МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

Електричної інженерії та кіберфізичних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

другий (магістерський) рівень
(рівень вищої освіти)

на тему Зниження витрат на енергоресурси впровадженням системи гідроенергоутилізації в умовах ПрАТ «Запоріжсталь»

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1453
спеціальності 145 Відновлювані джерела енергії та гідроенергетика
(код і назва спеціальності)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)
освітньої програми Гідроенергетика
(назва освітньої програми)
Рябко Д. В.
(ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н., доц., Радченко В.В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент Коломієць Д.М.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
д.т.н., проф._____В.Л. Коваленко
«_____»_____2024__року

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

_____Рябку Данилу Владиславовичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи Зниження витрат на енергоресурси впровадженням системи гідроенергоутилізації в умовах ПрАТ «Запоріжсталь»_____
керівник роботи ___Радченко Віталій Васильович, к.т.н., доцент_____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «_28_»_лютого__2024__року №_361 - с_____
2 Строк подання студентом роботи _____01 грудня 2024 р._____
3 Вихідні дані до роботи _Водотоки металургійного підприємства, основні технічні характеристики мікро ГЕС, діапазон витрат від 0,7 до 12 м^3/с в межах напорів від 2,5 до 20 м, загальне водоспоживання 714907466 м^3/рік.
4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Теоретичні аспекти утилізації вторинного гідроресурсу промислових підприємств. 2) Дослідження щодо підвищення енергоефективності ПрАТ «Запоріжсталь» за рахунок скидних вторинних гідроенергетичних ресурсів 3) Техніко-економічні розрахунки ефективності впровадження вільнопоточних 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) Дослідження ефективності роботи модульної мікро ГЕС 5) Биноміальний розподіл. 6) Автокореляційна функція 7) Стохастичний генератор 8) 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 01.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Теоретичні аспекти утилізації вторинного гідроресурсу промислових підприємств	30.09.2024	
2	Дослідження щодо підвищення енергоефективності ПрАТ «Запоріжсталь» за рахунок скидних вторинних гідроенергетичних ресурсів	30.10.2024	
3	Техніко-економічні розрахунки ефективності впровадження вільнопоточних мікро ГЕС в умовах ПрАТ «Запоріжсталь»	19.11.2024	
4	Охорона праці та техногенна безпека.	30.11.2024	

Студент _____ Д. В. Рябко
(підпис) (ініціали та прізвище)

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

Нормоконтроль пройдено

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

АНОТАЦІЯ

Рябко Д. В. Зниження витрат на енергоресурси впровадженням системи гідроенергоутилізації в умовах ПрАТ «Запоріжсталь». Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 145 – Відновлювані джерела енергії та гідроенергетика, науковий керівник В.В. Радченко. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут, кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем, 2024.

Проведено дослідження системи утилізації вторинних гідроенергетичних ресурсів, розроблено кілька варіантів проектів гідроутилізації залежно від застосовуваного обладнання. Проаналізовано водотоки даного металургійного підприємства та визначено його гідроенергетичний потенціал. Встановлено залежність енергетичних параметрів роботи мікро-ГЕС від кутової швидкості обертання. Розроблено математичний інструментарій, що дозволяє оцінювати енергетичні характеристики генераторів вільнопоточних мікро-ГЕС.

Ключові слова: ВТОРИННІ ЕНЕРГОРЕСУРСИ, ГІДРОУТИЛІЗАЦІЯ, МІКРОГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, СТАТИСТИЧНИЙ ГЕНЕРАТОР, ЗМІННА ЧАСТОТА ОБЕРТАННЯ ТУРБІНИ.

ABSTRACT

Ryabko D. V. Reducing energy costs by implementing a hydropower utilization system in the conditions of PrJSC "Zaporizhstal". Qualification final work for obtaining a master's degree in specialty 145 - Renewable energy sources and hydropower, scientific supervisor V.V. Radchenko. Zaporizhia National University. Engineering Educational and Scientific Institute, Department of Electrical Engineering and Cyber-Physical Systems, 2024.

A study of the system of utilization of secondary hydropower resources was conducted, several variants of hydropower projects were developed depending on the equipment used. The watercourses of this metallurgical enterprise were analyzed and its hydropower potential was determined. The dependence of the energy parameters of the micro-hydropower plant operation on the angular speed of rotation was established. A mathematical toolkit was developed that allows evaluating the energy characteristics of free-flow micro-hydropower plant generators.

Keywords: SECONDARY ENERGY RESOURCES, HYDROUTILIZATION, MICROHYDROPOWER PLANT, STATISTICAL GENERATOR, VARIABLE TURBINE SPEED.

ЗМІСТ

ВСТУП…….…….8

1 ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ УТИЛІЗАЦІЇ ВТОРИННОГО ГІДРОРЕСУРСУ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ ……12

1.1 Класифікація вторинних енергоресурсів промислових підприємств……12

1.2 Аналіз напрямків водовикористання в промисловості……....13

1.3 Вода як вторинний енергоресурс……...19

1.4 Стан сучасного розвитку малої гідроенергетики…….21

1.5 Аналіз існуючих технічних засобів утилізації гідроенергетичного ресурсу……22

1.6 Аналіз водовикористання структурних одиниць ПрАТ «Запоріжсталь»……...……....30

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ» ЗА РАХУНОК СКИДНИХ ВТОРИННИХ ГІДРОЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ……...……...36

2.1 Визначення потенціалу гідроенергетичних ресурсів……...36

2.2 Дослідження ефективності вільнопоточних мікро ГЕС шляхом математичного моделювання …….....41

2.2.1. Визначення характеристик водотоків підприємства……...41

2.2.2. Визначення залежності енергетичних характеристик вільнопоточних мікро ГЕС від динаміки водотоків ……..44

2.3 Прогнозування витрат скидних вторинних водотоків умовах ПрАТ «Запоріжсталь»……...48

2.4 Математичне моделювання процесу вироблення електричної енергії в середовищі Simulink……..52

3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ВІЛЬНОПОТОЧНИХ МІКРО ГЕС В УМОВАХ ПРАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ»……...56

3.1 Визначення складових собівартості електричної енергії……

3.2 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 Технічні рішення по гігієні праці і виробничій санітарії…….67

4.2.1 Природне і штучне освітлення ……..…69

4.2.2 Санітарно - побутові приміщення …….70

4.2.3 Шум і вібрація ……...71

4.3 Заходи з поліпшення умов праці ……..72

4.4 Електробезпека ……...73

4.5 Засоби індивідуального захисту……..…..75

4.6 Інженерні рішення щодо забезпечення умов роботи з точки зору електробезпеки ……..76

4.7 Пожежна безпека…….....82

4.8 Охорона навколишнього середовища……...83

ВИСНОВКИ……..…….……...85

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ ...……..…….....87

ВСТУП

Актуальність теми. Паливно-енергетичні ресурси є стрижнем всієї економіки будь-якої країни і мають значний вплив на можливості розвитку галузей народного господарства. В останні роки склалася ситуація, обумовлена порівняно високими темпами зростання витрат енергоресурсів, особливо електроенергії, і відносно обмеженими можливостями задоволення попиту на енергію ресурсами органічного палива. При цьому, ККД використання останнього залишається на досить низькому рівні і в залежності від виду виробництва, велика кількість енергії втрачається. Очевидно, що при певних умовах частину цих енергетичних втрат можливо утилізувати, що є, безумовно, актуальним завданням.

Об'єкт дослідження - система скидних водотоків ПрАТ «Запоріжсталь».

Предмет дослідження - процес генерації електричної енергії зі скидних вторинних водотоків ПрАТ «Запоріжсталь».

Мета роботи – дослідити можливість підвищення енергоефективності ПрАТ «Запоріжсталь» за рахунок утилізації енергії скидних водотоків.

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

- дослідити водотоки зазначеного металургійного підприємства і визначити його гідроенергетичний потенціал;
- визначити залежність енергетичних показників роботи мікро ГЕС від кутової частоти обертання в умовах нестаціонарних потоків вторинної води;
- розробити математичний апарат, що дозволить визначати енергетичні характеристики генераторів вільнопоточних мікро ГЕС;
- визначити економічні показники запропонованої системи гідроутилізації.

Методи та засоби дослідження. Задачі дослідження вирішувались шляхом математичного моделювання, аналізу, порівняння, статистичних методів.

Наукова новизна. У результаті теоретичних досліджень були знайдені нові наукові рішення. Досліджено водотоки промислового підприємства ПрАТ «Комбінат «Запоріжсталь» і визначено величину гідроенергетичного потенціалу заводу. Розрахунковим експериментом визначено залежність енергетичних показників роботи вільнопоточної мікро ГЕС в умовах нестаціонарних потоків скидної води б. Капустяна. Встановлено, що ККД енергомодуля мікро ГЕС значно зменшується при відхиленні параметрів водотоку від номінальних.

Практична цінність роботи полягає в розробці математичного апарату, що дозволяє прогнозувати енергетичні характеристики генераторів вільнопоточних мікро ГЕС на основі статистичних даних витрат скидної води ПрАТ «Запоріжсталь», отриманих державною екологічною інспекцією. Визначено економічні показники запропонованих проектів гідроенергоутилізації для обраного об’єкта дослідження. Вироблення електричної енергії складає близько 2,5 млн. кВт·год на рік при її собівартості 0,82 грн./кВт год, строк окупності – 4,4 роки.

Апробація роботи. Положення роботи викладені в збірнику тез:

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

- науково-практичної конференції «Молода наука - 2020» ІННІ ЗНУ (м. Запоріжжя, 2020).

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота включає вступ, чотири розділи, висновки та список використаної літератури з 47 позицій. Загальний обсяг 91 сторінка.

Одним із вагомих вторинних енергоресурсів є технічна вода, велика кількість якої використовується в промисловості, в основному, для забезпечення оптимального температурного балансу обладнання, тобто

охолодження, а також на інші цілі. Сама відпрацьована вода є носієм не тільки теплової, але й механічної (кінетичної і потенціальної) енергії, яку можливо утилізувати і перетворити в інший вид, наприклад, електричну. Але для рішення комплексу питань, пов'язаних з гідроутилізацією, необхідно розробити відповідні методики кількісної оцінки потенціалу гідроресурсу, раціонального вибору і розташування обладнання таких систем, впровадження певних технічних рішень для забезпечення максимально можливої виробітки електроенергії з урахуванням економічної доцільності такої генерації.

Відомо, що об'єми технічної води, яка споживається промисловими підприємствами, величезні. В деяких випадках їх можна порівняти з водотоками малих річок, а кількість механічної енергії, що в них міститься, при перетворенні її на електричну, може бути достатньою для часткового енергозабезпечення виробництва або зменшення витрат на транспортування тієї ж води на технологічні потреби. Очевидно, що утилізація енергії водотоків потребує створення відповідних систем збору, раціонального вибору і розміщення електрогенеруючих установок на території об'єкта гідроенергетичної утилізації з щільним і складним розташуванням технологічного та допоміжного обладнання. Для максимальної ефективності систем, що розглядаються, необхідні першочергові заходи, такі як: обґрунтований (бажано на оптимізаційному рівні) вибір їх параметрів; впровадження нових ефективних технічних рішень. Саме тоді, такі системи стануть економічно доцільними. Використання в енергопостачанні додаткового джерела електроенергії, за рахунок утилізації гідроенергетичного ресурсу - шлях до підвищення енергоефективності і економічної стабільності підприємства в цілому, особливо на фоні стрімкого зростання цін на енергоресурси і електричну енергію зокрема.

Таким чином, створення методології, технічних та алгоритмічних (програмних) засобів, що дозволяють розробляти ефективні системи утилізації вторинного гідроенергетичного ресурсу та оптимізувати їх параметри за

економічним критерієм, з урахуванням існуючих тарифів на енергоресурси, цін на комплектуючі й енергетичне устаткування є в даний час актуальним.

Втілення у життя енергозберігаючих технологій є цілком реальною перспективою, і дозволить, по попереднім оцінках, знизити щорічне споживання енергоресурсів в галузі. Собівартість продукції при цьому знизиться. У рамках реалізації політики енергозбереження ключовий напрям – удосконалення механізмів фінансування енергозберігаючих заходів, зокрема, заохочення самофінансування їх підприємствами. За відсутності реальних джерел фінансування заходів з енергозбереження доцільно передбачити створення фондів енергозбереження на підприємствах, наповнення яких здійснювалося б на основі пільгового оподаткування приросту прибутку, отриманого в результаті енергозберігаючих заходів.

1 ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ УТИЛІЗАЦІЇ ВТОРИННОГО ГІДРОРЕСУРСУ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

1.1 Класифікація вторинних енергоресурсів промислових підприємств

Підвищення ефективності роботи промисловості потребує підвищення якості та цінності всіх енергоносіїв, що нею використовуються[1]. Прогресивний напрямок і розвиток промисловості – створення безвідходних виробництв, за технологією яких використовуються всі елементи виробничого процесу, а також енергія реакції технологічних процесів для одержання корисної продукції.

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

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

- горючі (паливні) ВЭР - це утримуючі хімічно зв'язану енергію відходи технологічних процесів, невикористовувані або непридатні для подальшої технологічної переробки, які можна використати як котельно-пічне паливо;

- теплові ВЭР – це фізичне тепло відходящіх газів, технологічних агрегатів, основної, побічної, проміжної продукції й відходів виробництва, теплота робочих тіл систем примусового охолодження технологічних агрегатів і установок, гарячої води й пари;

- ВЭР надлишкового тиску – потенційна енергія газів та рідин, що виходять із технологічних агрегатів з підвищеним тиском, який необхідно знижувати перед подальшим використанням цих газів чи рідин або викидом їх в атмосферу.

За напрямом можливого використання ВЕР розрізняють:

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

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

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

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

1.2 Аналіз напрямків водовикористання в промисловості

Використання води на охолодження агрегатів, після чого вона може бути використана як вторинний енергоресурс, відбувається в наступних технологічних процесах [3]:

– холодильники для охолодження сталевої смуги при термообробці на базі двофазних термосифонів;

– чавунні холодильні плити, виготовлені із продувкою стисненим повітрям і отжигом у ливарній формі;

– енерготехнологічний агрегат для нагрівання металу й виробітку пари енергетичних параметрів;

– модульні енерготехнологічні котли-утилізатори (КУ);

– установка випарного охолодження потужних нагрівальних печей із крокуючими балками й новими конструкціями шарнірних з'єднань;

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

доменних печах із внутрішнім обсягом від 250 до 5000 м^3. Вапняк є флюсом, що сприяє сплавці й ошлакуванню порожньої породи руди. Необхідне для горіння повітря подається в піч повітродувками; перед надходженням у піч повітря проходить через повітронагрівачі. Для інтенсифікації процесу в доменну піч може подаватися кисень, одержуваний на спеціальній станції, а також природний газ.

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

Вода в доменному цеху при виплавці чавуну витрачається на зволоження шихти, охолодження доменних печей через холодильники і арматури повітронагрівачів, на пожежогасіння зливальних коробів СВО (на змочування колошникового пилу при вивантаженні з пиловловлювача), на охолодження та грануляцію шлаків, на циркуляцію насосів скіпової ями, на охолодження чавуну на розливних машинах і в підбункерних приміщеннях, на охолодження паць чавуну, на охолодження мульд верхньої й нижньої гілок конвеєра, а також на інші дрібні потреби [4].

Шихта воложиться для зменшення виносу з доменної печі пиловатих часток руди, флюсів і коксу. Для цього звичайно використається вода (0,5 м^3 на 1 т виплавленого чавуну), що відробила в системі охолодження доменних печей.

Схема охолодження доменних печей може бути однозонною або двохзонною. При однозонному водопостачанні вся охолодна вода подається в холодильники доменної печі під одним загальним напором, достатнім для її надходження в найвищу точку. При двохзонном водопостачанні вода для нижньої частини печі (распар, заплічники, фурмена зона, горно й під) подається під одним (зниженим) напором, а для верхньої частини - під іншим (підвищеним) напором [5].

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

Охолодження клапанів повітронагрівачів (циліндричного спорудження у вигляді металевого кожуха, заповненого спеціальною кладкою з вогнетривкої цегли) має на меті захист клапанів від руйнування минаючими через них газами й повітрям, нагрітими до температури 800 °С і більше. Клапани служать для регулювання нагрівання повітря, що надходить від повітродувних машин у доменну піч; повітря нагрівається спалюванням очищеного доменного газу. Споживання води в доменному цеху на 1 т виплавлюваного чавуну (без урахування її витрати на грануляцію шлаків і розливання металу) становить близько 24 м^3, у тому числі (3…4) % свіжої води. Основна кількість води (приблизно 95%) витрачається на охолодження конструкцій і арматури і не одержує специфічних забруднень. Коефіцієнт годинної нерівномірності витрати води дорівнює 1,05 [6,7].

