

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
КАФЕДРА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ ТІ ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ

Кваліфікаційна робота

другий магістерський

(рівень вищої освіти)

на тему Підвищення енергоефективності металургійного підприємства шляхом створення системи утилізації вторинного гідроенергетичного ресурсу

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1459
спеціальності 145 Гідроенергетика
(код і назва спеціальності)

спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)

освітньої програми Гідроенергетика
(назва освітньої програми)

А.В. Манжара
(ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н., доц. Радченко В.В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, підпис, ініціали та прізвище)

Рецензент д.т.н., проф. Банах В.А.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, підпис, ініціали та прізвище)

Запоріжжя
2020

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

д.т.н., проф. А.О. Чейлитко

« 14 » Грудня 2020 року

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




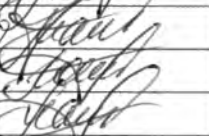

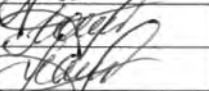

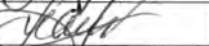
Манжарі Анастасії Віталіївні

(прізвище, ім'я, по батькові)

- 1 Тема роботи Підвищення енергоефективності металургійного підприємства шляхом створення системи 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 « 14 » вересня 2020 року № 1305-с
- 2 Строк подання студентом роботи 01 грудня 2020 р.
- 3 Вихідні дані до роботи Водотоки металургійного підприємства, основні технічні характеристики мікро ГЕС, діапазон витрат від 0,7 до 12 м³/с в межах напорів від 2,5 до 20 м, загальне водоспоживання 714907466 м³/рік.
- 4 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.
- 5 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 доменного цеху ПрАТ «Запоріжсталь». 5) Схема водоохолодження. 6) Характеристика оптимальної системи утилізації. 7) Охорона праці та техногенна безпека.

6 Консультанти розділів роботи

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

7 Дата видачі завдання 01.09.2020 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Теоретичні аспекти утилізації вторинного гідроресурсу	30.09.2020	
2	Розробка методики та алгоритму створення систем гідроенергетичної утилізації	30.10.2020	
3	Застосування алгоритму на прикладі доменного цеху підприємства	19.11.2020	
4	Охорона праці та техногенна безпека.	30.11.2020	

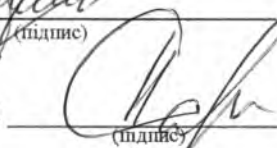
Студент


(підпис)

А.В. Манжара

(ініціали та прізвище)

Керівник роботи


(підпис)

В.В. Радченко

(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер


(підпис)

Ю.М. Каюков

(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Манжара А. В. Підвищення енергоефективності металургійного підприємства шляхом створення системи 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, кафедра теплоенергетики та гідроенергетики, 2020.

Визначено основні вимоги та обмеження для функціонування системи збору вторинних водотоків; розроблено алгоритм синтезу оптимальної системи утилізації вторинного гідроенергетичного ресурсу підприємства з урахуванням встановлених обмежень; застосовано алгоритм на прикладі реального об'єкта та проаналізовано отриманий результат.

Ключові слова: ВТОРИННІ ЕНЕРГОРЕСУРСИ, ГІДРОУТИЛІЗАЦІЯ, МІКРОГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, ПРОМИСЛОВЕ ПІДПРИЄМСТВО, ОПТИМАЛЬНИЙ ВАРІАНТ.

ABSTRACT

Manzhara A.V. Improvement of energy efficiency of metallurgical enterprise by creation of system of utilization of 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, Department of Thermal Power Engineering and Hydropower Engineering, 2020.

The main requirements and restrictions for the operation of the secondary water collection system are identified; the algorithm of synthesis of the optimum system of utilization of a secondary hydropower resource of the enterprise taking into account

the established restrictions is developed; the algorithm is applied on the example of a real object and the obtained result is analyzed.

Key words: SECONDARY ENERGY RESOURCES, HYDROUTILIZATION, MICROHYDROELECTROSTATION, INDUSTRIAL ENTERPRISE, OPTIMAL OPTION.

АННОТАЦИЯ

Манжара А. В. Повышение энергоэффективности металлургического предприятия путем создания системы утилизации вторичного гидроэнергетического ресурса.

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

Определены основные требования и ограничения для функционирования системы сбора вторичных водотоков; разработан алгоритм синтеза оптимальной системы утилизации вторичного гидроэнергетического ресурса предприятия с учетом установленных ограничений; применено алгоритм на примере реального объекта и проанализированы полученный результат.

Ключевые слова: ВТОРИЧНЫЕ ЭНЕРГОРЕСУРСЫ, ГИДРОУТИЛИЗАЦИЯ, МИКРОГИДРОЕЛЕКТРОСТАНЦИЯ, ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ, ОПТИМАЛЬНЫЙ ВАРИАНТ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ УТИЛІЗАЦІЇ ВТОРИННОГО ГІДРОРЕСУРСУ.....	11
1.1 Вторинні енергоресурси підприємств.....	11
1.1.1 Класифікація вторинних енергоресурсів.....	11
1.1.2 Використання води в промисловості.....	12
1.1.3 Вода як вторинний енергоресурс.....	20
1.2 Використання міні- та мікро ГЕС для утилізації гідроресурсу.....	22
1.2.1 Сучасний стан використання міні- та мікро ГЕС	22
1.2.2 Оцінка можливостей й обсягів гідроутилізації в Запорізькій області.....	23
1.2.3 Існуючі міні- та мікро ГЕС.....	25
2 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ТА АЛГОРИТМУ СТВОРЕННЯ СИСТЕМ ГІДРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УТИЛІЗАЦІЇ.....	34
2.1 Постановка задачі.....	34
2.2 Розробка методики та алгоритму створення систем утилізації вторинного гідроенергетичного ресурсу підприємства	35
2.3 Розробка імітаційної моделі	41
2.4 Особливості програмування алгоритму на ПК.....	51
3 ЗАСТОСУВАННЯ АЛГОРИТМУ НА ПРИКЛАДІ ДОМЕННОГО ЦЕХУ ПІДПРИЄМСТВА ПРАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ».....	54
3.1 Загальна характеристика ПрАТ «Запоріжсталь».....	54
3.2 Водовикористання доменного цеху.....	57
3.3 Методика визначення техніко-економічних показників системи гідроенергетичної утилізації	71
3.4 Приклад розрахунку техніко-економічних показників системи гідроенергетичної утилізації.....	76

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....	84
4.1 Характеристика небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища.....	84
4.2 Заходи з поліпшення умов праці	87
4.3 Технічні рішення по гігієні праці і виробничій санітарії.....	91
4.4 Захисні заходи з електробезпеки.....	94
4.5 Пожежна безпека.....	95
4.6 Засоби індивідуального захисту.....	97
ВИСНОВКИ.....	99
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	100
ДОДАТОК А	105

ВСТУП

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

Об'єкт дослідження - вторинні гідроенергетичні ресурси підприємства.

Предмет дослідження - система утилізації вторинного гідроенергетичного ресурсу підприємства.

Мета роботи – розробити алгоритм синтезу системи гідроенергетичної утилізації підприємства з урахуванням встановлених обмежень.

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

- визначити основні вимоги та обмеження для функціонування системи збору вторинних водотоків;
- розробити алгоритм синтезу оптимальної системи утилізації вторинного гідроенергетичного ресурсу підприємства з урахуванням встановлених обмежень;
- застосувати алгоритм на прикладі реального об'єкта (цеху) та проаналізувати отриманий результат.

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

Наукова новизна. У результаті теоретичних досліджень були знайдені нові наукові рішення. Встановлено показники, що впливають на функціонування ефективної системи гідроенергетичної утилізації та оптимізовано її структуру та параметри за економічним критерієм.

Практична цінність роботи полягає в розробці алгоритму синтезу системи утилізації вторинного гідроенергетичного ресурсу підприємства з урахуванням обмежень та економічної доцільності. За допомогою мови програмування C++ було написано програму виявлення такої системи гідроутилізації. Запропонований алгоритм було застосовано для доменного цеху ПрАТ «Запоріжсталь». Отримані в результаті розрахунку техніко-економічні показники свідчать, що утилізація вторинного гідроресурсу доменного цеху ПрАТ «Запоріжсталь» може дати значну економію коштів в разі вироблення власної електроенергії, у зв'язку з її низкою собівартістю – 1,4 грн/кВт·год. Можливий річний виробіток складе 1,421 млн. кВт·год. При цьому термін окупності капіталовкладень складе 3,7 роки.

Апробація роботи. Положення роботи викладені в збірнику тез:

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

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота включає вступ, чотири розділи, висновки, список використаної літератури з 43 позицій, додаток. Загальний обсяг 120 сторінок .

Для відводу вторинного тепла від технологічних агрегатів найчастіше використовується вода, як універсальний і доступний теплоносій, що має високу теплоємність та відносно низьку вартість. При цьому практично в будь-якій галузі промисловості використовується величезна кількість названого теплоносія.

Якщо відбір вторинної теплоти на комунальні й виробничі потреби відбувається хоча б частково, то потенційна енергія й енергія руху води безповоротно втрачаються. Перетворення останніх в електричну енергію, тобто утилізація надлишкового гідроресурсу (гідроутилізація), могло б істотно знизити споживання її з мережі та дозволило б виробляти власну електроенергію по відносно низькій собівартості. Але на сьогоднішній день відсутні методики

оцінки потенціалу невикористовуваного гідроресурсу і його параметрів, аналізу топології розміщення на підприємстві джерел теплоти, від чого залежить проектна потужність утилізуючого устаткування, та розробки топології розосередження електрогенеруючих пристроїв, які б водночас враховували обмеження на місця прокладання трубопроводів, обумовлені розташуванням, наприклад, заводського устаткування, та відповідали встановленим критеріям. До таких критеріїв можуть відноситись, наприклад, виявлення оптимальної системи утилізації гідроенергетичного ресурсу підприємства з максимальним виробітком електричної енергії та її собівартістю, яка б не перевищувала діючий тариф, або з мінімальними капітальними витратами на впровадження такої системи.

Очевидно, що розробка алгоритму синтезу систем утилізації вторинного гідроенергетичного ресурсу для будь-якого підприємства є актуальним питанням, особливо на тлі стрімкого зростання цін на енергоресурси й електричну енергію зокрема. Утилізація механічної енергії вторинних водотоків підприємств перетворенням її в електричну – перспективний напрямок в енергозбереженні, що підвищує ефективність використання теплових вторинних енергоресурсів.

1 ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ УТИЛІЗАЦІЇ ВТОРИННОГО ГІДРОРЕСУРСУ

1.1 Вторинні енергоресурси підприємств

1.1.1 Класифікація вторинних енергоресурсів

Підвищення ефективності роботи промисловості потребує підвищення якості та цінності всіх енергоносіїв, що нею використовуються [9]. Прогресивний напрямок і розвиток промисловості – створення безвідходних виробництв, за технологією яких використовуються всі елементи виробничого процесу, а також енергія реакції технологічних процесів для одержання корисної продукції.

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

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

- горючі (паливні) ВЕР - це утримуючі хімічно зв'язану енергію відходи технологічних процесів, невикористовувані або непридатні для подальшої технологічної переробки, які можна використати як котельно-пічне паливо;
- теплові ВЕР – це фізичне тепло відходящих газів, технологічних агрегатів, основної, побічної, проміжної продукції й відходів виробництва, теплота робочих тіл систем примусового охолодження технологічних агрегатів і установок, гарячої води й пари;
- ВЕР надлишкового тиску – потенційна енергія газів та рідин, що виходять із технологічних агрегатів з підвищеним тиском, який необхідно знижувати перед подальшим використанням цих газів чи рідин або викидом їх в атмосферу.

За напрямом можливого використання ВЕР розрізняють:

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

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

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

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

1.1.2 Використання води в промисловості

Використання води на охолодження агрегатів, після чого вона може бути використана як вторинний енергоресурс, відбувається в наступних технологічних процесах [2]:

- холодильники для охолодження сталевих смуг при термообробці на базі двофазних термосифонів;
- чавунні холодильні плити, виготовлені із продувкою стисненим повітрям і отжигом у ливарній формі;
- енерготехнологічний агрегат для нагрівання металу й виробітку пари енергетичних параметрів;
- модульні енерготехнологічні котли-утилізатори (КУ);
- установка випарного охолодження потужних нагрівальних печей із крокуючими балками й новими конструкціями шарнірних з'єднань;
- система охолодження захисного газу при світлій термообробці металу;

- пристрій для охолодження труб великого діаметра в процесі загартування;
- установка й технологія теплової підготовки робочих валків безперервних широкополосних станів гарячої прокатки;
- комплексна регульована система охолодження валків і смуги в межклетевих проміжках чистової групи клітей.;
- удосконалена система й технологічні режими охолодження сталевих валків зі спрямованим шаром зі швидкорізальної сталі;
- охолодження валків вертикальної й горизонтальної кліті стана;
- шарнірне з'єднання сферичного типу із застосуванням антифрикційних матеріалів;
- шарнірні з'єднання циліндричного типу зі здвоєним підшипниковим вузлом;
- удосконалена система охолодження прокатних валків стана при прокатці кольорових металів;
- охолодження машин безперервного лиття заготівель (МБЛЗ) з екрануванням заготівлі;
- система вторинного водоповітряного охолодження машин безперервного лиття заготівель;
- система випарного охолодження шахти доменних печей;
- двоконтурна система охолодження доменних печей з утилізацією тепла;
- автоматизований контроль герметичності охолоджуваних деталей (холодильники й повітряні фурми доменних печей);
- система випарного охолодження футерованих клапанів діаметром 1100 мм нової конструкції з використанням пари для підігріву повітря горіння;
- високотемпературний шахтний підігрівник кускової сировини з випарним охолодженням;
- шахтний холодильник обпаленого продукту;
- випарне охолодження мартенівських печей з підвищеними параметрами вироблюваної пари;

- охолоджувач конвертерних газів із природною циркуляцією;
- установка утилізації тепла спалювання колошникових газів відкритих феросплавних печей;
- охолодження феросплавного газу перед очищенням у трубчастих газоохолоджувачах з імпульсним очищенням;
- звід коробчатого типу із сітчастим кріпленням ізоляції для електросталеплавильних печей;
- комплексна теплоутилізаційна установка електросталеплавильної печі;
- теплоутилізаційні установки різних високотемпературних агрегатів;
- утилізація тепла печей плавки алюмінію для нагрівання повітря горіння й виробітки тепла теплофікаційних параметрів;
- новий теплообмінник для охолодження й нагрівання рідин (масел, води, емульсій, електролітів і ін.);
- контактний випарний теплообмінник;
- водоповітряна система охолодження валків;
- водоповітряна система охолодження ножиців слябінга;
- система емульсійноповітряного охолодження валків станів холодної прокатки;
- пристрій для загартування великогабаритних виробів, наприклад, молоткових штампів;
- кристалізатор і технологія виробництва безперервнолитих заготівель із округленими ребрами;
- установка повітряного охолодження масла;
- установки для утилізації ВЕР;
- установки повітряного охолодження води;
- водяні маслоохолоджувачі для електротрансформаторів;
- установка з використання пари системи випарного охолодження доменної печі.

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

доменних печах із внутрішнім обсягом від 250 до 5000 м³. Вапняк є флюсом, що сприяє сплавці й ошлакуванню порожньої породи руди. Необхідне для горіння повітря подається в піч повітродувками; перед надходженням у піч повітря проходить через повітронагрівачі. Для інтенсифікації процесу в доменну піч може подаватися кисень, одержуваний на спеціальній станції, а також природний газ.

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

Вода в доменному цеху при виплавці чавуну витрачається на зволоження шихти, охолодження доменних печей через холодильники і арматури повітронагрівачів, на пожежогасіння зливальних коробів СВО (на змочування колошникового пилю при вивантаженні з пиловловлювача), на охолодження та грануляцію шлаків, на циркуляцію насосів скіпової ями, на охолодження чавуну на розливних машинах і в підбункерних приміщеннях, на охолодження паць чавуну, на охолодження мульд верхньої й нижньої гілок конвеєра, а також на інші дрібні потреби [8].

Шихта воложитьься для зменшення виносу з доменної печі пиловатих часток руди, флюсів і коксу. Для цього звичайно використовується вода (0,5 м³ на 1 т виплавленого чавуну), що відробила в системі охолодження доменних печей.

Схема охолодження доменних печей може бути однозонною або двохзонною. При однозонному водопостачанні вся охолодна вода подається в холодильники доменної печі під одним загальним напором, достатнім для її надходження в найвищу точку. При двохзонном водопостачанні вода для нижньої частини печі (распар, заплічники, фурмена зона, горно й під) подається під одним (зниженим) напором, а для верхньої частини - під іншим (підвищеним) напором [25].

Останнім часом водопостачання великих доменних печей улаштовують однозонним. Як при однозонному, так і при двохзонном водопостачанні вода

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

Охолодження клапанів повітрянагрівачів (циліндричного спорудження у вигляді металевого кожуха, заповненого спеціальною кладкою з вогнетривкої цегли) має на меті захист клапанів від руйнування минаючими через них газами й повітрям, нагрітими до температури 800 °С і більше. Клапани служать для регулювання нагрівання повітря, що надходить від повітродувних машин у доменну піч; повітря нагрівається спалюванням очищеного доменного газу. Споживання води в доменному цеху на 1 т виплавленого чавуну (без урахування її витрати на грануляцію шлаків і розливання металу) становить близько 24 м³, у тому числі (3...4) % свіжої води. Основна кількість води (приблизно 95 %) витрачається на охолодження конструкцій і арматури і не одержує специфічних забруднень. Коефіцієнт годинної нерівномірності витрати води дорівнює 1,05 [17].

Водопостачання доменного цеху - оборотне; вода, що відробила, з холодильників печей і арматури повітрянагрівачів зливається в прийомні коробки й надходить для охолодження на градирні або в бризкальний басейн; охолоджена вода забирається насосами й знову подається в цех. Необхідний напір оборотної води в мережі доменних печей становить від 45 до 70 м залежно від корисного обсягу печі [3, 8].

Грануляція шлаків полягає в перетворенні їх з рідкого стану у твердий зернистий матеріал шляхом швидкого охолодження водою. Із гранульованих шлаків виготовляються жужільна цегла й цемент; шлаки можна використати й для інших цілей.

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

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

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

Напір води для розливних машин повинен бути 30 м.

Останнім часом у нашій країні й за рубежом широко впроваджується система випарного охолодження металургійних печей (доменних, мартенівських, електроплавильних, нагрівальних і вагранок [24]). При випарному охолодженні тепло від нагрітих елементів печі відводиться водою, що нагрівається до утворення пароводяної емульсії. При цьому використовується захована теплота пароутворення, тобто тепло, що відбирається охолодною водою, витрачається на її випар. У холодильники печі подається вода, звільнена від солей твердості й позбавлена корозійних властивостей. Одержувана пара використовується на технологічні потреби заводу.

При випарному охолодженні 1 кг води, випаровуючись, відбирає в охолоджуваній деталі 539 ккал. Крім того вода, що надходить у систему, нагріваючись до кипіння, відбирає ще 70 ккал. Щоб відібрати таку ж кількість тепла при водяному охолодженні при підвищенні температури води на $10 \text{ }^\circ\text{C}$

треба було б $(539+70)/10 \sim 60$ кг води, тобто в 60 разів більше, ніж при випарному охолодженні [31].

У схемі із примусовою циркуляцією вода з бака-сепаратора подається до деталі за допомогою спеціального насоса, при цьому тиск у системі може бути доведений до $(18 \dots 40)$ кгс/см².

Випарне охолодження має наступні переваги:

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

Дотепер системи випарного охолодження доменних печей резервуються пристроєм водяного охолодження, що викликає додаткові капіталовкладення [25].

Споживачі води в промисловості:

- охолодження доменних печей;
- охолодження металургійних печей;
- охолодження нагрівальних печей;
- охолодження феросплавних печей;
- охолодження електросталеплавильних печей;
- охолодження печей хімічних виробництв;
- охолодження гарячої сірчаної кислоти після контактного апарата або конденсатора;
- охолодження різних нафтопродуктів;
- охолодження конденсаторів;
- охолодження сорочок циліндрів двигунів внутрішнього згоряння;

– охолодження футеровки печей і т.д.

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

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

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

Так, наприклад, у металургії, як і в інших галузях, одержали широке розповсюдження системи випарного охолодження вузлів устаткування. Їхня основна перевага - економія живильної води в порівнянні із системами водяного охолодження за рахунок перетворення останньої у водяну пару високого тиску й температури, що, найчастіше, використовується не в повному обсязі через

недостатню кількість споживачів пари й труднощами його транспортування до місця споживання. Переклад устаткування на водяне охолодження різко підвищує витрату води (приблизно в 30 разів), однак, утилізація механічної енергії даного теплоносія шляхом перетворення її в електричну може істотно підвищити ефективність утилізації теплових ВЕР і збільшити можливості її реалізації іншим споживачам.

1.1.3 Вода як вторинний енергоресурс

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

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

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

Як правило, агрегати-джерела ВЕР розосереджені територіально, вироблені ними однотипні вторинні ресурси нерівномірні, як за часом виходу,

так і по параметрах. Наприклад, у більшості технологічних процесів металургії, хімічного, коксохімічного й іншого видів виробництв використовується величезна кількість води. Компонування устаткування таке, що вода подається примусово на різні рівні висоти й, потім, після використання в технологічному циклі зливаються за межі циклу, або перекачується назад у цикл. При цьому втрачається величезна кількість теплової й потенційної енергії рідини. Таких вторинних потоків з різних рівнів висот може бути сотні в межах одного підприємства. Ці потоки не стаціонарні й можуть бути незначні за обсягом для підбора стандартного утилізуючого устаткування.

