

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. Ю.М. ПОТЕБНИ

Електричної інженерії та кіберфізичних систем

(повна назва кафедри)

**Кваліфікаційна робота**

другий (магістерський) рівень

(рівень вищої освіти)

на тему Дослідження можливості енергозабезпечення промислового підприємства за рахунок утилізації вторинного гідроенергетичного ресурсу

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1452  
спеціальності 145 Відновлювані джерела  
енергії та гідроенергетика

(код і назва спеціальності)

спеціалізації

(код і назва спеціалізації)

освітньої програми Гідроенергетика

(назва освітньої програми)

Кулініч А. С.

(ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н., доц., Радченко В.В.

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

Рецензент д.т.н., проф., Артемчук В.В.

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

Запоріжжя  
2023

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

Інженерний навчально-науковий інститут \_\_\_\_\_  
Кафедра Електричної інженерії та кіберфізичних систем \_\_\_\_\_  
Рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень \_\_\_\_\_  
Спеціальність 145 Відновлювані джерела енергії та гідроенергетика  
(код та назва)  
Спеціалізація \_\_\_\_\_  
(код та назва)  
Освітня програма Гідроенергетика

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

д.т.н., доц. В.Л. Коваленко  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 року

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

Кулінічу Андрію Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи Дослідження можливості енергозабезпечення промислового підприємства за рахунок утилізації вторинного гідроенергетичного ресурсу  
керівник роботи Радченко Віталій Васильович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом ЗНУ від « 01 » травня 2023 року № 639 - с \_\_\_\_\_

2 Строк подання студентом роботи 01 грудня 2023 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.





Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Теоретичні аспекти утилізації вторинного гідроресурсу. 2) Розробка методики та алгоритму створення систем гідроенергетичної утилізації 3) Застосування алгоритму на прикладі доменного цеху підприємства 4) Охорона праці та техногенна безпека.

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

1) Водоспоживання доменного цеху підприємства 2) Алгоритм створення системи утилізації вторинного гідроенергетичного ресурсу промислового підприємства. 3) Графічний інтерфейс програми розрахунку 4) План розміщення

обладнання 5) Схема водоохолодження. 6) Характеристика оптимальної системи утилізації 7) Охорона праці та техногенна безпека.

### 5 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		

6 Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 01.09.2023 р. \_\_\_\_\_


### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Теоретичні аспекти утилізації вторинного гідроресурсу	30.09.2023	
2	Розробка методики та алгоритму створення систем гідроенергетичної утилізації	30.10.2023	
3	Застосування алгоритму на прикладі доменного цеху підприємства	19.11.2023	
4	Охорона праці та техногенна безпека.	30.11.2023	

Студент  \_\_\_\_\_ А. С. Кулініч \_\_\_\_\_  
(підпис) (ініціали та прізвище)

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

### Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер  \_\_\_\_\_ С.В. Башлій \_\_\_\_\_  
(підпис) (ініціали та прізвище)

## АНОТАЦІЯ

Кулініч А. С. Дослідження можливості енергозабезпечення промислового підприємства за рахунок утилізації вторинного гідроенергетичного ресурсу.

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 ім. Ю.М. Потебні. Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем, 2023.

Визначено основні вимоги та обмеження функціонування системи збору вторинних водотоків; розроблено алгоритм синтезу оптимальної системи використання вторинного гідроенергетичного ресурсу підприємства з урахуванням встановлених обмежень; Алгоритм застосовується на прикладі реального об'єкта і аналізується результат.

Ключові слова: ВТОРИННІ ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ, ГІДРОУТИЛІЗАЦІЯ, МІКРО-ГЕС, ПРОМИСЛОВЕ ПІДПРИЄМСТВО, ОПТИМАЛЬНИЙ ВАРІАНТ.

## ABSTRACT

Kulinich, A. S. Study of the possibility of energy supply of an industrial enterprise due to the utilization of a secondary hydropower resource.

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 named after Yu.M. Potebni, Department of Electrical Engineering and Energy Efficiency, 2023.

The main requirements and limitations of the functioning of the secondary watercourse collection system are determined; an algorithm for the synthesis of the optimal system for the use of the secondary hydropower resource of the enterprise has

been developed, taking into account the established constraints; The algorithm is applied on the example of a real object and the result is analyzed.

Key words: SECONDARY ENERGY RESOURCES, HYDROUTILIZATION, MICRO-HYDROELECTRIC POWER STATION, INDUSTRIAL ENTERPRISE, OPTIMAL OPTION.

## ЗМІСТ

Вступ.....	8
1 Теоретичні аспекти використання вторинних гідроресурсів .....	10
1.1 Вторинні енергетичні ресурси підприємств .....	10
1.1.1 Класифікація вторинних енергетичних ресурсів .....	10
1.1.2 Промислове використання води.....	11
1.1.3 Вода як вторинний енергетичний ресурс .....	19
1.2 Використання міні- та мікро-ГЕС для утилізації гідроресурсів .....	21
1.2.1 Сучасний стан використання міні- та мікро-ГЕС .....	21
1.2.2 Оцінка можливостей та обсягів гідроутилізації в Запорізькій області .....	22
1.2.3 Існуючі міні- та мікро ГЕС.....	24
2 Розробка методів та алгоритмів створення систем використання гідроенергії .....	33
2.1 Постановка задачі.....	33
2.2 Розробка методів та алгоритмів створення систем утилізації вторинних гідроенергетичних ресурсів підприємства .....	34
2.3 Розробка імітаційної моделі .....	40
2.4 Особливості програмування алгоритму .....	50
3 Застосування алгоритму на прикладі доменного цеху ПрАТ «Запоріжсталь».....	53
3.1 Загальна характеристика ПрАТ «Запоріжсталь».....	53
3.2 Водокористання доменного цеху.....	56
3.3 Методика визначення техніко-економічних показників системи гідроенергетики .....	70
3.4 Приклад розрахунку техніко-економічних показників гідроенергетичної системи .....	76

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....	83
4.1 Характеристика небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища.....	83
4.2 Заходи з поліпшення умов праці .....	86
4.3 Технічні рішення по гігієні праці і виробничій санітарії.....	90
4.4 Захисні заходи з електробезпеки.....	93
4.5 Пожежна безпека.....	94
4.6 Засоби індивідуального захисту.....	96
Висновки.....	98
Перелік джерел посилань.....	99

## ВСТУП

*Актуальність теми.* Останнім часом, у зв'язку з відносно високими темпами зростання енергоспоживання та обмеженими можливостями для задоволення попиту на викопне паливо, спостерігається зростання цін на енергоносії та електроенергію зокрема. Тому все більше уваги приділяється підвищенню енергоефективності підприємства. Одним з найважливіших шляхів досягнення цієї мети є використання вторинних енергетичних ресурсів, які були безповоротно втрачені.

*Об'єктом дослідження є* вторинні гідроенергетичні ресурси підприємства.

*Предметом дослідження є* система використання вторинного гідроенергетичного ресурсу підприємства.

*Метою роботи є* розробка алгоритму синтезу системи гідроенергетики підприємства з урахуванням встановлених обмежень.

*Завдання дослідження.* Для досягнення поставленої мети в роботі визначені наступні завдання:

- визначити основні вимоги та обмеження системи збору вторинних водотоків;
- розробити алгоритм синтезу оптимальної системи використання вторинного гідроенергетичного ресурсу підприємства з урахуванням встановлених обмежень;
- Застосуйте алгоритм до реального об'єкта (майстерні) та проаналізуйте результат.

*Методи та інструментарій дослідження.* Теорія, аналіз, ідеалізація, формалізація, порівняння, синтез, моделювання, практика, системний підхід.

*Наукова новизна.* В результаті теоретичних досліджень були знайдені нові наукові рішення. Визначено показники, що впливають на функціонування ефективної системи використання гідроенергії, оптимізовано її структуру та параметри відповідно до економічного критерію.



*Практична цінність* роботи полягає в розробці алгоритму синтезу системи використання вторинних гідроенергетичних ресурсів підприємства з урахуванням обмежень і економічної доцільності. За допомогою мови програмування C++ була написана програма для виявлення такої системи гідравлічної переробки. Запропонований алгоритм був застосований до доменного цеху ПАТ «Запоріжсталь». Техніко-економічні показники, отримані в результаті розрахунку, свідчать про те, що Утилізація вторинних гідроресурсів доменної печі цеху ПАТ «Запоріжсталь» може забезпечити значну економію коштів при виробництві власної електроенергії, за рахунок її низької собівартості - 1,4 грн/кВт·год. Можливий річний видобуток складе 1,421 млн. кВт·год. При цьому термін окупності складе 3,7 року.

*Апробація роботи.* Положення роботи представлені у збірнику тез:

- XXVIII науково - технічної конференції студентів магістрантів, аспірантів і викладачів ІННІ ЗНУ (м. Запоріжжя, 2023);
- науково-практичної конференції «Молода наука - 2023» ІННІ ЗНУ (м. Запоріжжя, 2023).

*Структура та обсяг роботи.* Магістерська робота включає вступ, чотири розділи, висновки, перелік з 40 посилань. Загальний обсяг – 102 сторінки.

# 1 ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННИХ ГІДРОРЕСУРСІВ

## 1.1 Вторинні енергетичні ресурси підприємств

### 1.1.1 Класифікація вторинних енергетичних ресурсів

Підвищення ефективності промисловості вимагає підвищення якості та цінності всіх джерел енергії, які вона використовує [9]. Прогресивним напрямком і розвитком промисловості є створення безвідходного виробництва, в технології якого використовуються всі елементи виробничого процесу, а також енергія реакції технологічних процесів для отримання корисної продукції.

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

Вторинні енергетичні ресурси за своїми технічними характеристиками та вартісною значимістю можна розділити на такі види:

- горюче (паливне) тепло і технологічні відходи, що містять хімічно зв'язану енергію, невикористану або непридатну для подальшої технологічної переробки, які можуть бути використані в якості котельного і пічного палива;
- Термічні підігрівачі - це фізичне тепло відпрацьованих газів, технологічних агрегатів, основних, побічних продуктів, проміжних продуктів і відходів виробництва, теплота робочих тіл систем примусового охолодження технологічних агрегатів і установок, гарячої води і пари;
- Надлишковий тиск VER - це потенційна енергія газів і рідин, що виходять з технологічних блоків високого тиску, яку необхідно зменшити, перш ніж ці гази або рідини можуть бути використані або випущені в атмосферу.

За напрямком можливого застосування ГЕО розрізняють:

- Теплотехніка – використання і споживання пари і гарячої води, безпосередньо одержуваних у вигляді тепла і відходів, або коли вони виробляються при використанні горючих і термічних нагрівачів в рекупераційних котельнях;

- Електрична енергія – при виробленні електричної енергії в утилізаційних установках за рахунок електростанцій;

- комбінований – з виробництвом теплової та електричної енергії при асиміляції ТЕЦ за графіком опалення.

Вторинні енергоресурси можуть бути використані для задоволення попиту на енергію безпосередньо, без зміни виду енергоносія, або зі зміною енергоносія шляхом вироблення теплової енергії (пара, гаряча вода), штучного охолодження або електроенергії на переробних підприємствах.

### 1.1.2 Промислове використання води

Використання води для охолодження агрегатів, після чого її можна використовувати в якості вторинного енергоресурсу, відбувається в наступних технологічних процесах [2]:

- холодильники для охолодження сталевих стрічки при термічній обробці на основі двофазних термосифонів;
- чавунні холодильні плити, виготовлені з обдувом і відпалом стисненого повітря в ливарній формі;
- енерготехнологічна установка для нагріву металу і генерації пари енергетичних параметрів;
- модульні енергетично-технологічні котли-утилізатори (КУ);
- випарне охолодження для потужних нагрівальних печей з крокуючими балками і новими конструкціями шарнірних з'єднань;

- Система охолодження захисним газом для легкої термічної обробки металу
- пристрій для охолодження труб великого діаметру в процесі загартування;
- монтаж і технологія термічної підготовки робочих валків безперервних широкосмугових станів гарячої прокатки;
- Складна регульована система охолодження рулонів і смуг в міжклітьових зазорах чистової групи клітей;
- удосконалена система і технологічні режими охолодження сталевих валків спрямованим шаром швидкорізальної сталі;
- охолодження валків вертикальної і горизонтальної кліті стану;
- сферичне шарнірне з'єднання із застосуванням антифрикційних матеріалів;
- циліндричні шарнірні з'єднання з подвійним підшипниковим вузлом;
- Удосконалена система охолодження прокатних валків при прокатці кольорових металів;
- охолодження машин безперервного лиття заготовок із захисним екрануванням;
- вторинна система водяно-повітряного охолодження машин безперервного лиття заготовок;
- випарна система охолодження шахти доменної печі;
- двоконтурна система охолодження доменної печі з рекуперацією тепла;
- автоматизований контроль герметичності холодильних деталей (холодильників і фурм, доменних печей);
- Випарна система охолодження футерованих клапанів діаметром 1100 мм нової конструкції з використанням пари для нагріву повітря для горіння;
- високотемпературний шахтний нагрівач кускової сировини з випарним охолодженням;
- вал охолоджувача згорілого продукту;

- випарне охолодження мартенівських печей з підвищеними параметрами пари, що виробляється;
- конвертерний газохолоджувач з природною циркуляцією;
- Рекуператор для спалювання верхніх газів з відкритих феросплавних печей;
- Охолодження феросплавного газу перед очищенням в трубчастих газохолоджувачах з імпульсним очищенням;
- арка коробчатого типу з сітчастим утеплювальним кріпленням для дугових електропечей;
- інтегрована установка рекуперації тепла електродугової печі;
- рекуператори тепла різних високотемпературних агрегатів;
- рекуперація тепла алюмінієвих плавильних печей для повітряного нагріву, горіння та виділення тепла за тепловими параметрами;
- новий теплообмінник для охолодження та нагрівання рідин (масел, води, емульсій, електролітів тощо);
- контактний випарний теплообмінник;
- водно-повітряна система охолодження валків;
- водно-повітряна система охолодження слябінгових ножиць;
- емульсійно-повітряна система охолодження валків станів холодної прокатки;
- Пристосування для загартування великих виробів, наприклад, молоткові плашки;
- прес-форма і технологія виробництва безперервнолитих заготовок з округлими ребрами жорсткості;
- блок повітряного охолодження;
- установки утилізації обігрівачів;
- блоки повітряного охолодження;
- водно-масляні радіатори електричних трансформаторів;
- Парова установка системи випарного охолодження доменної печі.

У доменному цеху чавун виплавляють із шихти (агломерату, руди і вапняку з використанням коксу в якості палива) в безперервно діючих доменних печах внутрішнім об'ємом від 250 до 5000 м<sup>3</sup>. Вапняк - це флюс, який сприяє плавленню і зашлакуванню відпрацьованої руди. Повітря, необхідне для горіння, подається в топку повітродувками; Перед надходженням в топку повітря проходить через калорифери. Для інтенсифікації процесу доменна піч може подаватися киснем, виробленим на спеціальній станції, а також природним газом.

Продукція виробництва - чавун і шлак - виробляється з печей в ковшах; Чавун відводиться для подальшої переробки в сталь або засипається в злитки у вигляді щурів, а шлак подається в вузол грануляції. Крім чавуну і шлаку, доменні печі виробляють газ, який після попередньої обробки використовується в якості палива на цьому ж заводі.

Вода в доменному цеху при виплавці чавуну використовується для зволоження шихти, охолодження доменних печей через холодильники і пічну арматуру, пожежогасіння зливних коробок водяного охолодження (для змочування верхнього пилу при вивантаженні з пиловловлювача), для охолодження і грануляції шлаку, для циркуляції скіпових насосів, для охолодження чавуну на ливарних машинах і в бункерних приміщеннях, для охолодження чавунних плит. для охолодження жолобів верхньої і нижньої гілок конвеєра, а також для інших дрібних потреб [8].

Шихта зволожується для зменшення видалення пиловугільних частинок, флюсів і коксу з доменної печі. Для цієї мети зазвичай використовується вода (0,5 м<sup>3</sup> на 1 т виплавленого чавуну), яка переробляється в системі охолодження доменних печей.

Схема охолодження доменних печей може бути однозонною або двозонною. При однозонному водопостачанні вся охолоджуюча вода подається в охолоджувачі доменних печей з єдиним загальним напором, достатнім для подачі її в найвищу точку. У разі двозонного водопостачання вода подається в нижню частину печі (пару, ранець, фурму, піч і т. П.) Одним (зниженим) напором, а для верхньої - під інший (збільшений) напір [25].

Останнім часом водопостачання великих доменних печей організовано як однозонне. Як в однозонному, так і в двозонному водопроводі вода в доменний цех подається по двох незалежно працюючих водопроводах і мережах (паралельних водопроводів). При цьому між паралельними трубопроводами є мости з електрифікованими клапанами, які закриваються при нормальній роботі і відкриваються тільки під час ремонту; На входах води в печі встановлюються зворотні клапани, які запобігають зворотному потоку води з водяного кільця доменної печі в разі аварії на одному з водопроводів. Клапани на перемичках управляються дистанційно з диспетчерської.

Охолодження запірної арматури печі (циліндрична конструкція у вигляді металевого кожуха, заповненого спеціальною кладкою з вогнетривкої цегли) спрямоване на захист клапанів від руйнування газами, що проходять через них, і повітрям, нагрітим до температури 800 °С і більше. Клапани служать для регулювання нагріву повітря, що надходить від повітродувок до доменної печі; Повітря нагрівається за рахунок згоряння очищеного доменного газу. Витрата води в доменному цеху на 1 т виплавленого чавуну (без урахування витрат на грануляцію шлаку і розливання металів) становить близько 24 м<sup>3</sup>, в тому числі (3...4) % прісної води. Велика частина води (приблизно 95%) використовується для охолодження конструкцій і арматури і не отримує специфічних забруднень. Коефіцієнт годинної нерівномірності стоку води дорівнює 1,05 [17].

Циркулює водопостачання доменного цеху; Стічні води холодильників, печей і пічної арматури зливаються в приймальні коробки і подаються на охолодження в градирні або баки-обприскувачі; Охолоджена вода забирається насосами і подається назад в цех. Необхідний напір циркулюючої води в доменній мережі коливається від 45 до 70 м, в залежності від корисного об'єму печі [3, 8].

Грануляція шлаків полягає в перетворенні їх з рідкого стану в твердий сипучий матеріал шляхом швидкого охолодження водою. Гранульований шлак використовується для виготовлення шлакової цегли та цементу; Шлаки можуть використовуватися і для інших цілей.

Сьогодні в основному використовується напівсуха грануляція шлаку, а в нових доменних печах застосовується волога грануляція в жолобах з освітленням циркулюючої води у відстійнику. Витрата оборотної води для вологого гранулювання становить 8 м<sup>3</sup> на 1 т шлаку; В обох випадках безповоротно втрачається близько 1 м<sup>3</sup> на 1 тону шлаку.

Чавун відливають на спеціальних ливарних машинах, в які рідкий чавун подається з печей в ковшах. Чавун заливають у форми (форми), які безперервно рухаються разом з ланцюгом (ременем), що несе їх. Чавун, залитий у форми, інтенсивно заливають водою з перфорованих труб; Охолоджені і загартовані чавунні злитки (зв'язки) подаються зі стрічки на залізничну платформу, по якій після охолодження водою транспортуються на склад.

Загальна витрата води при заливці 1 т чавуну становить до 4 м<sup>3</sup>, при цьому втрачається близько 20% води. Водопостачання циркулює з очищенням стічних вод від шматків битого чавуну і вапна в відстійнику. Втрати в системі заповнюються прісною водою.

Тиск води для заправних машин повинен становити 30 м.

Останнім часом в нашій країні і за кордоном широко впроваджена система випарного охолодження металургійних печей (доменних, мартенівських, електроплавильних, опалювальних печей і вагранок) [24]. При випарному охолодженні тепло від нагрітих елементів печі розсіюється водою, яка нагрівається з утворенням пароводяної емульсії. При цьому використовується прихована теплота випаровування, тобто тепло, що виділяється охолоджуючою водою, використовується для її випаровування. У холодильники печі подається вода, звільнена від солей жорсткості і позбавлена корозійних властивостей. Отриманий пар використовується для технологічних потреб заводу.

При випарному охолодженні 1 кг води, випаровуючись, забирає з охолодженої частини 539 ккал. Крім того, вода, що надходить в систему, нагріта до кипіння, забирає ще 70 ккал. Для вилучення такої ж кількості тепла при охолодженні води при підвищенні температури води на 10 °С знадобилося б  $(539 + 70)/10 \sim 60$  кг води, тобто в 60 разів більше, ніж при випарному охолодженні [31].



У схемі з примусовою циркуляцією вода з бака-сепаратора подається в деталь за допомогою спеціального насоса, при цьому тиск в системі може бути підвищено до (18...40) кгс/см<sup>2</sup>.

Випарне охолодження має такі переваги:

- Вода потрібна тільки для охолодження деталей нижньої конструкції металургійних печей, тобто для охолодження води потрібно близько 30% від загальної витрати;
- забезпечує надійність роботи печі і скорочує час її простою для ремонту охолоджених деталей;
- використовується тепло холодоагенту у вигляді пари;
- Обсяг конструкцій і пропускна здатність системи водопостачання зменшуються в три рази.

До теперішнього часу системи випарного охолодження доменних печей є надлишковими з пристроєм водяного охолодження, що призводить до додаткових капітальних вкладень [25].

Споживачі води в промисловості:

- охолодження доменної печі;
- охолодження металургійних печей;
- охолодження нагрівальних печей;
- охолодження феросплавних печей;
- охолодження електродугових печей;
- охолодження хімічних печей;
- охолодження гарячої сірчаної кислоти після контактного апарату або конденсатора;
- охолодження різних нафтопродуктів;
- охолодження конденсатора;
- охолодження сорочок циліндрів двигунів внутрішнього згоряння;
- охолодження футеровки печі і т.д.

Таким чином, як видно з вищесказаного, практично в кожній галузі промисловості є достатня кількість відпрацьованого тепла, яке є побічним продуктом, щоб частково або навіть повністю задовольнити потреби підприємства в даному виді енергії, або розглядати його як додатковий товарний продукт. Однак реалізувати його виявляється складно, а часто і практично неможливо через труднощі, пов'язані зі створенням систем зльоту і транспортування, що вимагають значних потоків і напорів теплоносія. В результаті вартість вторинної теплової енергії настільки висока, що втрачається економічна доцільність її придбання і навіть використання на власному підприємстві.

Як правило, для відводу відпрацьованого тепла від технологічних агрегатів використовується теплоносій з максимально можливою теплоємністю і найменшою вартістю. Таким універсальним і доступним теплоносієм є вода. Як видно з вищесказаного, вживати його у величезних кількостях необхідно практично у всіх галузях промисловості. При цьому вода, що подається на охолодження, по суті, є носієм не тільки теплової, але і механічної (кінетичної і потенційної) енергії.