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

Грануляція шлаків полягає в перетворенні їх з рідкого стану у твердий зернистий матеріал шляхом швидкого охолодження водою. Із гранульованих

шлаків виготовляються жужільна цегла й цемент; шлаки можна використати й для інших цілей.

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

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

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

Напір води для розливних машин повинен бути 30 м.

Останнім часом у нашій країні й за рубежем широко впроваджується система випарного охолодження металургійних печей (доменних, мартенівських, електроплавильних, нагрівальних і вагранок [9,10]. При випарному охолодженні тепло від нагрітих елементів печі відводиться водою, що нагрівається до утворення пароводяної емульсії. При цьому використовується захована теплота пароутворення, тобто тепло, що відбирається охолодною водою, витрачається на її випар. У холодильники печі подається вода, звільнена від солей твердості й позбавлена корозійних властивостей. Одержувана пара використається на технологічні потреби заводу.

При випарному охолодженні 1 кг води, випаровуючись, відбирає в охолоджуваної деталі 539 ккал. Крім того вода, що надходить у систему,

нагріваючись до кипіння, відбирає ще 70 ккал. Щоб відібрати таку ж кількість тепла при водяному охолодженні при підвищенні температури води на 10°С треба було б (539+70)/10~60 кг води, тобто в 60 разів більше, ніж при випарному охолодженні [11].

У схемі із примусовою циркуляцією вода з бака-сепаратора подається до деталі за допомогою спеціального насоса, при цьому тиск у системі може бути доведений до 18-40 кгс/см^2.

Випарне охолодження має наступні переваги:

– вода необхідна для охолодження деталей лише нижньої будови металургійних печей, тобто потрібно приблизно 30% її загальної витрати при водяному охолодженні;

– забезпечується надійність роботи печі й скорочуються її простої для ремонту охолоджуваних деталей;

– використовується тепло охолодного середовища у вигляді пари;

– зменшуються в три рази обсяг споруджень і потужність системи водопостачання.

Дотепер системи випарного охолодження доменних печей резервуються пристроєм водяного охолодження, що викликає додаткові капіталовкладення [12].

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

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

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

Так, наприклад, у металургії, як і в інших галузях, одержали широке розповсюдження системи випарного охолодження вузлів устаткування. Їхня основна перевага - економія живильної води в порівнянні із системами водяного охолодження за рахунок перетворення останньої у водяну пару високого тиску й температури, що, найчастіше, використається не в повному обсязі через недостатню кількість споживачів пари й труднощами його транспортування до місця споживання. Переклад устаткування на водяне охолодження різко підвищує витрату води (приблизно в 30 разів), однак, утилізація механічної енергії даного теплоносія шляхом перетворення її в електричну може істотно підвищити ефективність утилізації теплових ВЭР і збільшити можливості її реалізації іншим споживачам.

1.3 Вода як вторинний енергоресурс

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

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

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

Як правило, агрегати-джерела ВЕР розосереджені територіально, вироблені ними однотипні вторинні ресурси нерівномірні, як за часом виходу, так і по параметрах. Наприклад, у більшості технологічних процесів металургії, хімічного, коксохімічного й іншого видів виробництв використовується величезна кількість води. Компонування устаткування таке, що вода подається примусово на різні рівні висоти й, потім, після використання в технологічному циклі зливаються за межі циклу, або перекачується назад у цикл. При цьому втрачається величезна кількість теплової й потенційної енергії рідини. Таких вторинних потоків з різних рівнів висот може бути сотні в межах одного

підприємства. Ці потоки не стаціонарні й можуть бути незначні за обсягом для підбора стандартного утилізуючого устаткування.

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

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

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

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

Для рішення цілого комплексу питань, пов'язаних з гідроутилізацією, як засобом підвищення ефективності використання вторинної теплоти, необхідно: розробити відповідні методики оцінки потенціалу теплових викидів і обсягів можливої гідроутилізації механічної енергії потоків охолодної води, методику

вибору утилізуючого устаткування, виходячи з топології розміщення джерел теплових ВЕР; визначити місця раціонального розміщення використовуваних мікро ГЕС. І все це повинне підтверджувати економічну доцільність генерації такої електроенергії.

1.4 Стан сучасного розвитку малої гідроенергетики

Одним з перших видів гідроелектростанцій є мікро ГЕС [14]. З початку 20-х років в Україні нараховувалося 84 гідроелектростанції загальною потужністю 4000 кВт, а наприкінці 1929 року - вже 150 станцій загальною потужністю 8400 кВт, серед них Вознесенська (840 кВт), Бузька (570 кВт), Сутиська (1000 кВт) та ін. 1934 року було введено в експлуатацію Корсунь-Шевченківську ГЕС (2650 кВт), яка за своїми технічними показниками була однією з найкращих станцій того часу.

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

На початку 50-х років кількість збудованих малих гідроелектростанцій в Україні становила 956 із загальною потужністю 30 тис. кВт. Однак через розвиток централізованого електропостачання та стійку тенденцію до концентрації виробництва електроенергії на потужних тепло- та гідростанціях будівництво малих ГЕС було зупинено. Почалась їх консервація, демонтаж, сотні малих ГЕС було зруйновано.

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

Створена ще в 40-х роках номенклатура мікрогідротурбін містила в собі усі основні види, що застосовуються й до тепер. Із збудованих в 50-ті роки в СРСР шести тисяч ГЕС більшість належала до розглянутої категорії. Саме вони забезпечували житлово-побутові та виробничі потреби багатьох сільських населених пунктів та невеликих промислових об’єктів. Таким чином, хоча ми і маємо, з точи зору зазначеної енергетики, багате історичне минуле, зараз її необхідно створювати знову [15,16].

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

1.5 Аналіз існуючих технічних засобів утилізації гідроенергетичного ресурсу

Як було визначено, об’єми вторинної води можна порівняти зі стоком малих річок . Тому, для даного виду утилізації як найбільш доцільне генеруюче обладнання можуть розглядатися стандартні мікро - (до 100 кВт) і міні - (від 100 до 1000 кВт) ГЕС. Вони є надійним і екологічно чистим джерелом електричної енергії [17-19]. Можуть працювати як автономно в місцях, віддалених від ліній електропередач, так і паралельно з іншими мікро ГЕС в локальну або промислову мережу. Вони мають такі переваги: придатні для тривалої експлуатації без ремонтів; як правило, поставляються одним або

кількома скомпонованими блоками, що спрощує монтаж на місці установки; мають максимально спрощену конструкцію з мінімальною кількістю регулюючих органів; потребують незначних витрат на установку і обслуговування в процесі експлуатації.

В даний час ряд вітчизняних та закордонних виробників випускають придатні для зазначених цілей мікро- і міні-ГЕС, а також пропонують широкий модельний ряд такого енергетичного устаткування. Їх номінальні параметри дозволяють утилізувати потік води практично будь-якого напору й витрати. Виходячи з особливостей конструкції і способу установки розрізняють вільнопоточні (застосовуються в основному в руслах річок) і заглибні мікро ГЕС. Для реалізації проектів гідроутілізації в рамках підприємства краще використовувати останні, так як вони є більш маневреними з точки зору монтажу та підключення до мережі.

Проектуванням і розробкою устаткування для таких ГЕС займаються багато російських науково-виробничих організацій і фірм. Одна з найбільших - міжгалузеве науково-технічне об'єднання “ІНСЕТ”, що спеціалізується на розробці, серійному виготовленні і монтажі енергомодулів для малих і мікро ГЕС. На теперішній час зазначеним підприємством створено широкий модельний ряд в кількості 34 гідроагрегата на напори від 3 до 450 м одиничною потужністю від 3 до 5000 кВт. Використання таких систем не вимагає постійної присутності на об'єкті обслуговуючого персоналу - гідроагрегат надійно працює в автоматичному режимі. Система керування виконана на базі контролера, що програмується. Це дозволяє візуально контролювати параметри гідроагрегата на екрані комп’ютера.

Гідроагрегати для малих і мікро ГЕС, що випускають МНТО “ІНСЕТ”, характеризуються високими енергетичними показниками й випускаються із пропелерними, радіально-осьовими й ковшовими турбінами (див. рис. 1.1). У комплект поставки входять, як правило, турбіна, генератор і система автоматичного керування гідроагрегатом. Проточні частини всіх турбін

розроблені з використанням методу математичного моделювання. Мікро ГЕС відповідного типу представлені на рисунку 1.2 (а, б).

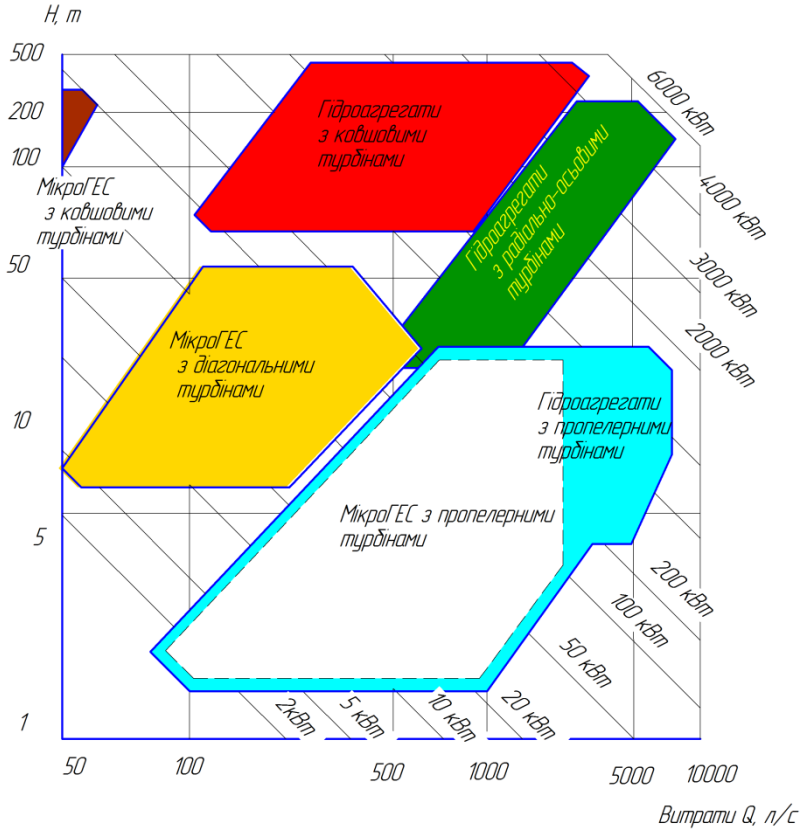
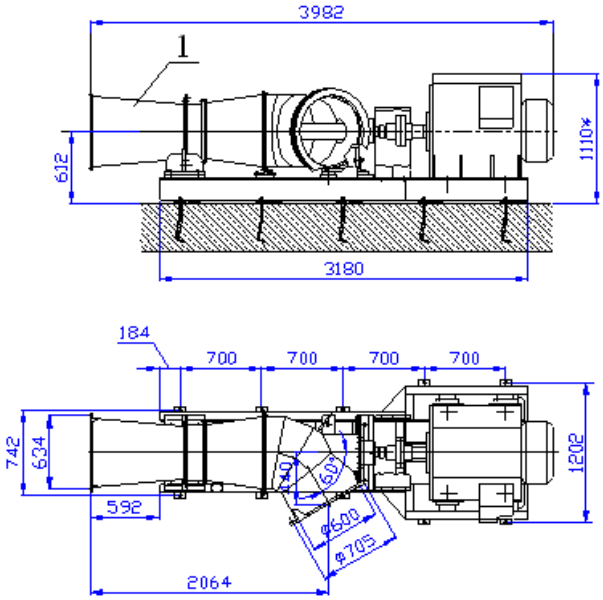
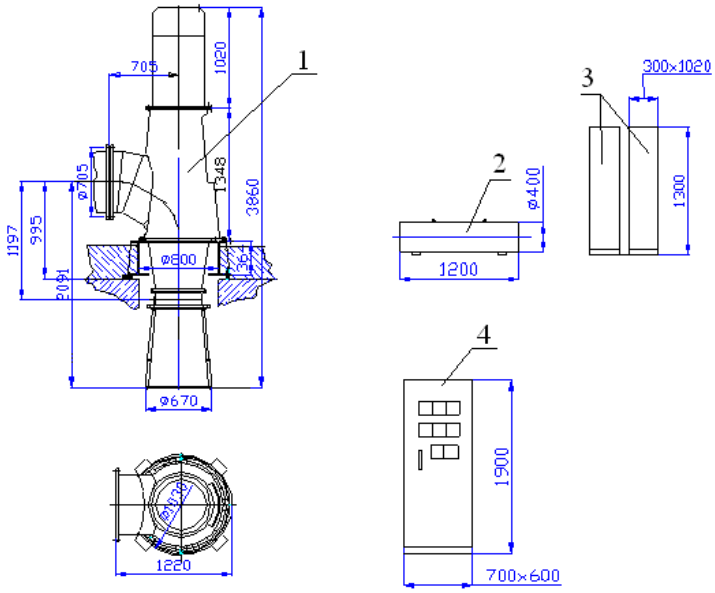


Рисунок 1.1 - Енергетичні характеристики гідроагрегатів МНТО «ІНСЕТ»

Проектуванням і розробкою устаткування для таких ГЕС займаються багато російських науково-виробничих організацій і фірм. Одна з найбільших - міжгалузеве науково-технічне об'єднання “ІНСЕТ”, що спеціалізується на розробці, серійному виготовленні і монтажі енергомодулів для малих і мікро ГЕС. На теперішній час зазначеним підприємством створено широкий модельний ряд в кількості 34 гідроагрегата на напори від 3 до 450 м одиничною потужністю від 3 до 5000 кВт. Використання таких систем не вимагає постійної присутності на об'єкті обслуговуючого персоналу - гідроагрегат надійно працює в автоматичному режимі. Система керування виконана на базі контролера, що програмується. Це дозволяє візуально контролювати параметри гідроагрегата на екрані комп’ютера.



а)



б)

Рисунок 1.2 - Габаритні і установочні розміри пропелерної мікро ГЕС 100 Пр

а, б - горизонтальна і вертикальна компоновка енергоблоку, відповідно:

1 - енергоблок,

2 – блок баластного навантаження з водяним охолодженням,

3 – блок баластного навантаження з повітряним охолодженням,

4 – пристрій автоматичного регулювання

Пристрій автоматичного регулювання більш докладно зображений на рисунку 1.3.

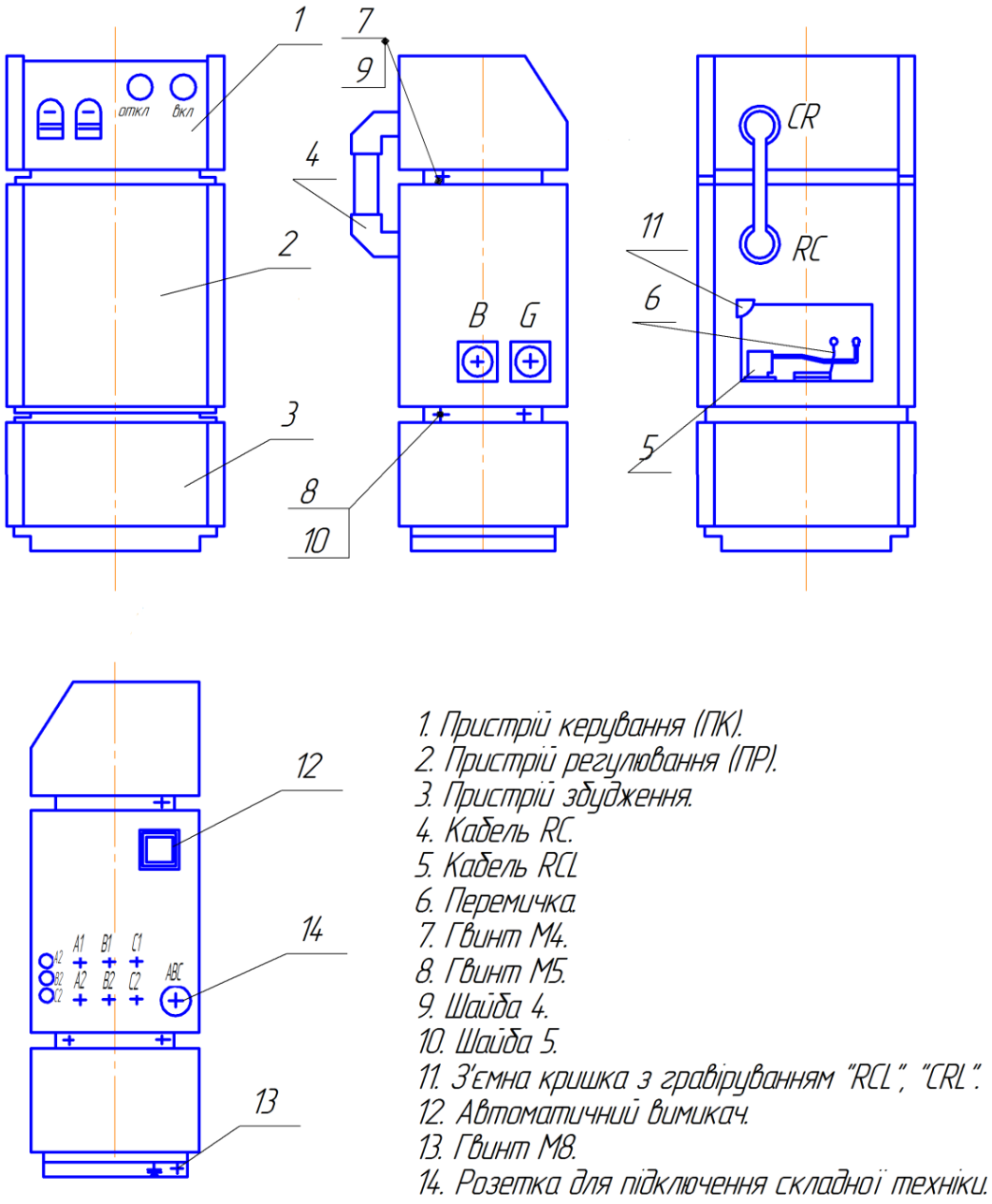


Рисунок 1.3 - Пристрій регулювання напруги і частоти

До головних недоліків серійних мікро ГЕС комплектного виконання можна віднести спрощену систему регулювання швидкості. За підвищених обертів (частоти) зайва потужність автоматично гаситься на баластному навантаженні. Широкому використанню таких агрегатів на водотоках систем

технічного водопостачання перешкоджає відсутність гідравлічних турбін для малих напорів – (1,5…3) м за досить великих витрат води – (2…10) м^3/с.