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

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

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

У такий спосіб для підвищення ефективності утилізації теплових вторинних енергетичних ресурсів підприємства поряд з удосконалюванням системи обліку й планування їхнього використання необхідно вирішити ряд технічних і організаційних проблем. До них у першу чергу відноситься оцінка потенціалу невикористовуваного гідроресурсу і його параметрів, аналіз топології розміщення

на підприємстві джерел теплоти, від чого залежить проектна потужність утилізуючого устаткування, розробка топології розосередження електрогенеруючих пристроїв.

Для рішення цілого комплексу питань, пов'язаних з гідроутилізацією, як засобом підвищення ефективності використання вторинної теплоти, необхідно: розробити відповідні методики оцінки потенціалу теплових викидів і обсягів можливої гідроутилізації механічної енергії потоків охолодної води, методику вибору утилізуючого устаткування, виходячи з топології розміщення джерел теплових ВЕР; визначити місця раціонального розміщення використовуваних мікро ГЕС. І все це повинне підтверджувати економічну доцільність генерації такої електроенергії.

1.2 Використання міні- та мікро ГЕС для утилізації гідроресурсу

1.2.1 Сучасний стан використання міні- та мікро ГЕС

Одним з перших видів гідроелектростанцій є мікро ГЕС [23]. З початку 20-х років в Україні нараховувалося 84 гідроелектростанції загальною потужністю 4000 кВт, а наприкінці 1929 року - вже 150 станцій загальною потужністю 8400 кВт, серед них Вознесенська (840 кВт), Бузька (570 кВт), Сутиська (1000 кВт) та ін. 1934 року було введено в експлуатацію Корсунь-Шевченківську ГЕС (2650 кВт), яка за своїми технічними показниками була однією з найкращих станцій того часу.

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

На початку 50-х років кількість збудованих малих гідроелектростанцій в Україні становила 956 із загальною потужністю 30 тис. кВт. Однак через розвиток централізованого електропостачання та стійку тенденцію до

концентрації виробництва електроенергії на потужних тепло- та гідроелектростанціях будівництво малих ГЕС було зупинено. Почалась їх консервація, демонтаж, сотні малих ГЕС було зруйновано.

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

Створена ще в 40-х роках номенклатура мікрогідротурбін містила в собі усі основні види, що застосовуються й до тепер. Із збудованих в 50-ті роки в СРСР шести тисяч ГЕС більшість належала до розглянутої категорії. Саме вони забезпечували житлово-побутові та виробничі потреби багатьох сільських населених пунктів та невеликих промислових об'єктів. Таким чином, хоча ми і маємо, з точки зору зазначеної енергетики, багате історичне минуле, зараз її необхідно створювати знову [41].

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

1.2.2 Оцінка можливостей й обсягів гідроутилізації в Запорізькій області

Уявлення про можливості й обсяги гідроутилізації можна одержати, наприклад, з даних, наведених у таблиці 1.1.

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

Підприємство	Джерело води	Витрата, м ³ /с	Напір, м	Об'єм води, млн.м ³	Розрахункова потужність водотоку, кВт
ЗАТ «Запорізький залізорудний комбінат»	Скидання шахтних вод в Утлюкський лиман	0,57	12,40		58,84
	Ставок- накопичувач шахтних вод	-	1,80	1,80	1100,72
Запорізька ТЕС	Канал скидання	140,00	5,00	-	6867
КП «Водоканал»	Центральні очисні споруди	2,54	2,00	-	42,35
	Водопровідна станція №1	1,83	5,00	-	42,62
	Водопровідна станція №2	1,16	5,00	-	42,62

Дані взяті з кадастру технологічних водотоків Запорізької області, перспективних для створення об'єктів утилізації за допомогою установки міні- і мікро ГЕС. Кадастр розроблений відповідно до Регіональної програми енергозбереження. У таблиці розглянуті найбільші водотоки зазначених підприємств. Але на ЗЗРК, наприклад, багато технологічної води використовується усередині шахти, яка після застосування вже самопливом попадає на більш низькі обрії. Перепади між обр'їями можуть становити кілька десятків (до сотні) метрів, і навіть при невеликих видатках води розрахункові потужності водотоків виявляються значними [28, 41].

Аналогічна ситуація на комбінаті «Запоріжсталь», і на ТЕС. Рівні, на яких перебуває водоспоживаюче устаткування, різні, і скидання відпрацьованих потоків на більш низькі обрії також можуть бути використані для генерації електроенергії. Достатні для утилізації обсяги додаткових стоків є й на Водоканалі та інших підприємствах майже в будь-якій галузі. Практично місце будь-якого відбору із магістрального каналу в конкретні зрошувальні системи також придатне для встановлення мікро ГЕС.

У результаті частина електроенергії, використаної для створення напору й тиску в трубопроводах може бути повернута в мережу.

1.2.3 Існуючі міні- та мікро ГЕС

Сучасна гідроенергетика в порівнянні з іншими традиційними видами електроенергетики є найбільш економічним і екологічно безпечним способом одержання електроенергії. Мала гідроенергетика йде в цьому напрямку ще далі. Невеликі електростанції дозволяють зберігати природний ландшафт, навколишнє середовище не тільки на етапі експлуатації, але й у процесі будівництва. При наступній експлуатації відсутній негативний вплив на якість води: вона повністю зберігає первісні природні властивості [33]. У ріках зберігається риба, вода може використатися для водопостачання населення [26, 34]. На відміну від інших екологічно безпечних поновлюваних джерел електроенергії - таких, як сонце, вітер, - мала гідроенергетика практично не залежить від погодних умов і здатна забезпечити стійку подачу дешевої електроенергії споживачеві [19].

Ще одна перевага малої енергетики - економічність. В умовах, коли природні джерела енергії - нафта, вугілля, газ - виснажуються, постійно дорожчають, використання дешевої, доступної, поновлюваної енергії річок, особливо малих, дозволяє виробляти дешеву електроенергію. До того ж

спорудження об'єктів малої гідроенергетики низьковитратне й швидко окупається [21, 22].

Реалізація такого проекту з погляду екології не нанесе збитку навколишньому середовищу. Необхідно відзначити, крім цього, що реконструкція виведеної раніше з експлуатації малої ГЕС обійдеться в (1,5...2) рази дешевше.

Є успішний досвід експлуатації устаткування на перепадах уже існуючих гребель, каналів, систем водопостачання й водовідведення промислових підприємств і об'єктів міського господарства, очисних споруджень, зрошувальних систем і питних водоводів [27]. Основні технічні рішення, використані при створенні устаткування, виконані на рівні винаходів і захищені патентами. Устаткування виготовляється серійно, відрізняється високими техніко-експлуатаційними показниками й доступними цінами.

Для використання енергії водотоків технічних систем водопостачання та водовідведення може застосовуватися здебільшого обладнання модульних мікро ГЕС. Перевагою цього обладнання є його серійність, відносно невелика ціна (від 700 до 900 доларів США за кВт встановленої потужності), комплектність, простота монтажу.

Недоліком комплектних серійних мікро ГЕС є іноді спрощена система регулювання швидкості. За підвищених обертів (частоти) зайва потужність автоматично гаситься на балансовому навантаженні, яке одночасно в зимовий період підтримує температуру у приміщенні мікро ГЕС [28].

Широкому використанню енергії водотоків систем технічного водопостачання перешкоджає відсутність гідравлічних турбін для малих напорів – (1,5...3) м за досить великих витрат води – (2...10) м³/с. Лише останніми роками на ці потенційні енергоресурси звернули увагу в гідромашинобудуванні. Але переважно за кордоном. Наприклад, в Фінляндії освоєно виробництво гідротурбін з напорами (1,5...3,5) м, які почали застосовуватись в технічно-транспортних системах.

В Україні обладнання мікро ГЕС створюється здебільшого на напори, що перевищують 5 м. При роботі з припустимими напорами в діапазоні (3...5) м різко знижується ККД турбін, погіршуються можливості регулювання обертів.

Обирати обладнання з умов роботи в межі діапазонів низьких напорів у номінальних режимах недоцільно. Такої помилки припустилися при спробі використати агрегати 50 Пр на одній з вітчизняних систем. Турбінне обладнання на малі напори та значні витрати води в Україні та СНД найближчими роками буде вироблятися. Це важлива проблема, яка стримує утилізацію скидних вод [28].

Гідроагрегати для малих і мікро ГЕС, що випускають МНТО “ІНСЕТ”, призначені для експлуатації в широкому діапазоні напорів і витрат з високими енергетичними характеристиками й випускаються із пропелерними, радіально-осьовими й ковшовими турбінами. У комплект поставки входять, як правило, турбіна, генератор і система автоматичного керування гідроагрегатом. Проточні частини всіх турбін розроблені з використанням методу математичного моделювання.

Мала енергетика - це на сьогоднішній день найбільш економічне рішення енергетичних проблем для територій, що належать до зон децентралізованого електропостачання. Забезпечення енергією віддалених і енергодефіцитних регіонів вимагає значних витрат. І тут далеко не завжди вигідно використовувати потужності існуючої національної енергосистеми. Набагато економічніше розвивати потужності малої енергетики, економічний потенціал якої в Україні перевищує потенціал таких поновлюваних джерел енергії, як вітер, сонце й біомаса, разом узятих. Екологічність і економічність міні-енергетики вже давно привернули увагу іноземців. Мікро ГЕС працюють у Японії, Південній Кореї, Бразилії, Гватемалі, Швеції, Польщі [6, 7, 20].

Виходячи з особливостей конструкції й способу установки розрізняють вільнопроточні (використовувані в основному в руслах рік) і заглибні мікро ГЕС, представлені відповідно на рисунках 1.1 та 1.2.

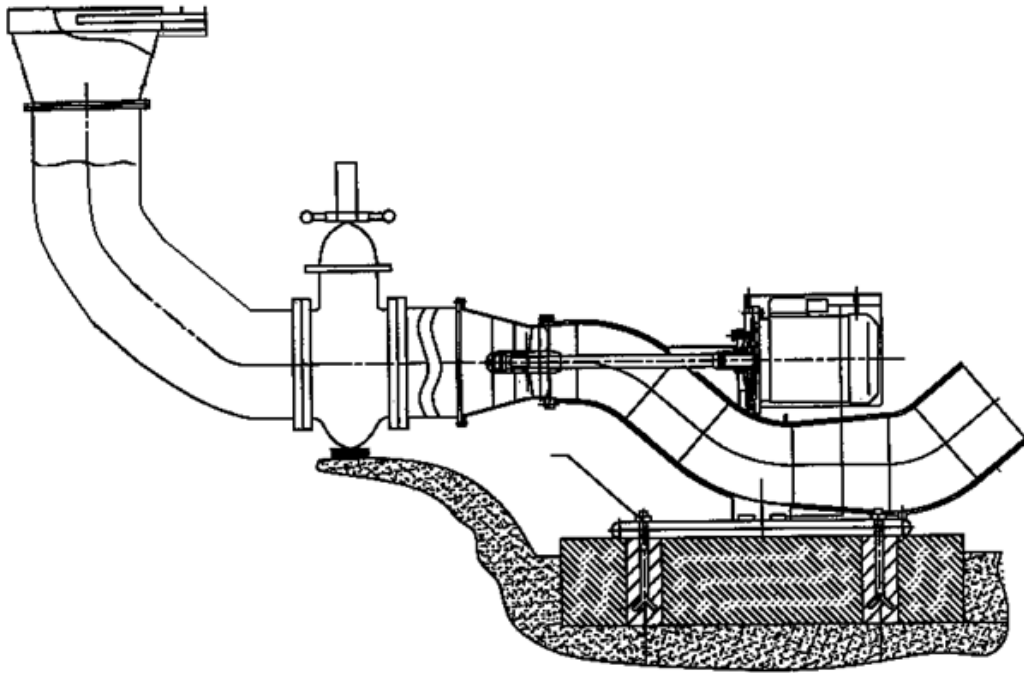


Рисунок 1.1 – Вільнопроточна мікро ГЕС

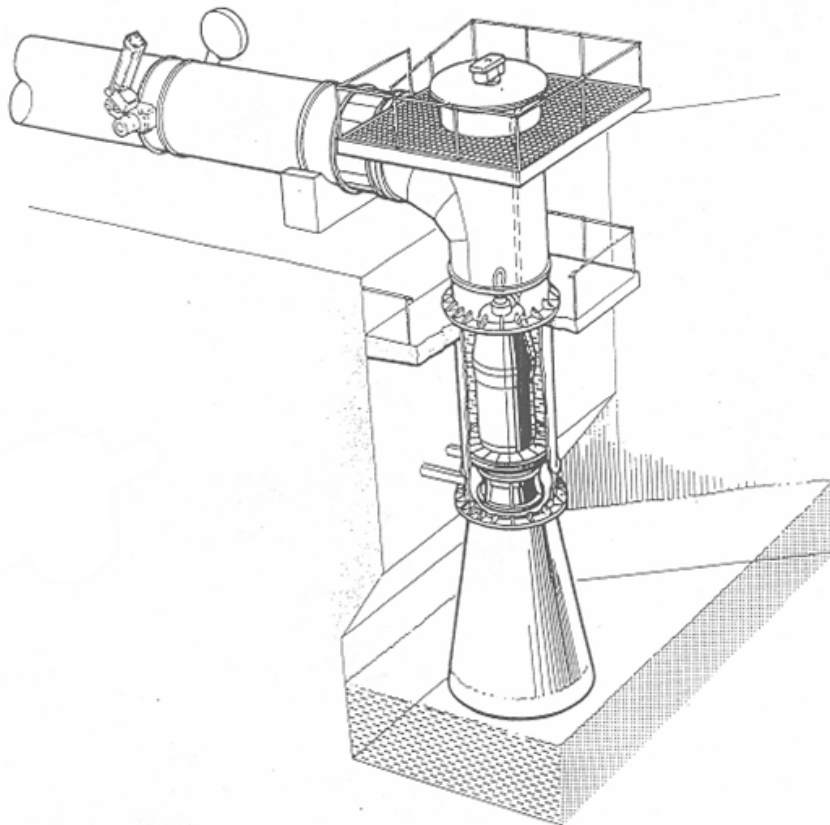


Рисунок 1.2 – Заглибна мікро ГЕС

Основні характеристики мікро ГЕС представлені в таблицях 1.2 та 1.3.

Таблиця 1.2 - Основні технічні характеристики мікро ГЕС із пропелерними турбінами

Параметри	Тип мікро ГЕС					
	Мікро ГЕС 10Пр		Мікро ГЕС 15Пр	Мікро ГЕС 50Пр		Мікро ГЕС 100Пр
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 ³ /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
Частота обертання, хв ⁻¹	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 із діагональною й ковшовою турбінами

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

Високоякісне, але досить дороге обладнання комплектних (вертикальних) мікро ГЕС виробляє шведська фірма Flugt. Воно характеризується високою економічністю, достатньою керованістю, спроможністю працювати паралельно з системою. Більш дешеве обладнання виробляється у Фінляндії фірмою Waterpumps Wp Oy.

Простіші, ніж у виробників країн СНД мікро ГЕС потужністю (10...100) кВт з турбінами, розробленими на основі лопатевих насосів, виробляє чеський завод "Долні Бенешов". Але використання у зворотних режимах насосних технологій спричиняє необхідність високих напорів (8...20) м. При регулюванні обертів використовується не лише дроселювання витрат води перед турбіною, а й використовуються гідравлічні керовані затвори на обхідному трубопроводі. Вони ж використовуються при виведенні мікро ГЕС з роботи.

Унікальні комплектні модулі МГЕС на напори від 1,3 м серійно виробляються фірмою SINK (Чехія). Вони використовуються в 15 країнах світу для утилізації енергії в системах водопостачання, в тому числі питної води (сертифіковані). Комплекти оснащуються досконалою мікропроцесорною системою автоматичного регулювання режиму водопостачання з урахуванням змінних гідравлічних втрат напору у водоводах, відсутності гідроударів і забезпечення максимальних ККД гідромашин. Комплектні модулі працюють паралельно з централізованою електромережею. Гідротурбіни безкавітаційні і водночас є аераторами води.

Слід відзначити відпрацьований оригінальний спосіб технології виробництва. Поперечноструйні турбіни (типу BANKI) виготовляються на основі п'яти базових (за діаметром) робочих колес, але з різною шириною, що дозволило майже без додаткових технологічних витрат виробляти понад 110 модифікацій гідромашин для застосування в конкретних умовах (задана зона напорів і витрат води), але з високими значеннями ККД і необхідної зони регулювання режиму. Нині ці гідромашини є найбільш конкурентоздатними.

На сьогодні цілеспрямована робота з обстеження та пошуку перспективних об'єктів неможлива здебільшого через фінансові та організаційні

труднощі. Втім, зацікавленість у проблемі часткового самоенергозабезпечення у підприємств починає зростати. Отже, є можливість появи конкретних напрацювань у цій сфері [28].

Гідротурбогенератори Flugt є стандартними виробами і їхньою модульною конструкцією дозволяє пристосувати їх практично до всіх експлуатаційних умов у діапазоні витрат від 0,7 до 12 м³/с і в межах напорів від 2,5 до 20 м для виробітку номінальної потужності від 40 до 710 кВт.

Заглибна мікро ГЕС - це така ГЕС, у якій використовуються заглибні, тобто розташовувані під водою гідроагрегати.

Такі мікрогідроелектростанції виробляє шведська фірма Flugt. Заглибні гідротурбогенератори Flugt являють собою агрегати, що складаються з полуповоротно-лопастної турбіни, трифазного асинхронного генератора й, при необхідності, планетарного редуктора з більшим терміном служби. Ці компактні закриті турбоагрегати виключають необхідність у довгих валах, звичайних силових передачах і верхній будові будинку ГЕС. Такий гідротурбогенератор працює в повністю зануреному стані в простій вертикальній колоні й утримується на місці своєю власною масою. Він прохолоджується навколишньою водою й може бути легко опущений і піднятий для установки й технічного обслуговування.

Принцип установки. Заглибні гідротурбогенератори призначені для установки у вертикальному положенні зі спеціальною трубою турбіни на фланцевому сідлі з утриманням під дією власної маси без постійного кріплення. Самі маленькі моделі, EL 7556 і EL7570, а також типи EL7585 і EL7600, із прямим приводом можуть бути також установлені горизонтально або під нахилом. Базова труба турбіни може бути приєднана до ряду інших настановних модулів, наприклад, до труб, турбінних водоводів і лотків, обраним з урахуванням існуючих на місці умов.

Для реалізації проектів гідроутилізації в рамках підприємства переважніше використати останні, тому що вони більш маневрені з погляду монтажу й підключення до мережі. На жаль, поки немає українських аналогів

подібних агрегатів, мабуть, у зв'язку з відсутністю їхній розглянутого застосування. Але при державній підтримці й належному відношенні до питань енергозбереження, ситуація може радикально найближчим часом змінитися.

З вищевикладеного можна сказати, що кількість утилізованої механічної енергії технічної води, використовуваної для охолодження, істотно підвищує енергоефективність підприємства, тобто електрична енергія, одержувана шляхом утилізації надлишкового гідроресурсу, могла б значно знизити витрати підприємства на енергію.

Підсумовуючи перший розділ можна відмітити, що вода широко застосовується для охолодження конструктивних елементів вогнетехнічних установок, а також у ряді виробничих процесів, що протікають при низьких температурах, для штучного охолодження технологічного продукту або апаратури.

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

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

З огляду на великі обсяги води, кількість наявної в ній механічної енергії буває часто більшою за теплову. Якщо відбір вторинної теплоти здійснюється на комунальні й виробничі потреби хоча б частково, то потенційна енергія й енергія руху води безповоротно втрачаються. Очевидно, що перетворення останніх в електричну енергію, що є, по суті, утилізацією надлишкового гідроресурсу

(гідроутилізацією), могло б істотно знизити споживання електроенергії на транспортування води й, отже, підвищити економічну ефективність утилізації, власно, теплоти.

У більшості технологічних процесів металургії, хімічного, коксохімічного й іншого виробництв компонування устаткування таке, що охолодна вода подається примусово на різну висоту, а, потім, несучи із собою тепло від технологічного устаткування, зливається за межі циклу, або перекачується в нього назад.

Кількість таких технічних потоків води на підприємствах може бути дуже великою. Як правило вони не стаціонарні, що також ускладнює утилізацію гідроенергії водотоку й підбор утилізуючого устаткування. Зазначеною проблемою зараз практично не займаються, пов'язані з нею питання вивчені недостатньо й вимагають подальшого поглибленого вивчення.

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

Для рішення цілого комплексу питань, пов'язаних з гідроутилізацією, як засобу підвищення ефективності використання вторинної теплоти, необхідно: розробити відповідні методики оцінки потенціалу теплових викидів і обсягів можливої гідроутилізації механічної енергії потоків охолодної води, методику вибору утилізуючого устаткування, виходячи з топології розміщення джерел теплових ВЕР; визначити місця раціонального розміщення використовуваних мікро ГЕС. І все це повинне підтверджувати економічну доцільність генерації такої електроенергії.

2 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ТА АЛГОРИТМУ СТВОРЕННЯ СИСТЕМ ГІДРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УТИЛІЗАЦІЇ

2.1 Постановка задачі

Утилізація вторинного гідроенергетичного ресурсу передбачає створення системи збору технічної води у вигляді трубних конструкцій і, звісно, встановлення самого утилізуючого устаткування – турбіни й приводимого нею в обертання генератора. Кількість сумарної одержуваної потенційної енергії водотоку визначається топологією розосередження джерел вторинної води та конфігурацією системи збору. Отже, поєднувати використовувані потоки води з охолоджуваних елементів устаткування необхідно за принципом найменшої втрати напору, тому що саме напір є визначальним енергетичним параметром водотоку, виходячи зі сталості його витрати. Варто також відзначити, що коли висота, з якої відпрацьована вода відводиться з технологічного циклу, відповідає нульовій позначці по відношенню до утилізуючого устаткування, то потенційна енергія такого потоку наближається до нуля, навіть якщо витрата її величезна. У такому випадку водотік для гідроенергетичної утилізації інтересу не представляє.