У зв'язку з великими обсягами води кількість наявної в ній механічної енергії часто перевищує кількість теплоти. Якщо відбір відпрацьованого тепла здійснюється для комунальних і промислових потреб, хоча б частково, то безповоротно втрачається потенційна енергія і енергія руху води. Очевидно, що перетворення останніх в електричну енергію, а це, по суті, утилізація надлишкових гідроресурсів (гідроутилізація), дозволило б значно скоротити споживання електроенергії для транспортування води і, отже, підвищити економічну ефективність рекуперації тепла.

Наприклад, в металургії, як і в інших галузях промисловості, широке поширення набули випарні системи охолодження агрегатів обладнання. Їх головною перевагою є економія живильної води в порівнянні з системами водяного охолодження за рахунок перетворення останніх в водяну пару високого тиску і високої температури, яка найчастіше використовується не в повному

обсязі через недостатню кількість споживачів пари і труднощів її транспортування до точки споживання. Перемикання обладнання на водяне охолодження різко збільшує витрату води (приблизно в 30 разів), але утилізація механічної енергії цього теплоносія шляхом перетворення її в електричну дозволяє значно підвищити ефективність рекуперації тепла і збільшити можливість його продажу іншим споживачам.

### 1.1.3 Вода як вторинний енергетичний ресурс

Вода широко використовується для охолодження конструктивних елементів вогнетривких установок, а також в ряді виробничих процесів, що протікають при низьких температурах, для штучного охолодження технологічного виробу або обладнання. Приклади: водяне охолодження металургійних печей, печей хімічного виробництва; охолодження гарячої сірчаної кислоти після контактного апарату або конденсатора; водяне охолодження різних нафтопродуктів; охолодження конденсаторів парових турбін, генераторних масляних і повітроохолоджувачів на електростанціях, конденсаторів змішувального типу, алюмінієвих випарних батарей на глиноземних заводах; охолодження сорочок циліндрів, двигунів внутрішнього згоряння та ін.

Нагріта технічна вода може використовуватися для тепло- та гарячого водопостачання, агроопалення та виробництва електроенергії.

Значні обсяги нагрітої технічної води на промислових підприємствах не завжди можуть бути використані для тепlopостачання через обмежену потребу в теплі та сезонний характер споживання тепла. У деяких випадках ефективним є використання даного типу теплових електростанцій для вироблення електроенергії.

Як правило, вихідні агрегати гідроелектростанцій територіально розосереджені, вироблені ними вторинні ресурси нерівномірні, як за часом випуску, так і за параметрами. Наприклад, для більшості технологічних процесів в металургійному, хімічному, коксовому та інших видах виробництва використовується величезна кількість води. Пристрій обладнання таке, що вода нагнітається на різні рівні висоти, а потім, після використання в технологічному циклі, зливається поза циклом або перекачується назад у цикл. В процесі втрачається величезна кількість теплової і потенційної енергії рідини. Таких вторинних потоків з різних висотних рівнів в межах одного підприємства можуть бути сотні. Ці потоки не стаціонарні і можуть бути невеликими за обсягом для підбору стандартного обладнання для утилізації відходів.

Однак, якщо їх узагальнити, то значення є достатнім для того, щоб розглядатися як потенційне джерело ГВП, тобто можливість використання ГВЕ стає доцільною. Ця відпрацьована енергія може бути використана існуючими технологіями, але для підбору обладнання необхідно знати кількість (оцінити обсяг) відпрацьованого гідроресурсу і його параметри, проаналізувати топологію розсіювання ресурсів на підприємстві, від якої залежить вибір обладнання і його проектну потужність, і розробити топологію розміщення генеруючих пристроїв.

Як правило, енергоефективність використання вторинних енергетичних ресурсів для виробництва електроенергії не залежить від загальної схеми електропостачання даного підприємства і дозволяє значно знизити споживання електроенергії на водний транспорт і, отже, підвищити економічну ефективність утилізації.

В даний час ця проблема практично не вирішується, питання, пов'язані з нею, недостатньо вивчені і вимагають подальшого поглибленого вивчення.

Таким чином, для підвищення ефективності використання теплових вторинних енергетичних ресурсів підприємства, поряд з удосконаленням системи обліку та планування їх використання, необхідно вирішити ряд технічних та організаційних завдань. Перш за все, до них можна віднести оцінку потенціалу

невикористаного водного ресурсу і його параметрів, аналіз топології розташування джерел тепла на підприємстві, від яких залежить проектна потужність утилізаційного обладнання, розробка топології розсіювання енергогенеруючих пристроїв.

Для вирішення цілого комплексу питань, пов'язаних з гідроутилізацією як засобом підвищення ефективності використання відпрацьованого тепла, необхідно: розробити відповідні методи оцінки потенціалу теплових викидів та обсягу можливої гідроутилізації механічної енергії потоків охолоджуючої води, методику вибору рециркуляційного обладнання на основі топології розташування джерел тепла; визначити місця раціонального розміщення використовуваних мікро ГЕС. І все це має підтвердити економічну доцільність генерації такої електроенергії.

## 1.2 Використання міні- та мікро-ГЕС для утилізації гідроресурсів

### 1.2.1 Сучасний стан використання міні- та мікро-ГЕС

Одним з перших типів гідроелектростанцій є мікро-ГЕС [23]. З початку 1920-х років в Україні налічувалося 84 гідроелектростанції загальною потужністю 4 000 кВт, а на кінець 1929 року налічувалося вже 150 станцій загальною потужністю 8 400 кВт, у тому числі Вознесенська (840 кВт), Бугу (570 кВт), Сутиська (1 000 кВт) та інших. У 1934 році була введена в експлуатацію Корсунь-Шевченківська ГЕС (2650 кВт), яка за своїми технічними показниками була однією з кращих станцій того часу.

У післявоєнний період електрифікація сільського господарства також базувалася на збільшенні потужності та покращенні техніко-економічних показників малих електростанцій.

На початку 1950-х років в Україні було побудовано 956 малих гідроелектростанцій загальною потужністю 30 000 кВт·год. Квт. Однак у зв'язку

з розвитком централізованого електропостачання та стійкою тенденцією до концентрації виробництва електроенергії на потужних теплових та гідроелектростанціях будівництво малих ГЕС було зупинено. Почалася їх консервація і демонтаж, були зруйновані сотні малих гідроелектростанцій.

На сьогодні в Україні збереглося лише 48 малих гідроелектростанцій, більшість з яких потребують реконструкції. До них відносяться такі відносно потужні станції, як Терєбл-Рикська, Гайворонська, Корсунь-Шевченківська, Стебловська, Ладизинська та інші.

Створена в 40-х роках номенклатура мікрогідротурбін містила всі основні типи, які використовуються і сьогодні. З 6000 гідроелектростанцій, побудованих в СРСР в 1950-х роках, більшість потрапила в цю категорію.

Однак є ще один напрямок в гідроенергетиці, який не менш перспективний і поки абсолютно не використовується. Це, звичайно ж, використання гідроенергетичних ресурсів, розташованих у водотоках і скидах питного і промислового водопостачання промислових підприємств, каналах, зрошувальних системах і каскадах водосховищ. Зрозуміло, що з точки зору енергозабезпечення необхідно, перш за все, скоротити нераціональне використання водних ресурсів, що зменшить обсяги їх транспортування водотоками. Однак значний надлишок гідроенергетики у виробництві все ж пов'язаний з впровадженими технологіями і специфічною багатоповислою компоновкою обладнання.

### 1.2.2 Оцінка можливостей та обсягів гідроутилізації в Запорізькій області

Уявлення про можливості та обсяги гідроутилізації можна отримати, наприклад, з даних, наведених у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Приклади та обсяги можливої гідроутилізації на деяких підприємствах Запорізької області

Підприємство	Джерело води	Vitrata, м3/с	Напір, м	Об'єм води, млн м3	Проектна потужність водотоку, кВт
ЗАТ «Запорізький залізорудний комбінат»	Скид шахтних вод в Утлюкський лиман	0,57	12,40		58,84
	Ставок-накопичувач шахтних вод	-	1,80	1,80	1100,72
Запорізька ТЕС	Скидання каналу	140,00	5,00	-	6867
КП "Водоканал"	Центральні очисні споруди	2,54	2,00	-	42,35
	Станція водопостачання No1	1,83	5,00	-	42,62
	Станція водопостачання No2	1,16	5,00	-	42,62

Дані взяті з кадастру технологічних водотоків в Запорізькій області, перспективних для створення об'єктів водовідведення з використанням установки міні- і мікро ГЕС. Кадастр розроблений відповідно до Регіональної програми енергозбереження. У таблиці представлені найбільші водотоки цих підприємств. Але на ПЗРК, наприклад, всередині шахти використовується багато технічної води, яка після застосування самопливом потрапляє в нижні горизонти. Перепади між горизонтами можуть становити кілька десятків (до ста) метрів, і

навіть при невеликих водовитратах розрахункова пропускна здатність водотоків значна [28, 41].

Аналогічна ситуація і на заводі «Запоріжсталь», і на ТЕЦ. Рівні, на яких знаходиться водоспоживаюче обладнання, різні, а скидання потоків відходів в нижні водоносні горизонти також може використовуватися для вироблення електроенергії. Достатні обсяги додаткових стічних вод для утилізації також є на «Водоканалі» та інших підприємствах практично будь-якої галузі. На практиці розташування будь-якого відведення від магістрального каналу до конкретних зрошувальних систем підходить і для установки мікро-ГЕС.

В результаті частина електроенергії, яка використовується для створення тиску і тиску в трубопроводах, може бути повернута в мережу.

### 1.2.3 Існуючі міні- та мікро-ГЕС

Сучасна гідроенергетика, в порівнянні з іншими традиційними видами електроенергії, є найбільш економічним і екологічним способом вироблення електроенергії. Мала гідроенергетика йде ще далі в цьому напрямку. Малі електростанції дають можливість зберегти природний ландшафт і навколишнє середовище не тільки на етапі експлуатації, але і в процесі будівництва. При подальшій експлуатації негативного впливу на якість води не відбувається: вона повністю зберігає свої початкові природні властивості [33]. Риба зберігається в річках, і вода може бути використана для постачання водою населення [26, 34]. На відміну від інших екологічно чистих відновлюваних джерел електроенергії, таких як сонячна та вітрова, мала гідроенергетика практично не залежить від погодних умов і здатна забезпечити стабільне постачання дешевої електроенергії споживачеві [19].

Ще однією перевагою малої генерації електроенергії є ефективність. У той час, коли природні джерела енергії – нафта, вугілля, газ – виснажуються і



постійно дорожчають, використання дешевої, доступної, відновлюваної енергії з річок, особливо малих, дає можливість виробляти дешеву електроенергію. Крім того, будівництво малих гідроенергетичних об'єктів є маловитратним і швидко окупається [21, 22].

Реалізація такого проекту не завдасть шкоди навколишньому середовищу з екологічної точки зору. Крім того, слід зазначити, що реконструкція раніше виведеної з експлуатації малої гідроелектростанції обійдеться (в 1,5-2) рази дешевше.

Є успішний досвід експлуатації обладнання на схилах діючих гребель, каналів, систем водопостачання та каналізації промислових підприємств і комунальних об'єктів, очисних споруд, зрошувальних систем і трубопроводів питної води [27]. Основні технічні рішення, використані при створенні обладнання, виконані на рівні винаходів і захищені патентами. Устаткування випускається серійно, має високі техніко-експлуатаційні показники і доступні ціни.

Велика частина обладнання модульних мікро ГЕС може використовуватися для використання енергії водотоків, технічних систем водопостачання та каналізації. Перевагою даного обладнання є його серійне виробництво, відносно невисока ціна (від 700 до 900 доларів США за кВт встановленої потужності), комплектність, простота монтажу.

Недоліком комплектних серійних мікро ГЕС іноді є спрощена система регулювання швидкості. При підвищеній швидкості (частоті) автоматично гаситься надлишок потужності на балансовому навантаженні, що одночасно підтримує температуру в приміщенні мікро-ГЕС в зимовий період [28].

Широкому використанню енергії водотоків систем технічного водопостачання перешкоджає відсутність гідротурбін для малих напорів (1,5...3) м при досить великій витраті води (2...10) м<sup>3</sup>/с. Але переважно за кордоном. Наприклад, у Фінляндії налагоджено виробництво гідротурбін з напором (1,5...3,5) м, які стали застосовуватися в технічних і транспортних системах.

В Україні обладнання мікро ГЕС створюється в основному для напорів, що перевищують 5 м. 5) м різко знижує ККД турбін, погіршується можливість регулювання частоти обертання.

Не бажано підбирати обладнання з умов експлуатації в діапазоні низьких напорів в номінальних режимах. Така помилка була допущена при спробі використовувати 50 одиниць Пр на одній з вітчизняних систем. У найближчі роки турбінне обладнання для малих напорів і значного водоспоживання буде вироблятися в Україні та СНД. Це важливе питання, яке стримує відведення стічних вод [28].

Гідроагрегати для малих і мікро ГЕС виробництва INSET розраховані на роботу в широкому діапазоні напорів і дебітів з високими енергетичними характеристиками і випускаються з гвинтовими, радіально-осьовими і ковшовими турбінами. Як правило, в комплект поставки входить турбіна, генератор і система автоматичного управління гідроагрегатом. Проточні шляхи всіх турбін проектується з використанням методу математичного моделювання.

Мала генерація електроенергії на сьогодні є найбільш економічно ефективним вирішенням енергетичних проблем для територій, що належать до зон децентралізованого енергопостачання. Електропостачання віддалених та енергодефіцитних регіонів потребує значних витрат. І тут не завжди вигідно використовувати потужності існуючої національної енергосистеми. Набагато економічніше розвивати потужності малої генерації електроенергії, економічний потенціал якої в Україні перевищує потенціал відновлюваних джерел енергії, таких як вітер, сонце та біомаса разом узяті. Екологічність і економічність міні-енергетики вже давно привертають увагу іноземців. Мікрогідроелектростанції працюють в Японії, Південній Кореї, Бразилії, Гватемалі, Швеції, Польщі [6, 7, 20].

Виходячи з конструктивних особливостей і способу монтажу, розрізняють безнапірні (використовуються в основному в руслах річок) і занурювальні мікро-ГЕС, представлені на малюнках 1.1 і 1.2 відповідно.

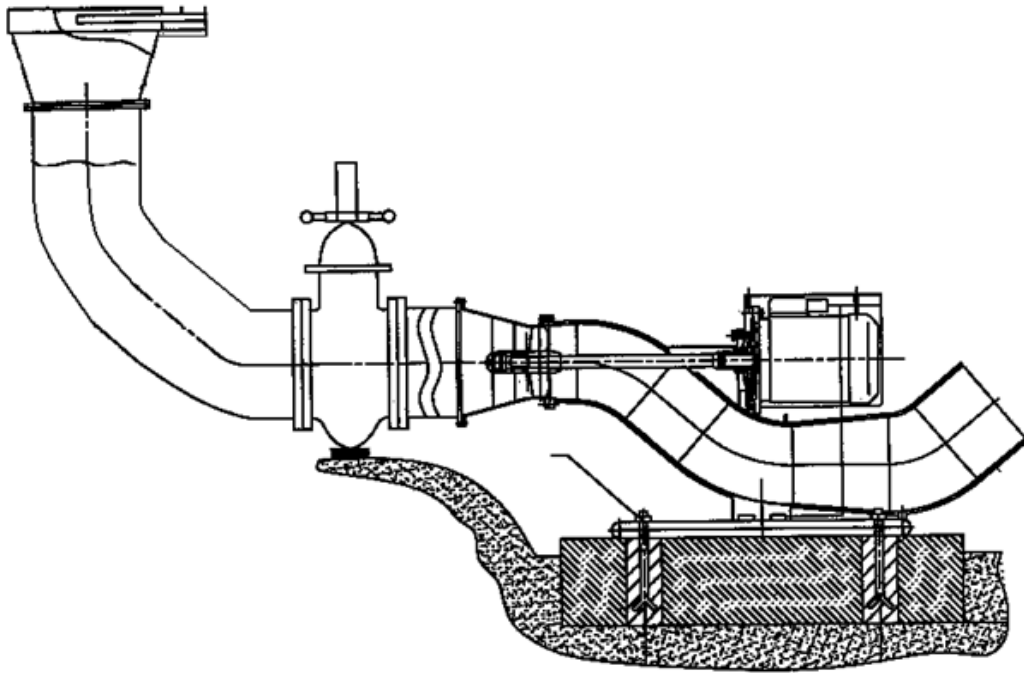


Рисунок 1.1 – Ненапірна мікро-ГЕС

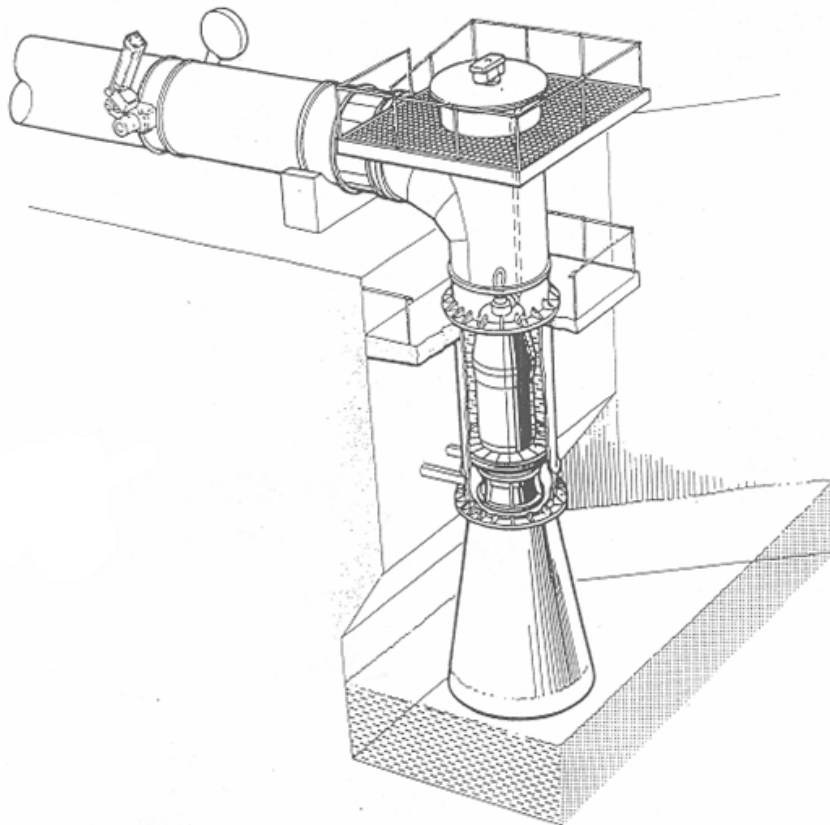


Рисунок 1.2 – Занурювальна мікро-ГЕС

Основні характеристики мікро-ГЕС представлені в таблицях 1.2 і 1.3.

Таблиця 1.2 - Основні технічні характеристики мікро ГЕС з пропелерними турбінами

Параметри	Тип мікро ГЕС					
	Микро ГЕС10Pr		Микро ГЭС15Pr	Микро НРР50Pr		Микро НРР100Pr
Потужність, кВт	0,60-4,00	2,20-10,00	3,50-15,00	10,00-30,00	10,00-50,00	40,00-100,00
Напір, м	2,00-4,50	4,50-10,0	4,50-12,00	2,50-6,00	4,00-10,00	6,00-18,00
Витрата, м <sup>3</sup> /с	0,07-0,14	0,10-0,21	0,10-0,30	0,30-0,80	0,40-0,90	0,50-1,20
Швидкість, хв <sup>-1</sup>	1000	1500	1500	600	750	1000
Напруга, В	230		400	230, 400		230, 400
Номінальна частота струму, Гц	50		50	50		50

Таблиця 1.3 - Основні технічні характеристики мікро ГЕС з діагональними і ковшовими турбінами

Параметри	Тип мікро ГЕС		
	Микро ГЭС20PrД	Микро НРР100DO	Микро НРР200DO
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
Швидкість, хв <sup>-1</sup>	1500	600; 750; 1000	
Номінальна напруга, В	230,400	230 , 400	
Номінальна частота струму, Гц	50	50	

Якісне, але досить дороге обладнання для комплектних (вертикальних) мікро ГЕС випускає шведська компанія Flugt. Характеризується високим ККД, достатньою керованістю, можливістю паралельної роботи з системою. Більш дешеве обладнання виробляється в Фінляндії компанією Waterpumps Wp Oy.

Простіше, ніж у виробників країн СНД, мікро-ГЕС потужністю (10...100) кВт з турбінами, розробленими на базі лопатевих насосів, випускає чеський завод «Dolní Benešov». Однак застосування насосних технологій в реверсивних режимах вимагає високих напорів (8...20) м. При регулюванні частоти обертання використовується не тільки дроселювання потоку води перед турбіною, але і гідравлічно керовані шибери на байпасному трубопроводі. Також вони використовуються при виведенні з експлуатації мікро-ГЕС.

Унікальні комплектні модулі ШПП для головок від 1,3 м серійно випускаються компанією SINK (Чехія). Вони використовуються в 15 країнах світу для утилізації енергії в системах водопостачання, в тому числі питних (сертифікованих). Комплекти оснащені вдосконаленою мікропроцесорною системою автоматичного регулювання режиму подачі води з урахуванням змінних втрат гідравлічного напору у водопроводах, відсутності гідроудару та забезпечення максимального ККД гідравлічних машин. Комплектні модулі працюють паралельно з центральною електромережею. Гідротурбіни не мають кавітації і в той же час є аераторами води.

Слід зазначити, що відпрацьована оригінальна методика технології виробництва. Перехресно-струменеві турбіни (типу BANKI) виготовляються на базі п'яти основних (по діаметру) робочих коліс, але з різною шириною, що дозволило виготовити більше 110 модифікацій гідравлічних машин для використання в конкретних умовах (задана зона напору і витрати води), але з високими значеннями ККД і необхідною зоною регулювання режиму, практично без додаткових технологічних витрат. В даний час ці гідравлічні машини є найбільш конкурентоспроможними.

Сьогодні цілеспрямована робота по обстеженню і пошуку перспективних об'єктів неможлива, в основному через фінансові та організаційні труднощі.

Проте інтерес до проблеми часткового самозабезпечення енергоресурсами серед підприємств починає зростати. Тому існує ймовірність конкретних розробок у цій сфері [28].

Гідротурбогенератори Flugt входять до стандартної комплектації, а їх модульна конструкція дозволяє адаптувати їх практично до будь-якого робочого середовища в діапазоні потоку від 0,7 до 12 м<sup>3</sup>/с і в діапазоні напору від 2,5 до 20 м для генерації номінальної потужності від 40 до 710 кВт.

Занурювальна мікрогідроелектростанція – це гідроелектростанція, яка використовує занурювальні, тобто занурювальні, гідроелектростанції.