Основні характеристики мікро ГЕС представлені в таблиці 1.1 та 1.2.

Таблиця 1.1 - 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					

Таблиця 1.2 - Основні технічні характеристики мікро ГЕС із діагональною й ковшовою турбінами МНТО «ІНСЕТ»

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

Потоки із зазначеними характеристиками досить часто зустрічаються в багатьох галузях промисловості. Лише останніми роками на ці потенційні енергоресурси звернули увагу в гідромашинобудуванні. Але переважно за кордоном. Наприклад, в Фінляндії розпочато виробництво таких гідротурбін з напорами (1,5…3,5) м, які застосовуються в технічно-транспортних системах.

В Україні (ВАТ «Турбоатом») сертифіковане обладнання мікро ГЕС створюється здебільшого на напори, що перевищують 5 м. При роботі з меншими напорами різко знижується ККД турбін, погіршуються можливості регулювання швидкості обертання. Отже, вибирати таке обладнання для роботи в умовах низьких напорів недоцільно.

Екологічність і економічність міні-енергетики вже давно привернули увагу іноземців. Мікро ГЕС працюють у Японії, Південній Кореї, Бразилії, Гватемалі, Швеції, Польщі. Так, енергоефективне, високоякісне, але набагато дорожче вітчизняного обладнання комплектних (вертикальних) мікро ГЕС виготовляє швецька фірма Flugt. Воно має ряд переваг і характеризується в першу чергу економічністю, достатньою керованістю, маневреністю, спроможністю працювати в паралель з мережею. Гідрогенератори цієї фірми є стандартними виробами модульної конструкції, що дозволяє пристосувати їх практично до всіх експлуатаційних умов у діапазоні витрат від 0,7 до 12 $м^3/с$ і в межах напорів від 2,5 до 20 м. При цьому їх номінальна потужність складає від 40 до 710 кВт (див. рис. 1.4). Заглибні гідротурбогенератори Flugt є агрегатами, що складаються з напівповоротно-лопастної турбіни, трифазного асинхронного генератора й, при необхідності, планетарного редуктора з великим терміном експлуатації. Цим компактним закритим турбоагрегатам не потрібні довгі вали і звичайні силові передачі. Такий гідротурбогенератор працює в повністю зануреному стані в простій вертикальній колоні й утримується на місці своєю власною масою. Він охолоджується проточною водою й може бути легко занурений і піднятий для технічного обслуговування.

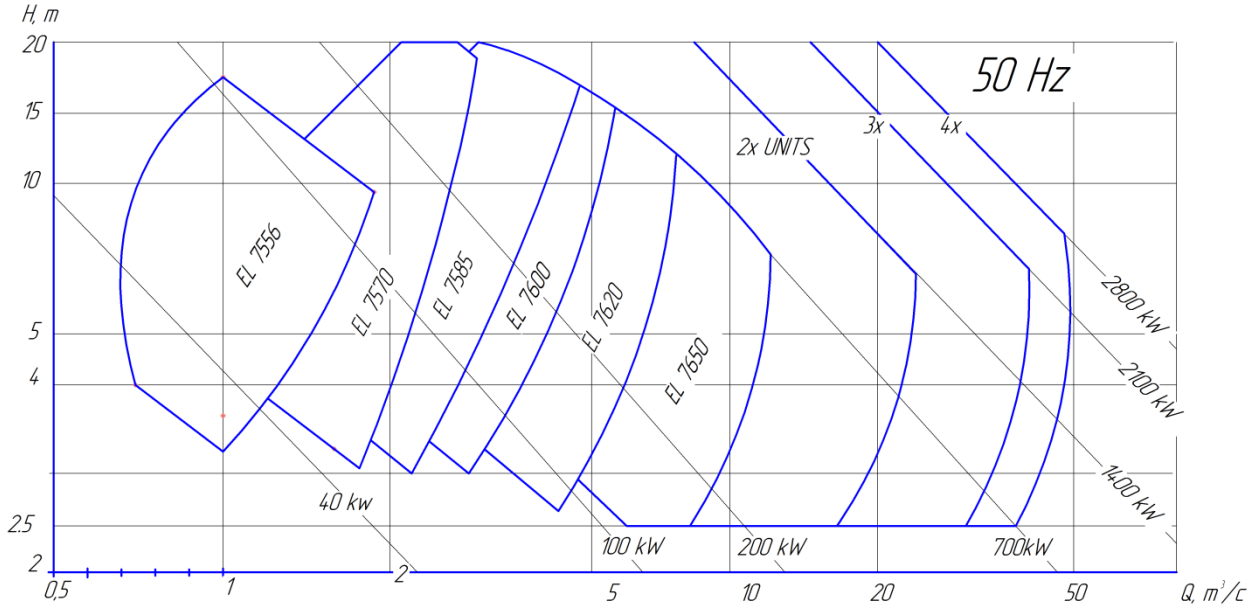


Рисунок 1.4 - Енергетичні характеристики гідроагрегатів Flugt

За принципом установки заглибні гідротурбогенератори призначені для розміщення у вертикальному положенні. Найменші моделі (EL 7556 і EL7570), а також типи EL7585 і EL7600 із прямим приводом, можуть бути також установлені і горизонтально або під нахилом.

Більш дешеве аналогічне обладнання виробляється фірмою Waterpumps Wp Oy (Фінляндія). Мікро ГЕС потужністю (10…100) кВт з турбінами, розробленими на основі лопатевих насосів, виробляє чеський завод "Долні Бенешов". Їх основним недоліком є необхідність великих напорів (8…20) м, спричинена використанням у зворотних режимах насосних технологій.

Унікальні комплектні модулі ГЕС на напори від 1,3 м виробляються серійно фірмою CINK (Чехія). Вони найбільш придатні для утилізації енергії в системах водопостачання, навіть питної води. Комплекти оснащуються досконалою мікропроцесорною системою автоматичного регулювання вихідних параметрів генератора і забезпечують максимальний ККД гідромашин. В основному, останні працюють паралельно з електромережею. Гідротурбіни безкавітаційні і водночас є аераторами води. Поперечноструйні турбіни даного виробника найбільш конкурентоздатні і виготовляються на

основі п'яти базових (за діаметром) робочих колес, що дозволило майже без додаткових технологічних витрат виробляти понад 110 модифікацій гідромашин для застосування в конкретних умовах, але з високими значеннями ККД і необхідної зони регулювання режиму.

На жаль, поки що немає вітчизняних аналогів зазначених агрегатів, очевидно, у зв'язку з відсутністю їх розглянутого застосування. Якщо ж імпортувати більш придатне для даного виду гідроутілізації устаткування, то, якщо враховувати високу вартість останнього і діючу ставку митного збору, використання його стає економічно недоцільним.

1.6 Аналіз водовикористання структурних одиниць ПрАТ «Запоріжсталь»

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

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

Доменні печі №1,2, пущені відповідно, в 1933, 1934 р. мали корисний об'єм по 930 $м^3$, а в 1959 р. доменна піч №2 була доведена до корисного об'єму 1513 $м^3$. Через низьку продуктивність доменної печі №1. морального й фізичного старіння, ухвалено рішення її зупинити й у 2006 році демонтувати.

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

Доменна піч №4 1940-1948 р. мала корисний об'єм 1239 $м^3$. В 1961 році корисний об'єм доведений до 1513 $м^3$.

Розташування доменних печей після демонтування ДП-1 на сьогодні острівне. Фонд терміну їх роботи й продуктивність представлено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Фонд терміну роботи й продуктивність доменних печей

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

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

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

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

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

Розміри секцій бризкального басейну:

«Д» - 40 х 28 х 2,5 (2800) м;

№1 - 40 х 28 х 2,5 (2800) м;

№2 - 40 х 28 х 2,5 (2800) м;

№3 - 50 х 50 х 2,0 (5000) м;

№4 - 50 х 44 х 2,0 (4400) м.

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

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

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

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

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

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

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

Структуру водоспоживання і водовідведення ПрАТ «Запоріжсталь» наведено в таблиці 1.4, а відповідну діаграму на рисунку 1.5.

Таблиця 1.4 – 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
Лаб. господарство	44847	-	-	-	-
ОАСУП	157680	-	-	-	-
Г\п потреби	4702476	-	-	-	-
Всього подопоміжному виробництву	437032914	389374041	89	377672818	86
Всього по ВАТ "Запоріжсталь"	714907466	574554229	80	547454041	77

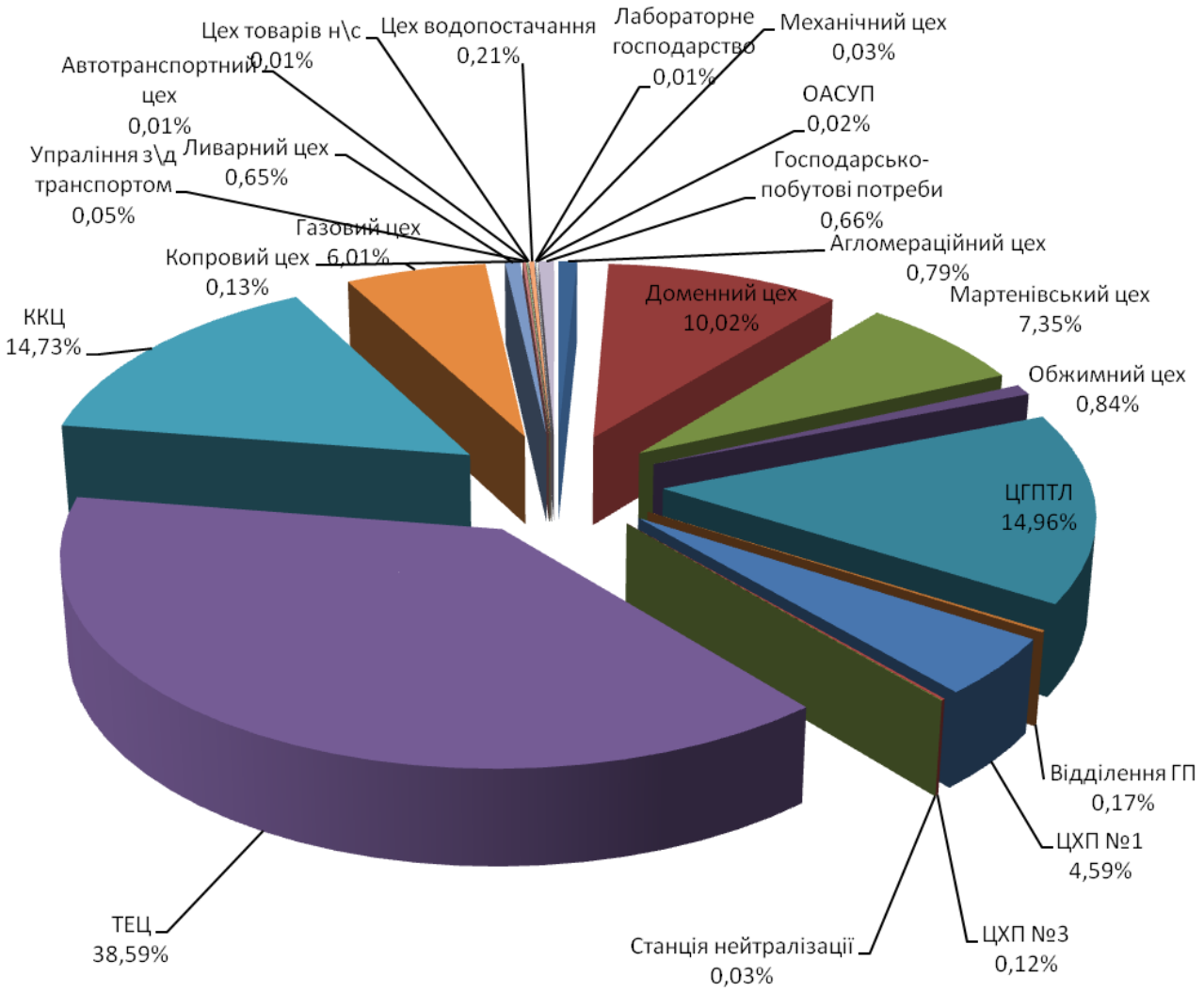


Рисунок 1.5 – Діаграма водоспоживання ПрАТ «Запоріжсталь»

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

Отже, для вирішення комплексу питань, пов'язаних з гідроутилізацією, як засобом підвищення ефективності використання вторинної енергоресурсів, необхідно: розробити відповідні методики оцінки потенціалу теплових викидів і обсягів можливої гідроутилізації механічної енергії потоків охолодної води, а також застосувати для розрахунків методику вибору утилізуючого устаткування, виходячи з топології розміщення джерел теплових ВЕР; визначити місця

раціонального розміщення використовуваних мікро ГЕС. І все це повинне підтверджувати економічну доцільність генерації такої електроенергії.

Однак зараз, на жаль, поки що немає вітчизняних аналогів зазначених агрегатів, очевидно, у зв'язку з відсутністю їх розглянутого застосування. Якщо ж імпортувати більш придатне для даного виду гідроутілізації устаткування, то, якщо враховувати високу вартість останнього і діючу ставку митного збору, використання його стає економічно недоцільним.

Тому, в роботі необхідно дослідити водотоки зазначеного металургійного підприємства і визначити точну цифру гідроенергетичного потенціалу заводу вцілому; визначити залежність енергетичних показників роботи мікро ГЕС в умовах нестаціонарних потоків вторинної води; розробити математичний апарат, що дозволить коригувати енергетичні характеристики генераторів мікро ГЕС шляхом виключення похибки системи управління і дозволить збільшити кількість виробленої електроенергії із вторинних водотоків ПрАТ «Запоріжсталь»; визначити економічні показники новоствореної системи гідроутилізації.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ» ЗА РАХУНОК СКИДНИХ ВТОРИННИХ ГІДРОЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ

2.1 Визначення потенціалу гідроенергетичних ресурсів

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

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

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

де $Q_{mi} = q \cdot F$ – теплове навантаження на i-й елемент, що охолоджується, приймається за матеріалами інструментальних замірів, ккал/г,

q – теплова напруга, $ккал/г \cdot м^2$,

F – площа поверхні, що нагрівається, $м^2$,

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

$t_{вх}$ - температура води, що поступає на охолодження, °С,

C - питома теплоємність води, $ккал/кг \cdot °С$.

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

$$Q_{смі} \geq 3600 \cdot \upsilon_{смі} \cdot F, \qquad (2.2)$$

де $\upsilon_{смі}$ - швидкість в i – му елементі, що охолоджується [28], м/с;

F - площа живого перетину проточної частини i – го елемента, що охолоджується, $м^2$.

