

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

Електричної інженерії та кіберфізичних систем

(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

другий (магістерський) рівень

(рівень вищої освіти)

на тему Дослідження ефективності застосування модульних гідроенергетичних систем в умовах підприємств металургійної галузі

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

(код і назва спеціальності)

спеціалізації

(код і назва спеціалізації)

освітньої програми Гідроенергетика

(назва освітньої програми)

Леонов М. К.

(ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н., доц., Радченко В.В.

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

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

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

Запоріжжя

2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

д.т.н., доц.  В.Л. Коваленко

« _____ » _____ 2023 року

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

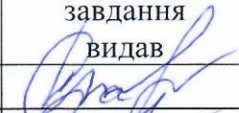
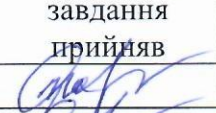
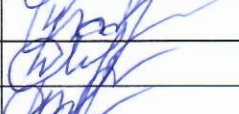
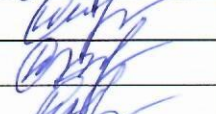
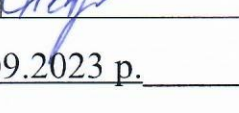
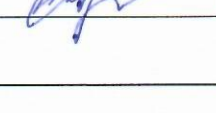


Леонову Максиму Константиновичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

- 1 Тема роботи Дослідження ефективності застосування модульних гідроенергетичних систем в умовах підприємств металургійної галузі
керівник роботи Радченко Віталій Васильович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від « 01 » травня 2023 року № 639 - с _____
- 2 Строк подання студентом роботи 01 грудня 2023 р.
- 3 Вихідні дані до роботи Водотоки металургійного підприємства, основні технічні характеристики мікро ГЕС, діапазон витрат від 0,7 до 12 м³/с в межах напорів від 2,5 до 20 м, загальне водоспоживання 714907466 м³/рік.
- 4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Теоретичні аспекти утилізації вторинного гідроресурсу промислових підприємств. 2) Дослідження щодо підвищення енергоефективності ПрАТ «Запоріжсталь» за рахунок вторинних гідроенергетичних ресурсів 3) Техніко-економічні розрахунки ефективності впровадження модульних мікро ГЕС в умовах ПрАТ «Запоріжсталь». 4) Охорона праці та техногенна безпека.
- 5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1) План розміщення цехів основного виробництва 2) Водоспоживання підприємства за цехами. 3) Енергетичні характеристики гідроагрегатів

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

6 Консультанти розділів роботи


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

7 Дата видачі завдання 01.09.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Теоретичні аспекти утилізації вторинного гідроресурсу промислових підприємств	30.09.2023	
2	Дослідження щодо підвищення енергоефективності ПрАТ «Запоріжсталь» за рахунок вторинних гідроенергетичних ресурсів	30.10.2023	
3	Техніко-економічні розрахунки ефективності впровадження модульних мікро ГЕС в умовах ПрАТ «Запоріжсталь»	19.11.2023	
4	Охорона праці та техногенна безпека	30.11.2023	

Студент  Леонов М. К
(підпис) (ініціали та прізвище)

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

Нормоконтроль пройдено

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

АНОТАЦІЯ

Леонов М.К. Дослідження ефективності застосування модульних гідроенергетичних систем в умовах підприємств металургійної галузі.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 145 – Гідроенергетика, науковий керівник В.В. Радченко. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні. Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем, 2023.

Визначені техніко-економічні показники впровадження модульних мікро-ГЕС в умовах ПрАТ «Запоріжсталь» на основі аналізу його водотоків і уточнено величину гідроенергетичного потенціалу заводу.

Ключові слова: ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ЕНЕРГОРЕСУРСИ МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ, МЕТАЛУРГІЙНА ГАЛУЗЬ, ВТОРИННІ ВОДОТОКИ, ГІДРОПОТЕНЦІАЛ

ABSTRACT

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

Qualification final work for obtaining a master's degree in specialty 145 - Hydropower, supervisor V.V. Radchenko. Zaporizhia National University. Engineering Educational and Scientific Institute named after Yu.M. Potebni, Department of Electrical Engineering and Energy Efficiency, 2023.

The technical and economic indicators of the introduction of modular micro hydroelectric power stations in the conditions of PrJSC "Zaporizhstal" were determined based on the analysis of its watercourses, and the value of the plant's hydropower potential was specified.

Keywords: ENERGY EFFICIENCY, ENERGY RESOURCES OF METALLURGICAL ENTERPRISES, METALLURGICAL INDUSTRY, SECONDARY WATER COURSES, HYDROPOTENTIAL

ЗМІСТ

Вступ.....	8
1 Аналіз стану та ефективності використання вторинних гідроенергетичних ресурсів підприємств	10
1.1 Джерела, рівень та перспективи використання вторинних гідроенергетичних ресурсів за галузями виробництва	10
1.2 Загальні принципи побудови систем гідроенергетичної утилізації промислових підприємств	11
1.3 Оцінка потенціалу утилізації вторинних гідроенергетичних ресурсів основних промислових підприємств регіону	13
1.4 Аналіз існуючих технічних засобів утилізації гідроенергетичних ресурсів	18
1.5 Аналіз водоспоживання ПрАТ «Запоріжсталь».....	21
2 Дослідження щодо підвищення енергоефективності ПрАТ «Запоріжсталь»	27
2.1 Визначення потенціалу гідроенергетичних ресурсів.....	27
2.2 Розрахунок системи утилізації для киснево-компресорного цеху ПрАТ «Запоріжсталь».....	32
2.3 Дослідження ефективності модульних мікро-ГЕС шляхом математичного моделювання	39
2.3.1. Визначення характеристик водотоків підприємства.....	39
2.3.2. Визначення залежності енергетичних характеристик мікро-ГЕС від динаміки вторинних водотоків ПрАТ «Запоріжсталь».....	41
2.4 Вплив динаміки вторинного водотоку на енергетичні показники ..	44
2.5 Оцінка показників якості генерованої електричної енергії.....	48
3 Техніко-економічні розрахунки ефективності впровадження модульних мікро-ГЕС в умовах ПрАТ «Запоріжсталь».....	53
3.1 Визначення складових собівартості електричної енергії.....	53

3.2 Розрахунок капітальних вкладень в систему гідроенергетичної утилізації.....	56
3.3 Визначення техніко-економічних показників впровадження системи гідроенергетичної утилізації.....	59
4 Охорона праці та техногенна безпека.....	66
4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища.....	66
4.2 Заходи щодо захисту від впливу шкідливих факторів виробничого середовища горнового.....	69
4.3 Технічні рішення по гігієні праці і виробничій санітарії.....	70
4.3.1 Мікроклімат.....	70
4.3.2 Вентиляція й кондиціонування.....	70
4.3.3 Освітлення.....	77
4.4 Захисні заходи з електробезпеки.....	81
4.5 Пожежна безпека.....	82
4.6 Засоби індивідуального захисту.....	84
4.7 Розробка заходів захисту від тепловиділень.....	84
Висновки.....	90
Перелік джерел посилань.....	91

ВСТУП

Актуальність теми. Актуальність проблеми енергозбереження у більшості галузей національного господарства є неоспоримою. Однією з найбільш енергоємних і енергоспоживаючих галузей вітчизняної промисловості є чорна металургія. Залежність від імпортованих первинних енергетичних ресурсів визначає проблематичний характер енергоспоживання та енергобезпеки вітчизняних виробництв. В Україні виробництво сталі вимагає практично чотириразове більше енергоресурсів, ніж у Китаї та країнах Європейського Союзу. Навіть за конвертерним методом виробництва сталі споживається на 30% більше енергоресурсів, ніж у середньому в цих країнах. Таким чином, прискорення процесів підвищення енергоефективності виробництва сталі стане важливим фактором для підвищення конкурентоспроможності наших товарів як на внутрішніх, так і на зовнішніх ринках.

Об'єкт дослідження - система водопостачання та водовідведення металургійного підприємства.

Предмет дослідження - процес генерації електричної енергії з вторинних водотоків підприємства металургійної галузі.

Мета роботи – визначити можливість підвищення енергоефективності металургійного підприємства за рахунок гідроенергетичної утилізації.

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

- дослідити водотоки зазначеного металургійного підприємства і визначити його гідроенергетичний потенціал;
- розробити математичний апарат, що дозволить коригувати енергетичні характеристики генераторів мікро-ГЕС;
- визначити економічні показники новоствореної системи гідроутилізації.

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

Наукова новизна. Під час теоретичних досліджень були отримані нові наукові висновки. Результати розрахункового експерименту дозволили визначити залежність енергетичних показників функціонування мікрогідроелектростанцій при умовах нестационарних витоків вторинної води. Виявлено, що коефіцієнт корисної дії енергомодуля мікрогідроелектростанцій істотно зменшується при відхиленні параметрів водойми від номінальних значень.;

Практична цінність роботи полягає в розробці математичного апарату, який дозволяє коригувати енергетичні характеристики генераторів мікро-ГЕС, що працюють на автономне навантаження і, таким чином, збільшити кількість виробленої електроенергії із вторинних водотоків ПрАТ «Запоріжсталь».

Апробація роботи. Положення роботи викладені в збірнику тез:

- XXVIII науково - технічної конференції студентів магістрантів, аспірантів і викладачів ІННІ ЗНУ (м. Запоріжжя, 2023);
- науково-практичної конференції «Молода наука - 2020» ІННІ ЗНУ (м. Запоріжжя, 2023).

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота включає вступ, чотири розділи, висновки та список використаної літератури з 35 позицій. Загальний обсяг 94 сторінки.

1 АНАЛІЗ СТАНУ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННИХ ГІДРОЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ ПІДПРИЄМСТВ

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

Останнім часом, у зв'язку зі значним споживанням енергії та обмеженими можливостями задоволення попиту на органічне паливо, спостерігається зростання цін на енергетичні ресурси, зокрема електроенергію. У зв'язку з цим росте інтерес до підвищення енергоефективності підприємств. Одним із способів досягнення цієї мети є використання вторинних енергоресурсів, які часто втрачаються безповоротно.

У промисловості, основному споживачі енергії, понад 55% теплової енергії та близько 50% всього палива, видобуваного, використовуються. Проте коефіцієнт корисного використання цього палива становить лише 30-35%. Велика частина енергії виходить у вигляді димових газів, нагрітої продукції, води та інших відходів. Очевидно, що при певних умовах частину цих енергетичних втрат можна використовувати.

Під вторинними енергетичними ресурсами розуміють енергетичний потенціал випущеної продукції, відходів та проміжних продуктів, які утворюються в технологічних агрегатах. Ці ресурси не можуть бути використані в самому агрегаті, але можуть слугувати джерелом енергопостачання для інших споживачів. Вони включають горючі, теплові та надлишковий тиск (напір). У багатьох галузях промисловості вони становлять вагомий частку енергетичного балансу.

У сучасних промислових галузях, таких як чорна металургія, газова та нафтопереробна промисловість, існує значний потенціал використання вторинних енергоресурсів (ВЕР) для покриття теплової енергії підприємств. Наприклад, у чорній металургії понад 34% теплової потреби задовольняється за рахунок ВЕР, в газовій промисловості - 35%, у промисловості мінеральних

добрих - понад 27%. У сумарному тепловому балансі країни надходження теплової енергії за рахунок ВЕР становить близько 5,5%. Проте, незважаючи на цей потенціал, ефективне використання ВЕР у багатьох випадках затруднене через труднощі, пов'язані із створенням систем відбору і транспортування, великими обсягами теплоносія та потрібними напорами.

Зокрема, теплові викиди, які утворюються на підприємствах енергетики і металургії, є найбільшим джерелом ВЕР на сьогоднішній день. Проте, необхідність створення систем для використання цих ресурсів здебільшого ускладнює економічну доцільність їхньої утилізації. Заходи з використання ВЕР окупаються через економію палива протягом декількох років і сприяють зменшенню екологічного збитку через скорочення шкідливих викидів.

У виробничих процесах, де використовується вода для охолодження, її споживання велике, особливо для промисловості, такої як чорна і кольорова металургія, нафтопереробна і хімічна промисловість. Такий обсяг води може вважатися потенційним джерелом механічної та теплової енергії. Проте, великі витрати води на охолодження в сучасних виробництвах часто призводять до безповоротної втрати потенційної енергії, яку можна було б використовувати для генерації електроенергії шляхом гідроенергоутілізації.

Основний виклик полягає у визначенні ефективних шляхів впровадження технологій, що дозволяють використовувати вторинні енергоресурси, забезпечуючи економічну доцільність та зниження негативного впливу на довкілля.

1.2 Загальні принципи побудови систем гідроенергетичної утилізації промислових підприємств

Великі об'єми нагрітої виробничої води на промислових підприємствах часто залишаються невикористаними для теплопостачання через обмежену

потребу в теплоті та сезонний характер теплоспоживання [20]. У деяких випадках ефективно використання цього виду відновлювальної енергії, як зазначалося вище, є неоспіваною можливістю. Тому для підвищення енергоефективності промислових підприємств рекомендується розглядати системи утилізації гідроенергетичного потенціалу таких вторинних водотоків для вироблення електроенергії.