Такі мікро-ГЕС випускає шведська компанія Flugt. Занурювальні гідротурбогенератори Flugt - це агрегати, що складаються з напівроторної лопатевої турбіни, трифазного асинхронного генератора і, при необхідності, планетарного редуктора з більш тривалим терміном служби. Ці компактні закриті турбінні агрегати усувають потребу в довгих валах, звичайних силових агрегатах і надбудові гідроелектростанції. Такий гідротурбінний генератор працює в повністю зануреному стані в простій вертикальній колоні і утримується на місці за рахунок власної ваги. Він охолоджується навколишньою водою і може бути легко опущений і піднятий для встановлення та обслуговування.

Принцип монтажу. Занурювальні гідротурбогенератори призначені для установки у вертикальному положенні за допомогою спеціальної турбінної труби на фланцевому сидлі, що утримується під власною вагою без постійного кріплення. Найменші моделі, такі як EL 7556 і EL7570, а також моделі з прямим приводом EL7585 і EL7600, також можуть встановлюватися горизонтально або під кутом. Опорна труба турбіни може бути підключена до ряду інших монтажних модулів, таких як труби, турбінні трубопроводи та лотки, вибраних відповідно до існуючих умов на місці.

Для реалізації проектів гідроутилізації всередині підприємства краще використовувати останні, так як вони більш маневрені в плані монтажу і підключення до мережі. На жаль, українських аналогів таких агрегатів поки немає, мабуть, через відсутність їх продуманого використання. Але за підтримки

держави та належного ставлення до питань енергозбереження найближчим часом ситуація може кардинально змінитися.

З вищесказаного можна сказати, що кількість рекуперованої механічної енергії технічної води, що використовується для охолодження, значно підвищує енергоефективність підприємства, тобто електрична енергія, отримана за рахунок утилізації надлишкових гідроресурсів, могла б значно знизити енергетичні витрати підприємства.

Підводячи підсумки першого розділу, можна відзначити, що вода широко використовується для охолодження конструктивних елементів вогнетривких установок, а також в ряді промислових процесів, що протікають при низьких температурах, для штучного охолодження технологічних виробів або обладнання.

Нагріта технічна вода може використовуватися для тепло- та гарячого водопостачання, агроопалення та виробництва електроенергії.

Практично в кожній галузі промисловості є достатня кількість відпрацьованого тепла, яке є побічним продуктом, щоб частково або навіть повністю задовольнити потреби підприємства в даному виді енергії, або ставитися до нього як до додаткового товарного продукту. Однак реалізувати його виявляється складно, а часто і практично неможливо через труднощі, пов'язані зі створенням систем зльоту і транспортування, що вимагають значних потоків і напорів теплоносія. В результаті вартість вторинної теплової енергії настільки висока, що втрачається економічна доцільність її придбання і навіть використання на власному підприємстві.

У зв'язку з великими обсягами води кількість наявної в ній механічної енергії часто перевищує кількість теплоти. Якщо відбір відпрацьованого тепла здійснюється для комунальних і промислових потреб, хоча б частково, то безповоротно втрачається потенційна енергія і енергія руху води. Очевидно, що перетворення останніх в електричну енергію, а це, по суті, утилізація надлишкових гідроресурсів (гідроутилізація), могло б значно скоротити

споживання електроенергії для транспортування води і, отже, підвищити економічну ефективність утилізації самого тепла.

У більшості технологічних процесів металургійної, хімічної, коксохімічної та інших галузей промисловості пристрій обладнання таке, що охолоджуюча вода нагнітається на різну висоту, а потім, передаючи тепло від технологічного обладнання, зливається поза циклом, або перекачується назад в нього.

Кількість таких технічних потоків води на підприємствах може бути дуже великим. Як правило, вони не стаціонарні, що також ускладнює використання гідроенергії водотоку і підбір обладнання для утилізації. В даний час ця проблема практично не вирішується, питання, пов'язані з нею, недостатньо вивчені і вимагають подальшого поглибленого вивчення.

Тому для підвищення ефективності використання теплових вторинних енергетичних ресурсів підприємства, поряд з удосконаленням системи обліку та планування їх використання, необхідно вирішити ряд технічних та організаційних завдань. Перш за все, до них можна віднести оцінку потенціалу невикористаного водного ресурсу і його параметрів, аналіз топології розташування джерел тепла на підприємстві, від яких залежить проектна потужність утилізаційного обладнання, розробка топології розсіювання енергогенеруючих пристроїв.

Для вирішення цілого комплексу питань, пов'язаних з гідроутилізацією як засобом підвищення ефективності використання відпрацьованого тепла, необхідно: розробити відповідні методи оцінки потенціалу теплових викидів та обсягу можливої гідроутилізації механічної енергії потоків охолоджуючої води, методику вибору рециркуляційного обладнання на основі топології розташування теплових джерел тепла; визначити місця раціонального розміщення використовуваних мікро ГЕС. І все це має підтвердити економічну доцільність генерації такої електроенергії.



## 2 РОЗРОБКА МЕТОДІВ ТА АЛГОРИТМІВ СТВОРЕННЯ СИСТЕМ ВИКОРИСТАННЯ ГІДРОЕНЕРГІЇ

### 2.1 Постановка задачі

Утилізація вторинних гідроенергетичних ресурсів передбачає створення системи збору технічної води у вигляді трубопровідних конструкцій і, звичайно ж, установку самого рециркуляційного обладнання - турбіни і приводу від генератора. Величина сумарної потенційної енергії одержуваного водотоку визначається топологією розсіювання вторинних джерел води і конфігурацією системи збору. Тому об'єднувати потоки відпрацьованої води від охолоджуваних елементів обладнання необхідно за принципом найменших втрат напору, так як саме напір є визначальним енергетичним параметром водотоку, виходячи з сталості його течії. Також варто відзначити, що коли висота, на якій стічні води видаляються з технологічного циклу, відповідає нулю по відношенню до утилізаційного обладнання, потенційна енергія такого потоку прагне до нуля, навіть якщо його витрата величезна. При цьому водотік не представляє інтересу для використання гідроенергії.

Також очевидно, що для вироблення електроенергії можна використовувати тільки вторинну воду, яка відповідає вимогам, встановленим виробниками мікро ГЕС: допустима різниця температур від  $-5^{\circ}\text{C}$  до  $+45^{\circ}\text{C}$ , розмір зважених частинок до 0,03 м.

Після того, як буде визначено можливе гідроутилізацію механічної енергії від потоків охолоджуючої води, необхідно визначити найкоротші шляхи між існуючими джерелами вторинних водотоків і можливим центром збору гідроенергетичних ресурсів. При цьому слід також враховувати, що на шляху проходження таких систем можуть виникати перешкоди у вигляді, наприклад, заводського обладнання. Таким чином, необхідно проаналізувати всі комбінації об'єднання вторинних джерел води в можливих пунктів збору та визначити місце розташування обладнання для утилізації, яке б виробляло максимальну кількість

електроенергії ( $W_o$ ) за умови, що її вартість ( $C_c$ ) не перевищує діючий тариф ( $C_{ee}$ ).

Тому алгоритм синтезу систем утилізації вторинного гідроенергетичного ресурсу підприємства повинен включати оцінку обсягів можливої гідроутилізації механічної енергії водних потоків, що використовуються для охолодження, визначення параметрів і схеми установки збору останніх в обраних центрах, виходячи з топології розташування джерел води, і підбір утилізаційного обладнання. І все це має бути обґрунтовано економічною доцільністю генерації такої електроенергії. Для того щоб вивести алгоритм, необхідно отримати параметри оптимальної системи використання гідроенергії з визначальним критерієм:  $W_o \rightarrow \max, C \leq C_{ee}$ .

## 2.2 Розробка методів та алгоритмів створення систем утилізації вторинних гідроенергетичних ресурсів підприємства

Основним і найбільш складним питанням в задачі створення оптимальної системи використання гідроенергетичних ресурсів є синтез топології системи збору вторинних стоків, від якої безпосередньо залежить ефективність розглянутого використання. Для розв'язання задачі розробимо відповідну математичну модель у вигляді алгоритму. Алгоритм визначення оптимальної топології системи збору та генерації електроенергії ґрунтується на визначенні найкоротшого шляху між існуючими джерелами вторинних водотоків та можливим центром збору гідроенергетичних ресурсів, розташованим на деякій відстані. При цьому необхідно також враховувати, що на шляху проходження таких систем можуть зустрічатися перешкоди у вигляді заводського обладнання і т.д.

Існує кілька раніше розроблених алгоритмів визначення найкоротшого шляху між двома точками на координатній площині, такі як: хвильовий алгоритм

Лі; алгоритми маршрутів, засновані на обчисленні відстані між точками і на коефіцієнті повторюваності; алгоритм, Дейкстра і т.д. [ ]. До їх основних недоліків можна віднести: непридатність для роботи в тривимірному просторі, а також велику кількість обчислювальних операцій і, відповідно, збільшений час обчислень. З цього випливає, що вони неприйнятні для поставленого завдання. А\*

З метою знаходження найкоротшого шляху між елементами системи збору гідравлічних ресурсів з урахуванням накладення обмежень на розташування можливих маршрутів розроблений оригінальний алгоритм, який працює в тривимірному просторі і враховує специфіку поставленого завдання. З його допомогою можна з розумною ймовірністю знайти мінімальну відстань у просторі з будь-якою кількістю перешкод. Принцип його роботи заснований на поділі цехового простору ( «накладення сітки») на куби з певним мінімумом допустимий розмір грані  $\Delta$ , що призводить до представлення об'єму приміщення у вигляді масиву точок ( «просторових вузлів сітки»). Для підвищення ефективності алгоритму використовується «екранування» утворених вузлів, що входять в неприпустиму зону елементів системи збору гідравлічних ресурсів за допомогою сигнатурної функції [28]. Потім створюється набір маршрутів між двома точками. Якщо хоча б одна маршрутна точка потрапляє в недійсну зону, Вона виключається з розрахунків. Принцип знаходження його довжини полягає в наступному. Порівнюються координати попереднього  $(x_n; y_n; z_n)$  і наступного  $(x_{n+1}; y_{n+1}; z_{n+1})$  вузлів просторової сітки, що утворюють цей маршрут. Якщо змінюється тільки одна з координат, тобто  $|x_{n+1} - x_n| = \Delta$ ,  $|y_{n+1} - y_n| = 0$ ,  $|z_{n+1} - z_n| = 0$ , або  $|x_{n+1} - x_n| = 0$ ,  $|y_{n+1} - y_n| = \Delta$ ,  $|z_{n+1} - z_n| = 0$ , або  $|x_{n+1} - x_n| = 0$ ,  $|y_{n+1} - y_n| = 0$ ,  $|z_{n+1} - z_n| = \Delta$ , то значення відрізка ; якщо два, тобто  $|x_{n+1} - x_n| = \Delta$ ,  $|y_{n+1} - y_n| = \Delta$ ,  $|z_{n+1} - z_n| = 0$ , або  $|x_{n+1} - x_n| = \Delta$ ,  $|y_{n+1} - y_n| = 0$ ,  $|z_{n+1} - z_n| = \Delta$ , або  $|x_{n+1} - x_n| = 0$ ,  $|y_{n+1} - y_n| = \Delta$ ,  $|z_{n+1} - z_n| = \Delta$ ,  $l_{\Delta i} = \Delta$ , тоді; якщо три, тобто  $|x_{n+1} - x_n| = \Delta$ ,  $|y_{n+1} - y_n| = \Delta$ ,  $l_{\Delta i} = \sqrt{2} \cdot \Delta$ ,  $|z_{n+1} - z_n| = \Delta$ , тоді . В результаті підсумовування складових відрізків визначається довжина кожного маршруту і вибирається найкоротший маршрут. Така послідовність дій є

частиною алгоритму визначення оптимальної системи збору гідроенергетичних ресурсів.  $l_{\Delta i} = \sqrt{3} \cdot \Delta l_{\Delta i}$

У загальному випадку алгоритмічні цикли перерахування забезпечують врахування всіх можливих ситуацій на об'єкті водовідведення. Крім визначення найкоротших маршрутів трубопроводів системи збору, з урахуванням обмежень, визначаються також місця розташування водовідливного обладнання, з кількістю точок збору від 1 до  $m$ , а також враховуються комбінаторні варіації комбінації вторинних джерел води. В результаті на виході алгоритму отримуємо параметри оптимального використання гідроенергетичні системи з визначальним критерієм:  $W_0 \rightarrow \max, C_c \leq C_{ee}$ .

Розглянемо докладніше процедуру, представлену у функціональних блоках запропонованого алгоритму.

У першому блоці ознайомлюються із загальною характеристикою гідроенергетичної споруди (цеху) – її геометричними розмірами ( $x_0$ ;  $y_0$ ;  $z_0$ ) і кількістю вторинних джерел води ( $n$ ).

Наступним кроком є визначення характеристик вторинних джерел води, які допустимі для використання гідроресурсів та вироблення електричної енергії. У цьому алгоритмі це реалізується в блоках 2-11 за допомогою петлі, в тілі якої аналізуються характеристики водотоку кожного джерела. Необхідність цього обумовлена технічними вимогами до монтажу мікро ГЕС: допустима різниця температур від  $-5^\circ\text{C}$  до  $+45^\circ\text{C}$ , розмір зважених частинок до 3 мм. Також має значення, На якій висоті знаходиться вторинне джерело води? Для реалізації проекту гідроутилізації необхідне його значення становить  $\geq 1,5$  м, що визначається габаритами мікро ГЕС і гідравлічним ухилом, необхідним системі транспортування гідроресурсу до точки збору. Таким чином, здійснюється визначення вторинних джерел води, придатних для гідроутилізації, і створення масиву їх характеристик. Отже, якщо відсутні джерела, які відповідають зазначеним вимогам, тобто якщо немає джерел, які відповідають вимогам, кількість джерел, які відповідають вимогам, недоступна.  $j = 0$ , установка системи гідроутилізації на такому об'єкті не допускається (блоки 12-13).

«Накладення координатної сітки» на об'єм цеху із заданим кроком  $\Delta$  та формуванням множини точок у просторі («вузлів координатної сітки»)  $Ma$ ; виконується блоками 14-16. Тут  $\overline{kk}$  - число вузлів в просторовій сітці, шт

$$k = (x_0/\Delta + 1) \cdot (y_0/\Delta + 1) \cdot (z_0/\Delta + 1).$$

У наступних блоках визначається кількість можливих центрів збору і за допомогою циклу формується масив відповідних координат ( $x_c, y_c, z_c$ ). Потім таким же чином формується масив координат заборонених вузлів простору ( $x_c; y_c; z_c$ ), тобто розташування, наприклад, заводського обладнання, яке є перешкодою для будівництва Від вторинних джерел води до центрів збору. Потім генерується набір комбінацій вторинних джерел потоку, званий композицією. У теорії чисел склад натурального числа - це його представлення у вигляді впорядкованої суми натуральних доданків. Терміни, що входять до складу, називаються частинами, а їх кількість - довжиною композиції. Кількість варіантів композиції з числа джерел:  $p = 2^{m-1}$ . Далі підбираються комбінації, довжина яких відповідає кількості центрів збору: . Наприклад, якщо кількість джерел 4 і 2 центри збору, то маємо: ,  $\overline{O_{ц}} = 1; pr = 2^{4-1} = 8$  тобто є 8 комбінацій об'єднання вторинних джерел води:

$$4 = 1 + 1 + 1 + 1;$$

$$4 = 1 + 2 + 1;$$

$$4 = 1 + 1 + 2;$$

$$4 = 1 + 3;$$

$$4 = 2 + 1 + 1;$$

$$4 = 2 + 2;$$

$$4 = 3 + 1;$$

$$4 = 4.$$

З цієї послідовності вибираються наступні, довжина яких становить від 1 до 2:

$$4 = 1 + 3;$$

$$4 = 2 + 2;$$

$$4 = 3 + 1;$$

$$4 = 4.$$

Однак у зв'язку з тим, що всередині кожної комбінації є ще кілька варіантів перерахування, їх загальна кількість збільшується. Ця особливість заснована на використанні методу деревобудування і враховується в поставленому завданні.

Далі відбувається безпосередній розрахунок всіх можливих комбінацій моделювання системи використання гідроенергетичних ресурсів і визначення оптимальної з них, тобто найбільш енергоефективної, за умови економічної доцільності. В алгоритмі це реалізується за допомогою вкладених циклів: зовнішній цикл - це перерахування виявлених комбінацій, в якому, в свою чергу, розрахунок здійснюється по черзі для кожного центру збору за допомогою внутрішнього вкладеного циклу перерахування всіх вторинні джерела води. Q: У тілі останнього побудовані всі можливі шляхи від джерела до центру збору. При цьому напрямок руху розглядається як по гранях умовних кубів простору, рівних  $\Delta$ , так і по діагоналях – малого ( $\Delta$ ) і великого ( $\Delta$ ). Далі неможливі маршрути «відфільтровуються» шляхом підстановки координат їх точок в сигнатурну функцію, запропоновану в [18] для аналітичного розпізнавання неприпустимих місць розташування елементів системи збору гідравлічних ресурсів. Якщо виявиться, що хоча б одна з точок маршруту відповідає Останне виключається з подальших розрахунків. Для решти маршрутів обчислюються відстані між сусідніми точками, довжини маршрутів визначаються шляхом підсумовування складових відрізків, і визначається найкоротший маршрут, як описано вище.  $\sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \cdot \varphi_{\mu}(\vec{x}_j) = 1$

Розрахунок діаметра трубопроводу для забезпечення необхідної пропускної здатності і підбір нормативного значення проводиться в блоці 6.

У міру того, як вода тече по трубопроводах, відбувається втрата напору по всій його довжині. Для визначення його величини обчислюється величина

витрати, що відповідає прийнятому стандартному діаметру трубопроводу. З урахуванням втрат виявляється напір біля кожного джерела вторинної води.

Також в тілі циклу відбувається підсумовування водоспоживання кожного з джерел, об'єднаних в один центр збору водних ресурсів. Відповідно до заданого напору і витратою для кожної точки збору підбирається прийнятна мікро-ГЕС. Потім визначаються капітальні витрати на реалізацію системи збору гідравлічних ресурсів, включаючи вартість трубопроводів і обладнання та вартість їх монтажу, а також щорічні амортизаційні відрахування. Їх величина визначається як сума добутків вартості обладнання і норми амортизації, яка становить 24% для мікро ГЕС і 8% для труб. Витрати на поточний ремонт і технічне обслуговування основних засобів визначаються у відсотках (10%) від суми амортизаційних відрахувань.

Потім розраховується можлива кількість електроенергії, виробленої за допомогою гідроенергії, а потім перевіряється її вартість, яка перевіряється на задоволеність обмеженнями розв'язуваної задачі: вартість виробленої електроенергії має бути меншою за її ринкове (з мережі) значення  $C \leq C$ . З масиву даних вибирається варіант з максимальною генерацією потужності, що відповідає заданим обмеженням.  $W_o \rightarrow \max$

Потім визначається складний термін окупності, який відповідає значенню загального грошового потоку  $CGPg = 0$ , де  $g$  - число року експлуатації обладнання. Величина  $РГП$  формується в кінці кожного року шляхом додавання до вкладених капітальних витрат річної економії, отриманої від вироблення власної електроенергії, з урахуванням ставки дисконтування. Згідно з [32], термін окупності енергетичного обладнання не повинен перевищувати 6,6 років.

Далі відображаються параметри оптимальної топології гідроенергетичної збірної системи: довжини  $l$  і діаметри  $d$  проєктованих трубопроводів, кількість  $n$  і координати  $(x_c, y_c, z_c)_n$  обраних центрів збору, тип мікро ГЕС, інвестиції в реалізацію проєкту  $C_o$ , річне виробництво  $W_o$  і вартість електроенергії  $C_o$ .

Таким чином, запропонований алгоритм дає можливість визначити оптимальну топологію гідроенергетичної системи промислового підприємства (цеху) з урахуванням вимог до розміщення генеруючого обладнання та особливостей розташування обладнання установки, виходячи з економічного критерію вибору.

### 2.3 Розробка імітаційної моделі

Імітаційна модель в загальній інтерпретації - це логіко-математичний опис об'єкта, який створюється з метою експерименту, аналізу та оцінки його функціонування на етапі проектування. Наведена модель дозволить визначити енергетичні характеристики водотоку в будь-якій точці простору підприємства (цеху) з урахуванням гідродинамічних особливостей рідини. Необхідність синтезу такої системи пов'язана з неможливістю проведення експериментів на реальному об'єкті в повному обсязі, а також досить значними витратами на їх проведення. Також розробка математичної моделі системи використання гідроенергетичних ресурсів необхідна для визначення енергетичних та техніко-економічних показників останніх з метою аналізу доцільності її реалізації.

Як визначено вище, складовою частиною моделі ССЕУ будуть стохастичні генератори скидання води з окремих джерел, математична послідовність, що враховує віддаленість останніх від звичайних центрів збору води ГЕС, а також фактори, що враховують специфіку конфігурації системи вторинного водозбору. Вихідні дані для розрахунку беруться виходячи з роботи цих генераторів, які виробляють корельовані значення витрати  $Q_{ki\gamma}$  технічної водизі стохастичним (випадковим) характером споживання. Фізично вся система буде складатися з з'єднувальних трубопроводів і обладнання, що використовує потенціал гідроенергетичного ресурсу, а саме турбіни і електрогенератора в складі



відповідної мікро-ГЕС, яка вибирається виходячи з розрахункової потужності водотоку, який буде розташовуватися в розглянутому пункті збору.

Крім того, існує ряд взаємопов'язаних факторів, що впливають на енергоефективність гідроенергетичної системи, які мають важливе значення для вищезгаданого моделювання. До них відносяться, перш за все: локальні і напірні втрати потоків кожного з джерел, характер руху рідини (ламінальний або турбулентний), швидкість течії води і так далі. Тому для більш точного прогнозу параметрів витрати води ці величини необхідно враховувати в моделі СГЕУ. Математична послідовність опису останніх представлена у вигляді алгоритму, структурна схема якого наведена на рисунку 2.1. У загальному випадку алгоритм забезпечує можливість прогнозування параметрів потоку в будь-якій точці простору системи вторинного водозбору, для чого передбачено три цикли перебору: за джерелами, центрами збору та за часом прогнозування.

Блок 1 містить кількість, параметри та координати елементів гідроенергетичної споруди (цеху): вторинних джерел води; центри збору водних ресурсів; та перелік обладнання, яке буде використовуватися як система збору. У наступному обчислювальному блоці 2 формується проточна послідовність кожного з джерел і з цього масиву вибираються максимальні значення для розрахунку елементів системи збору ГЕС.

