

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

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

Електричної інженерії та кіберфізичних систем

(повна назва кафедри)

**Кваліфікаційна робота**

другий (магістрський) рівень

(рівень вищої освіти)

на тему: Підвищення ефективності роботи енергетичного обладнання  
машинобудівного підприємства

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1411

спеціальності 141 Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка

(код і назва спеціальності)

спеціалізації \_\_\_\_\_

(код і назва спеціалізації)

освітньої програми 141.00.11

Електроенергетика, електротехніка та

електромеханіка

(назва освітньої програми)

Петраш О. В.

(ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н., доц. Єрофєєва А.А.

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

Рецензент Коваленко В.Л.

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

Запоріжжя

2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні  
Кафедра Електричної інженерії та кіберфізичних систем  
Рівень вищої освіти другий (магістрський) рівень  
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
(код та назва)  
Спеціалізація \_\_\_\_\_  
(код та назва)  
Освітня програма 141.00.11 Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

д.т.н., доц. В.Л. Коваленко

« 01 » грудня 2022 року

**ЗАВДАННЯ**  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Петраш Олександр Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи Підвищення ефективності роботи енергетичного обладнання  
машинобудівного підприємства

керівник роботи Єрофєєва Аліна Анатоліївна, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом ЗНУ від « 02 » червня 2022 року № 597 - с

2 Строк подання студентом роботи 01 грудня 2022 р.

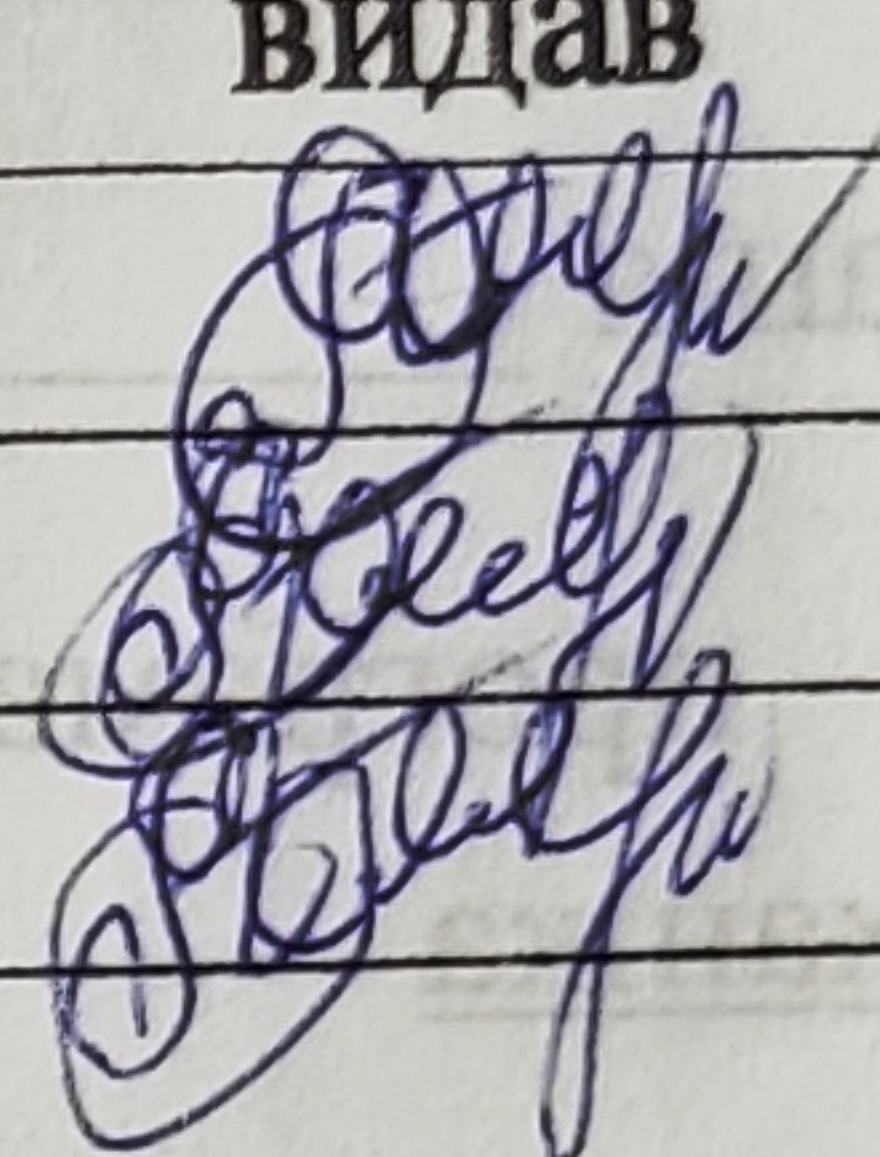
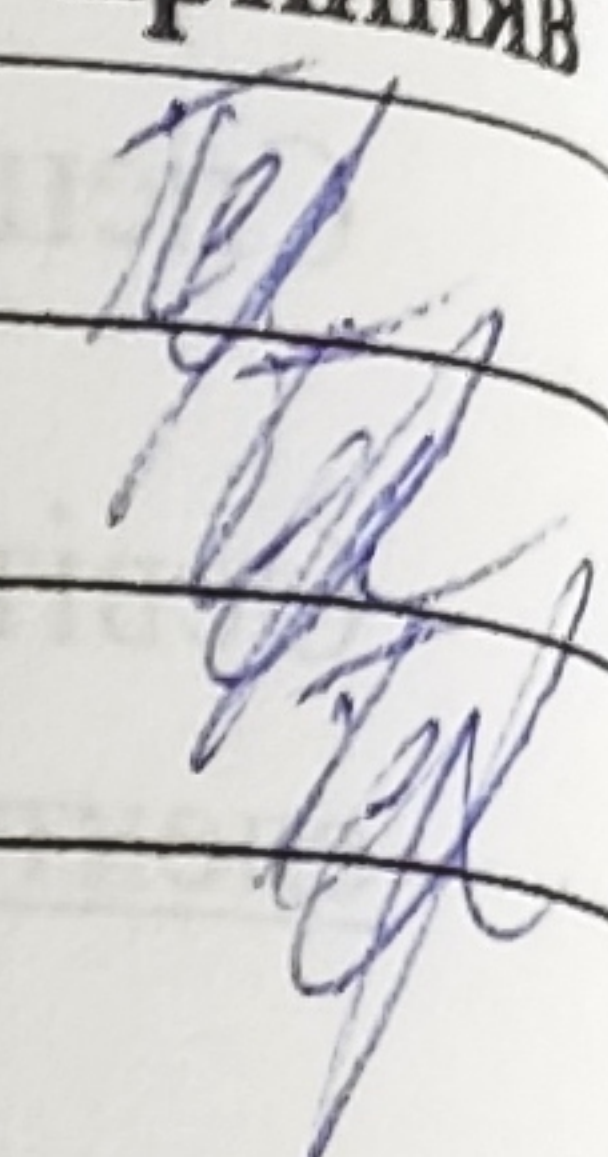
3 Вихідні дані до роботи: тариф на електроенергію за 1 кВт год 2,04 грн.;  
споживання електричної та теплової енергії, природного газу, мазуту та  
технічної води обладнанням АТ «Мотор Січ», властивості мікро-ГЕС.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно  
розробити): 1) Оцінка енергоспоживання підприємства 2) Аналіз ефективності  
електроспоживання ливарним цехом №10 АТ «Мотор Січ» 3) Аналіз  
впровадження системи мікро-ГЕС 4) Дослідження динамічних характеристик  
мікро-ГЕС у трьох випадках, за допомогою Matlab/Simulink.

5 Перелік графічного матеріалу: 1) Аналіз енергоспоживання  
підприємством АТ «Мотор Січ» 2) Заходи щодо скорочення витрат  
електричної енергії за допомогою мікро-ГЕС 3) Габаритні і установчі розміри

пропелерної мікро-ГЕС 4) Аналіз залежності швидкості потоку води і витрати від наповнення трубопроводу 5) Моделювання динамічних характеристик мікро-ГЕС.

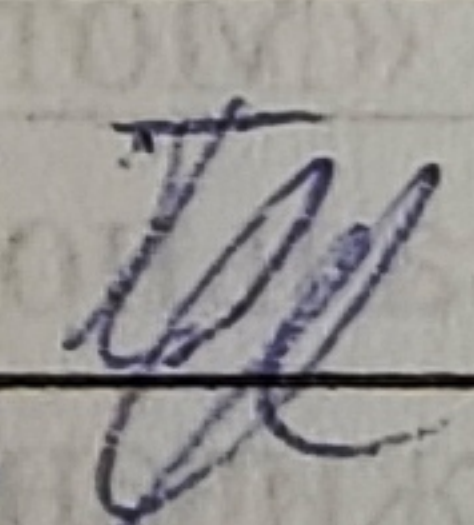
5 Консультанти розділів роботи

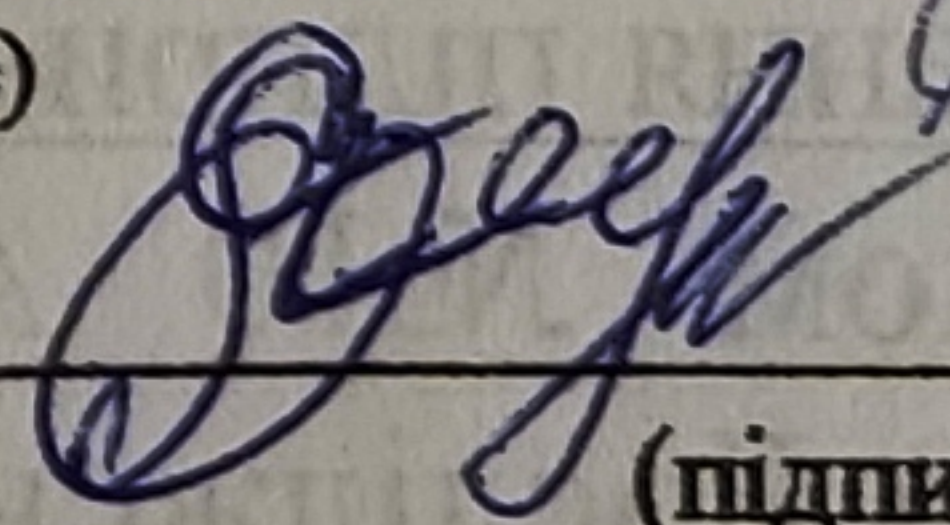
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Єрофєєва А.А., к.т.н., доцент		
Розділ 2	Єрофєєва А.А., к.т.н., доцент		
Розділ 3	Єрофєєва А.А., к.т.н., доцент		

6 Дата видачі завдання 01.09.2022 р.

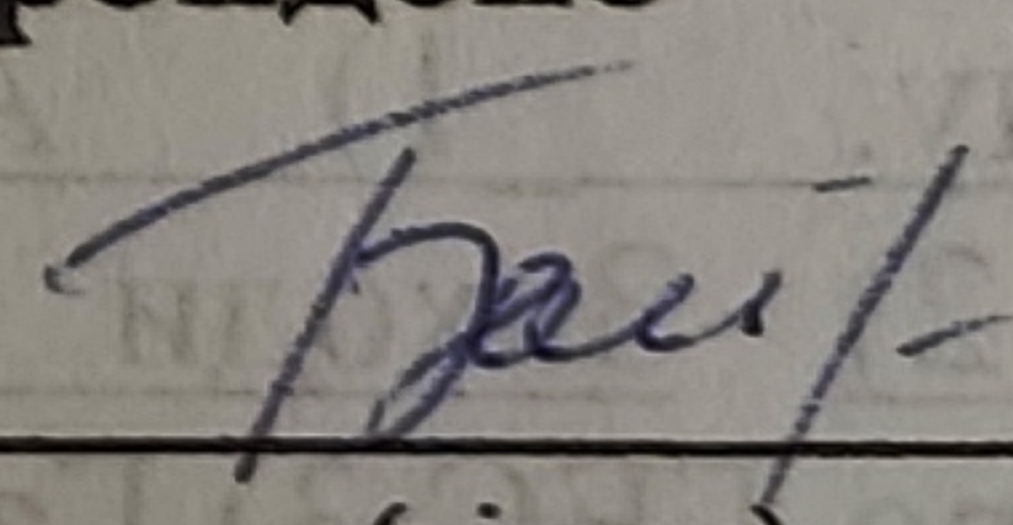
**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз ефективності електроспоживання підприємства АТ «Мотор Січ», та ливарного цеху №10	10.10.2022	
2	Аналіз роботи та використання сучасних мікро-ГЕС	31.10.2022	
3	Розробка моделі динамічних характеристик мікро-ГЕС у Matlab/Simulink	07.11.2022	
4	Енергетичне та економічне обґрунтування впровадження системи мікро-ГЕС	21.11.2022	
5	Оформлення кваліфікаційної роботи згідно нормативних вимог	01.12.2022	

Студент  О.В. Петраш  
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи  А.А. Єрофєєва  
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

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

## АНОТАЦІЯ

Петраш О. В. Підвищення ефективності роботи енергетичного обладнання машинобудівного підприємства.

Кваліфікаційна випускна робота на здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, науковий керівник А.А. Єрофєєва. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні. Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем, 2022.

Робота присвячена аналізу заходів щодо удосконалення енергоспоживання підприємства АТ «Мотор Січ». Запропоновані заходи щодо зменшення обсягів електроспоживання цехом: впровадження мікро-ГЕС в системі оборотного водопостачання.

Розроблена модель динамічних характеристик мікро-ГЕС у трьох випадках за допомогою Matlab/Simulink.

Ключові слова: ПІДСТАНЦІЯ, ГРАФІК НАВАНТАЖЕННЯ, ВТРАТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ, ПОВІТРЯНА ЛІНІЯ, ЦІЛЬОВЕ ПРОГРАМУВАННЯ

## ABSTRACT

Petrash O. V. Increasing the efficiency of the power equipment of the machine-building enterprise.

Qualification final work for obtaining a master's degree in specialty 141 - Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, supervisor A.A. Yerofeeva. Zaporizhia National University. Engineering Educational and Scientific Institute named after Yu.M. Potebni, Department of Electrical Engineering and Energy Efficiency, 2022.

The work is devoted to the analysis of measures to improve the energy consumption of JSC Motor Sich. Proposed measures to reduce the volume of electricity consumption by the shop: introduction of micro-hydroelectric power plants in the circulating water supply system.

A model of dynamic characteristics of micro-HPP in three cases was developed using Matlab/Simulink.

Keywords: ENERGY SAVING, MATLAB/SIMULINK, MICRO-HPP, ELECTRICAL ENERGY, POWER, PID CONTROLLER, TURBINE, HYDRO UNITS, PAYBACK PERIOD.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА.....	9
1.1 Стислий опис об'єкта дослідження .....	9
1.2 Ливарний цех.....	10
1.3 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів у ливарному виробництві.....	21
1.4 Висновок .....	25
2 АНАЛІЗ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ПІДПРИЄМСТВА .....	26
2.1 Річні обсяги споживання енергетичних ресурсів .....	26
2.2 Заходи с енергозбереження, що пропонуються .....	41
2.3 Висновок .....	43
3 ЗАХОДИ З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ЛИВАРНОГО ЦЕХУ.....	44
3.1 Впровадження мікро-ГЕС в системі оборотного водопостачання .....	44
3.2 Дослідження динамічних характеристик мікро-ГЕС у Matlab/Simulink	61
3.3.1 Модель гідротурбіни.....	61
3.3.2 Модель ПД-регулятора.....	62
3.3.3 Результати моделювання у Matlab/Simulink мікро-ГЕС при трьох випадках .....	64
3.3 Економічна доцільність впровадження мікро-ГЕС.....	83
3.3.1 Розрахунок капітальних вкладень .....	85
3.3.2 Розрахунок експлуатаційних витрат,грн.: .....	89
3.3.3 Визначення техніко-економічних показників впровадження системи гідроенергетичної утилізації.....	90
3.4 Висновок .....	92
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....	93
ПЕРЕЛІК ВИКОРОСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	95

## ВСТУП

*Актуальність роботи.* Використання вторинних енергетичних ресурсів (ВЕР) є одним з основних напрямків енергозбереження в Україні та економії паливо-енергетичних ресурсів у всіх сферах господарства, зокрема, і в промисловості. Особливо це стосується найбільш енергоємних галузей промисловості, в яких використання ВЕР може виявитися кардинальним або навіть єдиним способом зниження споживання енергії.

Вторинні енергетичні ресурси визначаються як потенціал основного або проміжного продукту, відходів, що утворюються в технологічних агрегатах (установках), але не використаного в них. Цей потенціал може частково або повністю використовуватися для теплопостачання та інших цілей. Термін «енергетичний потенціал» означає наявність певного запасу енергії - хімічно пов'язаного тепла, фізичного тепла, потенційної енергії надлишкового тиску і напору, кінетичної енергії та ін [1,2].

Завдання максимального використання ВЕР має не тільки економічне, а й соціальне значення, оскільки зниження витрат палива, що забезпечується використанням ВЕР, зменшує викид теплових відходів (теплове забруднення), а також вміст шкідливих викидів в продуктах згорання і знижує забруднення навколишнього середовища.

*Мета роботи* - підвищити ефективність роботи енергетичного обладнання машино-будівничого підприємства.

*Задачі дослідження.* Для досягнення зазначеної мети дослідження в магістерській роботі вирішуються такі задачі:

- аналіз ефективності електроспоживання підприємства АТ «Мотор Січ», та ливарного цеху №10;
- аналіз роботи та використання сучасних мікро-ГЕС;
- розробка моделі динамічних характеристик мікро-ГЕС у Matlab/Simulink;

- енергетичне та економічне обґрунтування впровадження системи мікро-ГЕС;

*Об'єкт дослідження* – ливарний цех промислового підприємства

*Предмет дослідження* – витрати електричної енергії технологічним обладнанням.

*Апробація роботи.* Результати роботи представлені на II Всеукраїнській науково-практичній конференції за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України» 18-20 жовтня 2022 р.

*Структура та обсяг роботи.* Магістерська робота включає вступ, три розділи, висновки та перелік джерел посилання з 38 позицій. Загальний обсяг складає 109 сторінок, у тому числі 57 ілюстрацій та 21 таблицю.



# 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА

## 1.1 Стислий опис об'єкта дослідження

АТ «Мотор Січ» на сьогодні є одним з провідних підприємств країни по виробництву авіаційної і цивільної енергетичної продукції. Підприємство має розвинену виробничу інфраструктуру, до якої входить чотири дочірніх підприємства і чотири філії. За останні роки просліджується сталий ріст обсягів виробництва. За даними таблиці 1.1 в 2021 р. порівняно з 2019р. авіаційна продукція зросла в 3,35 разу, цивільна продукція в 2,3 рази, товари широкого вжитку – 3,75 разу.

На даний час підприємством взяті напрямки, направлені на вирішення комплексного завдання підвищення конкурентоспроможності продукції, значного збільшення обсягів її реалізації на світових ринках, зниження енергоємності продукції за рахунок створення нового виробництва шляхом впровадження високопродуктивного та енергоефективного обладнання та прогресивних технологій.

Таблиця 1.1 – Обсяги виробництва товарної продукції у 2019 та 2021 рр. (по головному підприємству)

№ п/п	Види продукції	Одиниці виміру	Обсяги виробництва в діючих цінах	
			2019 р.	2021 р.
1	Авіаційна продукція	тис.грн.	855174	2864942,7
2	Цивільна продукція	–	44563	104021,4
3	Товари широкого вжитку та послуги	–	30751	227995,6
	Всього	–	930497	3196959,7

До структури головного підприємства входять заготівельні (литво чавунне і кольорове, поковки-штамповки, зварювання та інші) цехи, цехи металообробки, термічної обробки, гальванічного покриття, складальні цехи, цехи контролю і випробування, допоміжні, адміністративні і комунально-побутові підрозділи. Підприємство має повний цикл виробничого процесу виготовлення продукції машинобудування та металообробки.

Принципальна технологічна схема процесів виробництва продукції ВАТ «Мотор-Січ» характерна для машинобудівельних підприємств і включає такі основні операції: заготівельні, ковальські, ливарні, зварювання, термічна обробка, всі види механічної обробки, процеси гальваніки і термічної нейтралізації, слюсарні, монтажу і складання окремих вузлів і обладнання у цілому, регулювання, випробування, контролю і маркування. Робота допоміжних цехів і відділень здійснюється для забезпечення виробничих цехів стисненим повітрям, тепловою і електричною енергією та іншими видами енергоносіїв необхідних параметрів, а також виконанням робіт по обслуговуванню основного виробництва.

## 1.2 Ливарний цех

Структура ливарного цеху підприємства складається з модельних ділянок №1,2; виробничих ділянок №1,2,3; лабораторії; контори цеху та виробничих приміщень.

Підприємство використовує широку гаму технологічних процесів виробництва виливків: лиття у піщано-глинисту форму; лиття за газифікованими моделями; лиття за виплавленими моделями; лиття у кокіль; відцентрове лиття; лиття під тиском.

Розважування вироблених виливків: із чавуну від 0,1 до 500 кг; зі сталі від 0,0155 до 4 кг; з кольорових сплавів від 0,1 до 100 кг.

Сутність ливарного виробництва зводиться до отримання рідкого, тобто нагрітого вище  $t$  °С плавлення, сплаву потрібного складу і необхідної якості та заливання його в заздалегідь приготовану форму. При охолодженні твердне і в твердому стані зберігає конфігурацію тієї порожнини, в яку він був залитий. У процесі кристалізації й охолодження сплаву формуються основні механічні і експлуатаційні властивості виливки, що визначаються макро- та мікроструктурою сплаву, його щільністю, наявністю і розташуванням у ньому не металевих включень, розвитком в відливці

внутрішніх напружень, викликаних неодноточасним охолодженням її частин та інше.

