4)} \cdot 83,7 = 0,26 .$$

При гідравлічному розрахунку як напірних, так і самопливних мереж слід враховувати місцеві втрати напору в колінах, відводах засувках і т.д., які визначаються за формулою Дарсі-Вейсбаха [34,35], м

$$h_m = 0,5 \cdot \frac{0,83^2}{2 \cdot g} = 0,018 .$$

Результуючий напір в центрі збору з урахуванням втрат дорівнює, м

$$H_{втр} = 17,1 - 0,37 = 16,73 .$$

Потужність водотоку джерела вторинної води  $N_{кв}$ , з урахуванням втрат енергії в елементах системи збору визначається за виразом, Вт

$$N_I = \frac{9,81 \cdot 1000 \cdot 1350 \cdot 16,73}{3600} = 92676,8.$$

Потім, після визначених параметрів сумарного вторинного водотоку, що надходить в ЦЗ №1 від турбокомпресорів підбирається обладнання для гідроенергоутилізації, а саме мікро ГЕС модульного типу. Для вищезазначених характеристик потоку вибираємо агрегат типу 100 Пр з турбіною діагонального типу. Номінальні витрати коливаються в межах (0,58...0,8) м<sup>3</sup>/с, напори (5,0...7,0) м, потужність 100 кВт. Енергія, що виробляється генератором останньої, визначається згідно з виразом [36-38], кВт·год

$$W_p = N_p \cdot T \cdot \mu_{pt} \cdot \mu_{pg}, \quad (2.7)$$

де  $T$  – фонд робочого часу підприємства (для трьохзмінного графіку дорівнює 8760 годин),

$\mu_{pt}$  і  $\mu_{pg}$  - ККД турбіни і генератора, відповідно.

Для центру збору №1, кВт·год

$$W_I = 92676,8 \cdot 8760 \cdot 0,86 \cdot 0,95 = 813564,6.$$

Для ЦЗ №2 отримуємо наступні техніко-економічні показники: вартість мікро ГЕС типу 100 Пр, що застосовується для утилізації енергії сумарного водотоку з параметрами  $Q_\Sigma = 960$  л/с і  $H_\Sigma = 5,2$  м складає 1024000 грн. При цьому капітальні  $K_{C1} = 159746,15$  грн, і, відповідно, поточні витрати  $K_{n2} = 37150,99$  грн, а річна кількість електроенергії, що виробляється дорівнює  $W_2 = 834256$  кВт·год.

Собівартість електричної енергії  $C_{EE}$ , що виробляється всією СГЕУ комбінації  $C_K$ , визначається за виразом, грн/(кВт·год)

$$C_{EE} = K_{nc\kappa} / W_{c\kappa}, \quad (2.8)$$

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  $T$ .

В результаті обчислювальних операцій за вищенаведеним алгоритмом, 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 з урахуванням обмежень на місця розташування її елементів.

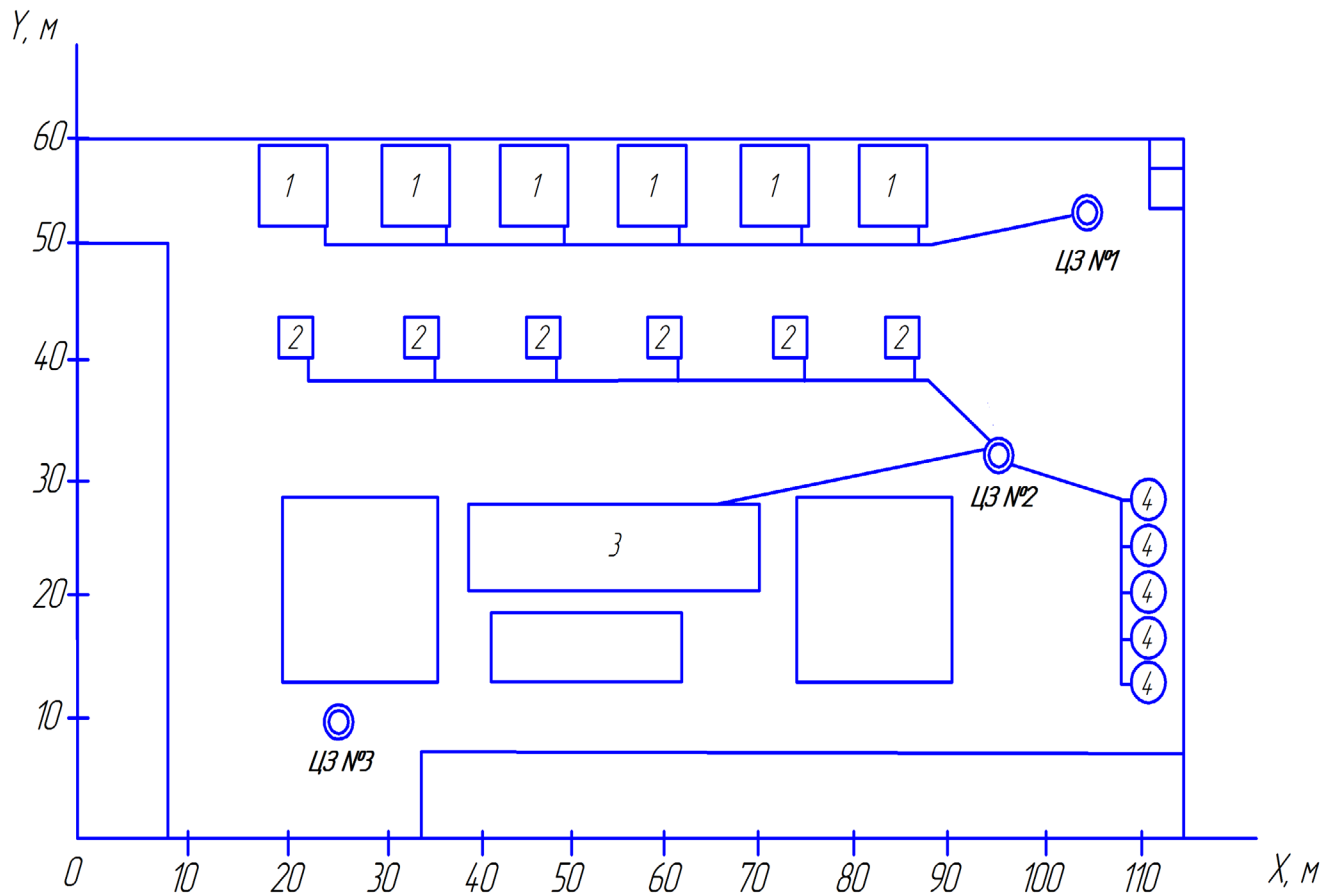


Рисунок 2.1 - План розташування обладнання цеху із зображенням оптимальної за економічним критерієм СГЕУ

Деякі з варіантів, для яких собівартість вироблення електроенергії не перевищує встановлений тариф з мережі  $C_{c\kappa} \leq C_m$  (для промислових

підприємств станом на 01.12.2019р. – 1,74322 грн./кВт·год [39] зведено до таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Параметри обладнання оптимальної СГЕУ киснево-конверторного цеху ПрАТ «Запоріжсталь»

Центр збору / Джерело		Діаметр трубопроводу $d$ , м	Довжина $l$ , м	Тип мікро ГЕС
№ 1	турбокомпресори	0,820	42,06	100Пр
№ 2	турбоконденсатори	0,78	33,84	100Пр
	колонки водоохолодження	0,473	76,12	
	підшипники димососів	0,219	36,29	
№ 3	незадіяний			

Передбачувані сумарні капіталовкладення в реалізацію проекту складають 2 147 312 грн. згідно з діючою на 1.11.2020 р. вартістю обладнання, робіт з монтажу і обслуговування. При цьому собівартість електроенергії 0,40 грн./кВт·год.

## 2.3 Дослідження ефективності модульних мікро ГЕС шляхом математичного моделювання в середовищі SIMULINK

### 2.3.1. Визначення характеристик водотоків підприємства

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 нестационарний, 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 циклом 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 змоделювати 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.

### 2.3.2 Визначення залежності енергетичних характеристик мікро ГЕС від динаміки вторинних водотоків ПрАТ «Запоріжсталь»

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], об/хв

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

де  $\omega$  - частота обертання турбіни;

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

Звідси отримаємо, рад/с

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



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, рад/с

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

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, кВт

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

Енергія, що виробляється генераторами, визначається згідно з виразом, кВт·год

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

а для кожного з центрів збору вона дорівнює, кВт·год

$$W_{p\gamma} = N_{p\gamma} \cdot T \cdot \mu_{\text{тр}} \cdot \mu_{\text{гр}}, \quad (2.15)$$

де  $T$  – проміжок часу,  $\mu_{\text{тр}}$  і  $\mu_{\text{гр}}$  - 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.

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

#### 2.4 Застосування конформних відображень для управління системою збудження мікро ГЕС в умовах водотоків ПрАТ «Запоріжсталь»

Розвиток систем автоматичного управління (САУ) спрямовано на розробку регуляторів, що дозволяють забезпечити необхідну якість сталих і перехідних режимів роботи для нелінійних об'єктів при різних початкових умовах і обмеженнях [40]. При цьому, для нелінійних об'єктів необхідно враховувати:

- не виконується принцип суперпозиції, тому дослідження нелінійної системи при декількох впливах не можна зводити до дослідження їх суми при одному впливі;

- стійкість і характер перехідного процесу залежать від величини початкового відхилення від положення рівноваги;

- при фіксованих зовнішніх впливах можливі кілька положень рівноваги.

Рішення даної наукової проблеми може бути досягнуто, якщо при формуванні закону управління помилку САУ уявити не в матеріальному, а в комплексному вигляді. Для цього вводиться визначення комплексної площини помилок САУ, дійсна вісь  $R$  якої збігається з вектором входів (заданої уставки)  $r$ , а уявна вісь  $I$  зміщена на кут  $\pi/2$  в декартовій системі координат і фізично визначає запізнювання в об'єкті управління. Тоді комплексна помилка САУ відповідає точці на комплексній площині  $S$ , яка визначається векторною різницею значень вектора виходу об'єкта управління і вектора входу (уставки)

$E = y - r$ , що дозволить врахувати запізнювання і можливо невідомий порядок об'єкта управління, впливу перешкод  $n$  і збурень  $d$ .

У роботі пропонується застосування перетворення Гільберта аналітичних сигналів для вимірювання комплексної помилки САУ, її дійсної і уявної складових в декартовій системі координат, а також модуля і аргументу в полярній системі координат. Використовуючи теорію функції комплексного змінного, розглянуто підхід до розробки САУ на основі комплексної помилки, що пропонує формування закону керування як конформного перетворення траєкторії комплексної помилки у вихідній комплексній площині  $S$  в початок координат перетвореної комплексної площини  $S^{\wedge}$ , де її значення дорівнює 0.

Приклад застосування такого підходу наведено застосовано в автоматичному регуляторі збудження (АРЗ) асинхронного генератора, що включає в себе автоматичний регулятор напруги (АРН) і стабілізатор коливань потужності (PSS - power system stabilizer). Реалізовано підхід з використанням системи обчислень MATLAB.