Попередній розрахунок їх діаметра, що забезпечує необхідну пропускну здатність, проводиться в блоці 6 за виразом, м

$$d_{кр} = 2 \cdot \sqrt{\frac{Q_{к\max}}{\pi \cdot v_{к}}}, \quad (2.1)$$

де  $Q_{к\max}$  - значення максимальної витрати для даного джерела;  $v_{к}$  - швидкість руху рідини в трубопроводі (для руху без тиску експериментально визначена швидкість водотоку [15,16]), для руху під тиском  $v_{к} = (0,1 \dots 0,3) \text{ м/с}$  під тиском  $v_{к} = (1,1 \dots 1,3) \text{ м/с}$ .

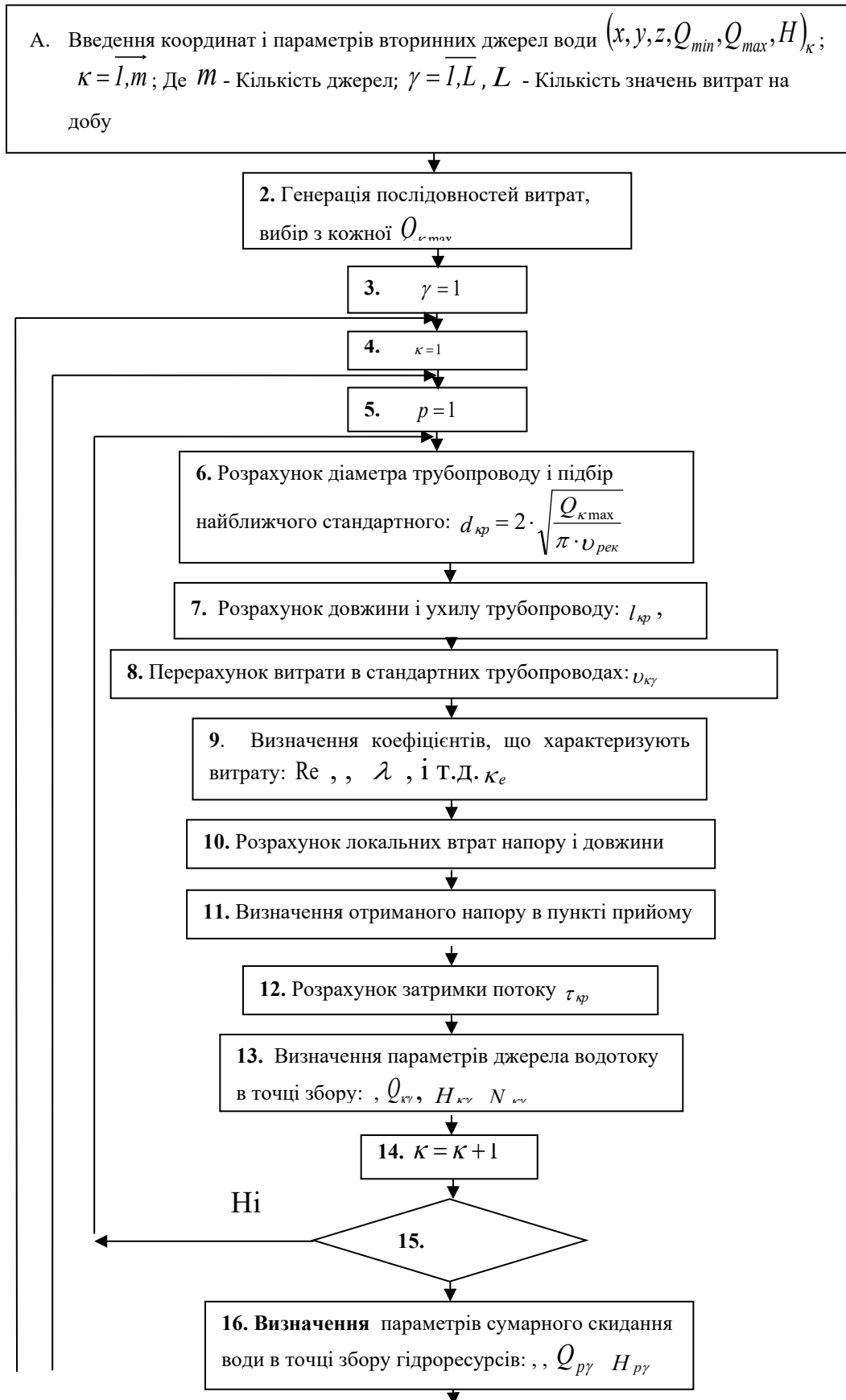


Рисунок 2.1 – Математична модель системи збору вторинних гідроенергетичних ресурсів промислового підприємства

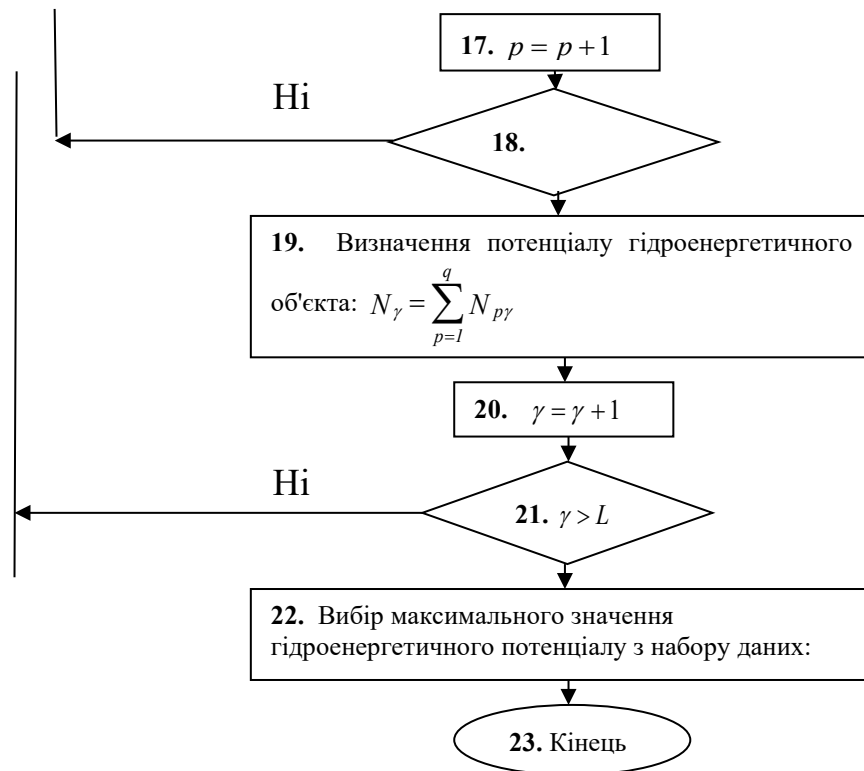


Рисунок 2.1 – Математична модель системи збору вторинних гідроенергетичних ресурсів промислового підприємства

Виходячи з передбачуваного діаметра,  $d_{kp}$  зі стандартної номенклатури вибирається найближчий, але більшого діаметра трубопровід.

У наступному блоці  $l_{kp}$  розраховується відстань між джерелами і центрами збору за заданими ними координатами, м

$$l_{kp} = \sqrt{(x_k - x_p)^2 + (y_k - y_p)^2 + (z_k - z_p)^2}, \quad (2.2)$$

де  $x_k, y_k, z_k, x_p, y_p, z_p$  і - координати джерел і центрів збору відповідно.

Ухили дренажної мережі слід розраховувати за формулами Дарсі або Чезі. Мінімальний ухил трубопроводів - за формулою [35], м

$$i_{\min} = \frac{\lambda}{4 \cdot R} \cdot \frac{v_{\min}^2}{2 \cdot g}, \quad (2.3)$$

де  $\lambda$  - коефіцієнт гідравлічного тертя [17,18], -  $R$  радіус трубопроводу, - мінімальна  $v_{\min}$  швидкість при ненапірному характері руху рідини, м/с.

Для наближених розрахунків на практиці можна скористатися формулою, запропонованою С. В. Яковлєвим [28], м

$$i_{\min} = 1/d_{кр}. \quad (2.4)$$

Блоки 8 і 9 визначають характеристики витрати рідини в трубопроводі, швидкість руху води з урахуванням останньої, м/с

$$v_{кр} = \sqrt{\frac{8 \cdot g}{\lambda}} \cdot \sqrt{R \cdot i}, \quad (2.5)$$

де  $\sqrt{\frac{8 \cdot g}{\lambda}} = C$  - коефіцієнт Чезі (визначається за формулою Павловського [25]), т. Е.

при  $0,1 < R < 3\text{м}$

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^y, \quad (2.6)$$

де  $y = 2,5 \cdot \sqrt{n} - 0,13 - 0,75 \cdot R(\sqrt{n} - 0,1)$ , а -  $n = 0,013$  коефіцієнт шорсткості).

Звідси  $R = \omega/\chi$  гідравлічний радіус,  $\omega$  площа поперечного перерізу потоку,  $\chi$  змочений периметр, гідравлічний  $i$  ухил.

Площа поперечного перерізу потоку визначається як, м<sup>2</sup>

$$\omega = \frac{\pi \cdot d_{kp}^2}{4} \cdot \frac{\varphi}{2 \cdot \pi} + \frac{1}{2} \cdot \left( h - \frac{d_{kp}}{2} \right) \cdot 2 \cdot \sqrt{\left( \frac{d_{kp}}{2} \right)^2 - \left( h - \frac{d_{kp}}{2} \right)^2}, \quad (2.7)$$

де  $\varphi$  - кут між поздовжньою віссю трубопроводу і точкою зіткнення вільної поверхні води,  $h$  - глибина заповнення трубопроводу.

Змочений периметр знаходять виразом, м

$$\chi = \frac{\pi \cdot d_{kp} \cdot \varphi}{2 \cdot \pi}. \quad (2.8)$$

Для визначення останнього спочатку необхідно обчислити кут,  $\varphi$  радіани

$$\varphi = \pi + 2 \cdot \alpha, \quad (2.9)$$

де  $\alpha$  - кут між перпендикуляром, опущеним від поздовжньої осі трубопроводу до його внутрішньої стінки, і точкою зіткнення вільної поверхні води.

Останнє визначається з співвідношення

$$\sin \alpha = \frac{h - d_{kp}/2}{d_{kp}/2}. \quad (2.10)$$

Складність розрахунку витрати полягає в невизначеності глибини залягання останньої в трубопроводі при русі рідини без тиску. Метод визначення рівня наповнення водою [56] реалізований за допомогою проточного модуля. Так як в літературі знайти такий рівень можна за відомим відношенням модуля витрати до  $\frac{h}{d_{kp}}$   $K$  дійсного миттєвого  $Q_{ky}$  Якщо наведені тільки допоміжні графіки (див. Рисунок 2.2), то для машинного обчислення вищевказаної величини спочатку необхідно отримати функцію, що описує цю залежність.

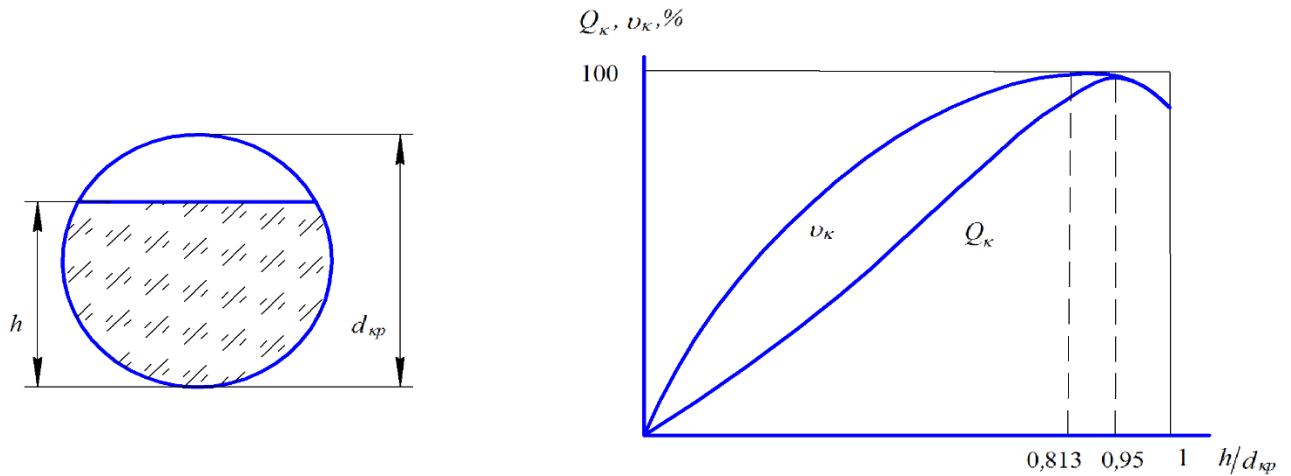


Рисунок 2.2 – Графіки витрати та витрати як функція заповнення трубопроводу

Гідравлічний радіус круглого трубопроводу при його повному заповненні дорівнює , він  $0,25 \cdot d_{кр}$  досягає максимального значення на висоті шару води в трубі,  $h = 0,813 \cdot d_{кр}$  а максимальна витрата при  $h = 0,95 \cdot d_{кр}$ .

Для математичного опису заданих залежностей використано інтерполяційний многочлен Лагранжа, який дозволяє побудувати функцію на основі існуючих точок, які представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Дані для визначення функції методом інтерполяції полінома Лагранжа

$h/d_{кр}$	%
0	0
0,1	23
0,2	3
0,4	43
0,6	55
0,8	67
1	81,3

Лагранж запропонував наступний спосіб обчислення рівняння, m

$$L(x) = \sum_{\gamma=0}^n y_{\gamma} l_{\gamma}(x), \quad (2.11)$$

де базисний многочлен визначається як

$$l_{\gamma}(x) = \prod_{i=0, \gamma \neq i}^n \frac{x - x_i}{x_{\gamma} - x_i} = \frac{x - x_0}{x_{\gamma} - x_0} \dots \frac{x - x_{\gamma-1}}{x_{\gamma} - x_{\gamma-1}} \cdot \frac{x - x_{\gamma+1}}{x_{\gamma} - x_{\gamma+1}} \dots \frac{x - x_n}{x_{\gamma} - x_n}. \quad (2.12)$$

За результатами проведених обчислень був побудований графік, ідентичний наведеному в літературному джерелі, який вказує на придатність визначеної таким чином функції для наведених вище обчислень.

Блок 10 призначений для розрахунку як місцевих, так і поздовжніх втрат напору, які безпосередньо залежать від характеру руху води в трубопроводі: Характеристикою режиму вторинної витрати води є величина безрозмірного критерію Рейнольдса, який показує залежність між в'язкістю та інерційними силами при  $Re = \nu \cdot d / \nu$   $Re < Re_{кр}$  русі рідини: , at - ламінарний рух,  $Re > Re_{кр}$  турбулентний. При розрахунках для циліндричних труб враховується  $Re_{кр} = 2320$  наступне , при безнапірному русі -  $Re_{кр} = 580$  [35].

Гідравлічний розрахунок дренажних мереж заснований на тому, що рух стічних вод в мережі рівномірний і постійний. Сумарні втрати напору в трубопроводі складаються з місцевих і лінійних втрат, m

$$H_{втр} = H_l + \sum h_m. \quad (2.13)$$

Втрати напору по довжині трубопроводу визначаються за формулами, m

$$H_{lкр} = \lambda \cdot \frac{l_{кр}}{d_{кр}} \cdot \frac{v_k^2}{2 \cdot g}, \quad (2.14)$$

$$H_{l_{kp}} = \frac{v_k^2}{C^2 \cdot R} \cdot l_{kp}, \quad (2.15)$$

де  $l_{kp}$  - довжина трубопроводу від джерела  $K$  до центру збору  $p$ , М;  $\lambda$  - Коефіцієнт гідравлічного тертя, який враховує вплив всіх факторів на втрати напору по довжині, які визначаються в'язкістю рідини і станом стінок трубопроводу

$$\lambda = f(\text{Re}; \kappa_e/d), \quad (2.16)$$

де  $\kappa_e$  - еквівалентна рівномірно зерниста абсолютна шорсткість.

За формулою А.Д. Альштуля [28]

$$\lambda = 0,11 \cdot (\kappa_e/d + 68/\text{Re})^2. \quad (2.17)$$

При гідравлічному розрахунку як напірних, так і самопливних мереж необхідно враховувати місцеві втрати напору, які визначаються за формулою Вейсбаха [28], м

$$h_m = \zeta \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}, \quad (2.18)$$

де  $\zeta$  - локальний коефіцієнт лобового опору, який залежить від значення числа Рейнольдса.

Сума локальних втрат напору включає втрати напору в колінах, вигинах, клапанах і т.д. Індивідуальні локальні втрати опору обчислюються за формулою Вейсбаха. Для циліндричних труб і колінних фітингів опір розраховується за формулою [26], м



$$h_{нов} = \frac{\Theta}{90^0} \cdot \zeta_{нов} \cdot \frac{v_k^2}{2 \cdot g}, \quad (2.19)$$

де  $\Theta$  - кут повороту в градусах,  $\zeta_{нов}$  - коефіцієнт лобового опору при обертанні, рівний ліктю з кутом 0,07.

У блоці 11 розраховується результуючий напір в центрі збору  $H_{к\gamma}$  з урахуванням вищевказаних втрат.

Для того щоб визначити параметри загальної витрати витрати, необхідно також враховувати затримку  $\tau_{кр}$ , тобто час, необхідний для того, щоб вода надходила з окремого джерела в центр збору і, відповідно, ці скиди води будуть зміщені на певний час відносно один одного. Відповідні математичні операції виконуються в блоці 12 за методикою, описаною в попередньому розділі. Блок 13 визначає кінцеві параметри потоку одного джерела в заданому центрі збору:  $Q_{к\gamma}$ ,  $H_{к\gamma}$ ,  $N_{к\gamma}$  Де  $N_{к\gamma} = g \cdot \rho \cdot Q_{к\gamma} \cdot H_{к\gamma}$  - пропускна здатність водного потоку вторинного джерела води з урахуванням втрат енергії в елементах системи збору [29]. Тут  $\rho$  - Щільність рідини  $H_k$  - Голова  $K$  (b) у межах, дозволених положеннями цієї Угоди М.

Останній є гідродинамічним напором і являє собою рівняння Бернуллі, представлене в енергетичному сенсі [25], м

$$H_k = z + \frac{p}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha \cdot v^2}{2 \cdot g}, \quad (2.20)$$

де компоненти відповідають: перший - геометрична позначка висоти, з якої скидається вторинна вода (характеризує потенційну енергію положення одиниці маси рідини); другий - п'єзометрична висота або напір через надлишковий тиск; Третя - напір швидкості, яка характеризує кінетичну енергію одиниці ваги  $\alpha$  рідини. Наведемо коефіцієнт нерівномірного розподілу швидкостей уздовж перетину потоків (коефіцієнт Коріоліса). У цьому випадку  $\alpha = 1,05 \dots 1,1$ .

Визначення параметрів сумарного скидання води для  $p$  Центр збору гідроресурсів знаходиться в Блоці 16:  $Q_{p\gamma}$ ,  $H_{p\gamma}$ ,  $N_{p\gamma}$ , а сумарна потужність водотоку (блок 19), максимальне значення якого визначає потенціал використання гідроенергії розглянутого об'єкта (блок 22), обчислюється виразом, кВт

$$N_{\gamma} = \sum_{p=1}^q N_{p\gamma}. \quad (2.21)$$

Запропонована математична модель системи утилізації гідроенергетичних ресурсів промислових підприємств дозволить оцінити економічну та енергетичну привабливість реалізації реальних проектів використання гідроенергетики, а також ляже в основу методики синтезу більш енергоефективної системи з оптимізованими параметрами.

#### 2.4 Особливості програмування алгоритму

Запропонований алгоритм синтезу систем утилізації вторинного гідроенергетичного ресурсу підприємства реалізовано на персональному комп'ютері з використанням мови програмування C++. Сучасні, інтегровані засоби розробки додатків Windows дозволяють автоматизувати процес створення Windows-додатків. Для цього використовуються генератори для створення сумісної програми, яка надає вихідний код. Використовуючи його як шаблон, ви зможете швидко розробити свій додаток. Заповнивши кілька діалогових панелей, можна вказати характеристики і отримати їх тексти, які забезпечені лаконічними коментарями. Окремо розробляється прикладна

частина програми. Вихідний текст розробленого діалогового вікна стає основою для комунікації з користувачем.

Формування «координатної сітки» цехового простору відбувається відразу після введення геометричних розмірів цеху ( $x_0, y_0, z_0$ ) - довжини, ширини і висоти відповідно і кроку між двома сусідніми вузлами сітки. Щоб описати розташування вторинного джерела води в просторі і його параметри, потрібно ввести координати і витрата у відповідні осередки і натиснути кнопку «Ввести джерело». Таким чином можна визначити характеристики всіх існуючих джерел вторинних потоків, в результаті чого виходить масив даних, які можна переглянути, натиснувши кнопку «Показати існуючі». Аналогічно описується розташування необхідної кількості можливих точок збору і «заборонених зон». Характерною особливістю задачі в просторі останнього є представлення у вигляді паралелепіпеда з введенням координат лівого нижнього і протилежного правого верхнього кутів.

Зображення діалогового вікна розділене на дві частини: ліва - та, в яку користувач вводить вихідні дані для розрахунку, а права одночасно виводить на екран «контрольну інформацію», тобто всі дії, що виконуються програмою. У свою чергу, ліва частина розділена на кілька тематичних зон: тривимірний опис простору цеху, параметри вторинних джерел води, розташування «заборонених зон» і можливих точок збору, а також введення діючого тарифу на електроенергію.

Для виконання розрахунку необхідно також заповнити в меню «Редакція» каталог труб за існуючими типорозмірами і відповідну кожному з них кошторисну вартість обладнання і перелік видів мікро ГЕС певної вартості, що відповідає проектному напору і витраті.

Графічний інтерфейс розробленої програми з використанням мови програмування C++ на основі запропонованого алгоритму наведено на рисунку 2.3.