Ливарна технологія може бути реалізована різними способами. Весь цикл виготовлення виливки складається з ряду основних і допоміжних операцій, здійснюваних як паралельно, так і послідовно в різних відділеннях ливарного цеху, що зображено на рисунку 1.1. Моделі, стрижневі ящики та іншу оснастку виготовляють, як правило, в модельних цехах [5,6,7].

Ливарна разова піщана форма в більшості випадків складається з двох напівформ: верхньої і нижньої, які отримують ущільненням формувальної суміші навколо відповідних частин (верхньої і нижньої) дерев'яною або металевою моделі в спеціальних металевих рамках-опоках. Модель відрізняється від виливки розмірами, наявністю формувальних ухилів, полегшують вилучення моделі з форми, і знакових частин, призначених для установки стрижня, що утворює внутрішню порожнину (отвір) в відливання. Стрижень виготовляють з суміші, наприклад піску, окремі зерна якого скріплюються при сушінні або хімічному затвердінні спеціальними закріплювачами (сполучними).

У верхній напівформі за допомогою відповідних моделей виконується воронка і система каналів, по яких з ковша надходить ливарний сплав в порожнину форми, і додаткові порожнини - прибутку.

Після ущільнення суміші моделі власне виливки, ливникової системи і прибутків витягують з напівформ. Потім в нижню напівформу встановлюють стрижень і накривають верхньою напівформою. Необхідна точність з'єднання забезпечується штирями і втулками в опоках. Перед заливанням сплаву щоб уникнути підняття верхньої напівформи рідким розплавом опоки скріплюють один з одним спеціальними дужками або на верхню опоку встановлюють вантаж.

В разових піщаних формах виробляють ~ 80% всього обсягу випуску виливків. Однак точність і чистота їх поверхні, умови праці, техніко-

економічні показники не завжди задовольняють вимогам сучасного виробництва.

У зв'язку з цим все більш широке застосування знаходять спеціальні способи лиття: по виплавлених (випалюємо) моделями, під тиском, відцентровим способом, вакуумним всмоктуванням і т.д. Відлиття різних розмірів, складності і призначення із сплавів, що істотно відрізняються за своїми властивостями, можна виготовляти однаковими способами.

До формувальних матеріалів відносяться всі матеріали, котрі застосовують для виготовлення разових ливарних форм і стрижнів. Розрізняють вихідні формувальні матеріали і формувальні суміші.

Основними вихідними матеріалами для більшості разових форм є пісок і глина, допоміжними - сполучні добавки:

- 1) протипригарних;
- 2) збільшують газопроникність, піддатливість і пластичність суміші;
- 3) зменшують здатність злипання сумішей.

Процентне відношення і якість складових у суміші залежить від виду литва (стальне, чавунне).

В залежності від призначення суміші поділяють на формувальні суміші, стрижневі суміші та допоміжні суміші.

Правильний вибір формувальних сумішей у ливарному виробництві має дуже велике значення, тому що формувальні суміші впливають на якість одержуваних виливків [5-8] .

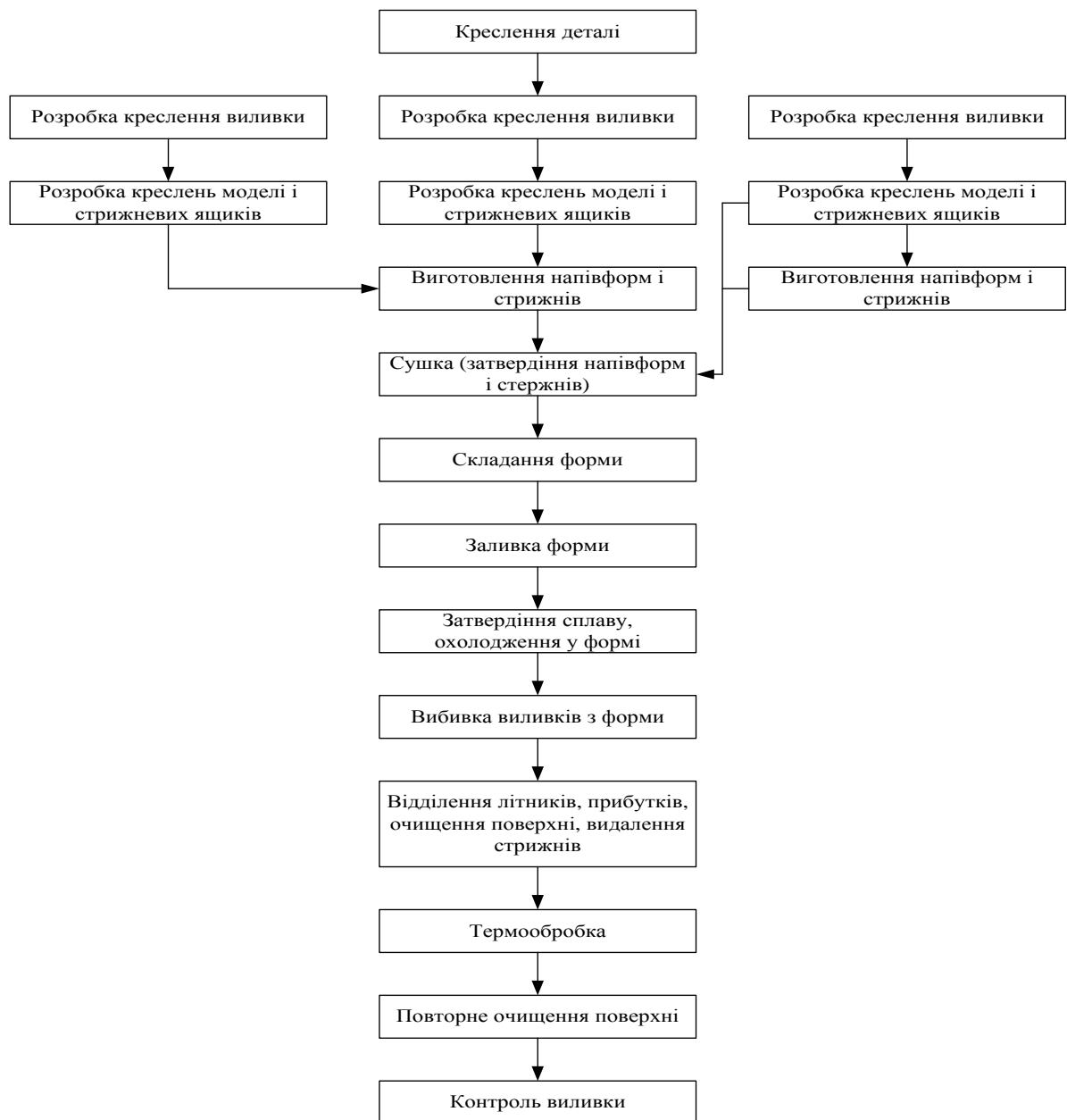


Рисунок 1.1 – Технологічний процес одержання виливків в разової піщаної формі

У машинобудуванні маса литих деталей складає близько 50% маси машин і механізмів, у верстатобудуванні - близько 80%, в тракторобудуванні - близько 60%.

Найпоширеніший з конструкційних ливарних сплавів є чавун. Частка відливок з чавуну в загальному випуску виливків становить 74% в тому числі з високоміцного чавуну з кулястою формою графіту - близько 12%, з легованих чавунів - близько 2,7%. Отримання якісного чавуну для виливків залежить від багатьох факторів, основними з яких є використання якісних

шихтових матеріалів, прогресивного плавильного обладнання, технології плавки і позапічної обробки.

Ливарні властивості сталі гірші, ніж у чавунів. Для лиття використовують доевтектоїдні сталі з вмістом 0,1-0,6 % вуглецю і леговані сталі з марганцем, кремнієм, нікелем, хромом, міддю тощо [5-8].

Із кольорових сплавів у ливарному виробництві використовують: кремнієві, алюмінієво-залізні, марганцево-олов'яно-свинцеві латуні; алюмінієві, алюмінієво-залізо-свинцеві і фосфорні бронзи; силуміни, сплави магнію з марганцем, алюмінієм і цинком. міцнісні властивості яких можна збільшувати до 500 МПа і вище, змінюючи хімічний склад, застосовуючи нові технології, а також поєднуючи лиття та прокатку і використовуючи комбіновані флюси і фільтрацію розплавів.

До складу плавильного комплексу входять такі допоміжні агрегати:

- установка сухого пиловловлення;
- система оборотного охолоджуючого водопостачання, повітроохолоджувач або градирня;
- гідравлічні агрегати і насоси;
- завантажувальний пристрій.

Опалення цеху № 10 змішане:

1. Виробничі приміщення - повітряне від калориферів.
2. Адміністративно-побутові та деякі окремі ділянки – конвективне від централізованих тепломереж заводської котельної.

Повітряне опалення в цеху виконано сталевими повітроводами круглого перетину, з підведенням теплого повітря безпосередньо на робочі місця. Розвідні повітроводи прокладені вище робочої зони, на висоті більше 3-х метрів, без теплоізоляції. Це призводить до значних втрат тепла. Враховуючи розташування обладнання, дверей і проходів в цеху, провести повітроводи в робочій зоні не є можливим. Тому для зменшення тепловтрат і відповідно поліпшення теплового режиму в приміщеннях рекомендується виконати теплоізоляцію повітроводів.

В даний час в цеху для опалення виробничих ділянок використовується припливна вентиляція з підігрівом повітря. Забезпечення необхідного температурного режиму в зимовий період в приміщеннях цеху (16 – 18 °С) затруднене (дійсно – до +5 °С) тому що :

1. Недостатньо теплового опору огорожувальних конструкцій будівлі цеху.
2. Низький коефіцієнт теплотримання на калориферах.
3. Відсутність теплоізоляції на повітропроводах припливної вентиляції (втрати теплової енергії складають 72%).

Зважаючи на особливості конструкції будівлі цеху найбільш прийнятним видом опалення є локальна подача тепла на робочі місця:

1. Припливна вентиляція з підігрівом повітря.
2. Локальні теплові вентилятори.
3. Газові інфрачервоні випромінювачі.
4. Електричні інфрачервоні випромінювачі.

Рішення проблеми опалення виробничих приміщень цеху з мінімальними витратами передбачає вибір з названих вище видів діючої припливної вентиляції з підігрівом повітря.

Вдосконалення даної системи опалення передбачає:

- Виконання робіт по теплоізоляції повітроводів припливної вентиляції.
- Ремонт, а при необхідності, і заміну калориферів.
- Установку на окремих виробничих ділянках локальних теплових вентиляторів.
- Виконання робіт по утепленню огорожувальних конструкцій будівлі цеху.

Виконання заходів з поліпшення умов праці виробничих ділянок цеху по температурному режиму дозволить:

- Створити нормальні умови праці на виробничих ділянках цеху по температурному режиму.

- Знизити захворюваність робітників виробничих ділянок.
- Ефективно використовувати споживану цехом теплову енергію на опалення його виробничих ділянок.

Для наочності ефективності використання теплоізоляції, наведені втрати тепла через  $1\text{ м}^2$  повітропровід:

- неізольовані 159 кал/год;
- ізольований 30 кал/год.

Розрахунок був виконаний при умовах; температура теплового повітря –  $+50\text{ }^\circ\text{C}$ , температура повітря в цеху –  $+2\text{ }^\circ\text{C}$ , ізоляція – мінеральна вата  $\delta = 50\text{ мм}$  або інша теплоізоляція з аналогічними властивостями.

Крім того, пропонується розглянути питання забору повітря в зимовий період з робочої зони цеху, на потреби опалення за умови відповідності нормам промсанітарії.

Склад системи водооборотного циклу охолодження технологічного обладнання цеху №10:

1. охолоджуване технологічне обладнання;
2. група насосних агрегатів гарячої води;
3. група насосних агрегатів охолодженої води;
4. градирня;
5. резервуар охолодженої та гарячої води;
6. сітчастий фільтр очищення води;
7. система трубопроводів циклу водоохолодження.

1. Охолоджуване технологічне обладнання

Перелік охолоджуваного технологічного обладнання в цеху №10 наведений у таблиці 1.2.



Таблиця 1.2 – Перелік охолоджуваного технологічного обладнання цеху №10

№ п/п	Найменування обладнання	Кіл., од	Витрата води, м <sup>3</sup> /год	
			На одиницю	Загальний
1	Вакуумна установка УППФ-3М	2	12	24
2	Вакуумна установка ВИП 100	3	11	33
3	Відкрита плавка ИСТ 016	2	7	14
4	Індукційна піч АЯКС (генератор)	1	48	48
5	Індукційна піч АЯКС (ТПЧ)	1	52	52
6	Індукційна піч МГП 252	1	14	14
7	Вакуумна установка УВНК-8П	6	14	84
8	Вакуумна пл. установка ULVAC FM1-11-100	1	9	9
Всього:		17	167	278

## 2. Група насосних агрегатів гарячої води

Вода, зібрана після технологічного обладнання в резервуар гарячої води, подається для охолодження на градирню. Для цього використовується три насоси типу ДО 290/30.

Основні технічні характеристики насоса ДО 290/30:

- продуктивність – 290 м<sup>3</sup>/ч.;
- напір – 30 м. вод. ст.;
- приводний електродвигун – 4АМУ200 Н4В2;
- потужність електродвигуна – 37 кВт.;
- частота обертів – 1450 об/хв.;
- ККД насоса – 82%.

Режим роботи насосних агрегатів – цілодобовий, один насосний агрегат працює, а два інших знаходяться у резерві. При необхідності, паралельно з першим, у ручному режимі підключається інший насос.

Підтримка необхідного тиску в трубопроводі здійснюється вмиканням додаткового насосного агрегату вручну й відкриттям або закриттям засувки на виході насосного агрегату.

Ступінь відкриття засувки після насоса становить 25 -30%.

Для переключень і підключень насосних агрегатів використовується електроконтактний манометр ЭКМ-40.

### 3. Група насосних агрегатів охолодженої води

Після охолодження в градирні, вода самопливом з резервуара градирні потрапляє в резервуар охолодженої води. Для забезпечення подачі охолодженої води на технологічне обладнання по системі трубопроводів циклу водоохолодження використовується три насоси типу 6Ндв-60.

Основні технічні характеристики насоса 6Ндв-60:

- продуктивність – 325 м<sup>3</sup>/ч.;
- напір – 48 м. вод. ст.;
- приводний електродвигун – ДО 051-4В2;
- потужність електродвигуна – 75 кВт.;
- частота оборотів – 1485 об/хв;
- ККД насоса – 73%.

Режим роботи насосних агрегатів – цілодобовий. Один насосний агрегат працює, а два інших знаходяться у резерві. При необхідності, паралельно з першим, у ручному режимі підключається інший насос.

Підтримка необхідного тиску в трубопроводі здійснюється вручну вмиканням додаткового насосного агрегату й відкриттям або закриттям засувки на виході насосного агрегату.

Ступінь відкриття засувки після насоса становить 20 -25%.

Для переключень і підключень насосних агрегатів використовується електроконтактний манометр ЭКМ-40.

### 4. Градирня оборотного циклу водоохолодження

З метою охолодження вузлів і агрегатів технологічного обладнання використовується водооборотний замкнутий цикл. У замкнутому контурі

циклу водоохолодження здійснюється збір гарячої води після технологічного обладнання, з подачею її (використовується група насосних агрегатів «гарячої» води) на градирню для часткового охолодження. Це необхідно, для підвищення ефективності охолодження – чим холодніше вода, тим краще вона буде прохолоджувати обладнання.

Об'єм чаші градирні – 256 м<sup>3</sup>.

#### 5. Резервуари охолодженої й гарячої води

Резервуари охолодженої та гарячої води призначені для надійної роботи насосних агрегатів. Контроль рівня води в резервуарах виключає перелив води в підвальне приміщення цеху, де встановлені насосні агрегати, а також подачу підживлювальної води.

Об'єм резервуарів:

- охолодженої води – 5,0 м<sup>3</sup>,
- гарячої води – 6,5 м<sup>3</sup>.

#### 6. Фільтр очистки води

Сітчастий фільтр очистки води встановлений у замкнутому контурі циклу водоохолодження з метою виключення потрапляння механічних суспензій в контури охолодження технологічного обладнання.

#### 7. Система трубопроводів циклу водоохолодження

Система трубопроводів циклу водоохолодження забезпечує подачу охолодженої води на технологічне обладнання й зібраної з його гарячої води в контур водоохолодження (Табл. 1.3). Загальний об'єм системи трубопроводів циклу водоохолодження – 1000 м<sup>3</sup>.

Таблиця 1.3 – Характеристика теплотехнічного режиму роботи оборотної системи водоохолодження

№	Поточний час доби	6 червня 2021р.				7 червня 2021р.				8 червня 2021р.				9 червня 2021р.			
		T <sub>нп</sub>	T <sub>гв</sub>	T <sub>хв</sub>	T <sub>гов</sub>	T <sub>нп</sub>	T <sub>гв</sub>	T <sub>хв</sub>	T <sub>гов</sub>	T <sub>нп</sub>	T <sub>гв</sub>	T <sub>хв</sub>	T <sub>гов</sub>	T <sub>нп</sub>	T <sub>гв</sub>	T <sub>хв</sub>	T <sub>гов</sub>
1	7	20	23	22	1	23	24	24	0	25	25	24	1	25	26	25	1
2	8	23	26	24	2	24	26	24	2	25	26	25	1	25	27	26	1

Продовження таблиці 1.3

3	9	24	26	24	2	25	26	25	1	25	28	26	2	26	28	26	2
4	10	24	26	24	2	25	26	25	1	26	28	26	2	28	28	26	2
5	11	24	26	24	2	26	28	26	2	27	28	27	1	29	28	26	2
6	12	27	28	26	2	28	28	26	2	29	28	28	0,5	30	30	28	2
7	13	27	28	26	2	29	28	26	2	30	29	28	1	30	30	28	2
8	14	29	29	27	1,5	29	28	26	2	30	29	28	1	30	30	28	2
9	15	29	29	27	1,5	29	28	26	2	30	29	28	1	30	30	28	2

Умовні позначення:

$T_{\text{нп}}$  – температура навколишнього повітря;

$T_{\text{гв}}$  – температура гарячої води;

$T_{\text{хв}}$  – температура холодної води;

$T_{\text{гов}}$  – глибина охолодження води.

Функціональна схема системи водооборотного циклу охолодження технологічного обладнання ливарного цеху №10 приведена на рисунку 1.2.

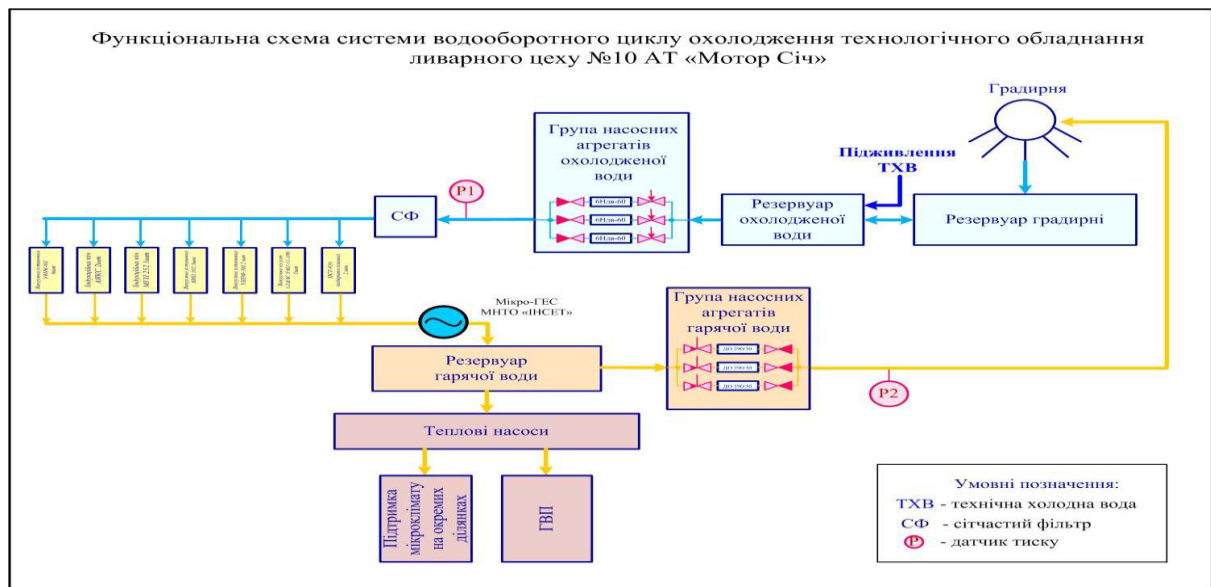


Рисунок 1.2 – Функціональна схема системи водооборотного циклу охолодження технологічного обладнання ливарного цеху

№10

### 1.3 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів у ливарному виробництві

Ливарний цех № 10 АТ «Мотор Січ» являє собою складний комплекс різних виробничих операцій, які включають розплавлення металу, підготовку ливарних сумішей, роботу на ливарному конвеєрі, вибивку виливків.

При здійсненні технологічного процесу на всіх стадіях обробки матеріалів можлива поява небезпечних і шкідливих виробничих факторів: утворення пилу; виділення парів та газів, надмірне виділення теплоти та теплове випромінювання; шум і вібрація; наявність електромагнітних випромінювань; підвищене значення напруги в електричних мережах; наявність машин і механізмів, що рухаються, та рухомі частини виробничого устаткування.