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

$$Q_{мкі} \geq \frac{1{,}32 \cdot 10^{-5}}{p^{0,2}} \cdot F^{1,2} \cdot q\,, \tag{2.3}$$

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

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

$$Q = N \cdot q_m\,, \tag{2.4}$$

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

q_m – питомі витрати води на одиницю продукції, що випускається, $м^3/т$.

Слід мати на увазі, що в одних випадках (зокрема, для охолодження) споживання води йде майже рівномірно протягом доби, а в інших -

відбувається періодично для наповнення в заданий час різних баків, ванн і т. ін. Однією зі специфічних особливостей виробничого водоспоживання є залежність у ряді випадків кількості спожитої води від її якості, зокрема (і найбільш часто) від її температури. Чим остання менше, тим, очевидно, менший і обсяг води потрібний для того ж охолоджувального ефекту. Ця обставина обумовлює зміну витрати за сезонами року: взимку він значно нижче, ніж улітку, що серйозно позначається на результатах розрахунків.

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

Очевидно, також, що для вироблення електричної енергії придатна тільки та вторинна вода, яка відповідає вимогам, що пред'являються заводами-виробниками мікро ГЕС. Нормативні показники систем водяного охолодження промислових підприємств [29]: температура відпрацьованої води оборотних циклів не перевищує (45…60) °С, карбонатна жорсткість 2 – 3 мг·екв/л, вміст суспензії (50…100) мг/л. Така вода вважається умовно чистою і може бути використана в гідротурбінах.

З вищевикладеного випливає, що обсяг спожитої підприємством технічної води не дорівнює тому, який теоретично можна використати як гідроенергетичний ресурс. Отримана цифра, як правило, не відображає реальний обсяг останнього, оскільки не враховується територіальне розташування обладнання - джерел вторинної води. Утилізація ж механічної енергії водотоку передбачає створення відповідних систем збору. На основі проведеного аналізу ряду підприємств було зроблено висновок про те, що обсяг

води, який відповідає вищевикладеним вимогам може бути розрахований таким чином, $м^3/рік$

$$Q_з = Q_{об} - Q_в - Q_{уз}, \quad (2.5)$$

де $Q_з$ - об'єм загального водоспоживання, $м^3/рік$,

$Q_в$ - споживання, яке обумовлене винесенням води продукцією, що випускається, і охолодженням останньої, $м^3/рік$,

$Q_{уз}$ - об'єм умовно забрудненої води, що потребує очищення, $м^3/рік$.

Якщо висота, з якої відпрацьована вода відводиться з технологічного циклу, відповідає нульовій позначці, то потенційна енергія такого потоку наближається до нуля, навіть якщо витрата її величезна. Такий водотік в даному випадку інтересу не представляє і виключається із загального обсягу споживання.

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

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

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

$\sum Q$ - сумарна витрата води, $м^3/год$;

H - напір, м;

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

Зрозуміло, що частка витрат підприємств на електроенергію з часом буде зростати. Утилізація ж гідроенергетичного ресурсу може внести вагомий внесок у зменшення споживання електроенергії з електромережі.

Отриманий таким чином потенціал гідроенергетичної утилізації основних металургійних підприємств м. Запоріжжя наведено в таблиці 2.1. Загальні дані щодо обсягів водоспоживання і водовідведення кожного з об'єктів гідроенергетичної утилізації були отримані на основі офіційних нормативних документів, а об'єми вторинної води, придатної для гідроенергоутилізації і можлива вироблення електричної енергії визначені шляхом ретельного обстеження обладнання вищезгаданих підприємств.

З таблиці випливає, що обсяг води, який можна використовувати як гідроенергетичний ресурс становить близько 66% від загального водоспоживання. При цьому сумарна потужність водотоку перевищує 1МВт, що цілком порівняно з потужністю гідрогенераторів, які встановлюються в руслах малих річок, а кількість виробленої електричної енергії в даному випадку досягає 9,88 млн. кВт·год на рік, вартість якої близько 7,5 млн. грн.

Таблиця 2.1 - Оцінка потенціалу утилізації гідроенергетичного ресурсу підприємств

Підприємство	Об'єм води оборотного циклу		Об'єм води, придатної для гідроенергоутилізації		Можливе вироблення електроенергії за рік $W_м$, кВт·год
	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

З таблиці випливає, що обсяг води, який можна використовувати як гідроенергетичний ресурс становить близько 66% від загального водоспоживання. При цьому сумарна потужність водотоку перевищує 1МВт, що цілком порівняно з потужністю гідрогенераторів, які встановлюються в руслах малих річок, а кількість виробленої електричної енергії в даному випадку досягає 9,88 млн. кВт·год на рік, вартість якої близько 7,5 млн. грн. при діючому тарифі на електроенергію для промислових підприємств.

В таблиці 1.7 наведено досить приблизні дані щодо потенціалу гідроенергетичних ресурсів різних галузей виробництва Запорізького регіону. Для більш точних розрахунків за об'єкт дослідження слід приймати не підприємство в цілому, а складові його цехів окремо. Потім, на основі зведених даних робиться висновок про обсяг гідроенергетичного потенціалу всього підприємства. Запропонований підхід дозволяє з достатньою точністю оцінити обсяги придатною для цих цілей води. Утилізація ж останнього може розглядатися як джерело додаткового електропостачання промислового підприємства.

2.2 Дослідження ефективності вільнопоточних мікро ГЕС шляхом математичного моделювання

2.2.1. Визначення характеристик водотоків підприємства

Проектування систем утилізації вторинних гідроенергетичних ресурсів промислових підприємств пов’язане з проведенням комплексу складних техніко-економічних розрахунків. Залежність вищезазначених систем від технологічного процесу підприємств призводить до нестаціонарності режимів роботи обладнання для гідроенергоутилізації, наслідком чого є недостатня визначеність його розрахункових параметрів, що використовуються при проектуванні.

Як відомо, основними складовими СГЕУ є: елементи збору води у вигляді трубопроводів і саме генеруюче обладнання - турбіна та генератор, що обертається нею. Оскільки дане устаткування, зокрема, енергомодуль мікро ГЕС, є досить дорогим, його слід вибирати таким чином, щоб уникнути недовантаженості електрогенератора. Не менш важливим є питання енергоефективності таких систем, які окрім того повинні забезпечувати економічно доцільне вироблення електричної енергії.

Кількість потенційної енергії водотоку, яку можна утилізувати, безпосередньо залежить від розосередження джерел вторинної води, що відводиться від технологічного обладнання, та конфігурації системи збору. Для створення оптимальної топології останньої необхідно синтезувати її математичну модель. Очевидно, що для цього, насамперед, необхідно визначити прогнозовані параметри результуючого потоку води, який буде поступати на гідротурбіну.

Як правило, режими споживання технічної води різні і визначаються видом технологічного процесу та самого устаткування, від якого вона відводиться. При цьому витрата рідини - процес нестаціонарний, оскільки параметри водотоку змінюються в залежності від ряду факторів, таких як: час доби та пори року, початкова температура рідини, послідовність в часі складових техпроцесу. Так, існують споживачі, добовий графік витрати води яких постійний і не залежить від динаміки техпроцесу, або змінюється у відповідності з жорсткою послідовністю, продиктованою виробничим циклом. Інші ж - мають випадковий (стохастичний) характер споживання. У результаті, однаковим циклам виробництва, одному і тому ж найменуванню обладнання відповідають різні величини витрат вторинної води.

Перелік обладнання цехів основного виробництва доцільно класифікувати по тому, як вони впливають на енергетичні параметри результуючого потоку вторинної води. Умовно їх можна розділити на три згадані вище типи: із незмінними в часі, стохастичними і жорстко прив'язаними до технологічного циклу витратами. Очевидно, що у випадку постійної витрати

вторинної води і коли вона циклічно змінюється у часі, прогнозування параметрів водотоку не є складним завданням. Однак, при стохастичному характері водоспоживання і водовідведення, необхідна розробка більш складного математичного інструмента визначення зазначених параметрів за відомими статистичними даними, одержаними на об’єкті гідроенергетичної утилізації.

Крім того, з урахуванням конфігурації систем гідроенергетичної утилізації, що створюються, важливу роль будуть мати параметри потоку, що безпосередньо поступає на гідротурбіну. Тобто, наприклад, на вхід останньої, при єдиному центрі збору для кількох джерел вторинної води буде подаватися вже сумарний потік невизначеної витрати і напору. До того ж, необхідно враховувати, що технологічні агрегати, які, відповідно, і є джерелами води, як правило, розосереджені нерівномірно по території підприємства (цеху), по різному віддаленні від центру збору і мають відмінні один від одного габаритні розміри. Все вищеперелічене призведе до невизначеності енергетичних характеристик реального сумарного водотоку, який для більш точного визначення енергоефективності СГЕУ потребує окремого моделювання.

Отже, звідси очевидно, що питання створення енергоефективних систем утилізації гідроенергетичних потенціалів промислових підприємств є досить складним, а вибір їх структури, визначення технічних характеристик елементів СГЕУ пов'язаний з проведенням великого обсягу взаємозалежних розрахунків. Для комплексного підходу до синтезу таких систем, необхідно, в першу чергу, розробити відповідні стохастичні генератори витрат вторинної води, що враховують специфіку і режими водоспоживання технологічних агрегатів, а також змоделювати реальний сумарний потік від кількох джерел вторинної води, що надходить на гідротурбіну мікро ГЕС. Вищеперелічене й повинно стати основою імітаційного математичного аналогу СГЕУ, що дозволить проводити відповідні обчислювальні дослідження та розрахунки.

2.2.2 Визначення залежності енергетичних характеристик вільнопоточних мікро ГЕС від динаміки водотоків

Як було визначено, такі характеристики вторинного водотоку, як витрата і напір для більшості з джерел, мають динамічний характер. Тому, очевидно, останнє може вплинути на енергетичні показники обладнання, яке використовується для утилізації гідроенергетичних ресурсів промислових підприємств. До того ж, характерна особливість типової мікро ГЕС така, що будь-яке коливання потоку впливає на параметри процесу перетворення енергії води, в тому числі змінюється коефіцієнт корисної дії, частота струму, і, відповідно, якість отриманої електроенергії [37]. ККД в даному випадку є функцією, аргументом якої виступає величина швидкохідності турбіни $\eta_{\text{т}} = f(\lambda)$. Остання визначається за відомим виразом [38], в.о.

$$\lambda = \frac{D}{2 \cdot \upsilon} \cdot \omega \ , \tag{2.7}$$

де ω - частота обертання турбіни;

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

Звідси отримаємо, м/с

$$\omega = \frac{2 \cdot \lambda \cdot \upsilon}{D} \ . \tag{2.8}$$

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

$$J \frac{d\omega}{dt} + f\omega = M_p - M_н \, , \tag{2.9}$$

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

M_p - момент тертя у підшипникових опорах турбіни і генератора,

$M_н$ - момент навантаження, що створюється електричним генератором.

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

$$\omega = \frac{1}{J}\int (M_m - M_c)dt, \tag{2.10}$$

де M_m - момент на валу турбіни;

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

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

Відповідні математичні операції з визначення потужності водотоку при відомій величині сумарної витрати $Q_{p\gamma}$, де $p = \overline{1,q}$ - кількість центрів збору, проводяться для оцінки потенціалу вищезгаданої утилізації. Так, для всієї СГЕУ розраховується сумарна потужність водотоку, що дорівнює сумі потужностей $N_{p\gamma}$ в окремих центрах збору, кВт

$$N_\gamma = \sum_{p=1}^{q} N_{p\gamma}. \tag{2.11}$$

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

$$W_\gamma = \sum_{p=1}^{q} W_{p\gamma}, \tag{2.12}$$

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

$$W_{ру} = N_{ру} \cdot T \cdot \mu_{тр} \cdot \mu_{гр}, \qquad (2.13)$$

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

Відомо, що нестабільність потоку негативно впливає на роботу обладнання для гідроенергоутилізації і призводить до завищення потужності обраних генераторів і діаметрів трубопроводів, що, в свою чергу, спричиняє збільшення вартості системи гідроенергетичної утилізації взагалі. Тому для уникнення вищезгаданих наслідків необхідно впроваджувати додаткові технічні заходи, які дадуть змогу застабілізувати потік води і, відповідно, вирішити проблему не повної завантаженості обладнання, тобто вийти на максимально можливу виробничу потужність.

Отже, при визначені енергетичних показників СГЕУ, що проектуються, нестабільність вторинного водотоку повинна обов’язково враховуватися. Останнє дозволить більш точно визначити параметри таких систем шляхом застосування стохастичних генераторів, що моделюють реальний потік, який надходить на гідротурбіну. Очевидно, що розрахунок необхідно починати з аналізу характеру водоспоживання кожного з джерел об'єкта гідроенергетичної утилізації. Динамічний характер сумарного потоку води негативно впливає на ефективність системи гідроенергетичної утилізації, а також призводить до зменшення кількості згенерованої електричної енергії і може викликати погіршення показників її якості.

Залежність ККД мікро ГЕС від кутової частоти обертання ω наведено на рисунку 2.1.

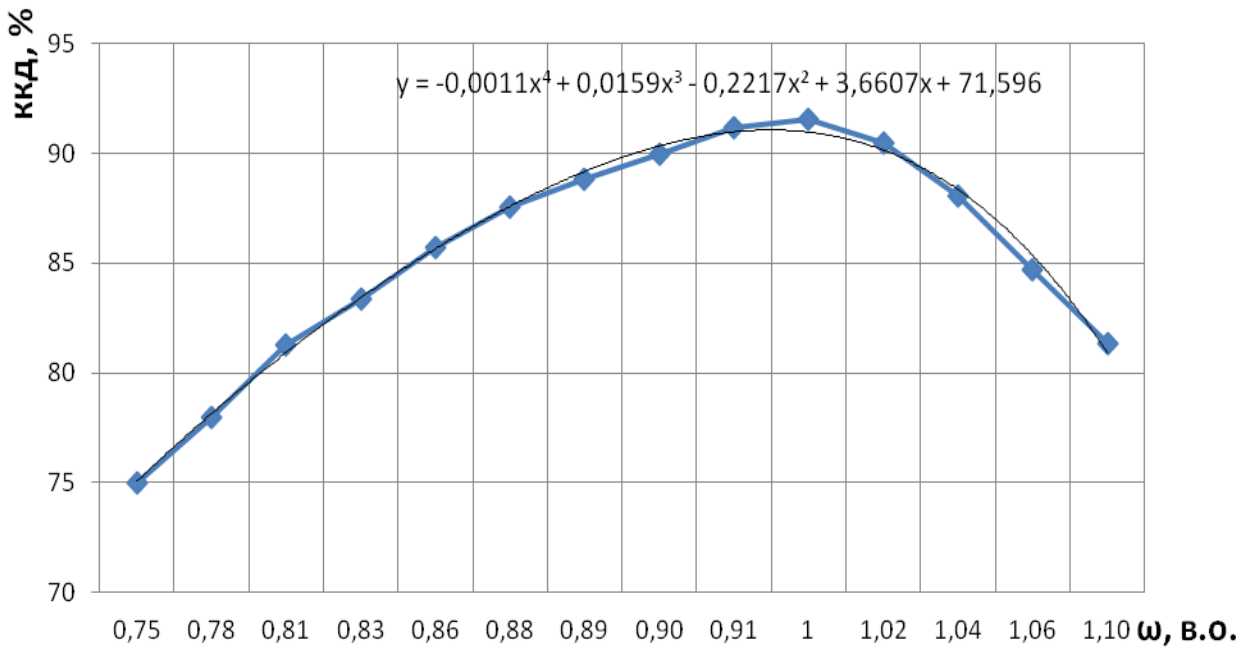


Рисунок 2.1 - Залежність ККД мікро ГЕС від кутової частоти обертання ω

З графіку видно, що будь-яке відхилення кутової частоти обертання валу гідротурбіни від номінального значення викликає значне зниження ефективність енергомодуля мікро ГЕС.

2.3 Прогнозування витрат скидних вторинних водотоків умовах ПрАТ «Запоріжсталь»

В роботі розроблено математичну модель вторинних водотоків з метою більш точного розрахунку параметрів систем утилізації гідроенергетичного потенціалу промислових підприємств. Моделювання потоку відпрацьованої технічної води з урахуванням динаміки водоспоживання конкретного устаткування може бути здійснено на основі статистичних даних, отриманих шляхом відповідних вимірювань. Періодичність останніх має бути достатньою для визначення законів розподілу розглядуваних випадкових величин і забезпечення достатньої точності подальшого прогнозування.

Для більш точного прогнозування величини витрати технічної води розроблений генератор повинен враховувати коливання цієї витрати відповідно до закону її розподілу. Якщо у випадку сталості витрати і її жорсткій залежності від технологічного циклу створення вищезазначених генераторів не є складним, то в третьому випадку (при стохастичному характері споживання) синтез останнього вимагає додаткових розрахунків на основі вихідних статистичних даних. Алгоритм таких розрахунків можна реалізувати за відомою схемою [41] у послідовності, наведеній на рисунку 2.2.