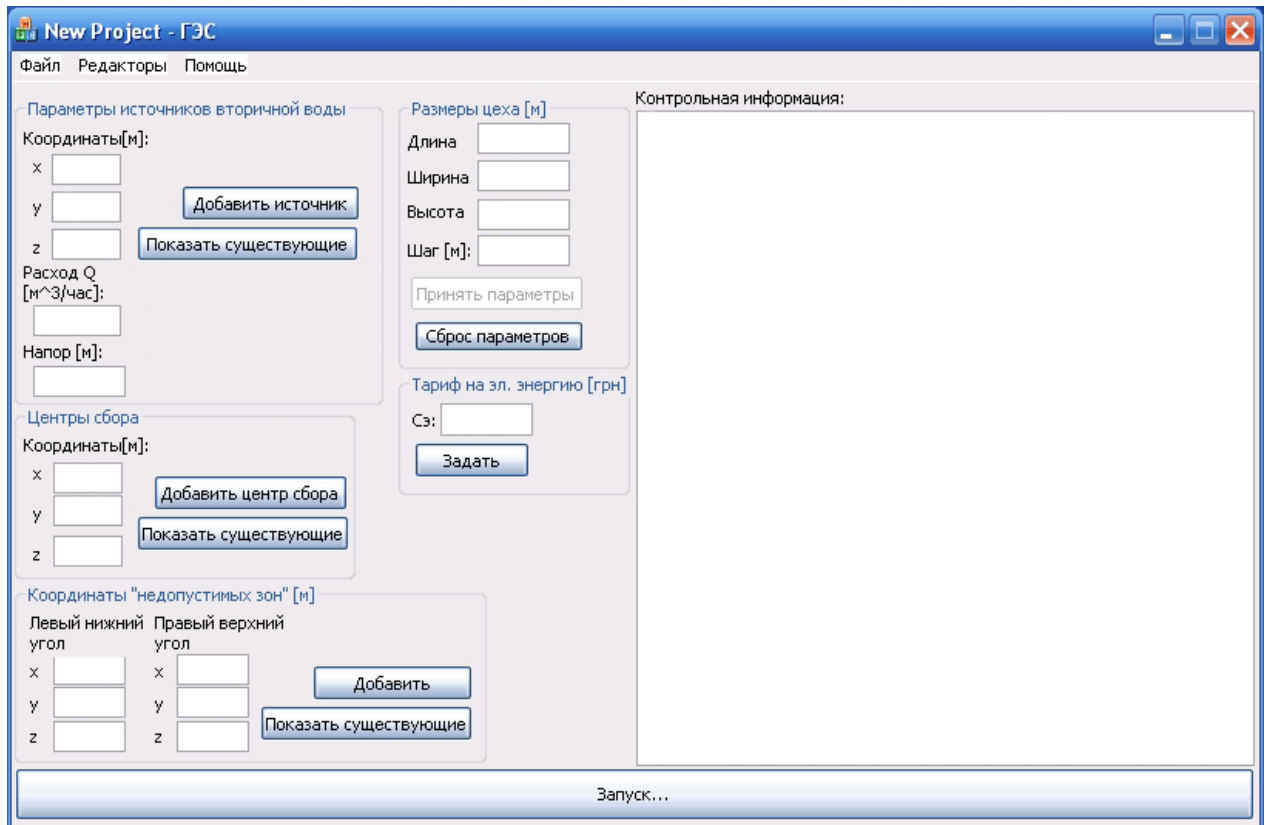


Рисунок 2.3 – Графічний інтерфейс програми

За умови введення всіх перерахованих вище даних, при натисканні кнопки «Пуск» розрахунок системи утилізації гідроенергії буде відбуватися відповідно до запропонованого алгоритму. В іншому випадку в правій частині діалогового вікна з'явиться повідомлення про те, що потрібно ввести певну інформацію.

В результаті розрахунків, проведених цією програмою, визначається оптимальна топологія системи гідроенергетики цеху, довжини і діаметри проєктованих трубопроводів, координати обраних центрів збору і типи мікро ГЕС, що відповідають параметрам отриманого водотоку, визначаються необхідні вкладення.

## 3 ЗАСТОСУВАННЯ АЛГОРИТМУ НА ПРИКЛАДІ ДОМЕННОГО ЦЕХУ ПРАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ»

### 3.1 Загальна характеристика ПРАТ «Запоріжсталь»

У статті розглянуто підприємство ПрАТ «Запоріжсталь», яке є одним з найбільших промислових підприємств України і продукція якого добре відома і затребувана серед споживачів на вітчизняному ринку і в багатьох країнах світу.

Виробництво:

- чавун і чавун у щурів масою тіла (15...18) кг;
- плити з вуглецевих, низьколегованих, легованих і нержавіючих сталей;
- гарячекатаний і холоднокатаний лист у листах товщиною (0,5...9,0) мм і рулонах товщиною (0,5...9,0) мм з вуглецевої, низьколегованої, легованої та нержавіючої сталі, шліфований і полірований лист нержавіючої сталі;
- холодногнуті профілі;
- жерсть гаряче луджена;
- чорна жерсть;
- сталева смуга;
- прес-форми та піддони;
- гранульований шлак і щебінь;
- Широкий асортимент (більше 170 найменувань) виробів з металу, дерева та бетону, а також інших видів металопродукції.

Найбільшим попитом у зарубіжних і вітчизняних споживачів користується гарячекатаний плоский прокат в рулонах з вуглецевих і низьколегованих сталей товщиною (2,0...9,0) мм, а також холоднокатаний плоский прокат з вуглецевих, легованих і нержавіючих сталей товщиною (0,5...2,0) мм.

За обсягами виробництва ПАТ «Запоріжсталь» входить в четвірку найбільших в Україні. Щорічно компанія виробляє понад 2,5 мільйона тонн чавуну, 3,2 мільйона тонн сталі та 2,7 мільйона тонн прокату.

Основними споживачами продукції є:

- виробники зварних труб;
- підприємства автомобільного, сільськогосподарського, транспортного машинобудування;
- виробників побутової техніки.

Металургійний комбінат «Запоріжсталь» складається з 8 основних і 56 допоміжних цехів.

Форма власності: з 1997 року – відкрите акціонерне товариство.

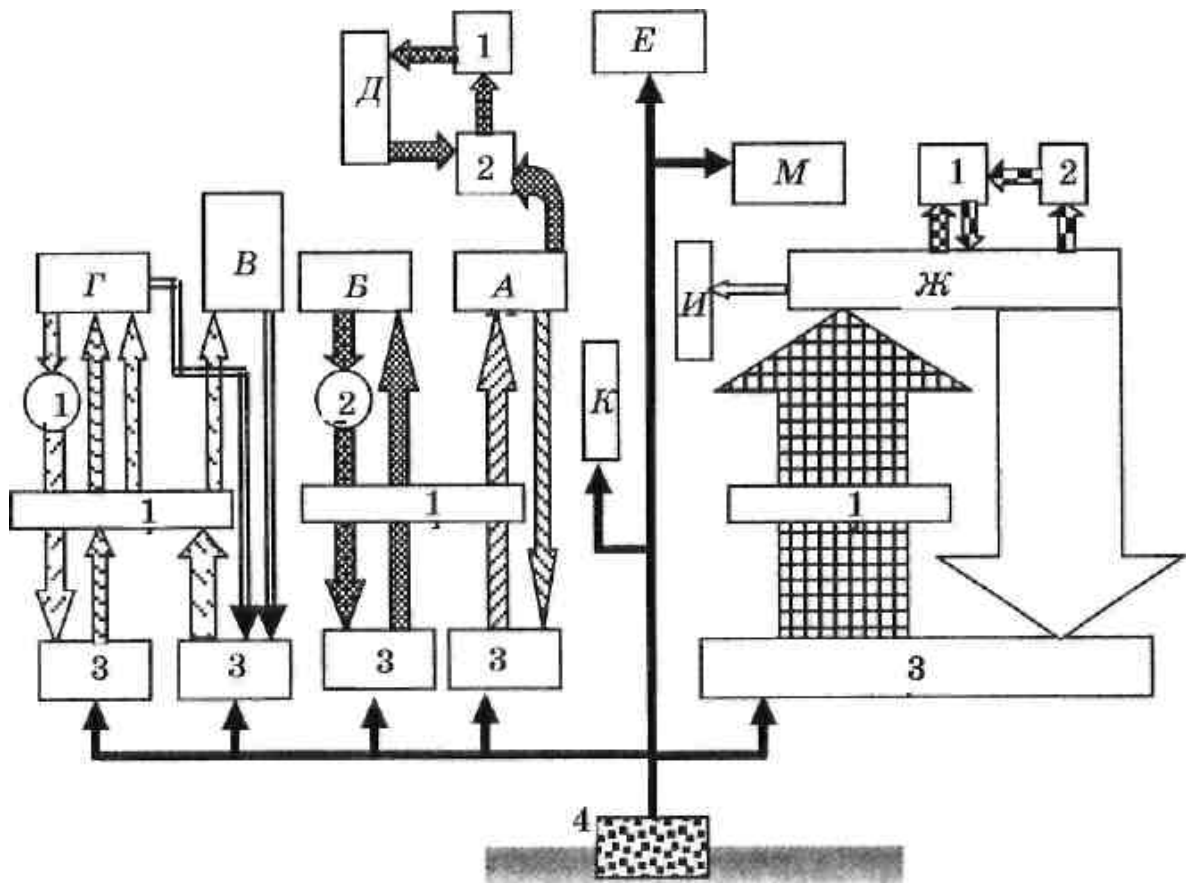
Кількість працівників: понад 20 тис.

Металургійний комбінат «Запоріжсталь» створив систему менеджменту якості, що відповідає вимогам міжнародних стандартів ISO 9000; розроблено програму технічного переоснащення до 2030 року; Передбачаються заходи, спрямовані на підвищення якості та конкурентоспроможності продукції, відновлення основних фондів, впровадження новітніх технологій, розширення асортименту, захист навколишнього середовища та економію матеріально-сировинних та енергетичних ресурсів.

У 2019-2020 роках в рамках реалізації заходів, спрямованих на економію та раціональне використання водних ресурсів, комбінат домогся скорочення скидання оборотних вод у річку Дніпро на 7,955 млн куб. м<sup>3</sup>; зменшення скидання забруднюючих речовин на 8388 тонн на рік. На підприємстві впроваджена програма ефективного використання оборотної води в технологічних процесах і зменшення скидання у водний об'єкт. Для цього побудовано і ефективно використовується одинадцять циклів замкнутої циркуляції.

Таким чином, керівництво ПАТ «Запоріжсталь» підтримує впровадження енерго- і ресурсозберігаючих заходів на підприємстві.

Схема оборотного водопостачання агрегату наведена на рисунку 3.1.



А – доменний цех; Б – газоочистка; Б – сталеплавильний цех; Д – прокатний цех; Д – фасувальні машини; Е – коксохімічний цех; F – ТЕЦ і парова повітродувка; М – вогнетривкий цех; І – хімічна водопідготовка; К – інші цехи: 1 – насосні станції; 2 – відстійник; 3 – бризкальні басейни; 4 – насосна станція першого елеватора

Рисунок 3.1 – Схема оборотного водопостачання ПАТ «Запоріжсталь»

Основні цехи отримують воду безперервно, тобто відбувається обов'язкове дублювання мережевих ліній з подачею повного розрахункового витрати води для кожного. До 75% води використовується для охолодження конструктивних компонентів доменних, сталеплавильних, нагрівальних печей, конденсації пари тощо. Вода для охолодження обладнання та продуктів, транспортування механічних домішок нагрівається і забруднюється, її кількість досягає 22%.

Основними характеристиками систем технічного водопостачання є температура води, що транспортується для охолодження і поліпшення якості

продуктів скидання, її хімічний склад, напір і витрата. Останні два з них визначають потенціал вторинного гідроенергетичного ресурсу підприємства, який залишається незатребуваним практично у всіх галузях промисловості через відсутність кількісної оцінки та економічного обґрунтування доцільності його використання.

Так, згідно з паспортом системи оборотного водопостачання, допустимі параметри технічної води, що використовується на підприємстві ПАТ «Запоріжсталь», такі: жорсткість – 5 мг/л, зважені частинки – 100 мг/л, температура води (30...45) °С (вище 600 °С не допускається). Такий досить жорсткий температурний режим призводить до того, що сумарне споживання технічної води заводом становить 81610,44 м<sup>3</sup> на годину, що є значною сумою. При цьому (18...25) % на балансі комбінату становить водоспоживання доменного цеху.

### 3.2 Водокористання доменного цеху

Доменний цех складається з 5 доменних печей, 20 кауперів, 4 чавуноливарних цехів, рудного двору з вагонами-самоскидами, шлакових відвалів.

Всі печі працюють при тиску нижче верхнього (0,8...12) атм, температури дуття (1100...1200) °С. Дуття збагачується киснем до (22...23)%.

Доменні печі No 1 і 2, введені в експлуатацію в 1933 і 1934 роках відповідно, мали корисний об'єм 930 м<sup>3</sup> кожна, а в 1959 році доменна піч No 2 була доведена до корисного об'єму 1513 м<sup>3</sup>. У зв'язку з низькою продуктивністю доменної печі No1 через моральний знос і моральний знос, в 2006 році було прийнято рішення про її закриття і демонтаж.

Доменна піч No 3, введена в експлуатацію в 1938 році, мала корисний об'єм 1300 м<sup>3</sup>, в 1971 році корисний об'єм був збільшений до 1513 м<sup>3</sup>.



Доменна піч No 4 1940-1948 років мала корисний об'єм 1239 м<sup>3</sup>. У 1961 році корисний об'єм був збільшений до 1513 м<sup>3</sup>.

Доменна піч No 5 була введена в експлуатацію в 1952 році з корисним об'ємом 1386 м<sup>3</sup>. В результаті капітального ремонту рівень чавунної льотки був знижений, в зв'язку з чим корисний об'єм був збільшений до 1410 м<sup>3</sup>. У 1967 році корисний об'єм був збільшений до 1513 м<sup>3</sup>.

Розташування доменних печей після демонтажу ДП-1 наразі на острові. Фонд їх ресурсу і продуктивності представлений в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Ресурсний фонд і потужність доменних печей

Доменні печі	Чавун, т/рік	Тривалість робочого часу фонду,	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

Подача води в доменні печі здійснюється за зворотною схемою. Це дає можливість повертати в систему охолодження до 90-95% використаної для цього води.

В якості охолоджувача оборотної води використовується розпилювальний басейн, що складається з п'яти секцій. Охолодження нагрітої води здійснюється за допомогою танцювальних струменів. Діаметр вхідного отвору патрубку – 50 мм, вихідного – 25 мм.

Нагріта вода від охолоджених елементів доменних печей самопливом надходить до колекторів 2 діаметром 700 мм і по трубопроводах 6 транспортується до розпилювального басейну і циркуляційним насосам для подачі води на зрошувачі.

Розміри секцій спринклерного басейну:

«D» - 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 водопроводах (3 трубопроводу діаметром 1000 мм і один діаметром 700 мм) в 2 колектора з перемичками (діаметром 800 мм і 700 мм) з подачею води з них по двох трубопроводах до охолоджуваних елементів доменної печі (для надійності з різних колекторів).

Циркуляція води подається на подові охолоджувачі, топку, фурмну зону, палі всіх доменних печей, а також шахти ДП-3,5 і затвори печей ДП-5.

Охолоджувачі шахти ДП-2,4 і затвори печей ДП-2,3,4 працюють на випарному охолодженні. Система випарного охолодження працює від опрісненої води, отриманої шляхом хімічної обробки води ТЕЦ.

Пар з ДП-2 подається в паропровід низького тиску ТЕЦ, а з ДП-3,4 викидається в атмосферу.

Теплове навантаження для кожного охолоджуваного елемента визначали експериментально.

Розрахунок витрати води на технологічні потреби.

А. Розрахунок води на циркуляцію насосів скіпової ями  $d = 50$  мм;  $F_c = 0,002$  м<sup>2</sup>;  $V_{oml} = 0,96$  м/с;  $n = 1$ , м<sup>3</sup>/год

$$W = 0,002 \cdot 0,96 \cdot 1 \cdot 3600 = 6,79.$$

2. Розрахунок води гідрозатвору обертового розподільника шихти  $d = 65$  мм;  $F_c = 0,0033$  м<sup>2</sup>;  $V_{oml} = 1,02$  м/с;  $n = 1$ , м<sup>3</sup>/год

$$W = 0,0033 \cdot 1,02 \cdot 1 \cdot 3600 = 12,18.$$

3. Розрахунок витрати води на пожежогасіння зливальних коробів СВО.

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

Розрахунок безповоротних втрат у технологічному процесі.

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

$$W_1 = P_1 \cdot W_{\text{охол}} = 0,02 \cdot 58019698 = 1160394,0.$$

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

$$W_2 = P_2 \cdot W_{\text{охол}} = 0,01 \cdot 58019698 = 580197,0.$$

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

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

4. Втрати води в сухих пиловловлювачах на зволоження пилю (становлять 100,0 %),  $\text{м}^3/\text{рік}$

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

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

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

Продувка оборотного циклу доменного циклу становить 10 %,  $\text{м}^3/\text{рік}$

$$W_{\text{СВ}} = 58019698 \cdot 0,1 = 5801970,0.$$

Нормативно-чисті стоки скидаються через Північний випуск у р. Дніпро.

Розливні машини чавуну.

До складу відділення входять:

- розливні машини;
- установка приготування вапняного розчину;
- оборотний цикл водопостачання;
- склад холодного чавуну.

Схема водопостачання і водовідведення чавунних машин показана на рисунку 3.2.

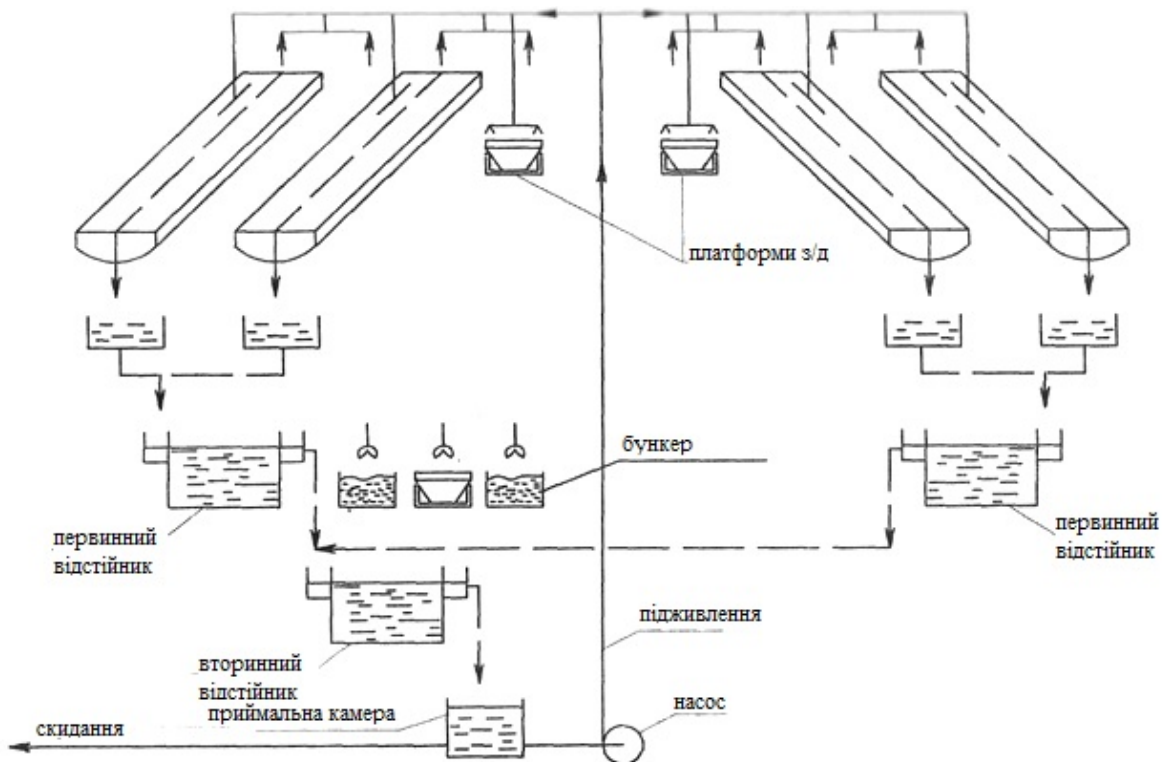


Рисунок 3.2 – Принципова схема водопостачання та водовідведення чавунних ливарних машин

Розливання чавуну і чавуну здійснюється в жолобах 4-х двострічкових ливарних машин. Продуктивність фасувальних машин No 1, 2 - по 50 т/год, No 3,4 - 62,5 т/год кожна. Швидкість руху стрічок фасувальних машин 9 м/хв. Маса пачки чавуну до (15...18) кг.

Приготування вапняного розчину.

Щоб жолоби не загорялися і до них приварювали чавун, поверхню жолобів обприскують вапняним розчином.

Вапняний розчин виробляється на заводі і подається по трубах на зрошувачі чавуноливарних машин, а відразу після закінчення вивантаження чавуну робочі поверхні жолобів покриваються захисним шаром товщиною (1...1,5) мм.

Реверсивний цикл подачі води.

Стічні води чавунних ливарних машин, забруднені окалиною, вапном, самопливом, подаються для освітлення в горизонтальні відстійники. З відстійників вода надходить на насосну станцію і далі по напірних трубопроводах до розливних машин.

Осад, що випав з відстійників, видаляється для використання на аглофабриці.

Ефективність очищення становить 72,4%.

Оборотна вода використовується для технологічних потреб:

- охолодження жолобів верхньої та нижньої гілок конвеєра до 600 °С;
- охолодження чавунних мішків у хвостовій частині ременів;
- Остаточне охолодження щурів на залізничних платформах до (60...70) °С.

Витрата води відливальних машин характеризується нерівномірністю, що є наслідком нерівномірності виробництва чавуну.

На 1 тону чавуну використовується 3 кг вапна для обприскування з ефективністю СаО до 80%.

Обприскування жолобів проводять 12% розчином вапна.

Витрата води складе:  $3 \cdot 100/12 = 25$  л.

Погодинна витрата води складе

PM-1, 2  $25 \cdot 50 = 1,25$  м<sup>3</sup>/рік

На PM-3, 4  $25 \cdot 62,5 = 1,56$  м<sup>3</sup>/рік.

Розрахунок безповоротних втрат в технологічному процесі і розвантаженні фасувальних машин доменного цеху.

Вапняний розчин виготовляють для розпилення жолобів фасувальних машин. У процесі виробництва повністю випаровується, м<sup>3</sup>/рік

$$П1 = 6130 + 6130 + 5903 + 5899,9 = 24062,9.$$

Вода з 960 тоннами мулу вологістю 25% складе, м<sup>3</sup>/рік

$$П2 = 960 \cdot 0,25 = 240,0.$$

Втрати на випаровування при обприскуванні жолобів, щурів і дробеструйних робіт складають 1,5 %, м<sup>3</sup>/рік

$$П3 = 800175 - 0,015 = 12031,0.$$

Сумарні безповоротні збитки, м<sup>3</sup>/рік

$$WBB = 24062,9 + 240,0 + 12031,0 = 36333,9.$$

Продувка циркуляційного циклу ливарних машин доменного цеху становить 10%, м<sup>3</sup>/рік

$$WCL = 800175,0 \cdot 0,1 = 80017,5.$$

Доменний шлак, не призначений для виробництва гранульованого шлаку, транспортується на шлакові відвали і після охолодження використовується в будівельних цілях.

Раніше пересувні тупики для шлаковозів замінювалися стаціонарними з глибиною ухилу 10 мм. Видалення і видобуток шлаку здійснюється безперервно, тому охолодження шлаковідвалів відбувається безперервно. При відвантаженні шлаку з одного боку стаціонарного тупика, шлак видобувається і сортується з іншого боку.