На загальний погляд, такі системи можуть включати обладнання для збору вторинних водотоків та пристрої для перетворення потокової енергії в електричну. Здається, що проектування та вибір таких систем не має значної складності. Проте для досягнення максимальної енергоефективності цих систем важливо враховувати ряд додаткових факторів. Серед них особливе значення мають розташування технологічного обладнання для гідроенергоефективності, об'єднання існуючих джерел технічної води, розміщення елементів збору води у просторі та характер потоку на кожному джерелі, що формують загальний водний потік. Важливо, щоб якість виробленої електроенергії була задовільною.

Системи водопостачання промислових підприємств мають свої схеми, які включають елементи водопроводу і послідовність їх розташування на місцевості. Виробничі водоводи класифікуються за технологічними особливостями, такими як прямоточні, з повторним використанням води, оборотні з охолодженням води та оборотні схеми з очищенням води [21-22]. Зазвичай системи утилізації гідроенергетичного потенціалу впроваджуються на основі існуючих систем водоспоживання та водовідведення, не втручаючись у технологічний процес підприємства.

Агрегати-джерела відновлювальної енергії часто розташовані територіально, а отримані ними вторинні ресурси можуть бути нерівномірними як за часовими параметрами, так і за значеннями. Наприклад, у більшості технологічних процесів металургії, хімії, коксохімії тощо, вода подається на різні рівні висоти, після чого використовується та відводиться. Проте велика кількість теплової та механічної енергії рідини втрачається через цей процес. Хоча окремі потоки можуть бути невеликими, їх об'єднання може створити значне потенційне

джерело відновлювальної енергії. Цю енергію можна утилізувати за допомогою наявних технологій. Однак для вибору відповідного обладнання важливо знати кількість та параметри гідроресурсу і проаналізувати їх розподіл на підприємстві. Використання вторинних енергетичних ресурсів для вироблення електроенергії, як правило, не змінює загальну схему енергопостачання підприємства, але може істотно знизити споживання електроенергії на транспортування води.

Поставлена задача є актуальною, особливо в умовах стрімкого зростання цін на енергоресурси, зокрема на електроенергію. Утилізація механічної енергії охолоджуючої води через її перетворення в електричну енергію є ефективним методом для підвищення енергоефективності підприємства. Системи утилізації гідроенергетичного ресурсу спрямовані, передусім, на задоволення потреб самого підприємства. Вироблена електрична енергія, завдяки гідроутилізації, може бути використана для живлення внутрішніх споживачів, за умови, що вона має задовільну якість.

1.3 Оцінка потенціалу утилізації вторинних гідроенергетичних ресурсів основних промислових підприємств регіону

Промислові підприємства споживають значні обсяги води, яка використовується для охолодження технічного обладнання або для забезпечення стійкості агрегатів, працюючих у високотемпературних зонах. Вода також використовується в процесі виробництва, включаючи вироблення пари для виробництва електроенергії (15–20%), а також на побічні потреби, такі як полив, промивка і миття (5–10%). Основним споживачем води в промисловості є процес охолодження [1,15].

Системи водяного охолодження використовуються там, де температура води визначає характер технологічного процесу. Суть цих систем полягає в тому, що холодна вода подається до охолоджуваного елемента, де вона відбирає тепло

без зміни агрегатного стану. Охолодження відбувається завдяки конвективному теплообміну, тобто руху потоку води. Відведена вода має температуру (35–60) °С. Незначний рівень підігріву води при цьому ускладнює або робить непрактичним використання тепла, яке вона несе.

Велика витрата технічної води для підтримки потрібного температурного режиму є характерною особливістю таких систем промислового охолодження. Зазвичай потребу води для охолодження визначають за загальноприйнятими методиками, які дозволяють розраховувати кількість води, необхідної для охолодження різноманітних конструкцій і обладнання. Ці потреби включають охолодження конструкцій металургійних і нагрівальних печей, елементів технологічного обладнання, готової продукції, газоочищення і приготування технологічних розчинів.

Основними характеристиками систем технічного водопостачання підприємства є температура і хімічний склад води, яка використовується для охолодження технологічного обладнання, а також її напір і витрата. Ці параметри визначають потенціал вторинного гідроенергоресурсу підприємства, який залишається маловикористаним у багатьох галузях промисловості через відсутність кількісної оцінки та економічного обґрунтування його використання [8,18].

Наприклад, у металургійному комплексі ПрАТ «Український графіт», яке спеціалізується на виробництві графітових і футеровочних блоків для мартенівських та інших типів печей, основними джерелами теплоти є дугові і обпалювальні печі [24]. Відповідно до паспорту системи оборотного водопостачання цього підприємства, припустимі параметри технічної води включають жорсткість - 5 мг/л, вміст зважених часток - 100 мг/л, та температуру води – (30...40) °С (температура вище 60 °С не допускається). Жорстке обмеження температури призводить до значного споживання технічної води, яке може досягати 3000 м³/т.

Основні цехи підприємства, які використовують воду для промислових цілей, включають:

- Змішувально-пресові цехи №1 і №2: використовують воду для охолодження головок прокалочних печей, маси заготовок у пресовому відділенні, маси у відділенні формування, маси при навантаженні вагонів, для роботи гідросистеми і насосних станцій пресового відділення, а також для охолодження холодильників прокалочного відділення;

- Обпалювальний цех: використовує воду для охолодження вузлів підсипки корпусів, димососів печей, компресорів просочення, а також просоченої продукції;

- Графітаційний цех: використовує воду для охолодження струмопроводів печей графітації (електрокальцінаторів), димососів печей, продукції і підсипки, а також підшипників димососів;

- Енергосилові цехи: використовують воду для охолодження трансформаторних установок і компресорів центральної компресорної станції.

Отримані дані, представлені в таблиці 1.1, базуються на вимірюваннях і розрахунках, виконаних з використанням паспортів систем водопостачання та технічної документації обладнання. Загальні втрати води включають в себе суму втрат через випаровування та краплевинесення в системах охолодження бризкальних басейнів.

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

Підприємство	Потреба в технічній воді, м 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

Також можна отримати уявлення про можливі обсяги гідроенергоутилізації, скориставшись даними, представленими у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - 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»	Трубопровід скидання шахтних вод у ставок- випаровувач на Утлюкському лимані	0,57	12,40	-	58,84
	Ставок-накопичувач шахтних вод	-	1,80	1,80	1100,72 при використанні 40% об'єму на протязі 10 год
Запорізька ТЕС	Канал скидання	140,00	5,00	-	6867
КП «Водоканал»	Центральні очисні споруди	2,54	2,00	-	42,35
	Водопровідна станція №1	1,83	5,00	-	42,62
	Водопровідна станція №2	1,16	5,00	-	42,62

Ці дані були зібрані з кадастру технологічних водотоків Запорізької області, які є перспективними для використання як об'єкти гідроенергоутилізації за допомогою відповідних міні- та мікро-ГЕС. Розробка кадастру відбулася в рамках "Регіональної програми енергозбереження". У таблиці розглянуті найбільші водотоки підприємств, де великі об'єми технічної води, використаної

вже у технологічному процесі, природним чином спадають на більш низькі рівні. Перепади висоти між цими точками можуть досягати кількох десятків (а навіть сотень) метрів, і, навіть при невеликих витратах води, розрахункова потужність водотоків може бути значною [33-34].

Найбільше технічної води на ПрАТ "Український графіт" споживає цех графітації. Загальна витрата становить 644 м³/г, розподілена на різні операції як слід:

- 300 м³/г використовується для охолодження електрокальцінаторів,
- 180 м³/г спрямовується на охолодження барабанів-охолоджувачів,
- 144 м³/г використовується для охолодження підшипників димососів,
- 20 м³/г використовується на формувочні машини.

Подача води на охолодження обладнання цеху виконується двома шляхами: для електрокальцінаторів, які вимагають найбільш неперервного охолодження, використовується окремий насос, а для іншого обладнання - центральна насосна станція.

Існують різні методики для оцінки потреби підприємства в технічній воді. Розрахунок індивідуальних норм водоспоживання та водовідведення відповідно до методики [25,26] полягає в визначенні потреби води за операціями та агрегатами як основного, так і допоміжного виробництва. Ця витрата визначається наступним чином:

- для обладнання заводського виготовлення береться за паспортними даними заводу-виготовлювача;
- для прокатного обладнання (охолодження валків, гідрозбивання окалини і т.д.) приймається за рівнем експлуатації;
- на охолодження елементів обладнання, яке не має паспортних даних, визначається за формулами методики [27].

1.4 Аналіз існуючих технічних засобів утилізації гідроенергетичних ресурсів

Як було визначено, об'єми вторинної води можна порівняти із стоком малих річок. Тому, для цього типу утилізації найбільш доцільним вважається використання стандартних мікро- (до 100 кВт) і міні- (від 100 до 1000 кВт) гідроелектростанцій (ГЕС). Вони представляють собою надійне та екологічно чисте джерело електроенергії [7-9]. Мікро- та міні-ГЕС можуть працювати як автономно в віддалених місцях, так і паралельно з іншими гідроелектростанціями в локальних або промислових мережах. Їх переваги включають високу тривалість служби без необхідності частого ремонту, просту конструкцію з мінімальною кількістю регулюючих органів, а також низькі витрати на установку та обслуговування під час експлуатації.

На сьогоднішній день на ринку існують різні виробники мікро- та міні-ГЕС, які виготовляють обладнання, придатне для таких завдань. Їх параметри дозволяють використовувати потік води практично при будь-якому напорі та витраті. Залежно від конструкції та методу встановлення розрізняють вільнопоточні (використовуються, головним чином, в руслах річок) та заглибні мікро-ГЕС. У контексті реалізації проектів гідроутилізації на підприємстві більш перспективним вибором вважаються заглибні мікро-ГЕС, оскільки вони демонструють більшу гнучкість з точки зору монтажу та підключення до енергетичних мереж.

Гідроагрегати для малих і мікро-ГЕС, що випускають МНТО "ІНСЕТ", характеризуються високими енергетичними показниками й випускаються із пропелерними, радіально-осьовими й ковшовими турбінами. У комплект поставки входять, як правило, турбіна, генератор і система автоматичного керування гідроагрегатом. Проточні частини всіх турбін розроблені з використанням методу математичного моделювання.

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

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

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

Серійні мікро-ГЕС комплектного виконання мають деякі недоліки, серед яких слід відзначити спрощену систему регулювання швидкості. При підвищених обертах (частотах) зайва потужність автоматично вимикається на баластному навантаженні. Проблемою також є відсутність гідравлічних турбін для роботи при малих напорах від (1,5 до 3 м) за великих витратах води в межах від (2 до 10 м³/с). Такі потоки із вказаними характеристиками досить поширені в різних галузях промисловості. Зазначено, що в гідромашинобудуванні велика увага до цього потенційного енергоресурсу звертається лише за кордоном. Наприклад, у Фінляндії розпочато виробництво гідротурбін з напорами від (1,5 до 3,5 м), які використовуються в технічно-транспортних системах [33].

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

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

Українське сертифіковане обладнання для мікро-ГЕС переважно призначене для роботи на напорах, що перевищують 5 метрів. Застосування його при менших напорах призводить до різкого зниження коефіцієнта корисної дії турбін та обмежує можливості регулювання обертання. Отже, вибір такого обладнання для роботи в умовах низьких напорів не є доцільним.

Іноземці вже давно проявили зацікавленість у сфері екологічної та економічної міні-енергетики. Мікро-ГЕС успішно функціонують в різних країнах, таких як Японія, Південна Корея, Бразилія, Гватемала, Швеція, Польща [7-9]. Наприклад, шведська компанія Flugt виробляє високоефективне та якісне обладнання для мікро-ГЕС, яке, хоча і дорожче, має переваги у високій економічності, достатній керованості, маневреності та можливості працювати паралельно з електричною мережею. Гідрогенератори цієї фірми є стандартними модульними виробами, які можна адаптувати до різних експлуатаційних умов з витратами від 0,7 до 12 м³/с та напорами від 2,5 до 20 м. Їхні номінальні потужності становлять від 40 до 710 кВт. Гідротурбогенератори Flugt, які працюють в напівзануреному стані в вертикальних колонах, є компактними агрегатами, які складаються з турбіни, генератора та, за потреби, планетарного редуктора. Ці гідротурбогенератори не потребують довгих валів і звичайних

силових передач, легко піднімаються для технічного обслуговування та охолоджуються проточною водою.

З Заглибні гідротурбогенератори призначені для установки у вертикальному положенні, але найменші моделі (EL 7556 і EL7570), а також типи EL7585 і EL7600 із прямим приводом, можуть також бути встановлені горизонтально або під нахилом. Фінська компанія Waterpumps Wp Oy виробляє більш доступне обладнання з аналогічною можливістю. Чеський завод "Долні Бенешов" виробляє мікро-ГЕС потужністю (10...100) кВт з турбінами, що базуються на лопатевих насосах. Однак їхній основний недолік полягає у потребі великих напорів (8...20) м, викликаних використанням технологій насосів у зворотних режимах [23].

Фірма SINK (Чехія) серійно виготовляє унікальні комплектні модулі ГЕС для напорів від 1,3 м. Ці модулі оснащені високоточною мікропроцесорною системою автоматичного регулювання параметрів генератора та забезпечують максимальний коефіцієнт корисної дії. Вони ефективно працюють у системах водопостачання, включаючи питну воду, і зазвичай працюють паралельно з електромережею. Гідротурбіни цих модулів є безкавітаційними і одночасно використовуються як аератори води. Виробництво поперечноструйних турбін цього виробника базується на п'яти основних робочих колесах за діаметром, що дозволяє створювати понад 110 модифікацій гідромашин з високим коефіцієнтом корисної дії і широкою зоною регулювання без значних технологічних витрат.

