МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

_____Електричної інженерії та кіберфізичних систем_____
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

_____другий (магістрський) рівень_____
(рівень вищої освіти)

на тему Підвищення енергоефективності ПрАТ «Укрграфіт» шляхом отпимізації системи оборотного водозабезпечення

Виконав: студент __2___ курсу, групи__8.1453_
спеціальності _____145__Відновлювані джерела енергії та гідроенергетика_____
(код і назва спеціальності)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)
освітньої програми Гідроенергетика_____
(назва освітньої програми)
_____Лібега І. В._____
(ініціали та прізвище)

Керівник ___к.т.н., доц., Радченко В.В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент___Коломієць Д.М._____
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут_____
Кафедра____Електричної інженерії та кіберфізичних систем _____
Рівень вищої освіти____другий (магістерський) рівень_____
Спеціальність __145 Відновлювані джерела енергії та гідроенергетика
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)
Освітня програма Гідроенергетика

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
д.т.н., проф._____В.Л. Коваленко
«__01__»_____12_____2024__року

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

_____Лібега Івану Вячеславовичу_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи Підвищення енергоефективності ПрАТ «Укрграфіт» шляхом отпимізації системи оборотного водозабезпечення_____
керівник роботи ___Радченко В.В., к.т.н., доцент_____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «_28_»_лютого__2024__року №_361 - с_____
2 Строк подання студентом роботи _____01 грудня 2024 р._____
3 Вихідні дані до роботи Водотоки металургійного підприємства, основні технічні характеристики мікро ГЕС, діапазон витрат від 0,7 до 12 м^3/с в межах напорів від 2,5 до 20 м, загальне водоспоживання 714907466 м^3/рік.
4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Аналіз теоретичних питань вторинної гідроенергоутилізації 2) Оптимізація параметрів систем утилізації гідроенергетичних ресурсів підприємств 3) Застосування алгоритму оптимізації на прикладі цеху графітації підприємства ПрАТ «Укграфіт» 4) Охорона праці та техногенна безпека.
5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1) Оцінка можливостей й обсягів гідроутилізації в Запорізькій області 2) Енергетичні та технічні характеристики мікро ГЕС 3) Оптимізація параметрів систем утилізації гідроенергетичних ресурсів підприємств 4) Комбінаторні

рішення 5) Приклад застосування алгоритму визначення оптимальної СГЕУ 6) Техніко-економічні показники проектів гідроенергоутилізації для цеху гравітації ПрАТ «Український графіт» 7) Висновки

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 01.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз теоретичних питань вторинної гідроенергоутилізації	30.09.2024	
2	Оптимізація параметрів систем утилізації гідроенергетичних ресурсів підприємств	30.10.2024	
3	Застосування алгоритму оптимізації на прикладі цеху графітації підприємства ПрАТ «Укграфіт»	19.11.2024	
4	Охорона праці та техногенна безпека.	30.11.2024	

Студент _____ І. В. Лібега
(підпис) (ініціали та прізвище)

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

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ І.І. Коваленко
(підпис) (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Лібега І. В. Підвищення енергоефективності ПрАТ «Укрграфіт» шляхом отпимізації системи оборотного водозабезпечення. Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 145 – Відновлювані джерела енергії та гідроенергетика, науковий керівник В.В. Радченко. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут, кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем, 2024.

Окреслено основні вимоги та обмеження для функціонування системи збору вторинних водних потоків; розроблено алгоритм для синтезу оптимальної системи утилізації вторинного гідроенергетичного ресурсу підприємства, враховуючи ці обмеження; алгоритм був застосований на прикладі реального об’єкта, і отриманий результат було проаналізовано.

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

ABSTRACT

Liebega I. V. Increasing the energy efficiency of PrJSC "Ukrgrafit" by optimizing the circulating water supply system. Qualification final work for obtaining a master's degree in specialty 145 - Renewable energy sources and hydropower, scientific supervisor V.V. Radchenko. Zaporizhia National University. Engineering Educational and Scientific Institute, Department of Electrical Engineering and Cyber-Physical Systems, 2024.

The main requirements and limitations for the functioning of the secondary water flow collection system are outlined; an algorithm is developed for the synthesis of an optimal system for utilizing the secondary hydropower resource of the enterprise,

taking into account these limitations; the algorithm was applied to the example of a real object, and the result obtained was analyzed.

Keywords: SECONDARY ENERGY RESOURCES, HYDROPOWER UTILIZATION, MICROHYDROPOWER PLANT, INDUSTRIAL ENTERPRISE, OPTIMAL OPTION.

ЗМІСТ

Вступ…….…….....8
1 Аналіз теоретичних питань вторинної гідроенергоутилізації……10
1.1 Вторинні енергоресурси підприємств…….….10
1.1.1 Класифікація вторинних енергоресурсів…….……...10
1.1.2 Використання води в промисловості..…….……...11
1.1.3 Вода як вторинний енергоресурс…….…19
1.2 Використання міні- та мікро ГЕС для утилізації гідроресурсу……..21
1.2.1 Сучасний стан використання міні- та мікро ГЕС ……...21
1.2.2 Оцінка можливостей й обсягів гідроутилізації в Запорізькій області……22
1.3 Оцінка потенціалу утилізації вторинних гідроенергетичних ресурсів основних промислових підприємств регіону ……..24
2 Оптимізація параметрів систем утилізації гідроенергетичних ресурсів підприємств ……...34
2.1 Постановка задачі та вибір критерія оптимізації СГЕУ …….34
2.2 Задання обмежень на місця розташування обладнання СГЕУ …….37
2.3 Алгоритм визначення найкоротшої відстані в просторі……41
2.4 Комбінаторні рішення щодо об’єднання вторинних водотоків ……46
2.5. Алгоритм визначення оптимальної системи утилізації вторинних гідроенергетичних ресурсів……..50
3 Застосування алгоритму оптимізації на прикладі цеху графітації підприємства ПрАТ «Укграфіт»……..54
3.1 Загальна характеристика ПрАТ «Укграфіт»……...54
3.2 Приклад застосування алгоритму визначення оптимальної СГЕУ..55
4. Охорона праці та техногенна безпека……..…….66
4.1 Характеристика небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища…….66

4.2 Заходи з поліпшення умов праці …….68
4.3 Технічні рішення по гігієні праці і виробничій санітарії……...74
4.4 Захисні заходи з електробезпеки……....76
4.5 Пожежна безпека……77
4.6 Засоби індивідуального захисту……..…...79
Висновки……...81
Перелік джерел посилань……..……...…….....83

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 засоби оптимізації систем 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.

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота включає вступ, чотири розділи, висновки, список використаної літератури з 40 позицій. Загальний обсяг 86 сторінок .

Для відводу вторинного тепла від технологічних агрегатів найчастіше використається 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.

1 АНАЛІЗ ТЕОРЕТИЧНИХ ПИТАНЬ ВТОРИННОЇ ГІДРОЕНЕРГОУТИЛІЗАЦІЇ

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 відходящіх 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 сталевої смуги при термообробці на базі двофазних термосифонів;
- чавунні холодильні плити, виготовлені із продувкою стисненим повітрям і отжигом у ливарній формі;
- енерготехнологічний агрегат для нагрівання металу й виробітку пари енергетичних параметрів;
- модульні енерготехнологічні котли-утилізатори (КУ);
- установка випарного охолодження потужних нагрівальних печей із крокуючими балками й новими конструкціями шарнірних з'єднань;
- 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 м^3. Вапняк є флюсом, що сприяє сплавці й ошлакуванню порожньої породи руди. Необхідне для горіння повітря подається в піч повітродувками; перед надходженням у піч повітря проходить через повітронагрівачі. Для інтенсифікації процесу в доменну піч може подаватися кисень, одержуваний на спеціальній станції, а також природний газ.

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

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

Шихта воложиться для зменшення виносу з доменної печі пиловатих часток руди, флюсів і коксу. Для цього звичайно використається вода (0,5 м^3 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 повітронагрівачів (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 виплавлюваного чавуну (без урахування її витрати на грануляцію шлаків і розливання металу) становить близько 24 $м^3$, 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 повітронагрівачів 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 посвітлінням 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 рубежем 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 використається на технологічні потреби заводу.

При випарному охолодженні 1 кг води, випаровуючись, відбирає в охолоджуваної 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 °С

треба було б (539+70)/10~60 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…40) кгс/см^2.

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 простої 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, використається 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 згоряння 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 ефективне 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 гідростанціях 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 Теребле-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 використається усередині шахти, яка після застосування вже самопливом попадає на більш низькі обрії. Перепади між обріями 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.

1.3 Оцінка потенціалу утилізації вторинних гідроенергетичних ресурсів основних промислових підприємств регіону

Витрати води, що споживається промисловими підприємствами, дуже значні. Вона використовується для охолодження обладнання безпосередньо в технологічному процесі або забезпечення стійкості агрегатів, що працюють у зонах високих температур (75 - 80% всього обсягу) [23]. Вода також входить до складу продукції, що випускається як елемент, включаючи одержання пари для вироблення електроенергії (15 - 20%), а також витрачається на підсобні потреби (полив, промивку, миття тощо). На долю цього споживання припадає 5 - 10%. Таким чином, основним споживачем води в промисловості є охолодження [1,15].

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

води при такому охолодженні робить практично неможливою або малоефективною утилізацію тепла, що уноситься з нею.

Вказана особливість систем промислового охолодження обумовлює величезну витрату технічної води для підтримки заданого температурного режиму. Як правило, потреба підприємства в останній розраховується за загальноприйнятими методиками. Вони дозволяють визначати її кількість, необхідну для охолодження, наприклад, конструкцій металургійних і нагрівальних печей, елементів технологічного обладнання (валків, прокатних станів, корпусів машин, підшипників тощо), готової продукції, на газоочистку і приготування технологічних розчинів.

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

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

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

- змішувально-пресові - № 1 і 2: на охолодження головок прокалочних печей, маси заготовок у пресовому відділенні, маси у відділенні формування,

маси при навантаженні її у вагони, для роботи гідросистеми і насосних станцій пресового відділення, на холодильники прокалочного відділення;

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

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

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

Найбільшу кількість технічної води на ПрАТ «Український графіт» споживає цех графітації. Її сумарна витрата становить 644 м^3/г, в тому числі 300 м^3/г - на охолодження електрокальцінаторів, 180 м^3/г – барабанів-охолоджувачів, 144 м^3/г – підшипників димососів і 20 м^3/г – формовочних машин. Підведення води на охолодження обладнання цеху здійснюється двома шляхами: на електрокальцінатори, як найбільш чутливе до безперервності охолодження обладнання, її подачу виконують від окремого насоса, на інше обладнання - від центральної насосної станції (табл. 1.2).

Таблиця 1.2- Характеристика джерел гідроресурсу цеху графітації

Найменування джерел	Характеристика джерел		
	напір Н, м	витрата Q, м^3/г	кількість
електрокальцінатори	17,1	50,0	6
формовочна машина	10,0	20,0	1
барабани-охолоджувачі	5,0	30,0	6
підшипники димососів	4,8	28,8	5

Існує кілька методик, що дозволяють оцінити потребу підприємства в технічній воді. Розрахунок індивідуальних норм водоспоживання та водовідведення у відповідності з методикою [25,26] зводиться до визначення

необхідної витрати води за операціями і агрегатами як основного, так і допоміжного виробництва. Така витрата визначається:

- для обладнання заводського виготовлення приймається за паспортними даними заводу-виготовлювача;

- для прокатного обладнання (охолодження валків, гідрозбивання окалини і т.п.), у зв'язку з відсутністю методики розрахунку, приймається за досягнутого рівня експлуатації;

- на охолодження елементів обладнання, що не має паспортних даних, визначається за формулами методики [27].

Розрахунок необхідної кількості води для охолодження металургійних агрегатів [27] полягає у визначенні її витрати при заданому тепловому потоці, тепловому навантаженні і якості [25,26, 28-30]. Необхідна кількість рідини на охолодження елементів технологічного обладнання, що не мають паспортних даних, приймається як найбільша з таких, що:

1) забезпечує відведення теплоти від i-го елемента, який охолоджується $м^3/ч$

$$Q_{техі} \geq \frac{Q_{mi}}{1000 \cdot (t_{вих} - t_{вх}) \cdot C}, \qquad (1.1)$$

де $Q_{mi} = q \cdot F$ – теплове навантаження на i – елемент, що охолоджується, приймається за матеріалами інструментальних замірів, ккал/г, q – теплова напруга, $ккал/г \cdot м^2$, F – площа поверхні, що нагрівається, $м^2$, $t_{вих}$ – гранична температура води, °С, $t_{вх}$ - температура води, що поступає на охолодження, °С , C - питома теплоємність води, $ккал/кг \cdot °С$;

2) визначається в залежності від наявності в воді механічних домішок, і розраховується виходячи з необхідної швидкості потоку, $м^3/г$ од

$$Q_{смі} \geq 3600 \cdot \upsilon_{смі} \cdot F, \qquad (1.2)$$

де $\upsilon_{смі}$ - швидкість в i – му елементі, що охолоджується [28], м/с; F - площа живого перетину проточної частини i – го елемента, що охолоджується, $м^2$;

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

$$Q_{мкі} \geq \frac{1{,}32 \cdot 10^{-5}}{p^{0,2}} \cdot F^{1,2} \cdot q, \tag{1.3}$$

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

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

$$Q = N \cdot q_m, \tag{1.4}$$

де N – кількість продукції, що випускається за рік, шт., q_m – питомі витрати води на одиницю продукції, що випускається, $м^3/т$.