Результати розрахунку зведені в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Витрата води на розливні машини

Ім'я споживача	PM-1,2		PM-3,4	
	Вода Вітра, м3/рік	Витрата води, м3/год	Вода Вітра, м3/рік	Витрата води, м3/год
Охолодження жолобів	1,50	75,00	1,50	93,75
Чавунне охолодження	1,40	70,00	1,40	87,50
На дроселі	1,50	75,00	1,30	81,25

У зв'язку з відсутністю методики розрахунку витрати води на охолодження шлаку, витрата води приймається відповідно до досягнутого рівня експлуатації - 2,978 м<sup>3</sup>/т.

Виробництво шлаку на відвалах: 1511000 т/рік · 2,978 м<sup>3</sup>/т = 4500000 м<sup>3</sup>/рік.

Безповоротні втрати складають 4 500 000 м<sup>3</sup>/рік.

Кондиціонер.

Доменний цех обладнаний кондиціонерами: КСА – 4 шт., КА1-25 – 3 шт., «Клімат» – 2 шт.; СТА – 2 шт. Охолодження здійснюється питною водою в обсязі, м<sup>3</sup>/рік

$$П16 = (6 \cdot 4 + 6 \cdot 3 + 4 \cdot 2 + 6 \cdot 2) \cdot 8760 = 543120 .$$

Доменні печі.

Охолоджуюча вода подається через два трубопроводи.

Існує дві схеми водяного охолодження (водопостачання) доменних печей: однозонна і двозонна. В однозонній конструкції вода подається до всіх охолоджуваних елементів єдиною групою насосів з однаковим збільшенням

напором. У двозонної схемі піч ділиться на дві зони – верхню і нижню. Вода подається в кожну зону за допомогою окремих груп насосів.

Нижня зона включає в себе рюкзак, ріжкові, фурмні та фурмні зони, за винятком фурм, які з'єднані з верхньою зоною.

Доменні печі ПАТ «Запоріжсталь» використовують однозонну схему охолодження, яка проста в експлуатації і більш економічна.

Характеристики потоків, що використовуються для охолодження доменних печей, наведені в таблиці 3.3.

Охолодження.

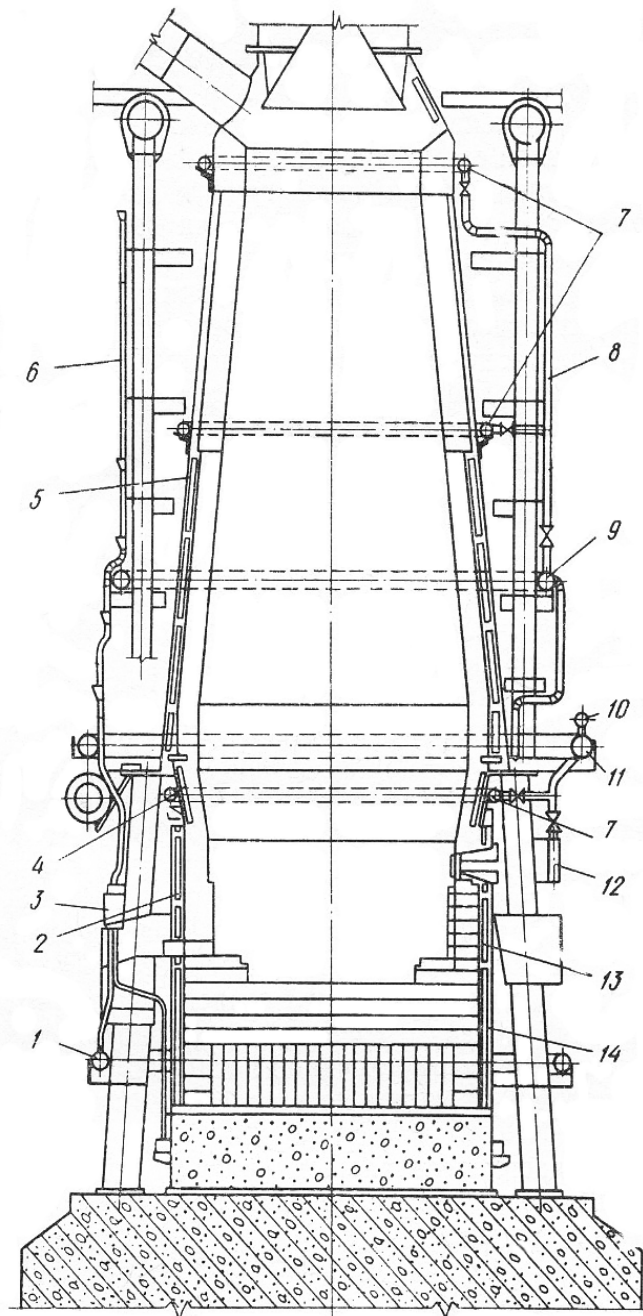
Поода охолоджується від чотирьох окремих контрольних точок, які розташовані на робочому майданчику, розташованому поруч з доменною піччю. Вода, пройшовши через холодильник або групу холодильників, зливається в приймальні ємності, розташовані на робочій площадці під колекторами. Вода в колектори подається з відкритого розподільного кільця. При цьому кількість резервуарів дорівнює числу колекторів.

Таблиця 3.3 – Характеристика охолоджуючих водотоків доменних печей

Доменні печі	Витрата, м3/рік	Тривалість робочого часу фонду	Напір, м
ДП-2	7440682,00	6122,60	10,78
ДП -3	20941893,00	8760,00	10,78
ДП -4	14295786,00	8705,00	10,78
ДП -5	15341338,00	15341338	10,78

На рисунку 3.3 показана схема водяного охолодження доменної печі.





1 – нагнітальний кільцевий трубопровід; 2 – рефрижератори фурмської зони; 3 – зливний бачок; 4 – рюкзачні холодильники; 5 – шахтні холодильники; 6 – нагнітальний трубопровід з шахти; 7 – розпилювальне кільце; 8 – стояк шахти; 9 – напірно-кільцевий трубопровід шахти; 10 – напірний колектор рюкзака; 11 – напірний кільцевий трубопровід днища печі; 12 – напірний колектор днища печі; 13 – духова шафа-холодильник; 14 – подові холодильники.

Рисунок 3.3 – Схема водяного охолодження доменної печі

Охолодження фурменої зони, фурматорно-шлакові пристрої.

З кільцевого розподільного трубопроводу, прокладеного по периметру доменної печі, вода подається в чотири колектора, встановлені на топкових колонах. Під колекторами розташовані приймальні ємності, куди відводиться вода, що пройшла через холодильні пристрої.

Охолодження рюкзаків.

При однозонному водопостачанні рюкзаки живляться від розподільного кільця, яке подає воду в зону фурми і фурматорні пристрої. Потім він подається в чотири колектори і звідти через трубки діаметром 32 мм виводиться в холодильники. Зливна вода з ранцевих охолоджувачів збирається в воронках і направляється в зливне кільце, розташоване по периметру доменної печі під робочою платформою.

Охолодження товстостінної пари і шахти.

Пар і шахта мають власне розподільне кільце, в яке врізані чотири стояка, що представляють собою колектори, що подають воду в холодильники і пристрої для відбору проб газу.

Паралельно напірному стояку встановлюються чотири зливних (підживлювальних) стояка, які збираються з декількох незалежних частин труб. Кожен з них має зверху забірні воронки.

Для зовнішнього охолодження кожуха по периметру печі прокладені три кільцеві перфоровані труби діаметром 80 мм. Для зручності ремонту та чищення відсіки зібрані на болтових фланцевих з'єднаннях.

Відведення води.

Вся вода з охолоджувачів надходить в приймальні ємності, звідки відводиться через стояки в зливне кільце діаметром 900 мм, прокладене по периметру доменної печі під робочою площадкою. Повітря видаляється з труби збірного кільця через повітряні труби діаметром 100 мм, концентрично встановлені всередині запірних стояків, і через спеціальні труби, врізані в місцях спуску.

Злив води з дренажного кільця здійснюється через дренажні канали діаметром 900 мм.

Як приклад розглядався доменний цех, що входить до складу металургійного підприємства ПАТ «Запоріжсталь», як об'єкт гідроенергетичного використання. На його території розташовані чотири доменні печі No 2 – 5, системи охолодження яких є в даному випадку джерелами вторинної води з витратою від 1100 до 2400 м<sup>3</sup>/ГОД в залежності від відсотка води і випарного охолодження. Відмітка, з якої йде дренаж, становить близько 10,8 м. Технічно, завдяки наявності на території цеху іншого технологічного обладнання, можна розмістити центри збору гідравлічних ресурсів в трьох точках. Вихідні дані для розрахунку зведені в таблицю 3.4.

В результаті обчислювальних операцій за алгоритмом були визначені характеристики всіх можливих варіантів топології ССЕУ для даного об'єкта.

Таблиця 3.4 – Характеристика вторинних джерел води

Джерело води	Габаритні розміри об'єкта (цеху), м	Координати вторинних джерел води, $(x, y, z)_k$ м	Граничні витрати, $Q_{kmin}$ , $Q_{kmax}$ , м <sup>3</sup> /Г	Напір, м	Координати центри збору, $(x, y)_p$ м
БФ-2	420×60×35	58; 18; 27	1100, 1400	10,8	91; 27; 10,8
БФ-3		142; 16; 27	1800, 2300		
ДП-4		238; 20; 27	1550, 2250		178; 28; 10,8
ДП-5		360; 23; 27	1550, 2250		297; 37; 10,8

Таблиця 3.5 - Техніко-економічні показники проектів використання гідроенергетики доменного цеху ПрАТ «Запоріжсталь»

Заробітна плата No	Виробництво електроенергії, млн кВт·год/рік	Вартість електроенергії, грн/кВт*год·
1	1,401	1,4
2	1,404	1,4
3	1,408	1,4
4	1,421	1,4
5	1,427	1,41
6	1,432	1,44
7	1,418	1,46
8	1,414	1,47
9	1,422	1,51
10	1,409	1,55
11	1,426	1,58
12	1,423	1,73

Виходячи з економічних та енергетичних показників для розглянутого гідроенергетичного об'єкта, визначається величина, що відображає економічну доцільність інвестування в проект. Останній, а саме вигода, розраховується за виразом  $B_i = W_i \cdot (C_m - C_i)$ : де  $W_i$  – кількість виробленої генераторами електричної енергії –  $i$  ГСЕУ, кВт·год/·рік;  $C_m$  – вартість електроенергії з мережі (для промислових підприємств станом на 1.11.2020 – 2,0932 грн/( $C_i$ ·кВт·год)). [39]) та його значення відповідно.

Визначено, що оптимальний ГСЕУ для розглянутого об'єкта технічно складається з вторинних джерел води 2 – 3 та 4 – 5, з'єднаних трубопроводами з точками збору 1 і 3 відповідно (див. рис. 3.4).

Основні параметри визначених параметрів елементів такого ВНЗ наведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Параметри обладнання ДСЕУ доменного цеху  
ПрАТ «Запоріжсталь»

Центр збору / Джерело		Діаметр трубопроводу $d, \text{ м}$	Довжина $l,$ м	Тип мікро ГЕС
№1	ДП - 2	0,63	34,2	100 Пр
	ДП - 3	0,82	76,3	
№3	ДП - 4	0,82	79,2	100 Пр
	ДП - 5	0,82	49,3	

Орієнтовний загальний обсяг інвестицій у проєкт становить 1,849 млн доларів США. згідно з поточною вартістю обладнання, монтажних та ремонтних робіт станом на 1.12.2023р. При цьому можлива генерація електроенергії становитиме 1,421 млн кВт·год. кВт·год на рік за ціною 1,40 грн/ ·кВт·год.

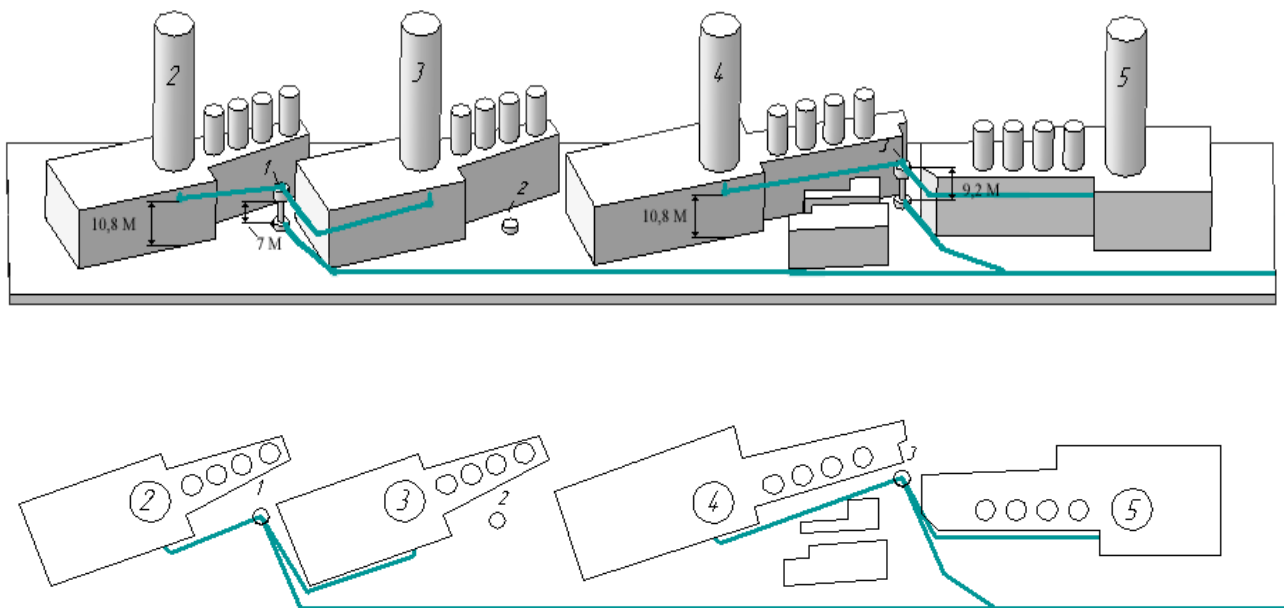


Рисунок 3.4 – Схема розташування обладнання доменного цеху із зображенням оптимальної системи використання гідроенергії

На основі вищезгаданих ОСГ розраховуються проєкти з різними засобами стабілізації параметрів вторинного водотоку. Як визначено в підрозділі 4.3, після

установки ємностей безпосередньо біля кожного з джерел з останнього в гідротурбіну буде подаватися середня витрата, що, в свою чергу, спричинить за собою зниження параметрів елементів ГПЕУ. Тому там, де це було необхідно, розраховували нові діаметри трубопроводів та їх загальну вартість на основі статистичних даних, потужності електрогенераторів, кількості виробленої ними енергії, а також її вартості.

Якщо використовувати систему з насосними накопичувальними осередками, то очевидно, що останні коштують набагато дорожче. Це пов'язано з додатковими витратами на насос, баком великої місткості, а також завищеними діаметрами сполучних ліній для забезпечення необхідної пропускну здатності. Однак у зв'язку зі збільшенням виробництва електроенергії її вартість може стати нижчою, а варіант зберігання води – економічно вигіднішим. Крім того, стрімке зростання цін на паливно-енергетичні ресурси та електроенергію зокрема, а також на енергетичне обладнання, що використовується для будівництва СГЕУ, може призвести до рівня рентабельності тих проектів, які наразі є недоцільними.

### 3.3. Методика визначення техніко-економічних показників системи гідроенергетики

Для того щоб оцінити ефективність роботи СГЕУ з оптимізованими параметрами, необхідно, перш за все, порівняти базовий варіант останньої з системою, в якій використовуються засоби стабілізації потоку і накопичення вторинної води. Визначення енергетичних та економічних характеристик базової СГЕУ проводилося за заданим алгоритмом. Очевидно, що остаточний висновок про доцільність впровадження таких систем слід робити на підставі основних показників ефективності останніх, таких як собівартість виробленої електроенергії, термін окупності та економія коштів в результаті реалізації проекту [26]. Параметри порівнюваних систем будуть істотно відрізнятися і

повинні визначатися окремо шляхом постановки і вирішення завдань оптимізації.

Визначати кінцеві параметри СГЕУ без урахування динаміки течії недоцільно, оскільки умовно постійна максимальна витрата вторинної води, при якій визначалися параметри магістрального, є короткочасною. Кількість електричної енергії  $W_p$ , виробленої мікро-ГЕС в реальному  $p$  потоці за певний проміжок часу  $T$  без установок стабілізації потоку, очевидно, буде визначатися як сума відповідних енергій  $W_{p\gamma}$  на інтервалах  $t_\gamma$ , тобто кВт·год

$$W_p = \sum_{\gamma=1}^L W_{p\gamma}. \quad (3.1)$$

Сумарне виробництво електроенергії для об'єкта утилізації ГЕС визначається виразом, кВт·год

$$W = \sum_{p=1}^q W_p, \quad (3.2)$$

де  $q$  кількість точок збору водних ресурсів.

При цьому капітальні вкладення в систему, а також поточні витрати на обслуговування і амортизацію обладнання будуть рівні таким для базової СГЕУ. При цьому обсяги виробництва електроенергії та економічні показники останньої в цьому випадку будуть найнижчими через недозавантаження електрогенераторів більшу частину часу та завищення діаметрів трубопроводів. Тоді, виходячи з вищевикладеного, вартість електроенергії становить [17-20], грн/(кВт·год)

$$C_{EE} = \frac{K_{ncк}}{W}. \quad (3.3)$$

Розрахунок ефективності інвестицій у впровадження СГЕУ та строку його окупності здійснюється наступним чином

Економія за рахунок виробництва власної електроенергії, тобто щорічна вигода, буде визначатися як: млн.грн/рік

$$B_E = W_p \cdot (C_M - C_{EE}); \quad (3.4)$$

Розрахунковий коефіцієнт ефективності капітальних інвестицій [25]

$$E_p = \frac{B_E}{K_{Ck}}; \quad (3.5)$$

і термін їх окупності, років

$$T_{ок} = \frac{K_{Ck}}{B_E}. \quad (3.6)$$

Визначаємо кількість електричної енергії, що виробляється протягом прийнятого терміну служби обладнання,  $n$  років), млн.кВт·год

$$W_{20} = W_p \cdot n. \quad (3.7)$$

Економія за рахунок вироблення такої кількості власної електроенергії протягом усього терміну служби, млн.грн

$$B_{E20} = n \cdot B_E. \quad (3.8)$$

Вартість системи з проміжними резервуарами визначається в залежності від місця їх установки (біля кожного з джерел або в загальних точках водозабору). У першому випадку за рахунок усереднення витрати кожного з джерел  $Q_{cp}$  знижуються характеристики основного обладнання (діаметри сполучних трубопроводів і потужність мікро-ГЕС), а, отже, знижується вартість



всієї СГЕУ в цілому. Тому розмір капіталу і  $K_{C_k}$  поточний  $K_{nc_k}$  У цьому випадку витрати уточнюються шляхом перерахунку в нових умовах за алгоритмом. В іншому випадку витрати на виготовлення і монтаж ємностей додаються до вартості базового СГЕУ, який був розрахований на максимальне споживання води, без зміни параметрів і вартості елементів збірної системи і генеруючого обладнання.

Розрахунок загальних капітальних вкладень на СГЕУ з проміжними колекторами здійснюється у виразі, грн.

$$K = K_{C_k} + k_2 \cdot K_B + k_m \cdot K_B, \quad (3.9)$$

де  $K_{C_k}$  – капітальні інвестиції  $K_B$  в ДСЕУ з урахуванням динаміки вторинного стоку води та засобів стабілізації відповідно;  $k_2$  - коефіцієнт, що враховує зниження собівартості одиниці бака в залежності від його габаритів;  $k_m$  - Вартість монтажних робіт.

Поточні витрати ДСЕУ  $K_n$ , включаючи утримання та амортизацію стабілізаційного обладнання,  $K_{Bn}$  грн

$$K_n = K_{nc_k} + K_{Bn}; \quad (3.10)$$

$$K_{Bn} = K_B \cdot H_B + K_B \cdot k_o; \quad (3.11)$$

де  $H_B$  норма амортизації для даного виду обладнання, - коефіцієнт,  $k_o$  що враховує витрати на поточний ремонт і обслуговування.

У цьому випадку вартість електроенергії обчислюється за виразом, грн/(кВт·год)

$$C_{EE} = \frac{K_n}{W_B}, \quad (3.12)$$

де  $W_B$  - кількість електричної енергії, що виробляється при стабілізації потоку.

Для того, щоб розрахувати капітальні вкладення в гідроакumuлюючу систему, крім вартості накопичувального бака, необхідно також враховувати вартість додаткового насоса, обраного зі списку стандартних насосів. Його параметри повинні бути такими, щоб забезпечити накопичення необхідного обсягу води (економічно доцільне накопичення), визначеного алгоритмом протягом відведеного часу. Тому вартість такої системи становитиме, грн.

$$K_A = K_{CK} + K_{BA} + K_n, \quad (3.13)$$

де і  $K_{BA}$  вартість  $K_n$  бака-акумулятора і насоса.

Крім того, при визначенні експлуатаційних витрат слід враховувати  $W_n$  і кількість електричної енергії, споживаної приводним двигуном з мережі  $K_{An}$  кВт·год

$$W_n = P_n \cdot t_n, \quad (3.14)$$

А його вартість становить грн.

$$K_n = 0,22 \cdot W_n \cdot C_m. \quad (3.15)$$

Тут встановлена  $P_n$  потужність електродвигуна, кВт  $t_n$ , - тривалість роботи насоса, *годин.*;  $C_m$  - тариф на електроенергію, грн/кВт-год; 0,22 - коефіцієнт до нічного тарифу на електроенергію.

Поточні витрати на всю систему  $K_{An}$ , включаючи додаткові гідроакumuлюючі споруди,  $K_{BA}$  грн:

$$K_{An} = K_{nCK} + K_{BA} \quad ; \quad (3.16)$$

$$K_{BA} = K_{BA} \cdot H_{BA} + K_n \cdot H_n + K_{нк} + K_{нo} + K_{oBA}, \quad (3.17)$$

де  $H_{БА}$ , - відповідні коефіцієнти амортизації бака-акумулятора і насосної групи, - додаткові  $H_n$  витрати на обслуговування перерахованого обладнання.

$K_{нд}$   $K_{дБА}$

У цьому випадку вартість електроенергії обчислюється за виразом, грн/(кВт·год)

$$C_{EE} = \frac{K_{An}}{W_{БА}}, \quad (3.18)$$

де  $W_{БА}$  - кількість електроенергії, виробленої СГЕУ з перекачувальними комірками.

На підставі наведених формул робиться висновок про доцільність реалізації проекту використання гідроенергії, виходячи з нормативних значень цих величин.