1.5 Аналіз водоспоживання ПрАТ «Запоріжсталь»

Доменний цех включає п'ять доменних печей, двадцять кауперів, чотири машини для розливання чавуну, рудний двір із вагонами-перекидачами та шлакові відвали.

Усі доменні печі працюють з тиском під колошником в діапазоні від 0,8 до 12 атмосфер і мають температуру дуття в межах від 1100 до 1200 градусів Цельсія. Процес дуття збагачений киснем до 22-23%.

Доменні печі №1 та №2 були запуснені відповідно в 1933 та 1934 роках і мали початковий корисний об'єм 930 м³. У 1959 році доменна піч №2 була збільшена до корисного об'єму 1513 м³. У зв'язку із низькою продуктивністю доменної печі №1 та її фізичним та моральним старінням, було прийнято рішення про її зупинення та демонтаж у 2006 році.

Доменна піч №3 була запущена в 1938 році з початковим корисним об'ємом 1300 м³, який у 1971 році був збільшений до 1513 м³.

Доменна піч №4 була споруджена в період з 1940 по 1948 рік і мала початковий корисний об'єм 1239 м³. У 1961 році її об'єм був розширений до 1513 м³.

ісля демонтажу доменної печі №1 розташування інших доменних печей стало острівним. Інформація про термін експлуатації та продуктивність представлена в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Фонд терміну роботи й продуктивність доменних печей

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

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

Для подачі води на бризкальний басейн та забезпечення охолодження доменних печей використовується оборотна схема водопостачання. Ця схема дозволяє відновити до 90-95% використаної води у системі охолодження. В якості охолоджувача для оборотної води використовується бризкальний басейн, що складається з п'яти секцій. Процес охолодження нагрітої води здійснюється за допомогою тангенціальних сопел. Діаметр вхідного отвору сопла становить 50 мм, вихідного – 25 мм.

Нагріта вода від охолоджуваних елементів доменних печей натуральним способом потрапляє в два колектори діаметром 700 мм. Подальший транспорт води здійснюється через 6 трубопроводів до бризкального басейну, де застосовуються циркуляційні насоси для подачі води на бризкало.

Розміри секцій бризкального басейну:

«Д» - 40 x 28 x 2,5 (2800) м;

№1 - 40 x 28 x 2,5 (2800) м;

№2 - 40 x 28 x 2,5 (2800) м;

№3 - 50 x 50 x 2,0 (5000) м;

№4 - 50 x 44 x 2,0 (4400) м.

Водопостачання для охолодження доменних печей виконується через 4 водоводи, з яких 3 мають діаметр 1000 мм, а один - 700 мм. Ця вода надходить до 2 колекторів з перемичками (діаметром 800 мм і 700 мм). З колекторів подається вода двома трубопроводами на охолоджувані елементи доменної печі, забезпечуючи надійність через підведення з різних колекторів. Оборотною водою забезпечуються холодильники поду, горна, фурмена зона, заплечики всіх доменних печей, а також шахти ДП-3,5 і шибери повітрянагрівачів ДП-5. Пара від ДП-2 подається в паропровід низького тиску ТЕЦ, від ДП-3,4 – випускається в атмосферу.

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

Таблиця 1.6 – Водоспоживання ПрАТ «Запоріжсталь»

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

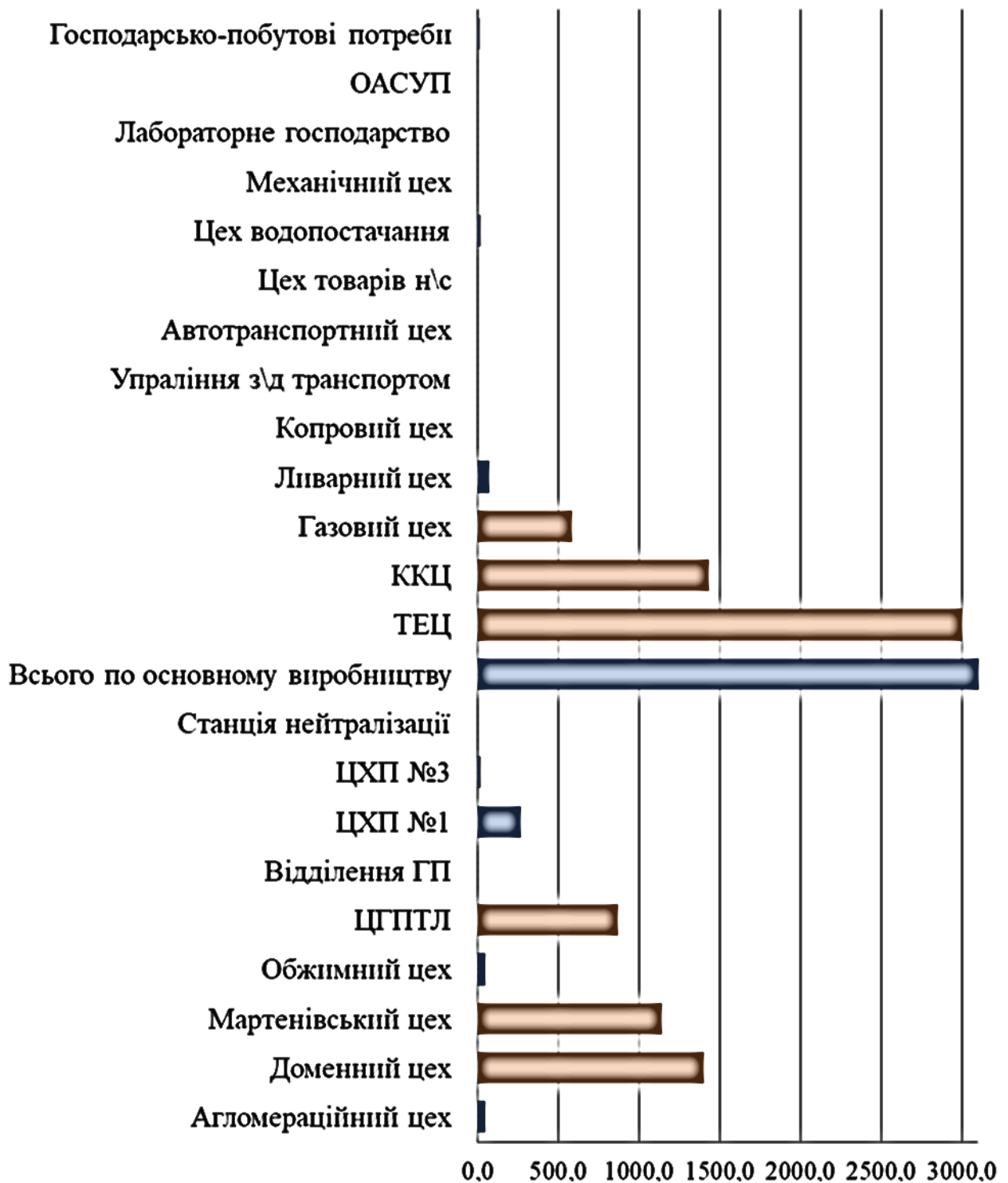


Рисунок 1.1 – Діаграма водоспоживання ПрАТ «Запоріжсталь»

Переробка відведеної води включає в себе використання прийомних резервуарів для збору всієї води від охолодних пристроїв. Ця вода подається в зливальне кільце діаметром 900 мм, розташоване по периметру доменної печі під

робочою площадкою. Відвод повітря від збірною кільцевого трубопроводу здійснюється за допомогою повітряних труб діаметром 100 мм, які концентрично встановлені всередині зливальних стояків, і спеціальних труб, врізаних в місцях спусків.

Діаграма показує, що найбільше води використовується для виробничих потреб, зокрема для ТЕЦ, ККЦ, ЦППТЛ, доменного цеху, мартенівського цеху. Загальне водоспоживання становить приблизно 715 млн. м³.

Отже, для розв'язання завдань, пов'язаних з гідроутилізацією та підвищенням ефективності використання вторинної енергоресурсів, пропонується розробити методики оцінки потенціалу теплових викидів та можливостей гідроутилізації механічної енергії потоків охолодної води. Також необхідно розробити методику вибору утилізуючого обладнання та визначити раціональні місця для розміщення мікро-ГЕС.

Однак, враховуючи високу вартість імпортного обладнання і митні обмеження, може бути економічно необґрунтованим його використання. Тому пропонується провести дослідження водотоків на металургійному підприємстві для точної оцінки гідроенергетичного потенціалу. Також слід вивчити ефективність роботи мікро-ГЕС в умовах змінних потоків вторинної води та розробити математичний інструментарій для коригування енергетичних характеристик генераторів.

Остаточо, важливо провести економічний аналіз новоствореної системи гідроутилізації, щоб підтвердити його доцільність.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

ПрАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ»

2.1 Визначення потенціалу гідроенергетичних ресурсів

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

забезпечує відведення тепла від i охолоджуваного елемента, м³/год

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

де $Q_{mi} = q \cdot F$ теплове навантаження на i охолоджуваний елемент, взяте з інструментальних вимірювань, ккал/г,

q – тепла шпора, ккал/г · м²,

F – площа поверхні, що обігривається, м²

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

$t_{вх}$ – температура води, що подається на охолодження, °С,

C - *Питома* теплоємність води, ккал/кг · °С.

визначається в залежності від наявності у воді механічних домішок, і розраховується виходячи з необхідної витрати, м³/год

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

де v_{cmi} - швидкість i охолоджуваного елемента [28], м/с;

F - площа динамічного перерізу проточної частини i охолоджуваного елемента, м^2 .

виключає локальне закипання плівки, тобто забезпечує тепловіддачу тільки за рахунок конвективного режиму, який також залежить від швидкості потоку [28], $\text{м}^3/\text{г}$

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

де p - периметр змочується охолоджуваного елемента, м .

Нормоване значення необхідної кількості води для охолодження визначається її сумарною витратою на відведення тепла від усіх нагрівальних елементів. Така норма водоспоживання і водовідведення визначається діленням річного обсягу технічної води на річний обсяг основної виробничої номенклатури. В результаті в довідковій літературі наводиться інформація про конкретні норми витрати води на одиницю продукції (на одиницю ваги готової продукції) [28]. Але він не в повній мірі враховує специфіку конкретного підприємства (тип використовуваного обладнання і прийняту схему технологічного процесу) і може використовуватися тільки для приблизних розрахунків. Загальна витрата визначається за формулою [28], м^3

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

де N - кількість продукції, що випускається за рік, шт.,

q_m - питома витрата води на одиницю продукції, $\text{м}^3/\text{т}$

Слід враховувати, що в одних випадках (зокрема, для охолодження) витрата води практично рівномірна протягом доби, а в інших відбувається періодичне наповнення різних ємностей, ванн і т. Д. В даний час. Однією зі специфічних особливостей промислового водоспоживання є залежність в ряді

випадків кількості споживаної води від її якості, зокрема (і найчастіше) від її температури. Чим менше останній, тим менший об'єм води, очевидно, необхідний для того ж охолоджуючого ефекту. Ця обставина визначає зміну споживання по сезонах року: взимку воно набагато нижче, ніж влітку, що серйозно позначається на результатах розрахунків.

Об'єм води, який може бути використаний для вироблення електричної енергії (гідроенергетичний ресурс), залежить від параметрів та хімічного складу води, а також виду виробництва. Важливо враховувати те, що рідина, яка використовується для зволоження шихти та генерації електроенергії, може випаровуватися або ставати частиною продукції, і як гідроенергетичний ресурс вже не використовуватися.

Для вироблення електроенергії підходить тільки та вторинна вода, яка відповідає вимогам, що пред'являються заводами-виробниками мікро-ГЕС. Нормативні показники для систем водяного охолодження промислових підприємств включають температуру відпрацьованої води оборотних циклів (45...60) °С, карбонатну жорсткість (2...3), та вміст суспензії (50...100). Така вода вважається умовно чистою і може бути використана в гідротурбінах.

Важливо враховувати, що обсяг спожитої технічної води підприємством не завжди дорівнює гідроенергетичному потенціалу, оскільки не враховується територіальне розташування джерел вторинної води. Для визначення реального обсягу гідроенергетичного ресурсу необхідно створити відповідні системи збору, враховуючи територіальне розташування обладнання та потоків вторинної води.

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

де Q_3 - об'єм загального водоспоживання, м³/рік ,

Q_6 - споживання, яке обумовлене винесенням води продукцією, що випускається, і охолодженням останньої, м³/рік ,

$Q_{уз}$ - об'єм умовно забрудненої води, що потребує очищення, м³/рік .

Висота, з якої відпрацьована вода відводиться, є важливим фактором при визначенні потенційної енергії водотоку. Якщо вода відводиться з технологічного циклу на нульовому рівні (наприклад, на рівні річки чи моря), то потенційна енергія цього потоку буде невеликою або нульовою. Це важливо враховувати при оцінці можливостей гідроенергетики та використанні води для вироблення електроенергії.