Сучасні САУ на основі алгоритмів, які не потребують докладної інформації про об'єкт управління, але здатних виконати ідентифікацію, структурну та параметричну оптимізацію регулятора, базуючись на вимірюванні входів і виходів. Структура регулятора САУ визначається взаємодією установки датчиків, що дозволяють організувати необхідні зворотні зв'язки (33). Так як 33 визначається циклічно взаємодією окремих частин САУ, то, як відомо, існує фазове запізнювання в контурі 33 між сигналами виходу і входу об'єкта управління.

Для використання інформації про динаміку взаємодії сигналів входів і виходів об'єкта управління використовується поняття комплексної помилки САУ. Тобто, комплексною помилкою САУ  $E$  називається різниця між вектором виходу об'єкта управління  $y_{\Sigma}$  і вектором входу  $r$ , представлена на комплексній площині  $R - I$ , де вісь  $R$  визначена напрямком вектора входу  $r$ , а вісь  $I$  зміщена на кут  $\pi/2$  в декартовій системі координат:

$E = y_{\Sigma} \quad r = E_R + jE_I$ , де  $j = \sqrt{-1}$ ,  $E_R$  і  $E_I$  - дійсна і уявна складові комплексної помилки. Фазове запізнення  $\Delta\varphi$  об'єкта управління, дійсна  $E_R$  і уявна  $E_I$  складові комплексної помилки  $E$  в декартовій системі координат, модуль  $E$  і аргумент  $\delta$  комплексної помилки в полярній системі координат будуть визначатися із відповідних геометричних співвідношень (див. рис. 2.2).

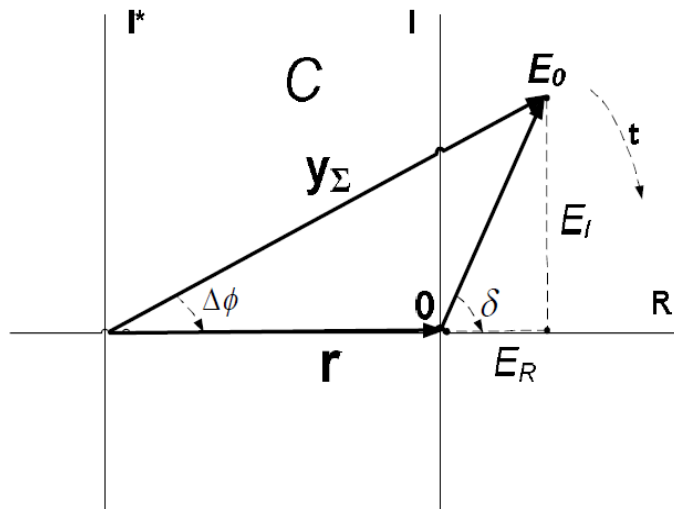


Рисунок 2.2 - Графічна інтерпретація комплексної помилки:

$$\Delta\varphi = \operatorname{arctg}\left(\frac{E_I}{r + E_R}\right) = \operatorname{arcsin}\left(\frac{E_I}{y_{\Sigma}}\right);$$

$$\delta = \operatorname{arcsin}\left[\frac{y_{\Sigma} \cdot \sin(\Delta\varphi)}{r^2 + y_{\Sigma}^2 - 2r \cdot y_{\Sigma} \cdot \cos(\Delta\varphi)}\right]$$

$$E^2 = r^2 + y_{\Sigma}^2 - 2 \cdot r \cdot y_{\Sigma} \cdot \cos(\Delta\varphi); \quad (2.16)$$

$$E_R = y_{\Sigma} \cdot \cos(\Delta\varphi) - r = E \cdot \cos\delta;$$

$$E_I = y_{\Sigma} \cdot \sin(\Delta\varphi) = E \cdot \sin\delta$$

де  $C$  - позначення на комплексній площині помилки САУ,

$r$  - модуль вектора уставки,  $y_{\Sigma}$  - модуль виходу об'єкта,

$\Delta\varphi$  - фазове запізнення САУ, яке визначається в декартовій системі координат  $RI^*$ ;

$\delta$  - аргумент комплексної помилки в декартовій системі координат  $R - I$ , який визначає показову форму комплексної помилки САУ  $E = Ee^{j\delta}$ .

Фазове запізнення  $\Delta\varphi$  може бути визначене з використанням перетворення Гільберта аналітичних сигналів входів і виходів об'єкта управління. Аналітичний сигнал являє собою суму двох ортогональних сигналів, всі гармонійні складові яких зміщені по фазі на  $\pi/2$  для якого можуть бути визначені поняття згинаючої, миттєвої фази та миттєвої частоти [40, 41]. Уявна частина аналітичного сигналу  $Z_S(t)$  є комплексно поєднаною з його дійсною частиною  $\text{Re } Z_S(t) = s(t)$  і визначається через перетворення Гільберта (НТ)

$$\text{Im } Z_S(t) = \tilde{s}(t) = HT[s(t)]. \quad (2.17)$$

Важливо відзначити, що структура комплексної помилки управління, тобто її дійсна і уявна складові в декартовій системі координат або модуль і аргумент у полярній системі координат, дозволяють визначати запізнювання в об'єкті управління і, виходячи з вимірюваного значення, формувати закон управління САУ.

Визначення помилки управління САУ у вигляді комплексного числа дозволяє використовувати для розробки регулятора математичний апарат теорії функції комплексного змінного. Фізично можлива область аргументу комплексної помилки САУ в декартовій системі координат  $R-I$  визначається принципом причинності і обмежена верхньою півплощиною.

Регулятор з використанням конформного відображення застосований для моделі «асинхронний генератор-шини нескінченної потужності» (АГ-ШНП), як автоматичний регулятор напруги (АРН) і стабілізатор коливань потужності (PSS - power system stabilizer) асинхронного генератора у відповідності зі структурою САУ, визначаються два квадратурних входу об'єкта управління.

Використовуючи властивість трьох точок [42] дрібно - лінійного перетворення (9), розглянемо точки  $E_1 = -r$ ,  $E_2 = 0$ ,  $E_3 = r$ , що лежать на осі  $R$  площини  $C$  комплексної помилки, які повинні відображатися у відповідні точки  $E_1^{\wedge} = -r$ ,  $E_2^{\wedge} = -jr$ ,  $E_3^{\wedge} = r$  окружності, розташованої в комплексній площині  $C^{\wedge}$ , рисунок 2.3:

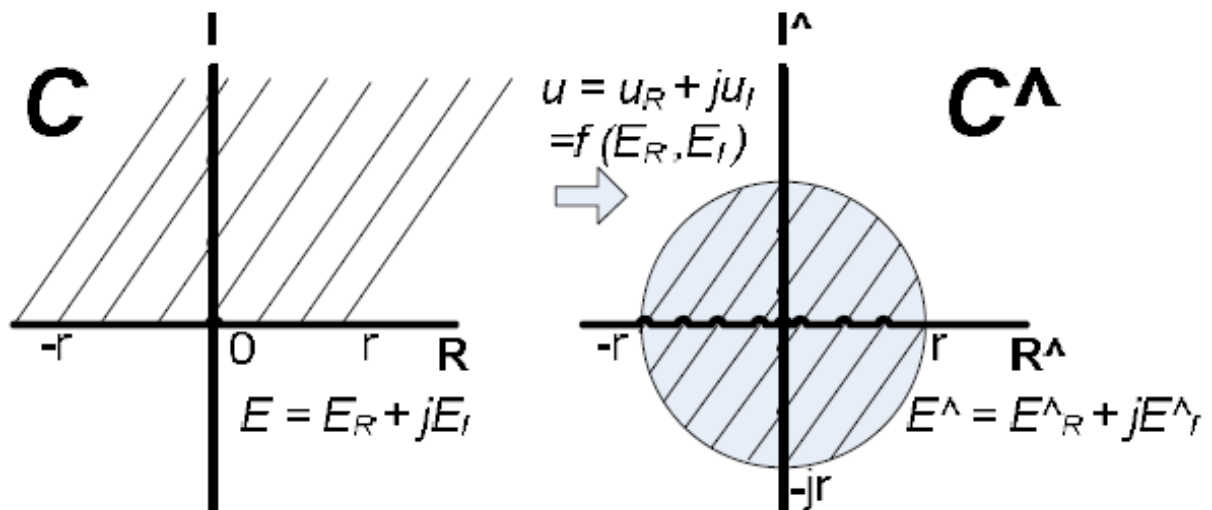


Рисунок 2.3 - Закон управління САУ як конформне перетворення верхньої півплощини у нутро окружності одиничного радіуса при  $r \rightarrow 0$ .

Отримана САУ інтегрована в структуру системи збудження, яку наведено на рисунку 2.4, 2.5. Дані експерименту наведено на рисунку 2.6, 2.7.

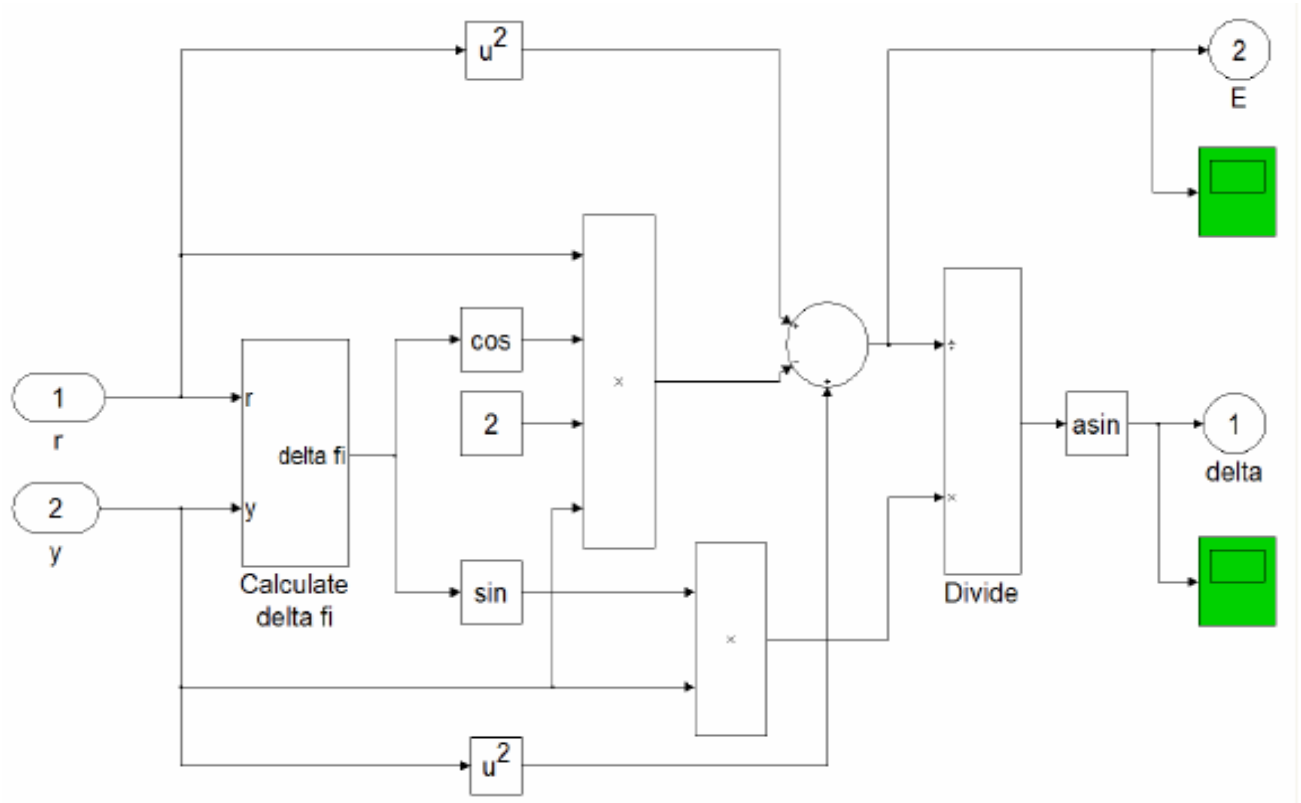


Рисунок 2.4 - Блок «COMPLEX ERROR»