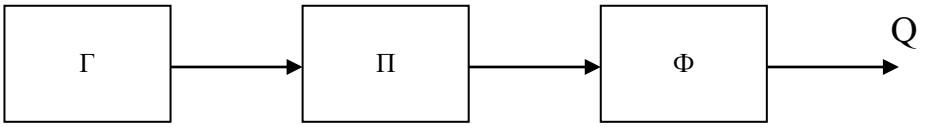


Рис. 2.2 - Генератор величини витрати технічної води

У блоці Г виробляється рівномірно розподілена некорельована випадкова величина в інтервалі (0,1). П - перетворювач закону розподілу (з рівномірного в заданий). Ф - фільтр, який перетворює некорельованої випадкову послідовність у корельовану із заданою автокореляційною функцією.

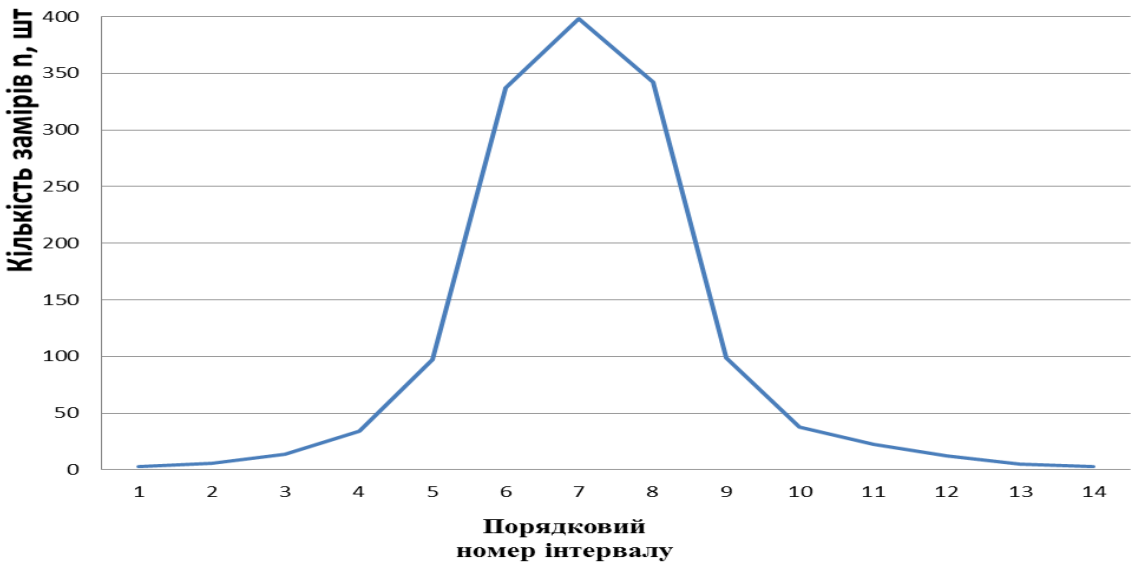
Як приклад наявності джерел скидної вторинної води були розглянуті водотоки ПрАТ «Запоріжсталь», з безперервним потоком води. У таблиці 2.2 наведені оброблені дані вимірів витрати технічної води скидної води вищевказаного підприємства за зимово-весняний період 2014 року, за якими побудований відповідний графік розподілу (див. рис. 2.3, *а*). Сезонними коливаннями витрати в даному випадку можна знехтувати з огляду на їх незначність, оскільки температура води в даному проміжку часу практично незмінна. Загальна кількість замірів із періодичністю 0,5 години склало $i = 1440$. Згідно [40-43], експериментальні спостереження за витратою води найбільш точно описуються біноміальним законом розподілу.

В результаті перевірки вказаної гіпотези за критерієм χ^2 було підтверджено відповідність отриманих значень цьому закону [43].

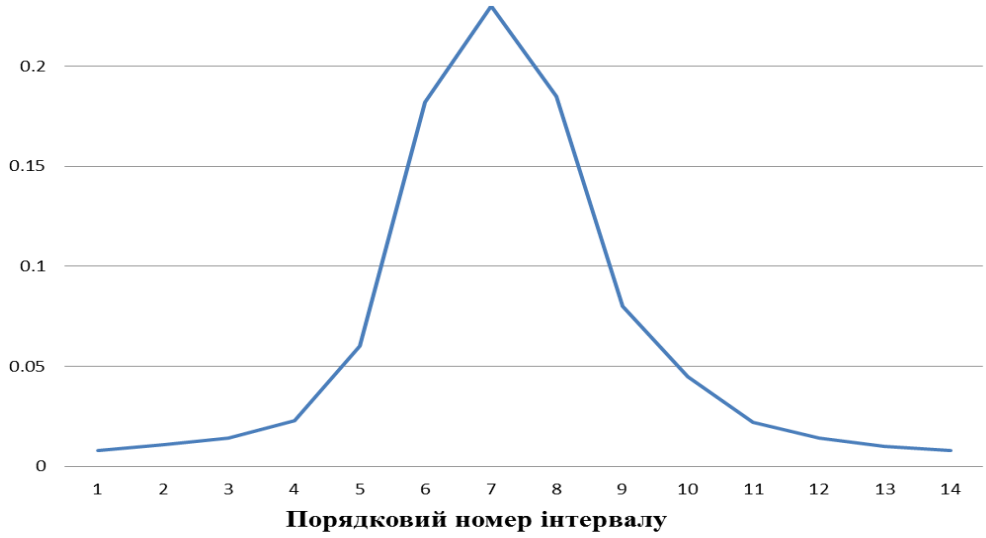
Таблиця 2.2 - Розподіл витрати скидної води на умовні інтервали

№ інтервалу	Витрата, $м^3/г$	Кількість замірів
1	1701-1750	3
2	1751-1800	6
3	1801-1850	14
4	1851-1900	34
5	1901-1950	97
6	1951-2000	337
7	2001-2050	398
8	2051-2100	342
9	2101-2150	99
10	2151-2200	38
11	2201-2250	23
12	2251-2300	12
13	2301-2350	5
14	2351-2400	3

Наведені оброблені дані вимірів витрати скидної води, за якими побудований відповідний графік розподілу наведено на рисунку 2.3.



а)



б)

а) - експериментальні дані; *б)* - щільність ймовірності біноміального розподілу

Рисунок 2.3 - Розподіл витрат скидної води

Автокореляційна функція, що реалізується у блоці Ф, визначається за виразом [43]

$$y(j) = \sum_{k=0}^{m} b_k E(j-k), j = 0; \pm 1; \pm 2; \ldots, \qquad (2.14)$$

де m – число інтервалів, що покривають час спаду автокореляційної функції випадкового процесу; b_k – коефіцієнти; $E(j-k)$ – стаціонарна одинична некорельована випадкова послідовність.

Для реалізації даного методу попередньо побудована автокореляційна функція витрати технічної води (див. рисунок 2.4) і розраховані значення коефіцієнтів b_k шляхом розв'язання системи рівнянь:

$$R(0) = \sum_{k=0}^{m} b_k^2 ;$$

$$R(1) = \sum_{k=0}^{m} b_k b_{(k-1)} ; \qquad (2.15)$$

……

$$R(m) = b_n b_0,$$

де R_k – значення центрованої автокореляційної функції для відповідних $k = \overline{1,m}$.

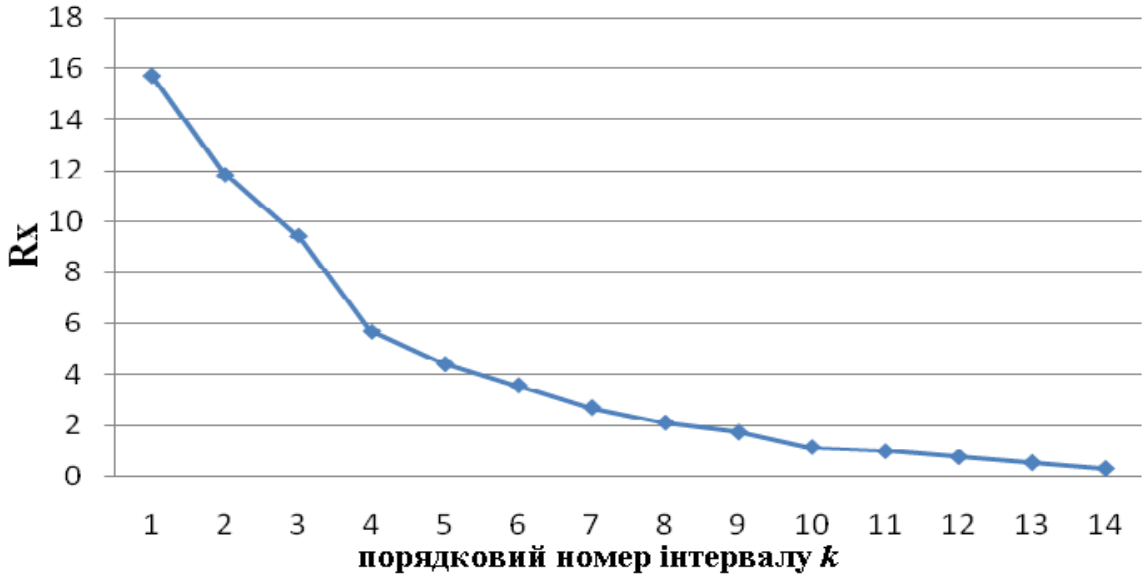


Рисунок 2.4 - Автокореляційна функція витрати

Визначимо коефіцієнти b_k при автокореляціях $R_X(k)$.

$$R_X(k=0) = b_1^2 + b_2^2 + b_3^2 + b_4^2 + b_5^2 + b_6^2 + b_7^2 + b_8^2 + b_9^2 + b_9^2 + b_{10}^2 + b_{11}^2 + b_{12}^2 + b_{13}^2 + b_{14}^2,$$

$$R_X(k=1) = b_1 b_2 + b_2 b_3 + b_3 b_4 + b_4 b_5 + b_5 b_6 + b_6 b_7 + b_7 b_8 + b_8 b_9 + b_9 b_{10} + b_{10} b_{11} + b_{11} b_{12} + b_{12} b_{13} + b_{13} b_{14}$$

$$R_X(k=2) = b_1 b_3 + b_2 b_4 + b_3 b_5 + b_4 b_6 + b_5 b_7 + b_6 b_8 + b_7 b_9 + b_8 b_{10} + b_9 b_{11} + b_{10} b_{12} + b_{11} b_{13} + b_{12} b_{14},$$

$$R_X(k=3) = b_1 b_4 + b_2 b_5 + b_3 b_6 + b_4 b_7 + b_5 b_8 + b_6 b_9 + b_7 b_{10} + b_8 b_{11} + b_9 b_{12} + b_{10} b_{13} + b_{11} b_{14},$$

$$R_X(k=4) = b_1 b_5 + b_2 b_6 + b_3 b_7 + b_4 b_8 + b_5 b_9 + b_6 b_{10} + b_7 b_{11} + b_8 b_{12} + b_9 b_{13} + b_{10} b_{14},$$

$$R_X(k=5) = b_1 b_6 + b_2 b_7 + b_3 b_8 + b_4 b_9 + b_5 b_{10} + b_6 b_{11} + b_7 b_{12} + b_8 b_{13} + b_9 b_{14},$$

$$R_X(k=6) = b_1 b_7 + b_2 b_8 + b_3 b_9 + b_4 b_{10} + b_5 b_{11} + b_6 b_{12} + b_7 b_{13} + b_9 b_{14},$$

$$R_X(k=7) = b_1 b_8 + b_2 b_9 + b_3 b_{10} + b_4 b_{11} + b_5 b_{12} + b_6 b_{13} + b_7 b_{14},$$

$$R_X(k=8) = b_1 b_9 + b_2 b_{10} + b_3 b_{11} + b_4 b_{12} + b_5 b_{13} + b_6 b_{14},$$

$$R_X(k=9) = b_1 b_{10} + b_2 b_{11} + b_3 b_{12} + b_4 b_{13} + b_5 b_{14},$$

$$R_X(k=10) = b_1 b_{11} + b_2 b_{12} + b_3 b_{13} + b_4 b_{14},$$

$$R_X(k=11) = b_1 b_{12} + b_2 b_{13} + b_3 b_{14},$$

$$R_X(k=12) = b_1 b_{13} + b_2 b_{14},$$

$$R_X(k=13) = b_1 b_{14}.$$

У таблиці 2.3 наведені значення коефіцієнтів b_k при $k = \overline{0,13}$, які були отримані шляхом розв'язання системи рівнянь у середовищі Mathcad.

Таблиця 2.3 - Коефіцієнти b_k автокореляційної функції

k	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
b_k	0,24	0,03	0,12	0,15	0,35	0,48	0,30	0,94	0,01	1,76	2,02	1,92	1,23	0,24

Отже, запропонований математичний апарат дозволить коригувати енергетичні характеристики генераторів вільнопоточних мікро ГЕС, і, таким чином, більш точно прогнозувати кількість виробленої електроенергії із скидних вторинних водотоків ПрАТ «Запоріжсталь».

2.4 Математичне моделювання процесу вироблення електричної енергії в середовищі Simulink

Як було визначено, потік скидної вторинної води, що поступає на гідротурбіну, зазвичай має нестаціонарний характер, його параметри

змінюються в часі з певним інтервалом. Очевидно, що така нестабільність може впливати на кількість електричної енергії, що виробляється електричним генератором.

Для аналізу впливу нестабільності потоку вторинної води на енергетичні характеристики систем гідроенергетичної утилізації, було створено математичну модель такої системи і реалізовано в середовищі Simulink. За наявності декількох джерел води, витрата з окремих джерел підсумовується за допомогою суматора 6 і таким чином на вході в гідротурбіну маємо реальний сумарний потік вторинної води. Також в моделі застосовується допоміжне обладнання: вимірювальні прилади 4 і конденсаторна система збудження 5.

Дослідження проводилися на прикладі реального промислового підприємства ПрАТ «Запоріжсталь», де для гідроенергетичної утилізації потоку вторинної води було підібране відповідне обладнання. Також, в системі, що моделюється, передбачена робота АГ як в автономному режимі, так і паралельно з мережею. Для цього використовуються відповідні перемикачі 7.

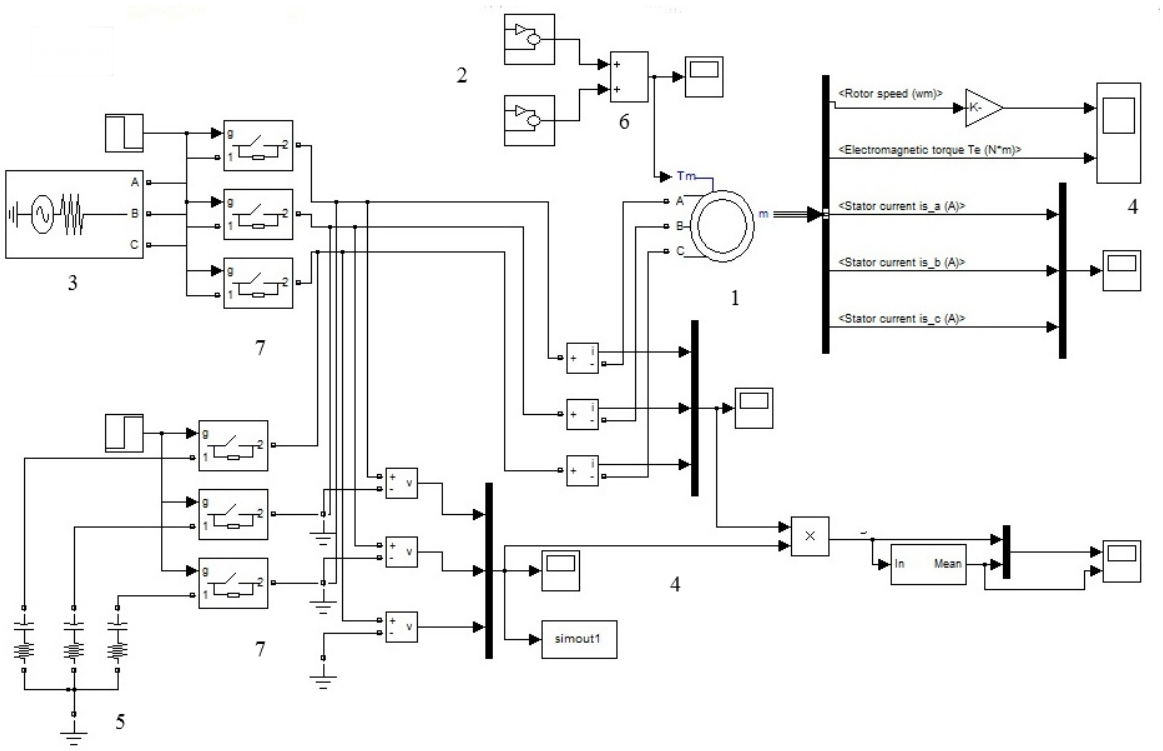


Рисунок 2.5 - Модель дослідження роботи системи генерування електроенергії за рахунок вторинних водотоків підприємств

У якості генератора був використаний двигун потужністю 110 кВт. Останній використовується в мікро ГЕС типу 100 Пр, яка, як правило, застосовується як автономне джерело електричної енергії і не потребує підживлення від мережі, але, в такому випадку, роботу асинхронної машини у якості генератора можливо забезпечити, якщо подавати в обмотку статора необхідну реактивну потужність від батареї конденсаторів. В загальному випадку, ємність, що необхідна для отримання номінальної напруги асинхронного генератора може бути визначена за виразом, мкФ

$$C = P_{ном} \cdot (tg\varphi_г + tg\varphi_н) / (2 \cdot \pi \cdot f \cdot m \cdot U_c^2), \qquad (2.16)$$

де $P_{ном}$ - номінальна потужність генератора, U_c - напруга на конденсаторах, f - частота струму, m - кількість фаз, $\varphi_г, \varphi_н$ - максимальні кути зсуву фаз між напругою і струмами генератора та навантаження. Для двигуна вищезазначеної потужності, у випадку автономної роботи мікро ГЕС, згідно формули (2.16), достатньо ємності 1065 мкФ на кожну фазу.