За характером роботи ливарне виробництво відноситься до категорії важких робіт, тому що витрати енергії більше 290 Вт, систематичне фізичне напруження. Технологічні операції виконуються в несприятливих кліматичних умовах: висока температура, теплове випромінювання, запиленість, загазованість, шум.

Пил ливарних цехів за дисперсним складом належить до дрібних і найдрібніших фракцій, який тривалий час знаходиться у повітрі робочої зони. Особливо небезпечний цей пил з точки зору сприяння виникнення професійного захворювання – силікозу тому, що містить до 99% двоокису кремнію. Такий пил утворюється при вибиванні відливок, у процесі приготування формувальних сумішей та виготовленні форм.

До газів і пари, якими забруднюється повітря робочої зони цеху, відносять ацетон, ацетилен, бензол, окисел азоту, окисел вуглецю, двоокис сірки, вуглекислий газ, фенол, формальдегід, хлор, етиловий спирт та ін.

Джерела виділення окислу вуглецю – вагранки й інші плавильні агрегати, залиті форми в процесі їх охолодження, сушильні печі, агрегати поверхневої підсушки форм та інші. Кількість окислу вуглецю, що

виділяється при заливці чавуну і сталі, залежить від часу перебування відливки в цеху і маси відливок. (При заливці чавуну у форми для отримання відливок масою 10-2000 кг виділяється 40-500 г СО на 1 т залитого металу).

Вуглекислий газ використовують для прискореної хімічної сушки (твердіння) піщано-глиняних форм. Він не токсичний, проте при високій концентрації його в повітрі робочої зони зменшується вміст кисню, що може викликати обтяжливе відчуття і навіть явище задухи (асфіксію).

Надмірне виділення теплоти спостерігається у відділеннях плавки металу, заливки, сушки форм і стрижнів, вибивки відливок, термічної обробки, а також при виконанні ряду допоміжних операцій. Інтенсивність теплового випромінювання на деяких робочих місцях досягає високих значень ( $0,5-2,1 \text{ кВт/м}^2$ ). Відомо, що інтенсивність менше  $0,7 \text{ кВт/м}^2$  не викликає неприємного відчуття, якщо діє протягом декількох хвилин, а понад  $3,5 \text{ кВт/м}^2$  вже через 2 с викликає опік.

Крім того, дія теплового потоку на організм залежить від спектральної характеристики випромінювання. Найбільшу проникаючу здатність в організмі має інфрачервоне проміння з довжиною хвилі до 1,5 мкм (не поглинаються шкірним покривом), а найбільш негативно діють на шкіру хвилі з довжиною понад 1,5 до 3 мкм. Інфрачервоне випромінювання, що потрапляє на тіло людини, впливає, перш за все, на незахищені його ділянки (руки, обличчя, шию, очі). Тіло людини може витримувати інфрачервоне випромінювання певної густини потоку енергії. Так, при густині потоку випромінювання величиною  $280-260 \text{ Вт/м}^2$  відчувається ледь помітне тепло. Його людський організм може витримувати тривалий час без будь-яких змін у його функціональному стані. При густині потоку випромінювання величиною  $560-1050 \text{ Вт/м}^2$  настає межа, коли людина не витримує дію інфрачервоного випромінювання. Знаходження людини протягом тривалого періоду часу в зоні інфрачервоного випромінювання значної потужності, як і при дії високих температур, впливає на центральну нервову систему, серцево-судинну систему (збільшується частота серцебиття, змінюється

артеріальний тиск, прискорюється дихання), порушує тепловий баланс в організмі, що призводить до посиленого потовиділення, втрати необхідних для організму людини солей. Діючи на очі, інфрачервоне випромінювання викликає помутніння кришталіка, опік сітківки, кон'юнктивіти.

Найбільші рівні шуму характерні для ділянок формування, вибивання відливок, зачистки обрубів і деяких інших. Вони можуть досягати значень до 118 Дб на частоті 500Гц (при роботі завантажених інерційних решіток). Тривалий вплив шуму на організм людини призводить до професійних захворювань органів слуху, пов'язаних з частковою або повною втратою слуху, різними захворюваннями центральної нервової системи і серцево-судинними порушеннями. Виробничі інтенсивні шуми гнітюче діють на психіку людини і викликають швидке стомлення.

Крім шумових навантажень на організм людини шкідливо впливає вібрація. Джерелами загальної вібрації є струси підлоги та інших конструктивних елементів будівлі внаслідок ударної дії вибивних решіток, пневматичних, формувальних, відцентрових та інших машин, а джерелами локальної вібрації – пневматичні обрубні молотки, трамбівки та ін.

Вплив вібрації на кровоносні судини - капіляри призводить до прогресивного закриття та запусіння капілярного русла, із-за чого порушується кровопостачання органів і тканин, розвивається їх гіпоксія (недостатнє постачання киснем). Проявляється порушення вегетативної нервової системи та кістково - суглобового апарату. При тривалому контакті з даним фактором може виникнути загальне захворювання організму – вібраційна хвороба.

Ультразвук застосовують для обробки рідких розплавів, очищення відливок, в установках і системах очищення газів та ін. Для цього використовують генератори з діапазоном частот 18-22кГц.

Електромагнітні поля генеруються електротермічними установками для плавлення і нагрівання металу, сушіння форм і стрижнів та ін.

Джерела іонізуючих випромінювань у ливарному виробництві застосовують для плавлення, виявлення дефектів у відливках, контролю і автоматизації технологічних процесів та ін.

Цех оснащений транспортними і вантажопідйомними механізмами, машинами для приготування формувальних і стрижневих сумішей, пристроями для вибивання відливок. Виконання будь-якої операції на зазначеному устаткуванні пов'язано з небезпекою травмування обслуговуючого персоналу через наявність небезпечних зон.

Згідно з вимогами санітарних норм ливарний цех розташовується з підвітряної сторони щодо цехів з меншою кількістю шкідливих виділень, а також щодо населених пунктів. Крім того, між цехом і житловими районами встановлюється санітарно-захисна зона, ширина якої повинна бути не менше 1000 м. Розміри санітарно-захисної зони визначаються потужністю виробництва і характером шкідливих виділень. Санітарні норми передбачають п'ять класів виробництв з відповідними розмірами санітарно-захисних зон. Цех відноситься до II класу виробництв. Так як в цеху можливий викид речовин 1-го і 2-го класів небезпеки, то допоміжні будинку не слід розташовувати в зоні так званої аеродинамічної тіні, створюваної будинками і спорудами.

Розміщення будинків і споруд ливарного цеху забезпечує найбільш сприятливі умови аерації та природного освітлення приміщень. Розміри виробничих приміщень:

- Площа виробничого приміщення на одного працюючого –  $4,8 \text{ м}^2$ ;
- Обсяг виробничого приміщення на одного працюючого –  $15,3 \text{ м}^3$ ;
- Висота одноповерхових будинків (від підлоги до низу горизонтальних несучих конструкцій на опорі) – 3м;
- Розміри пішохідних тунелів, галерей, естакад: висота – 2,1 м, ширина – 1,5 м.



## 1.4 Висновок

Одним з основних енергоємних цехів підприємства є ливарний цех №10.

Ливарні цехи знаходяться в структурі машинобудівних підприємств і виробляють виливки для власних потреб. Спеціалізація ливарного виробництва підприємства:

- виробництво виливків з алюмінієвих і магнієвих сплавів для моторного виробництва та товарів народного споживання (ТНС);
- виробництво лопаток, секторів і соплових апаратів, фасонних виливків з жароміцних сталей для моторного виробництва;
- виробництво виливків із чавуну й сталей для ТНС.

## 2 АНАЛІЗ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

### 2.1 Річні обсяги споживання енергетичних ресурсів

Акціонерне товариство «Мотор Січ» відноситься до енергоємних підприємств з досить насиченим енергоспоживаючим технологічним обладнанням. В цілому по підприємству за станом 2021р. обсяги власного споживання покупних енергоресурсів складають: паливо – 57,5 тис. т.у.п., а електроенергії – 137 млн. кВт. год

Енергозабезпечення підприємства здійснюється за рахунок покупних видів палива (природний газ і мазут) та електроенергії, а тепла енергія надходить від власних промислових котелень. Річні обсяги споживання енергоресурсів за період 2017-2021 рр. наведено в таблиці 2.1.

Річні обсяги витрат енергоресурсів було прийнято за даними приладного обліку та за звітно-статистичними формами № 11-МТП, № 4-МТП, № 24-енергетика та іншими.

Таблиця 2.1 – Річні обсяги споживання енергоресурсів підприємством

№п/п	Види енергоресурсів	Одиниці виміру	Обсяги споживання				
			2017р.	2018р.	2019р.	2020р.	2021р.
1	Електроенергія	тис.кВт.год	138226	140118	134191	131804	137459
2	Теплоенергія (власне виробництво)	Гкал	293923	281049	250340	277273	291725
3	Природний газ	тис.м <sup>3</sup>	49765	47866	48686	47450	49597
4	Мазут топковий	т	–	18,3	9,69	–	6,64

Природний газ надходить від магістральних газових мереж двома вводами на ГРП-1 та ГРП-2 і ГРП-3 головної площадки підприємства. Облік газу на вводах здійснюється комерційними вимірювальними комплексами «Флоутек», встановлених на ГРП головної площадки підприємства. Крім природного газу підприємством використовується мазут топковий марок М-40 і М-100.

Теплопостачання головного підприємства здійснюється від власних промислових котелень: котельні № 1 і 2 розташованих на території головного підприємства. Котельня № 1 оснащена одним паровим котлом типу ДЕ-10/14 ГМ паропродуктивністю 10 т/год насиченої пари і тиском 13 МПа. Котельня № 2 – двома паровими котлами типу “Бабкок-Вількокс” паропродуктивністю 34,2 т/год і двома паровими котлами типу “Бабкок-Вількокс” паропродуктивністю 10 т/год перегрітої пари тиском 1,0-1,35 МПа та трьома (один в резерві) водогрійними котлами типу ПТВМ-50 теплопродуктивністю 32 Гкал/год кожний. Зазначені котли обладнано системами автоматичного контролю і регулювання режиму їх роботи. Котельні № 1 і 2 мають поагрегатний облік виробництва і відпуску теплової енергії.

Система теплопостачання відкрита, теплоносій - вода з температурою: у подавальному трубопроводі до 110 °С, у зворотному трубопроводі до 70 °С (графік температур водяної системи теплопостачання АТ «Мотор Січ»). Подача й повернення теплоносія здійснюється по двом подавальним і двом зворотним трубопроводам. Особливістю системи теплопостачання є можливість перерозподілу теплоносія, що подається споживачам по одному трубопроводі, між кількома зворотними трубопроводами й навпаки. Підживлення мережі здійснюється деаерованою підігрітою водою із системи водопідготовки й водою з акумуляторних баків, при цьому задіяні два паралельно підключених вузли підживлення тепломережі.

Облік теплової енергії реалізований ультразвуковими витратомірами-лічильників "Зліт МР" УРСВ-040 та датчиками температури, встановлених на прямих і зворотних вводах та на виходах з деаераторів і акумуляторів.

Обчислення теплової енергії й маси теплоносія забезпечує теплообчислювачами СПТ961 і СПТ961.2.

Для контролю тиску теплоносія на колекторі подавальних трубопроводів, зворотних вводах і трубопроводах із деаератора й акумулятора встановлені датчики надлишкового тиску.

Теплові мережі підприємства виконано як в надземній, так і підземній прокладці в непрохідних каналах і тунелях. Теплова ізоляція трубопроводів теплових мереж виконана за вимогами СНіПу 2.04.07-86. Споживається тепла енергія таких параметрів: перегріта пара температурою 200-220 °С і тиском 0,7 МПа та температурою 350-370 °С тиском 1,0-1,35 МПа, теплофікаційна вода за відповідним температурним графіком на опалення до 105 °С та гаряче водопостачання до 75 °С.

Електропостачання підприємства здійснюється від районних підстанцій ЗСЕМ «Запоріжжяобленерго» 10 і 6 кВ та від ЗМЕМ «Запоріжжяобленерго» 6 кВ і 0,4 кВ. Загальна встановлена потужність заводських трансформаторів 263 тис.кВА, коефіцієнт їх завантаження близька до 50%. Комерційний облік надходження електроенергії на вводах здійснюється приладними системами типу EA05RALX-B-4, CE6805B, САЗУ, САЧУ, внутрішній цеховий облік – системами “Граніт” і САЧУ.

Річні обсяги споживання основних енергоресурсів енергоємними цехами підприємства приведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Річні обсяги споживання основних енергоресурсів енергоємними цехами підприємства

Найменування цеху	Вид енергоресурсу		
	2019р.	2020р.	2021р.
1	2	3	3
Електроенергія, кВт год			
Ливарний цех №1	5320849	5699530	5149648
Термічний цех №3	6314027	6175817	7601808
Гальванічний цех №5	4948350	5809615	6089399
Механічний цех №8	576355	584524	585927
Ливарний цех №10	5815184	7445935	9096789
Теплосиловий цех №14	35940182	33799426	35210223
Ливарний цех №21	5915099	6599530	5538636
ВСЬОГО:	64830046	66114377	69272430
Природний газ, тис м <sup>3</sup>			
Ливарний цех №1	228,20	381,90	431,65

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4
Ливарний цех №1	228,20	381,90	431,65
Термічний цех №3	687,96	804,92	572,76
Ливарний цех №10	287,39	406,36	575,29
Теплосиловий цех №14	0,00	0,00	0,00
Ливарний цех №21	18,50	74,70	167,96
ВСЬОГО:	1222,05	1667,88	1747,66
Стисле повітря (на технологію), Гкал			
Ливарний цех №1	11697,37	14297,15	14588,25
Термічний цех №3	5336,64	6500,40	6648,70
Гальванічний цех №5	14203,00	17323,47	17656,50
Механічний цех №8	892,00	368,33	371,50
Ливарний цех №10	8230,8	11013,5	14083,0
Теплосиловий цех №14	6211,50	7145,50	7230,00
Ливарний цех №21	8604,00	11607,72	11848,80
ВСЬОГО:	53473,51	65298,37	66574,55
ГВП, Гкал			
Ливарний цех №1	266,59	255,18	242,12
Термічний цех №3	881,10	821,50	834,60
Гальванічний цех №5	2582,92	2410,68	2395,22
Механічний цех №8	310,59	255,19	242,54
Ливарний цех №10	606,38	755,18	918,68
Теплосиловий цех №14	1159,54	1203,03	1214,27
Ливарний цех №21	288,13	298,47	301,34
ВСЬОГО:	6191,04	5843,51	5836,47
Опалення, Гкал			
Ливарний цех №1	835,00	696,00	460,72
Термічний цех №3	899,50	759,40	506,00
Гальванічний цех №5	1119,09	928,64	613,00
Механічний цех №8	742,00	620,00	421,00
Термічний цех №3	899,50	759,40	506,00
Гальванічний цех №5	1119,09	928,64	613,00
Механічний цех №8	742,00	620,00	421,00
Ливарний цех №10	324	498,98	558,15

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4
Ливарний цех №10	324	498,98	558,15
Теплосиловий цех №14	655,00	557,00	377,50
Ливарний цех №21	496,00	494,00	324,00
ВСЬОГО:	5357,59	4549,04	3026,22
Пар, Гкал			
Ливарний цех №1	2035,80	1742,11	1448,45
Термічний цех №3	14867,83	12802,00	10629,50
Гальванічний цех №5	24980,70	21518,88	17869,86
Механічний цех №8	976,00	0,00	0,00
Ливарний цех №10	6679	7539,87	7919,54
Теплосиловий цех №14	149,00	0,00	0,00
Ливарний цех №21	1270,60	1231,00	1013,67
ВСЬОГО:	52650,27	45341,99	37640,48
Технічна вода ,м <sup>3</sup>			
Ливарний цех №1	108066,00	40075,00	42343,00
Термічний цех №3	328231,00	308990,00	278775,00
Гальванічний цех №5	85905,00	77708,00	3752,00
Механічний цех №8	4328,00	4954,00	3497,00
Ливарний цех №10	88168,00	84188,00	93398,00
Теплосиловий цех №14	441252,00	546406,00	643644,00
Ливарний цех №21	164808,00	155872,00	88133,00
ВСЬОГО:	1288153	1272790	1148312
Питна вода ,м <sup>3</sup>			
Ливарний цех №1	28486,07	21604,34	26921,36
Термічний цех №3	21499,69	16235,54	21252,70
Гальванічний цех №5	68392,19	52194,78	26791,45
Механічний цех №8	4194,10	3474,59	3167,39
Ливарний цех №10	20523,07	24719,87	28677,81
Теплосиловий цех №14	227565,30	180471,74	90399,27
Ливарний цех №21	15738,34	12946,47	17842,26
ВСЬОГО:	403737,76	314962,03	206897,50

Згідно з таблицею 2.1 на рисунку 2.1 показано річні витрати на енергетичні ресурси підприємством за 2021 рік, %.



Рисунок 2.1 – Річні витрати на енергетичні ресурси підприємством за 2021 рік, %

Аналіз динаміки споживання енергетичних ресурсів промисловим підприємством показує, що в останні роки простежується стійка тенденція до збільшення їх обсягів (Табл. 2.1, 2.2.)

Із даних таблиці 2.1 бачимо, що енергоспоживання підприємством у 2021р. збільшилось порівняно із попереднім роком. При цьому у 2021 р. мало місце найбільше збільшення обсягів використання теплової енергії (на 5% порівняно із 2020 р), споживання природного газу (на 4,5 %.), електроенергії енергії (на 4,3%).

Споживання енергетичних ресурсів ливарним цехом № 10 підприємства АТ «Мотор Січ» за останні 5 років представлені в таблицях 2.3 – 2.10 та на рисунках 2.2 – 2.9.

Таблиця 2.3 – Електроенергія, кВт·год

Місяць/рік	2017р.	2018р.	2019р.	2020р.	2021р.
Січень	498540	470734	453000	570000	557453
Лютий	506494	504818	400653	581966	711359
Березень	483988	494944	465051	530254	613134
Квітень	409085	533702	486 292	531949	761499
Травень	424790	386113	310 287	476257	642227
Червень	462376	438341	473 278	636710	800142
Липень	495222	509612	596108	698571,5	801035
Серпень	463875	450395	538133	706849	875565
Вересень	431717	466078	542614	704529	866444
Жовтень	514066	492127	494408	611147,5	727887
Листопад	565974	605070	522735	675613	828491
Грудень	547869	432196	532625	722089	911553
Всього:	5803996	5784130	5815184	7445935	9096789

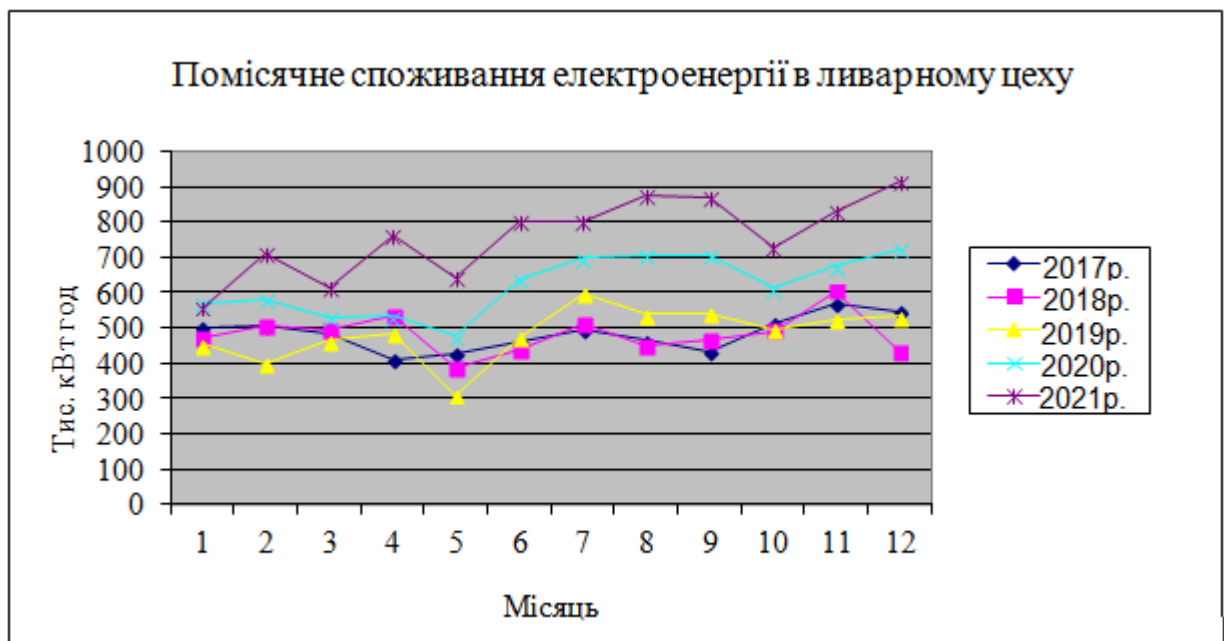


Рисунок 2.2 – Помісячне споживання електроенергії в ливарному цеху

Таблиця 2.4 – Теплоенергія (гаряче водопостачання), Гкал

Місяць/рік	ГВП				
	2017р.	2018р.	2019р.	2020р.	2021р.
Січень	79	112	97	99	83,5
Лютий	76	109	80,5	81,2	86,5
Березень	77	103	96	92,7	117
Квітень	74,5	57,5	44	78,3	112,6



Продовження таблиці 2.4

Місяць/рік	2017р.	2018р.	2019р.	2020р.	2021р.
Травень	31	28	16,7	42,32	67,94
Червень	1,8	2,25	3,3	13,6	23,9
Липень	1	0,99	4,18	13,40	22,61
Серпень	0,87	0,74	16,7	22,71	28,71
Вересень	32	19,98	32	39,6	47,2
Жовтень	67	72	48	76,35	104,7
Листопад	143	48	76	89,75	103,5
Грудень	119	46	92	106,26	120,52
Всього:	702,17	599,46	606,38	755,18	918,68