### 3.4 Приклад розрахунку техніко-економічних показників гідроенергетичної системи

Розрахуємо техніко-економічні показники системи гідроенергетичного використання вторинних водотоків на прикладі доменного цеху ПАТ «Запоріжсталь». Вихідні дані для відповідних розрахунків наведені раніше.

За допомогою розробленого програмного продукту було визначено, що для розглянутого об'єкта річна вартість становить  $W = 1,421$  млн кВт·год. При цьому капітальні вкладення в оптимальну систему складають  $K_{c_k} = 1,849$  мільйони доларів США. грн з урахуванням поточних витрат на утримання та амортизації основних фондів. Тому вартість електроенергії в даному випадку становить грн/(кВт·год)

$$C_{EE} = 1,849 \cdot 10^6 / 1,421 \cdot 10^6 = 1,4.$$

Для того щоб зробити висновок про доцільність впровадження оптимальної СГЕУ, необхідно визначити ряд техніко-економічних показників, а саме: річну вигоду від проекту, ефективність інвестицій і термін його окупності. Першим з останніх, для розглянутого об'єкта, буде: млн.грн/рік

$$B_E = 1,421 \cdot (1,74322 - 1,4) = 0,488,$$

- Коефіцієнт ефективності капіталу

$$E_p = \frac{0,488}{1,849} = 0,27,$$

- термін окупності капітальних вкладень, років

$$T_{ок} = \frac{1,849}{0,488} = 3,685.$$

Кількість електричної енергії, що виробляється протягом прийнятого терміну служби обладнання, наприклад .  $n = 20$  років) [36] буде, млн.кВт · год

$$W_{20} = 1,421 \cdot 20 = 28,42.$$

Економія, тобто вигода від вироблення цієї кількості власної електроенергії за весь прийнятий період, дорівнюватиме, . млн.грн

$$B_{E_{20}} = 20 \cdot 0,488 = 9,754.$$

Для розрахунку капітальних вкладень на проміжні резервуари, за даними БМУ «Запоріжстальбуд-1», припускаємо, що витрати на виготовлення і монтаж конструкції резервуара визначаються виходячи з наступних величин:

витрати на 1 м<sup>3</sup> резервуара – 986 грн; Відсоток монтажних робіт від вартості обладнання.

У цьому випадку загальна сума капітальних вкладень складе: млн.грн

$$K = 1,396 \cdot 10^6 + 61,36 \cdot 986 + 0,2 \cdot 61,36 \cdot 986 = 1,4986.$$

Норма амортизаційних відрахувань для конструкції танка прийнята [33], при [34]  $H_B = 8\%$ . Сумарні поточні витрати СГЕУ  $k_o = 0,06$  на утримання та амортизацію стабілізаційного обладнання  $K_n$ , зокрема, дорівнюють,  $K_{Bn}$  грн.

$$K_{Bn} = 60500,96 \cdot 0,08 + 60500,96 \cdot 0,06 = 8470,13,$$

$$K_n = 542600 + 8470,13 = 551070 \text{ грн.}$$

Решта показників цього проекту зведені в таблицю 3.7.

У вартість гідроакumuлюючої системи  $K_A$  також входить вартість додаткового насоса, обраного зі списку стандартних насосів. Отже, для того, щоб наповнити резервуар об'ємом 145 і підняти рідину на висоту м<sup>3</sup> близько 10 м за відведені часові  $t_n = 7$  години, знадобиться насос продуктивністю . Отже, для виконання вищевказаних умов знадобиться  $145/7 = 20,7$  м<sup>3</sup>/год агрегат типу К45/30а продуктивністю 35 з м<sup>3</sup>/год висотою підйому до , потужність приводного двигуна становить 23 м  $P_n = 5,5$  кВт та вартістю грн  $K_n = 2278$  .

Кількість електричної енергії, споживаної електродвигуном насоса від мережі, дорівнює кВт·год

$$W_n = 5,5 \cdot 7 \cdot 365 = 17885,$$

А його вартість становить грн.

$$K_{EEH} = 0,22 \cdot 17885 \cdot 0,74322 = 2924,35.$$

Таблиця 3.7 – Номенклатура і продуктивність насосів загального призначення

Марка насоса	Продуктивність м <sup>3</sup> /год	Міць кВт	Висота підйому, М	Вартість грн.
К8/18	8	1.5	18	1689
К20/18	20	2.2	18	1763
К20/30	20	4	30	2204
К45/30А	35	5.5	23	2728
К45/30	45	7.5	30	3331
К90/20	90	7.5	20	3640
К50-32-125	12	2.2	20	1794
С50-32-125А	10	1.5	16	1767
К80-65-160	50	7.5	32	3416
К100-50-125	100	15	32	6592
К100-65-200А	90	18.5	40	7425
К150-125-250	200	15	20	11872
С150-125-250А	180	11	16	9895
К200-150-250	315	30	20	16510
С200-150-250а	290	22	16	15519
К200-150-400а	400	75	40	28075
К290/30А	250	30	24	16134
К160/30	160	30	30	13114

Капітальні вкладення в оптимальну систему без накопичувальних елементів такі ж, як і в базовій СГЕУ  $K_{C_x} = 1,849$  млн.грн. і враховують витрати на поточне обслуговування і амортизацію основних фондів. Оскільки танків було

понад 100, м<sup>3</sup> ми їх приймаємо.  $k_z = 0,8$  Загальний об'єм резервуарів, визначений за методикою, наведеною в розділі 4.3, становить 1022,6. м<sup>3</sup> Загальні капітальні видатки на реалізацію інтегрованої АНSG, а) У межах, дозволених  $k_m = 0,2$  положеннями цієї Конвенції, Генеральний секретар млн.грн.

$$K_A = 2,312 \cdot 10^6 + 0,8 \cdot 1022,6 \cdot 986 + 0,2 \cdot 0,8 \cdot 1022,6 \cdot 986 + 2278 = 3,208.$$

Інші техніко-економічні показники об'єднаного ДСЕУ зведені в порівняльну таблицю 3.8.

Таблиця 3.8 – Показники ефективності впровадження СГЕУ без та з використанням вторинних водостабілізаційних та накопичувальних споруд

Варіант Показник	Стабілізація з розміщенням бака	
	На основі вибраних джерел	в центрах збору
Капітальні видатки, млн.грн	1,499	1,849
Кількість ЕЕ за весь термін служби, млн.кВт · год	28,26	28,4
Загальна користь, млн.грн	9,985	10,034
Вартість ЕЕ, грн	1,39	1,4
Рентабельність інвестицій	0,33	0,27
Термін окупності, років	3,002	3,685

Для визначення поточних витрат комбінованої гідроелектростанції з урахуванням додаткових гідроакумуючих споруд візьмемо такі коефіцієнти:  $H_n = 12\%$ ,  $B_{нд} = 6\%$ ,  $B_{бд} = 6,5\%$ ,  $H_б = 8\%$ . Потім, беручи до уваги вищесказане, знаходимо . млн.грн

$$K_{An} = 0,568 + 0,1495 = 0,7175,$$

$$K_{BA_n} = 1,008 \cdot 0,145 \cdot 10^6 + 2278 \cdot 0,18 + 2924,35 = 0,1495.$$

Визначимося з вартістю електроенергії. грн/(кВт·год)

$$C_{EE} = \frac{2,53}{1,811} = 1,4.$$

Тепер наведемо графічне економічне порівняння варіантів ПГП без і з використанням вторинної стабілізації потоку води, а також з насосними акумулюючими елементами (див. Рис. 3.5, 3.6).

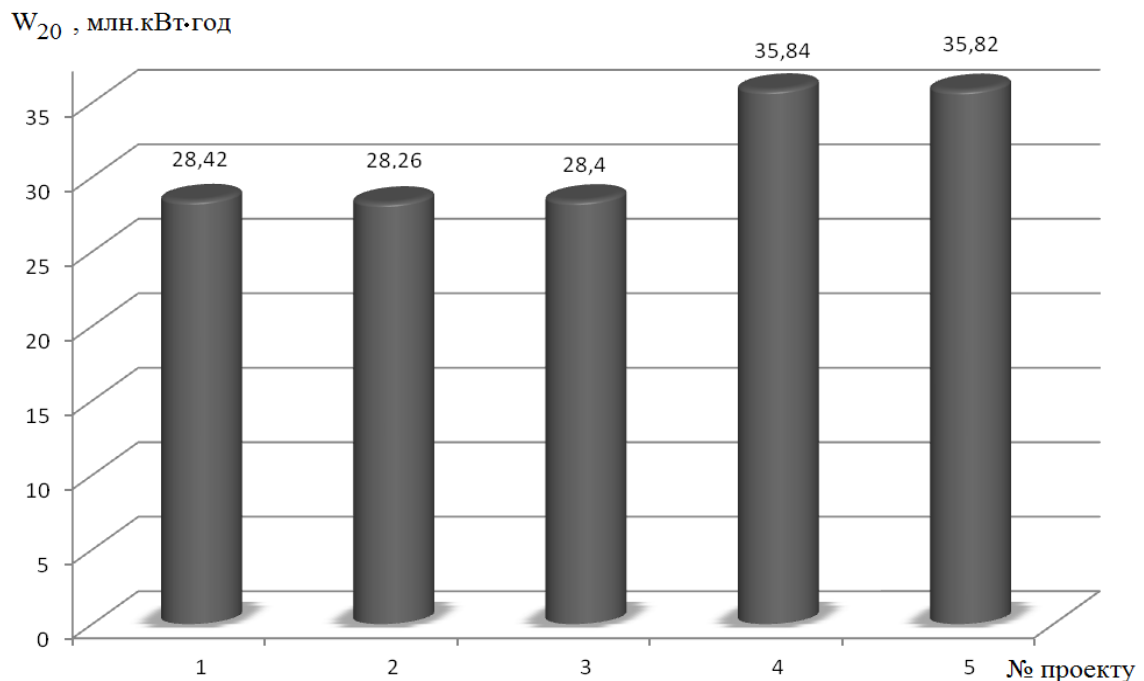


Рисунок 3.5 – Економічне порівняння різних варіантів СГЕУ на основі кількості виробленої електроенергії протягом терміну експлуатації



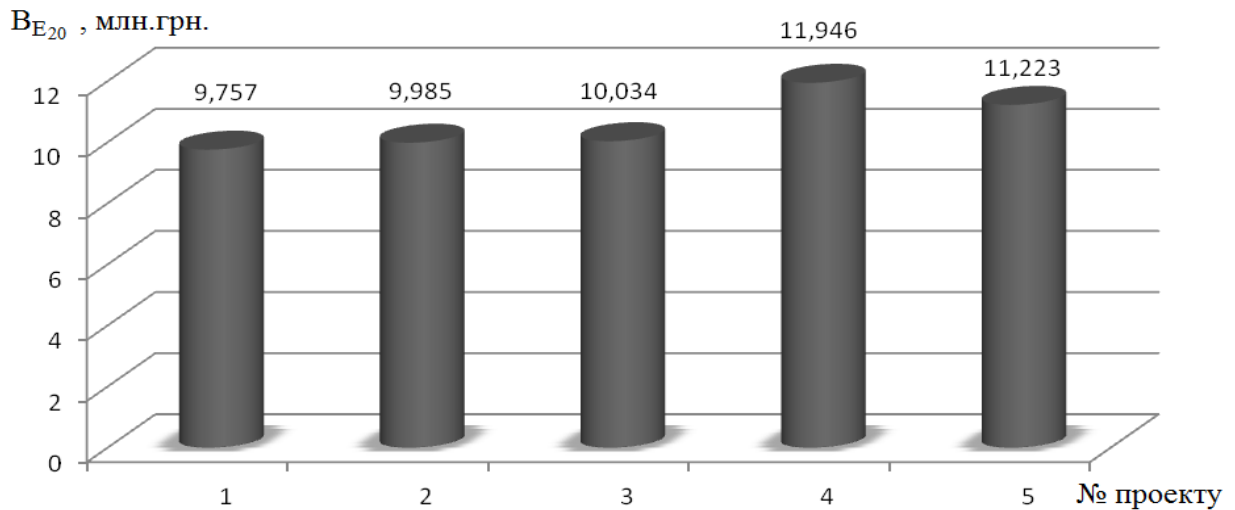


Рисунок 3.6 – Економічне порівняння різних варіантів СГЕУ на основі переваг їх впровадження протягом усього терміну служби

Економічне порівняння варіантів системи утилізації гідроенергетичних ресурсів промислових підприємств без застосування засобів стабілізації потоку води і водонакопичення показало, що СГЕУ з елементами економічно доцільної гідроакумулюючої системи приблизно на 20% вигідніше в порівнянні з системою без застосування відповідних технічних рішень. При цьому кількість виробленої електроенергії збільшується на 26%. Сумарна вигода за весь період експлуатації (20 років) склала майже 12 мільйонів рублів в найвигіднішому варіанті. грн. Термін окупності СГЕУ, розрахований виходячи з цін на обладнання в 2019 році, становить від 3 до 6 років, що не перевищує норматив [39,40].

У зв'язку з тим, що вартість електроенергії для промислових підприємств постійно зростає, відповідно зростуть і вигоди від реалізації проекту утилізації гідроенергії. Крім того, вартість прийнятого до розрахунку обладнання може бути змінена в бік зменшення за рахунок використання вітчизняних аналогів мікро-ГЕС, що дозволить значно скоротити потрібний термін. Отже, економічні характеристики СГЕУ можуть значно коливатися в залежності від типу використовуваного обладнання та ситуації на ринку електроенергії.

Техніко-економічні показники, отримані в результаті розрахунків, свідчать, що виробництво власної електроенергії забезпечує значну економію на закупівлі енергоресурсів промисловими підприємствами та електроенергії зокрема. Всі запропоновані проекти виявилися економічно вигідними, оскільки термін окупності капітальних вкладень не перевищує 6 років, а коефіцієнт ефективності капітальних вкладень вище нормативних 0,15. З урахуванням дотримання обраного Останнє  $C_{EE} \leq C_m$  підтверджує економічну доцільність впровадження таких систем.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

### 4.1 Характеристика потенційно небезпечних і шкідливих виробничих факторів

До потенційно небезпечних і шкідливих виробничих факторів приміщень гідротехнічного цеху відносяться:

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

Основними шкідливими факторами в цеху є ризик ураження електричним струмом і шум до 85 дБА, джерелом якого є:

- Компресори;
- розпилювальні насоси;
- Інше насосне обладнання.

ССС - це приміщення середньої тяжкості (робота середньої тяжкості) повинна бути дотримана, тому повинні бути дотримані наступні вимоги:

- Оптимальна температура повітря – (22...24) °С, допустима – (19...21) °С;
- оптимальна відносна вологість повітря – (40...60)% (допустима – не більше 75%);

Найбільш ефективним засобом зниження шуму є заміна галасливих технологічних операцій на малошумні або зовсім безшумні, але такий спосіб боротьби не завжди можливий, тому велике значення має його зниження в джерелі.

Аналіз шкідливих і небезпечних факторів і карта умов праці на робочому місці працівника цеху представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Технологічна схема умов роботи технолога насосної станції

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

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

#### 4.2 Заходи щодо поліпшення умов праці

Для створення і автоматичної підтримки оптимальної температури, вологості і швидкості руху повітря в цеху використовується водяне опалення в холодну пору року, а в теплу пору року - кондиціонування.

У зв'язку з тим, що природне освітлення в цеху забезпечується через віконні прорізи і дуже слабкий, на робочому місці також слід використовувати штучне освітлення. Штучне освітлення створюється електричним джерелом світла, який включається в міру необхідності, регулює інтенсивність світлового потоку і його напрямок.

Використання матеріалів зі зниженими акустичними властивостями, установка додаткового звукоізоляційного пристрою або огорожі, розташованої якомога ближче до джерела у джерела шуму. Для боротьби з шумом на трасах передачі передбачений звукопоглинаючий кожух, який може прикривати окремий галасливий вузол машини.

Заходи щодо захисту працівників від шуму включають:

- використання сучасного обладнання;
- розміщення пультів управління в звукоізолюваному приміщенні;
- установка на насоси суцільного глиняного кожуха;
- використання засобів індивідуального захисту від шуму;
- раціональне планування приміщень [26, 27].

Зниження шуму від обладнання пропонується за рахунок використання акустичних екранів, що відокремлюють галасливий механізм від робочого місця або зони обслуговування машини. Для стелі і стін галасливих приміщень планується використовувати звукопоглинаючу облицювання, що призводить до зміни спектра шуму в бік більш низьких частот, що навіть при відносно невеликому зниженні рівня значно покращує умови праці.

З метою захисту обслуговуючого персоналу від шуму необхідно встановлювати кабіни спостереження і дистанційного керування на виробничих ділянках з галасливими технологічними процесами або з галасливим обладнанням. Використовуючи звукоізолювані кабіни, можна досягти практично будь-якого необхідного зниження шуму [28].

Побутівки виготовляються з цегли, бетону та інших будівельних матеріалів. Побутівки можуть бути збірними з металевих панелей. У приміщеннях з джерелами теплового випромінювання в кабінах також повинен бути передбачений захист від цього шкідливого фактора.

Збірні звукоізоляційні кабіни встановлюються на гумові віброізолятори. З метою зниження шуму, створюваного припливно-витяжною вентиляційною системою, необхідно встановити глушники на сторонах входу і виходу повітря.

Вікна повинні бути мінімальних розмірів з використанням товстого скла або органічного скла. По периметру вікна необхідно ущільнити гумовими ущільнювачами. При використанні склопакетів між скляними полотнами по периметру вікна встановлюється звукоізоляційний ущільнювач.

У дверях кабіни необхідно забезпечити герметичність і герметичність по всьому периметру дверей. За умови, що необхідний утеплювач високий, двері повинна бути подвійною. У місцях, де прокладаються технологічні комунікації, також повинні бути передбачені звукоізоляційні заходи. Внутрішні поверхні салону облицьовані звукопоглинальним матеріалом з максимальними коефіцієнтами звукопоглинання в діапазоні (250...2000) Гц.

Розрахунок необхідної теплоізоляції кабіни технолога проводився за наступним алгоритмом.

Необхідне зниження шуму в салоні визначається як, дБ

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

де  $L_{sh}$  - октавний рівень звукового тиску на робочому місці галасливого приміщення в передбачуваному місці розташування кабіни, вимірний в операційній, дБ;

$L_{dop}$  - допустимий рівень звукового тиску на робочих місцях в кабінах, дБ.

За формулою 4.1 необхідне зниження шуму кабіни в кисневому компресорному цеху становить, дБ

$$R_{\text{каб.н.}} = 88 - 80 = 8.$$

Необхідна звукоізоляційна здатність елементів огорожувальних конструкцій (вікон, стін і дверей звукоізолюваних кабін) визначається за формулою, дБ

$$R_{n.i} = L - 10 \lg B + 10 \lg S_i - L_{dop} + 10 \lg(n), \quad (4.2)$$

де  $B_i$  - кабінна постійна в заданій октавній смузі частот,  $\text{м}^2$ ;

$S_i$  - площа і-го елемента салону, через яку шум надходить в салон,  $\text{м}^2$ ;

$n$  - число однакових елементів.

Постійна передумова  $B$  визначається діючою формулою.

$$B = B1000 \cdot \mu, \quad (4.3)$$

де  $B1000$  - постійна приміщення при середній геометричній частоті 1000 Гц, визначена за таблицею 4.2 в залежності від об'єму  $V$ ,  $\text{м}^3$  і типу приміщення,  $\text{м}^2$ ;

$\mu$  - помножувач частоти, визначений в таблиці 4.3.

Розрахунок проводився для частоти 125 Гц.

Таблиця 4.2 – Стаціонарне приміщення за об'ємом  $V$ ,  $\text{м}^3$  і типом приміщення

Категорія номера	Опис приміщення	Постійна приміщення $B_{1000}$ , $\text{м}^2$
1	При невеликій кількості людей (металообробні цехи, вентиляційні камери, генераторні приміщення, машинні зали, випробувальні стенди і т.д.)	$V/20$
2	З жорсткими меблями і великою кількістю людей або з невеликою кількістю людей і м'якими меблями (лабораторії, ткацькі та деревообробні майстерні, офіси і т.д.)	$V/10$
3	При великій кількості людей і м'яких меблів (робочі кімнати офісних будівель, класи навчальних закладів, класи в школах, житлові приміщення і т.д.)	$V/6$
4	Кімнати зі звукопоглинаючою обшивкою стелі і частиною стін	$V/1,5$

Об'єм кабінки,  $\text{м}^3$

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

Постійна приміщення  $B_{1000}$  із середньою геометричною частотою 1000 Гц визначається з урахуванням типу приміщення по таблиці 4.2,  $\text{м}^2$

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



Таблиця 4.3 – Помножувач частоти

Об'єм приміщення $V, \text{ м}^3$	Помножувач частоти $\mu$ на середніх геометричних частотах октавних смуг, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
< 200	0,8	0,75	0,7	0,8	1	1,4	1,8	2,5

Постійне приміщення  $V$  визначається за формулою (4.3),  $\text{м}^2$

$$V = 1,59 \times 0,75 = 1,19.$$

Площа вікна,  $\text{м}^2$

$$Вікна = 3 \cdot 1 = 3.$$

Площа воріт,  $\text{м}^2$

$$Двері = 0,8 \cdot 2 = 1,6.$$

Площа п'яти стін, адже саме так розташована кабіна,  $\text{м}^2$

$$Стіна = 2 \cdot 4,2 \cdot 2,3 + 2 \cdot 3,3 \cdot 2,3 + 4,2 \cdot 3,3 = 48,36.$$

Необхідна звукоізоляційна здатність елементів огорожувальних конструкцій становить, дБ

$$R_{н.вікна} = 90 - 10\lg 1,19 + 10\lg 3 - 80 + 10\lg 1 = 14,02;$$

$$R_{н.двері} = 90 - 10\lg 1,19 + 10\lg 1,6 - 80 + 10\lg 1 = 11,29;$$

$$R_{н.стін} = 90 - 10\lg 1,19 + 10\lg 48,36 - 80 + 10\lg 5 = 33,08.$$

Повірочний розрахунок очікуваного зниження шуму в салоні  $R_{cab}$  визначається за формулою

$$R_{cab} = R_{сер} + 10 \lg B - 10 \lg \quad (4.4)$$

де  $R_{сер}$  - середня звукоізоляція всіх корпусів кабіни, дБ;

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

$n$  - загальна кількість елементів огорожі.

Середня повітряна шумоізоляція цієї гетерогенної (збірної) огорожувальної конструкції  $R_{сер}$  визначається за формулою, дБ

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

де  $S_{заг}$  - загальна площа неоднорідної будівлі, м<sup>2</sup>;

$S_i$  і  $R_i$  - площа в м<sup>2</sup>, а звукоізоляція окремого елемента - дБ.