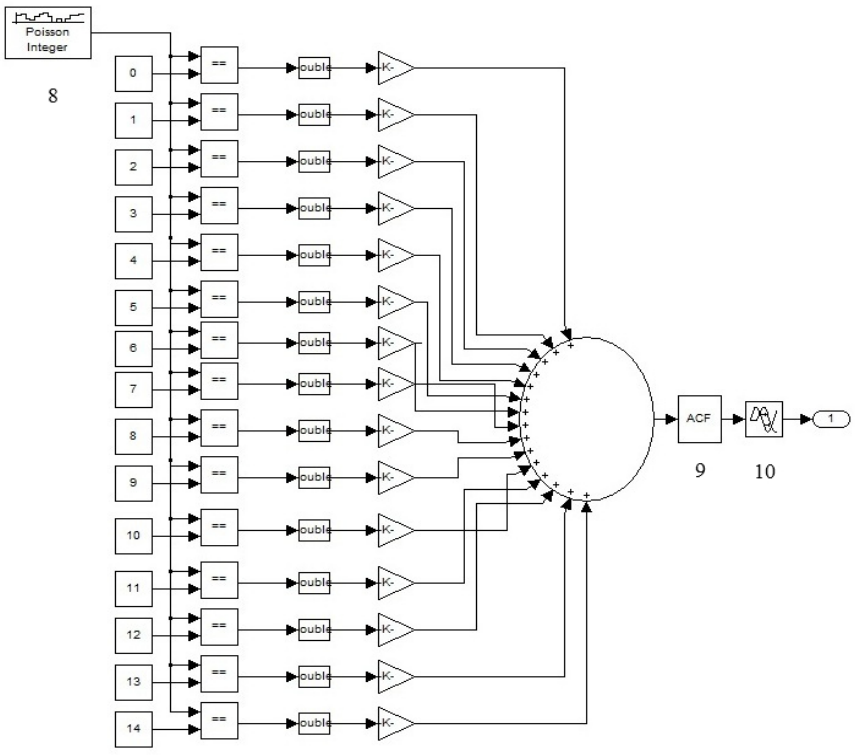


Рисунок 2.6 - Модель статистичного генератора витрати вторинної води, реалізований в середовищі Simulink

Потік від джерела, який поступає на гідротурбіну, моделюється статистичними генераторами (див. рис. 2.6), які складаються з блоку 8, що видає некорельовані послідовності витрати вторинної води, блоку автокореляції 9, і блоку 10, який коригує потужність гідротурбіни залежно від кутової частоти обертання.

Наведена модель системи гідроенергетичної утилізації дозволяє з достатньою точністю відстежувати динаміку величин, що отримуємо на виході електрогенератора, таких як активної потужності та статорних напруг і струмів. Однак, робота мікро ГЕС в автономному режимі, в даному випадку, не доцільна, тому що, по-перше, на промислових підприємствах споживачі достатньо великої потужності у порівнянні з потужністю електрогенератора і є можливість підключення до мережі, а, по-друге, відсутність конденсаторної системи збудження зменшує вартість системи утилізації вторинних гідроенергетичних ресурсів взагалі.

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

3.1 Визначення складових собівартості електричної енергії

Основними і головними економічними показниками системи утилізації гідроенергетичного ресурсу, що визначають рентабельність останньої, є собівартість електричної енергії, яка виробляється нею і термін окупності. В загальному випадку, перша величина розраховується методом визначення відношення річних затрат на виробництво електроенергії до обсягів її споживання за аналогічний період, а друга – сумарних річних витрат на прибуток від генерації електричної енергії за рік, $\text{грн}/(\text{кВт}\cdot\text{год})$:

$$C_{EE} = \frac{B_{зв}}{W_{EE}} \tag{3.1}$$

$$T_{ок} = \frac{B_{зв}}{W_{EE.}\cdot\left(C_{м} - C_{EE}\right)} \tag{3.2}$$

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

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

W_{EE} - кількість відпущеної електроенергії,

$C_{м}$ - діючий тариф на покупну електроенергію з мережі.

В свою чергу, чисельник у вищезазначених формулах може змінюватися від багатьох факторів, таких як: вартість обладнання, придатного для даного виду утилізації, вартість монтажних і пусконалагоджувальних робіт; заробітна платня найманим працівникам та обслуговуючому персоналу; геометричні розміри об’єкту, для якого створюється СГЕУ, вартість проекту, тощо. Ці показники можуть коливатися з часом і, як правило, у бік їх збільшення.

Як було сказано, вітчизняних аналогів мікро ГЕС, які б за своїми характеристиками задовольняли умовам експлуатації на території промислових підприємств, поки що не існує, а імпортні модулі, окрім того, що є досить дорогими, обкладаються державним ввізним митом, що робить їх використання нерентабельним. За корегування законодавства і стимулювання виробників енергетичного обладнання, ситуація, що склалася, з часом зміниться. Вже зараз декілька вищезазначених підприємств накопичили достатній науково-технічний рівень в цій галузі і, навіть, мають дослідні зразки енергоефективних агрегатів для гідроенергоутилізації. Але їх впровадження стримується саме через відсутність відповідної сфери застосування, ринків збуту і методик їх раціонального використання. Очевидно, що при наявності останніх, стане можливим масове серійне виробництво, що призведе до суттєвого здешевлення даного виду обладнання і економічної доцільності зазначеної утилізації.

Визначення оптимальної чисельності персоналу для обслуговування вищезгаданих систем також є важливим і суттєво впливає на економічні показники СГЕУ. В економічній практиці існує значна кількість методів визначення кількості працюючих, але найбільш поширеними з них є [43]:

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

Обладнання для систем гідроенергетичної утилізації є досить дорогим. Значну частину вартості останнього складають засоби перетворення механічної енергії в електричну, тобто турбіни і електрогенератори із системою регулювання їх вихідних параметрів. Також, до капітальних витрат слід віднести вартість з'єднувальних трубопроводів. Дані, представлені в таблицях 3.1 і 3.2 складені за діючими на 2019 рік цінами виробників відповідного обладнання (БМУ «Запоріжстальбуд – 1» і МНТО «ІНСЕТ») і можуть бути прийняті для подальших розрахунків. Також наведений перелік

може бути доповнений і розширений іншими (новими і більш досконалими) зразками енергетичного і допоміжного обладнання.

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

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

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

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

Останнім часом, тарифи на електричну енергію стрімко зростають, особливо для промислового сектору. Так, наприклад, в 1999 році середній роздрібний тариф для промисловості за даними НКРЕ України складав 0,1268 грн/кВт·год, тоді як на грудень 2010 року – 0,74322 грн/кВт·год, тобто збільшився майже у шість разів і продовжує підвищуватися щомісячно. Така тенденція, скоріш за все, продовжиться і надалі. Очевидно, що собівартість електричної енергії, що виробляється СГЕУ, повинна бути нижчою, ніж вартість покупної з мережі. Тому, навіть, якщо на момент проектування системи утилізації гідроенергетичного ресурсу спостерігається зворотна ситуація, то через кілька місяців вона може змінитися, тобто стати сприятливою.

3.2 Визначення техніко-економічних показників впровадження системи гідроенергетичної утилізації

Оскільки, вищезазначені системи утилізації на основі модульних мікро ГЕС не потребують суттєвих витрат часу і робочої сили на їх поточне обслуговування, то при встановленні останніх на території промислових підприємств, їх надійна експлуатація може забезпечуватися внутрішнім персоналом без залучення додаткової штатної одиниці цієї ж організації. При цьому, всередині останньої відбувається лише перерозподіл обов’язків між співробітниками без збільшення витрат на заробітну платню.

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

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

$$W_p = \sum_{\gamma=1}^{L} W_{p\gamma}. \tag{3.3}$$

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

$$W = \sum_{p=1}^{q} W_p. \tag{3.4}$$

де q - кількість центрів збору гідроресурсів.

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

$$C_{EE} = \frac{K_{пс_к}}{W} \quad . \tag{3.5}$$

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

$$B_E = W_p \cdot (C_м - C_{EE}) \tag{3.6}$$

- розрахунковий коефіцієнт ефективності капіталовкладень [23-25]

$$E_p = \frac{B_E}{K_{C_к}} \tag{3.7}$$

а термін їх окупності, років

$$T_{ок} = \frac{K_{C_к}}{B_E} \tag{3.8}$$

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

$$W_{20} = W_p \cdot n \tag{3.9}$$

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

$$B_{E20} = n \cdot B_E \tag{3.10}$$

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 $W = 2{,}46$ млн. кВт $\cdot$ год. При цьому капітальні вкладення в систему складають $K_{C_к} = 9{,}15$ млн. грн., поточні на обслуговування і амортизаційні відрахування основних фондів - $З = 2{,}02$ млн. грн. Отже, собівартість електроенергії в такому разі дорівнює, грн/кВт $\cdot$ год

$$C_{EE} = 2{,}02 \cdot 10^6 / 2{,}46 \cdot 10^6 = 0{,}82 \ .$$

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

$$B_E = 2{,}46 \cdot 1{,}26 = 3{,}1 .$$

- коефіцієнт ефективності капіталовкладень

$$E_p = \frac{3{,}1}{9{,}15} = 0{,}34 .$$

термін окупності капітальних вкладень, років

$$T_{ок} = \frac{9{,}15}{3{,}1} = 2{,}95 .$$

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

$$W_{20} = 2{,}46 \cdot 20 = 49{,}2 .$$

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

$$B_{E20} = 20 \cdot 3{,}1 = 62 \ .$$

Техніко-економічні показники СГЕУ зводяться в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 - Показники ефективності впровадження СГЕУ

Економічні показники	Значення
Капітальні витрати, *млн.грн*	9,15
Кількість виробленої ЕЕ за весь термін експлуатації, млн.кВт · год	49,2
Економічний ефект, млн.грн	3,1
Собівартість ЕЕ, грн	0,82
Ефективність капіталовкладень	0,34
Термін окупності, років	2,95

Економічні розрахунки системи утилізації гідроенергетичних ресурсів промислових підприємств показало, що СГЕУ сумарна вигода за весь період експлуатації (20 років) склала у найбільш вигідному варіанті більше 62 млн. грн. Строк окупності СГЕУ, розрахований за цінами на обладнання 2014 року коливається в межах від 3 до 5 років, що не перевищує нормативний.

Техніко-економічні показники впровадження вільнопоточних мікро ГЕС різних заводів-виробників зведено до таблиці 3.4. Відповідне графічне представлення табличних даних наведено на рисунках 3.1, 3.2.

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

залежності від виду устаткування, що застосовується і ситуації на ринку електроенергетики.

Таблиця 3.4 - Техніко-економічні показники впровадження модульних мікро ГЕС в умовах ПрАТ «Запоріжсталь»

Економічні показники	Значення		
	МНТО "ІНСЕТ"	ПАТ "ТУРБОАТОМ"	Flugt
Капітальні витрати, млн. грн.	9,15	7,945	25,811
Кількість виробленої ЕЕ за весь термін експлуатації, млн.кВт год.	2,46	2,03	2,75
Сумарна економія, млн. грн.	3,1	2,56	3,47
Собівартість ЕЕ, грн./кВт год.	0,82	0,89	1,01
Ефективність капіталовкладень	0,34	0,32	0,13
Термін окупності, років	2,95	3,11	7,45

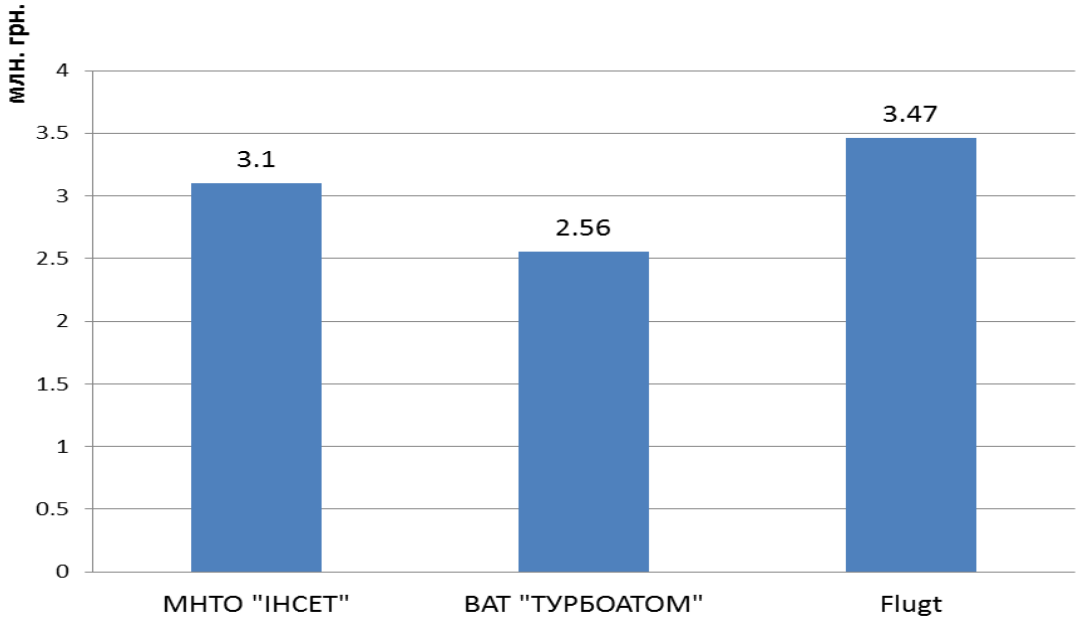


Рисунок 3.1 – Сумарна економія за проектами

Отримані в результаті розрахунків техніко-економічні показники засвідчують, що виробництво власної електричної енергії дає значну економію

коштів на придбання енергоресурсів промисловими підприємствами і електроенергії зокрема. Всі запропоновані проекти виявилися економічно вигідними, бо строк окупності та коефіцієнт капітальних вкладень ледь перевищує 6 років та більше 0,15 від нормативних, відповідно. Прийнявши до уваги дотримання умови $C_{EE} \leq C_{м}$, останнє підтверджує економічну доцільність впровадження таких систем.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз потенційних і шкідливих чинників виробничого середовища

В дипломній роботі розглядаються питання економічної доцільності заходів підвищення енергоефективності ПрАТ «Запоріжсталь». Охорона праці при будівництві і експлуатації забезпечується прийняттям рішень у відповідності до відповідних норм і правил.

Виконання будівних, електромонтажних і налагоджувальних робіт виконується у відповідності до діючих правил ПУЕ, а також у відповідності до діючих “Будівельних норм і правил”, які затверджені Держбудом.

В умовах експлуатації обладнання ливарного цеху, існують наступні потенційні небезпеки: комутаційні, імпульсні перенапруги; перехід вищої напруги на сторону нижчої; хибна дія персоналу при оперативних переключеннях; можливість випадкових дотиків до частин, що перебувають під напругою; пошкодження ізоляції електроустановок; короткі замикання в електроустановках.