При цьому, $W_{можл}$ визначалися як [30], кВт·год

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

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

$\sum Q$ - сумарна витрата води, м³/год;

H - напір, м;

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

Зрозуміло, що частка витрат підприємств на електроенергію з часом буде зростати. Використання гідроенергетичних ресурсів може значно сприяти зменшенню споживання електроенергії з електромережі на металургійних підприємствах.

Отриманий потенціал гідроенергетичної утилізації на основних металургійних підприємствах м. Запоріжжя відображено в таблиці 2.1. Загальні дані щодо обсягів водоспоживання та водовідведення кожного об'єкта гідроенергетичної утилізації були отримані з офіційних нормативних документів. Об'єми вторинної води, придатної для гідроенергоутилізації та можлива виробництво електричної енергії, визначені через ретельне обстеження обладнання підприємств.

З таблиці стає зрозумілим, що обсяг води, який можна використовувати як гідроенергетичний ресурс, становить приблизно 66% від загального водоспоживання. При цьому загальна потужність водотоку перевищує 1 МВт,

що є конкурентним із потужністю гідрогенераторів, встановлених в руслах малих річок. Кількість виробленої електричної енергії досягає 9,88 млн. кВт·год на рік, а її вартість оцінюється приблизно в 7,5 млн. грн. при діючому тарифі на електроенергію для промислових підприємств.

Таблиця 2.1 - Оцінка потенціалу утилізації гідроенергетичного ресурсу підприємств

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

За таблицею видно, що обсяг води, придатний для гідроенергетичного використання, становить приблизно 66% від загального обсягу водоспоживання. При цьому загальна потужність водотоку перевищує 1 МВт, що повністю конкурує з потужністю гідрогенераторів, встановлених у руслах малих річок. Кількість виробленої електричної енергії в даному випадку досягає 9,88 млн. кВт·год на рік, а її вартість оцінюється приблизно в 7,5 млн. грн. при чинному тарифі на електроенергію для промислових підприємств.

В таблиці 1.7 подані досить приблизні дані щодо потенціалу гідроенергетичних ресурсів різних галузей виробництва Запорізького регіону.

Для більш точних розрахунків рекомендується враховувати окремо складові цехів кожного підприємства, а потім на основі зведених даних робити висновок про загальний гідроенергетичний потенціал всього підприємства. Такий підхід дозволяє з достатньою точністю оцінити обсяги води, придатної для гідроенергетичного використання. Використання цього потенціалу може слугувати додатковим джерелом електропостачання для промислового підприємства.

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

Для ілюстрації процесу гідроенергетичної утилізації розглянемо киснево-компресорний цех, який є частиною ПрАТ «Запоріжсталь». На території цього цеху розташоване різноманітне обладнання, таке як турбокомпресори, турбоконденсатори, підшипники димососів, та колонки водоохолодження. Системи охолодження цього обладнання в даному випадку виступають джерелами вторинної води з витратами від 20 до 50 літрів за секунду. Відмітка висоти, з якої відбувається водовідведення, коливається в межах (4,8...17,1) метрів. Основні характеристики цього об'єкта, які є вихідними для визначення оптимальної системи гідроенергетичного устаткування, наведені в таблиці 2.2.

Технічно, є можливість, зважаючи на наявність на площі цеху іншого технологічного обладнання та допоміжних споруд, розміщення центрів збору гідроресурсу лише в трьох точках. До того ж, вищезазначене устаткування відноситься, в даному випадку, до так званих «заборонених зон», тобто місць неприпустимого розташування елементів СГЕУ. Як було визначено, останнє прийнятно задавати у вигляді паралелепіпедів, найбільш простий аналітичний опис яких являє собою сигнатурна функція. На плані цеху місця неприпустимого

розміщення елементів системи, що проектується, задаються наступним чином:

$$x_{\gamma}(x_{\gamma \min} \dots x_{\gamma \max}); y_{\gamma}(y_{\gamma \min} \dots y_{\gamma \max}); z_{\gamma}(z_{\gamma \min} \dots z_{\gamma \max}).$$

Таблиця 2.2 - Характеристики джерел вторинної води

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

При цьому, характеристики оптимальної СГЕУ на першому етапі розраховувалися на умовно постійне максимальне значення витрати, тобто без

врахування динаміки потоку, що значно спрощує алгоритм. Так, згідно з останнім, для об'єкта, що розглядається, визначаються всі можливі комбінації об'єднання джерел вторинної води з центрами збору. В даному випадку, загальна їх кількість буде дорівнювати, шт

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

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

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

ЦЗ №1 – турбокомпресори;

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

ЦЗ №3 – джерела відсутні.

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

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

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

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

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

де 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, м

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

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

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

При $0,1 < R < 3$ м

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

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

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

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

Де втрати напору по довжині трубопроводу визначаються за формулою, м

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

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

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

Результуючий напір в центрі збору з урахуванням втрат дорівнює, м

$$H_{втр} = 17,1 - 0,37 = 16,73 .$$

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

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

Потім, після визначених параметрів сумарного вторинного водотоку, що надходить в ЦЗ №1 від турбокомпресорів підбирається обладнання для гідроенергоутилізації, а саме мікро-ГЕС модульного типу. Для вищезазначених характеристик потоку вибираємо агрегат типу 100 Пр з турбіною діагонального типу. Номінальні витрати коливаються в межах (0,58...0,8) м³/с, напори

(5,0...7,0) м, потужність 100 кВт. Енергія, що виробляється генератором останньої, визначається згідно з виразом [36-38], кВт·год

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

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

μ_{pt} і μ_{pg} - ККД турбіни і генератора, відповідно.

Для центру збору №1, кВт·год

$$W_1 = 92676,8 \cdot 8760 \cdot 0,86 \cdot 0,95 = 813564,6.$$

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

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

$$C_{EE} = K_{ncK} / W_{cK}, \quad (2.8)$$

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

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

В результаті обчислювальних операцій за вищенаведеним алгоритмом, були визначені характеристики всіх можливих варіантів топології СГЕУ для об'єкту, що розглядається. Останні визначаються комбінаціями об'єднання джерел вторинної води з центрами збору гідроресурсу з урахуванням обмежень на місця розташування її елементів.

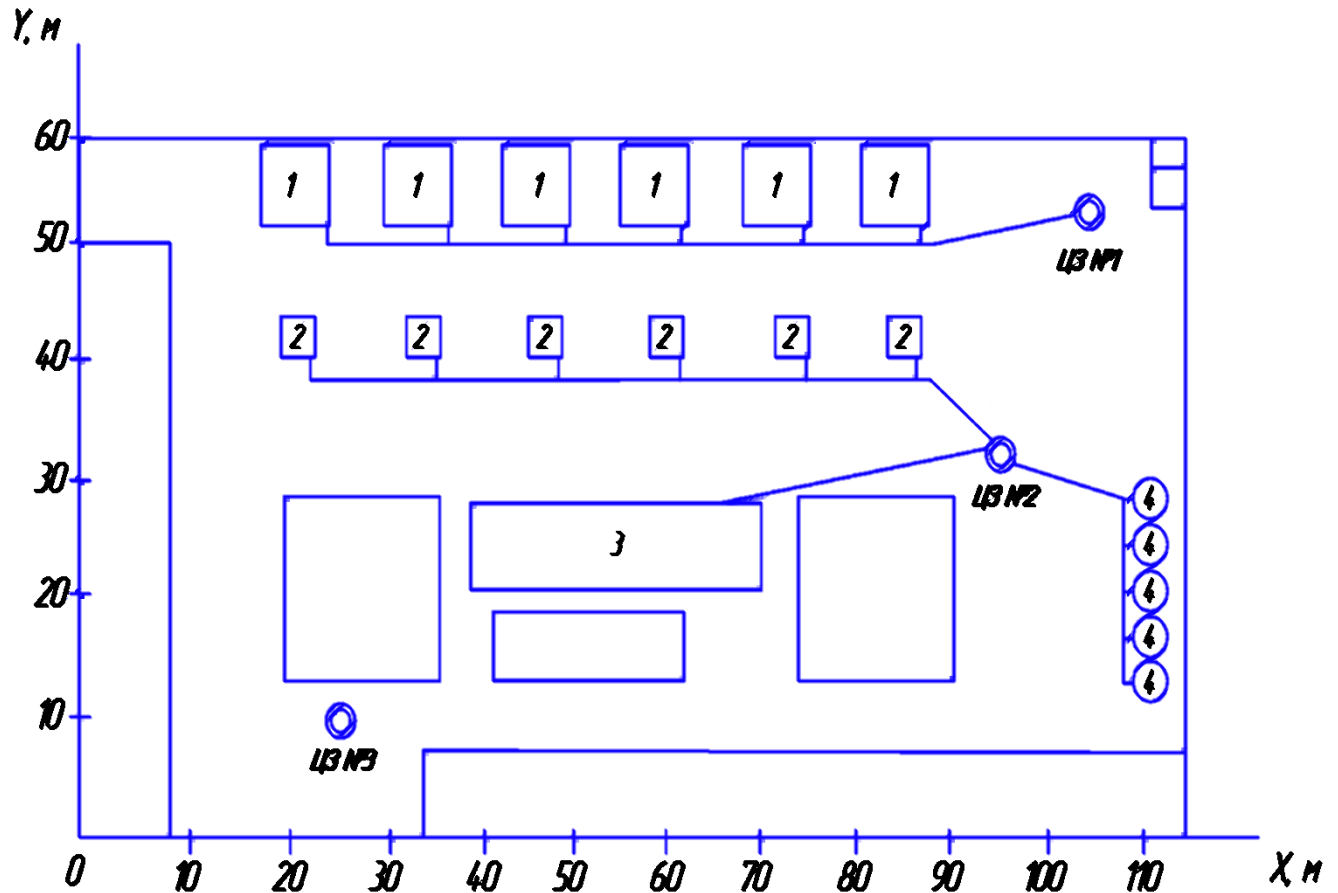


Рисунок 2.1 - План розташування обладнання цеху із зображенням оптимальної за економічним критерієм СГЕУ

Деякі з варіантів, для яких собівартість вироблення електроенергії не перевищує встановлений тариф з мережі $C_{ск} \leq C_m$ (для промислових підприємств станом на 01.12.2023р. – 1,74322 грн./кВт·год [39] зведено до таблиці 2.3.

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

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

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

2.3 Дослідження ефективності модульних мікро-ГЕС шляхом математичного моделювання

2.3.1. Визначення характеристик водотоків підприємства

Проектування систем утилізації вторинних гідроенергетичних ресурсів промислових підприємств пов'язане з проведенням складних техніко-економічних розрахунків. Залежність цих систем від технологічного процесу призводить до нестаціонарності режимів роботи обладнання для гідроенергоутилізації, що призводить до недостатньої визначеності його розрахункових параметрів під час проектування.

Основними складовими системи гідроенергетичного устаткування (СГЕУ) є елементи збору води у вигляді трубопроводів та генеруюче обладнання - турбіна та генератор. Вибір такого устаткування, зокрема, енергомодулів мікро-ГЕС, потребує уникнення недовантаженості електрогенератора через його високу вартість. Важливим є також питання енергоефективності таких систем для економічно доцільного вироблення електроенергії.

Кількість потенційної енергії водотоку, яку можна утилізувати, залежить від розсіювання джерел вторинної води та конфігурації системи збору. Синтез математичної моделі для створення оптимальної топології вимагає визначення прогнозованих параметрів результуючого потоку води, який потрапляє на гідротурбіну.

Режими споживання технічної води різняться і визначаються видом технологічного процесу та самого обладнання, з якого вода відводиться. Враховуючи невизначеність динаміки потоку, витрата рідини є нестационарним процесом, залежним від різних факторів, таких як час доби, пора року, температура рідини, і послідовність складових техпроцесу. Таким чином, існують споживачі, чії добові графіки витрати води постійні, інші мають випадковий характер, що ускладнює процес визначення обсягів витрат вторинної води.

Для більш ефективного проектування систем утилізації гідроенергетичних ресурсів промислових підприємств розумно класифікувати обладнання цехів основного виробництва за впливом на енергетичні параметри вторинного водостоку. Це може бути зроблено шляхом поділу на три основні типи: з постійними, стохастичними та жорстко прив'язаними до технологічного циклу витратами води.

У випадках постійних або циклічно змінюваних витрат вторинної води прогнозування параметрів водостоку нескладне. Однак у випадках стохастичного споживання та відведення води необхідно розробити складні математичні інструменти для визначення цих параметрів на основі статистичних даних.

Додатково, конфігурація системи гідроенергетичної утилізації та її параметри будуть визначальними для вирішення завдань. Наприклад, при одному центрі збору для декількох джерел вторинної води на вході гідротурбіни подається сумарний потік невизначеної витрати і напору. Крім того, розподіл технологічних агрегатів по території підприємства і їх різні габарити ускладнюють визначення енергетичних характеристик реального водостоку.

Отже, створення енергоефективних систем утилізації гідроенергетичних потенціалів вимагає складного підходу, а вибір структури та технічних характеристик елементів системи пов'язаний з великим обсягом взаємозалежних розрахунків. Створення відповідних стохастичних генераторів витрат вторинної води та моделювання реального водостоку є ключовим для імітаційного математичного аналогу системи, що дозволить проводити обчислювальні дослідження та розрахунки.

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

Розглядаючи характеристики вторинного водостоку, такі як витрата і напір, які є динамічними, важливо враховувати їхні коливання при проектуванні систем утилізації гідроенергії на промислових підприємствах. Ці коливання можуть впливати на енергетичні характеристики обладнання, використовуваного для утилізації гідроенергії.