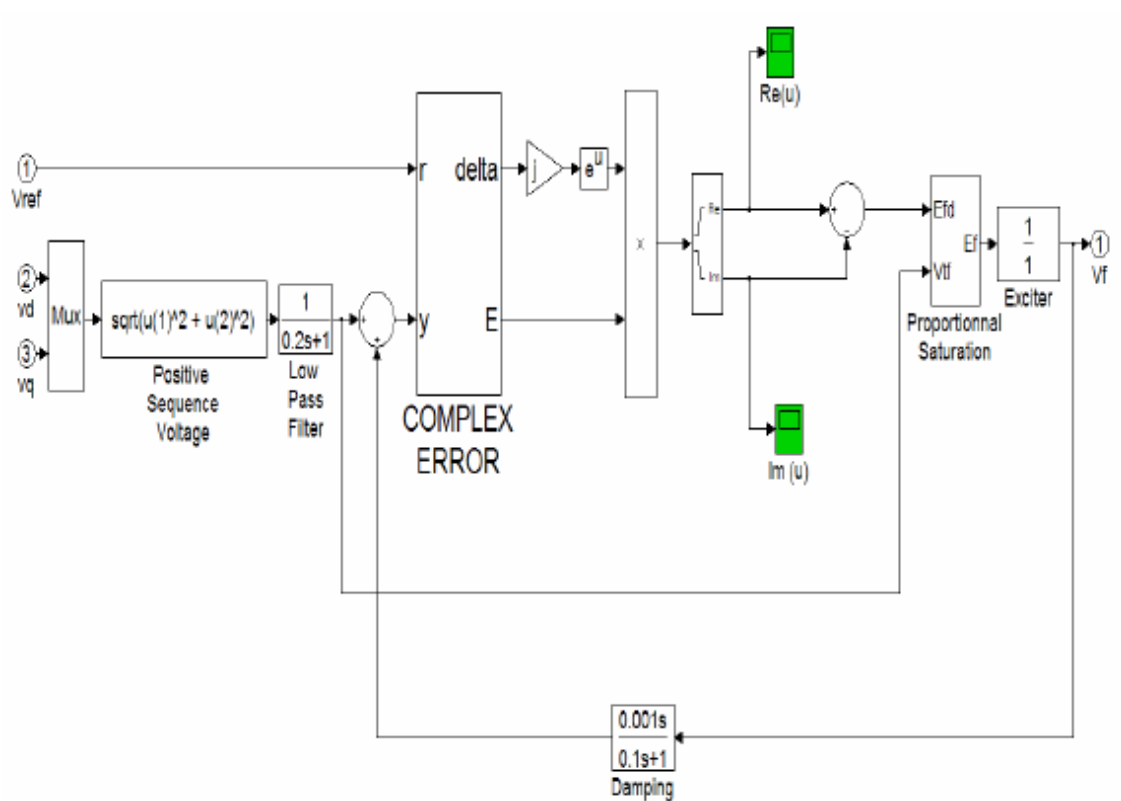


Рисунок 2.5 - Система збудження з використанням закону керування



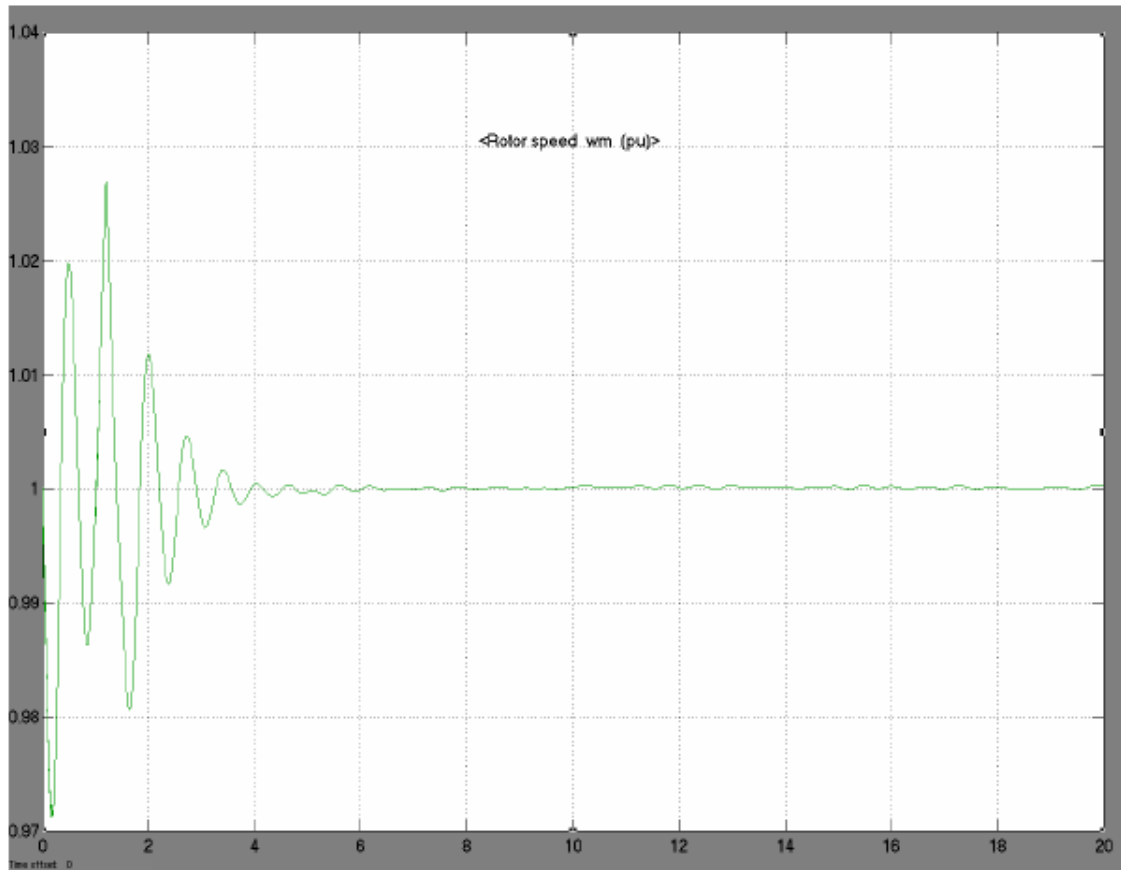


Рисунок 2.6 - Зміна частоти обертання генератора  $\omega$

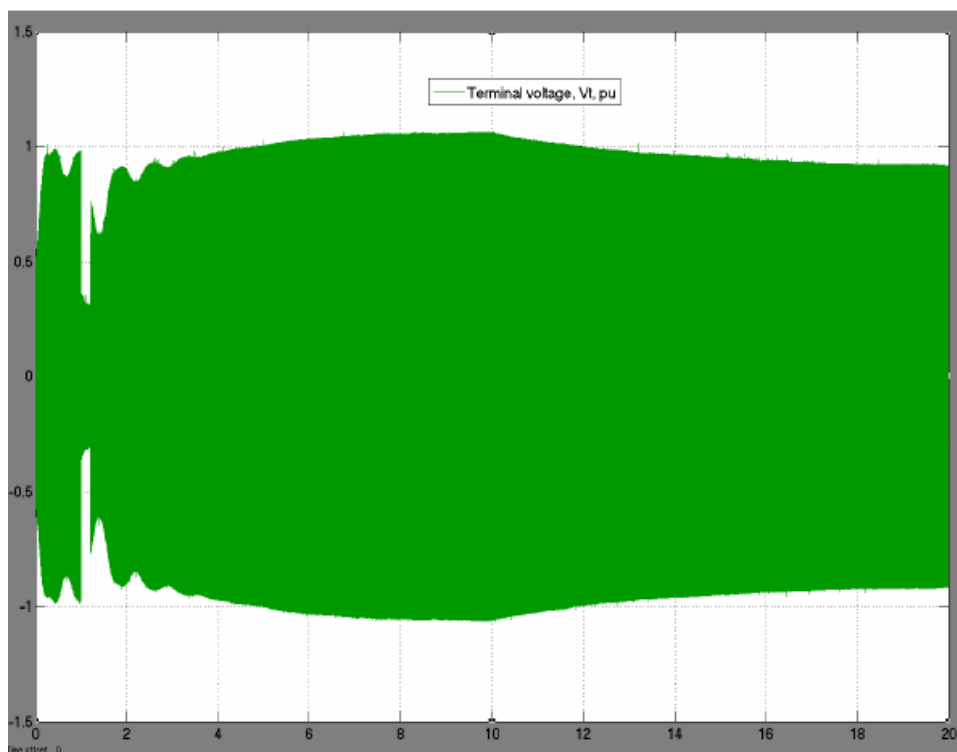


Рисунок 2.7 - Зміна напруги статора генератора  $V_t$

Отже, в якості закону управління САУ розглянуто використання конформного відображення верхньої півплощини площини комплексної помилки, дійсна вісь якої збігається з напрямком вектора входів САУ, в центр одиничного кола перетвореної комплексній площині, де помилка управління дорівнює нулю. Визначено умови, при яких САУ об'єктом управління може бути представлена у вигляді конформного відображення.

### 3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ МОДУЛЬНИХ МІКРО ГЕС В УМОВАХ ПРАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ»

#### 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, грн/(кВт·год):

$$C_{EE} = \frac{B_{36}}{W_{EE}} \quad (3.1)$$

$$T_{ок} = \frac{B_{36}}{W_{EE} \cdot (C_m - C_{EE})} \quad (3.2)$$

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

$B_{36}$  - затрати виробництва за відповідний період,

$W_{EE}$  - кількість відпущеної електроенергії,

$C_m$  - 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 2019 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 2019 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 капітрат. Мікро ГЕС типу 100Пр виробництва МНТО «ІНСЕТ» 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

$$K_{C_1} = 1176278 \cdot 83,7 \cdot 10^{-3} + 941600 = 1040054,46.$$

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, грн/(кВт·год)

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

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, грн/(кВт·год)

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

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 1.12.2019р. – 1,74322 грн./кВт·год. [39] 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. Деякі з варіантів, для яких собівартість вироблення електроенергії не перевищує встановлений тариф з мережі  $C_{c\kappa} \leq C_m$  (для промислових підприємств станом на 01.12.2019р. – 1,74322 грн./кВт·год.).



Визначено, що оптимальна СГЕУ для об'єкту, що розглядається, технічно складається із джерел вторинної води 2 - 3 і 4 - 5, з'єднаних трубопроводами з центрами збору 1 і 3, відповідно (див. рисунок 3.1) і відповідає варіанту 4.