Очевидно також, що для вироблення електричної енергії може бути використана тільки та вторинна вода, що відповідає вимогам, встановленим заводами-виготовлювачами мікро ГЕС: припустимий перепад температур становить від -5°C до $+45^{\circ}\text{C}$, розмір суспензованих часток – до 0,03 м.

Після визначення об'ємів можливої гідроутилізації механічної енергії потоків охолоджувальної води необхідно виявити найкоротші шляхи між існуючими джерелами вторинних водотоків та можливим центром збору гідроенергетичного ресурсу. При цьому також треба враховувати, що на маршруті пролягання шляхів таких систем можуть перебувати перешкоди у вигляді, наприклад, заводського устаткування. Таким чином необхідно проаналізувати всі комбінації об'єднання джерел вторинної води у можливі

центри збору гідроресурсу і визначити місця розташування утилізуючого устаткування, яке б виробляло максимальну кількість електричної енергії (W_o) за умови величини її собівартості (C_c), що не перевищує діючий тариф (C_{ee}).

Отже, алгоритм синтезу систем утилізації вторинного гідроенергетичного ресурсу підприємства повинен включати оцінку об'ємів можливої гідроутилізації механічної енергії потоків води, що використовується для охолодження, визначення параметрів та компоновки системи збору останньої в обрані центри, виходячи з топології розміщення джерел водотоків, та вибір утилізуючого устаткування. І все це повинне бути обґрунтовано економічною доцільністю генерації такої електроенергії. На виході алгоритму необхідно отримати параметри оптимальної системи гідроенергетичної утилізації з визначальним критерієм: $W_o \rightarrow \max, C_c \leq C_{ee}$.

2.2 Розробка методики та алгоритму створення систем утилізації вторинного гідроенергетичного ресурсу підприємства

Основним і найбільш складним питанням у завданні створення оптимальної системи утилізації гідроенергетичного ресурсу є синтез топології системи збору вторинних потоків, від якого прямо залежить ефективність розглянутої утилізації. Для рішення поставленого завдання розробимо відповідну математичну модель у вигляді алгоритму. Основою алгоритму по визначенню оптимальної топології системи збору й генерації електричної енергії стає визначення найкоротшого шляху між існуючими джерелами вторинних водотоків та можливим центром збору гідроенергетичного ресурсу, що перебуває на деякій відстані. При цьому також необхідно враховувати, що на маршруті пролягання шляхів таких систем можуть перебувати перешкоди у вигляді заводського устаткування та ін.

Існує декілька розроблених раніше алгоритмів визначення найкоротшого шляху між двома крапками на координатній площині, такі як: хвильовий алгоритм Лі; маршрутні алгоритми, засновані на обчисленні відстані між крапками й на рекурентному співвідношенні; алгоритм A^* , Дійкстри і т.ін. []. До основних їх недоліків можна віднести: непристосованість до роботи в тривимірному просторі, а також велика кількість операцій обчислень і, відповідно, збільшений час розрахунку. Із чого випливає, що для поставленого завдання вони є неприпустимими.

Для знаходження найкоротшого шляху між елементами системи збору гідроресурсу із урахуванням накладення обмежень на місця розташування можливих маршрутів розроблений оригінальний алгоритм, що працює в тривимірному просторі та враховує специфіку поставленого завдання. За допомогою його можна з достатньою ймовірністю знаходити мінімальну відстань у просторі з будь-якою кількістю перешкод. Принцип його роботи заснований на розбивці простору цеху («накладенні сітки») на куби з деяким мінімально припустимим розміром грані Δ , що приводить до подання об'єму приміщення у вигляді масиву точок («вузлів сітки простору»). Для підвищення ефективності роботи алгоритму застосовується «відсіювання» утворених вузлів, що входять у неприпустиму зону розташування елементів системи збору гідроресурсу за допомогою застосування сигнатурної функції [28]. Потім генерується безліч маршрутів між двома крапками. Якщо хоча б одна крапка маршруту попадає в неприпустиму зону, то він виключається із розрахунків. Принцип знаходження його довжини полягає в наступному. Порівнюються між собою координати попереднього $(x_n; y_n; z_n)$ і послідуєчого $(x_{n+1}; y_{n+1}; z_{n+1})$ вузлів сітки простору, що утворюють даний маршрут. Якщо змінюється лише 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 величина відрізка $l_{\Delta i} = \Delta$; якщо дві, 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 $|x_{n+1} - x_n| = 0$, $|y_{n+1} - y_n| = \Delta$, $|z_{n+1} - z_n| = \Delta$, то $l_{\Delta i} = \sqrt{2} \cdot \Delta$; якщо три, тобто $|x_{n+1} - x_n| = \Delta$,

$|y_{n+1} - y_n| = \Delta$, $|z_{n+1} - z_n| = \Delta$, то $l_{\Delta i} = \sqrt{3} \cdot \Delta$. У результаті підсумовування складових відрізків $l_{\Delta i}$ визначається довжина кожного з маршрутів й обирається найкоротший. Дана послідовність дій є частиною алгоритму визначення оптимальної системи збору гідроенергетичного ресурсу.

Загалом, цикли перебору алгоритму забезпечують розгляд всіх можливих ситуацій на об'єкті гідроенергетичної утилізації. Крім визначення найкоротших маршрутів пролягання трубопроводів системи збору з урахуванням обмежень, також визначаються місця розташування утилізуючого устаткування, з кількістю центрів збору від 1 до m і враховуються комбінаторні варіації об'єднання джерел вторинної води. У результаті, на виході алгоритму одержуємо параметри оптимальної системи гідроенергетичної утилізації з визначальним критерієм: $W_o \rightarrow \max, C_c \leq C_{ee}$.

Розглянемо докладніше порядок дій, представлений у функціональних блоках запропонованого алгоритму.

Введення загальної характеристики об'єкта гідроенергетичної утилізації (цеху) – його геометричних розмірів ($x_o; y_o; z_o$) та кількості джерел вторинної води (n) – відбувається у першому блоці.

Наступним кроком стає визначення характеристик джерел вторинної води, припустимих для утилізації гідроресурсу та генерації електричної енергії. В даному алгоритмі це реалізовано в блоках 2-11 за допомогою циклу, в тілі якого відбувається аналіз характеристик водотоку кожного джерела. Необхідність цього обумовлена технічними вимогами до встановлення мікро ГЕС: припустимий перепад температур становить від -5°C до $+45^\circ\text{C}$, розмір суспензованих часток – до 3 мм. Також має значення на якій висоті розміщено джерело вторинної води. Для реалізації проекту гідроутилізації необхідне її значення становить $\geq 1,5$ м, що визначається габаритами мікро ГЕС та гідравлічним нахилом, який вимагає система транспортування гідроресурсу до центра збору. Таким чином здійснюється визначення додатних для гідроутилізації джерел вторинної води та створення масиву їх характеристик. Водночас в циклі відбувається їх підрахунок за допомогою лічильника j . Тому

якщо джерел, які б відповідали вказаним вимогам, не знайшлось, тобто $j = 0$, то встановлення системи гідроутилізації на такому об'єкті є неприпустимим (блоки 12-13).

«Накладення координатної сітки» на об'єм цеху із заданим кроком Δ та формування множини точок простору («вузлів координатної сітки») M_a ; $\overline{a = 1; k}$ здійснюється в блоках 14-16. Тут k – кількість вузлів сітки простору, шт

$$k = (x_o/\Delta + 1) \cdot (y_o/\Delta + 1) \cdot (z_o/\Delta + 1).$$

В наступних блоках визначається кількість можливих центрів збору та за допомогою циклу утворюється масив відповідних їм координат $(x_u; y_u; z_u)$. Далі аналогічно утворюється масив координат заборонених вузлів простору $(x_z; y_z; z_z)$, тобто місцезнаходження, наприклад, заводського устаткування, що являє собою перешкоди для проведення шляхів від джерел вторинної води до центрів збору. Потім, генерується множина комбінацій об'єднання джерел вторинних водотоків, називана композицією. У теорії чисел композицією натурального числа називається його подання у вигляді впорядкованої суми натуральних доданків. Доданки, що входять у композицію, називають частинами, а їхня кількість - довжиною композиції. Кількість варіантів композиції числа джерел: $p = 2^{m-1}$. Далі здійснюється відбір тих комбінацій, довжина яких відповідає кількості центрів збору: $\overline{O_{ц} = 1; p}$. Наприклад, при кількості джерел рівному 4 і 2-х центрах збору маємо: $r = 2^{4-1} = 8$, тобто існує 8 комбінацій об'єднання джерел вторинної води:

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

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

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

$$4 = 1 + 3;$$

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

$$4 = 2 + 2;$$

$$4 = 3 + 1;$$

$$4 = 4.$$

Із цієї послідовності вибираються ті, довжина яких дорівнює від 1 до 2:

$$4 = 1 + 3;$$

$$4 = 2 + 2;$$

$$4 = 3 + 1;$$

$$4 = 4.$$

Однак, з огляду на те, що усередині кожної комбінації існують ще декілька переборів варіантів, то їхня загальна кількість збільшується. Дана особливість заснована на застосуванні методу побудови дерев і враховується в поставленому завданні.

Далі відбувається безпосереднє обчислення всіх можливих комбінацій моделювання системи утилізації гідроенергетичного ресурсу та виявлення оптимальної з них, тобто найбільш енергоефективної за умови економічної доцільності. В алгоритмі це реалізовано за допомогою вкладених циклів: зовнішній являє собою перебір виявлених комбінацій, у ньому, в свою чергу, ведеться розрахунок по черзі щодо кожного центра збору за допомогою внутрішнього вкладеного циклу перебору всіх джерел вторинної води. У тілі останнього відбувається побудова всіх можливих шляхів від джерела до центра збору. При цьому розглядається напрямок руху як по гранях умовних кубів простору, що дорівнюють Δ , так і по діагоналях – малій ($\sqrt{2} \cdot \Delta$) і великій ($\sqrt{3} \cdot \Delta$). Далі «відсіюються» неможливі маршрути шляхом підстановки координат належних їм точок у сигнатурну функцію, запропоновану в [18] для аналітичного розпізнавання неприпустимих місць розташування елементів системи збору гідроресурсу. Якщо виявляється, що хоча б для однієї з точок маршруту виконується умова $\varphi_{\mu}(\vec{x}_j) = 1$, то останній виключається з подальших розрахунків. Для тих маршрутів, що залишились, здійснюється прорахунок відстаней між сусідніми їх точками, визначення шляхом підсумовування складових відрізків довжин маршрутів та виявлення найкоротшого з них, як це було описано вище.

Розрахунок діаметра трубопроводу для забезпечення необхідної пропускної здатності та вибір стандартного значення здійснюється в блоці 6.

При протіканні води по трубопроводах відбувається втрата напору по довжині. Для визначення її величини розраховується значення швидкості водотоку, відповідне прийнятому стандартному діаметру трубопроводу. З урахуванням втрат виявляється напір на кожному джерелі вторинної води.

Також в тілі циклу відбувається підсумовування витрат води кожного з джерел, що об'єднуються до одного центру збору гідроресурсу. За встановленими напором та витратою обирається прийнятна мікро ГЕС для кожного центру збору. Потім визначаються капітальні витрати на впровадження системи збору гідроресурсу, що включають вартість трубопроводів та устаткування і витрати на їх монтаж, а також щорічні амортизаційні відрахування. Їх величина визначається, як сума добутків вартості обладнання та норми амортизаційних відрахувань, що складає 24 % для мікро ГЕС та 8 % для труб. Витрати на поточний ремонт і утримання основних засобів визначають у відсотках (10 %) від суми амортизаційних відрахувань.

Потім, здійснюється розрахунок можливої кількості згенерованої електричної енергії за рахунок гідроенергетичної утилізації й далі, її собівартості, що перевіряється на задовільнення обмеженням вирішуваної задачі: собівартість виробленої електричної енергії повинна бути меншою за її ринкову (з мережі) вартість $C_c \leq C_{ee}$. Після перебору всіх комбінацій O_{ij} з масиву даних обрається варіант з максимальним виробітком електричної енергії $W_o \rightarrow \max$, що задовольняє зазначеним обмеженням.

Потім визначається складний термін окупності, що відповідає значенню кумулятивного грошового потоку $KГП_g = 0$, де g – номер року роботи устаткування. Величина $KГП$ формується на кінець кожного року шляхом додавання до вкладених капітальних витрат щорічної економії коштів, отриманої за рахунок генерації власної електричної енергії, з урахуванням ставки дисконту. Відповідно до [32] термін окупності енергетичного устаткування не повинен перевищувати 6,6 року.

Далі виводяться параметри оптимального варіанта топології системи збору гідроенергетичного ресурсу: довжини l та діаметри d спроектованих трубопроводів, кількість n та координати $(x_u, y_u, z_u)_n$ обраних центрів збору, тип мікро ГЕС, капіталовкладення на впровадження проекту K_o , річний виробіток W_o та собівартість C_o електричної енергії.

Таким чином, запропонований алгоритм дозволяє визначити оптимальну топологію системи гідроенергетичної утилізації промислового підприємства (цеху), враховуючи вимоги до розташування генеруючого устаткування та особливості розміщення заводського обладнання, виходячи з економічного критерію відбору.

2.3 Розробка імітаційної моделі

Імітаційна модель в загальній інтерпретації – це логіко-математичний опис об'єкту, який створюється з метою експериментування, аналізу та оцінки його функціонування на стадії проектування. Вищезазначена модель дозволить визначати енергетичні характеристики водотоку в будь-якій точці простору підприємства (цеху) з урахуванням гідродинамічних особливостей рідини. Необхідність синтезу такої системи пов'язана з неможливістю проведення в повному обсязі експериментів на реальному об'єкті, а також досить значною вартістю їх реалізації. Також, розробка математичної моделі системи утилізації гідроенергетичного ресурсу необхідна для визначення енергетичних і техніко-економічних показників останньої з метою аналізу доцільності її впровадження.

Як було визначено вище, складовою частиною моделі СГЕУ стануть стохастичні генератори величин витрати води з окремих джерел, математична послідовність, що враховує віддаленість останніх від умовних центрів збору гідроенергоресурсу, а також фактори, що враховують специфіку конфігурації системи збору вторинної води. Вихідні дані для розрахунку приймаються на

основі роботи зазначених генераторів, які виробляють корельовані значення витрати технічної води Q_{kiy} при стохастичному (випадковому) характері споживання. Фізично, вся система буде складатися із з'єднуючих трубопроводів і обладнання, що утилізує потенціал гідроенергетичного ресурсу, а саме турбіни і електрогенератора у складі відповідної мікро-ГЕС, що підбирається виходячи із розрахункової потужності водотоку, який буде в розглядуваній точці збору.

Крім того, існує ряд взаємопов'язаних між собою факторів, які впливають на енергетичні показники системи гідроенергетичної утилізації і мають суттєве значення для вищезгаданого моделювання. До них, в першу чергу, відносяться: місцеві та по довжині втрати напору потоків кожного з джерел, характер руху рідини (ламінальний або турбулентний), швидкість водотоку і таке інше. Тому для більш точного прогнозування параметрів водотоку дані величини потребують їх врахування в моделі СГЕУ. Математична послідовність описання останньої представлена у вигляді алгоритму, блок-схему якого зображено на рисунку 2.1. В цілому, алгоритм забезпечує можливість прогнозування параметрів потоку в будь-якій точці простору системи збору вторинної води, для чого передбачено три цикли перебору: за джерелами, центрами збору, та за часом прогнозування.

В 1 блоці проводиться введення кількості, параметрів і координат елементів об'єкта гідроенергетичної утилізації (цеху): джерел вторинної води; центрів збору гідроресурсу; а також перелік обладнання для використання в якості системи збору. У наступному обчислювальному блоці 2 відбувається генерація послідовності витрат кожного з джерел і з даного масиву відбираються максимальні значення для розрахунку елементів системи збору гідроенергоресурсу.

Форма поперечного перерізу труб і колекторів водовідвідних мереж вибирається, виходячи з гідравлічних, технологічних і будівельних вимог. Найбільш економічна форма поперечного перерізу - кругла. Такі труби зручні в експлуатації і тому набули найбільшого поширення.

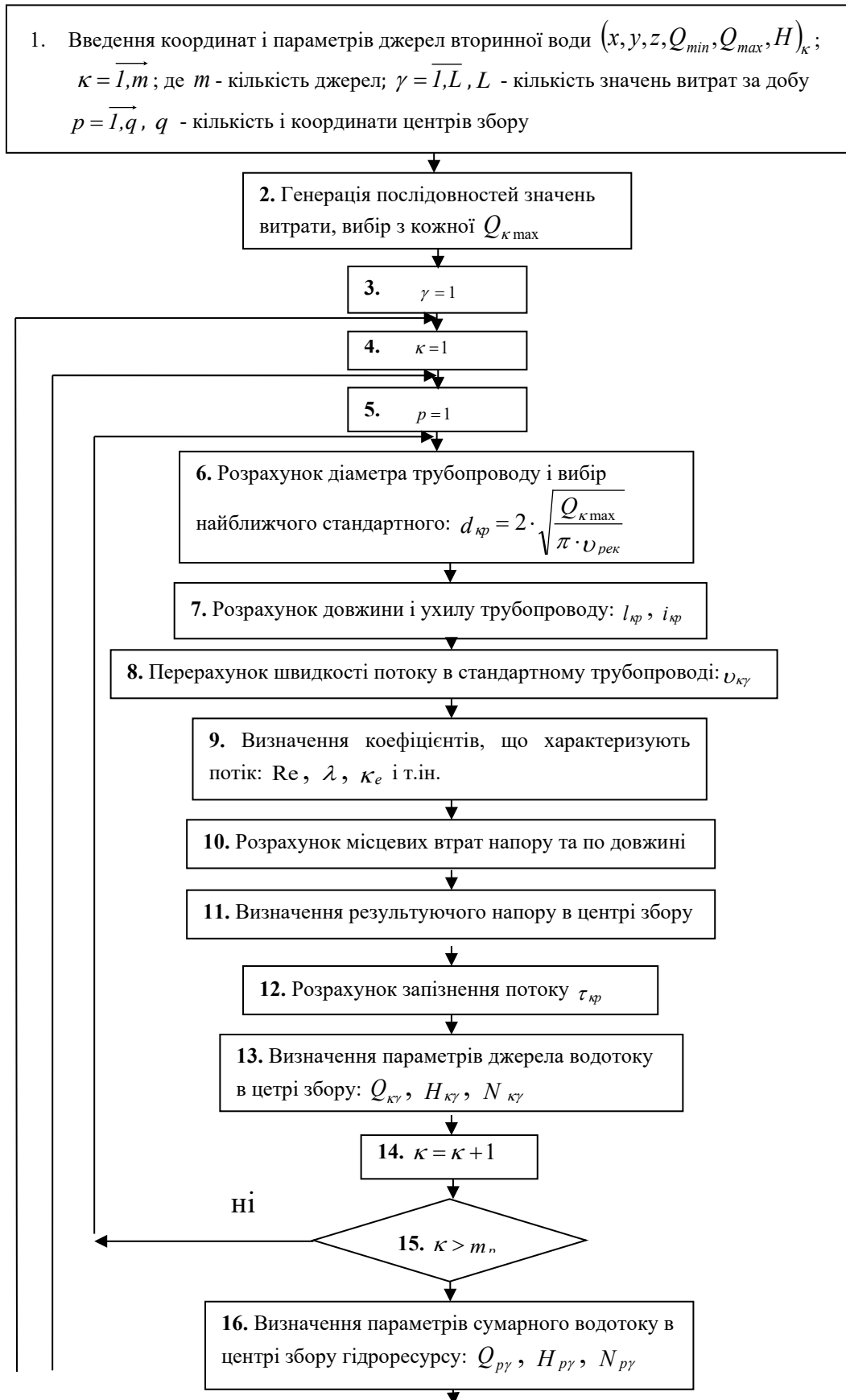


Рисунок 2.1 - Математична модель системи збору вторинних гідроенергетичних ресурсів промислового підприємства

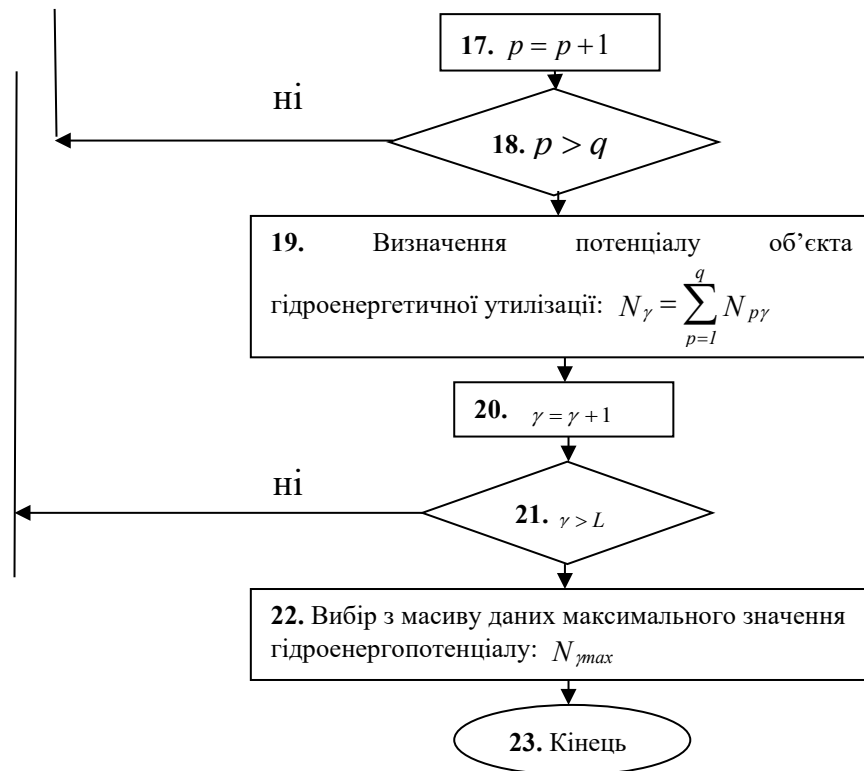


Рисунок 2.1, лист 2.