У випадку мікрогідроелектростанцій (мікро-ГЕС), характерного для них є те, що зміни в потоці впливають на параметри процесу перетворення енергії води. Це може призводити до змін в коефіцієнті корисної дії (ККД), частоті струму та якості виробленої електроенергії. ККД в даному випадку може бути функцією швидкості обертання турбіни (частоти), яка визначається за певним виразом.

Такі коливання важливо враховувати при розробці системи, оскільки вони можуть впливати на ефективність та якість виробленої електроенергії мікро-ГЕС.

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

де ω - частота обертання турбіни;

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

Звідси отримаємо, рад/с

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

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

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

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

M_p - момент тертя у підшипникових опорах турбіни і генератора,

M_n - момент навантаження, що створюється електричним генератором.

Інтегрування дозволяє отримати вираз для визначення кутової швидкості, рад/с

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

де M_m - момент на валу турбіни;

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

Так, визначальним параметром для впливу на енергетичні характеристики електрогенератора в енергомодулі мікро-ГЕС є кутова частота обертання валу турбіни. Ця частота прямо залежить від швидкості руху потоку вторинної води в трубопроводах.

Для оцінки потенціалу утилізації проводяться відповідні математичні операції для визначення потужності водотоку при відомій величині сумарної витрати . Розраховується сумарна потужність водотоку для всієї системи гідроенергетичної утилізації, яка дорівнює сумі потужностей в окремих центрах збору, вимірюваних у кількості кіловатт (кВт).

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

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

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

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

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

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

Так, нестабільність потоку води може негативно впливати на роботу обладнання для гідроенергетичної утилізації, спричиняючи завищення потужності генераторів і діаметрів трубопроводів. Це, в свою чергу, може призвести до збільшення вартості системи гідроенергетичної утилізації. Для уникнення цих наслідків можуть застосовуватися додаткові технічні заходи, спрямовані на стабілізацію потоку води.

При визначенні енергетичних показників гідроенергетичних систем (СГЕУ) важливо враховувати нестабільність вторинного водотоку. Це дозволяє більш точно визначити параметри таких систем, використовуючи стохастичні генератори для моделювання реального потоку, який надходить на гідротурбіну.

Необхідно починати розрахунки з аналізу характеру водоспоживання кожного джерела на об'єкті гідроенергетичної утилізації. Динамічний характер сумарного потоку води може впливати на ефективність СГЕУ і призводити до зниження кількості згенерованої електричної енергії, що може вплинути на показники її якості.

Важливо враховувати, що будь-яке відхилення кутової частоти обертання валу гідротурбіни від номінального значення може значно знизити ефективність енергомодуля мікро-ГЕС.

2.4 Вплив динаміки вторинного водотоку на енергетичні показники

Як було визначено, такі характеристики вторинного водотоку, як витрата і напір для більшості з джерел, мають динамічний характер. Тому, очевидно, останнє може вплинути на енергетичні показники обладнання, яке використовується для утилізації гідроенергетичних ресурсів промислових підприємств. До того ж, характерна особливість типової мікро-ГЕС така, що будь-яке коливання потоку впливає на параметри процесу перетворення енергії води, в тому числі змінюється коефіцієнт корисної дії, частота струму, і, відповідно, якість отриманої електроенергії [28-37]. ККД в даному випадку є функцією, аргументом якої виступає величина швидкохідності турбіни $\eta_T = f(\lambda)$. Остання визначається за відомим виразом [28]:

$$\lambda = \frac{D}{2 \cdot v} \cdot \omega , \quad (2.16)$$

де ω - частота обертання турбіни; D - діаметр робочого колеса; v - швидкість потоку води.

Звідси отримаємо:

$$\omega = \frac{2 \cdot \lambda \cdot v}{D} . \quad (2.17)$$

Рівняння руху турбіни з урахуванням моменту інерції мас, що обертаються, і тертя у підшипникових опорах [29]:

$$J \frac{d\omega}{dt} + f\omega = M_p - M_n , \quad (2.18)$$

де J - сумарний момент інерції турбіни і ділянки валу, що до неї відноситься, M_p - момент тертя у підшипникових опорах турбіни і генератора, M_n - момент навантаження, що створюється електричним генератором.

Інтегрування (4.3) дозволяє отримати вираз для визначення кутової швидкості:

$$\omega = \frac{1}{J} \int (M_m - M_c) dt , \quad (2.19)$$

де M_m - момент на валу турбіни; $M_c = M_p + M_n$ - сумарний момент опору обертанню.

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

Відповідні математичні операції з визначення потужності водотоку (підрозділ 3.5) при відомій величині сумарної витрати Q_{py} , де $p = \overline{1, q}$ - кількість центрів збору, проводяться для оцінки потенціалу вищезгаданої утилізації. Так,

для всієї СГЕУ розраховується сумарна потужність водотоку, що дорівнює сумі потужностей N_{py} в окремих центрах збору:

$$N_{\gamma} = \sum_{p=1}^q N_{py} \cdot \quad (2.20)$$

Енергія, що виробляється генераторами, визначається згідно з виразом:

$$W_{\gamma} = \sum_{p=1}^q W_{py}, \quad (2.21)$$

а для кожного з центрів збору вона дорівнює:

$$W_{py} = N_{py} \cdot T \cdot \mu_{tp} \cdot \mu_{gp}, \quad (2.22)$$

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

Так, наприклад, як було встановлено в підрозділі 2.2 і підтверджено в [98-100], водоспоживання доменних печей № 4, 5 ПАТ «Запоріжсталь» має випадковий (стохастичний) характер, величини витрат коливаються в межах від 1550 до 2400 м³/год. Розрахунок параметрів запропонованої системи збору і вибір утилізуючого обладнання для неї проведений, відповідно, за максимальним значенням витрати вищезазначених джерел показав, що єдиний для них центр збору знаходиться на відстані 79 і 49 метрів зі стандартними діаметрами з'єднуючих трубопроводів 820 мм. Приблизна кількість виробленої електроенергії генератором обраної мікро - ГЕС типу 100 Пр становить: за добу – 2388 кВт·год., за рік – 871841 кВт·год. (за умови тризмінного графіку роботи підприємства, що розглядається).

Після приведення до реальних водотоків окремих джерел моделюванням їх параметрів за допомогою генератора випадкових величин витрати, був

розрахований сумарний потік, що також підпорядковуються встановленому закону розподілення ймовірностей [47]. Врахувавши запізнення потоків, згідно запропонованому раніше алгоритму, при розрахованій середній потужності водотоку близько 94,08 кВт отримаємо наступні результати: середньодобове вироблення електроенергії обраним електричним генератором – 1886 кВт·год., річне - 688409 кВт·год. Величина використаної статистичної вибірки Q_γ , де $\gamma = \overline{1 \dots L}$ - кількість значень останньої, з періодичністю 1 година дорівнює 240.

Отже, як видно, енергетичні характеристики максимального і змодельованого сумарного потоку суттєво відрізняються. Розрахункова величина дисперсії σ^2 досить значна і складає за попередніми розрахунками близько 13,08. А це означає, що таке коливання параметрів потоку, що поступає на гідротурбіну, вплине на кількість виробленої електричної енергії, і, відповідно, може спричинити зниження її якості. Показники останньої потребують додаткового аналізу і співставлення із загальнодержавними нормами.

Таким чином, виявлено, що нестабільність потоку має негативний вплив на функціонування гідроенергетичного обладнання, що призводить до переоцінки потужності обраного генератора та діаметрів трубопроводів. Це, в свою чергу, призводить до збільшення вартості всієї системи гідроенергетичної утилізації. Таким чином, для уникнення вказаних проблем необхідно впроваджувати додаткові технічні заходи, які допоможуть стабілізувати потік води та вирішити проблему неповної завантаженості обладнання, забезпечивши максимально можливу виробничу потужність.

З урахуванням визначення енергетичних параметрів СГЕУ, необхідно враховувати нестабільність вторинного водотоку. Це дозволить точніше визначити параметри системи за допомогою стохастичних генераторів, які моделюють реальний потік, що надходить на гідротурбіну. Очевидно, що розрахунок слід почати з аналізу характеру водоспоживання кожного джерела на об'єкті гідроенергетичної утилізації. Динамічний характер сумарного потоку

води негативно впливає на ефективність гідроенергетичної системи і може привести до зменшення кількості згенерованої електричної енергії, а також погіршення її якості.

2.5 Оцінка показників якості генерованої електричної енергії

Таким чином, для вивчення впливу нестабільності потоку вторинної води на енергетичні характеристики систем гідроенергетичної утилізації була розроблена математична модель.

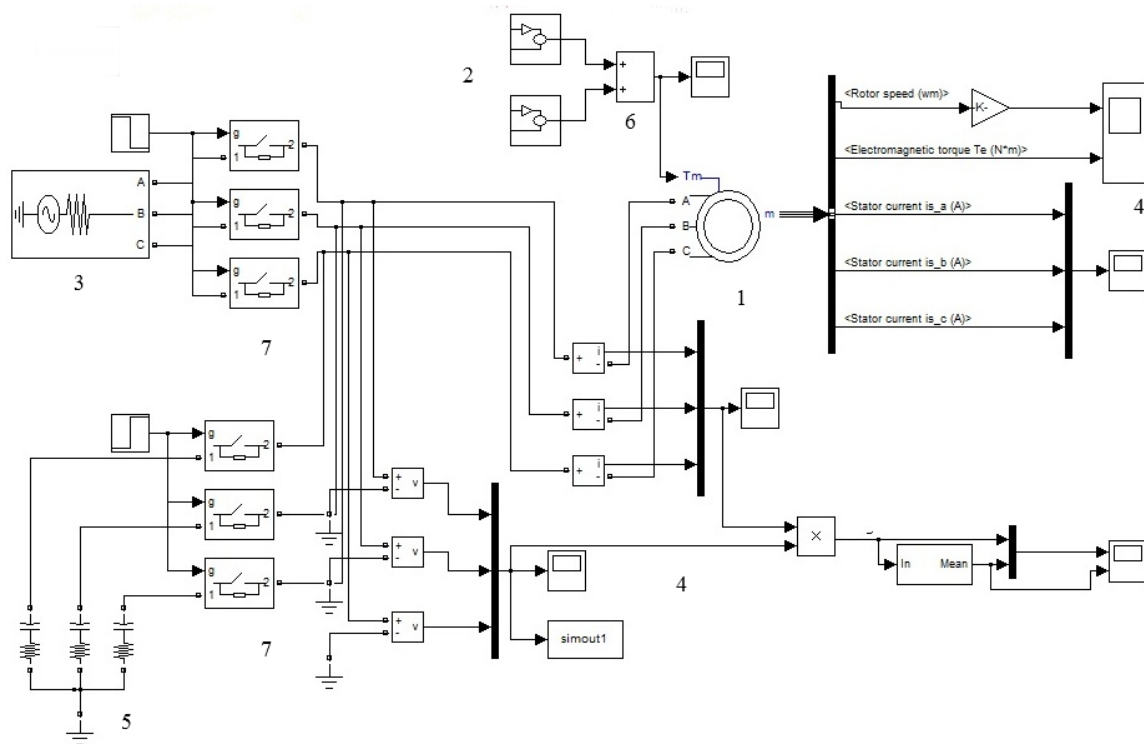


Рисунок 2.2 - Модель дослідження роботи системи генерування електроенергії за рахунок вторинних водотоків підприємств

Ця модель реалізована в середовищі Simulink і включає енергетичний модуль з асинхронним двигуном у генераторному режимі та стохастичний генератор витрати води. У випадку кількох джерел витрата з них сумується, що моделює реальний сумарний потік вторинної води на вході гідротурбіни. Також

у моделі використовуються вимірювальні прилади і конденсаторна система збудження, а електрична мережа промислового підприємства враховується окремим блоком.

Дослідження проводилися на прикладі доменного цеху ПАТ "Запоріжсталь", де була розрахована оптимальна система збору та підібране відповідне обладнання для гідроенергетичної утилізації потоку вторинної води від доменних печей. Система також передбачає можливість роботи автономно та паралельно з електричною мережею за допомогою відповідних перемикачів.