Обслуговування обладнання цеху здійснюється черговим оперативним персоналом у складі п’яти чоловік. Ремонтно-експлуатаційне обслуговування здійснюється спеціалізованими ремонтними бригадами. Електротехнологічний персонал виробничих цехів і дільниць, що не входить до складу енергослужби, яка здійснює експлуатацію електротехнологічних установок і має групу з електробезпеки II і вище, у своїх правах та обов'язках прирівнюється до електротехнічного; в технічному відношенні вона підпорядковується енергослужбі підприємства.

Керівники, в безпосередньому підпорядкуванні яких знаходиться електротехнологічний персонал, повинні мати групу з електробезпеки не нижче, ніж у підлеглого персоналу. Вони повинні здійснювати технічне керівництво цим персоналом та контроль за його роботою.

У відповідності до ПТЕ для забезпечення норм охорони праці передбачається ряд захисних заходів, направлених на забезпечення безпечних умов праці в ливарному цеху.

Виникнення короткого замикання в електроустановках, може привести до ушкодження обладнання і створити небезпеку ураження людей електрострумом. Для забезпечення безпеки людей та запобігання ушкодження обладнання проектом передбачено такі заходи: розташування обладнання з дотриманням нормативних відстаней між струмоведучими частинами та землею; використання обладнання без конструктивних недоліків; застосування надійного заземлення з відповідною нормативною величиною опору; встановлення релейного захисту окремих елементів обладнання.

4.2 Технічні рішення по гігієні праці і виробничій санітарії

Для виключення можливостей випадкових торкань, або небезпечного наближення до струмоведучих частин, відповідно до проекту передбачені наступні заходи згідно з вимогами ПТЕ: індивідуальні засоби захисту від ураження електричним струмом, ізолюючі та вимірювальні електрокліщі; вказівники напруги, ізолюючі пристрої і засоби для ремонтних робіт; діелектричні рукавички, гумові килими, ізолюючі підставки, та переносні заземлення, плакати та попереджувальні знаки. В процесі експлуатації, ізолюючі засоби захисту періодично проходять випробування підвищеною напругою згідно ПТЕ.

У зв'язку з тим, що ділянка віддалена від інших забудов, спеціальні заходи щодо шумозахисту навколишньої території в проекті не застосовуються відповідно до ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности». Оскільки вища напруга в цеху не перевищує 1кВ, то спеціального захисту від електромагнітних полів відповідно до ГОСТ 12.1.006.-84 «Электромагнитные

поля радиочастот. Общие требования» не передбачається. Основні небезпечні фактори роботи електромонтера наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Оцінка факторів виробничого та трудового процесу електромонтера

№ п/п	Фактори виробничого середовища та трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас: шкідливі та небезпечні умови, характер праці.			Довготривалість дії фактору за зміну %
				1 ступ.	2 ступ.	3 ступ.	
1	3-4 кл. небезпеки напруженість електромагнітного поля, кВ	5	7,5	1,5р	-	-	85
2	Вібрація локальна, дБ	92	95	3	-	-	80
3	Шум, дБА	80	90	-	10	-	80
4	Мікроклімат: -температура повітря, °С	27	31	-	4	-	90
	-Швидкість руху повітря, м/с	0,3	0,5	-	-	-	90
	-Відносна волога,%	65	64	-	-	-	90
5	Тяжкість та напруженність праці	Категорія середньої важкості 2б; помірно-напружена					

Отже, як видно з таблиці, умови праці відносяться до середньої тяжкості, праця помірно-напружена і потребує заходів з її поліпшення і полегшення.

4.2.1 Природне і штучне освітлення

Приміщення для обладнання гідростанції ПрАТ «Запоріжсталь» забезпечено достатнім природним світлом, а у нічний час - електричним освітленням. Місця, що з технічних причин не можна забезпечити природним світлом, забезпечені електричним освітленням. Освітленість відповідає СНіП 2-4-79 «Природне і штучне освітлення».

Характеристика приміщення цеху:

- характер робіт постійне спостереження
- розряд зорової роботи 8
- підрозряд роботи В
- контрастність об'єкта розпізнавання велика
- тіло світле
- коефіцієнт природної освітленості $E_н$ При верхньому і комбінованому. освітленні 0,9%
- коефіцієнт природної освітленості $E_н$ При звичайному освітленні 0,3%

Для створення сприятливих умов праці важливе значення має раціональне освітлення. Незадовільне освітлення ускладнює проведення робіт, веде до зниження продуктивності праці та працездатності очей, і може бути причиною їх захворювань і нещасних випадків.

На промислових підприємствах штучне освітлення поділяється на робоче (для проведення робіт у темний час доби або в місцях без достатнього природного освітлення), аварійне (для проведення роботи при аварійному відключенні робочого освітлення), евакуаційне (аварійне освітлення для евакуації людей із приміщення при аварійному відключенні робочого освітлення) і охоронне. При необхідності частина світильників того чи іншого виду освітлення використовуються для чергового освітлення. Застосовуються дугові ртутні лампи (ДРЛ).

Штучне освітлення проектується двома системами: загальне (рівномірного або локалізоване з урахуванням розташування робочих місць) і комбіноване, коли до загального освітлення додається місцеве. Застосування одного місцевого освітлення не допускається, тому що різкий контраст між яскраво освітленими і неосвітленими місцями стомлює око сповільнює швидкість роботи і нерідко є причиною нещасних випадків. Для штучного освітлення використовуються стельові лампи типу ДРЛ-150, або світильники типу «Астра». Для місцевого освітлення використовуються лампи накалювання потужністю 150 Вт і світильники НСП-200.

У відповідності зі СНиП II-4-79 «Естественное и искусственное освещение» на території підстанції забезпечуються наступні норми освітленості: приміщення апаратного зв'язку - 150 лк; приміщення щита керування - 100 лк; зовнішнє освітлення - 0,5 лк. Зовнішнє освітлення підстанції, що реконструюється виконане прожекторними лампами типу СЗГ, які встановлені на спеціальних щоглах. Світильники типу СЗЛ встановлені на стійці СВ-95-1 на висоті 7 м ; світильники типу СЗЛ, призначені для підсвічування трансформатора. Внутрішнє здійснюється на напрузі 220 В люмінесцентними лампами і лампами накалювання.

4.2.2 Санітарно - побутові приміщення

При улаштуванні санітарно-побутових приміщень у дипломній роботі керуємося СНіП 2.09.04-87 «Адміністративні і побутові будинки». Конструкція стін, вікон, стель тощо у виробничому приміщенні відповідає нормам санітарії, і забезпечує сприятливі умови праці робочому персоналу.

До числа побутових відносяться приміщення для задоволення санітарних і побутових потреб працівників під час їхнього перебування на роботі: приміщення для прийому їжі, гардеробні, душові, вбиральні, умивальні, питного водопостачання і комору для інвентарю. На території підприємства

обладнані санітарні пункти, укомплектовані аптечками й іншими медичними препаратами.

4.2.3 Шум і вібрація

Робота устаткування, а також пульсація потужного обладнання створюють шум і вібрацію. Тому існують різні види шуму. Серед них розрізняють механічні (вентилятори, двигуни), аеродинамічні (газоходи, насоси, вентилятори), гідродинамічні (трубопроводи). Найбільший шум - на робочому місці оператора, найменший - у побутових і допоміжних приміщеннях.

Сильний шум має шкідливий вплив на здоров'я людей. Тривалий шум пригнічуючи діє на центральну нервову систему і через неї на весь організм. Це свідчить про необхідність розроблення і впровадження заходів для ослаблення шуму і захисту від нього обслуговуючого персоналу.

З метою зменшення шуму застосовують звукоізолюючі конструкції:

- звукоізоляційна місця керування поста оператора електролізера;
- звукоізоляція трубопроводу.

Джерелом вібрації слугують насоси, двигуни, трансформатори тощо. Гранично припустимий рівень вібрації 92 дБ. Вплив вібрації приводить до різних порушень здоров'я людини і може стати причиною вібраційної хвороби. Загальна вібрація впливає на нервову, серцево-судинну систему людини, відбувається порушення у вестибулярному апараті, порушується обмін речовин, виникають головні болі, погіршується сон і та ін.

Як захисні міри використовують віброізоляцію. Для ослаблення передачі вібрацій і шуму по воздуховодах і трубопроводах, приєднання їх до вентиляторів і насосів відбувається за допомогою гнучкої вставки з прогумованої тканини. Під джерелом вібрації встановлений міцний фундамент.

Відповідно до ГОСТ 12.1.012-90 «Вибрация. Общие требования безопасности», на проектованій підстанції захист від вібрацій здійснюється

застосуванням віброгасіння, зниження рівня вібрації шляхом установки трансформаторів на фундаменти.

4.3 Заходи з поліпшення умов праці

Відповідно до вимог охорони праці виконане компонування устаткування цеху, а також визначено комплекс заходів щодо охорони праці. Застосовано засоби контролю за параметрами системи автоматичного регулювання технологічними процесами, а також системи протиаварійних мір і блокувань. Електроустаткування і заходи щодо його безпечної експлуатації. Умови безпечної експлуатації залежать значною мірою від захищених пристроїв.

Відповідно до ГОСТ 12.1.009-76 «ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения» обладнання котельні забезпечено робочою ізоляцією - електрична ізоляція струмоведучих частин електроустановки, що забезпечує її нормальну роботу і захист від поразки електричним струмом.

Згідно ГОСТ 12.2.007.0-75 «ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности» електротехнічні вироби котельні по способу захисту людини від поразки електричним струмом відносяться до 1 класу в якому є робоча ізоляція, а також є елемент для заземлення. З урахуванням вимог «Правил устрою електроустановок», НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів», ГОСТ 12.2.007.0-75 «ССБТ. Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности» обладнання котельні забезпечено від перевантажень автоматизованою системою керування. Для запобігання ураження електричним струмом при дотику до металевих струмоведучих частин, які можуть виявитися під напругою в результаті пошкодження ізоляції, слід використовувати захисне заземлення. Для розподілення електроенергії котельні встановлюють модульну шафу з автоматичним вимикачем, магнітним пускачем.

Перед пуском електродвигунів, подається попереджувальний сигнал. Особи, що обслуговують електроустановки мають кваліфікаційну групу не нижчу 3-ої. Усі частини, які проводять струм, ізольовані. Як захисну ізоляцію застосовують теплостійкі лаки, плівки, емалеві й олійні фарби, а також блокування апаратів для запобігання помилкових операцій за допомогою автоматичних вимикачів. Захисне заземлення електроприймачів виконується сталевими трубами, опір пристрою, що заземлює, не перевищує 4 Ом. На проводах комутаційних апаратів чітко зазначені положення «включено» і «виключено». Для захисту від короткого замикання використовують швидкодіючий релейний захист і вимикачі, плавкі запобіжники.

У цеху впроваджений комплекс організаційних заходів спрямованих на профілактику аварійних ситуацій. До таких заходів відноситься чіткий розподіл обов'язків між обслуговуючим персоналом, закріплення обслуговування окремих одиниць устаткування за конкретними працівниками, розроблення посадових інструкцій для всіх категорій працівників і періодична перевірка знань персоналу.

З метою профілактики аварійних ситуацій, такий об'єкт, як електролізний цех, підлягає періодичному огляду й іспиту обладнання місцевими органами Держгорпромнагляд. Для запобігання витоку газу через зварні й болтові з'єднання, запірну арматуру, газопровід у зборі проходити іспит Держнаглядохоронпраці України. Дотримання всіх норм і правил техніки безпеки приводить до значного зниження нещасних випадків на виробництві.

4.4 Електробезпека

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.

Для вимірювальних кіл трансформаторів струму і трансформаторів напруги повинні використовуватись кабелі з металевою оболонкою або оболонкою і бронею. В одному контрольному кабелі не припускається об’єднання кіл різних класів по рівню випробувальної напруги, вимірювальних кіл напруги і струму, кіл управління с колами вимірів і сигналізації, а також з силовими колами.

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 ЕМІ на лінії зв’язку і підімкнену до них релейну апаратуру можуть бути рекомендовані наступні способи захисту:

- застосування дводротових 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; огородження 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 проектовані заходи захисту від ураження електричним струмом-відповідають вимогам ДСН 3.3.6.037, ДСНіП 239-96, ГОСТ 12.1.002-84, Д СанПіН 3.3.6-2002. Струмоведучі частини повністю покриті ізоляцією, яка може бути усунена тільки шляхом руйнування. Ізоляція струмоведучих частин електрообладнання повинна відповідати стандартам або технічним умовам на це електрообладнання. Струмопровідні частини електрообладнання і ошиновка знаходяться поза зоною досяжності на висоті не менше 3,2 м від рівня землі.

Розподільний пристрій 6 кВ і розташоване в окремому приміщенні. Струмоведучі частини РП вміщені в оболонки, якими забезпечується ступінь захисту не менше IP2X за ГОСТ 14254. 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 ізолюючої штанги.

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 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.

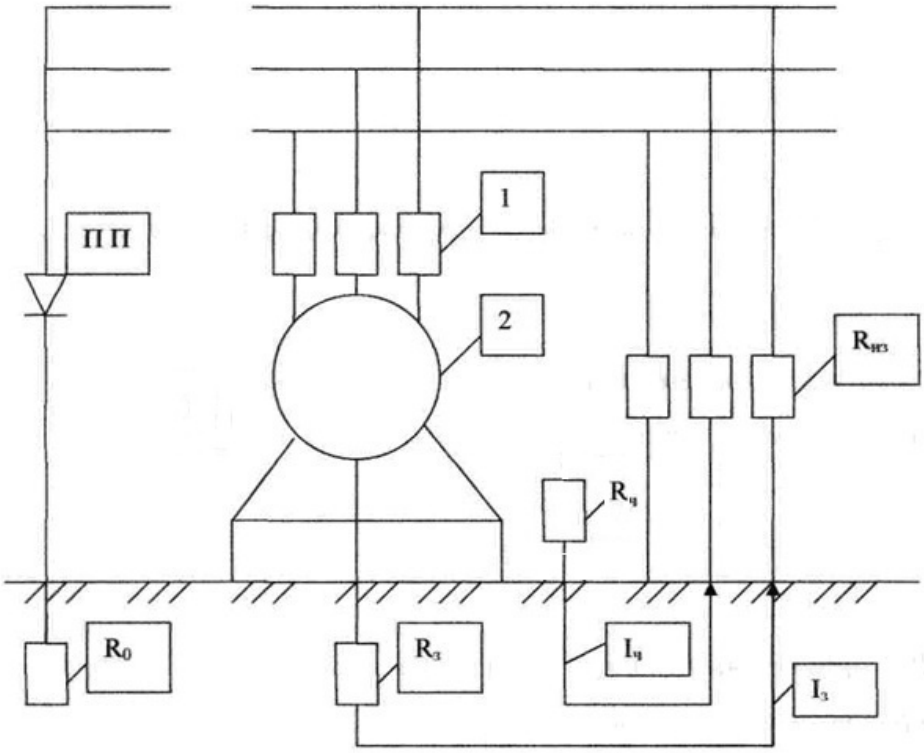
Для захисту органів дихання використовують фільтр типу «тюльпан». Інших засобів індивідуального захисту не передбачається.

4.6 Інженерні рішення щодо забезпечення умов роботи з точки зору електробезпеки

Відкриті провідні частини електроустановки за допомогою захисних провідників повинні бути приєднані до системи заземлення. В цеху застосований тип системи заземлення TN-C.

Захисне заземлення та заземлення системи блискавкозахисту будівель та споруд фабрики здійснюється за допомогою одного спільного заземлювального пристрою. В якості заземлюючих пристроїв використовуються природні і штучні заземлювачі, з'єднані сталевою смугою 40х4. Опір заземлювального пристрою, який є спільним для високовольтних і низьковольтних електроприймачів, не повинно перевищувати 0,5 Ом в будь-який час року.

Принципова схема заземлення електрообладнання показана на рисунку 4.1.