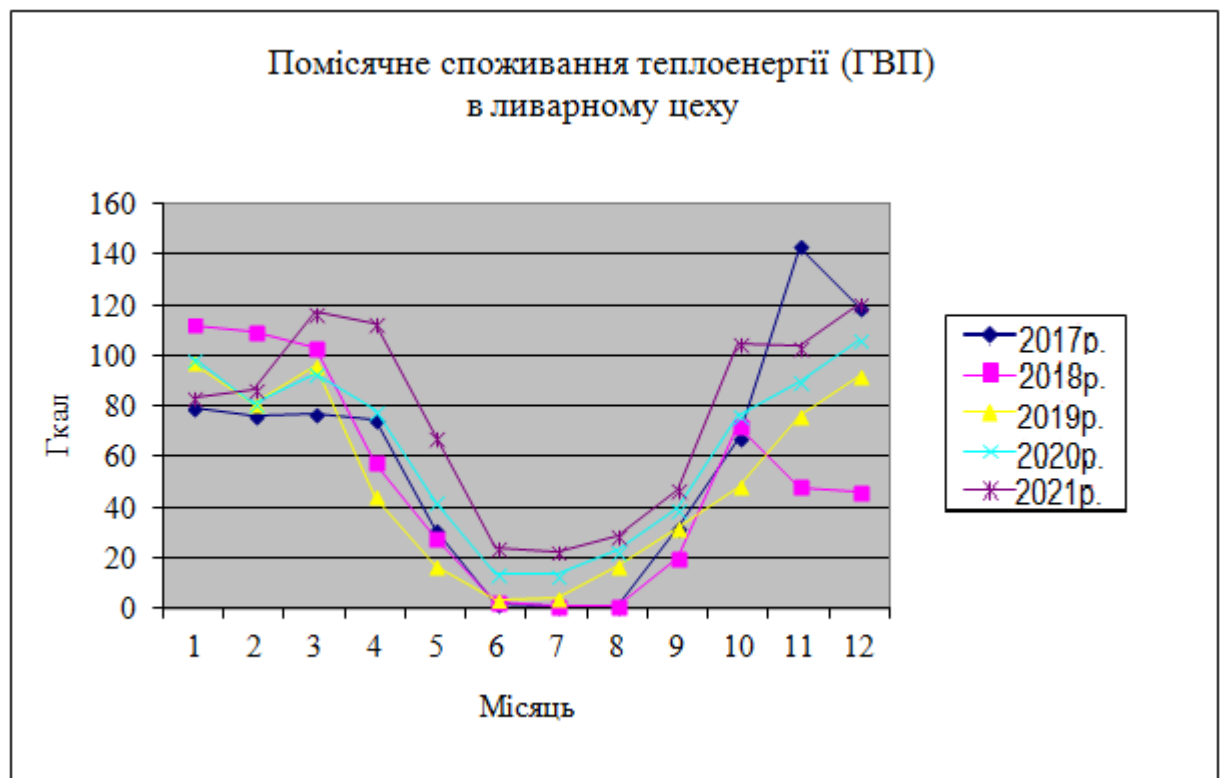


Рисунок 2.3 – Помісячне споживання теплової енергії (ГВП) в ливарному цеху

Таблиця 2.5 – Теплоенергія (опалення), Гкал

Місяць/рік	Опалення				
	2017р.	2018р.	2019р.	2020р.	2021р.
Січень	108	164	40	165	147,1
Лютий	141	104	67	97	134,4
Березень	92	64	61	55,8	70,3
Квітень	7	0	0	10,99	21,98
Жовтень	38	22	12	22,15	32,3
Листопад	115	45	41	55,32	69,64
Грудень	110	95	103	92,715	82,43
Всього:	611	494	324	498,975	558,15

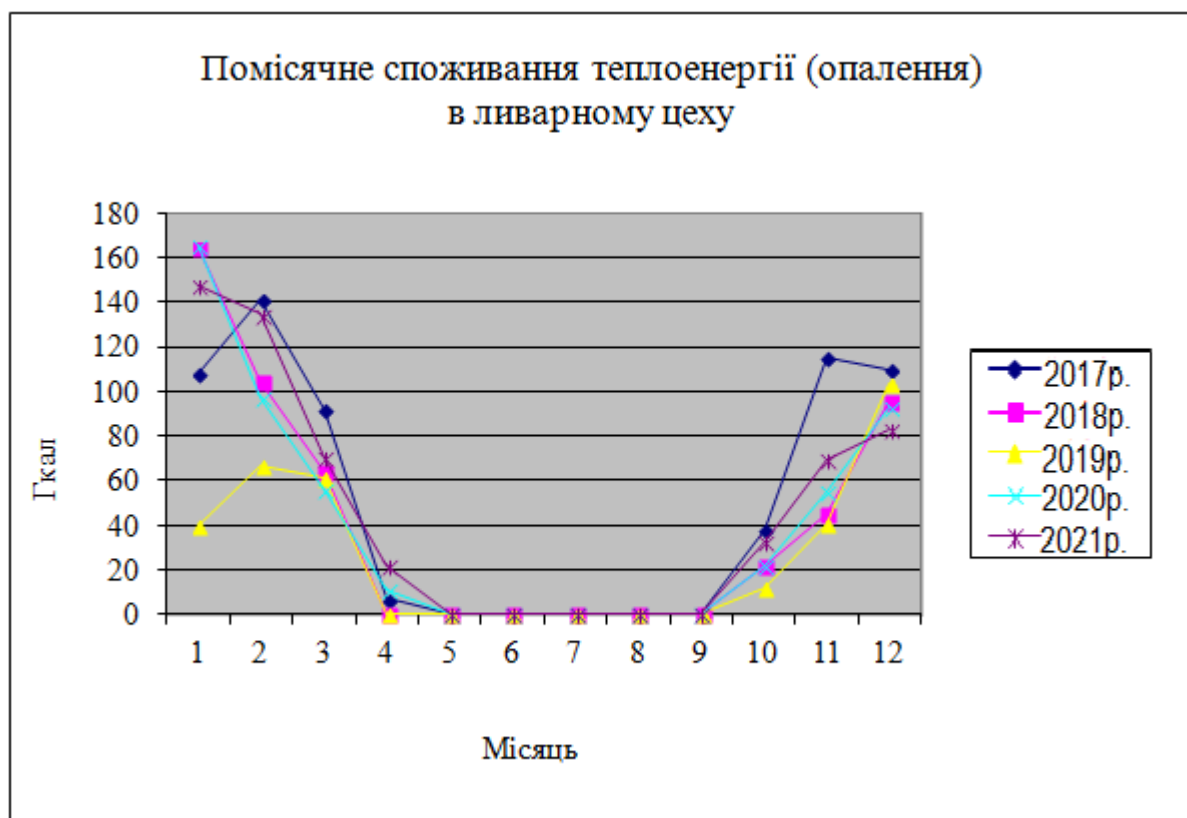


Рисунок 2.4 – Помісячне споживання теплової енергії (опалення) в ливарному цеху

Таблиця 2.6 – Теплоенергія (пар), Гкал

Місяць/рік	Пар				
	2017р.	2018р.	2019р.	2020р.	2021р.
Січень	877	762	709	812	747
Лютий	833	785	667,5	835	791,2
Березень	876	901	705,5	895	982,6
Квітень	901	731	489	586,7	684,4
Травень	727	712	413	464,60	516,19
Червень	528	521	368	427,65	487,3
Липень	604	578	350	420,28	490,56
Серпень	550	473	413	453,20	493,39
Вересень	433	458	438	482,8	527,6
Жовтень	975,34	507	500	592,7	685,4
Листопад	793	795	794	780,95	767,9
Грудень	1066	825	832	789	746
Всього:	9163,34	8048	6679	7539,87	7919,54

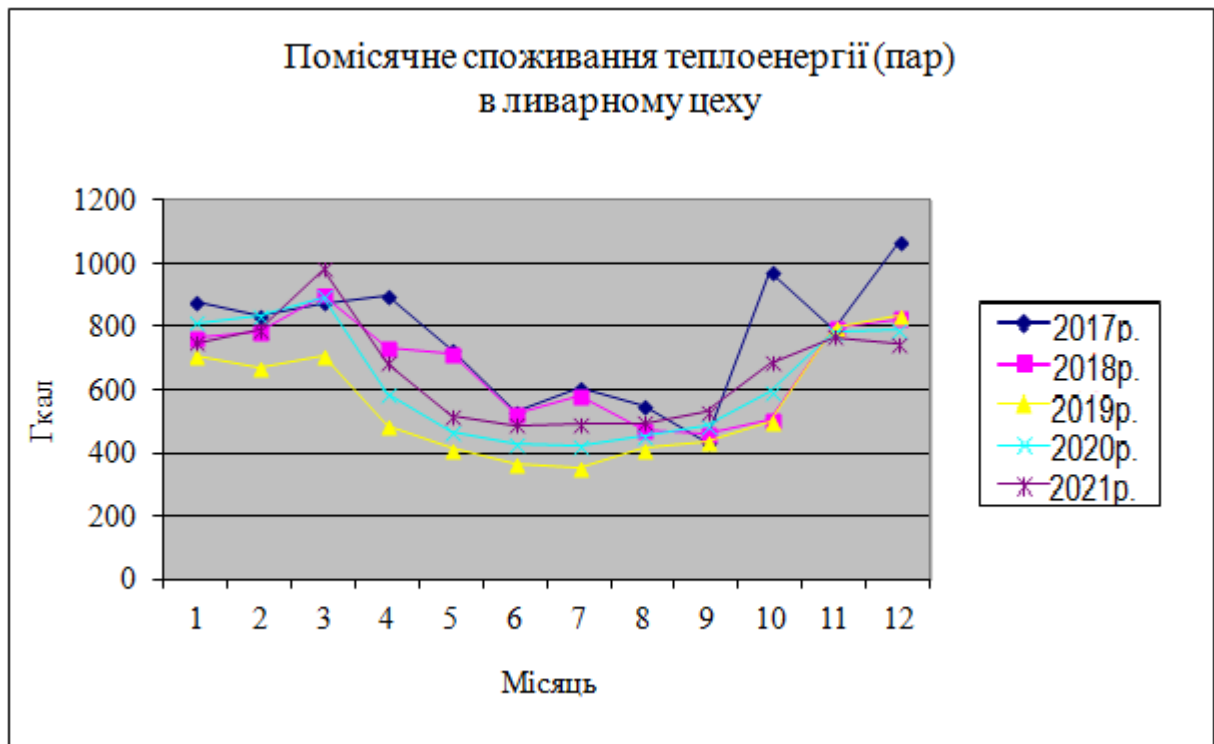


Рисунок 2.5 – Помісячне споживання теплової енергії (пар) в ливарному цеху

Таблиця 2.7 – Стисле повітря (на технологію), Гкал

Місяць/рік	2017р.	2018р.	2019р.	2020р.	2021р.
Січень	450	650	512	761,1	1075
Лютий	500	665	581	805	1121
Березень	523	672	603	861	1249
Квітень	515	619	635	895,5	1156
Травень	504	618	595	814,5	1034
Червень	528	617,8	749	913,5	1078
Липень	587	743	782	967	1152
Серпень	580	667	595	905,5	1216
Вересень	527	699	687	1001,5	1316
Жовтень	617	784	836	1050,5	1265
Листопад	561	665	862,8	1047,4	1232
Грудень	637	656	793	991	1189
Всього:	6529,0	8055,8	8230,8	11013,5	14083,0

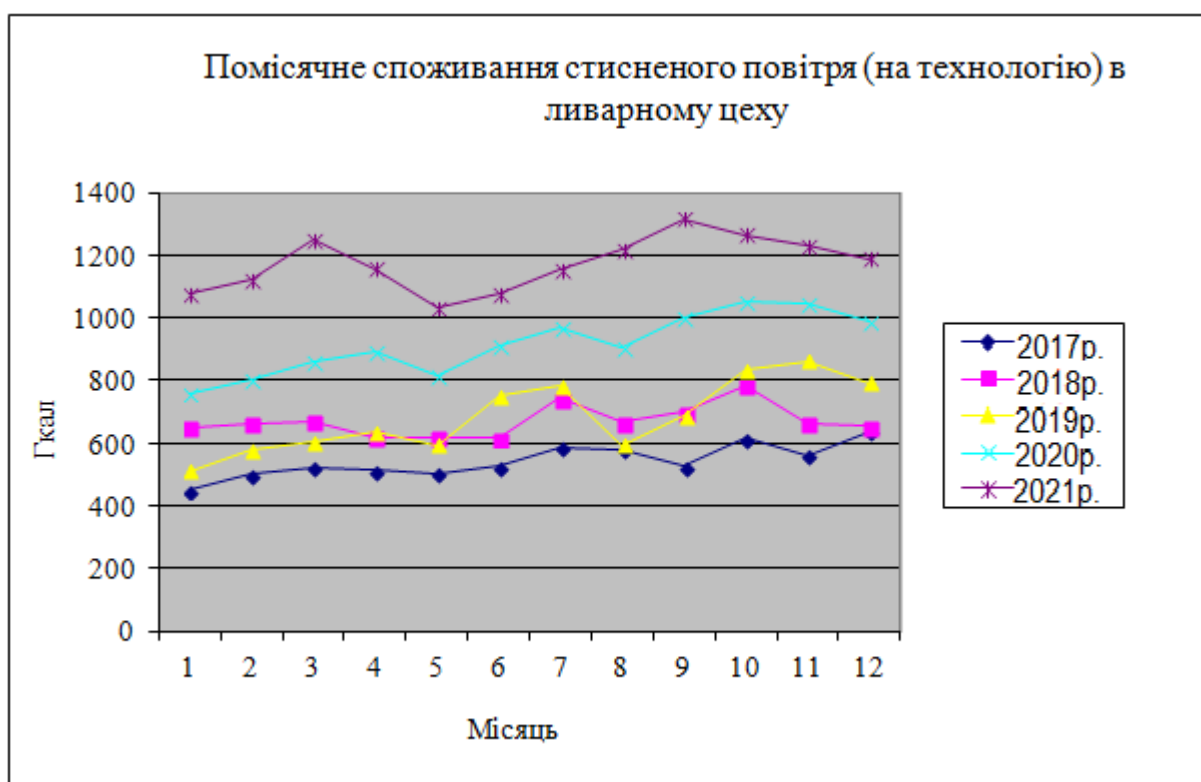


Рисунок 2.6 – Помісячне споживання стисненого повітря (на технологію) в ливарному цеху

Таблиця 2.8 – Природний газ, тис.м<sup>3</sup>

Місяць/рік	2017р.	2018р.	2019р.	2020р.	2021р.
Січень	63,60	69,70	12,50	24,00	56,09
Лютий	71,90	39,90	20,40	24,30	50,65
Березень	78,80	38,20	21,30	32,87	51,38
Квітень	74,20	47,00	25,00	32,20	39,38
Травень	81,80	37,70	19,80	30,44	41,09
Червень	77,90	34,30	26,80	35,32	43,84
Липень	80,40	45,50	31,70	37,75	43,80
Серпень	80,70	25,10	26,60	36,92	47,25
Вересень	78,80	32,90	24,40	38,40	52,40
Жовтень	81,90	17,10	26,75	40,13	53,52
Листопад	79,50	25,00	27,86	35,63	43,39
Грудень	75,30	23,53	24,28	38,39	52,51
Всього:	924,80	435,93	287,39	406,36	575,29

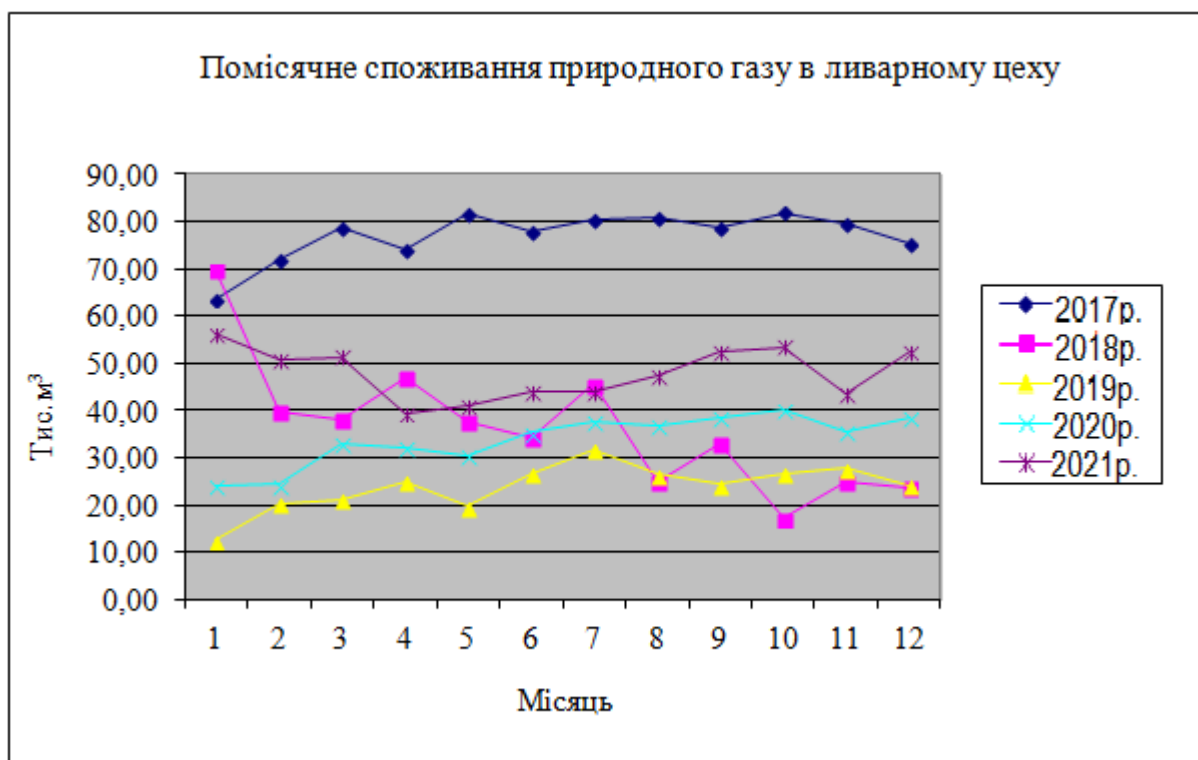


Рисунок 2.7 – Помісячне споживання природного газу в ливарному цеху

Таблиця 2.9 – Питна вода, м<sup>3</sup>

Місяць/рік	2017р.	2018р.	2019р.	2020р.	2021р.
Січень	2879,80	3402,57	1465,96	1935,89	1532,53
Лютий	2784,74	3422,03	1402,95	1938,07	1719,88
Березень	3285,86	3136,40	1895,67	2002,55	2288,09
Квітень	3118,45	2493,77	1690,94	1459,96	2438,07
Травень	2828,26	2201,66	1450,70	1692,48	1934,26
Червень	2494,60	1833,07	1241,44	1490,24	1739,04
Липень	2235,13	3124,67	1367,20	1549,16	1731,11
Серпень	2379,83	1753,30	1928,27	2270,52	2612,77
Вересень	3202,67	2241,19	1946,11	2176,65	2407,18
Жовтень	3857,87	2330,67	1868,88	2631,58	3394,28
Листопад	4011,62	1229,14	2168,26	2811,17	3454,07
Грудень	4783,24	866,10	2096,69	2761,61	3426,53
Всього:	37862,07	28034,57	20523,07	24719,87	28677,81