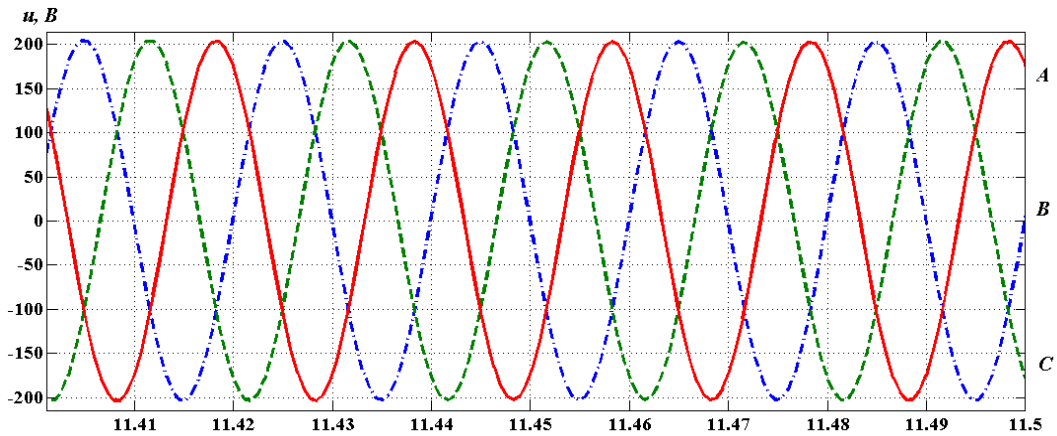
Використовувався двигун з потужністю 110 кВт як генератор у мікро-ГЕС типу 100 Пр. Такі мікро-ГЕС, як правило, використовуються як автономні джерела електроенергії і не потребують живлення від мережі. У випадку, коли така система працює автономно, асинхронний генератор може бути використаний як генератор, якщо реактивну потужність подають у обмотку статора з батареї конденсаторів. Загальний вираз для визначення необхідної ємності для отримання **номінальної напруги асинхронного генератора може бути визначений за формулою [27]:**

$$C = P_{ном} \cdot (tg\varphi_2 + tg\varphi_n) / (2 \cdot \pi \cdot f \cdot m \cdot U_c^2), \quad (2.23)$$

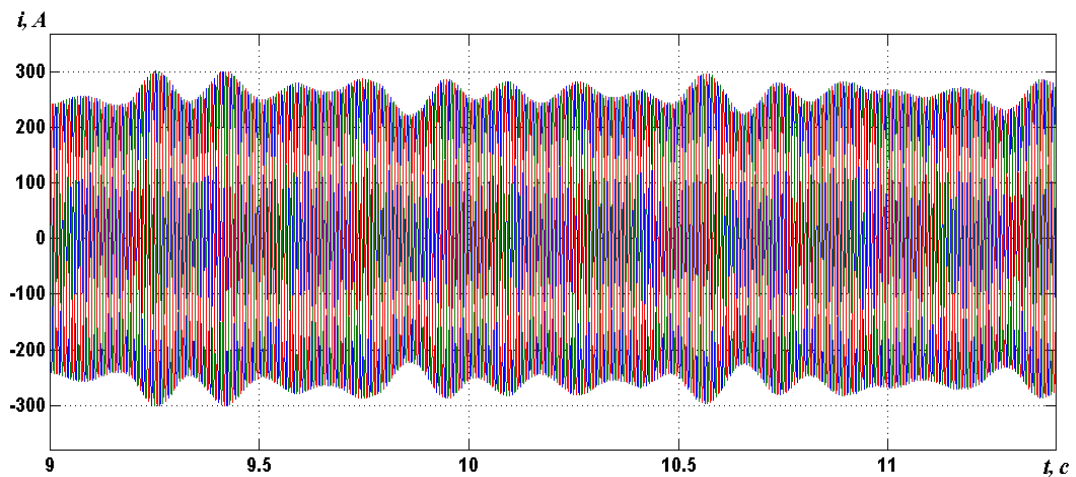
де $P_{ном}$ - номінальна потужність генератора, U_c - напруга на конденсаторах, f - частота струму, m - кількість фаз, φ_2, φ_n - максимальні кути зсуву фаз між напругою і струмами генератора та навантаження. Для двигуна вищезазначеної потужності, у випадку автономної роботи мікро-ГЕС, згідно формули (2.23), достатньо ємності 1065 мкФ на кожен фазу.

Наведена модель системи гідроенергетичної утилізації дозволяє достатньо точно відстежувати динаміку величин, які виходять на електрогенераторі, такі як активна потужність та статорні напруги і струми. Однак робота мікро-ГЕС в автономному режимі у даному випадку не є доцільною. По-перше, на

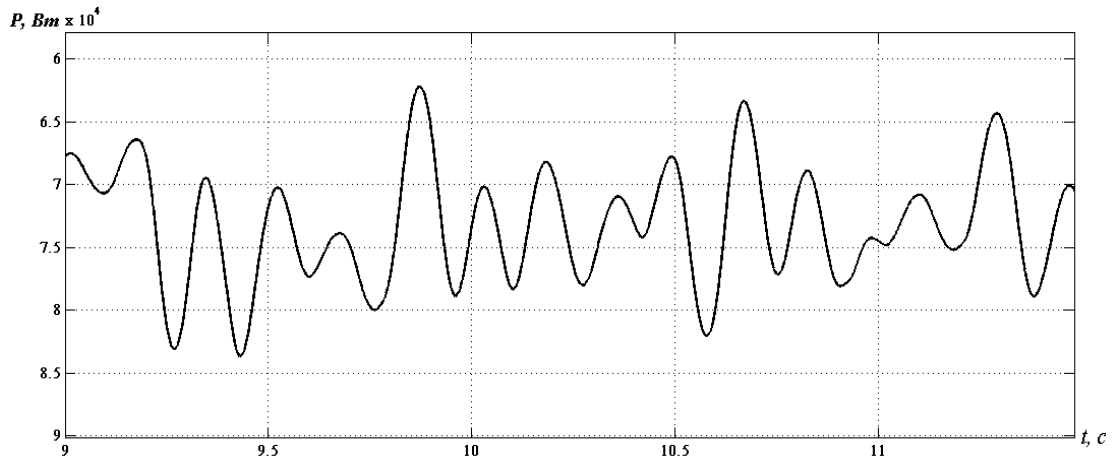
промислових підприємствах споживачі мають достатньо велику потужність порівняно з потужністю електрогенератора, і можливе їх підключення до електричної мережі. По-друге, відсутність конденсаторної системи збудження зменшує вартість системи утилізації вторинних гідроенергетичних ресурсів взагалі. Основні діаграми, що відображають вищезгадані параметри при роботі генератора в мережі, представлені на рисунку 2.3.



a)



б)



в)

Рисунок 2.3 - Динаміка електричних величин на виході АГ при його роботі на мережу:

- а - статорні напруги;
- б - статорні струми;
- в – активна потужність.

Оскільки система працює паралельно з симетричною мережею, видно з діаграм, що нестаціонарність потоку викликає лише коливання статорних струмів і активної потужності, зберігаючи частоту і синусоїдальність в межах норм. Загальна несинусоїдальність (за гармоніками) складає лише 0,03%, що відповідає допустимим 8%. Середня активна потужність становить близько 82 кВт. Однак при переході до автономного режиму і підключенні до затискачів генератора навантаження, такі параметри можуть значно змінитися. Наприклад, при активно-індуктивному навантаженні 15 кВт без системи стабілізації вихідних параметрів електричного генератора, отримуємо відхилення частоти +1,2 Гц (встановлена гранична норма 0,4 Гц), коефіцієнт несинусоїдальності – 13%.

Отже, електрична енергія такої якості не придатна для живлення більшості споживачів. Нестационарність сумарного вторинного водотоку викликає зменшення кількості виробленої електричної енергії на 18-32% і вимагає

збільшення потужності електрогенераторів і діаметрів трубопроводів, що збільшує вартість системи утилізації. Тому для уникнення цих проблем необхідно впроваджувати додаткові технічні заходи для стабілізації потоку води і досягнення повної завантаженості обладнання, тобто максимальної виробничої потужності.

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

3.1 Визначення складових собівартості електричної енергії

Основними економічними показниками системи утилізації гідроенергетичного ресурсу, які визначають її рентабельність, є собівартість електричної енергії (C_{EE}) і термін окупності. Собівартість електроенергії визначається як відношення річних затрат на виробництво електроенергії до обсягів її споживання за аналогічний період. Термін окупності розраховується як відношення сумарних річних витрат на прибуток від генерації електричної енергії за рік до прибутку на одиницю електроенергії, виміряної в гривнях на кіловат-годину (грн/(кВт·год)).

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

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

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

B_{36} - затрати виробництва за відповідний період,

W_{EE} - кількість відпущеної електроенергії,

C_M - діючий тариф на покупну електроенергію з мережі.

Враховуючи вказані обставини, чисельник у вищезазначених формулах може зазнавати змін внаслідок різних факторів, таких як вартість обладнання, придатного для даного типу утилізації, вартість монтажних і пусконаладжувальних робіт, заробітна плата для найманих працівників та обслуговуючого персоналу, геометричні розміри об'єкта, для якого

розробляється СГЕУ, вартість проекту тощо. Ці показники можуть коливатися з часом і, як правило, схильні до збільшення.

Нині на ринку вітчизняних енергетичних рішень відсутні аналоги мікро-ГЕС, які б задовольняли умови експлуатації на території промислових підприємств. Імпортні модулі, крім того, що є досить дорогими, оподатковуються митом, що ускладнює їхнє використання з економічної точки зору. Зміна цієї ситуації може відбутися шляхом коригування законодавства та підтримки виробників енергетичного обладнання. Декілька підприємств вже мають науково-технічний рівень в цій галузі і навіть розробили досліdnі зразки енергоефективних агрегатів для гідроенергоутилізації. Однак їхнє впровадження обмежується відсутністю відповідних областей застосування, ринків збуту та методик їх раціонального використання.

Очевидно, що при наявності відповідних умов стане можливим масове серійне виробництво, що призведе до суттєвого здешевлення даного виду обладнання і підвищення його економічної доцільності для системи гідроенергетичної утилізації. Визначення оптимальної чисельності персоналу для обслуговування вищезгаданих систем також є важливим і суттєво впливає на економічні показники СГЕУ. В економічній практиці існує значна кількість методів визначення кількості працюючих, але найбільш поширеними з них є [23]:

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

Потрібно враховувати, що обладнання для систем гідроенергетичної утилізації є високо вартісним. Значна частка загальної вартості такої системи припадає на елементи, які забезпечують перетворення механічної енергії в електричну, такі як турбіни і електрогенератори з системою регулювання їх вихідних параметрів. Крім того, до капітальних витрат слід включити вартість з'єднувальних трубопроводів. Представлені дані в таблицях 3.1 і 3.2 розраховані

за цінами, актуальними на 2023 рік, від виробників відповідного обладнання, таких як БМУ "Запоріжстальбуд – 1" і МНТО "ІНСЕТ". Ці дані можна використовувати для подальших розрахунків. Крім того, перелік може бути розширений і доповнений іншими, більш сучасними та продуктивними зразками енергетичного і вспоміжного обладнання.

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

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

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

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

Останнім часом, тарифи на електричну енергію стрімко зростають, особливо для промислового сектору. Так, наприклад, в 1999 році середній роздрібний тариф для промисловості за даними НКРЕ України складав 0,1268 грн/кВт·год, тоді як на грудень 2023 року – 2,74322 грн/кВт·год, тобто збільшився майже у шість разів і продовжує підвищуватися щомісячно. Така тенденція, скоріш за все, продовжиться і надалі. Очевидно, що собівартість електричної енергії, що виробляється СГЕУ, повинна бути нижчою, ніж вартість покупної з мережі. Тому, навіть, якщо на момент проектування системи утилізації гідроенергетичного ресурсу спостерігається зворотна ситуація, то через кілька місяців вона може змінитися, тобто стати сприятливою.

3.2 Розрахунок капітальних вкладень в систему гідроенергетичної утилізації

Капіталовкладення на отримання електричної енергії з наведеного водотоку ЦЗ №1 будуть складатися з витрат на енергомодуль мікро-ГЕС, з'єднуючі трубопроводи, вартість робіт з монтажу. Відповідні коефіцієнти амортизації енергетичного обладнання – 24 %, трубних конструкцій – 8 %. Вартість монтажних і пуско-налагоджувальних робіт, в даному випадку, складе 7,5 %, а на поточний ремонт і обслуговування основних фондів – 5 % від капітальних витрат. Мікро-ГЕС типу 100Пр виробництва МНТО «ІНСЕТ» коштує 941,6 тис.грн., питома вартість трубопроводу діаметром 820 мм за даними БМУ

«Запоріжстальбуд – 1» - 1176278 грн/км. Річна кількість електроенергії, що виробляється дорівнює $W_2 = 0,687$ млн. кВт · год.

Тоді, з урахуванням вищезазначеного, отримаємо, грн

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

Вартість робіт з монтажу і пуско-наладки, грн

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

Тоді, загальні капітальні витрати становлять, грн

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

Амортизаційні відрахування, грн

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

Поточні витрати з урахуванням амортизації, грн

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

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

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

$$C_{EE} = K_{ncк} / W_{cк}, \quad (3.3)$$

де $K_{ncк} = \sum_{p=1}^q K_{nq}$ - поточні витрати,

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

Тобто, можна записати, грн/(кВт·год)

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

За економічними і енергетичними показниками для об'єкта гідроенергетичної утилізації, що розглядається, визначено величину, яка відображає економічну доцільність капіталовкладень в проект. Остання, а саме вигода, розраховується за виразом: $B_i = W_i \cdot (C_m - C_i)$, де W_i - кількість електричної енергії, що виробляється генераторами i - го варіанта СГЕУ, кВт·год./рік; C_m , C_i - вартість електроенергії з мережі (для промислових підприємств станом на 1.12.2023р. – 1,74322 грн./кВт·год. [29] і її собівартість, відповідно.

В результаті обчислювальних операцій, були визначені характеристики всіх можливих варіантів топології СГЕУ для об'єкту, що розглядається. Останні визначаються комбінаціями об'єднання джерел вторинної води з центрами збору гідроресурсу. Деякі з варіантів, для яких собівартість вироблення електроенергії не перевищує встановлений тариф з мережі $C_{cк} \leq C_m$ (для промислових підприємств станом на 01.12.2023р. – 2,74322 грн./кВт·год.).