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

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

Очікуване зниження шуму кабіни  $R_{cab}$  становить, дБ

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

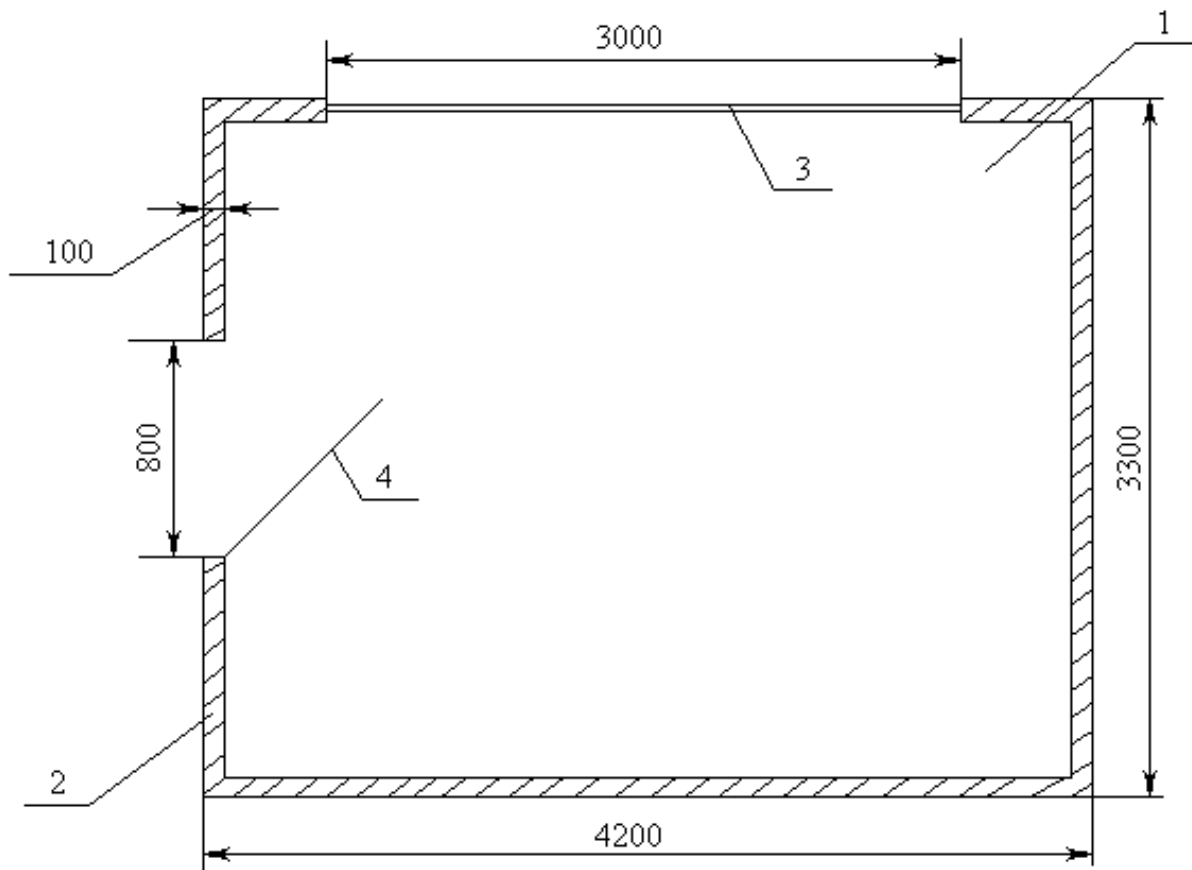
Перевірити стан  $R_{cab} \geq R_{каб.н.}$ :  $8,83 \geq 8$  дБ – умова виконана.

Таким чином, була обрана кабіна технолога шумоізоляції:

– стіни кабіни виконані із залізобетонної панелі товщиною 100 мм і поверхневою щільністю 250 кг/м<sup>2</sup>;

– двері зі стандартної стулки товщиною 40 мм без ущільнювальних прокладок;

Звукоізольована технологічна кабіна показана на рисунку 4.1.



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

Рисунок 4.1 – Шумоізоляція кабіни технолога

Таким чином, кабіна оператора забезпечує необхідну шумоізоляцію, адже за розрахунком:  $R_{cab} \geq R_{cab.n.}$ :  $8.83 \geq 8$  дБ – умова виконана.

#### 4.3 Технічні рішення в галузі гігієни праці та виробничої санітарії

Мікроклімат (метеорологічні умови) виробничого приміщення, який визначається температурою, відносною вологістю та рухом повітря, має значний вплив на стан організму працівника, його працездатність.

Під оптимальними мікрокліматичними умовами розуміють сукупність параметрів мікроклімату, які при тривалому і систематичному впливі на людину

забезпечують збереження нормального теплового стану організму без активації механізмів терморегуляції. Вони забезпечують відчуття теплового комфорту і створюють передумови для високого рівня продуктивності.

Показники мікроклімату в приміщенні представлені в таблиці 4.4.

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

Період року	Категорія робіт	Температура			Відносна вологість повітря, %		Швидкість руху, м/с	
		Оптимального	Дійсний		Оптимального	Дійсний	Оптимально, не	Допустимо на робочому місці
			Верхня межа	Нижня межа				
			Пос тійн	Пос тійн		На робочому місці не більше		
Холодний	Помірний-Па	19-21	23	17	40-60	75	0,2	Ні Більше 0,3
Теплий	Помірний-Па	21-23	27	18	40-60	65 (при 26°C)	0,3	0,2-0,4

Створення необхідних параметрів мікроклімату у виробничому приміщенні забезпечується природною і механічною загальнообмінною вентиляцією повітря, що представляє собою зміну повітря в приміщенні, призначену для підтримки відповідних метеорологічних умов і чистоти повітряного середовища.

Вентиляція приміщень досягається за рахунок видалення з них нагрітого або забрудненого повітря і подачі чистого зовнішнього повітря.

Оптимальну температуру повітря в цеху в холодну пору року забезпечує система водяного опалення.

Одним з факторів, що визначають сприятливі умови праці, є раціональне освітлення робочої зони. Якщо освітлення виробничих приміщень правильно розраховано і виконано, очі працівника надовго збережуть здатність добре розрізняти предмети та інструменти, не втомлюючись. Це сприяє зниженню виробничого травматизму та професійних захворювань очей.

Недостатня освітленість робочих місць - одна з причин низької продуктивності праці. При цьому очі працівника сильно напружуються, важко розрізняти оброблювані об'єкти, знижується темп і якість роботи, погіршується загальний стан.

У кисневому компресорному цеху в якості люмінесцентних ламп типу ДРЛ використовується природне бічне і штучне освітлення.

Категорія візуальних робіт у студії – VIII а. Загальна освітленість 75 лк.

#### 4.4 Заходи електробезпеки

За даними EIR приміщення цеху можна віднести до I класу - з підвищеним ризиком ураження електричним струмом (відносна вологість повітря більше 75%; струмопровідний пил; температура понад 350 °C або короткочасно 400 °C незалежно від пори року; можливість одночасного контакту людини з металевими корпусами електрообладнання та заземленими металоконструкціями будівлі; наявність струмопровідних підлог із землі, залізобетону, цегли тощо) [29].

Для захисту від електричного струму передбачено надійне захисне заземлення електрообладнання. Заземлювальні пристрої забезпечують безпеку людей і захист електроустановок, режимів роботи. Для тієї частини електрообладнання, яка може опинитися під напругою через порушення ізоляції,

забезпечується надійний контакт із заземлюючим пристроєм. Інструментальну перевірку стану захисного заземлення пропонується проводити не рідше одного разу на рік, а також після монтажу або ремонту.

Для забезпечення електробезпеки пропонується дотримуватися таких вимог:

- Конструкція виробничого обладнання, що приводиться в рух електрикою, повинна включати пристрій електробезпеки;
- обладнання повинно бути захищене від випадкового дотику до струмоведучих частин;
- Ручки, важелі та кнопки обладнання, до яких торкаються руки під час нормальної роботи, не повинні потрапляти під напругу при пошкодженні ізоляції.

Основними організаційними заходами щодо попередження ураження електричним струмом є інструктаж і навчання безпечним методам роботи, перевірка знань правил техніки безпеки та інструкцій відповідно до виконуваних робіт.

#### 4.5 Пожежна безпека

Будівлю, в якій розташована лабораторія, можна віднести до приміщень категорії D за рівнем вибухо- і пожежної небезпеки, так як в цеху знаходяться горючі і трудногорючі речі, які при взаємодії з вогнем можуть горіти без вибуху. За конструктивними характеристиками будівлю можна віднести до розряду будівель з каркасною конструктивною схемою. Елементи каркаса виконані з незахищених металевих конструкцій. Огороджувальні конструкції виконуються з негорючих листових матеріалів з негорючою ізоляцією або утеплювачем груп низької і середньої горючості (вогнестійкість будівлі IIIa) [30].

Можливими причинами загоряння є підвищена температура навколишнього середовища, обладнання та наявність паливно-мастильних матеріалів.

Запобігання пожежі повинно досягатися шляхом запобігання утворенню горючого середовища, недопущення утворення джерел займання в горючому середовищі.

Пожежна безпека в електроцеху забезпечується:

- використання засобів пожежогасіння та відповідних засобів пожежогасіння;
- використання автоматичних систем пожежної сигналізації;
- Застосування основних будівельних конструкцій об'єктів з
- регламентовані межі вогнестійкості та межі поширення вогню;
- нанесення вогнезахисних фарб на поверхні конструкцій;
- пристрої, що обмежують поширення вогню;
- організація своєчасної евакуації людей;
- використання засобів колективного та індивідуального захисту людей від пожежної небезпеки;
- Використання систем протипожежного захисту.

Запобігання виникненню джерела вибуху досягається шляхом: регулювання гарячих робіт; запобігання нагріванню обладнання аж до самозаймання вибухонебезпечної атмосфери; застосування швидкодіючих засобів диференційного струму можливих електричних джерел ініціювання вибуху; Використання вибухозахищеного обладнання.

Для зовнішнього пожежогасіння планується встановлювати гідранти із загальною витратою води 20 л/с.

Для гасіння насиченого киснем одягу на вході в каюту передбачені протипожежні душі з автоматичною подачею води.

У приміщеннях передбачені первинні засоби пожежогасіння: пінні вогнегасники типів ОХП-10, ОП-М і ОП-9ММ (щільні хімічні), ОХВП-10

(повітряно-пінні хімічні), вуглекислі речовини типу ВВ, азбестові ковдри, пісочниці, протипожежні щити.

В якості датчиків використовуються датчики диму і тепла. Ручні датчики встановлюються на виході з приміщення. Сигнал пожежі виводиться на пристрій «Дунай», встановлений в приміщенні, де знаходиться цілодобовий черговий персонал. Для передачі пожежного сигналу на центральний пульт охорони Державної протипожежної служби передбачений автоматичний автообдзвін.

Передбачена система оповіщення про пожежу першого і другого типів з використанням гучномовців, установкою світлових індикаторів і звукових сигналів. Забезпечується блискавкозахист і заземлення конструкцій. В якості пристрою громовідводу використовуються металоконструкції цеху. Захист від електростатичної індукції забезпечується підключенням всіх металевих корпусів обладнання та комунікацій до внутрішньої лінії заземлення.

Для того щоб захиститися від заносу від високих потенціалів через підземні і надземні комунікації, їх необхідно підключити до заземлюючого пристрою на вході в конструкцію.

#### 4.6 Засоби індивідуального захисту

На робочих місцях, де неможливо технічними засобами знизити рівень шуму і вібрації до допустимих рівнів, або де це недоцільно з технічних та економічних причин, застосовують засоби індивідуального захисту (далі - ЗІЗ).

ЗІЗ не тільки сприяє профілактиці захворювань, прямо чи опосередковано пов'язаних із шумовим впливом (зниження слуху, шумова хвороба, розлади нервової та серцево-судинної систем тощо), але й підвищує працездатність людини.



Залежно від конструкції ЗІЗ поділяються на вушні, які закривають вухо зовні; шумозахисні вставки, які перекривають або примикають до зовнішнього слухового проходу; протишумові шоломи та шоломи; Шумозахисні костюми.

Шумові навушники виготовлені з твердих, еластичних і волокнистих матеріалів. Вони можуть бути одноразовими і багаторазовими.

За ефективністю захисту від шуму, ваги і тиску на привушну зону навушники і вкладиші діляться на три групи: А, В і С. ЗІЗ підбирається виходячи з частотного спектра шуму на робочому місці і враховує комфорт їх носіння під час даної робочої експлуатації і кліматичні умови.

Протишумні шоломи закривають всю голову і використовуються при дуже високому рівні шуму в поєднанні з навушниками, а також протишумними костюмами. Навушники виготовлені зі звукопоглинаючих матеріалів, щільно прилягають до вуха і утримуються дуговою пружиною.

При роботі з ручним механізованим електричним і пневматичним інструментом застосовують ручні антивібраційні ЗІЗ. Це рукавички, а також вібронакладки або пластини, оснащені ручним кріпленням. З огляду на несприятливий вплив холоду на розвиток вібраційних захворювань, працівники в зимовий період повинні бути забезпечені теплими рукавичками.

При роботі з ручними механізмами і з дотриманням гігієнічних норм загальний час роботи в контакт з вібрацією не повинно перевищувати 2/3 робочого часу. Крім того, одноразовий безперервний вплив вібрації, включаючи мікропаузи, не повинен перевищувати 15-20 хвилин для ручних машин. Рекомендується обідня перерва тривалістю не менше 40 хвилин, також обов'язкові дві регламентовані перерви (для активного відпочинку, виробничої гімнастики в спеціальному комплексі, фізіопрофілактичних процедур): 20 хвилин після початку зміни і 30 хвилин після обідньої перерви.

Таким чином, приміщення цеху відповідають практично всім вимогам з охорони праці та техногенної безпеки. Для зниження шуму, пов'язаного з роботою обладнання, розраховується шумоізоляція кабін технологів.

## ВИСНОВКИ

1 Практично будь-яка промисловість використовує величезну кількість води, яка може бути використана для виробництва електроенергії, що може значно зменшити її споживання з мережі та дозволити виробляти власну електроенергію з відносно низькими витратами. Але сьогодні існує проблема синтезу системи збору гідроенергетичних ресурсів.

2 В ході роботи розроблено алгоритм синтезу систем утилізації вторинного гідроенергетичного ресурсу підприємства з урахуванням обмежень та економічної доцільності.

3 За допомогою мови програмування C++ була написана програма для виявлення такої системи гідропереробки.

4 Запропонований алгоритм застосований до доменного цеху ПрАТ «Запоріжсталь».

5 Техніко-економічні показники, отримані в результаті розрахунку, показують, що використання вторинних гідроресурсів доменного цеху ПрАТ «Запоріжсталь» може забезпечити значну економію витрат при генерації власної електроенергії, за рахунок її низької собівартості – 1,4 грн/кВт-год. Можливий видобуток складе 1,421 млн тонн. Квт. При цьому термін окупності складе 3,7 року.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Пирогов Н.Л. Вторинні ресурси: ефективність, досвід, перспективи: підручник для вищих навчальних закладів / Пирогов Н.Л., Сушін С.П., Завалко А.Г. – М. : Економіка, 1987. 326 с.
2. Петкін А.М. Економія енергетичних ресурсів: запаси та коефіцієнти ефективності. Петкін А.М. Москва, Видавництво «Енергоатоміздат», 1982. 264 с.
3. Основні методологічні положення планування використання вторинних енергетичних ресурсів / НДІ Планір. та стандартів Укр. Філ. М.: Видавництво «Енергоатоміздат», 1987. 57 с.
4. Лисієнко В.Г. Хрестоматія енергосбережия: справочник в 2-х томах. Випуск 1 / Лисієнко В.Г., Щелоков Ю.М., Ладигічев М.Г. – М. : Теплотехнік, 2006. 650 с.
5. Розенгарт Ю.І. Вторинні енергетичні ресурси чорної металургії та їх використання. Переваги / Розенгарт Ю.І. – К.: Вища школа, 1988. 457 с.
6. Старк С.Б. Теплоенергетичне господарство металургійних заводів: учебное пособие / Старк С.Б. – М. : Металургія, 1966. 354 с.
7. Михайлов В.В. Раціональне використання енергетичних ресурсів: підручник / Михайлов В.В. – К. : Техніка, 1980. 338 с.
8. Берлін З.Л. Раціональне використання вторинних енергетичних ресурсів у кольоровій металургії. Переваги Берлін З.Л. – М. : Металургія, 1972. 421 с.
9. Семененко Н.А. Організація тепловикористання та енерготехнологічного поєднання в промисловій пожежній техніці: підручник для вищих навчальних закладів / Семененко Н.А. – М. : Енергетика, 1975. 512 с.
10. Віленський Н.М. Раціональне використання вторинних енергетичних ресурсів. Переваги / Віленський Н.М. – М. : Металургізм, 1963. – 346 с.

11. Колобков П.С., Осипенко В.Д. Использование вторичных энергоресурсов черной металлургической промышленности: учебник для вузов. – К.: Техніка, 1979. – 374 с.
12. Визначення обсягів виробництва та можливого використання вторинних енергетичних ресурсів чорної металургії / Українська філія Науково-дослідного інституту планування і стандартів при Державному плановому комітеті СРСР. – Київ, 1971. 24 с.
13. Костюк В.А. Вторинні енергетичні ресурси та енергетично-технологічне поєднання. Переваги Костюк В.А. – Маріуполь : ПДТУ, 2003. 417 с.
14. Куперман Л.І. Вторинні енергетичні ресурси та енергетично-технологічне поєднання в промисловості. Переваги Куперман Л.І., Романовський С.А., Сіделковський Л.М. – 2-е вид., перероблене і доповнене – К.: Вища школа, 1986. – 303 с.
15. Симоненко Н.А. Вторинні енергетичні ресурси та енергетично-технологічне поєднання. Переваги Н.А. Симоненко, Л.І. Куперман. – К.: Вища школа, 1979. – 314 с.
16. Семененко Н.А. Вторинні енергетичні ресурси промисловості та енерготехнологічне поєднання. Переваги Семененко Н.А. – М. : Енергія, 1968. – 296 с.
17. Гольстрем В.А. Довідник з економії паливно-енергетичних ресурсів: довідкове видання / В.А. Гольстрем, Ю.Л. Кузнєцов. – К. : Техніка, 1985. 383 с..
18. Тугай А.М. Водопостачання : підручник / А.М. Тугай, В.О. Орлов. – К. : Знання, 2009. – 735 с.
19. Баланчевадзе В.І. Енергетика сьогодні і завтра. Переваги В.І. Баланчевадзе, А.І. Барановський. Москва, Видавництво «Енергоатоміздат», 1990. – 344 с.
20. Лісієнко В.Г. Хрестоматія енергозбереження: Довідник у 2-х томах. Випуск 1 / Лісієнко В.Г., Щелоков Ю.М., Ладигічев М.Г. – М. : Теплоенергетик, 2005. 234 с.

21. Промислова теплоенергетика і теплотехніка: Довідник / [ред. В.А. Григор'єва]. Москва, Видавництво «Енергоатоміздат», 1991. – 348 с.
22. Нікіфоров Б.І. Енергозбереження на металургійних підприємствах. Переваги Б.І. Нікіфоров, Г.В. Заславець. Магнітогорськ : МГТУ, 2000. 131 с.
23. Коваленко В.Л., Філобок А.А. Оцінка потенціалу використання вторинного гідроенергетичного ресурсу на прикладі металургійного підприємства] / В.Л. Коваленко, А.А. Філобок // Металургія: Наукові праці ЗДІА. – 2009. – ВІП.19. – С.23 – 25.
24. Методика розробки норм і нормативів водоспоживання і водовідведення з урахуванням якості споживаної і скиданої води в чорній металургії. – М. : МЧМ СРСР. – 1981. – 167 с.
25. Методика розроблення норм і нормативів водоспоживання та водовідведення з урахуванням якості спожитої та відведеної води у чорній металургії (II видання з доповненнями та змінами). – М. : МЧМ СРСР. – 1988. – 211 с.
26. Коваленко В.Л. Про оцінку потенціалу вторинного гідроенергетичного ресурсу підприємства. – 2009. – № 2. – С. 54 – 58.
27. Андоньєв С.М. Особенности промышленной воды: учеб. Переваги / Андоньєв С.М. – Київ: Будівельник. – 1981. – 246 с.
28. Бережінський А.І. Охолодження та очищення киснево-конвертерних газів. Переваги А.І. Бережінський, А.Ф. Циммерман. М., Укр., Металургія, 1975. – 316 с.
29. Андоньєв С.М. Випарне охолодження металургійних печей. Переваги / Андоньєв С.М. – М. : Металургія, 1970. 318 с.
30. Шейдлін А.Є. Нова енергетика: учебний. Переваги / Шейдлін А.Є. – М. : Наука. 1987. – 463 с. : іл.
31. Самойленко Є.Г. Гідроенергетичне обладнання гідро- і гідроакумуючих електростанцій. Ч. I. Основи теорії гідромашин : навч. посіб. / Є.Г. Самойленко. – З. : ЗДІА, 1999. – 104 с.

32. Віхорев Ю.О. Перспективи використання енергії водотоків технічних систем водопостачання і водовідведення / Ю.О. Віхорев, А.П. Ільяшенко // Проблеми загальної енергетики. – 2002. – № 7. – С. 29 – 33.
33. Васько П.Ф. Оцінка гідроенергетичного потенціалу водосховищ водогосподарського призначення на території України / П.Ф. Васько, Ю.О. Віхорев, Д.Ф. Озорін, В.П. Карев // Відновлювана енергетика. – 2009. – № 3. – С. 45 – 48.
34. Лабейш В.Г. Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії. Переваги Лабейш В.Г. – Санкт-Петербург. : ДТУ, 2003. 79 с.
35. Качан Ю.Г. Основи енергозбереження. Конспект лекцій для студентів усіх форм навчання спеціальності 7.000008 «Енергетичний менеджмент» / Качан Ю.Г. – Запоріжжя : ЗГІА, 2005. – 184 с.
36. Обрезкова В.І. Гідроенергетика / [за редакцією В.І. Обрезкової]. – М. : Енергоіздат, 1981. – 608 с.
37. Непорожного П.С. Гідроенергетика та комплексне використання водних ресурсів. Переваги [за редакцією П. С. Непорожного]. Москва, Видавництво «Енергоіздат», 1982. 559 с.
38. Юдасін Л.С. Енергетика: проблеми і надії. Переваги / Юдасін Л.С. – М. : Просвещение, 1990. 207 с.
39. Кожевнікова Е.М., Орлов В.Т. Методичні вказівки щодо виконання курсової та розрахунково-графічної роботи з курсу гідравліки. Ленінград: Изданіе ЛПИ ім. М. І. Калініна, 1985. 48 с.
40. Вербицький А.С. Інтегральні функції розподілу водовідведення. Інженерне забезпечення будівництва / А.С. Вербицький, А.Л. Лякмунд Expressinformation. М.: ВНИИС, 1986. – Вип. No 2. 210 с.