Слід мати на увазі, що в одних випадках (зокрема, для охолодження) споживання води йде майже рівномірно протягом доби, а в інших - відбувається періодично для наповнення в заданий час різних баків, ванн і т. ін. Однією із специфічних особливостей виробничого водоспоживання є залежність у ряді випадків кількості спожитої води від її якості, зокрема (і найбільш часто) від її температури. Чим остання менше, тим, очевидно, менший і обсяг води потрібний

для того ж охолоджувального ефекту. Ця обставина обумовлює зміну витрати за сезонами року: взимку він значно нижче, ніж улітку, що серйозно позначається на результатах розрахунків.

У таблиці 1.3, як приклад, представлені результати розрахунку потреби в технічній воді дугової електропечі електросталеплавильного цеху № 1 підприємства ВАТ «Дніпроспецсталь», що входить у металургійний комплекс м. Запоріжжя, в літню пору року. Прийнята тривалість роботи печі при тризмінному графіку 8136 год/рік. Очевидно, що навіть такі обсяги досить істотні і можуть бути використані для утилізації, що розглядається. Для підприємств же в цілому (таблиця 1.4) це питання не викликає жодного сумніву.

Таблиця 1.3 - Необхідна кількість води для охолодження електропечі типу ДСВ-20

Елементи печі, що охолоджуються	Кількість, шт.	Теплоз'єм, ккал/г	Витрата, $м^3/г$	$t_{вх}$, C^0	$t_{вих}$, C^0	Річна витрата, $м^3/рік$
Арка робочого вікна	4	135000	9	30	45	292896
Заслінка робочого вікна	4	85500	5,7			185501
Ободове кільце	4	60000	4			130176
Електродні кільця	12	31500	3,47			339198
Головка електроутримувача	12	31500	3,47			339198
Фурма кисню	4	126000	8,4			273370
Пічний трансформатор	4	225000	15			488160
Стартер СЕП - 40	4	150000	10			325440
Всього:						2373939

Таблиця 1.4 - Потреба в технічній воді основних металургійних підприємств м. Запоріжжя

Підприємство	Потреба в технічній воді (т.ч. оборотній), $м^3/г$	Втрати, $м^3/рік$	Річна витрата, $м^3/рік$
ПрАТ «Запоріжсталь»	81610	24688600	714907471
ПрАТ «Дніпроспецсталь»	18310	17645195	160394241
ПрАТ «Український графіт»	2629	4051800	16992800
ПрАТ «Запорізький феросплавний завод»	2806	3302765	24578654
Всього	105355	49688360	916873166

Дані, представлені в таблиці 1.4, отримані шляхом вимірювань і розрахунків на основі паспортів систем водопостачання та технічної документації устаткування. Втрати води складаються з суми втрат на випаровування та краплевинесення в системах охолодження бризкальних басейнів.

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

Очевидно, також, що для вироблення електричної енергії придатна тільки та вторинна вода, яка відповідає вимогам, що пред'являються заводами-виробниками мікро-ГЕС. Нормативні показники систем водяного охолодження

промислових підприємств [28]: температура відпрацьованої води оборотних циклів не перевищує 45-60 °С, карбонатна жорсткість 2 – 3 мг·екв/л, вміст суспензії 50 – 100 мг/л. Така вода вважається умовно чистою і може бути використана в гідротурбінах [31].

З вищевикладеного випливає, що обсяг спожитої підприємством технічної води не дорівнює тому, який теоретично можна використати як гідроенергетичний ресурс. Отримана цифра, як правило, не відображає реальний обсяг останнього, оскільки не враховується територіальне розташування обладнання - джерел вторинної води. Утилізація ж механічної енергії водотоку передбачає створення відповідних систем збору. Кількість сумарної енергії, що можливо утилізувати, визначається розосередженням джерел вторинної води, і, відповідно, топологією системи збору. На основі проведеного аналізу ряду підприємств було зроблено висновок про те, що обсяг води, який відповідає вищевикладеним вимогам може бути розрахований таким чином:

$$Q_з = Q_{об} - Q_в - Q_{уз}, \tag{1.5}$$

де $Q_з$ - об'єм загального водоспоживання, $м^3/рік$, $Q_в$ - споживання, яке обумовлене винесенням води продукцією, що випускається, і охолодженням останньої, $м^3/рік$, $Q_{уз}$ - об'єм умовно забрудненої води, що потребує очищення, $м^3/рік$.

Очевидно, що для більш точних розрахунків потрібний докладний аналіз кожного споживача технічної води підприємства (цеху) з накладенням компоновки устаткування і створенням оптимальної системи збору, що впливають на величину гідроенергетичного ресурсу. Якщо висота, з якої відпрацьована вода відводиться з технологічного циклу, відповідає нульовій позначці, то потенційна енергія такого потоку наближається до нуля, навіть якщо витрата її величезна. Такий водотік в даному випадку інтересу не представляє і виключається із загального обсягу споживання.

Результати обстеження, проведеного в розглянутому цеху, представлені в таблиці 1.5. Дані наведено без урахування додаткових втрат енергії в елементах системи збору. При цьому, $W_{можл}$ визначалися як [32]:

$$W_{можл} = N_{вод} \cdot t, \tag{1.6}$$

де $N_{вод}$ - потужність водотоку, кВт; $N_{вод}$ = 9,81 $\sum Q \cdot H$; $\sum Q$ - сумарна витрата води, м^3/г; H - напір, м; t - тривалість роботи підприємства на рік (при тризмінному графіку роботи - t = 8760 годин).

У той же час, як видно з таблиці 1.5, за рахунок утилізації вторинного гідроенергетичного ресурсу цеху можна виробити 161535 кВт·г, що складає 16,8 % від сумарних витрат на транспортування води для даного об'єкта. Дані наведені лише по одному цеху підприємства. Утилізація ж всього гідроенергетичного ресурсу ПрАТ «Український графіт» дозволить суттєво зекономити кошти за рахунок вироблення власної електричної енергії, яка, до того ж, є основним енергоресурсом підприємства.

Таблиця 1.5 - Оцінка потенціалу гідроресурсу цеху графітації

Найменування джерел	Сумарна витрата джерела ∑Q, м^3/г	Потужність водотоку $N_{вод}$, кВт	Можливе вироблення електроенергії за рік $W_{можл}$, кВт·г
електрокальцінатори	300	14,00	122640
барабани-охолоджувачі	180	1,96	17170
підшипники димососів	144	1,88	16469
формовочна машина	20	0,60	5256
Всього	644	18,44	161535

На рисунку 1.1 наведена діаграма співвідношення вартості енергоресурсів, що споживаються даним підприємством, приведеної до діючих тарифів (природний газ – 2187,2 грн/1000 $м^3$, теплова енергія - 237,98 грн/Гкал, електрична енергія – 0,74322 грн/кВт · г): електроенергія становить 76%, теплова енергія - 12%, природний газ - 12% від сумарних витрат на енергоносії. Останнім часом намітилася тенденція відмови, де це можливо, від використання природного газу, зважаючи на його стрімке подорожчання, і переходу на електричну енергію. З вищевикладеного випливає, що частка витрат на електроенергію з часом буде зростати. Утилізація ж гідроенергетичного ресурсу може внести вагомий внесок у зменшення споживання електроенергії з електромережі.

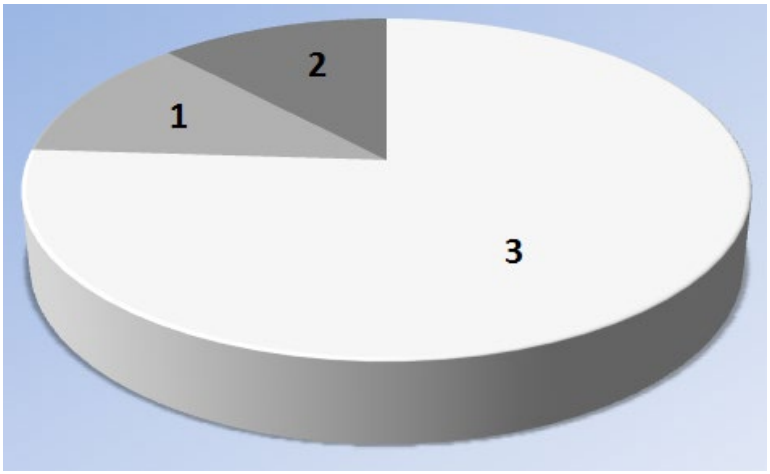


Рисунок 1.1 - Співвідношення витрат підприємства на різні види енергоресурсів: 1 - теплова енергія; 2 – природний газ; 3 – електроенергія.

2 ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМ УТИЛІЗАЦІЇ ГІДРОЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ ПІДПРИЄМСТВ

2.1. Постановка задачі та вибір критерія оптимізації СГЕУ

Основною кінцевою задачею впровадження систем утилізації гідроенергетичних ресурсів промислових підприємств є отримання електричної енергії для забезпечення живлення власних споживачів. Тому, в першу чергу, необхідно обчислити можливу її кількість, яка буде напряму залежати від конфігурації системи збору, що визначає втрати в складових елементах останньої. Очевидно, що впровадження СГЕУ з оптимізованими параметрами дозволить отримувати її найкращі енергетичні і економічні показники.

Відомо, що оптимальною, в загальному випадку, називається система, яка є найкращою за якимось показником (критерієм) при заданих обмеженнях. Щоб створити таку систему необхідно, в першу чергу, сформулювати цей критерій оптимальності та отримати цільову функцію (модель), тобто залежність останнього від шуканих параметрів в системі утилізації, що при певних вимогах досягає екстремального значення. Таку оптимізацію одночасно можна здійснити лише за одним показником, накладаючи, при цьому, на інші чіткі обмеження.

Вибір критерія оптимальності в розглядуваному нами випадку є важливою техніко-економічною задачею, що вирішується на основі детального вивчення процесу збору води. Останній являє собою, по-перше, комплекс заходів, спрямований на мінімізацію втрат напору в СГЕУ, від якого напряму залежать енергетичні показники систем, що проектується. По-друге, суттєвий вплив на економічні показники СГЕУ буде мати територіальне розосередження джерел вторинної води і, відповідно, габаритні розміри елементів системи збору, які визначають капіталовкладення в останню. Кількість електричної енергії, що виробляється, в найкращому з можливих топологічних варіантів, очевидно, й буде максимальною.

Як показник, що визначає ступінь ефективності утилізації механічної енергії вторинної води, пропонується використовувати величину кількості виробленої електричної енергії:

$$W_{СГЕУ} \to \max . \tag{2.1}$$

Очевидно, що чим вище ця величина, тим ефективніше використовується розглядуваний гідроенергетичний ресурс підприємства. При цьому собівартість виробленої генераторами мікро-ГЕС електроенергії, не повинна перевищувати діючий тариф на електроенергію, що і буде, по суті, обмеженням до критерія оптимальності, яке характеризує економічну доцільність впровадження СГЕУ:

$$C_{СГЕУ} < C_{м}, \tag{2.2}$$

де $C_{СГЕУ}$ і $C_{м}$ - собівартість електроенергії, що виробляється за рахунок вищезазначеної утилізації і вартість покупної ЕЕ [61], відповідно.

При визначенні техніко-економічних параметрів СГЕУ будуть накладатися й наступні додаткові обмеження:

- на геометричні розміри об’єкта гідроенергоутилізації (підприємства, цеху, ділянки і т. ін.):

$$(X;Y;Z) \geq (x;y;z)_{\max СГЕУ}, \tag{2.3}$$

де $(X;Y;Z)$ і $(x;y;z)_{\max СГЕУ}$ - граничні габаритні розміри самого об’єкта і простору розміщення СГЕУ, відповідно, що задаються у тривимірному об'ємі. Очевидно, що останній повинен створюватися таким чином, щоб елементи системи збору не виходили за територію об’єкта, тобто залишалися в його межах.