Основні з визначених параметрів елементів такої СГЕУ занесені до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 Параметри обладнання СГЕУ киснево-компресорного цеху ПрАТ «Запоріжсталь»

Центр збору / Джерело		Діаметр трубопроводу $d$ , м	Довжина $l$ , м	Тип мікро ГЕС
№ 1	турбокомпресори	0,820	42,06	100Пр
№ 2	турбоконденсатори	0,78	33,84	100Пр
	колонки водоохолодження	0,473	76,12	
	підшипники димососів	0,219	36,29	
№ 3	незадіяний			

Передбачувані сумарні капіталовкладення в реалізацію проекту складають 2 147 312 грн. згідно з діючою на 1.12.2019 р. вартістю обладнання, робіт з монтажу і обслуговування. При цьому, чиста вигода складе близько 487,7 тис. грн. на рік при собівартості електроенергії 1,40 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, кВт·год

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

Загальне вироблення електричної енергії для об'єкта гідроенергетичної утилізації визначається за виразом, кВт·год

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

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 [13-15]

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

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 для доменного цеху

ПрАТ «Запоріжсталь». Вихідні дані для відповідних обчислень наведені раніше.

Було визначено, що для об'єкта, який розглядається, річна величина  $W = 2,134$  млн. кВт·год. При цьому капітальні вкладення в систему складають  $K_{cк} = 2,126$  млн. грн., поточні на обслуговування і амортизаційні відрахування основних фондів -  $З_{ncк} = 0,568$  млн. грн. Отже, собівартість електроенергії в такому разі дорівнює, грн/(кВт·год)

$$C_{EE} = 3,568 \cdot 10^6 / 2,134 \cdot 10^6 = 1,39 .$$

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, буд дорівнювати, млн.грн/рік

$$B_E = 2,134 \cdot (1,74322 - 1,39) = 0,963 .$$

- коефіцієнт ефективності капіталовкладень

$$E_p = \frac{0,963}{2,134} = 0,451 .$$

термін окупності капітальних вкладень, років

$$T_{ок} = \frac{2,134}{0,451} = 4,73 .$$

Кількість електричної енергії, що генерується за прийнятий термін експлуатації обладнання, наприклад  $n = 20$  років), млн.кВт·год

$$W_{20} = 2,134 \cdot 20 = 43,46.$$

Економія, тобто вигода від вироблення такої кількості власної електроенергії за весь прийнятий термін, млн.грн

$$B_{E_{20}} = 20 \cdot 0,615 = 12,34.$$

Техніко-економічні показники СГЕУ зводяться в таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 - Показники ефективності впровадження СГЕУ

Економічні показники	Значення
Капітальні витрати, <i>млн.грн</i>	2,126
Кількість виробленої ЕЕ за весь термін експлуатації, <i>млн.кВт·год</i>	43,46
Сумарна вигода, <i>млн.грн</i>	12,34
Собівартість ЕЕ, <i>грн</i>	1,39
Ефективність капіталовкладень	0,615
Термін окупності, <i>років</i>	3,47

Економічні розрахунки системи утилізації гідроенергетичних ресурсів промислових підприємств показало, що СГЕУ сумарна вигода за весь період експлуатації (20 років) склала у найбільш вигідному варіанті майже 10 млн. грн. Строк окупності СГЕУ, розрахований за цінами на обладнання 2011 року коливається в межах від 3 до 5 років, що не перевищує нормативний.

Техніко-економічні показники впровадження модульних мікро ГЕС різних заводів-виробників зведено до таблиці 3.5. Відповідне графічне представлення табличних даних наведено на рисунках 3.1, 3.2.

Таблиця 3.5 - Техніко-економічні показники впровадження модульних мікро ГЕС в умовах ПрАТ «Запоріжсталь»

Економічні показники	Значення		
	МНТО "ІНСЕТ"	ПАТ "ТУРБОАТОМ"	Flugt
Капітальні витрати, млн. грн.	2,126	1,945	3,811
Кількість виробленої ЕЕ за весь термін експлуатації, млн.кВт год.	43,46	22,13	30,16
Сумарна економія, млн. грн.	12,34	7,82	1,00
Собівартість ЕЕ, грн./кВт год.	1,39	0,39	0,71
Ефективність капіталовкладень	0,615	0,20	0,01
Термін окупності, років	3,47	4,98	76,12

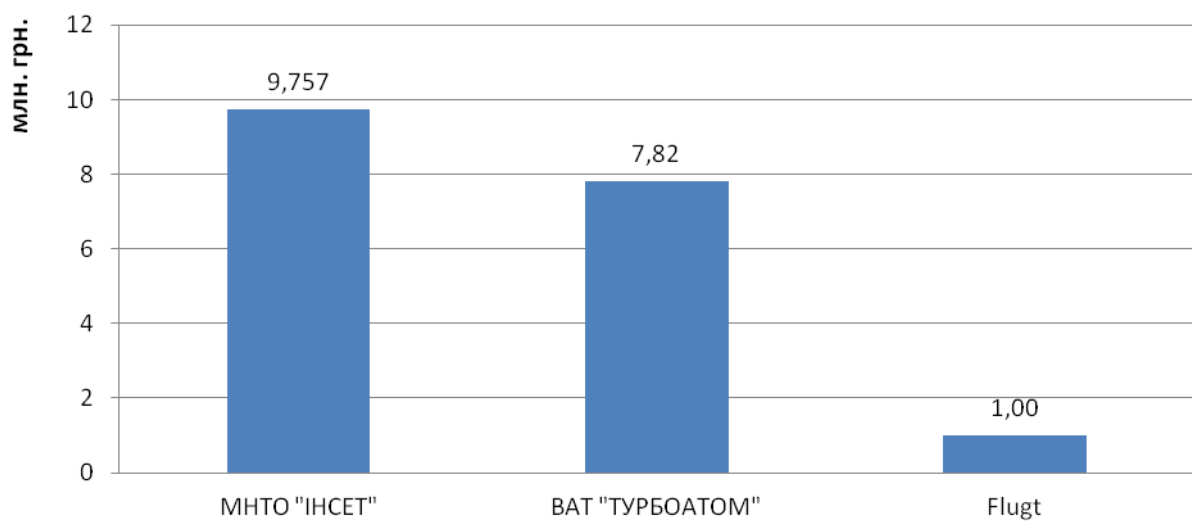


Рисунок 3.1 – Сумарна економія за проектами

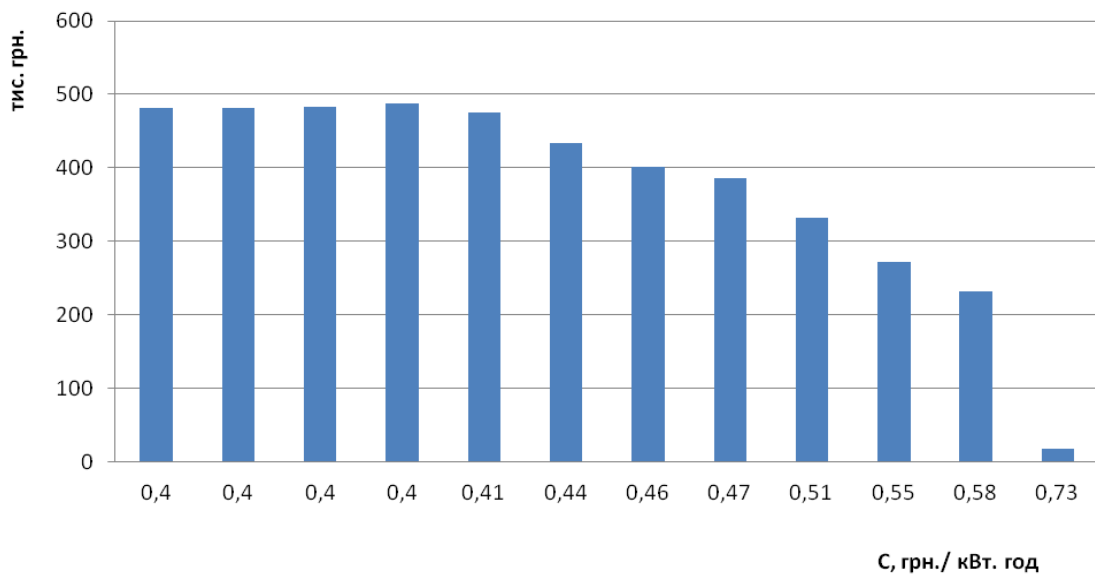


Рисунок 3.2 – Собівартість вироблення електричної енергії за варіантами

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. Прийнявши до уваги дотримання умови  $C_{EE} \leq C_m$ , останнє підтверджує економічну доцільність впровадження таких систем.

## 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

### 4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища

До складу доменного цеху комбінату «Запоріжсталь» входить: рудний двір, спільно з аглофабрикою; відділення глином'ялки; відділення розливочних машин; бункерної естакади; доменних печей з ливарними дворами; газоочисток.

Призначення рудного двору: складування й усереднення за складом шихтових матеріалів, що йдуть в агломераційне й доменне виробництво.

Відділення глином'ялки призначене для виготовлення мас для забивання чавунних і шлаковипускних отворів.

Відділення розливочних машин служить для лиття чавуну на товарні чушки (спеціальні злитки чавуну).

Бункерна естакада призначена для складування, нагромадження шихтових матеріалів і подачі їх у скіпи (спеціальні візки) і на колошник печі.

У доменному цеху в результаті особливостей технологічного процесу, що проходить з утворенням великих кількостей надлишкового тепла, інфрачервоної радіації, пилу й газів, питання створення сприятливих санітарно-гігієнічних умов праці здобувають особливе значення.

Доменний цех складається з: рудного двору, ливарного двору, бункерних естакад і підбункерних приміщень.

Рудний двір призначений для створення запасів руди в зимовий час, руда розвантажується вагоноперекидачем у рудну траншею, звідки мостовим грейферним краном укладається в штабель висотою до 17м. По довжині рудний двір займає весь фронт довгих печей.

Розвантаження й транспортування сирих матеріалів (коксу, руди, агломерату й т.п.) супроводжуються виділенням значних кількостей пилу в повітряний басейн рудного двору. Основними джерелами виділення пилу є розвантаження вагонів, перевантаження руди грейферними кранами,



навантаження й розвантаження трансферкара. Концентрації пилу на рудному дворі коливаються від 10 до 120 мг/м<sup>3</sup>, на бункерній естакаді - від 16 до 1000 мг/м<sup>3</sup>. Максимальних значень концентрація пилу досягає під час навантаження й вивантаження матеріалів, що порошать. Виробничий шум на рудному дворі й бункерній естакаді, як правило, не перевищує припустимих рівнів, установлених СН – 245 - 71. Вплив шуму сприймають машиністи рудного крана, вагоноперекидача, вагонотовкача, трансферкара.

Бункерні естакади - металевий, залізобетонні або змішаний тип спорудження, що складаються з ряду бункерів для зберігання оперативного запасу шихтових матеріалів. Зверху бункери перекриваються ґратами з отворами 200x200мм, через які виконується завантаження, а знизу вони обладнані затворами для вивантаження матеріалів. Споруджуються естакади уздовж фронту доменних печей із дворядним розташуванням бункерів.