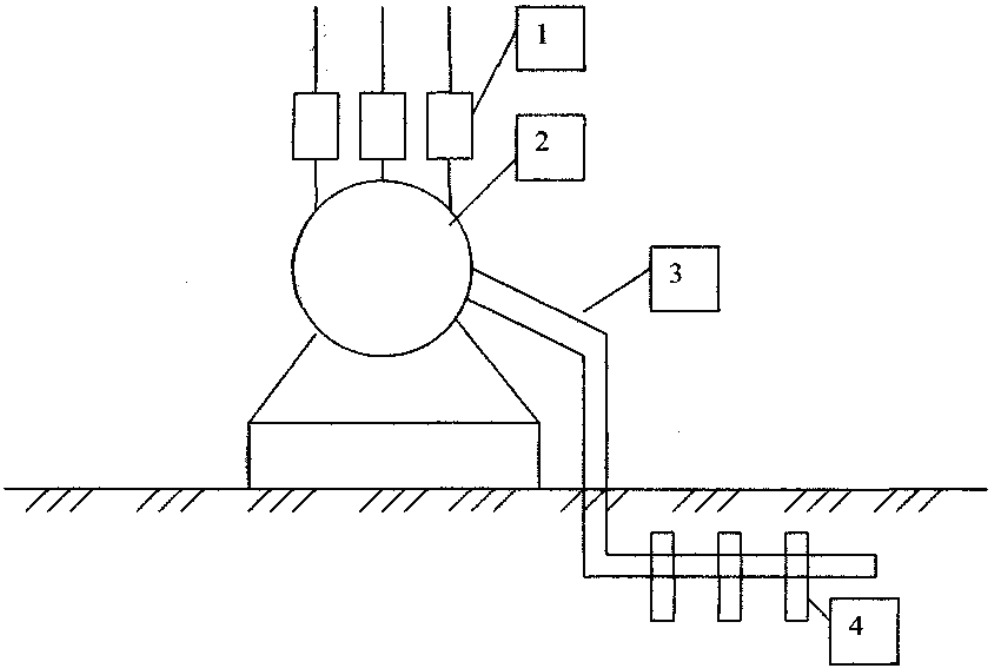
ПП - пробивний запобіжник; R_0 - заземлення нульової крапки трансформатора; $R_з$ - заземлюючий пристрій; $R_{із}$ - опір ізоляції; $I_з$ - струм, замикання на землю; $I_ч$ - струм, що протікає через людину; 1 - плавкі вставки; 2 - електродвигун

Рисунок 4.1 Принципова схема захисного заземлення

Поразка людини електричним струмом може трапитися не тільки при дотику її до струмоведучих частин, але і в результаті контакту з металевими корпусами електроустаткування, яке випадково опинилося під напругою в наслідок пошкодження ізоляції. Для попередження подібних випадків поразки електричним струмом широко використовують захисне заземлення і занулення. Для розрахунку заземлюючого прибудові спочатку визначаємо опір розтікання струму одного вертикального електроду.

Приймемо як заземлення вертикальні електроди стрижньові завдовжки 10 м і діаметром 11 мм Питомий опір грунту в місці розташування заземлень 100 Ом·м.

Схема заземлюючого пристрою показана на рисунку 4.2.



1 - плавкі вставки; 2 - електродвигун; 3 - сполучна смуга; 4 – трубчасте заземлення

Рисунок 4.2 Виконання заземлюючого пристрою

У кожній споруді виконана основна система зрівнювання потенціалів, яка реалізована шляхом приєднання до головної заземлювальної шини електроустановки таких провідних частин: захисних провідників; заземлювальних провідників пристроїв захисного та блискавко заземлень; металевих труб комунікацій; металевих частин каркаса будинку (споруди) і металевих конструкцій виробничого призначення; металевих частин систем вентиляції та кондиціонування; основних металевих частин будівельних конструкцій; металевих оболонок, екранів і броні кабелів.

Всі з'єднання виконуються зварюванням. Відкрито прокладені магістралі заземлення покриваються антикорозійною фарбою.

Глибина розташування середини електрода від поверхні землі, м

$$t = t_0 + \frac{1}{2};$$

де t_0 – відстань від верхньої точки трубчастого заземлення до поверхні землі, м (t_0= від 0,5 до 1 м).

У нашому випадку t_0= 0,5 м.

По-перше розрахуємо $t = 0.5 + \frac{10}{2} = 5.5$, м

$$R_e = \frac{\rho}{(2\pi \cdot l)} \cdot \left[\left(\ln \cdot \frac{2l}{d} \right) + \frac{1}{2} \cdot \ln \left(\frac{4t + l}{4t - l} \right) \right] \qquad (4.1)$$

де R_E – опір розтіканню струму одного вертикального електроду, Ом

$з$ – питомий опір грунту в місці розташування заземлень, Ом·м

l – довжина трубчастого електроду, м

d – діаметр трубчастого електрода, м

t – глибина розташування середини електрода від поверхні землі, м

Тепер ми маємо всі показники для розрахунку R_E , Ом

$$R_e = \frac{100}{(2 \cdot 3{,}14 \cdot 10)} \cdot \left[\left(\ln \frac{2 \cdot 10}{0{,}011} \right) + \frac{1}{2} \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot 5{,}5 + 10}{4 \cdot 5{,}5 - 10} \right) \right] = 9{,}07 .$$

Знайдену величину R_e порівнюємо з допустимим опором заземлюючого прибудую $R_{доп}$.

R_e (9,07 Ом) > $R_{доп}$ (4 Ом), тобто потрібно шукати необхідну кількість вертикальних електродів.

Для цього спочатку підрахуємо попередню кількість заземлень без урахування сполучної штиби (повинен бути цілим числом) по формулі, шт.

$$n' = \frac{R_e}{R_{доп}} \qquad (4.2)$$

де $R_{доп}$ – допустимий опір заземлюючого пристрою, визначається залежно від напруги струму, який поданий на електроустановку.

У даному випадку: 4 Ом для установок з напругою до 1000 В.

$$n' = \frac{9.07}{4} \approx 3.$$

Потім встановлюємо потрібну кількість вертикальних електродів, шт.

$$n = \frac{n}{\eta_e}, \tag{4.3}$$

де n - коефіцієнт використання вертикальних електродів, який враховує обопільне екранування.

Для вибору цього коефіцієнту приймаємо значення відношення відстані між електродами до їх довжини «параметр але і вибираємо зо залежно від попередньої кількості заземлень n_1 і «параметру a».

Приймемо $a = 1$. Заземлення розміщені в ряд. Тоді, шт.

$$n = \frac{3}{0.73} \approx 5.$$

Знаючи кількість заземлень, знаходимо довжину сполучної штиби (L), яка сполучає всі вертикальні стрижньові електроди по формулі, м

$$L = a \cdot n \cdot l, \tag{4.4}$$

де a – значення відношення відстані між електродами до їх довжини.

Розраховуємо довжину сполучної штиби, м

$$L = 1 \cdot 5 \cdot 10 = 50.$$

Розраховуємо опір розтіканню струму сполучної штиби без урахування екранування по формулі, Ом

$$R_{ш} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left[\ln \frac{2 \cdot L^2}{b \cdot t_0} \right], \tag{4.5}$$

де b – ширина сполучної штиби, м $b=d$.

$$R_{ш} = \frac{100}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 50} \cdot \left[\ln \frac{2 \cdot 50^2}{0.011 \cdot 0.5} \right] = 3.64.$$

Останнім визначаємо загальний опір заземлюючого прибудую $R_з$, який складається з опору вертикальних електродів і опору сполучної штиби, Ом

$$R_з = \frac{R_е \cdot R_ш}{R_е \cdot \eta_ш + R_ш \cdot \eta_l \cdot n} \tag{4.6}$$

де коефіцієнт використання сполучної штиби $\eta_ш = 0{,}72$.

Розраховуємо загальний опір заземлюючого пристрою $R_з$

$$R_з = \frac{9{,}07 \cdot 3{,}64}{9{,}07 \cdot 0{,}72 + 3{,}64 \cdot 0{,}72 \cdot 5} = 1{,}68 \text{ Ом}.$$

Набуте значення $R_з$ порівнюємо з $R_{доп}$.

$R_з$ (1,68 Ом) < $R_{доп}$(4 Ом), тобто опір заземлюючого пристрою менше допустимого опору.

Висновок: заземлення розраховане згідно з нормами і воно забезпечує безпеку працівників.

4.7 Пожежна безпека

Відповідно до вимог СНиП 2.01.02-85 «Строительные нормы и правила противопожарные нормы» за ступенем вогнестійкості будівельних конструкцій цех відноситься до категорії "Г". Проектом передбачається можливість швидкої евакуації людей із приміщення цеху. Ливарний цех має два евакуаційних виходи в протилежних боках будівлі. Двері зі службових і допоміжних приміщень відкривається убік цеху. Мається також два пожежних сходи.

Гасіння пожеж на підстанції передбачається міською пожежною командою, а також первинними засобами гасіння пожежі, які встановлені на протипожежних щитах згідно таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Первинні засоби вогнегасіння

Найменування Споруди	Найменування та тип засобів вогнегасіння	Кіл-сть шт.
ВРУ – 35 кВ	Ящик з піском	2
	Щит с первинними засобами вогнегасіння	2
	Вогнегасник ОУ 8	2
ЗРУ-10 кВ	Вогнегасник ОУ 8	4
	Пересувний вогнегасник ОУ 80	1
ЗПК	Вогнегасник ОУ 2	4

До первинних засобів пожежогасіння в цеху належать: пінні вогнегасники ОВП -10, порошкові вогнегасники ОП-5, ОП-7, пожежний інвентар (покривало

з теплоізоляційної полотнини, шухляди з піском, діжки з водою, пожежні відра, совкові лопати, багри, ломи, сокири та ін.). У цеху мається внутрішній протипожежний водопровід з пожежними кранами і рукавами, а також є пожежні щити, в комплект яких входять: два вогнегасники, шухляда з піском, два ломи, три багри, дві лопати. Для персоналу цеху проводяться протипожежні навчальні заходи раз у квартал; інструктаж із Охорони праці і пожежної безпеки.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.

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

4.8 Охорона навколишнього середовища

Стан навколишнього середовища в Україні викликає серйозну стурбованість, оскільки є результатом економічних помилок і екологічних прорахунків, оскільки вже не можливе самовідновлення і самоочищення природного середовища, йде активна деградація і небезпечне знищення запасів природних ресурсів [10]. .

У зв'язку з цим сформульовані основні шляхи виходу України з важкої екологічної кризи:

- розробка комплексних програм по охороні природи на основі моніторингових спостережень;
- збільшення витрат на охорону природи і прискорення темпів будівництва природоохоронних об'єктів
- заборона відступу від проектів, які завдають шкоди навколишньому середовищу і інше.

Проектовані об'єкти системи електропостачання фабрики, шкідливих джерел впливу на навколишнє середовище не мають.

Електрообладнання цеху за технологічним процесом воду і повітря не споживає, тому викидів забруднюючих атмосферу і воду немає.

Електромагнітне випромінювання від електрообладнання та кабельних ліній промислової частоти знаходиться в межах допустимих санітарних норм СН 245-75.

Радіаційне випромінювання від установлюваного електрообладнання, підвищує природний фон відсутній.

Низький рівень шуму і вібрації від встановленого електрообладнання забезпечується їх конструктивними рішеннями за рахунок низької потреби механічної енергії і становить 20 дБ, що не перевищує допустимі норми по СНіП II-12-77 «Захист від шуму".

При будівництві максимально зберігаються зелені насадження і рослинний покрив у місцях спорудження фундаментів і установки опор, після будівництва зелені насадження і рослинний покрив відновлюється.

При аварійних ситуаціях у проектованій системі електропостачання відсутні шкідливі викиди небезпечні для життя і здоров'я людей.

Враховуючи екологічну безпеку об'єкта, заходи з охорони навколишнього середовища не передбачаються.

ВИСНОВКИ

В магістерській роботі визначені техніко-економічні показники впровадження вільнопоточних 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.

Для визначення гідроенергетичного потенціалу оборотних циклів заводу використовувався інструментарій, розроблений кафедрою енергетичного менеджменту. Крім того, слід також враховувати потенціал скидної води, який може суттєво підвищити енергоефективність підприємства в цілому.

В результаті дослідження було встановлено, що за енергетичними параметрами водотоку доцільним для становлення вільнопоточних мікро ГЕС є лише водотоки, що скидаються в балку Маркусова. Придатні для зазначених цілей мікро- і міні-ГЕС випускаються в даний час рядом вітчизняних та закордонних виробників.

Крім того, характеристики скидного вторинного водотоку, такі як витрата і напір для більшості з джерел, мають динамічний характер. До того ж, будь-яке коливання потоку впливає на процес перетворення типовою мікро ГЕС енергії води, в першу чергу змінюється коефіцієнт корисної дії гідротурбіни.

Тому, для мікро ГЕС, що за проектом встановлюються на зазначений водотік, розрахунковим експериментом було визначено залежність ККД від параметрів потоку скидної вторинної води. Завдяки отриманій кривій можливо більш точно визначати енергетичні характеристики енергомодуля мікро ГЕС за змінної частоти обертання.

В роботі, для прогнозування величини витрати скидної води створено відповідний математичний апарат, який враховує її коливання відповідно до закону її розподілу. Моделювання потоку скидної води може бути здійснено на основі статистичних даних, отриманих шляхом відповідних вимірювань.

Оброблені дані вимірів витрати скидної води, за якими побудований відповідний графік розподілу налічує 1440 замірів із періодичністю 0,5 години. Експериментальні спостереження за витратою найбільш точно описуються біноміальним законом розподілу.

Також попередньо було побудовано автокореляційну функцію витрати скидної води і розраховані значення коефіцієнтів b_k шляхом розв'язання системи рівнянь у середовищі Mathcad.

На базі розробленого математичного апарату в середовищі Simulink реалізовано модель статистичного генератора з коригуванням ККД мікро ГЕС в залежності від кутової частоти обертання її турбіни, і адаптованого до вирішення поставлених завдань магістерської роботи.

Отже, запропонований математичний апарат дозволить коригувати енергетичні характеристики генераторів вільнопоточних мікро ГЕС, і, таким чином, більш точно прогнозувати кількість виробленої електроенергії із скидних вторинних водотоків ПрАТ «Запоріжсталь». В результаті розрахунків з використанням запропонованого інструментарію встановлено, що кількість електричної енергії, яку можна отримати із зазначеного енергоресурсу складе близько 2,5 млн. кВт год, що становить 6% від витрат на транспортування води береговою насосною станцією ПрАТ «Запоріжсталь».

Економічні розрахунки варіантів запропонованої системи утилізації з енергомодулями різних виробників показало, що сумарна економія за рахунок вироблення власної електричної енергії у найбільш вигідному варіанті складе близько 3,1 млн. грн. на рік. Передбачувані сумарні капіталовкладення в реалізацію проекту близько 9,15млн. грн. при собівартості електроенергії 0,82 грн./кВт·год. Строк окупності, розрахований за цінами на обладнання 2019 року складає близько 3 років, що не перевищує нормативний.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

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. Михаилов 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.: Металлургиздат, 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: Выща 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. Качан Ю.Г. Оценка потенциала утилизации вторичного гидроэнергетического ресурса на примере металлургического предприятия / Ю.Г. Качан, В.Л. Коваленко, А.А. Филобок // Металургія: Наукові праці ЗДІА. – 2009. – Вип.19. – С.23-25.

25. Методика по разработке норм и нормативов водопотребления и водоотведения с учётом качества потребляемой и отводимой воды в чёрной металлургии. – М.: МЧМ СССР. – 1981. – 167 с.

26. Методика по разработке норм и нормативов водопотребления и водоотведения с учётом качества потребляемой и отводимой воды в чёрной металлургии (II редакция с дополнениями и изменениями). – М.: МЧМ СССР. – 1988. – 211 с.

27. Коваленко В.Л. Об оценке потенциала вторичного гидроэнергетического ресурса предприятия // 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. Гребе, М. Э. Сальгадо. – М.: БИНОМ.ьЛаборатория знаний, 2004. – 911 с., ил.

33. Современные системы управления/ Р. Дорф, Р. Бишоп. Пер. с англ. Б. И. Копылова – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2002. – 832с.: ил.

34. Utkin V. I., Sliding Modes in Optimisation and Control, SPRINGER-VERLAG, 1992.

35. Chang, W., Park, J. B. Joo, Y. H. and Chen, G.,(2002), “Design of robust fuzzy model based controller with sliding mode control for SISO nonlinear systems”, Fuzzy Sets and Systems, 125, pp.1-22.

36. Draunov, S. V. and Utkin, V. I., (1989), “On discrete time sliding modes”, IFAC Nonlinear Control Systems Design, pp. 273-278.

37. Gao, W. and Hung, J. C., (1993), “Variable structure control of nonlinear systems: a new approach”, IEEE Transaction IE-40 pp. 43-55.

38. J. C. Lo and Y. H. Kuo, Decoupled fuzzy slidingmode control, IEEE Trans. Fuzzy Systems, 6 (1998), 426-435.

39. Ioannon P. and J. Sun. Robust Adaptive Control. Prentice-Hall, pp. 825, 1995.

40. Rabiner R, Gold B. Theory and Application of Digital Signal Processing. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1975.

41. Hahn Stefan L., Hilbert transforms in signal processing, Artech House, Inc., Boston, 1996.

42. Michael Rosenblum, Jurgen Kurths. Analyzing Synchronization Phenomena from Bivariate Data by Means of the Hilbert Transform, in: Nonlinear Analysis of Physiological Data, Edited by H. Kantz, J. Kurths, and G. Mayer-Kress (Springler, Berlin, 1998), pp. 91-99.

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

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

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

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

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