- на кут $i_{кр}$ ухилу трубопроводів:

$$i_{кр} \geq i_{кр\min}, \tag{2.4}$$

де $i_{кр\min}$ - мінімальний ухил, що забезпечує переміщення води в самопливних трубопроводах (2.9) від $к$ - го джерела до p - го центру збору гідроресурсу.

Крім того, очевидно, що у випадку невідповідності параметрів окремих або сумарних водотоків джерел вторинної води мінімальним або максимальним характеристикам обладнання для їх утилізації, підібрати останнє, в такому разі, буде неможливо, тому необхідно ще ввести ряд наступних обмежень:

$$\left.\begin{aligned} Q_{p\min} &\geq Q_{т\min} \\ H_{p\min} &\geq H_{т\min} \\ Q_{pmax} &\leq Q_{тmax} \\ H_{pmax} &\leq H_{тmax} \end{aligned}\right\}, \tag{2.5}$$

де $Q_{p\min}$ і Q_{pmax}, $Q_{т\min}$ і $Q_{тmax}$ - мінімальні і максимальні витрати джерела і турбіни мікро-ГЕС, що забезпечують вироблення останньою номінальної потужності, передбаченої її виробником; $H_{p\min}$ і H_{pmax}, $H_{тmax}$ і $H_{т\min}$ - відповідні граничні напори. Для більш точного розрахунку енергетичних і економічних характеристик СГЕУ і врахування динамічної складової водотоку може бути використаний розроблений і докладно описаний в підрозділі 2.2 стохастичний генератор витрати. Застосування останнього дозволить спрогнозувати шукані параметри СГЕУ у будь-який проміжок часу а дані, що він видає, використовувати як вихідні для подальшого обчислення.

Основним і найбільш складним питанням у задачі створення оптимальної СГЕУ є синтез топології системи збору вторинних потоків, від якої напряму залежить ефективність процесу, що розглядається. Устаткування підприємства (цеху), як правило, розосереджене по його території згідно з вимогами технологічного процесу і, до того ж, має різні габаритні розміри. Очевидно, що

на розміщення елементів СГЕУ також повинні бути накладені обмеження щодо неприпустимості їх розташування в місцях установки основного та допоміжного виробничого обладнання. Однак, з математичної точки зору формулювання таких обмежень є досить складним. Тому, при вирішенні сформульованої задачі оптимізації це питання є одним з вирішальних і його необхідно розглянути окремо.

Отже, з вищезазначеного випливає, що критерій оптимальності й система обмежень для задач проектування СГЕУ мають економічний сенс, за якого гідроенергоутилізація є доцільною. До першочергових етапів синтезу алгоритму створення такої СГЕУ відноситься:

- прогнозування вторинних водотоків шляхом їх моделювання стохастичними генераторами витрат;
- вирішення топологічної задачі розташування обладнання СГЕУ шляхом накладання відповідних обмежень;
- розрахунок можливих маршрутів прокладання трас трубопроводів з урахуванням накладених обмежень;
- визначення комбінаторних варіацій об’єднання джерел вторинної води з центрами збору гідроенергетичних ресурсів;
- вибір обладнання СГЕУ за визначеними характеристиками водотоку;
- обчислення економічних і енергетичних характеристик кожного з варіантів топології СГЕУ і вибір найкращого з них за обраним критерієм.

2.2. Задання обмежень на місця розташування обладнання СГЕУ

Для збільшення ККД утилізації механічної енергії потоків води від елементів технологічного устаткування необхідно вирішити ряд технічних і методологічних завдань. Основною і найбільш складною з них, як було

зазначено вище, є створення оптимальної системи збору цих потоків. Ефективність даної утилізації безпосередньо залежить від топології останньої.

Як відомо, виробниче обладнання має різні габаритні розміри і, обумовлене технологічним процесом розташування по території підприємства (цеху). При постановці топологічної задачі вказаної системи збору виникають складнощі, пов'язані з математичним формулюванням обмежень на місця можливого розташування її елементів. Залежно від того, яким чином внесені ці обмеження, складність вирішення поставленої задачі істотно змінюється.

У [22,23] запропоновано близький по постановці метод розв'язання топологічної задачі стосовно до електричних мереж. Проте він не дозволяє врахувати деякі фізико-технічні особливості системи збору гідроресурсу (СЗГ), що створюється. Так, в зазначеній роботі, топологія розглядається з позиції імітаційно-детермінованого моделювання. При цьому, моделюючи місця розташування вузлів навантаження в плані мережі рекомендується ототожнювати їх з граничними точками дуг концентричних кіл, центри яких мають деякі умовні координати (x_0, y_0). Цей, так званий центр електричного навантаження представляє собою метричний базис моделювання і задається заздалегідь, або обчислюється за певним правилом.

Складність і недоцільність запропонованої в [22,23] постановки і рішення розглянутого топологічного завдання в контексті проектування раціональних систем збору вторинної води очевидна. Але, на перший погляд, досить проблематичним залишається питання задання множини N_i координат всіх точок i-ої зони неприпустимого розташування обладнання СГЕУ. В математичному плані накладення зазначеного обмеження на маршрути пролягання трас і розташування центрів збору технічної води належить до так званого розпізнавання образів (неприпустимих зон) і передбачає формування їх розділяючих функцій, що не менш проблематично.

У загальному вигляді координати місць розміщення обладнання системи збору вторинного гідроенергетичного ресурсу (x_C, y_C, z_C), розташування в яких

неприпустимо з точки зору технологічних обмежень, задаються наступним чином [4]:

$$(x_C, y_C, z_C) \notin N_i, \ i = \overline{1, H}, \tag{2.6}$$

де N_i - множина координат всіх точок простору, які належать *i*-й замкнутій зоні неприпустимого розміщення СЗГ; H - кількість неприпустимих зон на території підприємства (цеху).

При цьому істотне спрощення задачі може бути досягнуто при використанні методів розпізнавання, відповідно до яких передбачається розбиття простору образу на непересічні області, кожна з яких відповідає зображенню одного і того ж класу, що допускає елементарний аналітичний опис.

У вказаному випадку вся неприпустима зона опишеться чисто логічною розділяючою функцією виду:

$$\psi(\vec{x}) = \bigvee_{\mu=1}^{m} \varphi_\mu(\vec{x}), \tag{2.7}$$

де m - число непересічних областей, на які розбитий «образ», $\varphi_\mu(\vec{x})$ - аналітичний опис області обраного класу.

Очевидно, що прийнятною для розглядуваного нами завдання є елементарна область у вигляді паралелепіпеда, найбільш простий аналітичний опис якої являє собою сигнатурна функція виду [64]:

$$\varphi_\mu(\vec{x_j}) = \frac{1}{2^n} \prod_{\gamma=1}^{n} \left\{1 + \operatorname{sgn}\left[(x_{j\gamma} - x_{\mu\gamma\min})(x_{\mu\gamma\max} - x_{j\gamma})\right]\right\}. \tag{2.8}$$

Якщо розглянута ситуація x_j (передбачуване місце розташування *j*-го обладнання СЗГ) входить до паралелепіпеда ($x_{\gamma\min} \dots x_{\gamma\max}, \ \gamma = \overline{1, n}$), то

$\varphi_\mu(\vec{x}_j) = 1$. У протилежному випадку $\varphi_\mu(\vec{x}_j) = 0$. Розмірність простору образу, що розглядається, в даному випадку $n = 3$ (ширина, довжина і висота технологічного обладнання).

У якості прикладу на рисунку 2.1 показана умовна зона неприпустимого розташування СЗГ на плані реального промислового підприємства (цеху графітації ПрАТ «Український графіт») [5]. В математичному плані вона являє собою безліч значень $x_{\mu\gamma\min}, x_{\mu\gamma\max}$, що попередньо вносяться у формулу (2.8). Послідовно в останню підставляються значення координат передбачуваного місця розташування СЗГ $\overrightarrow{x_j} = \{x_{j1}, x_{j2}, x_{j3}\}$. У вигляді паралелепіпеда умовно зображений один з видів технологічного обладнання, а саме електрокальцінатор, положення якого на тривимірному плані цеху обмежується координатами простору $x_{\gamma1}(5\ldots12)$; $x_{\gamma2}(20\ldots27)$; $x_{\gamma3}(0\ldots17)$, м, і, по суті, є зоною неприпустимого розташування елементів СЗГ. Припустимо, передбачувані точки, в яких знаходиться обладнання системи збору мають координати x_{ja} (5;5;5) и $x_{jb}(7;25;10)$, м. Підставляючи вихідні дані по черзі в формулу (2.8) отримаємо: $\varphi(\vec{x}_{ja}) = 0$ і, відповідно, $\varphi(\vec{x}_{jb}) = 1$. Це означає, що т. *a* є допустимою координатою розміщення елементів розглядуваної системи утилізації, а т. *b* - ні.

Очевидно, що запропонований метод накладення обмежень на місця розташування елементів системи збору істотно спрощує її синтез і дозволяє отримати координати розташування елементів СЗГ без постановки власне громіздких і складних топологічних завдань.

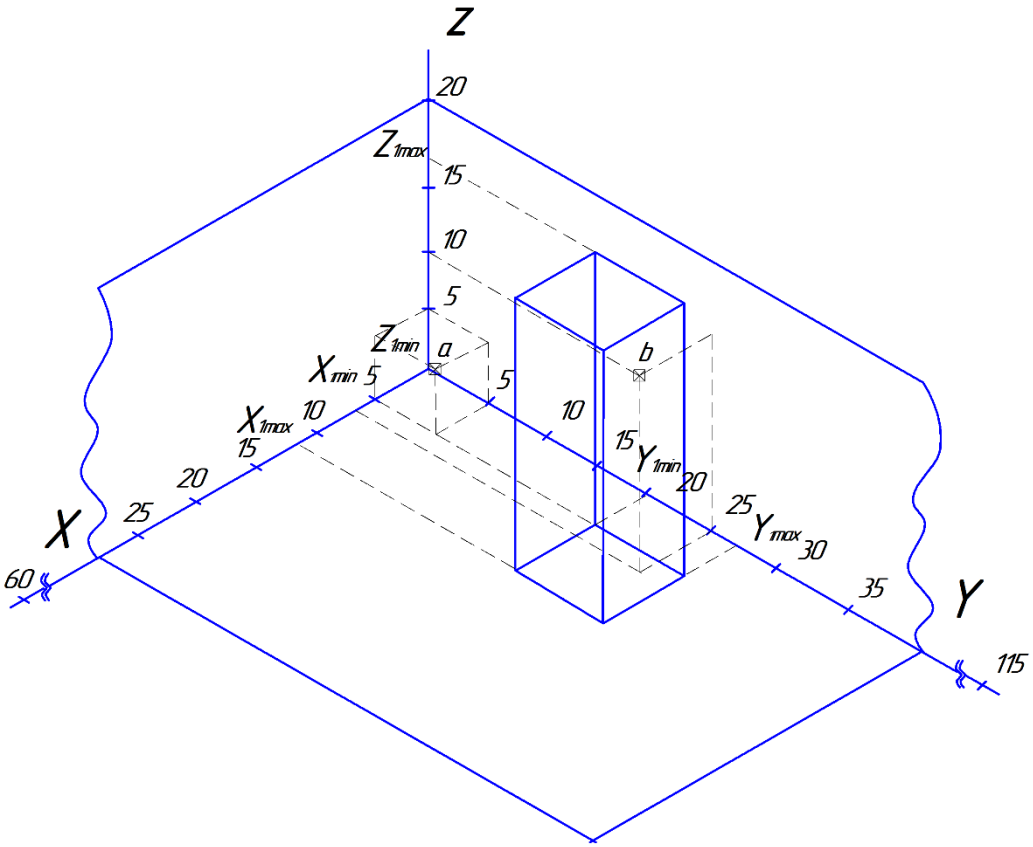


Рисунок 2.1. Ілюстрація застосування розпізнавального методу задання технологічних обмежень на плані цеху промислового підприємства

2.3 Алгоритм визначення найкоротшої відстані між елементами СГЕУ в просторі

Основою алгоритму визначення топології оптимальної СГЕУ є знаходження найкоротшої відстані між джерелом (джерелами) вторинної води і центрами збору гідроенергетичного ресурсу, що знаходяться на деякому віддаленні у допустимій зоні. При цьому, також необхідно враховувати, що на маршруті прокладання трас таких систем можуть знаходитися перешкоди у вигляді заводського обладнання і т. ін.

Існує декілька розроблених раніше алгоритмів визначення найкоротшої відстані між двома точками на координатній площині [66-68]. До них, в першу

чергу, відноситься найбільш розповсюджений і дієвий хвильовий алгоритм Лі, послідовність якого виглядає так: з початкового елемента поширюється в чотирьох напрямках хвиля, а той елемент, в який вона прийшла, утворює фронт останньої. Елементи першого фронту є джерелами вторинних хвиль, другого - генерують хвилю третього і так далі. Процес закінчується тоді, коли досягається кінцевий елемент. На другому етапі будується траса. Маршрутний алгоритм, заснований на обчисленні відстані між точками, отримав свою назву, тому що здійснює одночасно і формування фронту і прокладання траси. Джерелом хвилі на кожному кроці є кінцевий елемент ділянки траси прокладеної на попередніх кроках.