Доменне виробництво нерозривно пов'язане з високими температурами, тисками з утворенням великих кількостей вибухонебезпечних і токсичних газів, рідких продуктів плавки, з пересуванням великої кількості газів і насиченістю механічним і електричним устаткуванням. По характеру робіт доменне виробництво відноситься до категорії важких робіт, більшість технологічних операцій виконуються в несприятливих кліматичних умовах виробничого середовища (висока температура, теплове випромінювання, заповиленість, загазованість, шум і вібрація).

При випуску чавуну й шлаків спостерігається підвищення змісту пилу в повітрі робочої зони. Найбільші пиловиділення відбуваються при випуску чавуну й досягають 270 мг/м<sup>3</sup> у головної ринви. Значні концентрації пилу (до 1500 мг/м<sup>3</sup>) у зоні чугуновозного ковша, що заповнюється чавуном. Ця операція супроводжується утворенням хмари пилу, що складає в основному із часточок графіту. Поширення пилу в процесі випуску чавуну обмежується чавунною стороною ливарного двору й майже не впливає на шлакову сторону. У свою чергу випуск шлаків приводить до збільшення концентрації пилу переважно на шлаковій стороні двору.

У таблиці 4.1 представлена оцінка факторів виробничого й трудового процесу горнового.

Таблиця 4.1 – Оцінка факторів виробничого та трудового процесу горнового

№ п/п	Чинники виробничого середовища та трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас: шкідливі та небезпечні умови, характер праці.			Тривалість дії фактору за зміну %
				1 ступ.	2 ступ.	3 ступ.	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м <sup>3</sup>						
	1 кл. небезпеки ангідрид хромовий	0,01	0,059	-	-	5,9р	85
	бенз-(α)-пирен	0,0002	0,0002				
	2 кл. небезпеки аерозоль оксиду марганця	0,3	0,27	-	-		85
	3-4 кл. небезпеки сірководень	10	13,4	1,34р	-		85
діоксид азоту	5	7,4	1,48р				
азоту оксиди сірчистий ангідрид	5 10	35,5 21,5			7,1р 2,1р		
4	Шум, дБА	80	96	-	-	16	85
6	Тяжкість та напруженість праці	Тяжка (категорія 3) праця напружена					

## 4.2 Заходи щодо захисту від впливу шкідливих факторів виробничого середовища горнового

Проаналізувавши карту умов праці видно, що головними факторами, що впливають на здоров'я горнового, який працює в доменному цеху ПрАТ «Запоріжсталь» є фактори, що виникають у ході технологічних процесів виробництва, а саме це тепло від агрегатів.

Джерелами інтенсивних теплових випромінювань є: розплавлений чавун і шлаки, нагріта до високої температури вогнетривка футеровка внутрішнього простору печі й поверхня розплавлених шлаків, вплив яких проявляється при відкритих вікнах печі.

Робітники ливарного двору періодично піддаються впливу інфрачервоного випромінювання. Інтенсивність опромінення на робочих місцях залежно від розмірів і температури джерел випромінювання й відстані становить (0,01...3) м, (6...7) кВт/м<sup>2</sup>.

Випуск чавуну й шлаків з печі супроводжується також виділенням значних кількостей шкідливих для організму газів і з'єднань: оксиду вуглецю, сірчистого газу, різних вуглеводнів і ціаністих з'єднань.

Джерелом виділення газів можуть бути також тріщини в кладці й кожусі доменної печі, нещільності з'єднань окремих елементів конструкцій.

У доменних цехах утворюється й виділяється у виробниче приміщення велика кількість пилу при випуску чавуну й шлаків.

Максимальне пиловиділення спостерігається у головної ринви при випуску чавуну.

При виплавці передільного чавуну й роботі з підвищеним тиском під колошником пил має наступний хімічний склад в %: 6,02 Fe; 12,9 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 13,8 Fe<sub>общ</sub>; 14,6 Si<sub>2</sub>; 4,35 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 4,35 Mg; 11,85 Ca; 0,74 S; 3,75 Mn.

Кількість пилу в повітрі робочої зони горнового становить 180 мг/м<sup>3</sup>, при нормі 4 мг/м<sup>3</sup>.

В умовах доменного виробництва шкідливим фактором є шум. При виконанні деяких операцій виникає шум різного походження:

- механічного (рух електромостових кранів, завалочних машин) – 95 дБА;
- термічного (згоряння палив у форсуночних пристроях) – 90 дБА.

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

#### 4.3.1 Мікроклімат

На умови праці горнового виявляють велику увагу характеристики мікроклімату: температура, вологість, швидкість руху повітря, теплове випромінювання. Температура повітря робочої зони становить 42°C, що перевищує норму. Температура повітря залежить від кількості явного (надлишкового) тепла.

У результаті періодичності проведення гарячих операцій мікроклімат цехів нестійкий, з параметрами що часто змінюються.

Різкі коливання температури повітря впливають на теплорегуляцію організму, знижується імунітет працюючих, порушується обмін речовин. Вологість повітря в доменних цехах низька 10 г/м у літку й 8 г/м взимку.

Фактичне значення, швидкості руху повітря в доменних цехах становить (0,2....0,3) м/с, при нормативному значенні 0,3 м/с.

#### 4.3.2 Вентиляція й кондиціювання

Внаслідок виділення великої кількості тепла надлишкового в доменному цеху (ливарний двір) потрібен значний повітрообмін, особливо в літню пору.

Вентиляція є ефективним засобом забезпечення потрібних гігієнічних якостей повітря, що відповідають вимогам Санітарних норм проектування промислових підприємств СН- 245-71.

Вентиляція досягається переміщенням повітря: забрудненого - із приміщення й свіжого - у приміщення.

По застосовуваному способу переміщення повітря розрізняють природну й механічну (штучну) вентиляцію. При змішаній вентиляції сполучається природна й механічна вентиляція в різних варіантах.

Природна загальнообмінна вентиляція проектується для: ливарного двору, доменних печей будинку повітрянагрівачів і розливної машини. При механічній вентиляції повітрообмін досягає за рахунок різниці тиску, що створюється вентилятором.

Механічна вентиляція застосовується коли тепловиділення в цеху недостатні для використання аерації на протязі року, а також якщо кількість або токсичність шкідливих речовин приміщення, що виділяється в повітря, вимагає підтримки постійного повітрообміну незалежно від зовнішніх метеорологічних умов.

Механічна вентиляція ділиться на робочу й аварійну. Робоча - на загальнообмінну й місцеву. Опалення в приміщенні відпочинку місцеве, а також є центральне опалення допоміжних приміщень. Для опалення доменного цеху й нагрівання приточного повітря використовують тепловиділення від устаткування. Основним методом боротьби з тепловиділеннями на ливарному дворі є система загальнообмінної й місцевої приточної вентиляції, а також кондиціювання повітря.

Місцева витяжна вентиляція застосовується від укриттів головної ринви, чавунних і шлакових льоток.

У доменному цеху використовується душируюча вентиляція кондиціонованим повітрям у льоток для випуску чавуну й шлаків (5 патрубків продуктивністю по 17000 м<sup>3</sup>/рік) (див. таблицю 4.2).

На ливарному дворі використовують накатні витяжні пристрої під ковшами для чавуну й шлаків.

Приточна вентиляція кондиціонованим повітрям на постах керування (за 3000 м<sup>3</sup>/Г).

Таблиця 4.2 – Значення прийнятих параметрів повітряного середовища в робочій зоні виробничих приміщень

Період року	Характеристика виробничих приміщень за надлишковим тепловиділенням (більш-менш 23 Вт/м <sup>2</sup> )	Категорія робіт	Період року (теплий)			Температура повітря поза пост. робочих місць
			на постійних робочих місцях			
			t <sup>o</sup> <sub>п</sub> , °C	Відн. вологість %	Швидкість руху повітря, м/з	
Теплий період	5520	Важка Ш	26	70	0, 2-0,6	13-20

Опалення виробничих приміщень варто приймати повітряне, сполучене із приточною вентиляцією. Використовується природна загально-обмінна вентиляція (аерація). Визначення загального повітрообміну по тепловиділенням.

Кількість необхідного приточного повітря (без обліку місцевих відсосів) визначається по формулі

Тепловиділення від доменної печі визначаються по формулі, кДж/м<sup>2</sup>

$$L_{np} = \frac{Q_y - C_n(t_{p.z} - t_n)}{C_e(t_{y.x} - t_{np})}, \quad (4.1)$$

де  $Q_y$  – надлишок явної теплоти в приміщенні,  $Q_y = 7969358,8$ ;

$C_n$  - теплоємність повітря,  $C_e = 1,005$  кДж/(м<sup>3</sup>·К);

$t_{p.z}$  – температура робочої зони,  $t_{p.z} = 42$  °C;

$t_{np}$  – температура приточного повітря,  $t_{np} = t_n = 27$  °С;

$t_{yx}$  – температура повітря, що видаляється з верхньої зони приміщення, °С.

$$L_{np} = \frac{7969358,8 - 1,0005(42 - 27)}{1,005(36,9 - 27)} = 881077,2 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Температура повітря, що видаляється  $t_{yx}$  визначають за формулою, °С

$$t_{yx} = \frac{t_{p.z} - (1 - m) \cdot t_{np}}{m}, \quad (4.2)$$

$$t_{yx} = \frac{42 - (1 - 0,7) \cdot 27}{0,7} = 36,6 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

Таким чином, необхідна кількість приточного повітря, що поступає до цеху – 881077,2 м<sup>3</sup>/год.

Тепловиділення від доменної печі визначаються за формулою, Вт

$$Q = a \cdot F_n (t_n - t_g), \quad (4.3)$$

де  $t_g, t_n$  - температура в цеху й поверхні печі, °С;

$F_n$  - площа бічної поверхні печі, м<sup>2</sup>;

$a$  - коефіцієнт теплообміну, 18 Вт/(м<sup>2</sup> К);

$$Q = 18 \cdot 70(140 - 42) = 125244 .$$

У цеху чотири доменні печі, Вт

$$\sum Q_n = 4 \cdot 125244 = 500976 .$$

Тепло що поступає від відкритих робочих вікон, Вт

$$Q_u = 3 \cdot k \cdot c_0 \left[ \left( \frac{T_u}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_o}{100} \right)^4 \right] F \frac{\tau}{60}, \quad (4.4)$$

де  $k$  - коефіцієнт діафрагмування, дорівнює 0,65;

$c_0$  - коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла, дорівнює 5,67 Вт/м<sup>2</sup>;

$T_u, T_o$  - температура робочого простору й навколишнього середовища, К;

$F$  - площа випромінюючої поверхні;

$\tau$  - час на який відкривається вікно протягом години, 20 хв.

$$Q_u = 3 \cdot 0,65 \cdot 5,67 \left[ \left( \frac{1473}{100} \right)^4 - \left( \frac{315}{100} \right)^4 \right] 1,16 \frac{20}{60} = 200842,8$$

Тепло що поступає від металу, що остиває

$$Q_m = 0,28 [c_{ж} (t_{поч} - t_{\phi}) + l_{\phi} + c_{тв} (t_{\phi} - t_{кін})] \cdot G / \tau, \quad (4.5)$$

де  $c_{ж}$  і  $c_{тв}$  - питома теплоємність матеріалу в рідкому й твердому стані, 1,17 і 0,73 кДж/(кг·К);

$t_{поч}, t_{\phi}, t_{кін}$  - температура відповідно початкова, фазового перетворення й кінцева, °С;

$l_{\phi}$  - теплота фазового перетворення, 96 кДж/кг;

$G$  - маса матеріалу, 60000 кг;

$\tau$  - час знаходження металу в цеху, 0,5 години.

$$Q_m = 0,28 [1,17(1600 - 1400) + 96 + 0,73(1400 - 700)] \cdot 60000 / 0,5 = 7131348.$$

Надлишкові тепловиділення визначаються як сума всіх складових, Вт



$$\sum Q_{над} = 500976 + 200842,8 + 136192 + 7131348 = 7969358,8.$$

Висота розташування температурного перекриття визначається з номограми,  $z = 18,5$  м.