Каналіз. від пит. води складає 84,45%

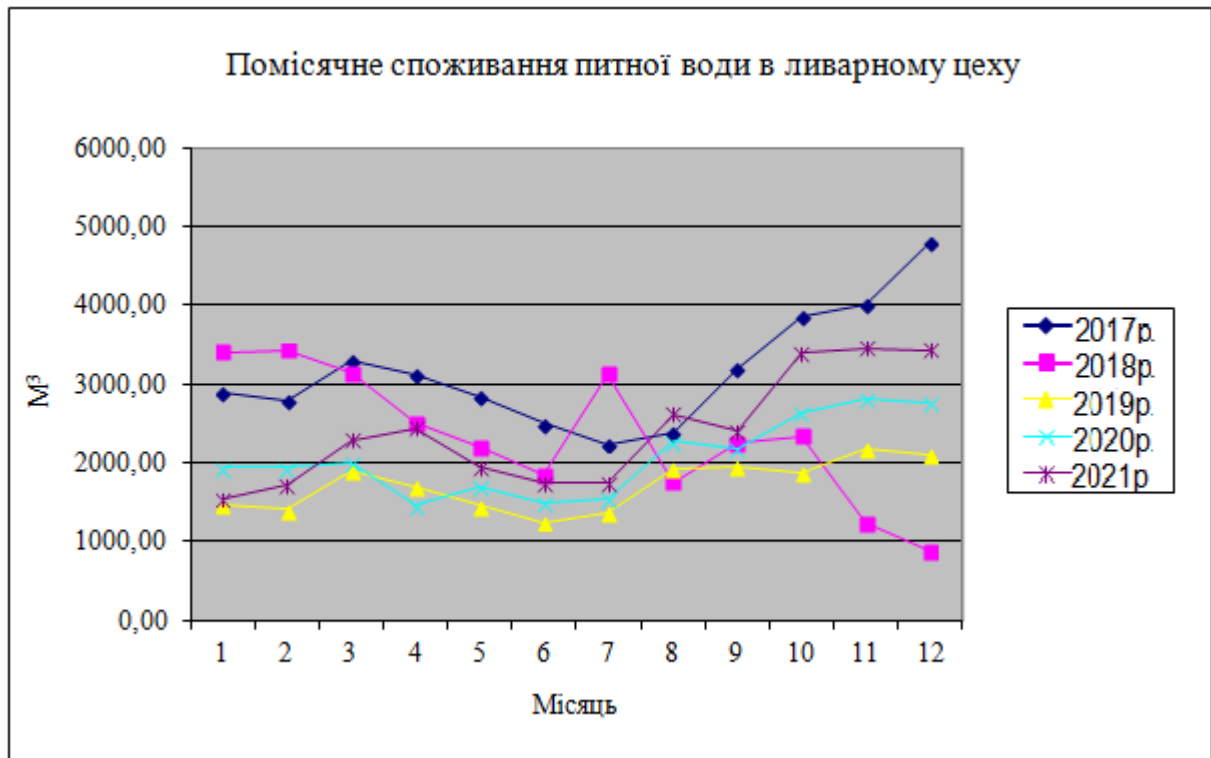


Рисунок 2.8 – Помісячне споживання питної води в ливарному цеху

Таблиця 2.10 – Технічна вода, м<sup>3</sup>

Місяць/рік	2017р.	2018р.	2019р.	2020р.	2021р.
Січень	12417,00	16995,00	8325,00	5320,00	2680,00
Лютий	11075,00	8977,00	7423,00	5320,00	6098,00
Березень	11718,00	10000,00	7520,00	4890,00	8900,00
Квітень	11230,00	11252,00	6300,00	5498,00	8000,00
Травень	12945,00	11120,00	7100,00	7350,00	7600,00
Червень	13826,00	10384,00	8900,00	8850,00	8800,00
Липень	15112,00	13397,00	9564,00	9632,00	9700,00
Серпень	14290,00	14098,00	7023,00	8096,50	9170,00
Вересень	11444,00	12528,00	6620,00	7710,00	8800,00
Жовтень	14463,00	12884,00	6100,00	7075,00	8050,00
Листопад	12123,00	8700,00	5000,00	6400,00	7800,00
Грудень	14920,00	8450,00	8293,00	8046,50	7800,00
Всього:	155563,00	138785,00	88168,00	84188,00	93398,00

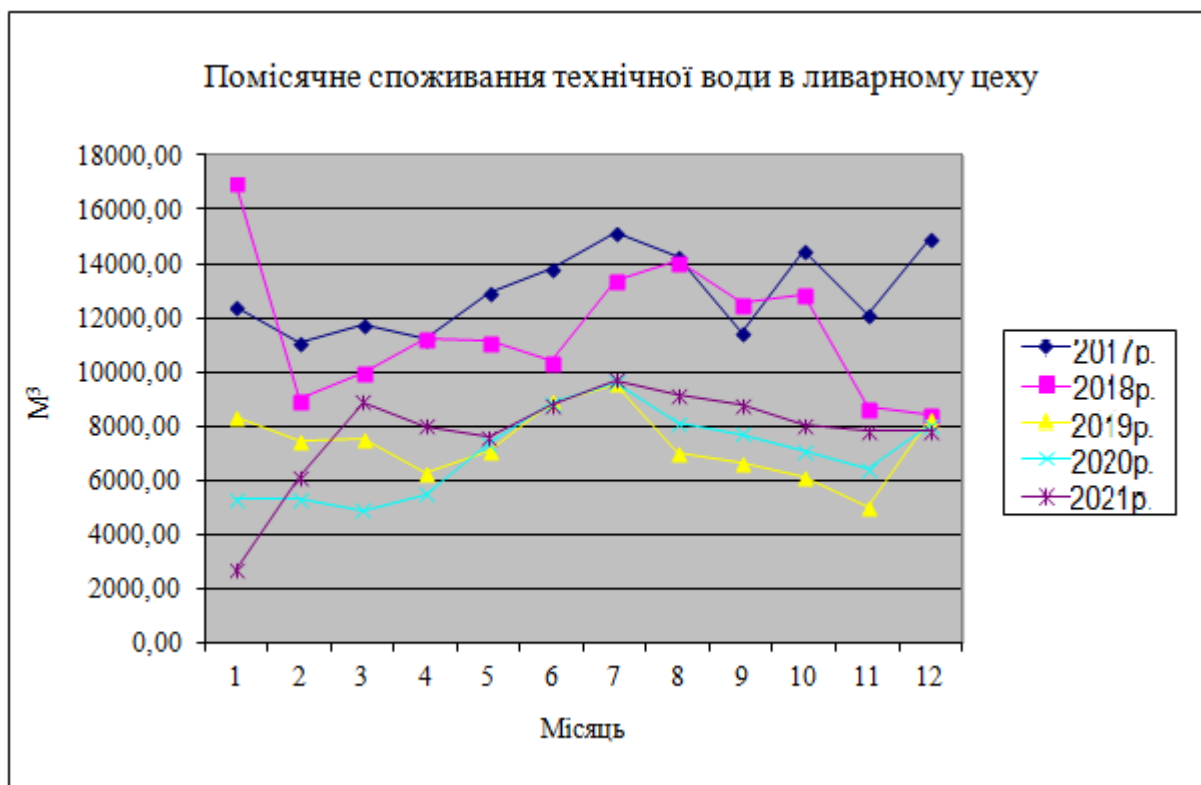


Рисунок 2.9 – Помісячне споживання технічної води в ливарному цеху

Річне споживання енергетичних ресурсів ливарного цеху №10 представлена в зведеній таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Річне споживання енергетичних ресурсів ливарного цеху №10 підприємства АТ «Мотор Січ»

№п/п	Види енергоресурсів	Одиниці виміру	Обсяги споживання				
			2017р.	2018р.	2019р.	2020р.	2021р.
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Електроенергія	кВт.год	5803996	5784130	5815184	7445935	9096789
2	Теплоенергія (власне виробництво)	Гкал	17005,5	17197,3	15840,2	19807,5	23479,4
3	Природний газ	тис.м <sup>3</sup>	924,8	435,9	287,3	406,4	575,3
4	Технічна вода	м <sup>3</sup>	155563	138785	88168	84188	93398
5	Питна вода	м <sup>3</sup>	37862	280345	20523	24720	28678

Обсяг витрат на енергоресурси ливарним цехом №10 за 2021 рік представлені на рисунку 2.10.



Рисунок 2.10 – Обсяг витрат на енергоресурси ливарним цехом №10 за 2021 рік, грн.



## 2.2 Заходи з енергозбереження, що пропонуються

Згідно проведеного аналізу енергоспоживання підприємства проблема енергозбереження, завдання зниження енергоємності продукції є актуальною.

У структурі вартості виливки до 25% становлять витрати на енергоносії. Зниження цієї частки істотним чином позначається на собівартості кінцевого виробу [9].

Ливарне виробництво залежить від цінової політики на ринку на сировинні матеріали, паливо, електроенергію, транспорт. В даний час структура собівартості виливків така: енерговитрати і витрати на паливо становлять 50-60%, витрати на вихідні матеріали (піски, глини, фарби, смоли, шихтові матеріали і феросплави) - 30-38%, інше - 8-17%.

Основним споживачем енергії і, в той же час, головним джерелом ВЕР в ливарному виробництві є плавильні та нагрівальні печі. Більшість паливних плавильних агрегатів мають тепловий ККД на рівні (35-45)%, у термічних печах цей показник знаходиться в межах (25-30)%, а нагрівальні печі, що працюють на рідкому чи газоподібному паливі, мають тепловий ККД всього 7-12%. При цьому енергія, не використовувана в технологічному процесі, не просто розсіюється, але, як правило, викидається разом з газами, що відходять в атмосферу забруднюючи навколишнє середовище. Таким чином, утилізація ВЕР важлива не тільки з точки зору енергозбереження, але і з позицій охорони природи [10].

Існує декілька способів утилізації ВЕР, що містяться у відхідних газах:

- рекуперация;
- підігрів повітря для технологічних цілей або опалення цеху;
- нагрів води для технологічних чи побутових потреб.

Кожен з них має свої особливості і технічні засоби, вибір визначається економічними показниками й конкретними заводськими умовами. У першому наближенні можна вважати, що за допомогою повітря підігрівачів можна використовувати 60-70% тепла відхідних газів, охолодивши їх, таким

чином, до 180-120 С на виході. Водопідігрівачі (економайзери) дозволяють одержувати навіть трохи більшу ефективність утилізації тепла - до 70-75% і використовувати низькотемпературні гази, що відходять (з середньою температурою 150-200 С). Разом з тим використання повітря підігрівачів носить сезонний характер, а установки підігріву води вимагають ресиверів, компенсуючих несинхронність подачі та споживання води.

Використання гарячого повітря для інших технологічних агрегатів, наприклад, для сушіння піску, попереднього нагріву заготовок, сушіння стрижнів після фарбування і т.п., припускає паралельний режим роботи і зменшує маневреність обладнання. Як правило, в подібних випадках необхідно зберігати альтернативні джерела тепла: газові пальники, електронагрівачі і т.п.

Рекуперация (повернення) частини теплової енергії в піч - один з найбільш раціональних способів використання високотемпературних (> 700 °С) ВЕР, і, хоча к.к.д. більшості рекуператорів не перевищує 30-40%, їх використання зберігає автономність пічної установки, забезпечує скорочення питомої витрати палива і дозволяє істотно поліпшити технологічні характеристики печі.

Серйозною проблемою ливарного виробництва залишається екологія, так як при виплавці та позапічної обробці ливарних сплавів, виготовленні форм і стержнів, заливці і вибивка ливарних форм, очищенню виливків виділяється значна кількість пилу і шкідливих газів, які негативно впливають на навколишнє середовище. Наприклад, при виробництві 1 т виливків з чорних сплавів виділяється близько 50 кг пилу, 250 кг оксиду вуглецю, 1,5-2,0 кг оксиду сірки і 1,0 кг вуглеводнів [11].

Найбільш перспективними напрямками розвитку ливарного виробництва, що знижують екологічну небезпеку, є:

- розробка й освоєння екологічно безпечних та безвідходних процесів і обладнання,

- застосування регенерації відпрацьованих сумішей на місцях їхнього утворення з поверненням (до 95%) у виробництво,
- утилізація твердих відходів і використання їх в дорожньому будівництві і для засипки відпрацьованих кар'єрів і шахт,
- створення замкнутих циклів водопостачання.

Для енергозбереження пропонується встановити мікро-ГЕС в системі оборотного водопостачання.

### 2.3 Висновок

Аналіз динаміки споживання енергетичних ресурсів ливарним цехом №10 підприємства АТ «Мотор Січ» показує, що в останні роки простежується стійка тенденція до збільшення їх обсягів таблиця 2.11.

Із даних таблиці 2.11 бачимо, що енергоспоживання ливарним цехом №10 у 2021р. збільшилось порівняно із попереднім роком. При цьому у 2021 р. мало місце найбільше збільшення обсягів споживання природного газу (на 29,4%), електроенергії енергії (на 18%), теплової енергії (на 15,6%), питної води (на 13,8%), технічної води (на 9,9%).

### 3. ЗАХОДИ З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ЛИВАРНОГО ЦЕХУ

#### 3.1 Впровадження мікро-ГЕС в системі оборотного водопостачання

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. 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, оскільки вони є більш маневреними з точки зору монтажу та підключення до мережі.

Проектуванням і розробкою устаткування для таких ГЕС займаються багато науково-виробничих організацій і фірм. Одна з яких – Chengdu Forster Technology(Китай), 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 [29,30].

Гідроагрегати для малих і мікро-ГЕС, що випускають Chengdu Forster Technology, характеризуються високими енергетичними показниками й випускаються із пропелерними, радіально-осьовими й ковшовими турбінами (рис. 3.1). 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 рис. 3.2.(а,б,в,г).

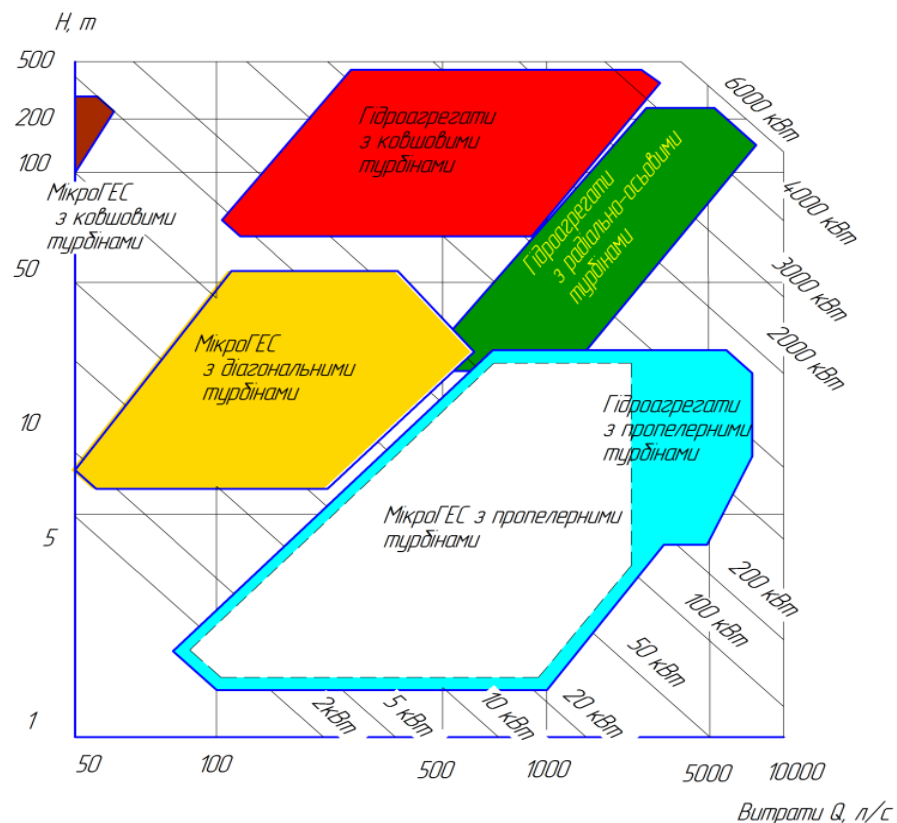


Рисунок 3.1 – Енергетичні характеристики гідроагрегатів Chengdu Forster Technology

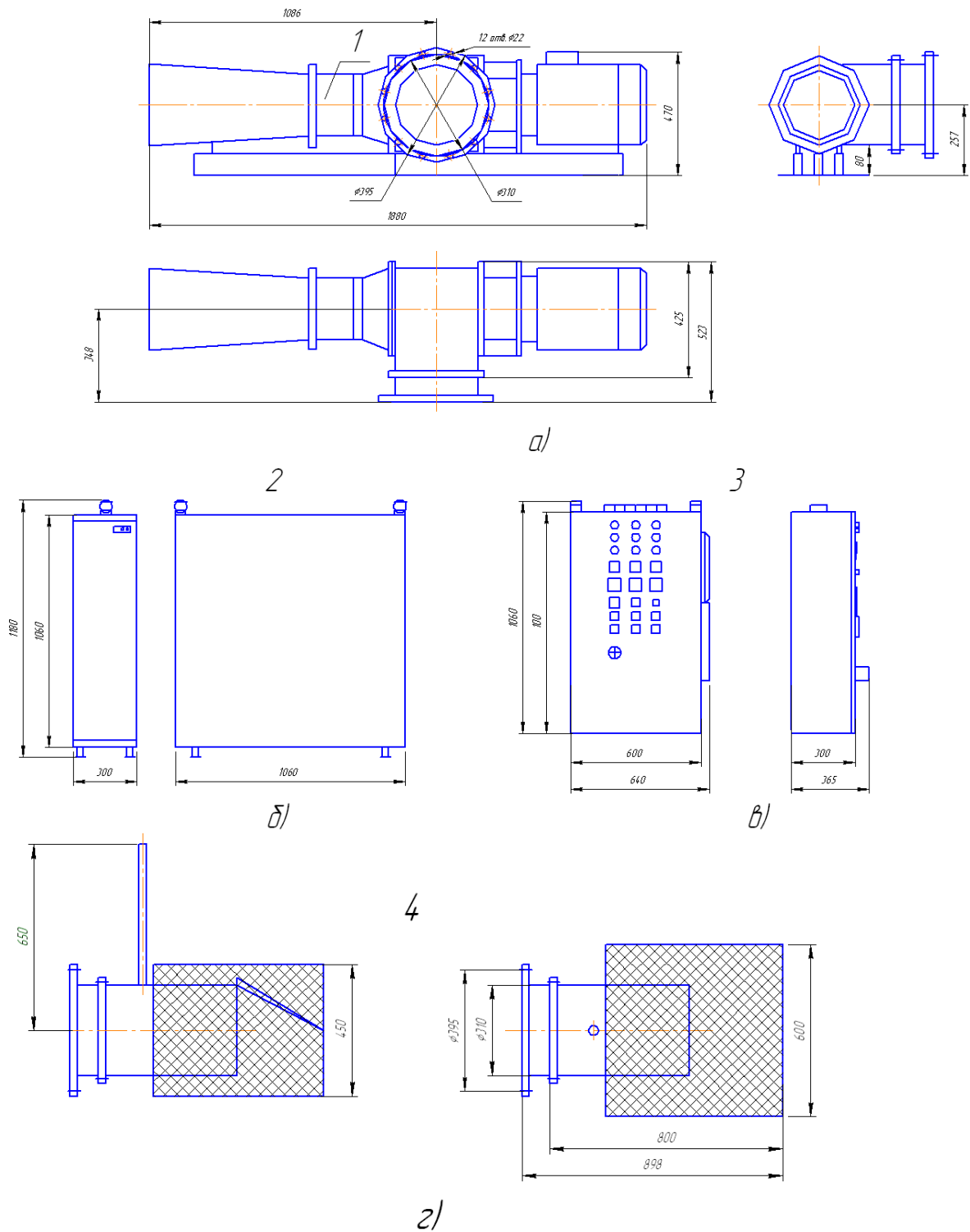


Рисунок 3.2 – Габаратні і установчі розміри пропелерної мікро-ГЕС  
10Пр

1 – енергоблок, 2 – блок баластного навантаження ББН, 3 – пристрій автоматичного регулювання ПАР, 4 – фундамент.

Таблиця 3.1 – Основні технічні характеристики мікро-ГЕС із пропелерними турбінами виробництва Chengdu Forster Technology

№	Параметри	Тип мікро-ГЕС					
		10Пр		15Пр	50Пр		100Пр
1	2	3		4	5		6
1	Потужність, кВт	0,6-4	2,2-10	3,5-15	10-30	10-50	40-100,0
2	Напір, м	2,0-4,5	4,5-10	4,5-12	2,5-6	4-10	6-18
3	Витрата, м <sup>3</sup> /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
4	Частота обертання, хв <sup>-1</sup>	1000	1500	1500	600	750	1000
5	Номінальна напруга, В	230		400	230, 400		230, 400
6	Ном.частота струму, Гц	50					

Таблиця 3.2 – Основні технічні характеристики мікро-ГЕС із діагональною й ковшовою турбінами Chengdu Forster Technology

№	Параметри	Тип мікро-ГЕС		
		20ПрД	100ДО	200ДО
1	Потужність, кВт	10 - 20	до 100	до 200
2	Напір, м	8-18	40-250	
3	Витрата, м <sup>3</sup> /с	0,080-0,170	0,015-0,046	0,015-0,130
4	Частота обертання, хв <sup>-1</sup>	1500	600; 750; 1000	
5	Номінальна напруга, В	230,400	230 , 400	
6	Номінальна частота струму, Гц	50	50	

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<sup>3</sup>/с. Потоки із зазначеними характеристиками досить часто зустрічаються в багатьох галузях промисловості. Лише останніми роками на ці потенційні енергоресурси звернули увагу в гідромашинобудуванні, але за кордоном.

Наприклад, в Фінляндії розпочато виробництво таких гідротурбін з напорами 1,5-3,5м, які застосовуються в технічно-транспортних системах [28].

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, вибрати таке обладнання для роботи в умовах низьких напорів недоцільно.

За відповідного корегування законодавчої бази щодо товарів, які імпортуються, і звільнення від мита тих з них, до яких належить і енергозберігаюче утилізаційне обладнання, впровадження останнього може стати рентабельним. Так, наприклад, в Україні діє Закон № 760-V (стаття 19) від 16.03.2007 р., згідно з яким «устаткування, яке працює на нетрадиційних та поновлюваних джерелах енергії, енергозберігаюче обладнання і матеріали, засоби вимірювання, контролю та управління витратами паливно-енергетичних ресурсів, обладнання та матеріали для вироблення альтернативних видів палива, які ввозяться на митну територію України вітчизняними підприємствами, за умови, що ці товари використовуються ними для власних потреб і якщо ідентичні товари з аналогічними якісними показниками не виробляються в Україні» звільняється від ввізного мита.

У законі, на жаль, не враховується, що виготовлені на вітчизняних підприємствах мікро-ГЕС хоча і мають практично однакові технічні параметри з імпортованими, однак ККД останніх значно вище, а при обмеженій витраті технічної води в плані підприємства (цеху) саме він є визначальним. Очевидно, що якщо зняти обмеження на ввезення зазначеного імпортного енергогенеруючого обладнання, собівартість електроенергії, що буде ним вироблятися, значно знизиться, і, отже, можна буде говорити про конкурентоспроможність останнього.