Попередній розрахунок їх діаметра, що забезпечує необхідну пропускну спроможність проводиться в блоці б за виразом, м

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

де $Q_{к\max}$ - величина максимальної витрати для даного джерела; $v_{к}$ - швидкість руху рідини в трубопроводі (для безнапірного руху дослідним шляхом визначена швидкість водотoku [15,16] $v_{к} = (0,1 \dots 0,3)$ м/с, для напірного $v_{к} = (1,1 \dots 1,3)$ м/с.

Виходячи з розрахованого діаметра $d_{кр}$ з номенклатури стандартних вибирається найближчий, але більший за діаметром трубопровід.

В наступному блоці відбувається розрахунок відстані $l_{кр}$ між джерелами і центрами збору за їх заданими 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 і x_p, y_p, z_p - координати джерел і центрів збору, відповідно.

Ухили водовідвідної мережі слід обчислювати за формулами Дарсі або Шезі. Мінімальний ухил трубопроводів знаходять за формулою [35], м

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

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

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

$$i_{\min} = 1/d_{kp}. \quad (2.4)$$

В блоках 8, 9 визначаються характеристики потоку рідини в трубопроводі швидкість руху води з урахуванням останніх, м/с

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

де $\sqrt{\frac{8 \cdot g}{\lambda}} = C$ - коефіцієнт Шезі (визначається за формулою

Павловського [25], в.о.

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, ω - площа поперечного перетину потоку, χ - змочений периметр, i - гідравлічний ухил.

Площа поперечного перетину потоку визначається як, м²

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

де φ - кут між повздовжньою віссю трубопроводу і точкою дотику вільної поверхні води, h - глибина заповнення трубопроводу.

Змочений периметр знаходимо згідно з виразом, м

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

Для визначення останнього попередньо необхідно обчислити кут φ , радіан

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

де α - кут між перпендикуляром, опущеним з повздовжньої вісі трубопроводу на його внутрішню стінку, і точкою дотику вільної поверхні води.

Останній визначається із співвідношення

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

Складність розрахунку швидкості потоку полягає в невизначеності глибини останнього в трубопроводі при безнапірному русі рідини. Методику

визначення рівня заповнення водою [56] реалізовано з використанням модуля витрати. Оскільки в літературі для знаходження такого рівня $\frac{h}{d_{кр}}$ за відомим відношенням модуля витрати K до реальної миттєвої витрати $Q_{кγ}$ приведено лише допоміжні графіки (див. рис. 2.2), то для машинного обчислення вищезазначеної величини спочатку треба отримати функцію, яка описує дану залежність.

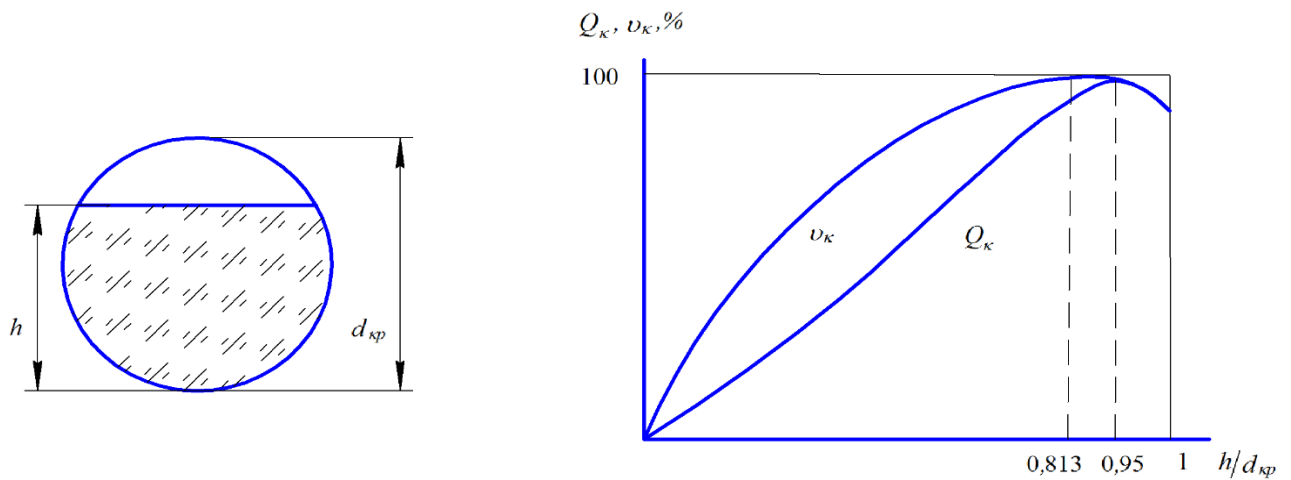


Рисунок 2.2 - Графіки залежності швидкості потоку і витрати від наповнення трубопроводу

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

Для математичного опису вищезазначених залежностей було застосовано інтерполяційний поліном Лагранжа, що дозволяє побудувати функцію на основі існуючих точок, які представлені в таблиці 2.1.

Лагранж запропонував такий спосіб обчислення рівняння, м

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

Таблиця 2.1 - Дані для визначення функції інтерполяцією поліномом Лагранжа

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

де базисний поліном 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 обчислень було побудовано ідентичний з приведеним в літературному джерелі графік, що свідчить про придатність визначеної таким чином функції для вищезазначених розрахунків.

Блок 10 призначений для розрахунку як місцевих, так і по довжині втрат напору, який напряму залежить від характеру руху води в трубопроводі: характеристикою режиму потоку вторинної води служить величина безрозмірного критерія Рейнольдса, який показує співвідношення між силами в'язкості і інерції при русі рідини: $Re = v \cdot d / \nu$, при $Re < Re_{кр}$ - рух ламінарний, при $Re > Re_{кр}$ - турбулентний. В розрахунках для циліндричних труб приймають $Re_{кр} = 2320$, при безнапірному русі - $Re_{кр} = 580$ [35].

Гідравлічний розрахунок водовідвідних мереж ґрунтується на положенні, що в мережі рух стічних вод є рівномірним і сталим. Загальні втрати напору в трубопроводі складаються з місцевих і лінійних втрат, м

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

Втрати напору по довжині трубопроводу визначаються за формулами, м

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

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

де l_{kp} - довжина трубопроводу від джерела k до центру збору p , м; λ - коефіцієнт гідравлічного тертя, який враховує вплив на втрату напору по довжині всіх факторів, визначальними з яких є в'язкість рідини і стан стінок трубопроводу

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

де κ_e - еквівалентна рівномірно-зерниста абсолютна шорсткість.

За формулою А.Д. Альтштуля [28]

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

При гідравлічному розрахунку як напірних, так і самопливних мереж слід 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 ζ - коефіцієнт місцевого опору, який залежить від значення числа Рейнольдса.

Сума місцевих втрат напору включає його втрати в колінах, відводах засувках і т.д. Втрати в окремому місцевому опорі розраховуються за формулою Вейсбаха. Для циліндричних труб і фасонних частин у колінах опір обчислюється 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 Θ - кут повороту в градусах, $\zeta_{нов}$ - коефіцієнт опору на повороті, рівний для коліна з кутом 0,07.

В блоці 11 відбувається розрахунок результуючого напору $H_{к\gamma}$ в центрі збору з урахуванням вищезгаданих втрат.

Для визначення параметрів сумарного потоку необхідно, також, враховувати запізнення $\tau_{кр}$, тобто час проходження потоку води від окремого джерела до центру збору і, відповідно, ці витрати води будуть зсунуті на певний час один відносно одного. Відповідні математичні операції відбуваються в блоці 12 за методикою, описаною в попередньому розділі. В блоці 13 визначаються остаточні параметри потоку окремого джерела в указаному центрі збору: $Q_{к\gamma}$, $H_{к\gamma}$, $N_{к\gamma}$, де $N_{к\gamma} = g \cdot \rho \cdot Q_{к\gamma} \cdot H_{к\gamma}$ - потужність водотоку джерела вторинної води, з урахуванням втрат енергії в елементах системи збору [29]. Тут ρ - щільність рідини; H_k - напір k -го джерела, 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 складові, відповідно: перше - геометрична відмітка висоти, з якої відводиться вторинна вода (характеризує потенційну енергію положення одиниці ваги рідини); друге - п'єзометрична висота або напір, обумовлений надлишковим тиском; третє - швидкісний напір, що характеризує кінетичну енергію одиниці ваги рідини. Тут α - коефіцієнт нерівномірності розподілу швидкостей по перетину потоку (коефіцієнт Коріоліса). В даному випадку $\alpha = 1,05 \dots 1,1$.

Визначення параметрів сумарного водотоку для p -го центра збору гідроресурсу відбувається в блоці 16: $Q_{p\gamma}$, $H_{p\gamma}$, $N_{p\gamma}$, а сумарна потужність водотоку (блок 19), максимальне значення якого і визначає потенціал гідроенергетичної утилізації об'єкту (блок 22), що розглядається, розраховується за 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 і енергетичну привабливість впровадження реальних проектів гідроенергоутилізації, а також ляже в основу методики синтезу більш енергоефективної системи з оптимізованими параметрами.

2.4 Особливості програмування алгоритму на ПК

Запропонований алгоритм синтезу систем утилізації вторинного гідроенергетичного ресурсу підприємства було реалізовано на ПК за допомогою мови програмування C++. Сучасні інтегровані засоби розробки додатків

Windows дозволяють автоматизувати процес їх створення. Для цього використовуються генератори, які створюють додаток, що відповідає вимогам і надає вихідні тексти. Користуючись ним як шаблоном можна швидко розробити свій додаток. Заповнивши кілька діалогових панелей можна вказати характеристики та одержати його тексти, що забезпечені місткими коментарями. Прикладна частина додатка розробляється окремо. Вихідний текст розробленого діалогового вікна стає основою для спілкування з користувачем.

Формування «координатної сітки» простору цеху відбувається одразу після введення геометричних розмірів цеху (x_o, y_o, z_o) – довжини, ширини і висоти відповідно та кроку між двома сусідніми вузлами сітки. Для опису місцезнаходження джерела вторинної води у просторі і його параметрів необхідно ввести координати та витрату у відповідних комірках та натиснути «Ввести джерело». Таким чином можна задати характеристики всіх існуючих джерел вторинних водотоків, сформувавши внаслідок цього масив даних, переглянути який можливо, якщо натиснути «Показати існуючі». Аналогічно описується розташування необхідної кількості можливих центрів збору та «заборонених зон». Характерною особливістю завдання у просторі останніх є представлення у вигляді паралелепіпеду із введенням координат лівого нижнього та протилежного правого верхнього кутів.

Зображення діалогового вікна розділено на дві частини: в лівій користувачем здійснюється введення початкових даних для розрахунку, а в правій відбувається одночасне виведення на екран «контрольної інформації», тобто всіх проведених програмою дій. В свою чергу ліва частина розмежована на декілька тематичних ділянок: щодо тривимірного опису простору цеху, параметрів джерел вторинної води, місцезнаходження «заборонених зон» та можливих центрів збору, а також введення діючого тарифу на електроенергію.

Для проведення розрахунку необхідно також заповнити в меню «Редактори» каталог труб щодо існуючих стандартних діаметрів і відповідної кожному з них кошторисної вартості обладнання та перелік типів мікро ГЕС певної вартості, що відповідають розрахунковим напором та витраті.

Графічний інтерфейс розробленого додатку за допомогою мови програмування C++ (див. Додаток А) на основі запропонованого алгоритму представлено на рисунку 2.3.

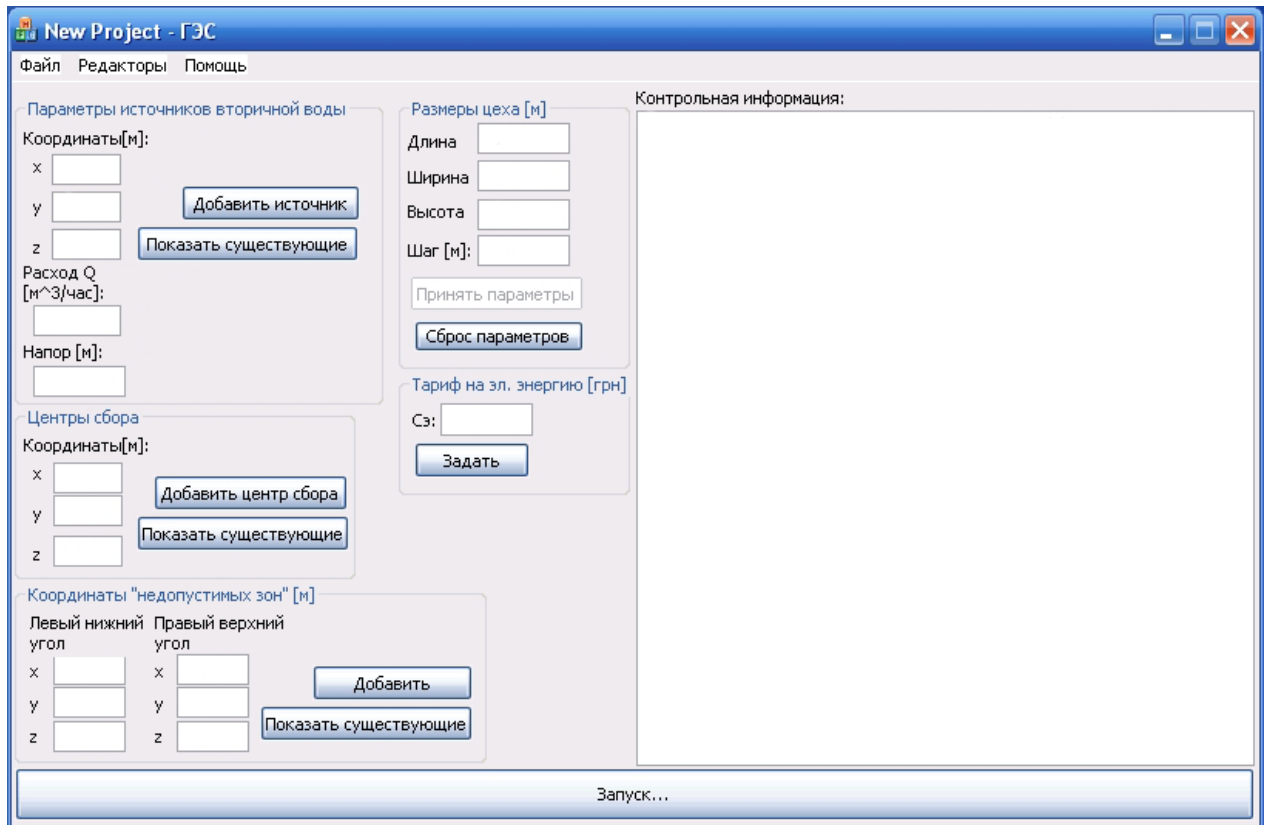


Рисунок 2.3 – Графічний інтерфейс додатку

За умови введення всіх вищезазначених даних при натиску «Запуск» відбудеться розрахунок системи гідроенергетичної утилізації відповідно до запропонованого алгоритму. Інакше в правій частині діалогового вікна висвітиться повідомлення про необхідність введення певних даних.

В результаті розрахунків, здійснених даною програмою визначається оптимальна топологія системи гідроенергетичної утилізації цеху, на екран виводяться довжини та діаметри спроектованих трубопроводів, координати обраних центрів збору та типи мікро ГЕС, що задовольняють параметрам результуючого водотоку, необхідні капіталовкладення, передбачуваний річний виробіток електроенергії та її собівартість.

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

3.1 Загальна характеристика ПрАТ «Запоріжсталь»

В роботі було розглянуто підприємство ПрАТ «Запоріжсталь», яке є одним з найбільших промислових підприємств України і продукція якого добре відома й користується попитом у споживачів на внутрішньому ринку й у багатьох країнах світу.

Продукція:

- передільний і ливарний чавун у пацях вагою (15...18) кг;
- сляби з вуглецевих, низьколегованих, легованих і нержавіючих сталей;
- прокат листовий - гарячекатаний і холоднокатаний - в листах товщиною (0,5...9,0) мм і рулонах товщиною (0,5...9,0) мм із вуглецевих, низьколегованих, легованих і нержавіючих сталей, шліфований і полірований лист із нержавіючої сталі;
- холодногнуті профілі;
- жерсть біла гарячого лудіння;
- жерсть чорна;
- стрічка сталева;
- виливниці й піддони;
- граншлак і щебені;
- широкий асортимент (більше 170 найменувань) виробів з металу, дерева й бетону, інші види металопродукції.

Найбільшим попитом у закордонних і вітчизняних споживачів користується гарячекатаний плоский прокат у 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.

По обсязі виробництва ПрАТ «Запоріжсталь» входить до четвірки найбільших в Україні. Щорічно підприємство виробляє більш ніж 2,5 млн. т чавуну, 3,2 млн. т сталі й 2,7 млн. т прокату.

Основні споживачі продукції:

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

Комбінат "Запоріжсталь" складається з 8 основних і 56 допоміжних цехів.

Вид власності підприємства: з 1997 року – відкрите акціонерне товариство.

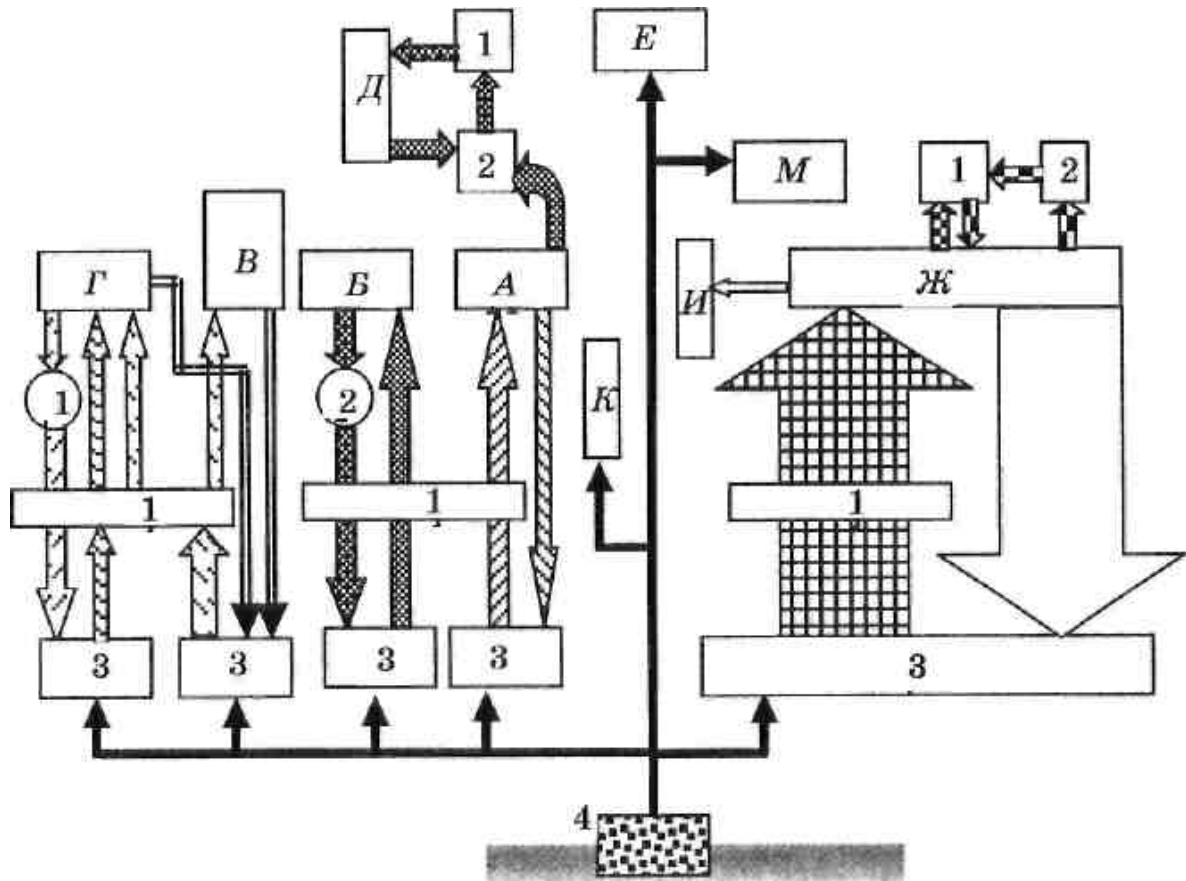
Кількість працівників: більше 20 тис. осіб.

На комбінаті «Запоріжсталь» створена Система керування якістю, що відповідає вимогам міжнародних стандартів ISO серії 9000; розроблено програму технічного переозброєння до 2030 р.; передбачені заходи, що спрямовані на підвищення якості й конкурентоспроможності продукції, відновлення основних фондів, впровадження новітніх технологій, розширення асортименту, захист навколишнього середовища й економію матеріально-сировинних і енергетичних ресурсів.