Різниця тисків, що викликає переміщення аераційного повітря через приточні й витяжні прорізи, кгс/м<sup>2</sup>

$$\Delta p = (z - z_1)(\gamma_n - \gamma_{p.з}) + (z_2 - z)(\gamma_n - \gamma_y) \quad (4.6)$$

де  $\gamma_n$ ,  $\gamma_{p.з}$  - питома вага відповідно навколишнього й видаляемого повітря, визначається, кг/м<sup>3</sup>:

$$\begin{aligned} \gamma &= 353/T \\ \gamma_n &= 353/293=1,2 & \gamma_{p.з} &= 353/315=1,12 & \gamma_e &= 353/320=1,1 \\ \Delta p &= (18,5 - 1,5)(1,2 - 1,12) + (30 - 18,5)(1,2 - 1,1) = 2,51. \end{aligned}$$

Втрати тиску на прохід повітря через приточні прорізи, кПа

$$\Delta p_1 = \beta \cdot \Delta p, \quad (4.7)$$

де  $\beta$  - частка різниці тисків, що витрачається на прохід повітря через приточні прорізи, кгс/м<sup>2</sup>

$$\Delta p_1 = 0,2 \cdot 2,51 = 0,502.$$

Втрати тиску на прохід повітря через витяжні прорізи ліхтаря, кПа

$$\Delta p_2 = \Delta p - \Delta p_1 \quad (4.8)$$

$$\Delta p_2 = 2,51 - 0,502 = 2,008 \text{ кгс/м}^2.$$

Площа приточних прорізів, м<sup>2</sup>

$$F_{np} = \frac{G}{3600 \sqrt{\frac{2g \cdot \gamma_n \Delta p_1}{\zeta_1}}}, \quad (4.9)$$

де  $\zeta_1$  – коефіцієнт місцевого опору приточних прорізів, дорівнює 3,5 для одинарної підвісної стулки при куті відкриття 60 °С.

$$F_{np} = \frac{881077,2}{3600 \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 1,2}{3,5} \cdot 0,502}} = 448,9 \text{ м}^2.$$

Площа витяжних прорізів, м<sup>2</sup>

$$F_{вм} = \frac{G}{3600 \sqrt{\frac{2g \cdot \gamma_y \Delta p_2}{\zeta_2}}}, \quad (4.10)$$

де  $\zeta_2$  – коефіцієнт місцевого опору ліхтаря, для п-образного Рюкіна й Ільїнського при куті відкриття стулочок 55 °С дорівнює 7,1 (див. рис. 4.1).

$$F_{вм} = \frac{881077,2}{3600 \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 5}{7,1} \cdot 2,008}} = 412,3 \text{ м}^2.$$

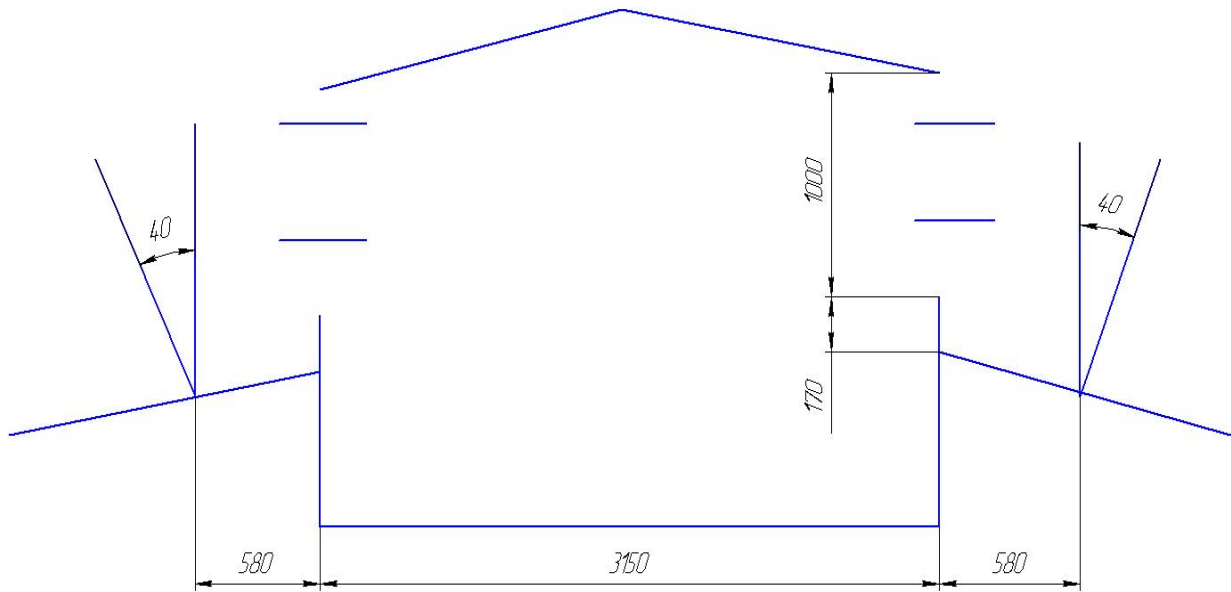


Рисунок 4.1 - Аераційний ліхтар

#### 4.3.3 Освітлення

Природне освітлення поверхні на відкритому місці створюється прямим сонячним світлом і дифузійним світлом небозводу. Співвідношення між освітленням прямим і дифузійним світлом небозводу.

Основний показник - коефіцієнт природної освітленості (КПО) відношення природної освітленості, створюваної в деякій точці заданої площини усередині приміщення світлом неба безпосередньо або після відбиття  $E_6$ , до одночасного значення зовнішньої горизонтальної освітленості створюваної світлом повністю відкритого небозводу  $E_n$ , м

$$l = E_6 / E_n \cdot 100\% . \quad (4.11)$$

$l=3\%$ , розряд зорової роботи VII. Нормоване значення КПО  $E_n$  з урахуванням характеру зорової роботи й світлового клімату в районі розташування будинку, м

$$l_n = l \cdot m \cdot c, \quad (4.12)$$

де  $l$  - значення КПО;

$m$  - 1,9 - коефіцієнт світлового клімату;

$c$  - коефіцієнт сонячного клімату.

Спрощений метод розрахунку площі світлових прорізів складається у визначенні відносини площі світлових прорізів  $S_o$  до площі підлоги приміщення  $S_n$ , в % при якому забезпечується нормоване значення  $l_n$ . При верхнім освітленні приміщень розрахунок виконується за формулою

$$100 \cdot S_o / S_n = l_n \cdot \eta_\phi / \tau_0 \cdot r_2, \quad (4.13)$$

де  $r_2$ - коефіцієнт, що враховує підвищення к.п.о. при верхнім висвітленні завдяки світлу, що відбивається від поверхні приміщення  $r_2 = 1,45$ ;

$\eta_\phi$  - світлова характеристика світлових прорізів,  $\eta_\phi = 2,62$ ;

$\tau_0$  - загальний коефіцієнт пропускання прорізу.

$$100 S_o / S_n = 0,23 \cdot 2,62 / 1,5 \cdot 1,45 = 0,028.$$

Для створення сприятливих умов праці важливе значення має раціональне освітлення. Незадовільне освітлення ускладнює проведення робіт, веде до зниження продуктивності праці й захворюванню очей, а також може бути причиною нещасних випадків.

Штучне освітлення.

Електричне освітлення необхідно для проведення робіт у темний час доби або в місцях без достатнього природного освітлення:

- довжина приміщення - 90 м;
- ширина приміщення - 50 м;
- висота приміщення - 7 м.

Норма освітленості 75 лк - для лампи накаливання.

Рівень у горизонтальній площині на який найменша освітленість становить 75 лк:  $h_0 = 0,8$  м.

Коефіцієнт запасу,  $K = 1,3$ .

Розрахункова висота:  $h = 7 - 0,8 = 6,2$  м.

Площа:  $S = 90 \cdot 50 = 4500$  м<sup>2</sup>.

Індекс приміщення. в.о.

$$i = \frac{A \cdot B}{h(A + B)} = \frac{4500}{6,2(50 + 90)} = 5,18.$$

Коефіцієнт відбиття підлог і стін  $P_n = 50\%$ ,  $P_c = 30\%$ .

Використовуються лампи накаливання НГД 127-100 (напруга на лампі 127 В, потужність 100 Вт, світловий потік 1260 лм,  $D = 81$  мм,  $L = 125$  мм), світильник «Універсаль». УПМ: пит. потужність «Універсаль»: 16 Вт/м<sup>2</sup>;  $\eta = 0,386$  - коефіцієнт використання, тобто відносна частка потоку лампи, що падає на поверхню  $S$ .

Необхідний світловий потік лампи кожного світильника розраховується за формулою, лм

$$F_{np} = \frac{E \cdot K \cdot \rho \cdot Z}{N}, \quad (4.14)$$

де  $Z$  - коефіцієнт переходу від найменшої освітленості до середньої,  $Z = (1,1 \dots 1,2)$ , лм

$$F_{np} = \frac{75 \cdot 1,3 \cdot 4500 \cdot 1,1}{0,386} = 1250323,8$$

Необхідне число ламп, шт

$$N = \frac{1250323,8}{4500} = 276.$$

Відстань між центрами світильників, м

$$l = h \cdot m = 6,2 \cdot 0,5 = 3,1.$$

Відстань від стіни по першому ряді світильників при наявності робочих місць у стіни  $b' = 1/3 l = 1/3 \cdot 3,1 = 1,03$  м.

Відстань між крайніми рядами світильників, розташованих у протилежних стін (по ширині цеху):  $C = h - 2b' = 6,2 - 2 \cdot 1,03 = 4,14$ .

Кількість рядів світильників 12 шт, по 23 світильника в ряді.

#### 4.4 Захисні заходи з електробезпеки

Для забезпечення електробезпеки обслуговуючого персоналу і нормальної роботи систем РЗА, ПА і АСУ ТП виконується захисне і робоче заземлення пристроїв цих систем згідно з вимогами ПУЕ.

Рекомендується кабельні лінії різного призначення прокладати по різних трасах, виконуючи з'єднання кабелів горизонтальними заземлювачами. Металеві оболонки і броня кабелів повинні заземлюватись в місці вводу в будівлю релейного щита ,а також в місцях кінцевого розділення кабелів.

Металеві короби, по яких прокладаються кабелі слід заземлювати через (5...10) метрів.

Для кіл міжмашинного обміну повинні застосовуватись тільки екрановані симетричні кабелі. Ці кабелі повинні прокладатись на якомога більшій відстані від силових кіл.