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

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

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

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

Передбачувані сумарні капіталовкладення в реалізацію проекту складають 2 147 312 грн. згідно з діючою на 1.12.2023 р. вартістю обладнання, робіт з монтажу і обслуговування. При цьому, чиста вигода складе близько 487,7 тис. грн. на рік при собівартості електроенергії 1,40 грн./кВт·год.

3.3 Визначення техніко-економічних показників впровадження системи гідроенергетичної утилізації

Ваш висновок щодо доцільності впровадження систем гідроенергетичної утилізації на основі модульних мікро-ГЕС виглядає логічним. Оскільки ці системи вимагають менше часу та робочої сили на поточне обслуговування і можуть бути надійно експлуатовані внутрішнім персоналом промислових підприємств, це може призвести до економії коштів на заробітну платню та загальних витрат на обслуговування.

Однак для об'єктивного оцінювання ефективності систем, порівнювання їх параметрів і прийняття остаточного рішення щодо впровадження, важливо ретельно аналізувати ключові показники ефективності, такі як собівартість виробленої електроенергії, термін окупності і економічні вигоди від проекту. Це дозволить забезпечити обґрунтоване рішення і врахувати всі фактори, які впливають на успішність впровадження гідроенергетичних систем на конкретному промисловому підприємстві.

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

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

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

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

де q - кількість центрів збору гідроресурсів.

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

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

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

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

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

- розрахунковий коефіцієнт ефективності капіталовкладень [13-15]

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

а термін їх окупності, років

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

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

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

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

$$B_{E20} = n \cdot B_E \quad (3.11)$$

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

Було визначено, що для об'єкта, який розглядається, річна величина $W = 2,134$ млн. кВт·год. При цьому капітальні вкладення в систему складають $K_{C_k} = 2,126$ млн. грн., поточні на обслуговування і амортизаційні відрахування

основних фондів - $З_{нк} = 0,568$ млн. грн. Отже, собівартість електроенергії в такому разі дорівнює, грн/(кВт·год)

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

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

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

- коефіцієнт ефективності капіталовкладень

$$E_p = \frac{0,963}{2,134} = 0,615 .$$

термін окупності капітальних вкладень, років

$$T_{ок} = \frac{2,134}{0,615} = 3,47 .$$

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

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

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

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

Техніко-економічні показники СГЕУ зводяться в таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 - Показники ефективності впровадження СГЕУ

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

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

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

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

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

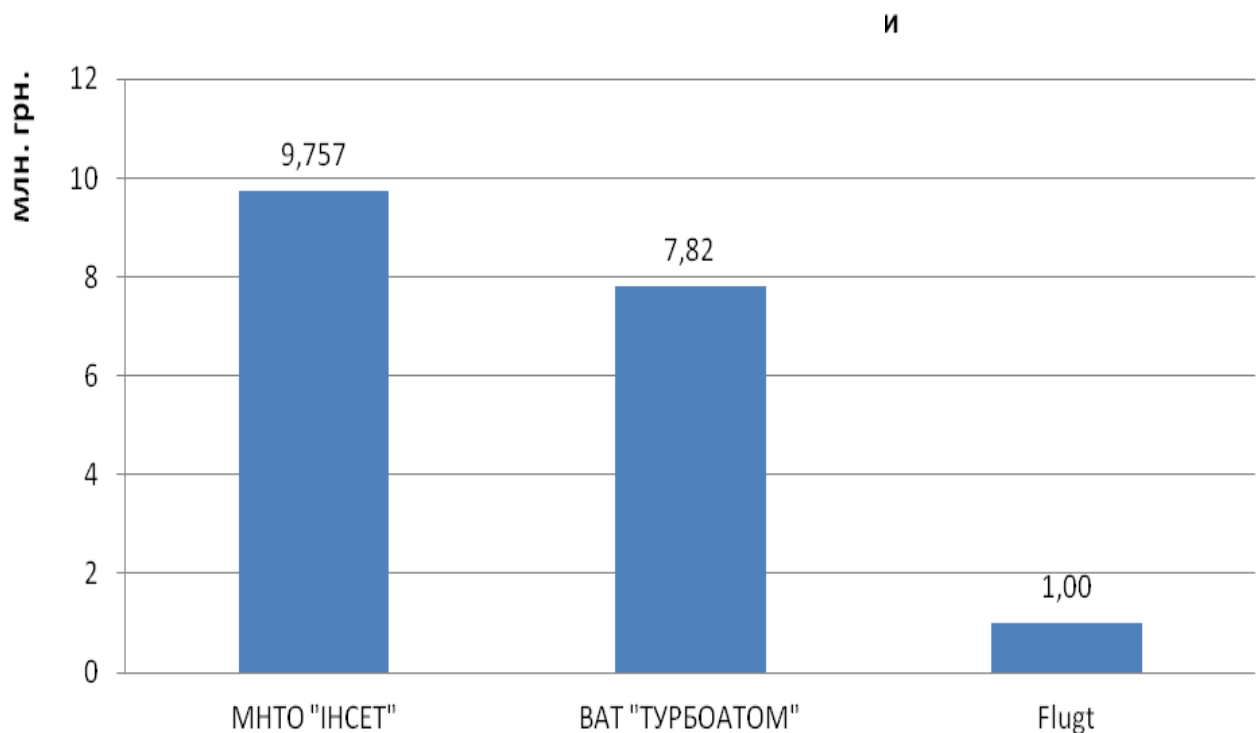


Рисунок 3.1 – Сумарна економія за проектами

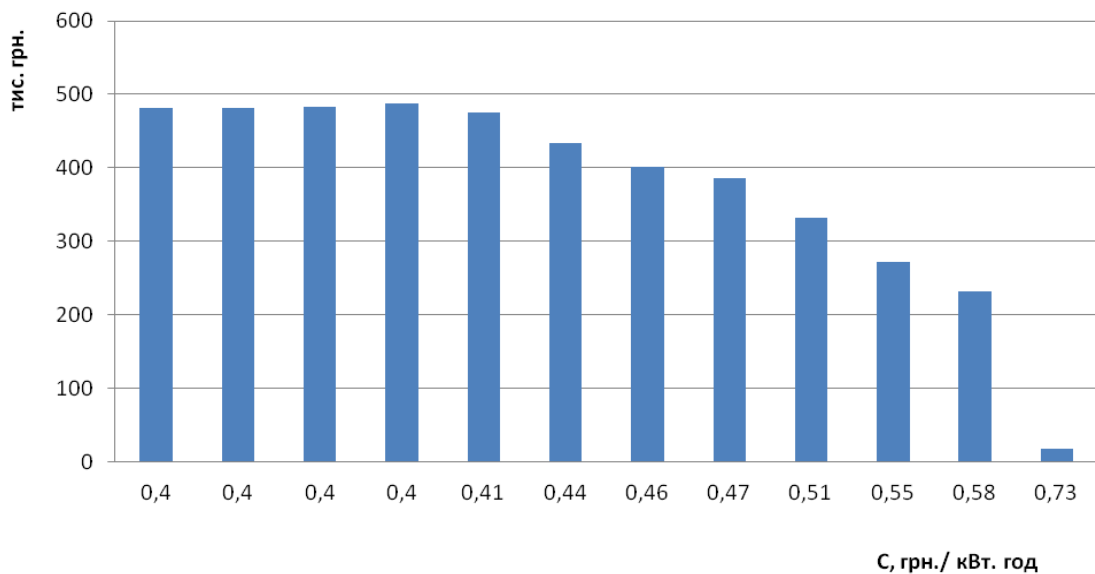


Рисунок 3.2 – Собівартість вироблення електричної енергії за варіантами

Оскільки вартість електроенергії для промислових підприємств постійно зростає, перевага від впровадження проекту гідроенергоутилізації також збільшується відповідно. Крім того, зміна вартості обладнання в сторону зменшення за рахунок використання вітчизняних аналогів мікро-ГЕС може істотно скоротити термін окупності. Таким чином, економічні характеристики систем гідроенергетичної утилізації можуть значно коливатися в залежності від типу використаного обладнання та ситуації на ринку електроенергетики.

Результати техніко-економічних розрахунків свідчать про те, що виробництво власної електроенергії дозволяє промисловим підприємствам значно заощаджувати кошти на закупівлі енергоресурсів, зокрема електроенергії. Усі запропоновані проекти виявилися економічно вигідними, оскільки строк окупності та коефіцієнт капітальних вкладень трошки перевищують 6 років і 0,15 відповідно до нормативів. Враховуючи виконання умов, це підтверджує економічну доцільність впровадження таких систем.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища

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

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

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

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

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

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

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

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

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

навантаження й розвантаження трансферкара. Концентрації пилу на рудному дворі коливаються від 10 до 120 мг/м³, на бункерній естакаді - від 16 до 1000 мг/м³. Максимальних значень концентрація пилу досягає під час навантаження й вивантаження матеріалів, що порошать. Виробничий шум на рудному дворі й бункерній естакаді, як правило, не перевищує припустимих рівнів, установлених СН – 245 - 71. Вплив шуму сприймають машиністи рудного крана, вагоноперекидача, вагонотовкача, трансферкара.

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

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

При випуску чавуну й шлаків спостерігається підвищення змісту пилу в повітрі робочої зони. Найбільші пиловиділення відбуваються при випуску чавуну й досягають 270 мг/м³ у головної ринви. Значні концентрації пилу (до 1500 мг/м³) у зоні чугуновозного ковша, що заповнюється чавуном. Ця операція супроводжується утворенням хмари пилу, що складає в основному із часточок графіту. Поширення пилу в процесі випуску чавуну обмежується чавунною стороною ливарного двору й майже не впливає на шлакову сторону. У свою чергу випуск шлаків приводить до збільшення концентрації пилу переважно на шлаковій стороні двору.

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

Таблиця 4.1 – Оцінка факторів виробничого та трудового процесу горнового

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

4.2 Заходи щодо захисту від впливу шкідливих факторів виробничого середовища горнового

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

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

Робітники ливарного двору періодично піддаються впливу інфрачервоного випромінювання. Інтенсивність опромінення на робочих місцях залежно від розмірів і температури джерел випромінювання й відстані становить (0,01...3) м, (6...7) кВт/м².

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

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

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

Максимальне пиловиділення спостерігається у головної ринви при випуску чавуну.

При виплавці передільного чавуну й роботі з підвищеним тиском під колошником пил має наступний хімічний склад в %: 6,02 Fe; 12,9 Fe₂O₃; 13,8 Fe_{общ}; 14,6 Si₂; 4,35 Al₂O₃; 4,35 Mg; 11,85 Ca; 0,74 S; 3,75 Mn.

Кількість пилу в повітрі робочої зони горнового становить 180 мг/м³, при нормі 4 мг/м³.

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

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

4.3 Технічні рішення по гігієні праці і виробничій санітарії

4.3.1 Мікроклімат

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

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

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

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

4.3.2 Вентиляція й кондиціювання

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

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

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

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

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

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

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

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

У доменному цеху використовується душируюча вентиляція кондиціонованим повітрям у льоток для випуску чавуну й шлаків (5 патрубків продуктивністю по 17000 м³/рік) (див. таблицю 4.2).

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

Приточна вентиляція кондиціонованим повітрям на постах керування (за 3000 м³/Г).

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

Період року	Характеристика виробничих приміщень за надлишковим тепловиділенням (більш-менш 23 Вт/м ²)	Категорія робіт	Період року (теплий) на постійних робочих місцях			Температура повітря поза пост. робочих місць
			t ^o _п , °C	Відн. вологість %	Швидкість руху повітря, м/з	
			Теплий період	5520	Важка III	

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

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

Тепловиділення від доменної печі визначаються по формулі, кДж/м²

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

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

C_n - теплоємність повітря, $C_e = 1,005$ кДж/(м³·К);

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

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

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

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

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

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

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

Таким чином, необхідна кількість приточного повітря, що поступає до цеху – 881077,2 м³/год.

Тепловиділення від доменної печі визначаються за формулою, Вт

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

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

F_n - площа бічної поверхні печі, м²;

a - коефіцієнт теплообміну, 18 Вт/(м² К);

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

У цеху чотири доменні печі, Вт

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

Тепло що поступає від відкритих робочих вікон, Вт

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

де k - коефіцієнт діафрагмування, дорівнює 0,65;

c_0 - коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла, дорівнює 5,67 Вт/м²;

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

F - площа випромінюючої поверхні;

τ - час на який відкривається вікно протягом години, 20 хв.

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

Тепло що поступає від металу, що остиває

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

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

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

l_{ϕ} - теплота фазового перетворення, 96 кДж/кг;

G - маса матеріалу, 60000 кг;

τ - час знаходження металу в цеху, 0,5 години.

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

Надлишкові тепловиділення визначаються як сума всіх складових, Вт

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

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

Різниця тисків, що викликає переміщення аераційного повітря через приточні й витяжні прорізи, кгс/м²

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

де γ_n , $\gamma_{p.z}$ - питома вага відповідно навколишнього й видаляемого повітря, визначається, кг/м³:

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

Втрати тиску на прохід повітря через приточні прорізи, кПа

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

де β - частка різниці тисків, що витрачається на прохід повітря через приточні прорізи, кгс/м²

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

Втрати тиску на прохід повітря через витяжні прорізи ліхтаря, кПа

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

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

Площа приточних прорізів, м²

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

де ζ_1 – коефіцієнт місцевого опору приточних прорізів, дорівнює 3,5 для одинарної підвісної стулки при куті відкриття 60 °С.