В ході виконання заходів, що направлені на економію і раціональне використання водних ресурсів комбінатом за 2019 – 2020 роки досягнуто зниження скидання оборотних вод в р. Дніпро на 7,955 млн. м³; зниження скидання забруднюючих речовин на 8388 т на рік. На підприємстві реалізована програма з ефективного використання оборотної води в технологічних процесах і зниження скидання в водойму. З цією метою збудовані й ефективно використовуються одинадцять замкнутих оборотних циклів.

Отже, керівництво ПрАТ «Запоріжсталь» підтримує проведення енерго- та ресурсозберігаючих заходів на підприємстві.

Схема оборотного водопостачання комбінату представлена на рисунку 3.1.



А – доменний цех; Б – газоочистка; В – сталеплавильний цех; Г – прокатний цех; Д – розливальні машини; Е – коксохімічний цех; Ж – ТЕЦ та пароповітродувна станція; М – цех вогнетривів; И – хімводоочистка; К – інші цехи: 1 – насосні станції; 2 – відстійник; 3 – бризкальні басейни; 4 – насосна станція першого підняття

Рисунок 3.1 – Схема оборотного водопостачання ПрАТ «Запоріжсталь»

Основні цехи отримують воду безперервно, тобто існує обов'язкове дублювання ліній мережі з подачею по кожній повних розрахункових витрат води. До 75 % води використовується на охолодження конструктивних елементів доменних, сталеплавильних, нагрівальних пічок, конденсацію пару тощо. Ця вода тільки нагрівається. Вода для охолодження обладнання і продукції, транспортування механічних домішок нагрівається та забруднюється, кількість її доходить до 22 %.

Основними характеристиками систем технічного водопостачання є температура транспортованої для охолодження технологічного устаткування й поліпшення якості випускної продукції води, її хімічний склад, напір і витрата. Дві останні з них визначають потенціал вторинного гідроенергетичного ресурсу підприємства, що практично в усіх галузях промисловості залишається незатребуваним через відсутність кількісної оцінки й економічного обґрунтування доцільності його використання.

Так, на підприємстві ПрАТ «Запоріжсталь» згідно паспорта системи оборотного водопостачання, припустимі параметри використовуваної технічної води такі: жорсткість – 5 мг/л, суспензовані частки – 100 мг/л, температура води (30...45) °С (вище за 60°С не допускається). Зазначений досить жорсткий температурний режим приводить до того, що сумарне споживання заводом технічної води становить 81610,44 м³ на годину, що є значним об'ємом. При цьому (18...25) % в загальнозаводському балансі складає витрата води доменним цехом.

3.2 Водовикористання доменного цеху

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

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

Доменні печі №1,2, пущені відповідно, в 1933, 1934 р. мали корисний об'єм по 930 м³, а в 1959 р. доменна піч №2 була доведена до корисного об'єму 1513 м³. Через низьку продуктивність доменної печі №1 морального й фізичного старіння, ухвалено рішення її зупинити й у 2006 році демонтувати.

Доменна піч №3, пущена в 1938 р. мала корисний об'єм 1300 м³, в 1971 році корисний об'єм доведений до 1513 м³.

Доменна піч №4 1940-1948 р. мала корисний об'єм 1239 м³. В 1961 році корисний об'єм доведений до 1513 м³.

Доменна піч №5 пущена в експлуатацію в 1952 році з корисним об'ємом 1386 м³. В результаті капітальних ремонтів був знижений рівень чавунної льотки, у зв'язку із чим корисний об'єм збільшений до 1410 м³. В 1967 році корисний об'єм збільшений до 1513 м³.

Розташування доменних печей після демонтування ДП-1 на сьогодні острівне. Фонд терміну їх роботи й продуктивність представлено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Фонд терміну роботи й продуктивність доменних печей

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

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

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

Нагріта вода від охолоджуваних елементів доменних печей самопливом надходить у 2 колектори діаметром 700 мм і по 6 трубопроводам

транспортується на бризкальний басейн і циркуляційні насоси для подачі води на бризкала.

Розміри секцій бризкального басейну:

«Д» - 40 x 28 x 2,5 (2800) м;

№1 - 40 x 28 x 2,5 (2800) м;

№2 - 40 x 28 x 2,5 (2800) м;

№3 - 50 x 50 x 2,0 (5000) м;

№4 - 50 x 44 x 2,0 (4400) м.

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

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

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

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

Теплове навантаження по кожному охолоджуваному елементу визначалося експериментально.

Розрахунок витрати води на технологічні потреби.

1. Розрахунок води на циркуляцію насосів скіпової ями $d = 50$ мм; $F_c = 0,002$ м²; $V_{oml} = 0,96$ м/с; $n = 1$, м³/год

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

2. Розрахунок води гідрозатвору обертового розподільника шихти $d = 65$ мм; $F_c = 0,0033$ м²; $V_{омл} = 1,02$ м/с; $n = 1$, м³/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 – $W = 2,0$ м³/год.

Розрахунок безповоротних втрат у технологічному процесі.

1. Втрати води на випар у бризкальному басейні, м³/рік

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

2. Втрати води на краплевинесення у бризкальному басейні, м³/рік

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

3. Втрати води в колошниках на гідрозатвори обертових розподільників шихти (становлять 13,3 %), м³/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 %), м³/рік

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

Усього безповоротних втрат, м³/рік

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

Продукція оборотного циклу доменного циклу становить 10 %, м³/рік

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

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 розливних машин чавуну представлена на рисунку 3.2.

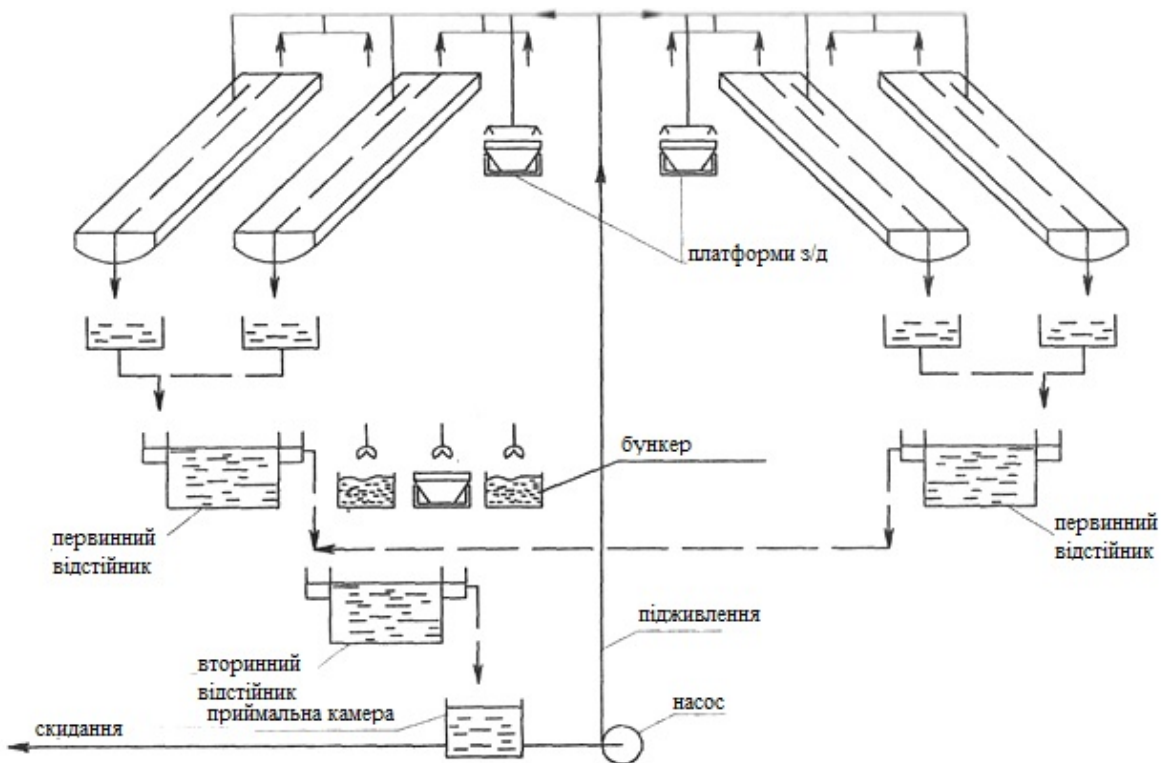


Рисунок 3.2 – Принципова схема водопостачання і водовідведення розливних машин чавуну

Розливання передільного й ливарного чавуну відбувається в мульди 4-х двострічкових розливних машин. Продуктивність розливних машин №1,2 – 50 т/год кожної, №3,4 по 62,5 т/год кожної. Швидкість руху стрічок розливних машин 9 м/хв. Вага паці чавуну до (15...18) кг.

Приготування вапняного розчину.

Для запобігання розпалу мульд і приварювання до них паць чавуну, поверхню мульд оббризкують вапняним розчином.

Розчин вапна виготовляється на установці й подається по трубах у бризкальні апарати розливних машин чавуну й відразу після закінчення зливу чавуну, покривають робочі поверхні мульд товщиною захисного шару (1...1,5) мм.

Оборотний цикл водопостачання.

Стічні води від розливних машин чавуну, забруднені окалиною, вапном, подаються самопливом для освітління в горизонтальні відстійники. З відстійників вода надходить у насосну станцію, а потім по напірних трубопроводах на розливні машини.

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

Ефективність очищення - 72,4 %.

Оборотна вода використовується на технологічні потреби:

- охолодження мульд верхньої й нижньої гілок конвеєра до 600 °С;
- охолодження паць чавуну у хвостовій частині стрічок;
- остаточне охолодження паць на залізнодорожних платформах до (60...70) °С.

Водоспоживання розливних машин характеризується нерівномірністю, що є наслідком неритмічності виробництва чавуну.

На 1 тону чавуну витрачається на обприскування 3 кг вапна при ефективності СаО до 80 %.

Обприскування мульд здійснюється 12 % - вим розчином вапна.

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

Годинна витрата води складе

На РМ-1, 2 $25 \cdot 50 = 1,25 \text{ м}^3/\text{год}$

На РМ-3, 4 $25 \cdot 62,5 = 1,56 \text{ м}^3/\text{год}$.

Розрахунок безповоротних втрат у технологічному процесі й водовідведення розливних машин доменного цеху.

Для обприскування мульд розливних машин виготовляється вапняний розчин. У процесі виробництва повністю випаровується, $\text{м}^3/\text{рік}$

$$W_1 = 6130 + 6130 + 5903 + 5899,9 = 24062,9.$$

Віднесення води з 960-ю тонами шламу вологістю 25 % складе, $\text{м}^3/\text{рік}$

$$W_2 = 960 \cdot 0,25 = 240,0.$$

Втрати на випар при обприскуванні мульд, паць і на душируючій установці становлять 1,5 %, $\text{м}^3/\text{рік}$

$$W_3 = 800175 - 0,015 = 12031,0.$$

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

$$W_{БВ} = 24062,9 + 240,0 + 12031,0 = 36333,9.$$

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

$$W_{СЛ} = 800175,0 \cdot 0,1 = 80017,5.$$

Шлак від доменних печей, не призначений для одержання граншлака, вивозиться на шлакові відвали й після охолодження використовується для будівельних цілей.

Раніше пересувні тупики для шлаковозів замінені на стаціонарні із глибиною укусу 10 мм. Вивіз і розробка шлаків ведеться постійно, тому охолодження шлакових відвалів безперервне. Коли відвантаження шлаків з однієї сторони стаціонарного тупика, то з іншої сторони ведеться розробка й сортування шлаків. Результати розрахунку зведені в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Витрата води на розливні машини

Найменування споживача	PM-1,2		PM-3,4	
	Витрата води, м ³ /год	Водоспоживання, м ³ /год	Витрата води, м ³ /год	Водоспоживання, м ³ /год
Охолодження мульт	1,50	75,00	1,50	93,75
Охолодження паць чавуну	1,40	70,00	1,40	87,50
На душируючу установку	1,50	75,00	1,30	81,25

Через відсутність методики розрахунку витрати води на охолодження шлаків витрата води береться по досягнутому рівню експлуатації – 2,978 м³/т.

Виробництво шлаків у відвали: 1511000 т/рік · 2,978 м³/т = 4500000 м³/рік.

Безповоротні втрати становлять 4500000 м³/рік.

Кондиціонери.

У доменному цеху встановлені кондиціонери: КСА – 4 шт., КА1-25 – 3 шт., «Клімат» – 2 шт; КТА – 2 шт. Охолодження здійснюється питною водою в кількості, м³/рік

$$W_{16} = (6 \cdot 4 + 6 \cdot 3 + 4 \cdot 2 + 6 \cdot 2) \cdot 8760 = 543120 .$$

Доменні печі.

Вода на охолодження подається по двом водоводам.

Розрізняють дві схеми водяного охолодження (водопостачання) доменних печей: однозонну й двохзонну. При однозонній схемі воду на всі охолоджувані елементи подають за допомогою однієї групи насосів з однаковим підвищеним напором. При двохзонній схемі піч розділена на дві зони — верхню і нижню. Воду в кожену зону подають за допомогою окремих груп насосів.

До нижньої зони відносяться заплічники, горн, під, фурмена зона, крім фурм, які підключені до верхньої зони.

На доменних печах ПрАТ «Запоріжсталь» використовується однозонна схема охолодження, яка зручна в експлуатації і є більш економічною.

Характеристики водотоків, що йдуть на охолодження доменних печей наведені у таблиці 3.3.

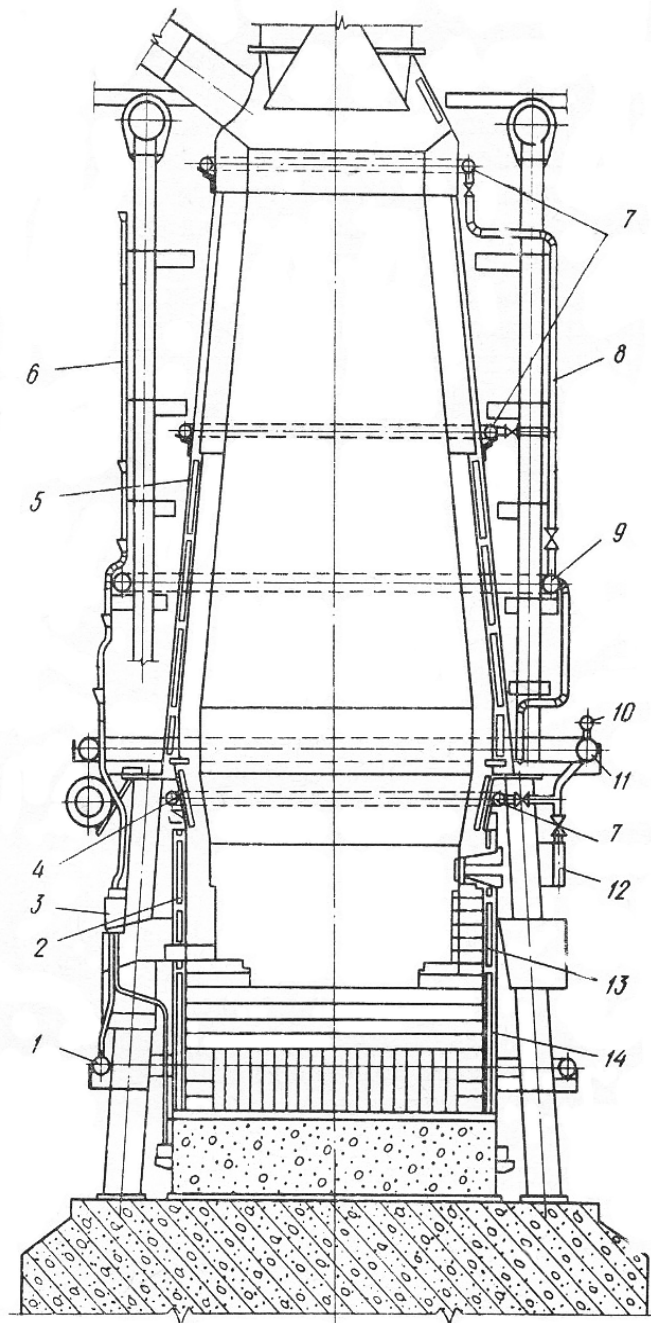
Охолодження горна й поду.

Охолодження горна й поду здійснюється із чотирьох окремих пунктів керування, які розташовані на робочій площадці, що перебуває біля поддоменника. Вода, пройшовши через холодильник або групу холодильників, зливається в прийомні резервуари, розташовані на робочій площадці під колекторами. Воду до колекторів подають від розподільного розімкнутого кільця. Число резервуарів при цьому дорівнює числу колекторів.

Таблиця 3.3 – Характеристики охолодних водотоків доменних печей

Доменні печі	Витрата, м ³ /рік	Фонд терміну роботи, год	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 зображено схему водяного охолодження доменної печі.



1 – зливальний кільцевий трубопровід; 2 – холодильники фурменної зони; 3 – зливальний резервуар; 4 – холодильники запічників; 5 – холодильники шахти; 6 – зливальний трубопровід від шахти; 7 – бризкальне кільце; 8 – напірний стояк шахти; 9 – напірний кільцевий трубопровід шахти; 10 – напірний колектор запічників; 11 – напірний кільцевий трубопровід низу печі; 12 – напірний колектор низу печі; 13 – холодильники горна; 14 – холодильники поду.

Рисунок 3.3 – Схема водяного охолодження доменної печі

Охолодження фурменої зони, фурмених і шлакових приладів.

Від кільцевого розподільного трубопроводу, покладеного по периметрі доменної печі, воду подають до чотирьох колекторів, установлених у колон горна. Під колекторами розташовані прийомні резервуари, куди скидають воду, що пройшла через холодильні пристрої.

Охолодження заплічників.

При однозонному водопостачанні заплічники підпитуються від розподільного кільця, що постачає воду до фурменої зони й фурмених приладів. Потім її подають до чотирьох колекторів і від них по трубах діаметром 32 мм підводять до холодильників. Зливальну воду від холодильників заплічників збирають у вирви й спрямовують у зливальне кільце, розташоване по периметрі доменної печі під робочою площадкою.

Охолодження товстостінного распара й шахти.

Распар і шахта мають своє розподільне кільце, у яке врізані чотири стояки, що є колекторами, які постачають воду до холодильників і пристроїв для відбору проб газу.

Паралельно напірним установлюють чотири зливальних (віддодних) стояка, які збирають із декількох самостійних частин труб. Кожна з них зверху має приймальні воронки.

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

Відвод води.

Вся вода від охолодних пристроїв надходить у прийомні резервуари, звідки по стояках відводиться в зливальне кільце діаметром 900 мм, покладене по периметрі доменної печі під робочою площадкою. Відвод повітря від збірного кільцевого трубопроводу здійснюється по повітряних трубах діаметром 100 мм, концентрично встановленим усередині зливальних стояків, і по спеціальних трубах, врізаних у місцях спусків.

Від зливального кільця воду відводять по зливальним водоводам діаметром 900 мм.

Як приклад, в якості об'єкта гідроенергетичної утилізації, був розглянутий доменний цех, який входить в склад металургійного підприємства ПрАТ «Запоріжсталь». На його території розміщуються чотири доменні печі №2 - 5, системи охолодження яких і є, в даному випадку, джерелами вторинної води з витратами від 1100 до 2400 м³/год в залежності від відсоткового співвідношення водяного і випарного охолодження. Відмітка висоти, з якої відбувається водовідведення близько 10,8 м. Технічно, є можливість, зважаючи на наявність на площі цеху іншого технологічного обладнання, розміщення центрів збору гідроресурсу в трьох точках. Вихідні дані для розрахунку зведено в таблицю 3.4.

В результаті обчислювальних операцій за алгоритмом, були визначені характеристики всіх можливих варіантів топології СГЕУ для даного об'єкту.

Таблиця 3.4 - Характеристики джерел вторинної води

Джерело води	Габаритні розміри об'єкту (цеху), м	Координати джерел вторинної води, $(x, y, z)_к$, М	Граничні витрати, $Q_{кmin}, Q_{кmax}$, м ³ /Г	Напір, м	Координати центрів збору, $(x, y)_р$, М
ДП-2	420×60×35	58;18;27	1100, 1400	10,8	91;27;10,8
ДП-3		142;16;27	1800, 2300		178;28;10,8
ДП-4		238;20;27	1550, 2250		297;37;10,8
ДП-5		360;23;27	1550, 2250		

Таблиця 3.5 - Техніко-економічні показники проектів гідроенергоутилізації для доменного цеху ПрАТ «Запоріжсталь»

№ з/п	Вироблення електричної енергії, млн. кВт·год./рік	Собівартість 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

За економічними і енергетичними показниками для об'єкта гідроенергетичної утилізації, що розглядається, визначено величину, яка відображає економічну доцільність капіталовкладень в проект. Остання, а саме вигода, розраховується за виразом: $B_i = W_i \cdot (C_m - C_i)$, де W_i - кількість електричної енергії, що виробляється генераторами i - го варіанта СГЕУ, кВт·год./рік; C_m , C_i - вартість електроенергії з мережі (для промислових підприємств станом на 1.11.2020р. – 2,0932 грн./(кВт·год). [39]) і її собівартість, відповідно.

Визначено, що оптимальна СГЕУ для об'єкту, що розглядається, технічно складається із джерел вторинної води 2 - 3 і 4 - 5, з'єднаних трубопроводами з центрами збору 1 і 3, відповідно (див. рис. 3.4).