Взагалі, в залежності, від характеру діяння ЕМВ на лінії зв'язку і підімкнену до них релейну апаратуру можуть бути рекомендовані наступні способи захисту:

- застосування дводровових симетричних ліній зв'язку, добре ізольованих між собою та від землі;
- виключення застосування однодротових зовнішніх ліній зв'язку;
- екранування підземних кабелів з мідною, алюмінієвою, свинцевою оболонкою або прокладання їх в сталевих конструкціях, трубах;
- електромагнітне екранування блоків та вузлів апаратури;
- використання різного роду захисних вхідних пристроїв і грозозахисних засобів (троси, заземлюючі контури і т. ін.).

Як заходи захисту від прямого дотику застосовані: ізоляція струмоведучих частин; огороження і оболонки; бар'єри; розміщення поза зоною досяжності. Як заходи захисту у разі непрямого дотику застосовані: Автоматичне відключення живлення; ізолювальні зони; система зрівнювання потенціалів; електричне відокремлення кіл.

Існуючі та проєктовані заходи захисту від ураження електричним струмом-відповідають вимогам ДСН 3.3.6.037, ДСНіП 239-96, ГОСТ 12.1.002-84, Д СанПіН 3.3.6-2002.

Струмоведучі частини повністю покриті ізоляцією, яка може бути усунена тільки шляхом руйнування. Ізоляція струмоведучих частин електрообладнання повинна відповідати стандартам або технічним умовам на це електрообладнання. Струмопровідні частини електрообладнання і ошиновка 1 кВ знаходяться поза зоною досяжності на висоті не менше 3,2 м від рівня землі.

Для електрообладнання, яке може зберігати електричний заряд після відключення (наприклад, конденсатори), для запобігання дотику до нього повинен бути виконаний попереджувальний напис. Перед дотиком до струмоведучих частин відключених конденсаторних батарей необхідно провести додатковий розряд замиканням висновків накоротко і на корпус металевою шиною з заземлювальним провідником, укріпленої на ізолюючій штанзі.

Для забезпечення автоматичного відключення живлення необхідно виконати систему заземлення і основну систему зрівнювання потенціалів, а також забезпечити координацію характеристик захисних пристроїв, які здійснюють це відключення.

#### 4.5 Пожежна безпека

Проект розроблений у суворій відповідності з ДБН В.1.1-7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва». Несучі та огорожувальні конструкції виконані з негорючих матеріалів. Приміщення належать до II ступеня вогнестійкості і мають евакуаційні виходи безпосередньо назовні або через тамбури згідно з п.5.13 та п.5.12 ДБН В.1.1.7-2002.

Ширина евакуаційних шляхів виконана відповідно до п.5.28 ДБН В.1.1-7-2006. Евакуаційні виходи з будівель виконані у відповідності до вимог п.5.9 та п.5.18 ДБН В.1.1.7-2006. Для запобігання розтікання масла з маслосаповненого обладнання та розповсюдження пожежі при їх пошкодженні проектом передбачені маслоприймач, масловідводи і маслозбірник заглибленого типу об'ємом 2,5м<sup>3</sup>. В якості протипожежних заходів на території цеху передбачені наступні заходи: застосування кабелів з ізоляцією, що не підтримують горіння; підключення швидкодіючими релейними захистами кабелів; установка



пожежних щитів з вуглекислотними вогнегасниками, совковими лопатами і ящиками з піском для гасіння пожежі.

Ступінь вогнестійкості усіх будівель згідно СНиП2.01.02-85 “Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений” приймається II. До будівель і споруд забезпечуються під’їзди пожежних машин. Гасіння пожеж на підстанції передбачається міською пожежною командою, а також первинними засобами гасіння пожежі, які встановлені на протипожежних щитах згідно таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Первинні засоби вогнегасіння в доменному цеху

Найменування Споруди	Найменування та тип засобів вогнегасіння	Кіл-сть шт.
РУ – 6 кВ	Ящик з піском	2
	Щит с первинними засобами вогнегасіння	2
	Вогнегасник ОУ 8	2
Щит управління	Вогнегасник ОУ 8	4
	Пересувний вогнегасник ОУ 80	1
ЗПК	Вогнегасник ОУ 2	4

Металеві конструкції запроектовані відповідно до вимог СНиП II-23-81, СНиП 2.01.07-85. Марки сталі, прийняті в залежності від групи конструкцій. Всі заводські з'єднання металоконструкцій прийняті зварні, монтажні - зварні та на болтах нормальної та грубої точності. Для забезпечення необхідної вогнестійкості всі металоконструкції покриваються емалевими складами по ґрунтованій поверхні. Таким чином, вимоги щодо пожежної безпеки відповідають нормам.

Прийнятий обсяг протипожежних заходів забезпечує вимоги ГОСТ12.1.004 – 91 «Пожарная безопасность. Общие требования».

#### 4.6 Засоби індивідуального захисту

Для захисту органів слуху застосовують зовнішні і внутрішні противошуми (антифони). Як зовнішні противошуми рекомендують використовувати шумозахисні навушники, які покривають вушну раковину, як внутрішні противошуми – заглушки, вкладиші, які вставляють в зовнішній слуховий прохід.

Ступінь ослаблення шуму залежить від конструкції противошуму і частоти. Заглушки послаблюють шум на (5...7) дБ при частотах до 500 Гц і на 15 дБ при частотах понад 3000 Гц. Протишуми конструкції МІОТ послаблюють шум до 8 дБ при частотах до 500 Гц і до 55 дБ при частотах (5000...7000) Гц.

Для захисту від низькочастотних шумів придатні заглушки – кліпси, які представляють собою гумові пробочки з плоскою торцевою поверхнею, які закріплені на обідку з сталевого дроту, що пружинить, діаметром (1,5...2) мм. Для захисту від тепловиділень на об'єкті застосовують щільні матеріали з тканини, а також захисні рукавички.

Для захисту органів дихання використовують фільтр типу «тюльпан». Інших засобів індивідуального захисту не передбачається.

#### 4.7 Розробка заходів захисту від тепловиділень

Розрахунок аерації пічного прольоту.

Оскільки в цеху температура повітря досягає 40 °С і запиленість повітря перевищує нормативне значення у  $G_{\phi} \setminus G_n = 23 \setminus 6 = 3,75$  рази, необхідно застосовувати загальнообмінну вентиляцію. Для цього в цеху влаштовують аераційні ліхтарі.

Кількість теплоти, що виділяється в цеху від печі, Вт

$$Q_1 = \left\{ 2.2 \cdot \left( \frac{T_e}{10} + 32 \right)^{5/4} + \left[ \left( \frac{T_e}{1000} + 3.23 \right)^4 - 2.91 \right] \right\} \cdot 1.163 \cdot F_n, \quad (4.15)$$

де  $T_e$  – температура печі, К;

$F_n$  – площа печі, м<sup>2</sup>.

$$Q_1 = \left\{ 2.2 \cdot \left( \frac{973}{10} + 32 \right)^{5/4} + \left[ \left( \frac{973}{1000} + 3.23 \right)^4 - 2.91 \right] \right\} \cdot 1.163 \cdot 32.8 = 48384.$$

Тепловиділення від сонячної радіації через світлові прорізи, Вт/м<sup>2</sup>

$$Q_2 = 9653 \cdot F_c, \quad (4.16)$$

де  $F_c$  – площа світових прорізів, м<sup>2</sup>.

$$Q_2 = 9653 \cdot 10 \cdot 4 = 386120.$$

Втрати теплоти через зовнішні огради у межах робочої зони, Вт

$$Q_p = 6978 \cdot F_{б.с.}, \quad (4.17)$$

де  $F_{б.с.}$  – площа бокових стін цеху, м<sup>2</sup>.

$$Q_p = 6978 \cdot 7 \cdot 4 = 195384.$$

Кількість теплоти, яке виділяється у цеху від різних джерел, Вт

$$Q = \sum Q_i = Q_1 + Q_2. \quad (4.18)$$

$$Q = 48384 + 386120 = 434504.$$

Кількість повітря, необхідного для асиміляції надлишкових тепловиділень, м<sup>3</sup>/год

$$G = \frac{4.15 \cdot \alpha \cdot (m \cdot Q - Q_p)}{t_{p.z.} - t_n}, \quad (4.19)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт, що враховує висоту розташування припливних отворів;  
 $m$  – коефіцієнт, що враховує вплив площі, займаної тепловиділяючим обладнанням.

$$G = \frac{4.15 \cdot 1.04 \cdot (0.62 \cdot 434504 - 195384)}{40 - 25} = 213174.$$

Визначивши кількість повітря  $G$ , необхідного для асиміляції надлишкових теплових виділень в цеху, можна розрахувати площі припливних  $F_{пр}$  і витяжних  $F_{вит}$  прорізів цеху, м<sup>2</sup>

- щільність зовнішнього повітря, кг/м<sup>3</sup>:

$$\rho_y = 1,293 + 3,7 \cdot 10^{-3} \cdot a_y. \quad (4.20)$$

$$\rho_y = 1,293 + 3,7 \cdot 10^{-3} \cdot 10 = 1,33.$$

$$\rho_n = 1,293 + 3,7 \cdot 10^{-3} \cdot a_n. \quad (4.21)$$

$$\rho_n = 1,293 + 3,7 \cdot 10^{-3} \cdot 13 = 1,341.$$

- відстань від нейтральної зони до центрів припливних та витяжних прорізів, м:

$$h_g = \frac{H_1}{0.64 \frac{\rho_y}{\rho_n} + 1}. \quad (4.22)$$

$$h_g = \frac{2}{0.64 \frac{1.33}{1.341} + 1} = 1.22 \text{ м.}$$

$$h_n = H_1 + h_g. \quad (4.23)$$

$$h_n = 2 + 1.22 = 3.22 \text{ м.}$$

- площі припливних та витяжних прорізів, м<sup>2</sup>:

$$F_{np} = \frac{213174}{3600 \cdot 0.56 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.8 \cdot 3.22 \cdot 1.341 \cdot (1.341 - 1.33)}} = 109.6 \text{ м}^2;$$

$$F_{вum} = \frac{213174}{3600 \cdot 0.57 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.8 \cdot 1.22 \cdot 1.33 \cdot (1.341 - 1.33)}} = 175.6 \text{ м}^2.$$

У цеху для загальнообмінної вентиляції застосуємо П-образні аераційні ліхтарі з вітробойними щитками [44].

Розрахунок теплоізоляції поста управління. Необхідно вибрати і визначити кількість екранів, які будуть захищати пульт управління від тепла в цеху з відкритою феросплавної піччю.

Температура стінки  $t_1 = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ , температура повітря  $t_2 = 23 \text{ }^\circ\text{C}$ . Пост керування викладений цеглою. Ступінь чорноти  $E_n = 0.85$ . Потрібно забрати всередині поста температуру не більше  $26 \text{ }^\circ\text{C}$ .

$$T_u = 273 + 40 = 313 \text{ К};$$

$$T_g = 273 + 23 = 296 \text{ К};$$

$$T_y = 273 + 26 = 299 \text{ К}.$$

Визначаємо ступінь екранізації, в.о.

$$\mu = \frac{T_u}{T_э} . \quad (4.24)$$

$$\mu = \frac{313}{299} = 1,05 .$$

Вибираємо екран з альфоля, ступінь чорноти якого  $E_a = 0,37$ . Тоді наведені ступені чорноти будуть, в.о.