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

Площа витяжних прорізів, м²

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

де ζ_2 – коефіцієнт місцевого опору ліхтаря, для п-образного Рюкіна й Ільїнського при куті відкриття стулочок 55 °С дорівнює 7,1 (див. рис. 4.1).

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

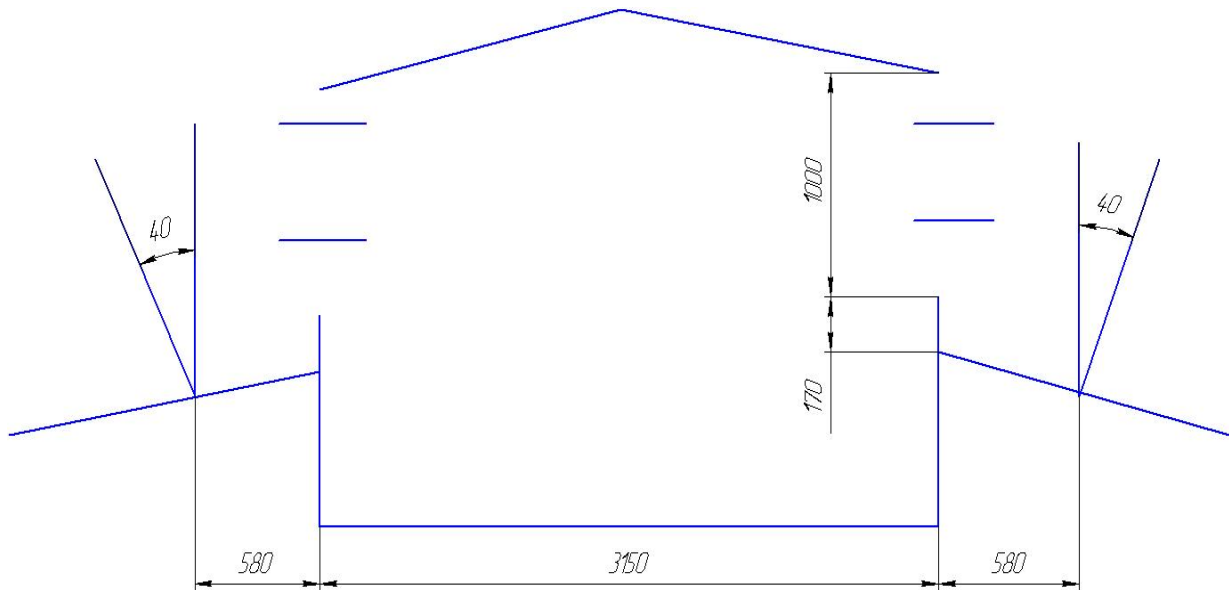


Рисунок 4.1 - Аераційний ліхтар

4.3.3 Освітлення

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

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

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

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

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

де l - значення КПО;

m - 1,9 - коефіцієнт світлового клімату;

c - коефіцієнт сонячного клімату.

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

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

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

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

τ_0 - загальний коефіцієнт пропущення прорізу.

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

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

Штучне освітлення.

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

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

Норма освітленості 75 лк - для лампи накаливання.

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

Коефіцієнт запасу, $K = 1,3$.

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

Площа: $S = 90 \cdot 50 = 4500$ м².

Індекс приміщення. в.о.

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

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

Використовуються лампи накаливання НГД 127-100 (напруга на лампі 127 В, потужність 100 Вт, світловий потік 1260 лм, $D = 81$ мм, $L = 125$ мм), світильник «Універсаль». УПМ: пит. потужність «Універсаль»: 16 Вт/м²; $\eta = 0,386$ - коефіцієнт використання, тобто відносна частка потоку лампи, що падає на поверхню S .

Необхідний світловий потік лампи кожного світильника розраховується за формулою, лм

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

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

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

Необхідне число ламп, шт

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

Відстань між центрами світильників, м

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

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

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

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

4.4 Захисні заходи з електробезпеки

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4.5 Пожежна безпека

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

Ширина евакуаційних шляхів виконана відповідно до п.5.28 ДБН В.1.1-7-2006. Евакуаційні виходи з будівель виконані у відповідності до вимог п.5.9 та п.5.18 ДБН В.1.1.7-2006. Для запобігання розтікання масла з маслонаповненого обладнання та розповсюдження пожежі при їх пошкодженні проектом передбачені маслоприймач, масловідводи і маслозбірник заглибленого типу об'ємом 2,5м³. В якості протипожежних заходів на території цеху передбачені наступні заходи: застосування кабелів з ізоляцією, що не підтримують горіння; підключення швидкодіючими релейними захистами кабелів; установка пожежних щитів з вуглекислотними вогнегасниками, совковими лопатами і ящиками з піском для гасіння пожежі.

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

Таблиця 4.1 – Первинні засоби вогнегасіння в доменному цеху

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

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

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

4.6 Засоби індивідуального захисту

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

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

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

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

4.7 Розробка заходів захисту від тепловиділень

Розрахунок аерації пічного прольоту.

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

Кількість теплоти, що виділяється в цеху від печі, Вт

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

де T_e – температура печі, К;

F_n – площа печі, м².

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

Тепловиділення від сонячної радіації через світлові прорізи, Вт/м²

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

де F_c – площа світових прорізів, м².

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

Втрати теплоти через зовнішні огради у межах робочої зони, Вт

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

де $F_{б.с.}$ – площа бокових стін цеху, м².

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

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

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

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

Кількість повітря, необхідного для асиміляції надлишкових тепловиділень,
м³/год

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

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

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

Визначивши кількість повітря G , необхідного для асиміляції надлишкових теплових виділень в цеху, можна розрахувати площі припливних $F_{пр}$ і витяжних $F_{вит}$ прорізів цеху, м²

- щільність зовнішнього повітря, кг/м³:

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

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

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

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

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

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

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

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

$$h_n = 2 + 1.22 = 3.22 \text{ м.}$$

- площі припливних та витяжних прорізів, м²:

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

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

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

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

Температура стінки $t_1 = 40$ °С, температура повітря $t_2 = 23$ °С. Пост керування викладений цеглою. Ступінь чорноти $E_n = 0.85$. Потрібно забрати всередині поста температуру не більше 26 °С.

$$T_u = 273 + 40 = 313 \text{ К};$$

$$T_e = 273 + 23 = 296 \text{ К};$$

$$T_s = 273 + 26 = 299 \text{ К}.$$

Визначаємо ступінь екранізації, в.о.

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

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

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

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

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

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

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

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

Визначаємо число екранів [46], шт

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

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

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

ВИСНОВКИ

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

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

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

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Пирогов Н.Л. Вторичные ресурсы: эффективность, опыт, перспективы: Учебник для вузов / Н.Л. Пирогов, С.П. Сушон, А.Г. Завалко – М.: Экономика, 1987. – 326 с.
2. Бердишев М. Ю., Чейлитко А. О., Назаренко О. М. Низькопотенційні та альтернативні джерела енергії. Навчально-методичний посібник для студентів ЗДІА Енергетичного напрямку всіх форм навчання. Запоріжжя: ЗДІА, 2015. 270 с.
3. Петкин А.М. Экономия энергоресурсов: резервы и факторы эффективности: Учебное пособие - М.: Энергоатомиздат, 1982. – 264 с.
4. Основные методические положения по планированию использования вторичных энергетических ресурсов / НИИ планир. и нормативов. Укр. фил. - М.: Энергоатомиздат, 1987. – 57 с.
5. Лисиенко В.Г. Хрестоматия энергосбережения. Справочник в 2-х томах. Том 1 / В.Г. Лисиенко, Я.М. Щелоков, М.Г. Ладыгичев - М.: Теплотехник, 2006.- 650с.
6. Розенгарт Ю.И. Вторичные энергетические ресурсы черной металлургии и их использование: Учебное пособие – Киев: Выща школа, 1988. - 457с.
7. Старк С.Б. Теплоэнергетическое хозяйство металлургических заводов: Учебное пособие – М.: Металлургия, 1966. – 354 с.
8. Михайлов В.В. Рационально использовать энергетические ресурсы: Учебное пособие - К.: Техника, 1980. – 338 с.
9. Берлин З.Л. Рациональное использование вторичных энергоресурсов в цветной металлургии: Учебное пособие – М.: Металлургия, 1972. – 421 с.
10. Симоненко Н.А. Теплоиспользование в промышленной огнетехнике и энерготехнологическое комбинирование: Учебник для вузов – Москва: Энергия, 1975. – 512 с.

11. Виленский Н.М. Рациональное использование вторичных энергоресурсов: Учебное пособие – М.: Metallurgizdat, 1963. – 346 с.
12. Колобков П.С. Использование вторичных энергоресурсов черной металлургии: Учебник для вузов / П.С. Колобков, В.Д. Осипенко – Киев: Техника, 1979. – 374 с.
13. Определение выхода и возможного использования вторичных энергетических ресурсов черной металлургии / Украинский филиал научно-исследовательского института планирования и нормативов при госплане СССР. - Киев, 1971. – 24 с.
14. Костюк В.А. Вторичные энергетические ресурсы и энерготехнологическое комбинирование: Учебное пособие - Мариуполь: ПГТУ, 2003. – 417 с.
15. Куперман Л.И. Вторичные энергоресурсы и энерготехнологическое комбинирование в промышленности. 2-е изд., перераб. и доп. / Л.И. Куперман, С.А. Романовский, Л.Н. Сидельковский – К.: Вища школа, 1986. – 303 с.
16. Симоненко Н.А. Вторичные энергоресурсы и энерготехнологическое комбинирование: Учебное пособие / Н.А. Симоненко, Л.И. Куперман – Киев: Вища школа, 1979. – 314 с.
17. Семененко Н.А. Вторичные энергоресурсы промышленности и энерготехнологическое комбинирование: Учебное пособие – М.: Энергия, 1968. – 296 с.
18. Гольстрем В.А. Справочник по экономии топливно-энергетических ресурсов / В.А. Гольстрем, Ю.Л. Кузнецов - К.: Техника, 1985. – 383 с.
19. Тугай А.М. Водопостачання: Підручник / А.М. Тугай, В.О. Орлов - К.: Знання, 2009. – 735 с.
20. Баланчевадзе В. И. Энергетика сегодня и завтра: Учебное пособие / В.И. Баланчевадзе, А. И. Барановский - М.: Энергоатомиздат, 1990. – 344 с.

21. Лисиенко В.Г. Хрестоматия энергосбережения: Справочник в 2-х книгах / В.Г. Лисиенко, Я.М. Щелоков, М.Г. Ладыгичев – М.: Теплоэнергетик, 2005. – 234 с.
22. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: Справочник / [под общ. ред. В.А. Григорьева]. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 348 с.
23. Никифоров Б.И. Энергосбережение на металлургических предприятиях / Б.И. Никифоров, Г.В. Заславец: Монография – Магнитогорск: МГТУ. - 2000. – 131 с.
24. В.Л. Коваленко. Оценка потенциала утилизации вторичного гидроэнергетического ресурса на примере металлургического предприятия / В.Л. Коваленко, А.А. Филобок // Металургія: Наукові праці ЗДІА. – 2009. – Вип.19. – С.23-25.
25. Методика по разработке норм и нормативов водопотребления и водоотведения с учётом качества потребляемой и отводимой воды в чёрной металлургии. – М.: МЧМ СССР. – 1981. – 167 с.
26. Методика по разработке норм и нормативов водопотребления и водоотведения с учётом качества потребляемой и отводимой воды в чёрной металлургии (II редакция с дополнениями и изменениями). – М.: МЧМ СССР. – 1988. – 211 с.
27. В. Л. Коваленко Об оценке потенциала вторичного гидроэнергетического ресурса предприятия // Відновлювана енергетика. Науково-прикладний журнал. – 2009. – №2. – С. 54-58.
28. Андоньев С.М. Особенности промышленного водоснабжения: Учебное пособие – Киев: Будівельник. – 1981. – 246 с.
29. Бережинский А.И. Охлаждение и очистка газов кислородных конвертеров: Учебное пособие / А.И. Бережинский, А.Ф Циммерман . – М.: Металлургия, 1975. – 316 с.
30. Андоньев С.М. Испарительное охлаждение металлургических печей: Учебное пособие – М.: Металлургия, 1970. – 318 с.

31. Шейдлин А. Е. Новая энергетика: Учебное пособие - М.: Наука. 1987. - 463 с.
32. Проектирование систем управления/Г. К. Гудвин, С. Ф. Греббе, М. Э. Сальгадо. – М.: БИНОМ.ьЛаборатория знаний, 2004. – 911 с., ил.
33. Современные системы управления/ Р. Дорф, Р. Бишоп. Пер. с англ. Б. И. Копылова – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2002. – 832с.: ил.
34. Utkin V. I., Sliding Modes in Optimisation and Control, SPRINGER-VERLAG, 1992.
35. Chang, W., Park, J. B. Joo, Y. H. and Chen, G.,(2002), “Design of robust fuzzy model based controller with sliding mode control for SISO nonlinear systems”, Fuzzy Sets and Systems, 125, pp.1-22.