Робота алгоритму, заснованого на рекурентному співвідношенні [69] починається від початкового елемента. При цьому, навколо останнього розглядається 8-ми координатна околиця. Від кожної точки останньої до кінцевої оцінюється довжина шляху. При цьому відстань визначається за формулою:

$$D = |x_i - x_b| + |y_i - y_b|, \tag{2.9}$$

де (x_i, y_i) - координати точки околиці; (x_b, y_b) - координати кінцевого елемента. Таким чином обчислюється вісім значень з яких вибирається найменше. Потім будується траса на основі наступного співвідношення:

$$y(x) = 2y(x+h)\ y(x+2h)+d, \tag{2.10}$$

де x, $y(x)$ - абсциса і ордината елемента, задіяного трасою на даному кроці, $(x+h)$ - ордината елемента, задіяного трасою на попередньому кроці, $(x+2h)$ - ордината елемента віддаленого від обчислюваного на 2 кроки, h - величина зміни абсцис на кожному кроці, d - змінна, що визначає вид траси. Якщо $d = 0$, то остання є прямолінійною, при $d = const$ - параболічною. Головною перевагою маршрутного алгоритму є простота, а також можливість руху по діагоналі.

Евристичний пошуковий алгоритм A^* [70] сортує всі вузли за наближенням найкращого з маршрутів, що йде через цей вузол. Типова формула евристики має вигляд:

$$f(n) = g(n)+h(n), \tag{2.11}$$

де $g(n)$ - найменша «вартість» прибуття у вузол n з точки старту; $h(n)$ - евристичне наближення «вартості» шляху до кінцевої цілі від вузла n.

За допомогою вищезазначених алгоритмів можна побудувати шлях, або трасу, між двома будь-якими елементами на координатній площині. До основних їх недоліків можна віднести – непристосованість до роботи в тривимірному просторі в наявному вигляді, оскільки вони створювалися саме для розмірності останнього $n = 2$, а також велика кількість обчислювальних операцій. З чого випливає, що для поставленої задачі вони неприйнятні.

Для знаходження найкоротшої відстані між елементами СГЕУ з урахуванням запропонованого способу накладення обмежень на місця їх розташування розроблено новий алгоритм, що працює в тривимірному просторі і враховує специфіку поставленого завдання, який з достатньою ймовірністю знаходить мінімальну відстань в просторі з будь-якою кількістю обмежень і перешкод. Принцип його роботи заснований на розбиванні простору цеху на куби з деяким мінімально допустимим розміром грані Δ, що призводить до представлення об’єму у вигляді тримірного масиву точок.

Для підвищення ефективності роботи алгоритму використовується «відсіювання» деяких вузлів, що утворилися, які входять в неприпустиму для розташування елементів СГЕУ зону за допомогою застосування сигнатурної функції (2.8). Потім генерується повна множина маршрутів між двома точками. Якщо хоча б одна точка з маршруту цієї множини потрапляє в неприпустиму зону, то останній виключається з розрахунків. При цьому, якщо координати наступної точки маршруту відрізняються від попередньої тільки одним

значенням, то довжина його на цій ділянці $l_{\Delta 1} = \Delta$, двома - $l_{\Delta 2} = \sqrt{2} \cdot \Delta$, трьома - $l_{\Delta 3} = \sqrt{3} \cdot \Delta$. У результаті підсумовування отриманих складових відрізків $l_{\Delta n}$ визначається довжина кожного маршруту і вибирається найкоротший з них. Блок-схема вищезгаданої математичної послідовності представлена на Рисунок3.2.

В 1 блоці проводиться введення кількості, параметрів і координат джерел вторинної води, центрів збору гідроресурсу, координат обмежень на місця розташування утилізуючого обладнання і елементів системи збору. В 2 - формування множини точок простору $j = \overline{1,n}$ із заданим кроком, де $n = \left(\frac{X}{\Delta} + 1\right) \cdot \left(\frac{Y}{\Delta} + 1\right) \cdot \left(\frac{Z}{\Delta} + 1\right)$ – кількість утворених точок у просторі, що розглядається. Тут Δ - крок зміни координат, (X,Y,Z) – граничні геометричні розміри цеху. Якщо реальні розміри останнього будуть подекуди менші, то простір, що опинився за межами цеху і врахований раніше, задається додатково у вигляді неприпустимих зон. Блок 3 утворює масив точок «заборонених зон» у виділеному просторі шляхом послідовної перевірки їх координат за допомогою згаданої сигнатурної функції.

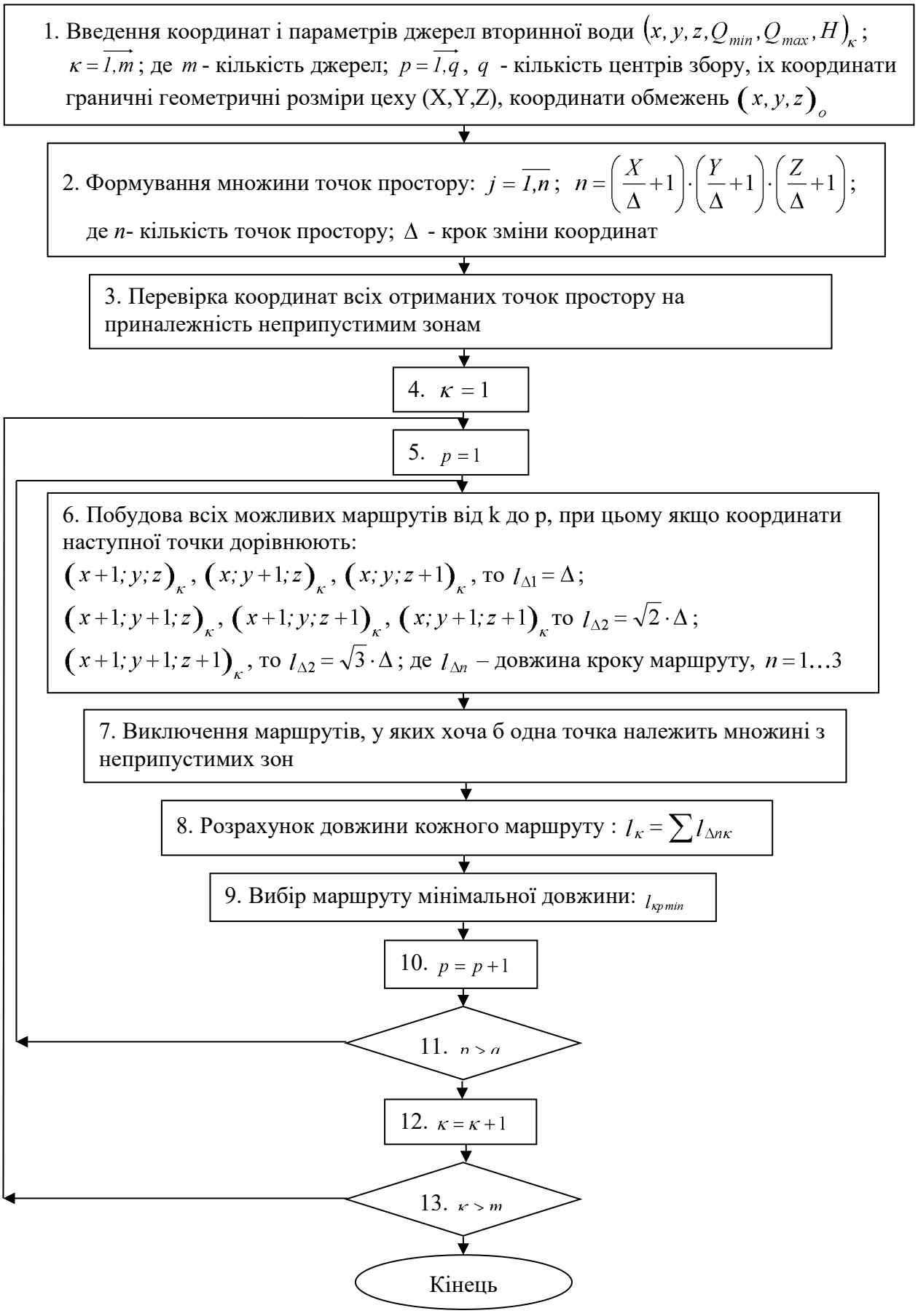


Рисунок 2.2 - Алгоритм знаходження найкоротшої відстані між елементами СГЕУ з урахуванням обмежень на місця їх розташування

У наступному обчислювальному блоці 6 відбувається побудова всіх можливих шляхів від джерела до центру збору. У 7 - виключення з подальших розрахунків маршрутів, для яких хоча б одна з точок, що входять в останні, належить до множини з неприпустимих зон. Потім, розраховуються довжини маршрутів, що залишилися, шляхом підсумовування граней і діагоналей умовних кубів, по яких вони проходять (блок 8): $l_к = \sum l_{\Delta nк}$. У блоці 9 відбувається вибір найкоротшого з маршрутів $l_{кр\min}$ для певного центру збору і з'єднаного з ним джерела. По закінченні визначення мінімального шляху цикл повторюється для інших джерел і центрів збору вторинної води.

2.4. Комбінаторні рішення щодо об'єднання вторинних водотоків

Для більш точного вирішення поставленої топологічної задачі генерується множина комбінацій об'єднання джерел вторинної води з центрами збору гідроресурсів. Математично вона найбільш правильно описується поняттям, що називається композицією. У теорії чисел композицією натурального числа називається його представлення у вигляді упорядкованої суми натуральних додатків. Ті з останніх, що до неї входять, називають частинами, а їх кількість - довжиною композиції. Вони є досить добре вивченими комбінаторними об'єктами, тому є безліч алгоритмів їх послідовної генерації [2-8]. Однак, в даному випадку останні не можуть бути застосовані в наявному вигляді, тому що в них не розглядаються перебори всередині кожної композиції і так звані «нульові варіанти».

Так, згідно [7], кількість варіантів композиції числа $r = 2^{m-1}$. Тобто, наприклад, якщо на об'єкті гідроенергетичної утилізації є 3 джерела вторинної води, то згідно з формулою маємо $2^{3-1} = 4$ комбінації їх об'єднання: (1 1 1; 1 2; 2 1; 3). Але, можливі ситуації, коли декілька джерел зводяться в один центр збору

(у даному випадку загальна їх кількість дорівнює 3), при цьому деякі з останніх залишаються незадіяними. Тобто, їм присвоюється нульове значення, тоді маємо (1 1 1; 1 2 0; 1 0 2; 0 1 2; 2 1 0; 2 0 1; 0 2 1; 3 0 0; 0 3 0; 0 0 3). При цьому також кожен член ряду має внутрішній перебір, коли, наприклад, джерело або їх група з'єднуються по черзі трубопроводами з різними центрами збору. У такому випадку загальна кількість варіантів збільшується. Дані проблеми в запропонованому алгоритмі вирішені на основі побудови математичних дерев [8].

Найбільш розповсюдженими є впорядковані дерева другого ступеня [8,11], які ще називають бінарними (відповідно до кількості гілок, що виходять з кореня). На рисунку 2.3 в якості прикладу представлені дерева з різною кількістю вершин $n = 1 \ldots 7$.