Основні з визначених параметрів елементів такої СГЕУ занесено до таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 - Параметри обладнання СГЕУ доменного цеху ПрАТ «Запоріжсталь»

Центр збору / Джерело		Діаметр трубопроводу $d, \text{ м}$	Довжина $l, \text{ м}$	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	

Передбачувані сумарні капіталовкладення в реалізацію проекту складають 1,849 млн. грн. згідно з діючою на 1.12.2019 р. вартістю обладнання, робіт з монтажу і обслуговування. При цьому, можливий виробіток електроенергії складе 1,421 млн. кВт·год на рік при її собівартості 1,40 грн./кВт·год.

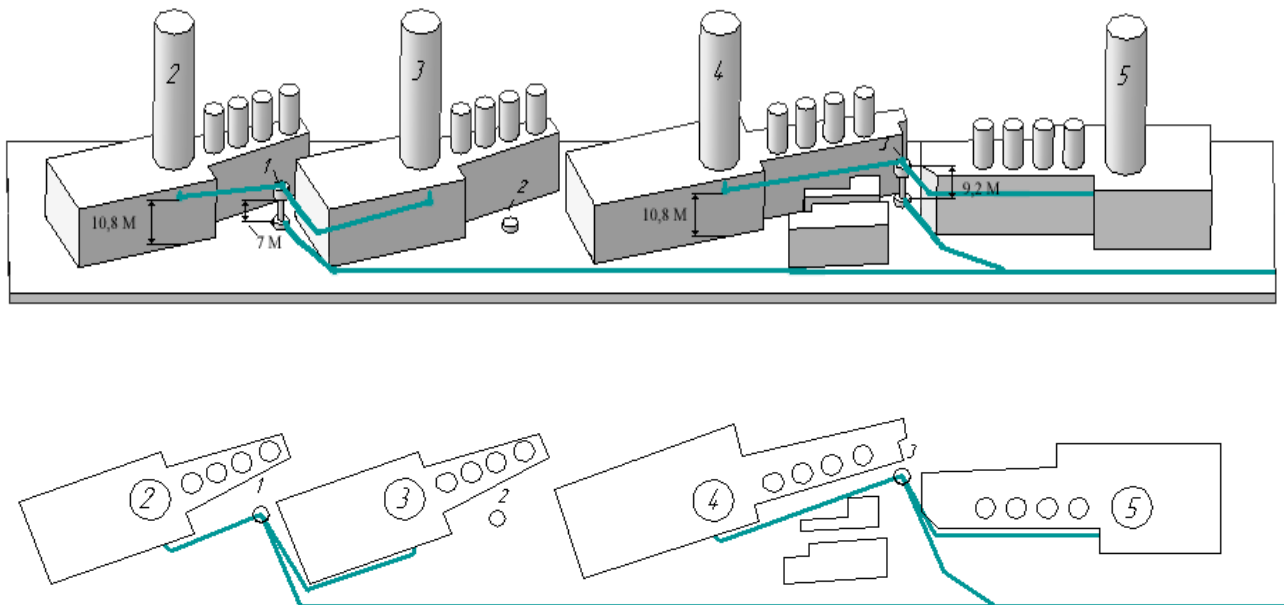


Рисунок 3.4 - План розташування обладнання доменного цеху із зображенням оптимальної системи гідроенергетичної утилізації

На основі вищенаведеної ОСУ розраховуються проекти з різними засобами стабілізації параметрів вторинного водотоку. Як було визначено в підрозділі 4.3, після встановлення ємностей безпосередньо на кожному з джерел, з останніх на гідротурбіну буде поступати вже осереднене значення витрати, яке, в свою чергу, спричинить зміну параметрів елементів СГЕУ в бік їх зменшення. Тому, де це потрібно, виходячи зі статистичних даних, були розраховані нові діаметри трубопроводів і їх загальна вартість, уточнена потужність електрогенераторів, кількість енергії, що ними виробляється, а також її собівартість.

Якщо ж застосовувати систему з елементами гідроакумуляції, то, очевидно, що останній є набагато затратніший. Це обумовлено додатковою вартістю насосу, баком великої ємності, а також завищеними діаметрами з'єднуючих трубопроводів для забезпечення необхідної пропускної спроможності. Однак, за рахунок збільшення вироблення електричної енергії, її собівартість може стати нижчою, а варіант з накопиченням води економічно вигіднішим. До того ж, стрімке зростання цін на паливно-енергетичні ресурси і електричну енергію зокрема, а також енергетичне обладнання, що використовується для побудови СГЕУ, може спричинити вихід на рівень рентабельності тих проектів, які в даний час є недоцільними.

3.3. Методика визначення техніко-економічних показників системи гідроенергетичної утилізації

Для оцінки ефективності СГЕУ з оптимізованими параметрами, необхідно, в першу чергу, порівняти базовий варіант останньої з системою, в якій застосовуються засоби стабілізації потоку і акумуляції вторинної води. Визначення енергетичних і частини економічних характеристик базової СГЕУ було проведено за приведеним алгоритмом. Очевидно, що остаточний висновок

щодо доцільності впровадження таких систем слід робити на основі основних показників ефективності останніх, таких як: собівартість електричної енергії, що вироблятиметься, термін окупності і економія коштів внаслідок реалізації проекту [26]. Параметри систем, що порівнюватимуться будуть суттєво відрізнятися і їх необхідно визначати окремо, шляхом постановки і вирішення оптимізаційних задач.

Визначення остаточних параметрів СГЕУ без врахування динаміки потоку є недоцільним, тому що умовно постійна максимальна витрата вторинної води, за якої визначалися параметри базової СГЕУ короткочасна. Кількість електричної енергії W_p , що виробляється мікро-ГЕС в p - му центрі збору на реальному потоці впродовж часу T без засобів стабілізації потоку, очевидно, буде визначатися як сума відповідних енергій $W_{p\gamma}$ за проміжки t_γ , тобто, кВт·год

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

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

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

де q - кількість центрів збору гідроресурсів.

Капітальні вкладення в систему, а також поточні витрати на обслуговування і амортизацію устаткування, при цьому, будуть дорівнювати таким, як і на базову СГЕУ. При цьому обсяги генерації електричної енергії і економічні показники останньої, в даному випадку, будуть найнижчими внаслідок недовантаженості протягом більшості часу електрогенераторів і

завищення діаметрів трубопроводів. Тоді, виходячи з вищезазначеного, собівартість електроенергії дорівнює [17-20], грн/(кВт·год)

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

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

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

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

- розрахунковий коефіцієнт ефективності капіталовкладень [25]

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

а термін їх окупності, років

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

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

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

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

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

Витрати на систему з проміжними баками визначаються в залежності від місця їх встановлення (на кожному з джерел чи в загальних центрах збору води). У першому випадку, у зв'язку з осередненням витрати кожного з джерел Q_{cp} , характеристики основного обладнання (діаметри з'єднуючих трубопроводів і потужності мікро-ГЕС) зменшуються, а отже і вартість всієї СГЕУ в цілому знижується. Тому величина капітальних $K_{Cк}$ і поточних $K_{ncк}$ витрат в такому разі уточнюється шляхом перерахунку за новими умовами згідно алгоритму. В іншому – до вартості базової СГЕУ, що розраховувалася на максимальний водотік, додаються затрати на виготовлення і монтаж ємностей, без зміни параметрів і вартості елементів системи збору і генеруючого устаткування.

Розрахунок сумарних капітальних вкладень на СГЕУ з проміжними баками, виконуємо за виразом, грн

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

де $K_{Cк}$, K_B - капітальні вкладення в СГЕУ з урахуванням динаміки потоку вторинної води і засоби стабілізації, відповідно; k_2 - коефіцієнт, що враховує зниження питомої вартості баку в залежності від його габаритів; k_m - вартість монтажних робіт.

Поточні витрати СГЕУ K_n , що включають обслуговування і амортизацію засобів стабілізації K_{Bn} , грн

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

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

де H_B - норма амортизаційних відрахувань даного виду обладнання, k_o – коефіцієнт, що враховує витрати на поточні ремонти і обслуговування.

Собівартість електроенергії, в такому випадку обчислюється за виразом, грн/(кВт·год)

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

де W_B - кількість виробленої електричної енергії із застосуванням засобів стабілізації потоку.

Для обчислення капітальних вкладень на систему з елементами гідроакумуляції, окрім витрат на бак-акумулятор, необхідно також враховувати вартість додаткового насосу, вибраного з переліку стандартних. Параметри його повинні бути такими, щоб забезпечувати накопичення за відведений час необхідного об'єму води (економічно доцільної акумуляції), визначеного за алгоритмом. Тому вартість такої системи складе, грн.

$$K_A = K_{ск} + K_{БА} + K_n, \quad (3.13)$$

де $K_{БА}$ і K_n - вартість баку-акумулятора і насосу.

Крім того, кількість спожитої приводним двигуном електричної енергії з мережі W_n також слід брати до уваги при визначенні поточних витрат K_{An} , кВт·год

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

а її вартість складає, грн.

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

Тут P_n - потужність електродвигуна, кВт, t_n - тривалість роботи насосу, год.; C_m – тариф на електричну енергію, грн./кВт·год; 0,22 – коефіцієнт до нічного тарифу на електроенергію.

Поточні витрати на всю систему K_{An} з урахуванням додаткових засобів гідроакумуляції K_{BAN} , грн.:

$$K_{An} = K_{ncк} + K_{BAн}; \quad (3.16)$$

$$K_{BAн} = K_{BA} \cdot H_{BA} + K_n \cdot H_n + K_{нк} + K_{нд} + K_{дBA}, \quad (3.17)$$

де H_{BA} , H_n - відповідні коефіцієнти амортизаційних відрахувань бака-акумулятора і насосної групи, $K_{нд}$, $K_{дBA}$ - додаткові витрати на обслуговування переліченого обладнання.

Собівартість електроенергії, в такому випадку обчислюється за виразом, грн/(кВт·год)

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

де W_{BA} - кількість виробленої електричної енергії СГЕУ з елементами гідроакумуляції.

За вищенаведеними формулами робимо висновок про доцільність реалізації проекту гідроенергоутилізації, виходячи із нормативних значень зазначених величин.

3.4 Приклад розрахунку техніко-економічних показників системи гідроенергетичної утилізації

Проведемо розрахунок техніко-економічних показників системи гідроенергетичної утилізації вторинних водотоків на прикладі доменного цеху ПрАТ «Запоріжсталь». Вихідні дані для відповідних обчислень наведені раніше.

За допомогою розробленого програмного продукту було визначено, що для об'єкта, який розглядається, річна величина $W = 1,421$ млн. кВт·год. При цьому

капітальні вкладення в оптимальну систему складають $K_{C_k} = 1,849$ млн. грн., з урахуванням поточних витрат на обслуговування і амортизаційні відрахування основних фондів. Отже, собівартість електроенергії в такому разі дорівнює, грн/(кВт·год)

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

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

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

- коефіцієнт ефективності капіталовкладень

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

- термін окупності капітальних вкладень, років

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

Кількість електричної енергії, що генерується за прийнятий термін експлуатації обладнання, наприклад $n = 20$ років) [36] складе, млн.кВт·год

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

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

$$B_{E20} = 20 \cdot 0,488 = 9,754.$$

Для розрахунку капітальних вкладень на проміжні баки, за даними БМУ «Запоріжстальбуд – 1» приймемо, що вартість виготовлення та установки конструкції баку визначається виходячи з наступних значень: витрати на 1 м³ ємності - 986 грн.; відсоток монтажних робіт від вартості устаткування $k_m = 0,2$. При цьому, коефіцієнт k_2 , що враховує зниження питомої вартості баку в залежності від габаритів приймаємо таким: до 50 м³ - 1; 50 – 100 м³ - 0,9; 100 – 500 м³ - 0,8. Для системи, що розглядається, розрахований за наведеним алгоритмом сумарний об'єм регулюючих ємностей дорівнює 61,36 м³, при цьому об'єми окремих баків не перевищують 50 м³ (отже $k_2 = 1$). Після осереднення витрат вторинної води змінилися і параметри елементів системи збору і потужності мікро-ГЕС, і, відповідно, вартість всієї СГЕУ. Тому уточнена величина капітальних витрат в таку систему без урахування засобів стабілізації потоку вторинної води $K_{cк} = 1,396$ млн.грн, поточних витрат - $K_{ncк} = 0,5426$ млн.грн.

Тоді, загальні капітальні вкладення складуть, млн.грн

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

Норму амортизаційних відрахувань конструкції баку приймемо $H_B = 8\%$ [33], при $k_o = 0,06$ [34]. Загальні поточні витрати СГЕУ K_n і на обслуговування і амортизацію засобів стабілізації K_{Bn} , зокрема, дорівнюють, грн.

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

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

Інші показники наведеної СГЕУ зводяться до таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 - Номенклатура насосів широкого вжитку і продуктивності

Марка насосу	Продуктивність, м ³ /год	Потужність двигуна, кВт	Висота підйому, м	Вартість, грн.
K8/18	8	1.5	18	1689
K20/18	20	2.2	18	1763
K20/30	20	4	30	2204
K45/30a	35	5.5	23	2728
K45/30	45	7.5	30	3331
K90/20	90	7.5	20	3640
K50-32-125	12	2.2	20	1794
K50-32-125a	10	1.5	16	1767
K80-65-160	50	7.5	32	3416
K100-50-125	100	15	32	6592
K100-65-200a	90	18.5	40	7425
K150-125-250	200	15	20	11872
K150-125-250a	180	11	16	9895
K200-150-250	315	30	20	16510
K200-150-250a	290	22	16	15519
K200-150-400a	400	75	40	28075
K290/30a	250	30	24	16134
K160/30	160	30	30	13114

Витрати на систему з елементами гідроаккумуляції K_A включають в себе також вартість додаткового насосу, вибраного з переліку стандартних. Так, для наповнення баку об'ємом 145 м³ і підйому рідини на висоту близько 10 м за

відведений час $t_n = 7$ годин знадобиться насос продуктивністю $145/7 = 20,7 \text{ м}^3/\text{год}$. Отже, для забезпечення вищезазначених умов знадобиться агрегат типу К45/30а продуктивністю $35 \text{ м}^3/\text{год}$ з висотою підйому до 23 м, потужністю приводного двигуна $P_n = 5,5 \text{ кВт}$ і вартістю $K_n = 2278 \text{ грн}$.

Кількість спожитої двигуном насосу електричної енергії з мережі дорівнює, кВт·год

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

а її вартість складає, грн.

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

Капітальні вкладення в оптимальну систему без елементів акумуляції такі ж, як і на базову СГЕУ, і складають $K_{C_k} = 1,849 \text{ млн.грн.}$ з урахуванням витрат на поточні витрати на обслуговування і амортизаційні відрахування основних фондів. Оскільки всі баки виявилися більше 100 м^3 , то приймаємо $k_2 = 0,8$. Сумарний об'єм ємностей, визначений за методикою, наведеною в підрозділі 4.3, складає $1022,6 \text{ м}^3$. Загальні капітальні витрати на впровадження комбінованої СГЕУ, що розглядається при $k_m = 0,2$ дорівнюють, млн.грн.

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

Для визначення поточних витрат на комбіновану СГЕУ з урахуванням додаткових засобів гідроакумуляції приймемо наступні коефіцієнти: $H_6 = 8\%$, $H_n = 12\%$, $B_{нд} = 6\%$, $B_{од} = 6,5\%$ від капітальних витрат) [33,34]. Тоді, з урахуванням вищезазначеного, знайдемо, млн.грн.

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

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

Визначимо собівартість електричної енергії. грн/(кВт · год)

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

Інші техніко-економічні показники комбінованої СГЕУ зводяться в порівняльну таблицю 3.8.

Таблиця 3.8 - Показники ефективності впровадження СГЕУ без та із застосуванням засобів стабілізації і акумуляції вторинної води

Варіант Показник	Стабілізація з розміщенням баків	
	на окремих джерелах	в центрах збору
Капітальні витрати, <i>млн.грн</i>	1,499	1,849
Кількість ЕЕ за весь термін експлуатації, <i>млн.кВт · год</i>	28,26	28,4
Сумарна вигода, <i>млн.грн</i>	9,985	10,034
Собівартість ЕЕ, <i>грн</i>	1,39	1,4
Ефективність капіталовкладень	0,33	0,27
Термін окупності, <i>років</i>	3,002	3,685

Тепер представимо графічно економічне порівняння варіантів СГЕУ без та з використанням засобів зі стабілізації потоку вторинної води, а також з елементами гідроенергоакумуляції (див. рис. 3.5, 3.6).

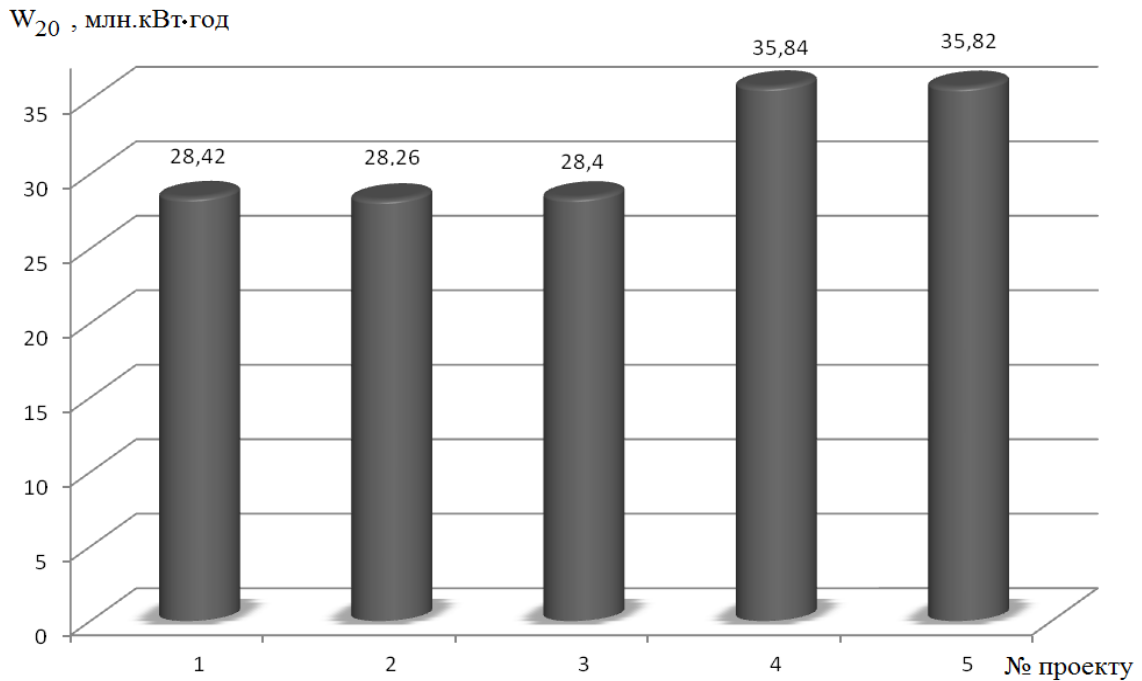


Рисунок 3.5 - Економічне порівняння різних варіантів СГЕУ, виходячи із кількості виробленої електричної енергії за весь термін експлуатації

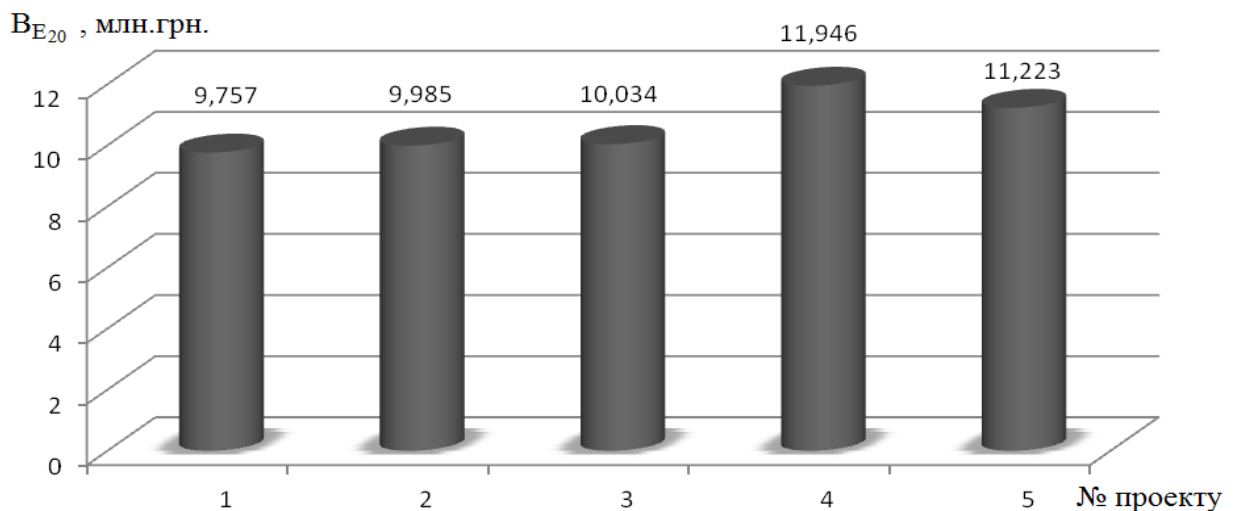


Рисунок 3.6 - Економічне порівняння різних варіантів СГЕУ, виходячи із отриманої вигоди їх впровадження за весь термін експлуатації

Економічне порівняння варіантів системи утилізації гідроенергетичних ресурсів промислових підприємств без та з застосуванням засобів стабілізації водотоку і акумуляції води показало, що СГЕУ з елементами економічно доцільної гідроаккумуляції приблизно на 20 % вигідніший 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 у найбільш вигідному варіанті майже 12 млн. грн. Строк окупності СГЕУ, розрахований за цінами на обладнання 2019 року коливається в межах від 3 до 6 років, що не перевищує нормативний [39,40].