Існує кілька методик, що дозволяють оцінити потребу підприємства в технічній воді. Розрахунок індивідуальних норм водоспоживання та водовідведення у відповідності з методикою [23,24] зводиться до визначення необхідної витрати води за операціями і агрегатами як основного, так і допоміжного виробництва. Така витрата визначається:

- для обладнання заводського виготовлення приймається за паспортними даними заводу-виготовлювача;
- для прокатного обладнання (охолодження валків, гідрозбивання окалини і т.п.), у зв'язку з відсутністю методики розрахунку, приймається за досягнутого рівня експлуатації;
- на охолодження елементів обладнання, що не має паспортних даних, визначається за формулами методики [25].

Розрахунок необхідної кількості води для охолодження металургійних агрегатів [25] полягає у визначенні її витрати при заданому тепловому потоці, тепловому навантаженні і якості [23,24,26,27]. Необхідна кількість рідини на охолодження елементів технологічного обладнання, що не мають паспортних даних, приймається як найбільша з таких, що:

- 1) забезпечує відведення теплоти від  $i$ -го елемента, який охолоджується м<sup>3</sup>/год:

$$Q_{mexi} \geq \frac{Q_{mi}}{1000 \cdot (t_{вух} - t_{вх}) \cdot C}, \quad (3.1)$$

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

2) визначається в залежності від наявності в воді механічних домішок, і розраховується виходячи з необхідної швидкості потоку, м<sup>3</sup>/год

$$Q_{cmi} \geq 3600 \cdot v_{cmi} \cdot F, \quad (3.2)$$

де  $v_{cmi}$  – швидкість в  $i$  – му елементі, що охолоджується [26], м/с;  
 $F$  – площа живого перетину проточної частини  $i$  – го елемента, що охолоджується, м<sup>2</sup>;

3) виключає місцеве плівкове кипіння, тобто забезпечує теплообмін тільки за рахунок конвективного режиму, який також залежить від швидкості потоку [26], м<sup>3</sup>/год

$$Q_{mki} \geq \frac{1,32 \cdot 10^{-5}}{p^{0,2}} \cdot F^{1,2} \cdot q, \quad (3.3)$$

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). 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 [26], м<sup>3</sup>:

$$Q = N \cdot q_m, \quad (3.4)$$

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

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

Форма поперечного перерізу труб і колекторів водовідвідних мереж вибирається, виходячи з гідравлічних, технологічних і будівельних вимог. Найбільш економічна форма поперечного перерізу - кругла. Такі труби зручні в експлуатації і тому набули найбільшого поширення. Попередній розрахунок їх діаметра, що забезпечує необхідну пропускну спроможність проводиться за виразом:

$$d_{кр} = 2 \cdot \sqrt{\frac{Q_{к\max}}{\pi \cdot v_k}}, \quad (3.5)$$

де  $Q_{к\max}$  - величина максимальної витрати для даного джерела;  $v_k$  - швидкість руху рідини в трубопроводі (для безнапірного руху дослідним шляхом визначена швидкість водотоку [31,32]  $v_k = 0,1 \dots 0,3$  м/с, для напірного  $v_k = 1,1 \dots 1,3$  м/с).

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

Розрахунок відстані  $l_{kp}$  між джерелами і центрами збору за їх заданими координатами:

$$l_{kp} = \sqrt{(x_k - x_p)^2 + (y_k - y_p)^2 + (z_k - z_p)^2}, \quad (3.6)$$

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

Ухили водовідвідної мережі слід обчислювати за формулами Дарсі або Шезі. Мінімальний ухил трубопроводів знаходять за формулою [31]:

$$i_{\min} = \frac{\lambda}{4 \cdot R} \cdot \frac{v_{\min}^2}{2 \cdot g}, \quad (3.7)$$

де  $\lambda$  - коефіцієнт гідравлічного тертя [33,34],  $R$  - радіус трубопроводу,  $v_{\min}$  - мінімальна швидкість при безнапірному характері руху рідини.

Для наближених розрахунків на практиці можна скористатися запропонованою С. В. Яковлєвим формулою [34]:

$$i_{\min} = 1/d_{kp}. \quad (3.8)$$

Визначаються характеристики потоку рідини в трубопроводі швидкість руху води з урахуванням останніх:

$$v_k = \sqrt{\frac{8 \cdot g}{\lambda}} \cdot \sqrt{R \cdot i}, \quad (3.9)$$

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

Павловського [31].

При  $0,1 < R < 3м$ :

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^y, \quad (3.10)$$

де  $y = 2,5 \cdot \sqrt{n} - 0,13 - 0,75 \cdot R(\sqrt{n} - 0,1)$ , а  $n = 0,013$  - коефіцієнт шорсткості). Звідси  $R = \omega/\chi$  - гідравлічний радіус,  $\omega$  - площа поперечного перетину потоку,  $\chi$  - змочений периметр,  $i$  - гідравлічний ухил.

Площа поперечного перетину потоку визначається як:

$$\omega = \frac{\pi \cdot d_{кр}^2}{4} \cdot \frac{\varphi}{2 \cdot \pi} + \frac{1}{2} \cdot \left( h - \frac{d_{кр}}{2} \right) \cdot 2 \cdot \sqrt{\left( \frac{d_{кр}}{2} \right)^2 - \left( h - \frac{d_{кр}}{2} \right)^2}, \quad (3.11)$$

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

Змочений периметр знаходимо згідно з виразом:

$$\chi = \frac{\pi \cdot d_{кр} \cdot \varphi}{2 \cdot \pi}. \quad (3.12)$$

Для визначення останнього попередньо необхідно обчислити кут  $\varphi$ :

$$\varphi = \pi + 2 \cdot \alpha, \quad (3.13)$$

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

Останній визначається із співвідношення:

$$\sin \alpha = \frac{h - d_{кр}/2}{d_{кр}/2}. \quad (3.14)$$

Складність розрахунку швидкості потоку полягає в невизначеності глибини останнього в трубопроводі при безнапірному русі рідини. Методику визначення рівня заповнення водою [32] реалізовано з використанням модуля витрати. Оскільки в літературі для знаходження такого рівня  $\frac{h}{d_{кр}}$  за відомим відношенням модуля витрати  $K$  до реальної миттєвої витрати  $Q_{кγ}$  приведено лише допоміжні графіки (рис. 3.3), то для машинного обчислення вищезазначеної величини спочатку треба отримати функцію, яка описує дану залежність.

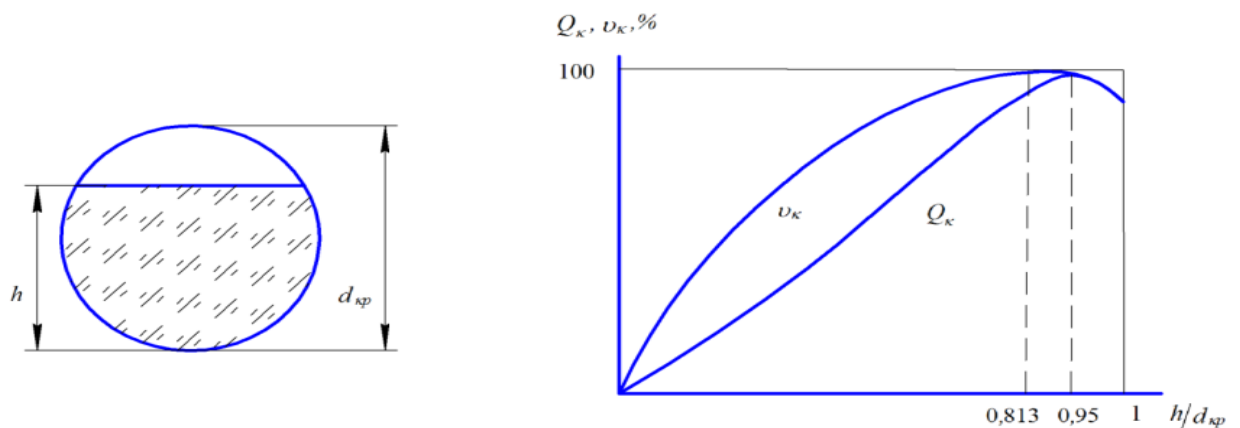


Рисунок 3.3 – Графіки залежності швидкості потоку і витрати від наповнення трубопроводу

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

Для математичного опису вищезазначених залежностей було застосовано інтерполяційний поліном Лагранжа, що дозволяє побудувати функцію на основі існуючих точок, які представлені в таблиці 3.3:

Таблиця 3.3 – Дані для визначення функції інтерполяцією поліномом Лагранжа

$\frac{h}{d_{кр}}$	0	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1
%	0	23	35	43	55	67	81,3

Лагранж запропонував такий спосіб обчислення рівняння:

$$L(x) = \sum_{\gamma=0}^n y_{\gamma} l_{\gamma}(x), \quad (3.15)$$

де базисний поліном визначається як:

$$l_{\gamma}(x) = \prod_{i=0, \gamma \neq i}^n \frac{x - x_i}{x_{\gamma} - x_i} = \frac{x - x_0}{x_{\gamma} - x_0} \dots \frac{x - x_{\gamma-1}}{x_{\gamma} - x_{\gamma-1}} \cdot \frac{x - x_{\gamma+1}}{x_{\gamma} - x_{\gamma+1}} \dots \frac{x - x_n}{x_{\gamma} - x_n}. \quad (3.16)$$

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

Для розрахунку як місцевих, так і по довжині втрат напору, який напряму залежить від характеру руху води в трубопроводі: характеристикою режиму потоку вторинної води служить величина безрозмірного критерія Рейнольдса, який показує співвідношення між силами в'язкості і інерції при русі рідини:  $Re = v \cdot d / \nu$ , при  $Re < Re_{кр}$  - рух ламінарний, при  $Re > Re_{кр}$  - турбулентний. В розрахунках для циліндричних труб приймають  $Re_{кр} = 2320$ , при безнапірному русі -  $Re_{кр} = 580$  [31].

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

$$H_{втр} = H_l + \sum h_m. \quad (3.17)$$

Втрати напору по довжині трубопроводу визначаються за формулами:

$$H_{l_{кр}} = \lambda \cdot \frac{l_{кр}}{d_{кр}} \cdot \frac{v_k^2}{2 \cdot g}, \quad (3.18)$$

$$H_{l_{kp}} = \frac{v_k^2}{C^2 \cdot R} \cdot l_{kp}, \quad (3.19)$$

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

$$\lambda = f(\text{Re}; \kappa_e/d), \quad (3.20)$$

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

За формулою А.Д. Альтштуля [34]:

$$\lambda = 0,11 \cdot (\kappa_e/d + 68/\text{Re})^2 \quad (3.21)$$

При гідравлічному розрахунку як напірних, так і самопливних мереж слід враховувати місцеві втрати напору, які визначаються за формулою Вейсбаха [34]:

$$h_m = \zeta \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}, \quad (3.22)$$

де  $\zeta$  – коефіцієнт місцевого опору, який залежить від значення числа Рейнольдса.

Сума місцевих втрат напору включає його втрати в колінах, відводах засувках і т.д. Втрати в окремому місцевому опорі розраховуються за формулою Вейсбаха. Для циліндричних труб і фасонних частин у колінах опір обчислюється за формулою:

$$h_{нов} = \frac{\Theta}{90^0} \cdot \zeta_{нов} \cdot \frac{v_k^2}{2 \cdot g}, \quad (3.23)$$



де  $\Theta$  - кут повороту в градусах,  $\zeta_{нов}$  - коефіцієнт опору на повороті, рівний для коліна з кутом 0,07.

Для визначення параметрів сумарного потоку необхідно, також, враховувати запізнення  $\tau_{кр}$ , тобто час проходження потоку води від окремого джерела до центру збору і, відповідно, ці витрати води будуть зсунуті на певний час один відносно одного. Визначаються остаточні параметри потоку окремого джерела в указаному центрі збору [35]:  $Q_{кγ}$ ,  $H_{кγ}$ ,  $N_{кγ}$ , де  $N_{кγ} = g \cdot \rho \cdot Q_{кγ} \cdot H_{кγ}$  – потужність водотоку джерела вторинної води, з урахуванням втрат енергії в елементах системи збору. Тут  $\rho$  – щільність рідини;  $H_k$  – напір  $k$ -го джерела, м.

Останній є гідродинамічним напором і являє собою рівняння Бернуллі, представлене в енергетичному сенсі [31]:

$$H_k = z + \frac{p}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha \cdot v^2}{2 \cdot g}, \quad (3.24)$$

де складові, відповідно: перше – геометрична відмітка висоти, з якої відводиться вторинна вода (характеризує потенційну енергію положення одиниці ваги рідини); друге – п'єзометрична висота або напір, обумовлений надлишковим тиском; третє – швидкісний напір, що характеризує кінетичну енергію одиниці ваги рідини. Тут  $\alpha$  – коефіцієнт нерівномірності розподілу швидкостей по перетину потоку (коефіцієнт Коріоліса). В даному випадку  $\alpha = 1,05 \dots 1,1$ .

Визначення параметрів сумарного водотоку для  $p$ -го центра збору гідроресурсу відбувається :  $Q_{pγ}$ ,  $H_{pγ}$ ,  $N_{pγ}$ , а сумарна потужність водотоку, максимальне значення якого і визначає потенціал гідроенергетичної утилізації об'єкту (блок 22), що розглядається, розраховується за виразом:

$$N_{\gamma} = \sum_{p=1}^q N_{p\gamma} \cdot \quad (3.25)$$

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

Розрахунок необхідного діаметра трубопроводу від технологічного обладнання для забезпечення необхідної пропускної спроможності проводиться за формулою(3.5):

$$d = 2 \cdot \sqrt{\frac{278}{3600 \cdot \pi \cdot 1,25}} = 0,28 \text{ м}$$

Виходячи із величини  $d$  з номенклатури стандартних діаметрів трубопроводів вибирається найближчий більший, тобто  $d_{cm} = 0,325$  м.

Ухил водовідвідної мережі обчислюється за формулою (2.10):

$$i = 1/325 = 0,0031$$

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

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

При  $0,1 < R < 3$  м:

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

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

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

$$H_{втр} = 0,12 + 2 \cdot 0,018 = 0,156 \text{ м.}$$

Де втрати напору по довжині трубопроводу визначаються за формулою:

$$H_{лн} = \frac{0,83^2}{52,26^2 \cdot (0,325/4)} \cdot 38 = 0,12 \text{ м}$$

При гідравлічному розрахунку як напірних, так і самопливних мереж слід враховувати місцеві втрати напору в колінах, відводах засувках і т.д., які визначаються за формулою Дарсі-Вейсбаха [33,34]:

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

Результуючий напір в центрі збору з урахуванням втрат дорівнює:

$$H_{втр} = 10,5 - 0,156 = 10,344 \text{ м}$$

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

$$N_l = \frac{9,81 \cdot 1000 \cdot 278 \cdot 10,344}{3600} = 7836,1 \text{ Вт}$$

Після визначених параметрів сумарного вторинного водотоку підбирається обладнання для гідроенергоутилізації, а саме мікро-ГЕС із пропелерними турбінами виробництва Chengdu Forster Technology. Для вищезазначених характеристик потоку вибираємо агрегат типу 10Пр з пропелерною турбіною. Номінальні витрати коливаються в межах 0,1-0,21 м<sup>3</sup>/с,

напори 4,5 – 10 м, потужність 2,2 – 10 кВт. Енергія, що виробляється генератором, визначається згідно з виразом:

$$W_p = N_p \cdot T \cdot \mu_{pt} \cdot \mu_{pg}, \quad (3.26)$$

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

$$W_p = 7836,1 \cdot 8760 \cdot 0,96 \cdot 0,98 = 64580,5 \text{ кВт}$$

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

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

При  $0,1 < R < 3$  м:

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

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

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

$$H_{\text{втр}} = 0,12 + 2 \cdot 0,018 = 0,156 \text{ м.}$$

Де втрати напору по довжині трубопроводу визначаються за формулою:

$$H_{\text{лн}} = \frac{0,83^2}{52,26^2 \cdot (0,325/4)} \cdot 38 = 0,12 \text{ м}$$

При гідравлічному розрахунку як напірних, так і самопливних мереж слід враховувати місцеві втрати напору в колінах, відводах засувках і т.д., які визначаються за формулою Дарсі-Вейсбаха [33,34]:

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

## 3.2 Дослідження динамічних характеристик мікро-ГЕС у Matlab/Simulink

### 3.2.1 Модель гідротурбіни

Математична модель використовується для знаходження аналітичних рішень, які дозволяють прогнозувати поведінку системи із набору заданих параметрів та початкових умов. Комп'ютерне моделювання використовується як заміна для систем моделювання, для яких аналітичні рішення неможливі.

Моделювання в основному поділяється на такі групи:

- Статичне та динамічне моделювання
- Моделювання дискретних подій та безперервне моделювання

- Детерміноване та стохастичне моделювання

Гідротурбіни моделюються нелінійною системою, як показано на рис.3.4.

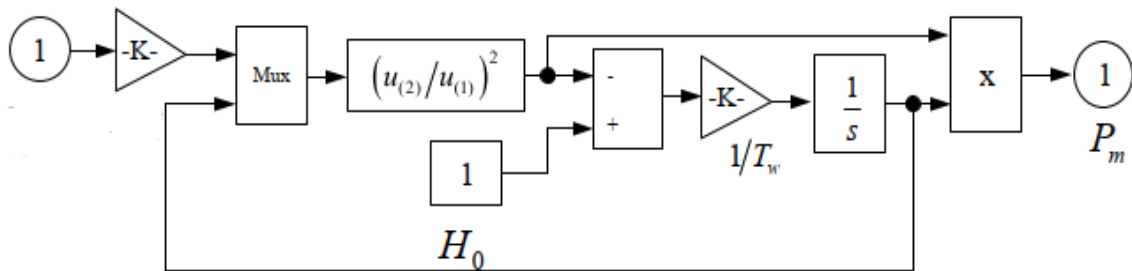


Рисунок 3.4 – Модель Matlab/Simulink для нелінійної підсистеми гідравлічної турбіни

### 3.2.2 Модель ПІД-регулятора

ПІД-регулятор представлений на малюнку 3.5. Він включає у себе сигнал про відхилення швидкості, якщо він не підключений, тоді сигнал використовується як зворотний зв'язок для управління положенням затвора.

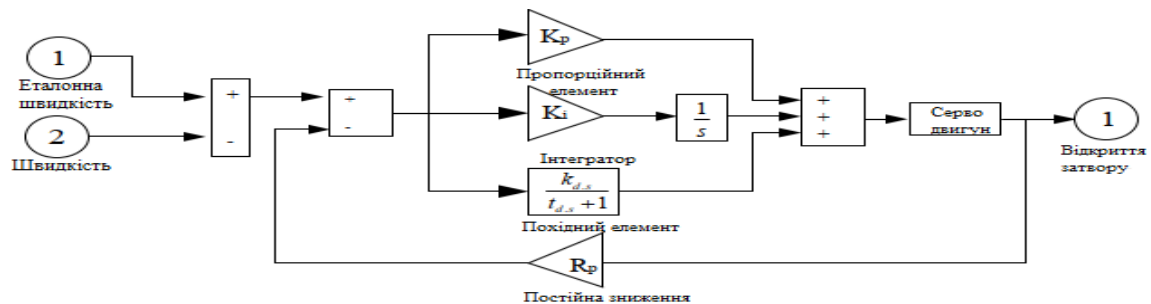


Рисунок 3.5 – Модель Matlab/Simulink для підсистеми PID-регулятора

Окремі компоненти гідроелектростанції поєднуються разом, щоб утворити повну модель гідроелектростанції у Matlab/Simulink, яка використовується для моделювання та аналізу в різних способах роботи. На малюнку 3.6 показана повна модель гідроелектростанції, розробленої у Matlab/Simulink.

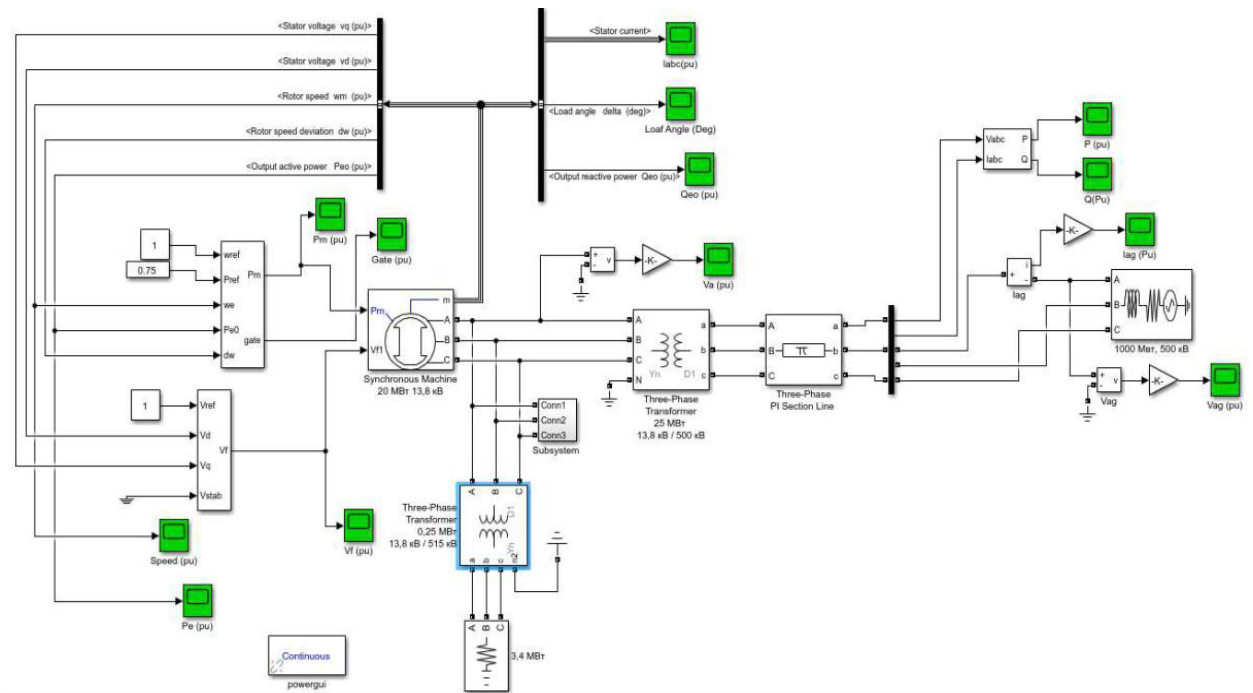


Рисунок 3.6 – Модель мікро-ГЕС у Matlab/Simulink

Наступні дані використовуються для моделювання мікро-ГЕС в різних умовах експлуатації.