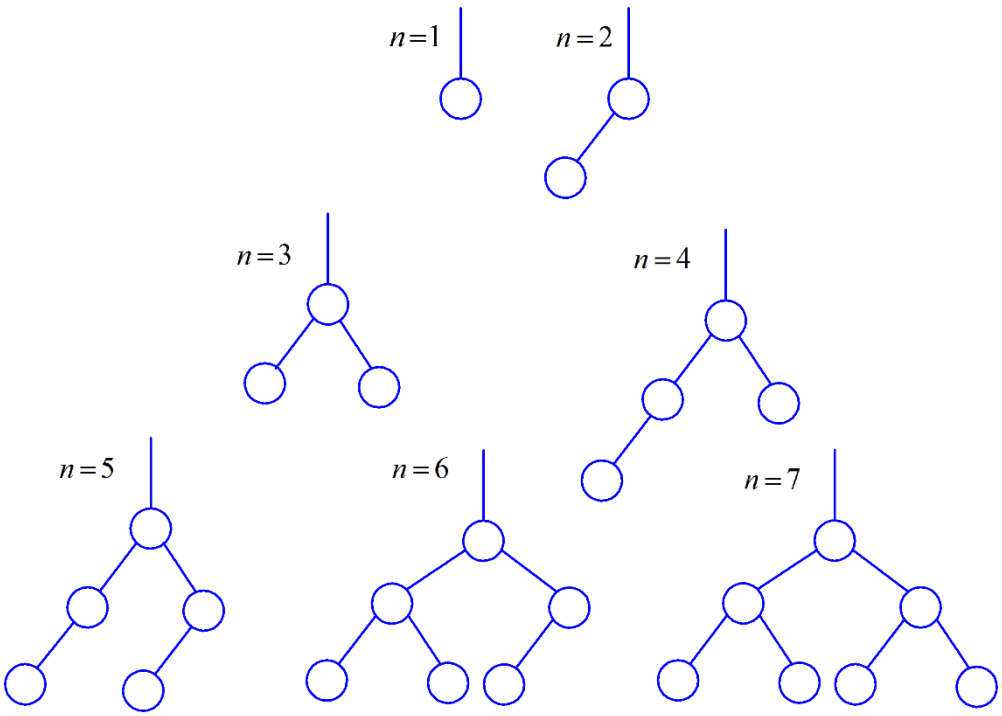


Рисунок 2.3. - Бінарні дерева з різною кількістю вершин

Але представлені бінарні дерева не враховують варіанти, де джерела вторинної води в центрах збору відсутні. Тому, пропонується модифікувати їх,

додавши середню гілку. Утворення комбінацій вищезгаданого об'єднання відбувається наступним чином: індекси найвіддаленіших від кореня дерева елементів, що називаються листками, з яких по черзі починається його обхід і формування порядку комбінацій, записуються в так звані комірки. Кількість останніх відповідає числу центрів збору, а індекси в них – кількості джерел води, що їм належать.

На основі проведеного аналізу існуючих правил побудови дерев [68, 80,81], були сформульовані наступні принципи їх синтезу, що враховують вищезазначені особливості:

а) обхід дерева починається з найвіддаленішого листка;

б) кількість комірок дорівнює числу центрів збору;

в) ліва гілка – збільшити останнє значення в комірці на одиницю;

г) права гілка – покласти в сусідню комірку одиницю;

д) центральна – покласти в сусідню комірку 0.

До того ж, на побудову дерева, що враховує специфіку поставленої задачі, щоб спростити його і виключити утворення повторних комбінацій накладаються наступні обмеження і правила:

- від вузлів з індексами «1» відходять тільки праві гілки;

- праві гілки відходять тільки від вузлів з індексами «1» і «2».

На рисунку 2.4 побудовано дерево для випадку 4-х джерел вторинної води і 3-х центрів збору. В результаті обходу отримані таким чином комбінаторні варіації занесено до таблиці 2.1.

Згідно з представленою алгоритмічною послідовністю визначення комбінацій об'єднання джерел вторинної води з центрами збору число варіантів з урахуванням внутрішніх переборів $c_к = \overline{1,r}$ буде, в даному випадку, дорівнювати:

$$r = p^{\kappa}, \tag{2.12}$$

де κ і p - кількість джерел води і центрів збору, відповідно.

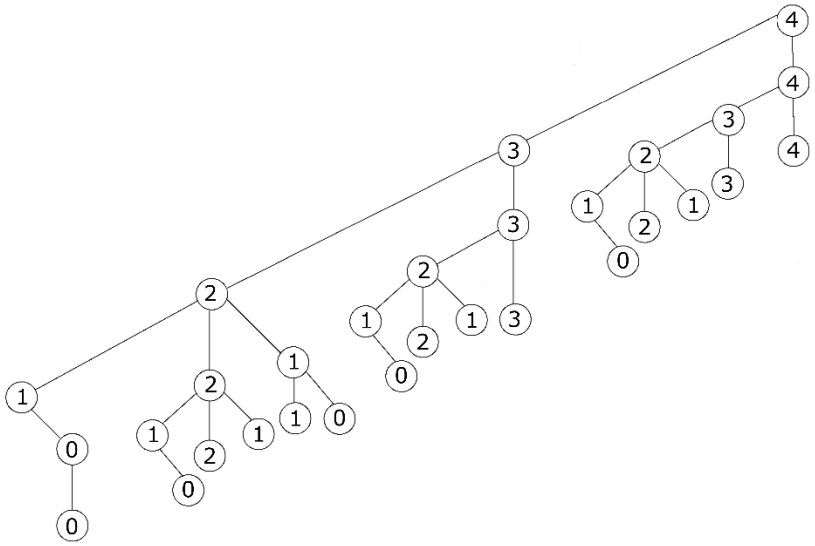


Рисунок 2.4 - Побудова дерева для випадку 4-х джерел і 3-х центрів збору

Таблиця 2.1 - Комбінації об’єднання джерел вторинної води

Кількість джерел води, що з’єднані з центрами збору	№ центру збору		
	1	2	3
	0	0	4
	2	0	2
	1	1	2
	0	1	3
	2	1	1
	1	2	1
	3	0	1
	2	2	0
	1	3	0
	3	1	0
	4	0	0
	0	3	1
	0	2	2
	0	4	0
	1	0	3

Отже, запропонований підхід дозволить гарантовано розглянути всі можливі комбінації об’єднання джерел вторинної води з центрами збору на об’єкті гідроенергетичної утилізації і обрати кращий з них за визначеним критерієм. Очевидно, що вищезазначена алгоритмічна послідовність може лягти в основу методології розрахунку СГЕУ з оптимізованими параметрами.

2.5. Алгоритм визначення оптимальної системи утилізації вторинних гідроенергетичних ресурсів

В цілому, задіяні цикли перебору алгоритму забезпечують розгляд всіх можливих ситуацій на об'єкті гідроенергетичної утилізації. Крім визначення найкоротших шляхів прокладання трас системи збору з урахуванням обмежень, також розраховуються місця можливого розташування утилізуючого обладнання з кількістю центрів збору від 1 до q і враховуються комбінаторні варіації об'єднання джерел вторинної води. В результаті, на виході алгоритму одержуємо параметри оптимальної системи гідроенергетичної утилізації з визначеним в розділі 3.1 критерієм: $W_{c_к} \to \max$ при $C_{C_к} \le C_м$ [82].

Так, у блоці 1 (рисунок 2.5) вводяться вихідні дані для розрахунку: координати $(x, y, z)_к$ і параметри джерел вторинної води, такі як мінімальна і максимальна витрата, напори кожного з них: $(Q_{min}, Q_{max}, H)_к$, де $к = \overrightarrow{1,m}$; m - кількість джерел; $p = \overline{1,q}$, q - кількість і координати центрів збору, граничні геометричні розміри цеху (X,Y,Z). В наступному обчислювальному блоці 2 формується множина варіантів об’єднання джерел вторинної води з центрами збору гідроресурсів. Також, якщо кількість останніх менша числа джерел, то для прискорення роботи алгоритму в блоці 3 застосовується відбір тільки тих комбінацій, довжина яких не перевищує кількості центрів збору.

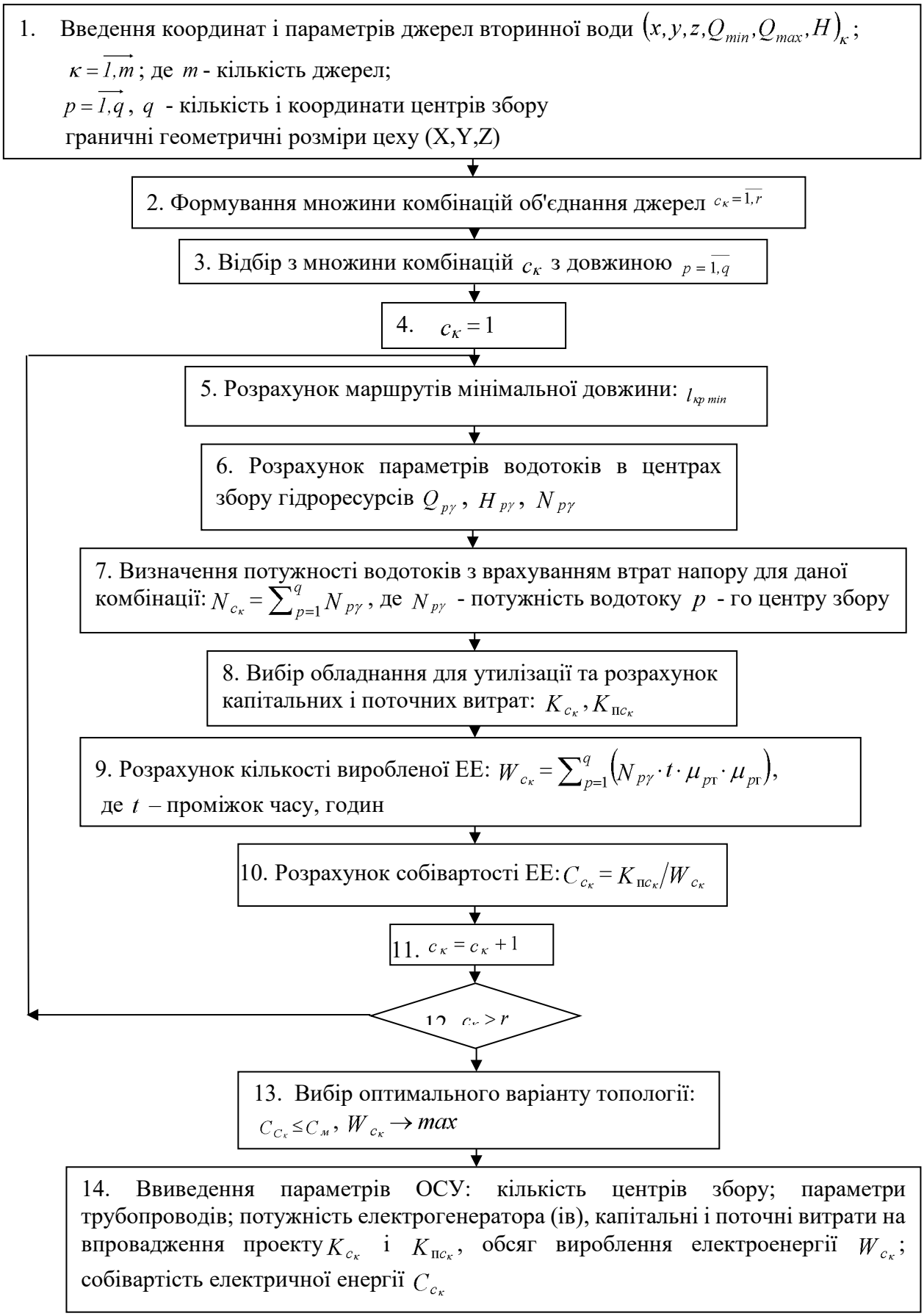


Рисунок 2.5 - Алгоритм визначення оптимальної системи утилізації вторинних гідроенергетичних ресурсів

В блоці 5 відбувається знаходження мінімальних шляхів прокладання трас трубопроводів з урахуванням обмежень на місця їх розташування за алгоритмом, докладно представленим раніше. А розрахунок параметрів сумарного водотоку в відповідних центрах збору (блок 6) визначається згідно з математичною моделлю. У блоці 7 обчислюється сумарна потужність водотоку з урахуванням втрат напору для кожної комбінації $N_{c_к}$. Вона дорівнює сумі потужностей потоків у p центрах збору $N_{p\gamma}$, при цьому кожна з них дорівнює сумі потужностей потоків окремих джерел $N_{к\gamma}$:

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

В блоці 8 вибирається обладнання для процесу утилізації виходячи із параметрів результуючого потоку, а саме, напору і витрати вторинної води для даного центру збору і розраховуються капітальні витрати на впровадження розглянутого варіанту топології: $K_{C_к} = B_{тр} \cdot K_{тр} + B_y \cdot K_y$, де $K_{тр}$, K_y - капітальні витрати на придбання та монтаж трубопроводів та обладнання для гідроенергетичної утилізації; $B_{тр}$, B_y - відповідні коефіцієнти амортизації [13,14]. Потім, у блоці 9 проводиться розрахунок кількості згенерованої електричної енергії за рахунок такої утилізації $W_{C_к}$ і далі, в блоці 10, її собівартості.

Після перерахунку всіх комбінацій $C_к$ з масиву даних вибирається варіант, для якого собівартість виробленої електричної енергії буде менше або дорівнювати діючому тарифу $C_{C_к} \le C_м$, а її кількість максимальна: $W_{c_к} \to \max$ (блок 13 алгоритму). Параметри оптимального варіанту системи утилізації вторинного гідроенергетичного ресурсу, а саме: кількість центрів збору, координатне трасування прокладки трубопроводів, потужність результуючого водотоку та його втрати відносно максимально можливого, потужність обраного

генератора(ів), а також капітальні витрати на впровадження проекту, обсяг вироблення ЕЕ; її собівартість виводяться у блоці 14.