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

Отримані в результаті розрахунків техніко-економічні показники засвідчують, що виробництво власної електричної енергії дає значну економію коштів на придбання енергоресурсів промисловими підприємствами і електроенергії зокрема. Всі запропоновані проекти виявилися економічно вигідними, оскільки строк окупності капітальних вкладень не перевищує 6 років, а коефіцієнт ефективності капіталовкладень більше за нормативний 0,15. Приймавши до уваги дотримання обраного критерія $C_{EE} \leq C_m$, останнє підтверджує економічну доцільність впровадження таких систем.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

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

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

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

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

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

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

Найбільш ефективним засобом зниження шуму є заміна шумних технологічних операцій на малOSHумні або повністю безшумні, проте цей метод боротьби не завжди можливий, тому велике значення має зниження його в джерелі. Зниження шуму у киснево-компресорному цеху досягається шляхом вдосконалення конструкції або схеми тієї частини устаткування, яка чинить шум.

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

Таблиця 4.1 – Технологічна карта умов праці технолога насосної станції

№ 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 ³ : I клас небезпеки _____ II клас небезпеки _____ III-IV клас небезпеки _____						
2	Пил переважно фіброгенної дії, мг/м ³						
3	Вібрація (загальна і локальна), дБ	92	91				
4	Шум, дБА	80	88	8			75
5	Мікроклімат в приміщенні: - температура повітря, °С - 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 чинників, які не призводять до зростання захворюваності з втратою працездатності, проте характеризуються проявом початкових ознак професійної патології.

4.2 Заходи з поліпшення умов праці

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

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

Використання в конструкції матеріалів із зниженими акустичними властивостями, устаткування на джерелі шуму додаткового звукоізолюючого пристрою або обгороджування, розташованого по можливості ближче до джерела. Для боротьби з шумом на шляхах передачі передбачений шумопоглинальний кожух, який може закрити окремий шумний вузол машини.

До заходів щодо захисту працівників від шуму належать:

- використання сучасного обладнання;
- розміщення пультів контролю та управління у звукоізолюваному приміщенні;
- установка на насосах шумопоглинального кожуха;

- застосування індивідуальних засобів захисту від шуму;
- раціональне планування приміщення [26, 27].

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

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

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

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

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

У дверях кабінки необхідно забезпечити щільність та герметичність по всьому периметру дверей. При умові високої необхідної ізоляції двері повинні бути подвійними. У місцях прокладки технологічних комунікацій слід також передбачати заходи звукоізоляції. Внутрішні поверхні кабінки облицюються звукопоглинальним матеріалом з максимальними коефіцієнтами

звукопоглинання в діапазоні (250...2000) Гц.

Розрахунок необхідної ізоляції кабіни технолога проведено за наступним алгоритмом.

Необхідне зниження шуму кабіною визначається, як, дБ

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

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

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

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

$$R_{\text{каб.н.}} = 88 - 80 = 8.$$

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

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

де B_i – постійна кабіни у даній октавній смузі частот, м²;

S_i – площа i -го елемента кабіни, через який шум проникає в кабіну, м²;

n – кількість однакових елементів.

Постійну приміщення B_i визначають за формулою, в.о.

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

де B_{1000} – постійна приміщення на середньгеометричній частоті 1000 Гц, визначається за таблицею 4.2 залежно від об'єму V , м³ і типу приміщення, м²;

μ – частотний множник, визначається за таблицею 4.3.

Розрахунок проведено для частоти 125 Гц.

Таблиця 4.2 – Постійна приміщення залежно від об'єму V , м³ і типу приміщення

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

Об'єм кабіни складає, м³

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

Постійна приміщення B_{1000} на середньгеометричній частоті 1000 Гц визначається, враховуючи тип приміщення за таблицею 4.2, м²

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

Таблиця 4.3 – Частотний множник

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

Постійна приміщення B визначається за формулою (4.3), м²

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

Площа вікна складає, м²

$$S_{\text{вікна}} = 3 \cdot 1 = 3.$$

Площа дверей становить, м²

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

Площа п'яти стін, тому що так розташована кабіна, м²

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

Необхідна звукоізолювана здатність елементів огорожувальних конструкцій становить, дБ

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

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

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

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

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

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

S_i – площа кожного елемента огороження, м²;

n – загальна кількість елементів огороження.

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

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

де $S_{заг}$ – загальна площа неоднорідного огороження, м²;

S_i та R_i – площа, м², та звукоізоляція окремого елемента, дБ.

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

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

Очікуване зниження шуму кабіною $R_{каб}$ становить, дБ

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

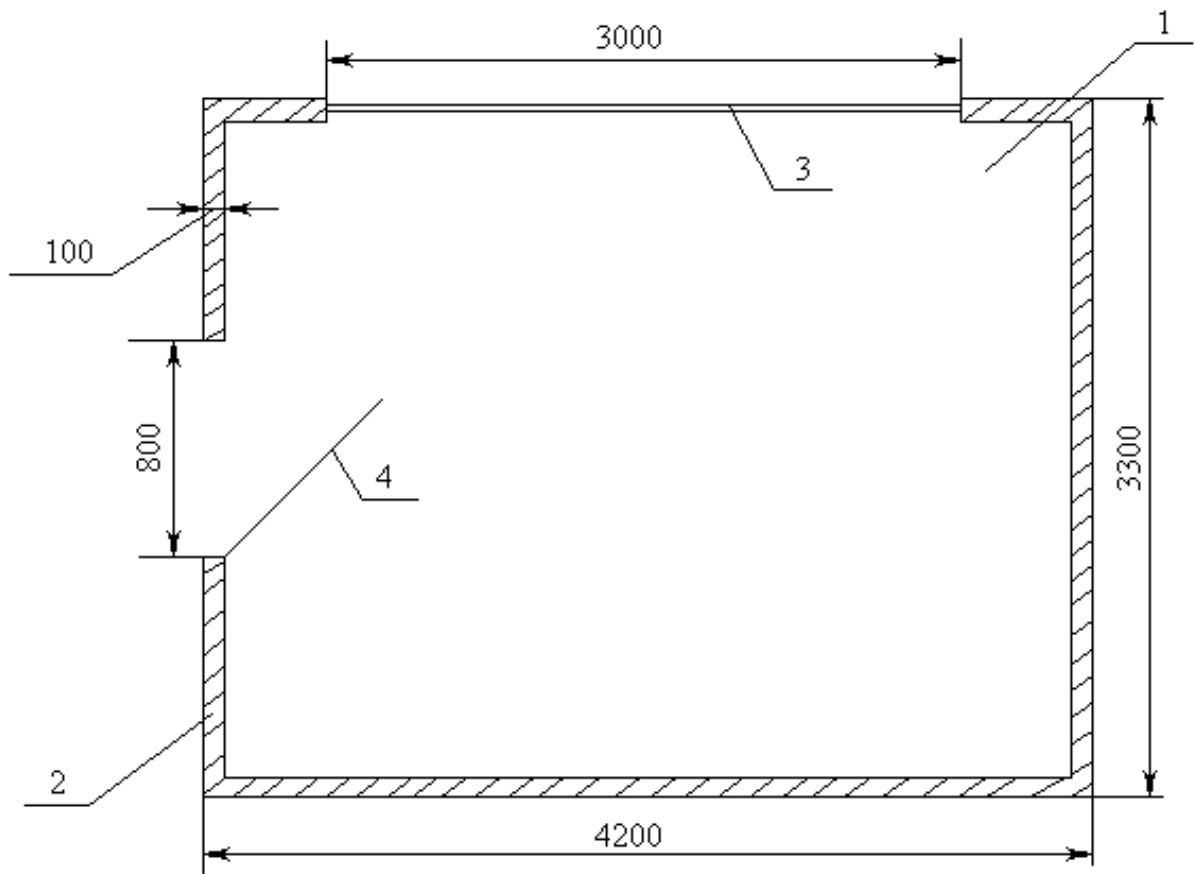
Перевіряємо умову $R_{каб} \geq R_{каб.н.}$: $8,83 \geq 8$ дБ – умова виконується.

Таким чином, вибрано звукоізолюючу кабіну технолога:

– стіни кабіни виготовляються залізобетонною панеллю товщиною 100 мм, поверхневою густиною 250 кг/м²;

– двері із стандартного полотна завтовшки 40 мм без ущільнювальних прокладок;

Звукоізольовану кабінку технолога зображено на рисунку 4.1.



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

Рисунок 4.1 – Звукоізольована кабінка технолога

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

4.3 Технічні рішення по гігієні праці і виробничій санітарії

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

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

Показники мікроклімату в приміщенні представлено в таблиці 4.4.

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

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

Створення необхідних параметрів мікроклімату у виробничому приміщенні забезпечується природною та механічною загальною вентиляцією повітря, яка представляє собою зміну повітря в приміщенні, призначену підтримувати в ньому відповідні метеорологічні умови і чистоту повітряного середовища.

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

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

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

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

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

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

4.4 Захисні заходи з електробезпеки

Приміщення цеху згідно ПУЕ можна віднести до I класу — з підвищеною небезпекою ураження струмом (відносна вологість повітря понад 75 %; струмопровідний пил; температура понад 350 °С або короткочасно 400 °С незалежно від пори року; можливість одночасного дотикання людини до металевих корпусів електрообладнання і заземлених металевих конструкцій будівлі; наявність струмопровідних підлог земляних, залізобетонних, цегляних та ін.) [29].

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

Для забезпечення електробезпеки запропоновано дотримуватися наступних вимог:

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

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

4.5 Пожежна безпека

Будівлю, в якій знаходиться лабораторія, по вибуховій і пожежній небезпеці можна віднести до приміщення категорії Д, оскільки в цеху є горючі і важкоспалімі речі, які при взаємодії з вогнем можуть горіти без вибуху. За конструктивними характеристиками будівлю можна віднести до будівель переважно з каркасною конструктивною схемою. Елементи каркаса — з металевих незахищених конструкцій. Огороджувальні конструкції — з

негорючих листових матеріалів з негорючим утеплювачем або утеплювачем груп низької та помірної горючості (ступінь вогнестійкості будівлі — Ша) [30].

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

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

Протипожежна безпека в енергосиловому цеху забезпечується:

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

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

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

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

У приміщеннях передбачаються первинні засоби пожежогасіння: пінні вогнегасники типу ОХП-10, ОП-М і ОП-9ММ (густопінні хімічні), ОХВП-10

(повітряно-пінний хімічний), вуглекислотні типу ВВ, азбестові ковдри, ящики з піском, протипожежні щити.

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

Передбачено систему оповіщення про пожежу першого і другого типу з використанням гучномовного зв'язку, установкою світлових покажчиків та звукових сигналів. Передбачено блискавкозахист та заземлення споруд. В якості блискавко приймального пристрою використовуються металоконструкції цеху. Захист від електростатичної індукції забезпечується шляхом приєднання всіх металевих корпусів обладнання та комунікацій до внутрішньої магістралі заземлення.

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

4.6 Засоби індивідуального захисту

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

ЗІЗ не тільки сприяють профілактиці захворювань, прямо або побічно пов'язаних з впливом шуму (приглухуватість, шумова хвороба, порушення нервової, серцево-судинної систем тощо), але і підвищують працездатність людини.

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

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

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

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

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

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

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

ВИСНОВКИ

1 Практично в будь-якій галузі промисловості використовується величезна кількість води, яка може бути використана для генерації електричної енергії, що могло б істотно знизити споживання її з мережі та дозволило б виробляти власну електроенергію по відносно низькій собівартості. Але на сьогоднішній день існує проблема синтезу системи збору гідроенергетичного ресурсу.

2 В процесі виконання дипломної роботи було розроблено алгоритм синтезу систем утилізації вторинного гідроенергетичного ресурсу підприємства з урахуванням обмежень та економічної доцільності.

3 За допомогою мови програмування C++ було написано програму виявлення такої системи гідроутилізації.

4 Запропонований алгоритм було застосовано для доменного цеху ПрАТ «Запоріжсталь».

5 Отримані в результаті розрахунку техніко-економічні показники свідчать, що утилізація вторинного гідроресурсу доменного цеху ПрАТ «Запоріжсталь» може дати значну економію коштів в разі вироблення власної електроенергії, у зв'язку з її низкою собівартістю – 1,4 грн/кВт·год. Можливий виробіток складе 1,421 млн. кВт·год. При цьому термін окупності капіталовкладень буде 3,7 роки.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

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

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

19. Тугай А.М. Водопостачання : підручник / А.М. Тугай, В.О. Орлов. – К. : Знання, 2009. – 735 с.
20. Баланчевадзе В.И. Энергетика сегодня и завтра : учеб. пособ. / В.И. Баланчевадзе, А. И. Барановский. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 344 с.
21. Лисиенко В.Г. Хрестоматия энергосбережения : справочник в 2-х томах. Том 1 / Лисиенко В.Г., Щелоков Я.М., Ладыгичев М.Г. – М. : Теплоэнергетик, 2005. – 234 с.
22. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника : справочник / [под общ. ред. В.А. Григорьева]. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 348 с.
23. Никифоров Б.И. Энергосбережение на металлургических предприятиях : учеб. пособ. / Б.И. Никифоров, Г.В. Заславец. – Магнитогорск : МГТУ, 2000. – 131 с.
24. Коваленко В.Л. Оценка потенциала утилизации вторичного гидроэнергетического ресурса на примере металлургического предприятия / В.Л. Коваленко, А.А. Филобок // Металургія: Наукові праці ЗДІА. – 2009. – Вип.19. – С.23 – 25.
25. Методика по разработке норм и нормативов водопотребления и водоотведения с учётом качества потребляемой и отводимой воды в чёрной металлургии. – М. : МЧМ СССР. – 1981. – 167 с.
26. Методика по разработке норм и нормативов водопотребления и водоотведения с учётом качества потребляемой и отводимой воды в чёрной металлургии (II редакция с дополнениями и изменениями). – М. : МЧМ СССР. – 1988. – 211 с.
27. Коваленко В.Л. Об оценке потенциала вторичного гидроэнергетического ресурса предприятия / В.Л. Коваленко // Відновлювана енергетика. – 2009. – № 2. – С. 54 – 58.
28. Андоньев С.М. Особенности промышленного водоснабжения: учеб. пособ. / Андоньев С.М. – Киев : Будівельник. – 1981. – 246 с.

29. Бережинский А.И. Охлаждение и очистка газов кислородных конвертеров : учеб. пособ. / А.И. Бережинский, А.Ф. Циммерман. – М. : Metallurgiya, 1975. – 316 с.
30. Андоньев С.М. Испарительное охлаждение металлургических печей: учебн. пособ. / Андоньев С.М. – М. : Metallurgiya, 1970. – 318 с.
31. Шейдлин А.Е. Новая энергетика : учебн. пособ. / Шейдлин А.Е. – М. : Наука. 1987. – 463 с.
32. Самойленко Є.Г. Гідроенергетичне обладнання гідро- і гідроакумуляуючих електростанцій. Ч. I. Основи теорії гідромашин : навч. посіб. / Є.Г. Самойленко. – З. : ЗДІА, 1999. – 104 с.
33. Віхорєв Ю.О. Перспективи використання енергії водотоків технічних систем водопостачання і водовідведення / Ю.О. Віхорєв, А.П. Ілляшенко // Проблеми загальної енергетики. – 2002. – № 7. – С. 29 – 33.
34. Васько П.Ф. Оцінка гідроенергетичного потенціалу водосховищ водогосподарського призначення на території України / П.Ф. Васько, Ю.О. Віхорєв, Д.Ф. Озорін, В.П. Карєв // Відновлювана енергетика. – 2009. – № 3. – С. 45 – 48.
35. Лабейш В.Г. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебн. пособ. / Лабейш В.Г. – СПб. : СЗТУ, 2003. – 79 с.
36. Качан Ю.Г. Основы энергосбережения. Конспект лекций для студентов всех форм обучения специальности 7.000008 «Энергетический менеджмент» / Качан Ю.Г. – Запорожье : ЗГИА, 2005. – 184 с.
37. Обрезкова В.И. Гидроэнергетика / [под ред. В.И. Обрезкова]. – М. : Энергоиздат, 1981. – 608 с.
38. Непорожного П.С. Гидроэнергетика и комплексное использование водных ресурсов : учеб. пособ. / [под ред. П.С. Непорожного]. – М. : Энергоиздат, 1982. – 559 с.
39. Юдасин Л.С. Энергетика: проблемы и надежды : учеб. пособ. / Юдасин Л.С. – М. : Просвещение, 1990. – 207 с.

40. Кожевникова Е.Н. Методические указания по выполнению курсовых и расчетно-графических работ по курсу гидравлики / Е.Н. Кожевникова, В.Т. Орлов. – Л. : Издание ЛПИ им. М.И. Калинина, 1985. – 48 с.

41. Вербицкий А.С. Интегральные функции распределения расходов воды. Инженерное обеспечение строительства / А.С. Вербицкий, А.Л. Лякмунд // Экспрессинформация. – М.:ВНИИИС, 1986. – Вып. № 2. – 210 с.

42. Корн М. Довідник по математиці (для науковців і інженерів) / М.Корн, Т. Корн. – М. : Наука, 1974. - 832 с.

43. Енохович А.С. Справочник по физике и технике / А.С. Енохович. – М. : Просвещение, 1983. – 248 с.

Програма розрахунку системи гідроенергетичної утилізації

```

class CComposition
{public:

    short nSources, nCol;
    WolfTree* pWTree;
    bool bExit;

    COMB_LIST *pCompList;
    COMB_LIST ***CachedComb;
    float** ppN;
    float** ppPath;
    MyList* OpList;
    HANDLE hThreads[2];
    short nActiveThreads;

    //COMB_LIST* pCombCandidate;
    //short* pCombOfCandidate;
    BestCombinationCandidate bestCombinationCandidate;
    float CurrMaxW;

    //////////////////////////////////////
    void __fastcall BuildTree (Tree* pTree, short
nLevel, bool bLeft);
    void __fastcall FindCompositions(Tree* pTree);

    void __fastcall BuildWolfTree (WolfTree* pWTree,
short nMax);
    void __fastcall RoundWolfTree (WolfTree* pWTree,
short bCountOfElem, COMB_LIST *pCombination
, MyList* pTemp,
short nMax, bool bCanDeep);
    void __fastcall SearchBestComb (COMB_LIST *pCompList,
short index, short* pComb, unsigned char Elapsed);
    void __fastcall DoOperations (short nBottomNumber);

    void SaveCombinationCandidate(COMB_LIST* pList, short*
pCombCountm, float W, float C, float Kfull);

public:
    BestCombinationCandidate* GetBestCombinationFounded();

    void ReleaseCompositions();
    int GetCompositions (short nTop, short nElemCount);
    void SetCriterion(short nCol, short nS);
    void ProcessOneCombination();
    void InitializeSearchProcess(float** ppN, float** ppPath);
    short* GetOneComp() const;

```

```

void Terminate();
void SetCurrThreads(HANDLE, HANDLE);
void OnExitThread();

CComposition();
~CComposition();
};

void CComposition::OnExitThread()
{
    nActiveThreads--;
    if(nActiveThreads == 0)
    {
        CloseHandle(hThreads[0]);
        CloseHandle(hThreads[1]);
    }
}
//=====
//=====//
//=====
//=====//
WolfTree::~WolfTree()
{
    delete []Branches;
    Branches = 0;
}

CComposition::CComposition()
{
    pWTree = NULL;
    pCompList = NULL;
    CachedComb = NULL;
    bExit = false;
//    pCombCandidate = NULL;
//    pCombOfCandidate = NULL;
}

CComposition::~CComposition()
{
    ReleaseCompositions();
    delete pCompList;
    delete pWTree;
}

void CComposition::ReleaseCompositions()
{
    if(pCompList != NULL && pCompList->size() != 0) {
        COMB_LIST::iterator it = pCompList->begin(), end = pCompList-
>end();
        while( it != end )
        {
            delete []it._Ptr->_Myval;

```

```

        it++;
    }
}
if(CachedComb == NULL) return;
COMB_LIST::iterator it; short n;
for(short i = 0; i < nSources - 2; i++)
{
    for(short j = 0; j <= i; j++)
    {
        it = CachedComb[i][j]->begin();
        n = CachedComb[i][j]->size();
        while(n--)
        {
            delete []it._Ptr->_Myval;
            it++;
        }
        delete CachedComb[i][j];
    }
    delete []CachedComb[i];
}
delete []CachedComb;

/*if(pCombCandidate)
{
    it = pCombCandidate->begin();
    for(short i = 0; i<nCol; i++, it++)
        delete []it._Ptr->_Myval;
    pCombCandidate->clear();
}
delete pCombCandidate;
pCombCandidate = NULL;

if(pCombOfCandidate)
    delete []pCombOfCandidate;
pCombOfCandidate = NULL;*/
}

//=====
=====//
void CComposition::BuildTree(Tree* pTree, short nLevel, bool
bLeft)
{
    if( nLevel == 1 ) return;
    if( pTree->CurrNumb > 1)
    {
        pTree->pLeft = new Tree();
        pTree->pLeft->CurrNumb = pTree->CurrNumb - 1;
        BuildTree(pTree->pLeft, nLevel, true);
    }

    if( pTree->CurrNumb != 0 && pTree->CurrNumb <=2)
    {
        pTree->pRight = new Tree();