### 1. Загальні дані

Висота: 20м

Споживання проекту:  $142,5 \text{ м}^3/\text{с}$

### 2. Турбіна

Тип: ПЛ20

Потужність: 20 МВт

### 3. Генератор

Тип: Вертикальний вал, синхронний

Потужність: 20 МВт

Напруга: 13,8 кВ

### 4. Трансформатор

Тип: однофазний

Число: 2

Потужність: 25 МВт

Номінальна напруга: 13,8 кВ/500 кВ

### 5. Лінія передач

Номінальна напруга: 500 кВ

Максимальна довжина: 140 км

### 6. Параметри ПД-регулятора

Мінімальне відкриття затвора = 0,01      Пропорційне зміцнення  $K_p = 1,0$

Інтегральне зміцнення  $K_i = 0,2$       Похідний коефіцієнт  $K_d = 0,1$

Сервомоторне зміцнення  $K_a = 3,33$       Час сервомотору  $T_a = 0,07c$

Максимальне відкриття затвора = 0,975      Постійна зниження  $R_p = 0,05$

### 7. Параметри збуджувальної системи

$K_A = 300$        $T_A = 0,001c$        $K_E = 1,0$        $V_{f0} = 1,29071$

$T_E = 0$        $T_B = 0,0$        $T_C = 0,0$        $T_R = 20e^{-3}$

$K_F = 0,001$        $T_F = 0,1c$        $E_{FMIN} = -11,5$

$E_{FMAX} = 11,5$        $K_P = 0,0$        $V_{t0} = 1,0$

### 3.2.3 Результати моделювання у Matlab/Simulink мікро-ГЕС при трьох випадках

Моделювання динамічної поведінки мікро-ГЕС, показаних на рисунку 3.6, виконується для наступних трьох випадків.

Випадок I: збільшення навантаження



Для цього випадку модель Matlab/Simulink показана на малюнку 3.7, а однолінійна діаграма показана на рисунку 3.8.

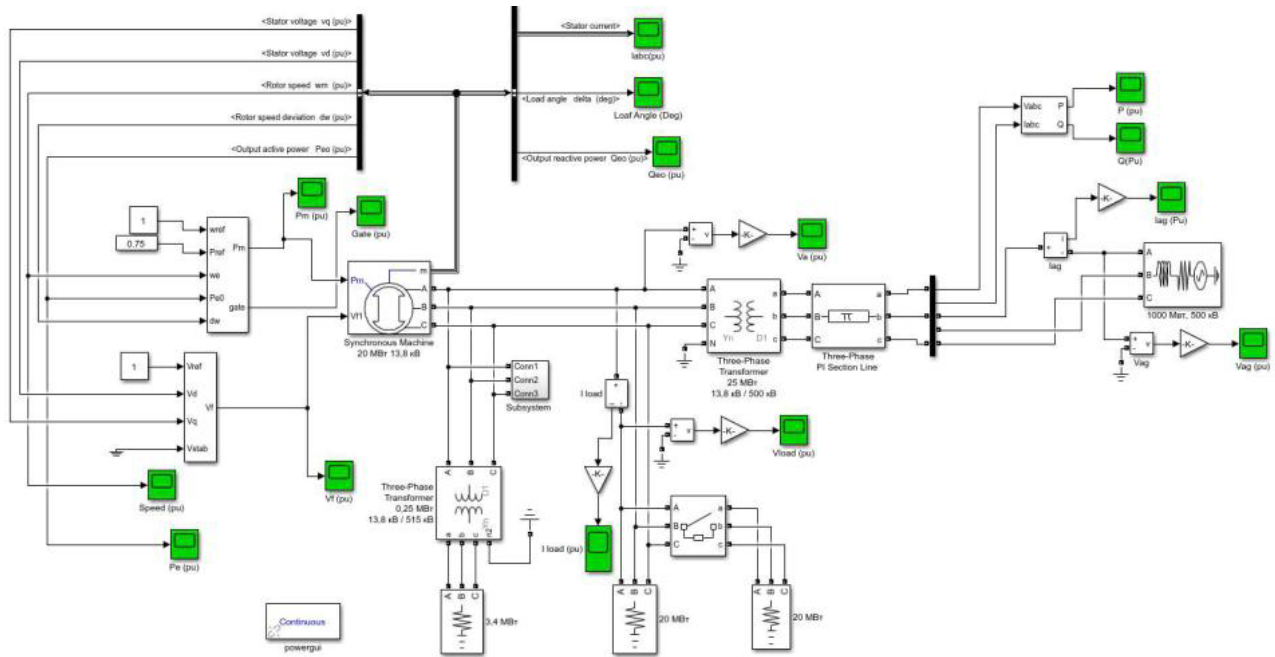


Рисунок 3.7 – Модель микро-ГЕС Matlab/Simulink у випадку збільшення навантаження

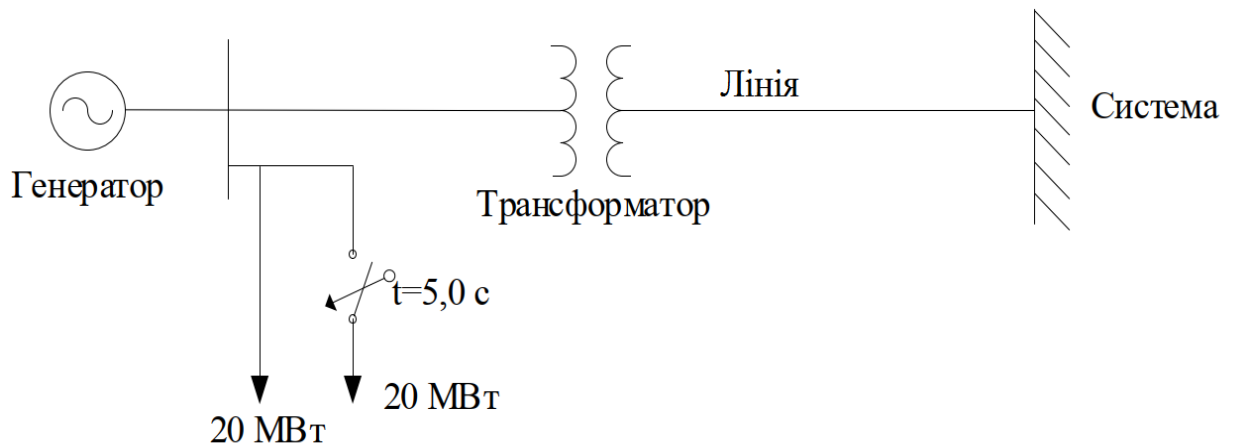


Рисунок 3.8 – Однолінійна діаграма у випадку збільшення навантаження

Початкове навантаження складає 20 МВт навантаження. Обурення створюється за рахунок збільшення навантаження в 20 МВт. Імітація проводиться протягом 10 секунд. Усі величини зазначені у відносних одиницях.

На рисунках 3.9 – 3.19 представлені часові характеристики. На рисунку 3.9 показано зміну напруги генератора, на рисунку 3.10 показана зміна

струму генератора, на рисунку 3.11 показано зміна струму навантаження, на рисунку 3.12 показано зміна електричної потужності генератора. На рисунку 3.13 показано зміну швидкості обертання ротора, на рисунку 3.14 показана зміна напруги збудження, на рис. 3.15 показано зміну кута навантаження генератора, на рисунку 3.16 показано зміна механічної потужності, рис. 3.17 показує зміну напруги мережі, на рис. 3.18 показано зміну струму мережі, а на рис. 3.19 показано зміну величини відкриття затвора.

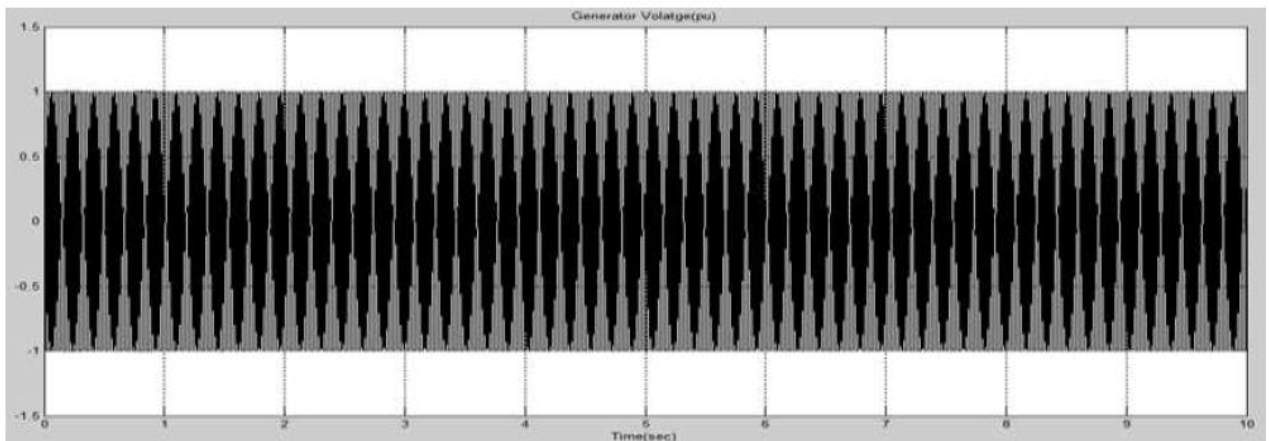


Рисунок 3.9 – Напруга генератора

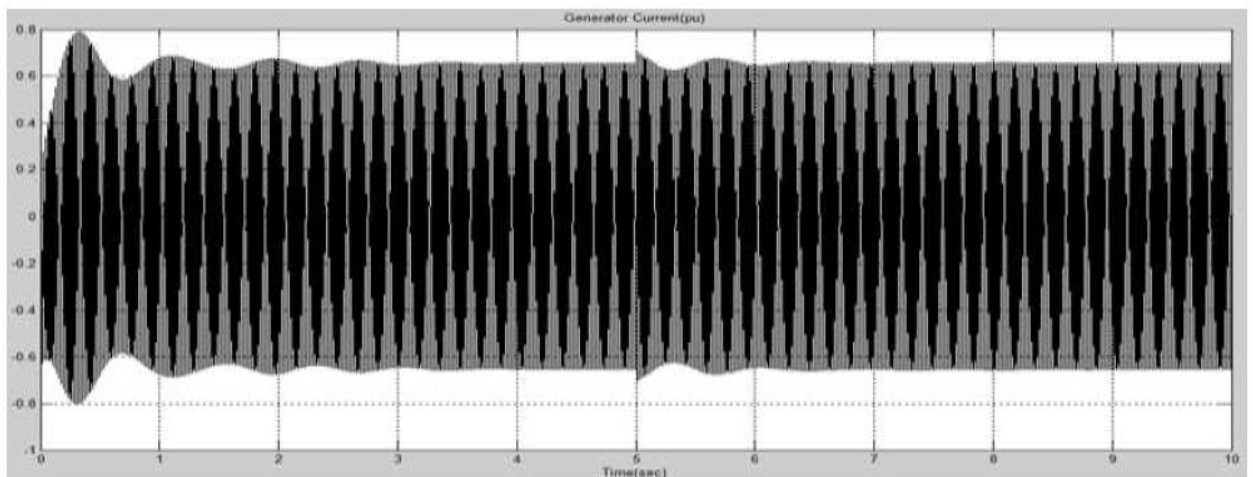


Рисунок 3.10 – Струм генератора

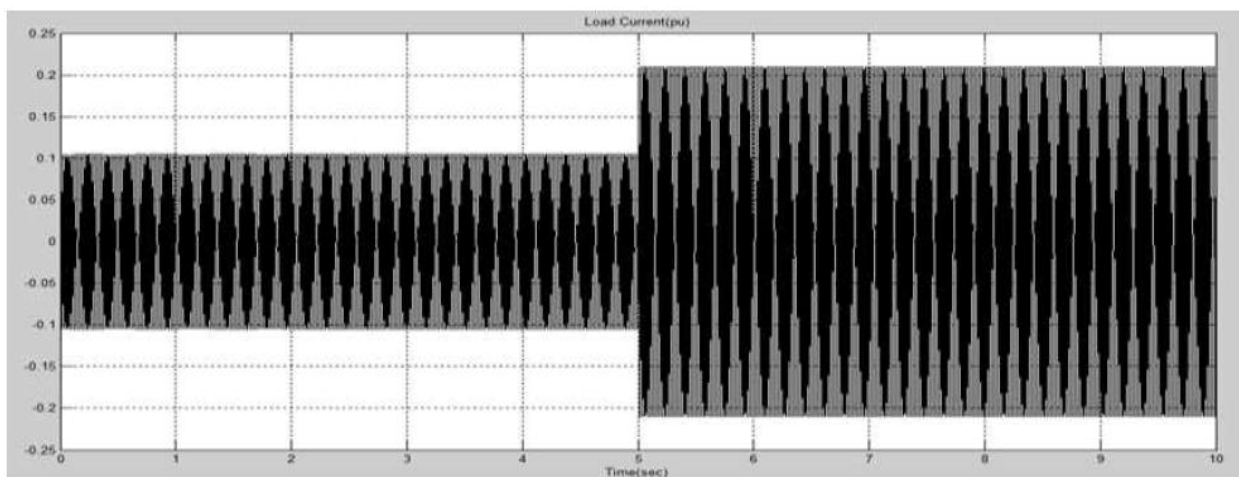


Рисунок 3.11 – Струм навантаження

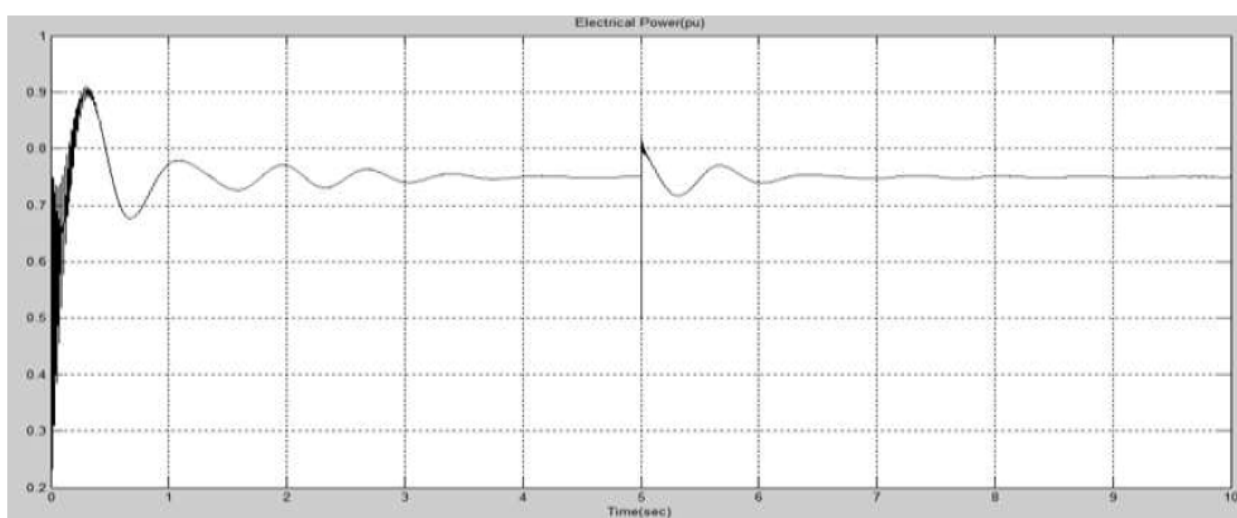


Рисунок 3.12 – Електрична потужність

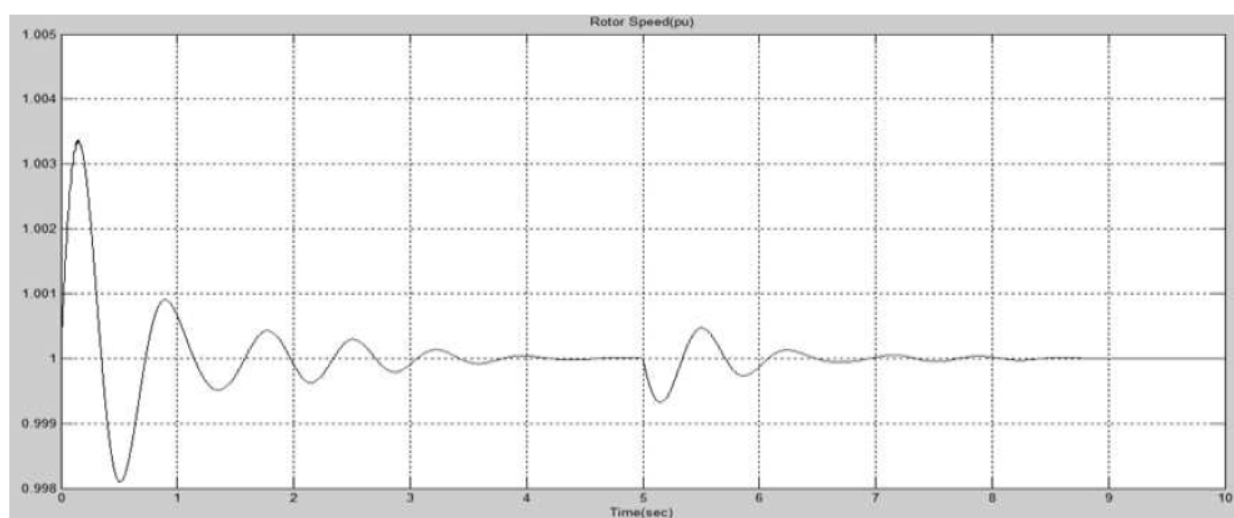


Рисунок 3.13 – Частота обертання ротора

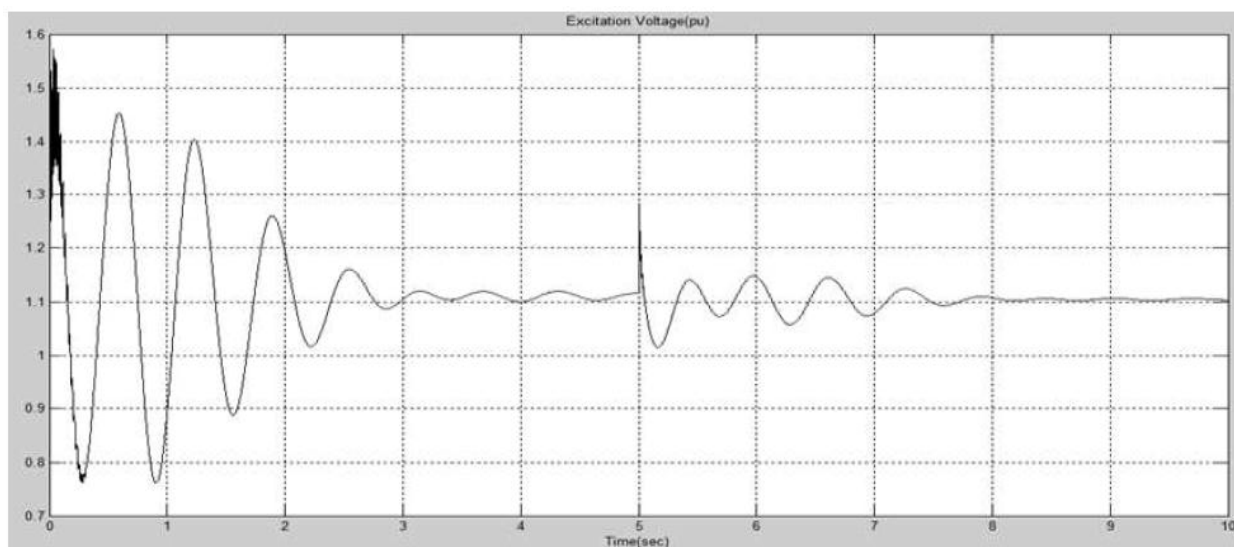


Рисунок 3.14 – Напряга збудження

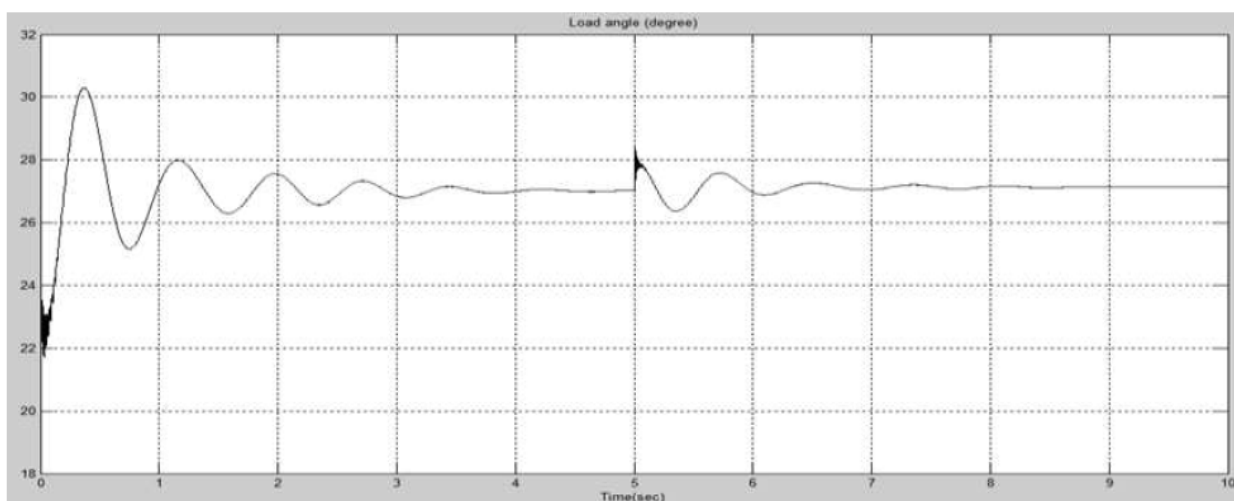


Рисунок 3.15 – Кут навантаження генератора (градуси)