Запропонований алгоритм, що структурно складається з трьох незалежних частин: знаходження найкоротших шляхів прокладання трас трубопроводів, комбінаторне визначення можливих варіантів об'єднання джерел і розрахунок параметрів системи для отриманих комбінацій, дозволяє визначити оптимальну топологію системи гідроенергетичної утилізації промислового підприємства (цеху), враховуючи обмеження на розташування генеруючого та особливості розміщення заводського обладнання, виходячи з економічної їх доцільності.

3 ЗАСТОСУВАННЯ АЛГОРИТМУ ОПТИМІЗАЦІЇ НА ПРИКЛАДІ ЦЕХУ ГРАФІТАЦІЇ ПІДПРИЄМСТВА ПРАТ «УКГРАФІТ»

3.1 Загальна характеристика ПрАТ «Укграфіт»

ПрАТ «Укргрaфіт» — українське підприємство в галузі обробки графіту та виробництвом електроустаткування з нього. Розташоване в місті Запоріжжя. Було першим електродним заводом в Радянському Союзі. У 1933–1994 роках носило назву *Дніпровський електродний завод*..

21 вересня 1933 року був введений в експлуатацію Дніпровський електродний завод як складова Запорізького промислового комплексу. Випущено першу промислову партію вуглецевої продукції, обпалених анодів для алюмінієвих електролізерів. Проектна потужність заводу становила близько 25 тис. тонн продукції: 3750 тонн графітованих електродів, інше — вугільна продукція та вуглецеві маси.

1940 року завод був виділений у самостійну промислову структуру, в цей період побудовано цех графітації.

З початком військових дій в Запоріжжі, з 18 по 25 вересня 1941 року, завод був демонтований і евакуйований на Урал. Евакуацією керував директор заводу Сергій Гончаренко. 400 працівників заводу демонтували обладнання, для перевезення якого знадобилося 350 залізничних вагонів. Згодом усі учасники евакуації були відзначені державними нагородами.

Відновлення заводу почалося влітку 1944 року відповідно до наказу Народного комісаріату кольорової металургії СРСР від 24 квітня 1944 р.

У травні 1945 року завод було частково відновлено, 25 червня 1945 р. було запущено першу чергу заводу — дільниці з виробництва анодної та електродної мас.

1946 року було побудовано і змонтовано випалювальний цех.

1948 року завод був повністю відновлений і почав працювати за повним технологічним циклом.

1994 року Дніпровський електродний завод був перетворений у публічне акціонерне товариство «Український графіт».

1997 року Введено в експлуатацію новий цех вугільних заготовок.

2000 році Систему менеджменту підприємства сертифіковано на відповідність міжнародному стандарту ISO 9001.

2001 році Введено в експлуатацію новий цех з виробництва анодів для магнієвої промисловості з просоченням неорганічними компаундами.

2002 році Розроблено й освоєно нові марки вуглецевих блоків для футерування доменної печі об'ємом 5000 м³. Систему менеджменту сертифіковано на відповідність міжнародному стандарту ISO 14001.

2003 році Розроблено стратегію розвитку підприємства. Систему менеджменту сертифіковано на відповідність міжнародному стандарту OH SAS 18001.

2005 році Введено в експлуатацію нову сучасну випалювальну піч за проектом фірми "Pecoserwis"

2006 році Введено в експлуатацію в цеху вугільних заготовок швидкісний змішувач фірми "Eirich". Систему менеджменту сертифіковано на відповідність міжнародному стандарту ISO 11462 "Система статистичного управління процесами", а випробувальну лабораторію акредитовано на відповідність міжнародному стандарту ISO/IEC 17025.

2007 році Введено в експлуатацію нову випалювальну піч за проектом фірми "Riedhammer". В 2008 році Введено в експлуатацію нову сучасну лінію з мехобробки вуглецевої продукції фірми "Wassmer"

3.2 Приклад застосування алгоритму визначення оптимальної СГЕУ

Як приклад, в якості об’єкта гідроенергетичної утилізації, був розглянутий цех графітації, який входить в склад підприємства ПрАТ «Український графіт».

На його території розміщується наступне обладнання: електрокальцінатори, барабани-охолоджувачі, підшипники димососів, формовочна машина, системи охолодження яких і є, в даному випадку, джерелами вторинної води з витратами від 20 до 50 $м^3/год$. Відмітка висоти, з якої відбувається водовідведення коливається в межах 4,8 – 17,1 м.

Таблиця 3.1 - Характеристики джерел вторинної води

Джерело води	Габаритні розміри об'єкту (цеху), м	Координати джерел вторинної води, $(x,y,z)_к$, м	Гранична витрата, $Q_{кmax}$, $м^3/г$	Напір, м	Координати центрів збору, $(x,y)_p$, м
Електро-кальцінатори	$115\times60\times22$	23,5;55;19 36,5;55; 19 49,5;55; 19 62,5;55; 19 75,5;55; 19 88,5;55; 19	50	17,1	105;55
Барабани-охолоджувачі		21,75;41,5;6 34,75;41,5;6 47,75;41,5;6 60,75;41,5;6 73,75;41,5;6 86,75;41,5;6	30	5	95;32
Формовочна машина		65;28;11	20	10	
Підшипники димососів		108;26;6 108;23;6 108;20,5;6 108;17,5;6 108;14; 6	28,8	4,8	25;10

Технічно, є можливість, зважаючи на наявність на площі цеху іншого технологічного обладнання та допоміжних споруд, розміщення центрів збору гідроресурсу лише в трьох точках. До того ж, вищезазначене устаткування відноситься, в даному випадку, до так званих «заборонених зон», тобто місць неприпустимого розташування елементів СГЕУ. Як було визначено, останнє прийнятно задавати у вигляді паралелепіпедів, найбільш простий аналітичний опис яких являє собою сигнатурна функція (3.8). На плані цеху місця неприпустимого розміщення елементів системи, що проектується, задаються наступним чином (3.7): $x_\gamma(x_{\gamma\min}\dots x_{\gamma\max})$; $y_\gamma(y_{\gamma\min}\dots y_{\gamma\max})$; $z_\gamma(z_{\gamma\min}\dots z_{\gamma\max})$. Основні характеристики об'єкта, що є вихідними для визначення оптимальної СГЕУ, зведено до табл. 3.2.

При цьому, характеристики оптимальної СГЕУ на першому етапі розраховувалися на умовно постійне максимальне значення витрати, тобто без врахування динаміки потоку, що значно спрощує алгоритм. Так, згідно з останнім, для об'єкта, що розглядається, визначаються всі можливі комбінації об'єднання джерел вторинної води з центрами збору. В даному випадку, загальна їх кількість буде дорівнювати (3.12):

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

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

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

ЦЗ №1 – електрокальцінатори;

ЦЗ №2 – підшипники димососів, барабани-охолоджувачі, формовочна машина;

ЦЗ №3 – джерела відсутні.

Розрахунок необхідного діаметра трубопроводу від електрокальцінаторів №1-6 до ЦЗ №1 для забезпечення необхідної пропускної спроможності проводиться так (2.6):

$$d_{11} = 2 \cdot \sqrt{\frac{300}{3600 \cdot \pi \cdot 1{,}25}} = 0{,}297 \text{ м}.$$

Виходячи із величини d_{11} з номенклатури стандартних діаметрів трубопроводів (табл. 1.9) вибирається найближчий більший, тобто $d_{11cm} = 0{,}325$ м.

Наступним кроком є визначення відстані $l_{кр}$ між джерелами і центрами збору за їх заданими координатами. Для цього, згідно з розробленим в підрозділі 3.3 алгоритмом простір цеху розбивається на куби із загальною кількістю вузлів в їх вершинах (точки пролягання траси):

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

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

Ухил водовідвідної мережі обчислюється за формулою (2.9):

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

Потім визначаються характеристики потоку рідини в трубопроводі. Швидкість руху води:

$$\upsilon_к = 52{,}26 \cdot \sqrt{\left(\frac{0{,}325}{4}\right) \cdot 0{,}0031} = 0{,}83 \text{ м/с}.$$

При $0{,}1 < R < 3$ м:

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

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

Загальні втрати напору в трубопроводі складаються з місцевих та лінійних втрат:

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

Де втрати напору по довжині трубопроводу визначаються за формулою:

$$H_{l_{11}} = \frac{0{,}83^2}{52{,}26^2 \cdot (0{,}325/4)} \cdot 83{,}7 = 0{,}26 \text{ м}.$$

При гідравлічному розрахунку як напірних, так і самопливних мереж слід враховувати місцеві втрати напору в колінах, відводах засувках і т.д., які визначаються за формулою Дарсі-Вейсбаха [57,58]:

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

Результуючий напір в центрі збору з урахуванням втрат дорівнює:

$$H_{втр} = 17{,}1 - 0{,}37 = 16{,}73 \text{ м.}$$

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

$$N_1 = \frac{9{,}81 \cdot 1000 \cdot 300 \cdot 16{,}73}{3600} = 13676{,}8 \text{ Вт.}$$

Потім, після визначених параметрів сумарного вторинного водотоку, що надходить в ЦЗ №1 від електрокальцінаторів підбирається обладнання для гідроенергоутилізації, а саме мікро-ГЕС модульного типу. Для вищезазначених характеристик потоку вибираємо агрегат типу 20 ПрД з турбіною діагонального типу. Номінальні витрати коливаються в межах 0,08-0,17 $м^3/с$, напори 8,0 - 18,0 м, потужність 10,0 - 20,0 кВт. Енергія, що виробляється генератором останньої, визначається згідно з виразом [85-87]:

$$W_p = N_p \cdot T \cdot \mu_{рт} \cdot \mu_{рг}, \tag{3.1}$$

де T – фонд робочого часу підприємства (для трьохзмінного графіку дорівнює 8760 годин), $\mu_{рт}$ і $\mu_{рг}$ - ККД турбіни і генератора, відповідно.

Для центру збору №1:

$$W_1 = 13676{,}8 \cdot 8760 \cdot 0{,}86 \cdot 0{,}95 = 97883{,}6 \text{ кВт} \cdot \text{г}.$$

Капіталовкладення на отримання цієї кількості електричної енергії з наведеного водотоку буде складатися з витрат на енергомодуль мікро-ГЕС, з'єднуючі трубопроводи, вартість робіт з монтажу і поточного обслуговування.

Відповідні коефіцієнти амортизації енергетичного обладнання – 24%, трубних конструкцій – 8%. Вартість монтажних і пуско-налагоджувальних робіт, в даному випадку, складе 7,5%, а на поточний ремонт і обслуговування основних фондів - 5% від капвитрат. Мікро-ГЕС типу 20ПрД виробництва МНТО «ИНСЕТ» коштує 183 тис.грн., питома вартість трубопроводу діаметром 325 мм за даними БМУ «Запоріжстальбуд – 1» - 661992 грн/км. Тоді, з урахуванням вищезазначеного, отримаємо:

$$K_{C_1} = 661992 \cdot 83{,}7 \cdot 10^{-3} + 183000 = 238408{,}73 \text{ грн.}$$

Вартість робіт з монтажу і пуско-наладки:

$$K_м = 238408{,}73 \cdot 0{,}075 = 17880{,}65 \text{ грн.}$$

Тоді, загальні капітальні витрати становлять:

$$K_{C_1} = 238408{,}73 + 17880{,}65 = 256289{,}38 \text{ грн.}$$

Амортизаційні відрахування:

$$C_a = 55408{,}73 \cdot 0{,}08 + 183000 \cdot 0{,}24 = 48352{,}64 \text{ грн.}$$

Поточні витрати з урахуванням амортизації:

$$K_п = 48352{,}64 + 238408{,}73 \cdot 0{,}05 = 60272{,}44 \text{ грн.}$$

Для ЦЗ №2 отримуємо наступні техніко-економічні показники: вартість мікро-ГЕС типу 10 Пр, що застосовується для утилізації енергії сумарного водотоку з параметрами $Q_\Sigma = 96$ л/с і $H_\Sigma = 5{,}2$ м складає 102400 грн. При цьому

капітальні $K_{C_1} = 159746{,}15$ грн, і, відповідно, поточні витрати $K_{n2} = 37150{,}99$ грн, а річна кількість електроенергії, що виробляється дорівнює $W_2 = 34256$ кВт·год.

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

$$C_{EE} = K_{nc_к} / W_{c_к}, \tag{3.2}$$

де $K_{nc_к} = \sum_{p=1}^{q} K_{nq}$ - поточні витрати, $W = \sum_{p=1}^{q} W_p$ - кількість електроенергії, що виробляється за час T.