1) між альфолем і цегляною стіною [35], в.о

$$E_{uэ} = \frac{1}{\frac{1}{E_u} + \frac{1}{E_э} - 1} . \quad (4.25)$$

$$E_{uэ} = \frac{1}{\frac{1}{0,85} + \frac{1}{0,37} - 1} = 0,35$$

2) між альфолем і повітрям, для якого можна прийняти  $E_г = 0,82$ .

$$E_{uг} = \frac{1}{\frac{1}{0,85} + \frac{1}{0,82} - 1} = 0,714 . \quad (4.26)$$

Визначаємо число екранів [46], шт

$$n = \frac{1 - \left(\frac{T_г}{T_u}\right)^4}{\frac{1}{\mu^4} - \left(\frac{T_г}{T_u}\right)^4} \cdot \frac{E_{uэ}}{E_{uг}} - 1 . \quad (4.27)$$

$$n = \frac{1 - \left(\frac{296}{313}\right)^4}{\frac{1}{1,05^4} - \left(\frac{296}{313}\right)^4} \cdot \frac{0,35}{0,714} - 1 = \frac{1 - 0,8}{0,82 - 0,8} \cdot 0,49 - 1 = 3,9 \approx 4.$$

Отже, необхідно використовувати чотири шари з альфоля, щоб забезпечити температуру всередині поста управління в межах 26 °С. Пульт управління також має кондиціонер для створення мікроклімату з оптимальними умовами праці всередині нього.

## ВИСНОВКИ

В магістерській роботі визначені техніко-економічні показники впровадження модульних мікро ГЕС в умовах ПрАТ «Запоріжсталь» на основі аналізу його водотоків і уточнено величину гідроенергетичного потенціалу заводу, який складає близько 9 млн. кВт·год на рік;

Розрахунковим експериментом визначено залежність енергетичних показників роботи мікро ГЕС в умовах нестаціонарних потоків вторинної води. Встановлено, що ККД енергомодуля мікро ГЕС значно зменшується при відхиленні параметрів водотоку від номінальних;

Розроблено математичний апарат і регулятор на його основі, який дозволяє коригувати енергетичні характеристики генераторів мікро ГЕС, що працюють на автономне навантаження і, таким чином, збільшити кількість виробленої електроенергії із вторинних водотоків ПрАТ «Запоріжсталь». Регулятор дозволяє забезпечити необхідну якість сталих і перехідних режимів роботи генератора мікро ГЕС при різних збуреннях з боку навантаження, а також збільшити кількість електричної енергії, придатної для більшості споживачів якості в середньому на (12...26) %.

Визначено економічні показники системи гідроенергоутилізації для обраного об'єкта дослідження. Встановлено, що капітальні витрати в залежності від застосованого обладнання і вартості робіт з монтажу і пуско-налагодження окупаються в середньому за 4 роки, що не перевищує гранично допустиму нормативну величину, що свідчить про доцільність впровадження таких СГЕУ.



## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Пирогов Н.Л. Вторичные ресурсы: эффективность, опыт, перспективы: Учебник для вузов / Н.Л. Пирогов, С.П. Сушон, А.Г. Завалко – М.: Экономика, 1987. – 326 с.
2. Бердишев М. Ю., Чейлитко А. О., Назаренко О. М. Низькопотенційні та альтернативні джерела енергії. Навчально-методичний посібник для студентів ЗДІА Енергетичного напрямку всіх форм навчання. Запоріжжя: ЗДІА, 2015. 270 с.
3. Петкин А.М. Экономия энергоресурсов: резервы и факторы эффективности: Учебное пособие - М.: Энергоатомиздат, 1982. – 264 с.
4. Основные методические положения по планированию использования вторичных энергетических ресурсов / НИИ планир. и нормативов. Укр. фил. - М.: Энергоатомиздат, 1987. – 57 с.
5. Лисиенко В.Г. Хрестоматия энергосбережения. Справочник в 2-х томах. Том 1 / В.Г. Лисиенко, Я.М. Щелоков, М.Г. Ладыгичев - М.: Теплотехник, 2006.- 650с.
6. Розенгарт Ю.И. Вторичные энергетические ресурсы черной металлургии и их использование: Учебное пособие – Киев: Выща школа, 1988. - 457с.
7. Старк С.Б. Теплоэнергетическое хозяйство металлургических заводов: Учебное пособие – М.: Металлургия, 1966. – 354 с.
8. Михайлов В.В. Рационально использовать энергетические ресурсы: Учебное пособие - К.: Техника, 1980. – 338 с.
9. Берлин З.Л. Рациональное использование вторичных энергоресурсов в цветной металлургии: Учебное пособие – М.: Металлургия, 1972. – 421 с.

10. Симоненко Н.А. Теплоиспользование в промышленной огнетехнике и энерготехнологическое комбинирование: Учебник для вузов – Москва: Энергия, 1975. – 512 с.
11. Виленский Н.М. Рациональное использование вторичных энергоресурсов: Учебное пособие – М.: Metallurgizdat, 1963. – 346 с.
12. Колобков П.С. Использование вторичных энергоресурсов черной металлургии: Учебник для вузов / П.С. Колобков, В.Д. Осипенко – Киев: Техника, 1979. – 374 с.
13. Определение выхода и возможного использования вторичных энергетических ресурсов черной металлургии / Украинский филиал научно-исследовательского института планирования и нормативов при госплане СССР. - Киев, 1971. – 24 с.
14. Костюк В.А. Вторичные энергетические ресурсы и энерготехнологическое комбинирование: Учебное пособие - Мариуполь: ПГТУ, 2003. – 417 с.
15. Куперман Л.И. Вторичные энергоресурсы и энерготехнологическое комбинирование в промышленности. 2-е изд., перераб. и доп. / Л.И. Куперман, С.А. Романовский, Л.Н. Сидельковский – К.: Вища школа, 1986. – 303 с.
16. Симоненко Н.А. Вторичные энергоресурсы и энерготехнологическое комбинирование: Учебное пособие / Н.А. Симоненко, Л.И. Куперман – Киев: Вища школа, 1979. – 314 с.
17. Семененко Н.А. Вторичные энергоресурсы промышленности и энерготехнологическое комбинирование: Учебное пособие – М.: Энергия, 1968. – 296 с.
18. Гольстрем В.А. Справочник по экономии топливно-энергетических ресурсов / В.А. Гольстрем, Ю.Л. Кузнецов - К.: Техника, 1985. – 383 с.
19. Тугай А.М. Водопостачання: Підручник / А.М. Тугай, В.О. Орлов - К.: Знання, 2009. – 735 с.

20. Баланчевадзе В. И. Энергетика сегодня и завтра: Учебное пособие / В.И. Баланчевадзе, А. И. Барановский - М.: Энергоатомиздат, 1990. – 344 с.
21. Лисиенко В.Г. Хрестоматия энергосбережения: Справочник в 2-х книгах / В.Г. Лисиенко, Я.М. Щелоков, М.Г. Ладыгичев – М.: Теплоэнергетик, 2005. – 234 с.
22. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: Справочник / [под общ. ред. В.А. Григорьева]. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 348 с.
23. Никифоров Б.И. Энергосбережение на металлургических предприятиях / Б.И. Никифоров, Г.В. Заславец: Монография – Магнитогорск: МГТУ. - 2000. – 131 с.
24. В.Л. Коваленко. Оценка потенциала утилизации вторичного гидроэнергетического ресурса на примере металлургического предприятия / В.Л. Коваленко, А.А. Филобок // Металургія: Наукові праці ЗДІА. – 2009. – Вип.19. – С.23-25.
25. Методика по разработке норм и нормативов водопотребления и водоотведения с учётом качества потребляемой и отводимой воды в чёрной металлургии. – М.: МЧМ СССР. – 1981. – 167 с.
26. Методика по разработке норм и нормативов водопотребления и водоотведения с учётом качества потребляемой и отводимой воды в чёрной металлургии (II редакция с дополнениями и изменениями). – М.: МЧМ СССР. – 1988. – 211 с.
27. В. Л. Коваленко Об оценке потенциала вторичного гидроэнергетического ресурса предприятия // Відновлювана енергетика. Науково-прикладний журнал. – 2009. – №2. – С. 54-58.
28. Андоньев С.М. Особенности промышленного водоснабжения: Учебное пособие – Киев: Будівельник. – 1981. – 246 с.
29. Бережинский А.И. Охлаждение и очистка газов кислородных конвертеров: Учебное пособие / А.И. Бережинский, А.Ф Циммерман. – М.: Металлургия, 1975. – 316 с.

30. Андоньев С.М. Испарительное охлаждение металлургических печей: Учебное пособие – М.: Металлургия, 1970. – 318 с.
31. Шейдлин А. Е. Новая энергетика: Учебное пособие - М.: Наука. 1987. - 463 с.
32. Проектирование систем управления/Г. К. Гудвин, С. Ф. Греббе, М. Э. Сальгадо. – М.: БИНОМ.ьЛаборатория знаний, 2004. – 911 с., ил.
33. Современные системы управления/ Р. Дорф, Р. Бишоп. Пер. с англ. Б. И. Копылова – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2002. – 832с.: ил.
34. Utkin V. I., Sliding Modes in Optimisation and Control, SPRINGER-VERLAG, 1992.
35. Chang, W., Park, J. B. Joo, Y. H. and Chen, G.,(2002), “Design of robust fuzzy model based controller with sliding mode control for SISO nonlinear systems”, Fuzzy Sets and Systems, 125, pp.1-22.
36. Draunov, S. V. and Utkin, V. I., (1989), “On discrete time sliding modes”, IFAC Nonlinear Control Systems Design, pp. 273-278.
37. Gao, W. and Hung, J. C., (1993), “Variable structure control of nonlinear systems: a new approach”, IEEE Transaction IE-40 pp. 43-55.
38. J. C. Lo and Y. H. Kuo, Decoupled fuzzy slidingmode control, IEEE Trans. Fuzzy Systems, 6 (1998), 426-435.
39. Ioannon P. and J. Sun. Robust Adaptive Control. Prentice-Hall, pp. 825, 1995.
40. Rabiner R, Gold B. Theory and Application of Digital Signal Processing. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1975.
41. Hahn Stefan L., Hilbert transforms in signal processing, Artech House, Inc., Boston, 1996.
42. Michael Rosenblum, Jurgen Kurths. Analyzing Synchronization Phenomena from Bivariate Data by Means of the Hilbert Transform, in: Nonlinear Analysis of Physiological Data, Edited by H. Kantz, J. Kurths, and G. Mayer-Kress (Springler, Berlin, 1998), pp. 91-99.

43. Функции комплексного переменного. Операционное исчисление. Теория устойчивости/ И. Г. Араманович, Г. Л. Лунц, Л. Э. Эльмогльц. – М.:Изд-во «Наука», 1968.- 416 с.: ил.

44. ДБН В.1.1-7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва».

45. ДБН Д.2.6-1-2000 (П 1) - «Електротехнічні пристрої».

46. ДСТУ 2339-94 - «Енергозбереження. Основні положення ».

47. ГКД 341.004.001-94 - «Норми технологічного проектування підстанцій змінного струму з вищою напругою 6 - 750кВ».