```

```

        pTree->pRight->CurrNumb = pTree->CurrNumb - 1;
        BuildTree(pTree->pRight, nLevel - 1, false);
    }
    if( (pTree->CurrNumb != 1 || !bLeft) )
    {
        pTree->>nullBranch = new Tree();
        pTree->>nullBranch->CurrNumb = pTree->CurrNumb;
        BuildTree(pTree->>nullBranch, nLevel-1, false);
    }
//=====
//=====//
int CComposition::GetCompositions(short nTop, short nCount)
{
    pCompList = new COMB_LIST;
    if( nCount == 1 )
    {
        short *pSeq = new short[1];
        *pSeq = nSources;
        pCompList->push_back(pSeq);
        return pCompList->size();
    }
    Tree tree;
    tree.CurrNumb = (unsigned char)nSources;
    BuildTree(&tree, nCount, false);

    OpList = new MyList();
    FindCompositions(&tree);
    delete OpList;

    return pCompList->size();
}
//=====
//=====//
void CComposition::FindCompositions(Tree *pTree)
{
    if(bExit) return;
    if( pTree->pRight == NULL && pTree->>nullBranch == NULL)
    {
        DoOperations(pTree->CurrNumb);
        return;
    }
    if(pTree->pLeft)
    {
        OpList->push_front(OP_INCREMENT);
        FindCompositions(pTree->pLeft);
        OpList->pop_front();
    }
    if(pTree->pRight)
    {
        OpList->push_front(OP_ADDONE);
        FindCompositions(pTree->pRight);
        OpList->pop_front();
    }
    if(pTree->>nullBranch)

```

```

    {
        OpList->push_front(OP_ADDNULL);
        FindCompositions(pTree->>nullBranch);
        OpList->pop_front();
    }
}
//=====
=====//
void CComposition::DoOperations(short nBottomNumber)
{
    List* temp = OpList->begin();
    short* pSeq = new short[nCol];
    pSeq[0] = nBottomNumber;
    short index = 0;

    while(temp)
    {
        switch(temp->Operation)
        {
            case OP_INCREMENT:
                pSeq[index]++;
                break;
            case OP_ADDONE:
                pSeq[++index] = 1;
                break;
            case OP_ADDNULL:
                pSeq[++index] = 0;
                break;
        }
        temp = temp->Next;
    }
    pCompList->push_back(pSeq);
}
//=====
=====
void CComposition::ProcessOneCombination()
{
    InitializeCriticalSection(&cs);
    InitializeCriticalSection(&CandidateCs);
    nActiveThreads = 2;
    hThreads[0] = CreateThread(0,0, RoundInsideComb, this, 0, 0)
;
    hThreads[1] = CreateThread(0,0, RoundInsideComb, this, 0, 0)
;
}
//=====
=====
short* CComposition::GetOneComp() const
{
    EnterCriticalSection(&cs);
    if(pCompList->empty() || bExit){
        LeaveCriticalSection(&cs); return NULL;}
}

```

```

    short* pSeq = pCompList->back();
    pCompList->pop_back();
    LeaveCriticalSection(&cs);

    return pSeq;
}
//=====
void CComposition::SetCriterion(short _nCol, short nS)
{
    nSources = nS;
    nCol = _nCol;
}
//=====
void CComposition::BuildWolfTree(WolfTree* pWTree, short nMax)
{
    if(pWTree->CurrNumb == nMax) return;

    short nCount = nMax - pWTree->CurrNumb;
    pWTree->Branches = new WolfTree[nCount];
    pWTree->nBrahchesCount = nCount;

    while(nCount-->0)
    {
        pWTree->Branches[nCount].CurrNumb = nCount + pWTree->CurrNumb + 1; // +1 Because nCount decrement at once;
        BuildWolfTree( &pWTree->Branches[nCount], nMax);
    }
}
//=====
void CComposition::InitializeSearchProcess(float **_ppN, float
**_ppPath)
{
    ppN = _ppN;
    ppPath = _ppPath;
    CurrMaxW = 0;
    short nMax = nSources - 1;
    pWTree = new WolfTree();
    pWTree->CurrNumb = 0;

    BuildWolfTree(pWTree, nMax);

    /* calc all variants of links */
    if(nSources < 2) return;
    CachedComb = new COMB_LIST**[nSources-2];
    for(short i = 0; i < nSources-2; i++)
        CachedComb[i] = new COMB_LIST*[i+1];

    MyList TempList;
    for(short nMaxNumber = 3; nMaxNumber <= nSources;
nMaxNumber++)

```

```

        for(short nCount = 2; nCount < nMaxNumber; nCount++)
        {
            COMB_LIST* pList = new COMB_LIST;
            RoundWolfTree(pWTree, nCount, pList, &TempList,
nMaxNumber, true);
            CachedComb[nMaxNumber-3][nCount-2] = pList;
        }
    }
//=====
void CComposition::RoundWolfTree(WolfTree *pWTree, short
bCountOfElem, COMB_LIST* pCombination,
                                MyList* pTemp, short nMax,
bool bCanDeep)
{
    pTemp->push_front((unsigned char)pWTree->CurrNumb);
    if(bCountOfElem == 1)
    {
        short n = pTemp->size();
        if(n==0) return;
        List* it = pTemp->begin();
        short* pComb = new short[n];
        while(n--)
        {
            pComb[n] = it->Operation;
            it = it->Next;
        }
        pCombination->push_back(pComb);
        return;
    }
    short n = pWTree->nBrahchesCount;

    while(n--)
    {
        if(pWTree->Branches[n].CurrNumb > nMax-1) continue;
        RoundWolfTree(&pWTree->Branches[n], bCountOfElem-1,
pCombination, pTemp, nMax, true);
        pTemp->pop_front();
    }

    n = pWTree->nBrahchesCount;
    if(pTemp->size() == 1 && bCanDeep) { pTemp->pop_front();
        while(n--)
        {
            if( pWTree->Branches[n].CurrNumb + bCountOfElem <=
nMax)
            {
                RoundWolfTree(&pWTree->Branches[n],
bCountOfElem, pCombination, pTemp, nMax, false);
                pTemp->pop_front();
            }
        }
    }
}

```

```

}
//=====
=====
void CComposition::Terminate()
{
    bExit = true;
    WaitForMultipleObjects(2, hThreads, true, INFINITE);
}
//=====
=====
UINT nReff = 0;
void CComposition::SearchBestComb(std::list<short*>* pCurrList,
short index, short* pComb, unsigned char Elapsed)
{
    static const std::vector<SimplePoint*>* pCol =
Core.GetColP();
    static const std::vector<SourcePoint*>* pSP = Core.GetSP();
    if(pComb[0] == 1 && pComb[1] == 0 && pComb[2] == 3)
    {
        int h =0;
    }
    if(index == -1)
    {
        short n;//
        std::vector<short> V;
        V.resize(nSources);
        for(n = 0; n < nSources; n++) V[n] = n;
        std::list<short*>::iterator it = pCurrList->begin();
        std::vector<short>::iterator Vit = V.begin();
        n = nCol;
        double W = 0;
        double K = 0, Kfull = 0;
        while(n--)
        {
            double N = 0;
            double WF = 0;
            double TubesK = 0;
            for(short i = pComb[n] - 1; i >=0 ; i--)
            {
                short index = V[it._Ptr->_Myval[i]];
                N += ppN[index][n];

                WF += (*pSP)[index]->Qmax;
                Tube* pTube =
EditCoreTube.GetTubeByDiameter((*pSP)[index]->Diameter);
                if(pTube ==
NULL){InterlockedIncrement((LONG*)&nReff); return;}
                TubesK += double(0.08*pTube->fPrice *
ppPath[index][n] / 1000.);
                Kfull += pTube->fPrice * ppPath[index][n] /
1000.;

                V.erase( Vit + it._Ptr->_Myval[i] );
                if(it._Ptr->_Myval[i] == 0)

```



```

        Vit = V.begin();
    }
    it++;
    if(WF == 0) continue;
    HPS* pHPS = EditCoreHPS.GetHPSByWaterFlow(WF/3600.);
// convert to m/sec from m/hour;
    if(pHPS->fPrice == 0) continue;
    W += N*8760* pHPS->fEfficiency;
    K += 0.24*pHPS->fPrice + TubesK;
    Kfull += pHPS->fPrice;
}
K += 0.05 * Kfull;
double C = K / W;
    if( C < Core.GetElectricity() )
    {
        if( W > CurrMaxW )
        {
            CurrMaxW = W;
            SaveCombinationCandidate(pCurrList, pComb,
W, C, Kfull);
        }
    }
    InterlockedIncrement((LONG*)&nReff);
return;
}

short nCount = pComb[index], n;
bool bDelete = false;

COMB_LIST* pCombList;
MyList pTemp;

if(nCount == 0)
{
    pCurrList->push_back(0);
    SearchBestComb(pCurrList, index-1, pComb, Elapsed);
    pCurrList->pop_back();
    return;
}
if(nCount == 1)
{
    short nSize = Elapsed;
    pCombList = new COMB_LIST;
    bDelete = true;
    while(nSize--)
    {
        short *pSeq = new short[1];
        *pSeq = nSize;
        pCombList->push_back(pSeq);
    }
}
else
if(nCount == Elapsed)

```

```

    {
        n = nCount;
        pCombList = new COMB_LIST;
        bDelete = true;
        short* pSeq = new short[n];
        while(n--)
            pSeq[n] = n;
        pCombList->push_back(pSeq);
    }
    else
        pCombList = CachedComb[Elapsed-3][nCount-2];

    short nVariants = pCombList->size();

    std::list<short*>::iterator CombIt = pCombList->begin();
    do
    {
        pCurrList->push_back(CombIt._Ptr->_Myval);
        SearchBestComb(pCurrList, index-1, pComb, Elapsed -
nCount);
        if(bDelete)
            delete []CombIt._Ptr->_Myval;
        pCurrList->pop_back();
        CombIt++;
    } while( --nVariants > 0 );

    if(bDelete)
        delete pCombList;
}

//=====
void CComposition::SetCurrThreads(HANDLE hT1, HANDLE hT2)
{
    hThreads[0] = hT1;
    hThreads[1] = hT2;
}
//=====

void CComposition::SaveCombinationCandidate(COMB_LIST *pList,
short *pCombCount, float W, float C, float Kfull)
{
    short n = nCol;
    COMB_LIST::iterator it;
    COMB_LIST *pCombCandidate = new COMB_LIST();

    EnterCriticalSection(&CandidateCs);
    /*if(pCombCandidate)
    {
        it = pCombCandidate.begin();
        for(short i = 0; i<n; i++, it++)
            delete []it._Ptr->_Myval;
        pCombCandidate.clear();
    }
}

```

```

}
else pCombCandidate = new COMB_LIST();
*/
it = pList->begin();
for(short i = n-1; i>=0; i--, it++)
{
    if(it._Ptr->_Myval == NULL)
    {
        pCombCandidate->push_back(NULL);
        continue;
    }
    short count = pCombCount[i];
    short* pNew = new short[count];
    memcpy(pNew, it._Ptr->_Myval, sizeof(short)*count);
    pCombCandidate->push_back(pNew);
}
short* _pCombCount = new short[nCol];
for(short i = 0; i < nCol; i++)
    _pCombCount[i] = pCombCount[i];

bestCombinationCandidate.Clear();
bestCombinationCandidate.pCombCount = _pCombCount;
bestCombinationCandidate.pCombList = pCombCandidate;
bestCombinationCandidate.W = W;
bestCombinationCandidate.C = C;
bestCombinationCandidate.Kfull = Kfull;

LeaveCriticalSection(&CandidateCs);
}
BestCombinationCandidate*
CComposition::GetBestCombinationFounded()
{
    return &bestCombinationCandidate;
}

class CCore : public CObject
{
    unsigned short nWSlen;
    unsigned short nWSheight;
    unsigned short nWSwidth;
    float Delta;
    bool bShopSet;

    float Electricity;

    unsigned short nMaxX, nMaxY, nMaxZ;
    /* Data for Path calculations */
    CSPath Path;
    CComposition* pComp;

    std::vector<SimplePoint*> ColPoint;
    std::vector<SourcePoint*> SPoint;

```

```

    std::vector<Pot*> SPots, SPotsGidroaccum, ColPots,
ColPotsGidroaccum;
    std::vector<Pump*> SPumpPotsNearCol, SPumpPotsNearSources;
    /* End data for Path calculations */
    bool SpaceIsFreePoint(SimplePoint);
    bool SpaceIsFreeCube (short x1, short y1, short z1, short x2,
short y2, short z2);
    bool PtInCube          (SimplePoint Point, SimplePoint* Cube);
    float GetWaterPower   (short nS, float Path, short nCol);

    double QualifySpeed(float diameter, int Qmax);
    unsigned int GetStationarityPeriod(std::vector<int*>& Vq,
float E, int sourceIndex, double &firstAVG);

    void ClearPots();

public:
    static short GetQmax (SourcePoint* pSP);

    std::list<TCHAR*> ErrorList;
    CString HPSFilePath;
    CString TubeFilePath;
    CString PumpFilePath;
    CString PotFilePath;

    static float v; // speed
    short nThreadsOn;
    bool bExit;
    void CreateReport(BestCombinationCandidate*);
    bool AddColPoint (short x, short y, short z);
    bool AddSourcePoint (short x, short y, short z, double Fall,
/*double WaterFlow,*/ SPTYPE Type);
    bool AddLimitReg (short x1, short y1, short z1, short x2,
short y2, short z2);
    bool SetWorkshopParam(unsigned short len, unsigned short
width, unsigned short height, float step);
    bool InRange (unsigned short x, unsigned short y,
unsigned short z);
    bool Calculate ();
    bool Ready ();

    inline const std::vector<SimplePoint*>* GetColP() const
{return &ColPoint; }
    inline const std::vector<SourcePoint*>* GetSP() const
{return &SPoint; }
    inline const std::list<BadRegion*>* GetBR() const
{return &(Path.BadRegList); }
    inline const SimplePoint GetMaxCoordinates() const {return
SimplePoint(nMaxX, nMaxY, nMaxZ); }
    inline const SimplePoint GetWSParams() const
{return SimplePoint(nWSlen, nWSwidth, nWSheight); }

```

```

        inline const float GetDelta()                                const
{return Delta;}
        inline const float GetElectricity()                        const
{return Electricity;}
        inline const bool IsWorkshopSet()                          const
{return bShopSet;}
//=====
=====
        if(rand >= currComparePointTo)
            currCompareIndex += jump;//(currCompareIndex >
k/2 ? (k-currCompareIndex)/2 : currCompareIndex/2);
            if(rand < currComparePointFrom)
                currCompareIndex -= jump;//currCompareIndex/2 +
(currCompareIndex < 2 ? 1:0);
            currComparePointFrom =
pairInterval[currCompareIndex].first;
            currComparePointTo =
pairInterval[currCompareIndex].second;
            jump = (jump /2 == 0? 1:jump/2);// -= jumb/2;
        }
        pDistr[i] = from + (currCompareIndex)*interval +
std::rand()%interval;
    }
    delete []pairInterval;*/
    static float Ratio[] =
{14.7,9.6,14.7,17.8,10.2,19.7,30.6,55.5,25.2,30.6,31.3,27.6,19.3,2
4.8,8.2,8.9,17,10.5,35.8,21.9,15.2,

        6.7,3,31.8,23,15.3,31.1,35.5,8.2,1.5,98.5,48.8,31,10.7,27.1,3
5.4,1.8,23.5,25.8,34.8,41.6,40.4,44.6,11.8,21.9,55.9,8.5,
        16.2,27.5,18.3,4.4,6.8,8.4,27,23.8,19.6,54.8,28,22.1,24};

    short index = 0;
    for(int i = 0; i < count; i++)
    {
        pDistr[i] = from + (to-from)*Ratio[index]/100.;
        if(index == 59) index = 0;
        else index++;
    }
    return pDistr;
}
//=====
=====
    if(x1 >= x2 || y1 >= y2 || z1 >= z2)
    {
        ErrorList.push_back(L":: Проверьте ориентацию углов
преграды ::");
        return false;
    }
    if( !SpaceIsFreeCube(x1,y1,z1,x2,y2,z2) )
    {
        ErrorList.push_back(L":: Регион содержит объект.
Проверьте координаты ::");
    }

```

```

        return false;
    }
    BadRegion* pBR = new BadRegion();
    pBR->Point[0] = SimplePoint(x1,y1,z1);
    pBR->Point[1] = SimplePoint(x2,y2,z2);
    Path.BadRegList.push_back(pBR);
    return true;
}
//=====
double fillingDependenceFunction(float x)
{
    return -243.4*x*(x-0.2)*(x-0.4)*(x-0.6)*(x-0.8)*(x-1) +
    390.625*x*(x-0.1)*(x-0.4)*(x-0.6)*(x-0.8)*(x-1)
        - 373.26*x*(x-0.1)*(x-0.2)*(x-0.6)*(x-0.8)*(x-1) +
    286.45*x*(x-0.1)*(x-0.2)*(x-0.4)*(x-0.8)*(x-1)
        - 124.63*x*(x-0.1)*(x-0.2)*(x-0.4)*(x-0.6)*(x-1) +
    23.15*x*(x-0.1)*(x-0.2)*(x-0.4)*(x-0.6)*(x-0.8);
}
double GetRealQToNominalRatio(float diameter, float Q)
{
    diameter*=1000;
    const short COUNT = 17;
    static short diameters[] =
{50,75,100,125,150,200,250,300,350,400,500,600,700,800,900,1000,12
00};
    static float wfs[] = {3.1, 5.8, 11.7, 16.6, 21.8, 46, 71,
103,140, 184,315,443,561,776,987,1335,1919};
    short index = 0;
    while(diameter > diameters[index] && diameter >
diameters[index+1] && index < 16) index++;
    if(index == 16) return -1;
    if(diameter != diameters[index] && diameter >
diameters[index]) index++; // nearest bigger value
    return Q*1000 / (wfs[index]*3600);
}
//=====
double CCore::QualifySpeed(float diameter, int Qmax)//SourcePoint*
pSP, SimplePoint* pColP, float Path)
{
    float a =
fillingDependenceFunction(GetRealQToNominalRatio(diameter,
Qmax));////

    double R = 0, w = 0;
    double Phi = 3.14159 + 2*(a/0.5-1);// in radians
    const float Pi = 3.14159;

    w = Pi*diameter*diameter*Phi / (8*Pi) + diameter*diameter*(a-
0.5)*sqrt(a*(1-a));
    double hi = Pi*diameter*Phi/(2*Pi);

```

```

R = w / hi;
//////////
float n = 0.013f;
//float deltaZ = pSP->z - pColP->z;

float i = (diameter < 0.5 ? 1 : diameter > 1.2 ? 1.3 :
1.2)/(1000*diameter);
double y = 2.5*sqrt(n) - 0.13 - 0.75*sqrt(R)*(sqrt(n)-0.1);
float C = 1./n * pow(R, y);
return C*sqrt(R*i);
// -243.4*x*(x-0.2)*(x-0.4)*(x-0.6)*(x-0.8)*(x-1) +
390.625*x*(x-0.1)*(x-0.4)*(x-0.6)*(x-0.8)*(x-1) - 373.26*x*(x-
0.1)*(x-0.2)*(x-0.6)*(x-0.8)*(x-1) + 286.45*x*(x-0.1)*(x-0.2)*(x-
0.4)*(x-0.8)*(x-1) - 124.63*x*(x-0.1)*(x-0.2)*(x-0.4)*(x-0.6)*(x-
1) + 23.15*x*(x-0.1)*(x-0.2)*(x-0.4)*(x-0.6)*(x-0.8)
}

bool CCore::InRange(unsigned short x, unsigned short y, unsigned
short z)
{
    if( x < 0 || y < 0 || z < 0 || x > nMaxX || y > nMaxY || z >
nMaxZ)
        return false;
    return true;
}
//=====
=====
while(len--)
{
    BadRegion* pBR = new BadRegion();
    ar >> pBR->Point[0].x >> pBR->Point[0].y >> pBR-
>Point[0].z
        >> pBR->Point[1].x >> pBR->Point[1].y >> pBR-
>Point[1].z;
    Path.BadRegList.push_back(pBR);
}
ar >> Electricity;
ar >> HPSFilePath;
ar >> TubeFilePath;
ar >> PumpFilePath;
ar >> PotFilePath;

EditCoreHPS.LoadDataFromFile(HPSFilePath);
EditCoreTube.LoadDataFromFile(TubeFilePath);
EditCorePump.LoadDataFromFile(PumpFilePath);
EditCorePot.LoadDataFromFile(PotFilePath);
}
}
//=====
=====
float CCore::GetWaterPower(short nS, float shortestPath, short
nCol)
{

```

```

    SourcePoint* pSP = SPoint[nS];
    //const float v = 2.65f;
    float Diameter = pSP->Diameter;//100.;
    //float Hp = float((0.021 / pow(Diameter, 0.3f)) *
shortestPath / Diameter * ( v*v / (2* 9.81)));
    Tube* pTube = EditCoreTube.GetTubeByDiameter(Diameter);
    float v = QualifySpeed(pTube->fDiameter/1000., pSP->Qmax);//,
ColPoint[nCol] ,shortestPath);
    float Hp = float(0.021 * shortestPath * v * v / (Diameter *
2* 9.81));
    return float(9.81 * pSP->Qmax/3600. * ( pSP->Fall - Hp ));
}
//=====
=====
short CCore::GetQmax(SourcePoint* pSP)
{
    short Qmax = 0, index;
    switch(pSP->Type)
    {
    case ST_CONST:
        Qmax = *pSP->Q;
        break;
    case ST_VAR:
        Qmax = pSP->Q[1];
        break;
    case ST_VARLOOP:
        Qmax = 0;
        index = pSP->nQCount;
        while(index--)
            if( pSP->Q[index] > Qmax )
                Qmax = pSP->Q[index];
    }
    return Qmax;
}
End
}
//=====
=====

```