Тобто, можна записати:

$$C_{c1} = \frac{60272{,}44 + 37150{,}99}{97883{,}6 + 34256} = 0{,}7372 < C_м.$$

В результаті обчислювальних операцій за вищенаведеним алгоритмом, були визначені характеристики всіх можливих варіантів топології СГЕУ для об’єкту, що розглядається. Останні визначаються комбінаціями об’єднання джерел вторинної води з центрами збору гідроресурсу з урахуванням обмежень на місця розташування її елементів. Деякі з варіантів, для яких собівартість вироблення електроенергії не перевищує встановлений тариф з мережі $C_{c_к} \le C_м$ (для промислових підприємств станом на 01.12.2010р. – 0,74322 грн./кВт·год [60]) зведено до табл. 3.3.

Очевидно, що при визначенні оптимальної СГЕУ вибирається найвигідніший за економічним критерієм варіант топології такої системи. Тобто, повинна виконуватись умова: кількість електричної енергії, що виробляється за рахунок гідроенергетичної утилізації має бути максимально можливою, а її собівартість не перевищувати діючий тариф на електроенергію для даного

промислового підприємства. Серед, наведених в табл. 3.2, за вищезазначеним принципом, визначено, що така найбільш економічно вигідна система технічно складається із джерел вторинної води з'єднаних трубопроводами з центром збору №2 (Рисунок3.6). ЦЗ №1 і №3 залишаються незадіяними.

Таблиця 3.2 - Техніко-економічні показники проектів гідроенергоутилізації для цеху гравітації ПрАТ «Український графіт»

№ п/п	Вироблення електричної енергії, тис. кВт·год./рік	Собівартість електроенергії, грн./кВт·год.
1	135,153	0,28
2	135,200	0,28
3	135,169	0,29
4	134,927	0,29
5	135,054	0,29
6	134,948	0,29
7	134,984	0,29
8	134,626	0,29
9	134,594	0,29
10	135,169	0,29
11	**135,216**	**0,297**
12	135,195	0,31
13	135,216	0,31
14	134,911	0,32
15	134,885	0,35
16	134,932	0,63
17	134,340	0,72
18	132,139	0,737

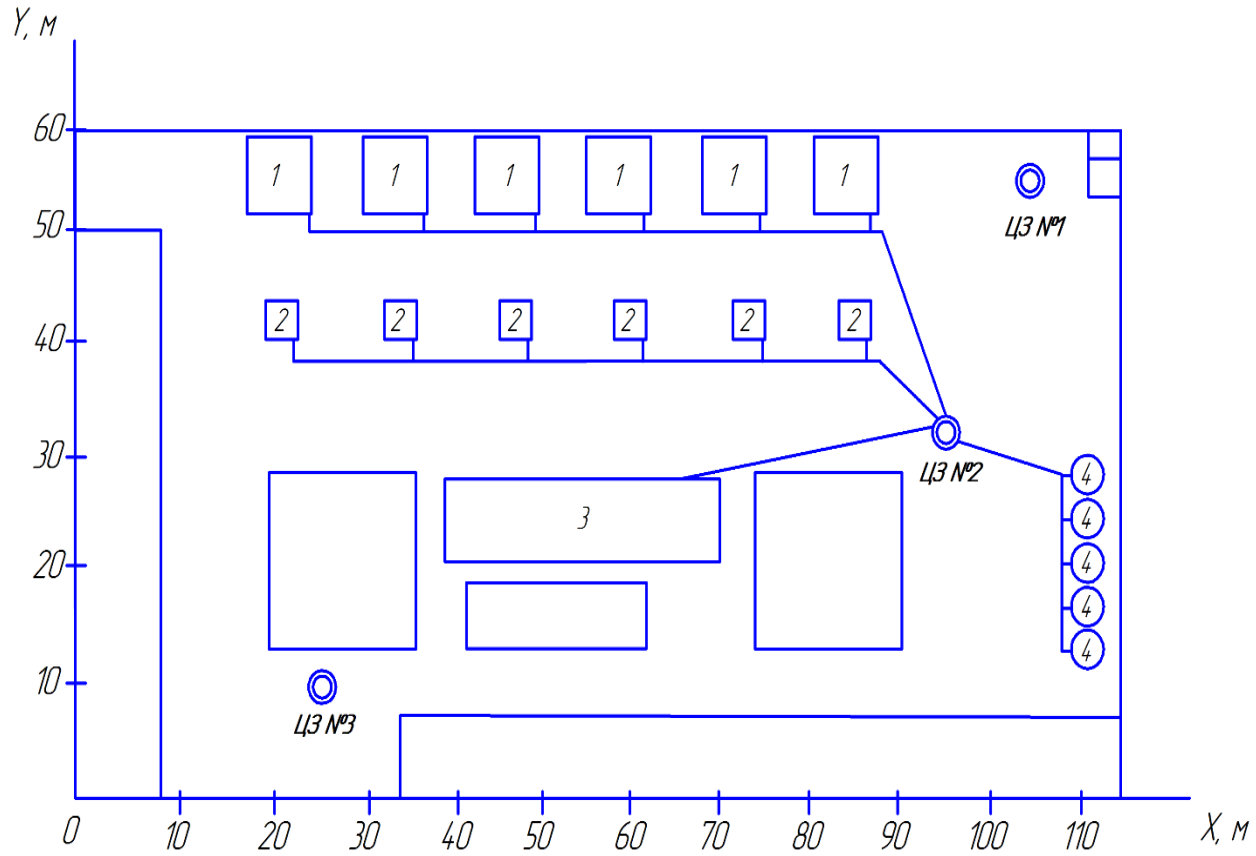


Рисунок 3.1 - План розташування обладнання цеху гравітації із зображенням оптимальної за економічним критерієм СГЕУ:

1 – електрокальцінатори;

2 – барабани-охолоджувачі;

3 – формовочна машина;

4 – підшипники димососів.

Основні з визначених за приведеним вище алгоритмом параметри елементів оптимальної системи збору гідроресурсів і обладнання для гідроенергоутилізації зведено до таблиці 3.3.

Передбачувані сумарні капіталовкладення в оптимальну СГЕУ складають 168 817,59 грн., при собівартості електроенергії 0,30 грн./кВт·год. згідно з діючою на 1.12.2024 р. вартістю обладнання, робіт з монтажу і обслуговування.

Таблиця 3.3 - Параметри обладнання оптимальної СГЕУ цеху гравітації ПрАТ «Український графіт»

Центр збору / Джерело		Діаметр трубопроводу *d*, м	Довжина *l*, м	Тип мікро-ГЕС
№ 1	незадіяний			
№ 2	електрокальцінатори	0,325	76,12	10Пр
	барабани-охолоджувачі	0,273	73,83	
	формовочна машина	0,076	31,06	
	підшипники димососів	0,219	22,29	
№ 3	незадіяний			

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) ºС, допустима – (19…21) ºС;
- 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 малошумні або повністю безшумні, проте цей метод боротьби не завжди можливий, тому велике значення має зниження його в джерелі. Зниження шуму у киснево-компресорному цеху досягається шляхом вдосконалення конструкції або схеми тієї частини устаткування, яка чинить шум.

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, ^{0}C - швидкість руху повітря, м/с - вологість повітря, %	15–23 не більше 0,3 не більше 75	18 0,2 75				100 100 100
6	Важкість і напруженість праці	категорія важкості праці – середньої важкості IIа, 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 закривати окремий шумний вузол машини.

До заходів щодо захисту працівників від шуму належать:

– використання сучасного обладнання;

– розміщення пультів контролю та управління у звукоізольованому 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 убік нижчих частот, що навіть при відносно невеликому зниженні рівня істотно покращує умови праці.

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

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

Збірні звукоізольовані кабіни встановлюються на гумових віброізоляторах. З метою зниження шуму, який створюється припливно-витяжною системою вентиляції, необхідно встановлювати глушителі 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 звукоізольована прокладка по периметру вікна.

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

звукопоглинання в діапазоні (250…2000) Гц.

Розрахунок необхідної ізоляції кабіни технолога проведено за наступним алгоритмом.

Необхідне зниження шуму кабіною визначається, як, дБ

$$R_{каб.н.} = L_{ш} - L_{доп}\,, \tag{4.1}$$

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

$L_{доп}$ – 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

$$R_{каб.н.} = 88 - 80 = 8.$$

Необхідна звукоізольована здатність елементів огороджувальних конструкцій (вікон, стін та дверей звукоізольованих кабін) визначається за формулою, дБ

$$R_{н.і} = L_{сер} - 10lgB + 10lgS_i - L_{доп} + 10lg(n), \tag{4.2}$$

де B_i – постійна кабіни у даній октавній смузі частот, м^2;

S_i – площа i-го елементу кабіни, через який шум проникає в кабіну, м^2;

n – кількість однакових елементів.

Постійну приміщення B_i визначають за формулою, в.о.

$$B = B_{1000} \cdot \mu, \tag{4.3}$$

де B_{1000} – постійна приміщення на середньогеометричній частоті 1000 Гц, визначається за таблицею 4.2 залежно від об'єму V, м^3 і типу приміщення, м^2;

μ – частотний множник, визначається за таблицею 4.3.

Розрахунок проведено для частоти 125 Гц.

Таблиця 4.2 – Постійна приміщення залежно від об’єму V, м^3 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, м^3

$$V_к = a \cdot b \cdot h = 3{,}3 \cdot 4{,}2 \cdot 2{,}3 = 31{,}88.$$

Постійна приміщення B_{1000} на середньогеометричній частоті 1000 Гц визначається, враховуючи тип приміщення за таблицею 4.2, м^2

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

Таблиця 4.3 – Частотний множник

Об'єм приміщення V, м^3	Частотний множник μ на середньогеометричних 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), м^2

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

Площа вікна складає, м^2

$$S_{вікна} = 3 \cdot 1 = 3.$$

Площа дверей становить, м^2

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

Площа п'яти стін, тому що так розташована кабіна, м^2

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

Необхідна звукоізольована здатність елементів огороджувальних конструкцій становить, дБ

$$R_{н.вікна} = 90 - 10\lg 1{,}19 + 10\lg 3 - 80 + 10\lg 1 = 14{,}02;$$
$$R_{н.двері} = 90 - 10\lg 1{,}19 + 10\lg 1{,}6 - 80 + 10\lg 1 = 11{,}29;$$

$$R_{н.стін} = 90 – 10\lg1,19 + 10\lg48,36 – 80 + 10\lg5 = 33,08.$$

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

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

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

S_i – площа кожного елемента огородження, м^2;

n – загальна кількість елементів огородження.

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

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

де $S_{заг}$ – загальна площа неоднорідного огородження, м^2;

S_i та R_i – площа, м^2, та звукоізоляція окремого елементу, 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

$$R_{каб} = 25,32 + 10\lg1,19 - 10\lg\ 52,96 = 8,83.$$

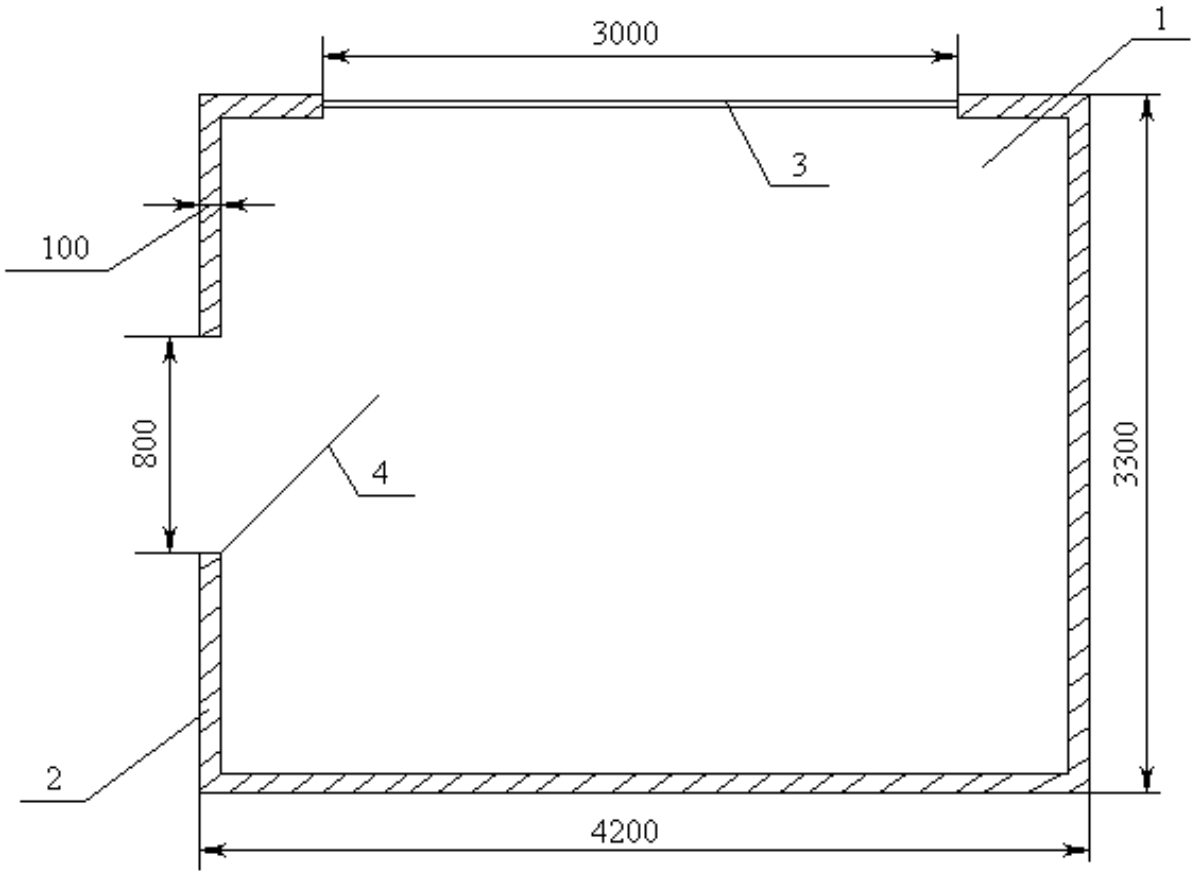
Перевіряємо умову $R_{каб} \geq R_{каб.н.}$: 8,83 ≥ 8 дБ – умова виконується.

Таким чином, вибрано звукоізолюючу кабіну технолога:

– стіни кабіни виготовляються залізобетонною панеллю товщиною 100 мм, поверхневою густиною 250 кг/м^2;

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

Звукоізольовану кабіну технолога зображено на рисунку 4.1.



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

Рисунок 4.1 – Звукоізольована кабіна технолога

Таким чином, кабіна технолога забезпечує необхідну звукоізоляцію, адже за розрахунком: $R_{каб} \geq R_{каб.н.}$: 8,83 ≥ 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 місцях
			Верхня межа	Нижня межа		На робочих місцях, не більше		
			Постійн	Постійн				
Холодний	Середньої важкості-Па	19-21	23	17	40-60	75	0,2	Не більше 0,3
Теплий	Середньої важкост	21-23	27	18	40-60	65 (при 26ºС)	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 електроустаткування, яка може виявитися під напругою внаслідок порушення ізоляції, забезпечено надійний контакт із заземлюючим пристроєм. Запропоновано проводити інструментальну перевірку стану захисного заземлення не рідше одного разу на рік, а також після монтажу або ремонту.

Для забезпечення електробезпеки запропоновано дотримуватися наступних вимог:

– конструкція виробничого устаткування, що приводиться в дію електроенергією, повинна включати пристрій для забезпечення електробезпеки;

– в устаткуванні має бути забезпечено захист від випадкового дотику до частин, що знаходяться під напругою;

– ручки, важелі і кнопки устаткування, до яких торкаються руками при нормальній експлуатації, не повинні виявлятися під напругою при пошкодженні ізоляції.

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

4.5 Пожежна безпека

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

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

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

Запобігання пожежі повинно досягатися запобіганням утворенню горючого середовища, запобіганню 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 кабіни з автоматичною подачею води при вході в кабіну.

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 зоні 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. Встановлено. що вибір оптимальної топології СГЕУ слід виконувати за економічним критерієм, який дозволяє визначати доцільність впровадження таких систем, з урахуванням ряду конструктивних і габаритних обмежень.

2. Аналітичний опис зони неприпустимого розташування обладнання системи збору гідроресурсів на території промислового підприємства пропонується виконувати на основі методів розпізнавання образів з використанням сигнатурної функції. Такий підхід дозволив спростити рішення задачі оптимізації структури і параметрів системи збору технічної води з урахуванням накладених конструктивні і габаритні обмеження.

3. Маршрутний алгоритм, розроблений в підрозділі 3.3, дозволяє з достатньою точністю визначити найкоротший шлях прокладання трас трубопроводів з довільною кількістю просторових перешкод і обмежень у вигляді технологічного обладнання.

4. Розроблені комбінаторні рішення на основі побудови дерев дозволять гарантовано розглянути всі можливі комбінації об’єднання джерел вторинної води з центрами збору і обрати серед них кращий топологічний варіант.

5. Розроблений алгоритм розв’язку математичної моделі, заснований на вищезазначених оптимізаційних рішеннях, дозволяє визначити оптимальні структуру і параметри системи гідроенергетичної утилізації з довільною кількістю просторових обмежень і перешкод, обрати серед них найвигіднішу за обраним критерієм і, таким чином, визначити оптимальну систему гідроенергетичної утилізації не виходячи за межі економічної доцільності її впровадження., виходячи із економічної доцільності її впровадження.

6. Визначено, що для промислових підприємств металургійного профілю (в залежності від виробника обладнання, вартості робіт з монтажу і обслуговування їх оптимальних систем гідроенергетичної утилізації) нижній

поріг собівартості вироблення електричної енергії з водотоків останніх складає біля 0,3 – 0,4 грн./кВт·год., що не перевищує діючий тариф.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Самохвалов, В. П. Вторинні енергетичні ресурси та енергозбереження: навчальний посібник / В. П. Самохвалов, В. М. Корогодський, Ю. В. Марков. – Вінниця: ВНТУ, 2008. – 224 с.

2. Закладний, О. М. Енергозбереження засобами промислового електропривода: навчальний посібник / О. М. Закладний, А. В. Праховник, О. І. Соловей. – Київ: НАУ, 2005. – 408 с.

3. Гічов, Ю. О. Вторинні енергоресурси промислових підприємств: конспект лекцій / Ю. О. Гічов. – Дніпро: НМетАУ, 2017. – 115 с.

4. Основи енергозбереження: навчальний посібник / за ред. В. І. Дьяченка. – Харків: НТУ "ХПІ", 2023. – 312 с.

5. Основи енергоефективності: навчальний посібник / кол. авт. – Луцьк: ЛНТУ, 2022. – 198 с.

6. Інструменти енергоефективності в промисловості та АПК: кращі рішення: посібник / за ред. О. В. Коваля. – Київ: УкрНДІЕН, 2024. – 175 с.

7. Гудзь, С. П. Відновлювані джерела енергії в промисловості: монографія / С. П. Гудзь, В. М. Іваненко, І. А. Петров. – Київ: НАН України, 2021. – 289 с.

8. Павленко, О. В. Енергозбереження: навчальний посібник / О. В. Павленко, І. І. Сидоренко. – Львів: ЛНАУ, 2019. – 252 с.

9. Лисенко, А. П. Енергетичний менеджмент: підручник / А. П. Лисенко, О. М. Бойко. – Дніпро: НМетАУ, 2018. – 312 с.

10. Морозов, Ю. О. Енергозбереження в промислових підприємствах: навчальний посібник / Ю. О. Морозов, В. В. Лебідь. – Харків: НТУ "ХПІ", 2020. – 278 с.

11. Технології енергозбереження в металургії: монографія / за ред. В. Г. Дробаха. – Дніпро: ДМетІ, 2021. – 364 с.

12. Петренко, І. С. Енергоефективність у промисловості: теорія та практика / І. С. Петренко, О. В. Гриценко. – Київ: Інститут енергетики, 2022. – 235 с.

13. Сердюк, В. О. Використання вторинних енергоресурсів у хімічній промисловості / В. О. Сердюк, П. Г. Романенко // Вісник НАН України. – 2021. – № 6. – С. 45–52.

14. Жуков, П. В. Енергозбереження в агропромисловому комплексі / П. В. Жуков, О. В. Малиновський // Аграрна економіка. – 2023. – № 4. – С. 78–86.

15. Леоненко, О. І. Енергоефективність будівельних матеріалів та конструкцій / О. І. Леоненко, А. П. Шевчук // Будівництво та архітектура. – 2022. – № 5. – С. 33–41.

16. Ігнатенко, В. Ю. Вторинні енергоресурси в нафтогазовій промисловості / В. Ю. Ігнатенко, М. А. Поліщук // Нафтогазова галузь України. – 2023. – № 2. – С. 15–22.

17. Коваленко, С. В. Методи підвищення енергоефективності промислових підприємств / С. В. Коваленко, Л. І. Гуменюк // Промислова енергетика. – 2022. – № 3. – С. 58–65.

18. Руденко, О. П. Економія енергоресурсів у виробництві полімерних матеріалів / О. П. Руденко, М. В. Степаненко // Полімерні технології. – 2023. – № 1. – С. 22–30.

19. Савченко, В. А. Системи моніторингу енерговитрат у промисловості / В. А. Савченко, Д. Ю. Міщенко // Автоматизація та енергоменеджмент. – 2021. – № 4. – С. 112–120.

20. Петрук, В. В. Вторинні енергоресурси: сучасний стан та перспективи використання / В. В. Петрук, О. М. Бабич // Енергетична безпека України. – 2023. – № 6. – С. 39–48.

21. Шевченко, Л. А. Енергоефективні технології в металургії / Л. А. Шевченко, І. П. Данилюк. – Дніпро: ДМетІ, 2020. – 278 с.

22. Олійник, С. В. Використання теплових насосів на промислових об'єктах / С. В. Олійник // Технічна термодинаміка. – 2022. – № 5. – С. 15–21.

23. Федорчук, О. Г. Оптимізація споживання енергоресурсів у харчовій промисловості / О. Г. Федорчук, В. В. Кравченко // Харчові технології. – 2021. – № 7. – С. 53–61.

24. Тимченко, В. О. Стратегії енергоефективного розвитку підприємств / В. О. Тимченко, І. В. Шрамко // Енергетичний менеджмент. – 2020. – № 2. – С. 72–79.

25. Ковальчук, Д. П. Використання когенераційних установок у промисловості / Д. П. Ковальчук // Промислова енергетика. – 2023. – № 9. – С. 28–35.

26. Горбатенко, О. В. Використання відновлюваних джерел енергії у виробничих процесах / О. В. Горбатенко, А. С. Нікітенко // Альтернативна енергетика. – 2022. – № 3. – С. 98–106.

27. Мартиненко, В. Л. Автоматизація систем енергозбереження у промисловості / В. Л. Мартиненко // Автоматизовані технології. – 2023. – № 6. – С. 45–52.

28. Лисюк, І. А. Використання енергозберігаючих технологій у переробній промисловості / І. А. Лисюк // Переробка сировини. – 2021. – № 4. – С. 71–78.

29. Демченко, О. І. Енергоефективність у машинобудуванні: теоретичні та практичні аспекти / О. І. Демченко, В. О. Левченко. – Харків: НТУ "ХПІ", 2020. – 289 с.

30. Гончаренко, М. В. Методи підвищення енергоефективності в будівельній сфері / М. В. Гончаренко // Будівельні матеріали та технології. – 2023. – № 1. – С. 35–43.

31. Король, С. О. Вплив енергоефективності на конкурентоспроможність підприємств / С. О. Король // Економіка промисловості. – 2021. – № 8. – С. 91–99.

32. Петренко, Ю. І. Оптимізація енергоспоживання у транспортній інфраструктурі / Ю. І. Петренко // Транспортні технології. – 2022. – № 5. – С. 18–26.

33. Сидоренко, Л. П. Енергозбереження у виробництві будівельних матеріалів / Л. П. Сидоренко, О. І. Поліщук // Будівельна наука. – 2023. – № 2. – С. 57–64.

34. Рибак, І. В. Використання сонячної енергетики у промислових підприємствах / І. В. Рибак // Альтернативні джерела енергії. – 2021. – № 6. – С. 83–91.

35. Жукова, О. С. Енергозберігаючі технології у виробництві упаковки / О. С. Жукова, М. В. Пономаренко // Пакувальні матеріали. – 2022. – № 4. – С. 20–28.

36. Ткаченко, В. Ю. Вторинні енергоресурси в металургії: шляхи підвищення ефективності використання / В. Ю. Ткаченко, І. О. Кравець // Металургія України. – 2023. – № 7. – С. 49–56.

37. Омельченко, С. П. Впровадження енергоощадних технологій у целюлозно-паперовій промисловості / С. П. Омельченко // Паперова індустрія. – 2021. – № 3. – С. 31–39.

38. Шаповал, Г. А. Сучасні методи зменшення енергоспоживання у промисловому виробництві / Г. А. Шаповал, Д. В. Савчук // Промислова економіка. – 2023. – № 5. – С. 67–74.

39. Семенченко, О. В. Використання біогазу в промислових процесах / О. В. Семенченко, А. Л. Козлов // Альтернативна енергетика. – 2022. – № 9. – С. 13–21.

40. Ковалевський, І. П. Енергозбереження в сільському господарстві: перспективи розвитку / І. П. Ковалевський, Л. В. Тарасенко // Аграрна наука. – 2023. – № 2. – С. 88–96.