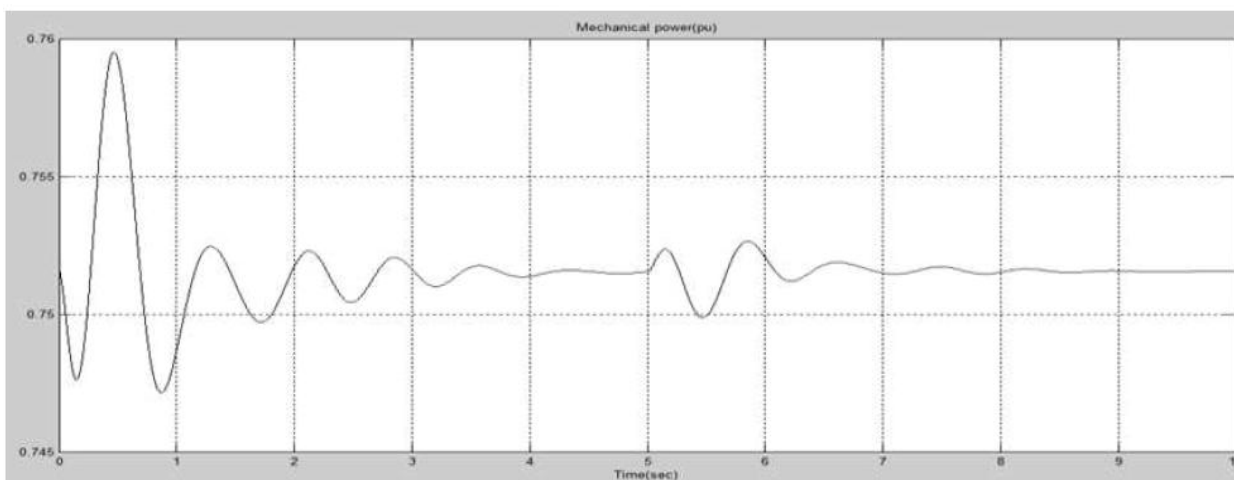


Рисунок 3.16 – Механічна потужність

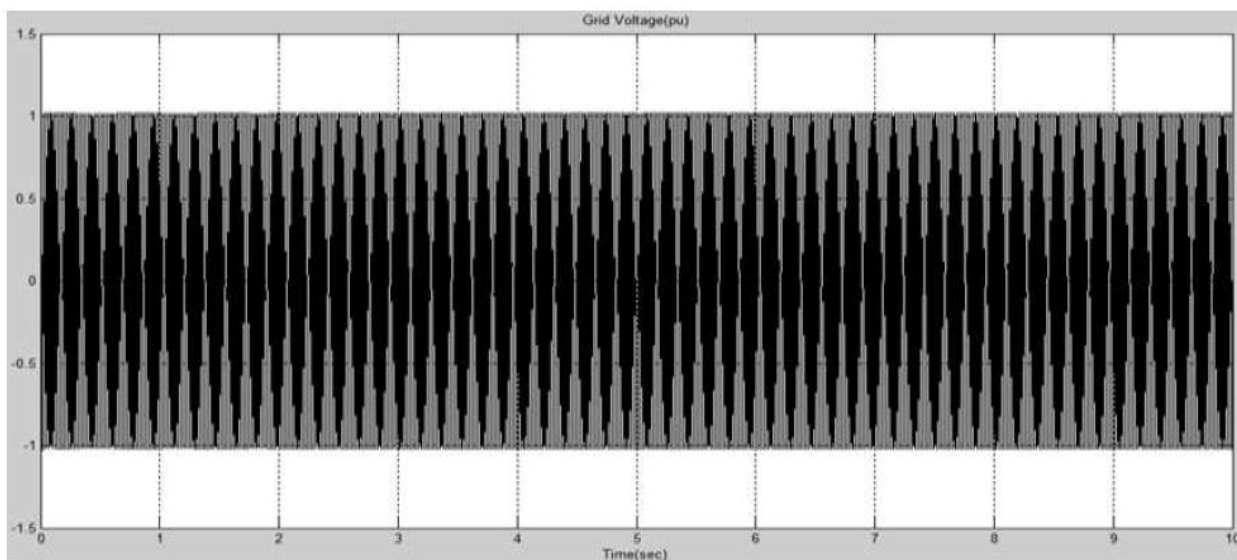


Рисунок 3.17 – Напряга мережі

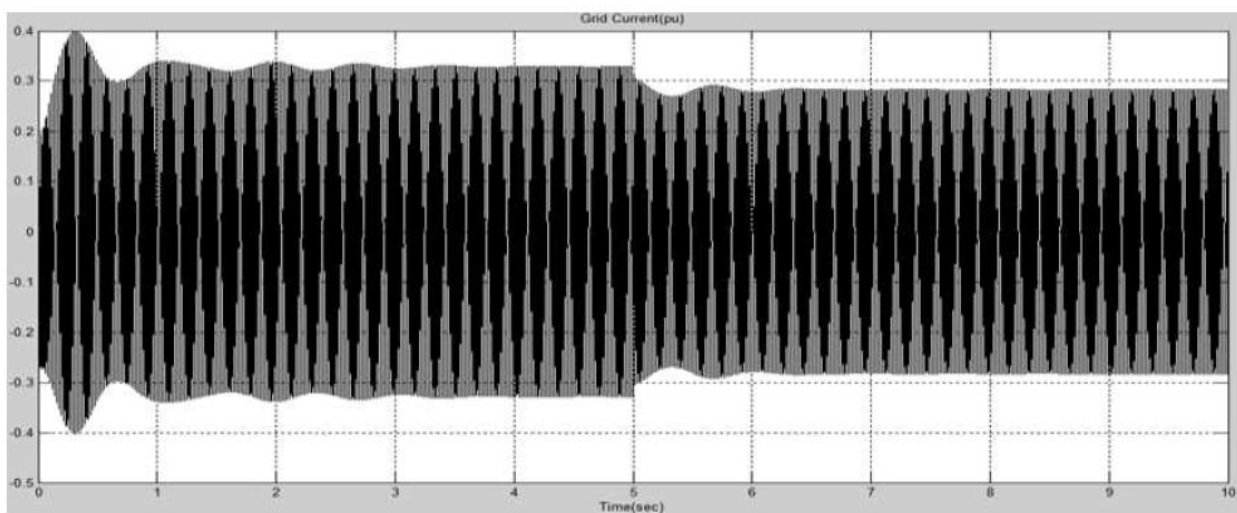


Рисунок 3.18 – Струм мережі

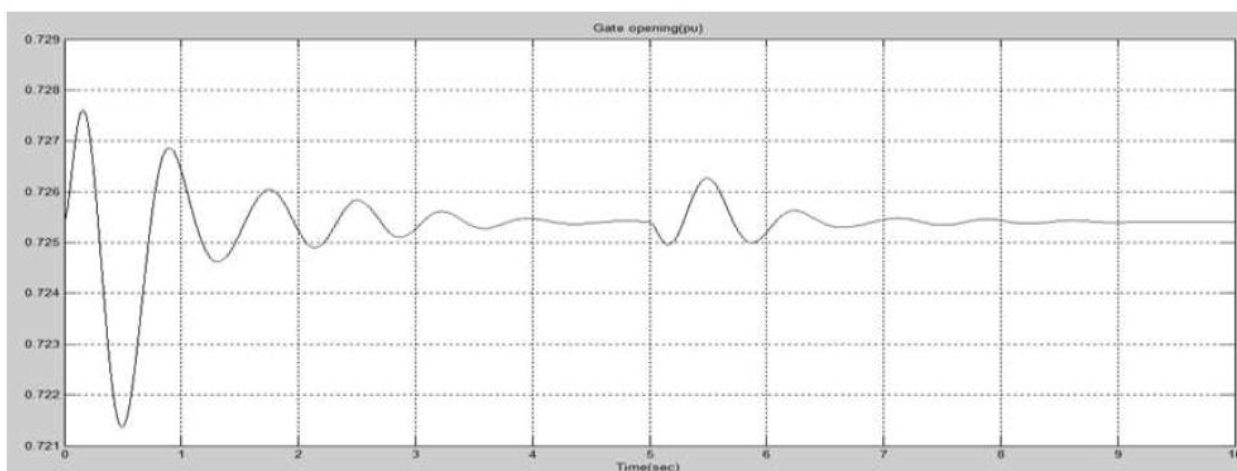


Рисунок 3.19 – Величина відкриття затвора

Спочатку напруга генератора, частота обертання ротора і напруга мережі становить 1,0 в.о., тоді як струм генератора та струм мережі становлять 0,65 в.о. та 0,35 в.о. відповідно. Струм навантаження - 0,1 в.о., електрична потужність - 0,75 в.о., напруга збудження становить 1,10 в.о., кут навантаження генератора 27 градусів, механічна потужність 0,755 в.о. і величина відкриття затвора 0,726 в.о.

З рисунків 3.9 і 3.17 видно, що зі збільшенням навантаження, відсутній вплив на напругу генератора і напругу мережі, при цьому відбувається незначне збільшення струму генератора при  $t = 5,0$  секунд і до 6 секунд, як показано на рисунку 3.10. Через збільшення навантаження, струм навантаження збільшується приблизно до 0,2 в.о. від початкового значення 0,1 в.о., як показано на рисунку 3.11. Спостерігається, що електрична потужність збільшується до 0,8 в.о. від початкового значення 0,75 в.о. і досягає стійкого стану через 7,0 секунд, як показано на рисунку 3.12, в той час як частота обертання ротора в цей же час зменшилася, але досягла стійкого значення через 7,0 секунд, як показано на рисунку 3.12. При збільшенні навантаження збільшується напруга збудження приблизно до 1,3 в.о. і вона коливається протягом 3,0 секунд і досягає стійкого значення через 8,0 секунд, як показано на рисунку 3,13. Збільшується також кут навантаження генератора до 28 градусів і воно коливається протягом 2,0 секунд, а початкове значення, що встановилося, досягається через 7,0 секунд, як показано на рисунку 3,14. Механічна потужність також збільшується при збільшенні навантаження при  $t = 5,0$  секунд і вона коливається 3,0 секунд і досягає стійкого значення через 8,0 секунд, як показано на рисунку 3.15. Через збільшення навантаження струм мережі зменшується до 0,29 в.о. від 0,3 в.о., як показано на рисунку 3.18. З рисунка 3.19 бачимо, що при збільшенні навантаження на систему, зменшується величина відкриття затвора, що коливається протягом 2,0 секунди, і до 7,0 секунд повертається в початкове встановлене значення.

## Випадок II: зниження навантаження

Для цього випадку модель Matlab/Simulink показана на рисунку 3.20, а однолінійна діаграма показана на рисунку 3.21.

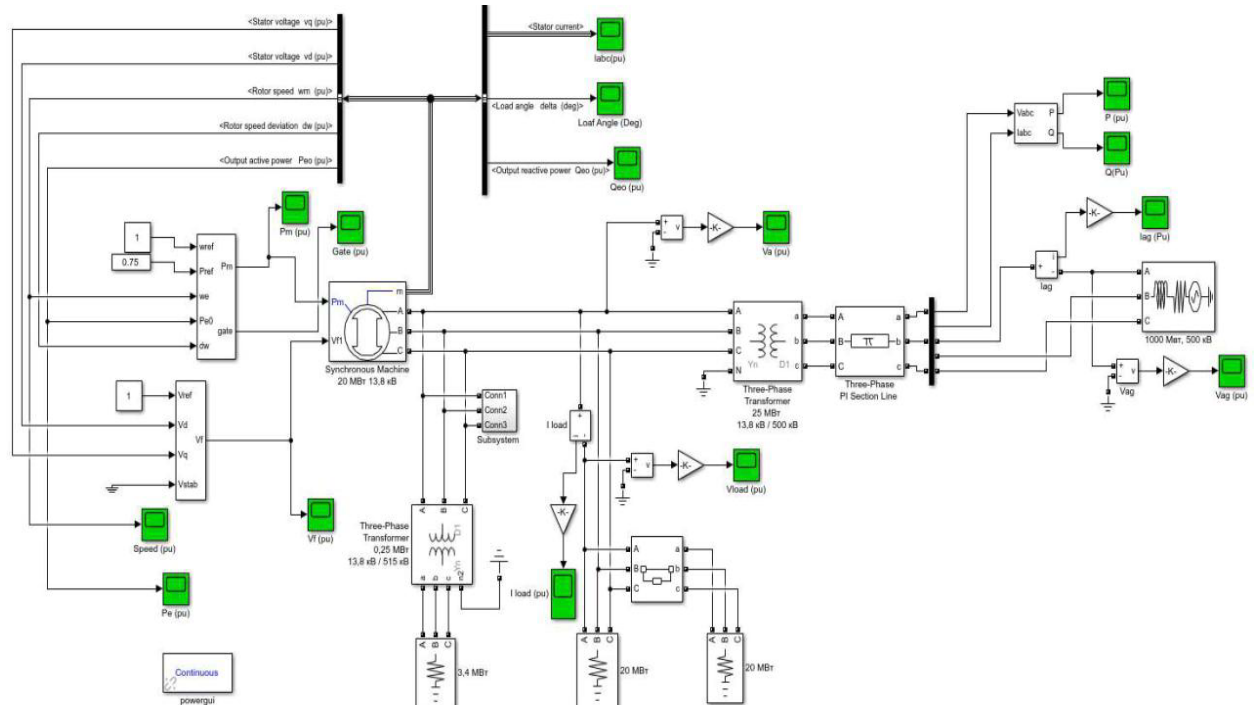


Рисунок 3.20 – Модель Matlab/Simulink мікро-ГЕС у випадку зниження навантаження

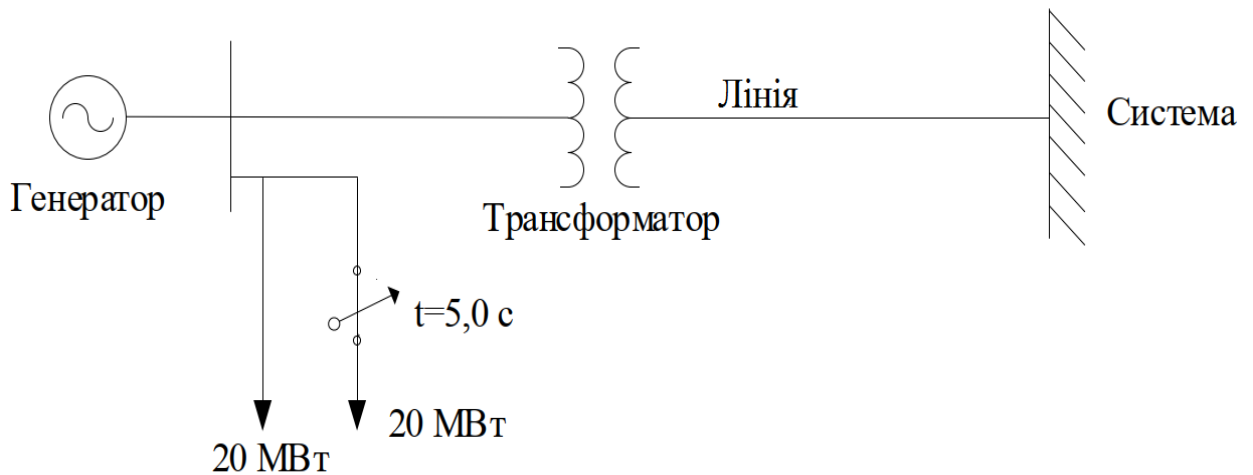


Рисунок 3.21 – Однолінійна діаграма для зменшення навантаження

Спочатку 40 МВт - це загальне навантаження в мережі, введене порушення шляхом зменшення навантаження 20 МВт від загального навантаження в момент часу  $t = 5,0$  секунд, а симуляція проводиться протягом 10 секунд. Усі величини вказані у відносних одиницях.

На рисунках 3.22 – 3.32 представлені часові характеристики. На рисунку 3.22 показано зміну напруги генератора, на рисунку 3.23 показано зміну струму генератора, на рисунку 3.24 показано зміну струму навантаження, на рисунку 3.25 показано зміну електричної потужності генератора. На рисунку 3.26 показано зміну швидкості ротора, на рисунку 3.27 показано зміна напруги збудження, на рисунку 3.28 показано зміну кута навантаження генератора, на рисунку 3.29 показано зміну механічної потужності, на рисунку 3.30 показано зміну напруги мережі, на рисунку 3.31 показано зміна струму мережі, а на рисунку 3.32 показано зміна величини відкриття затвора.

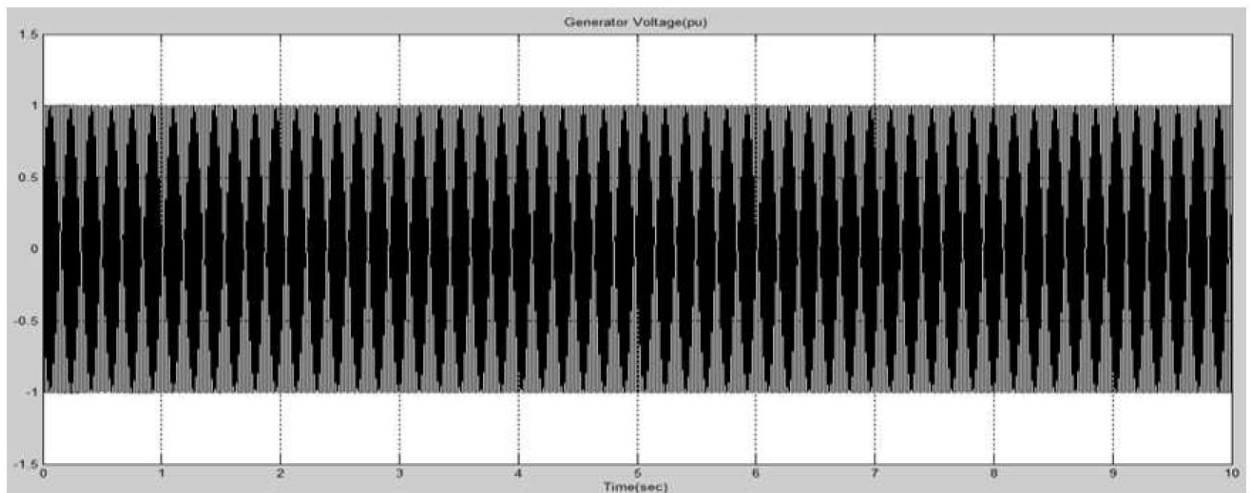


Рисунок 3.22 – Напруга генератора

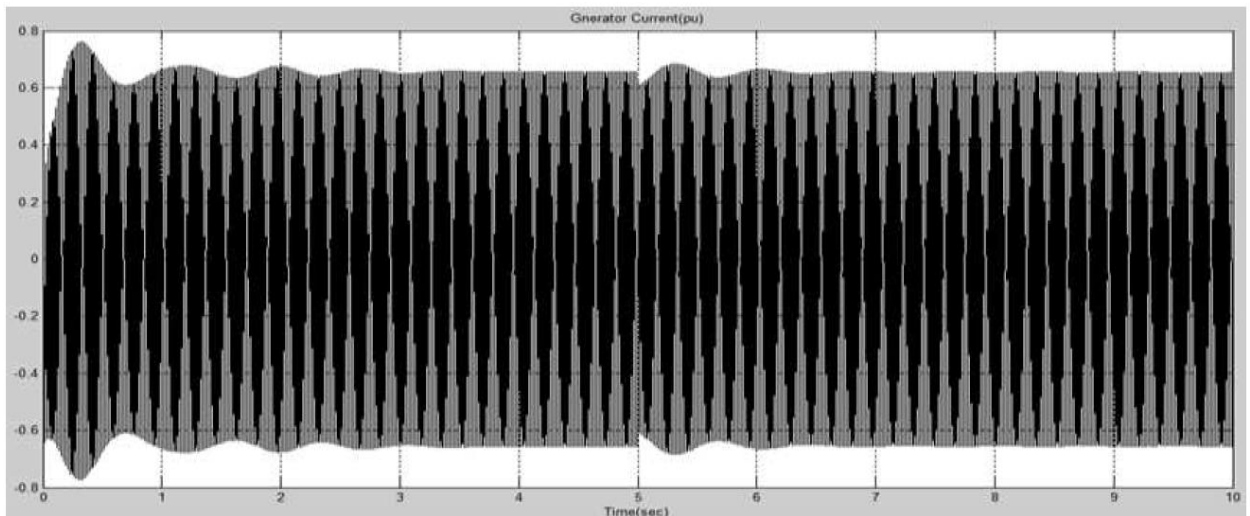


Рисунок 3.23 – Струм генератора



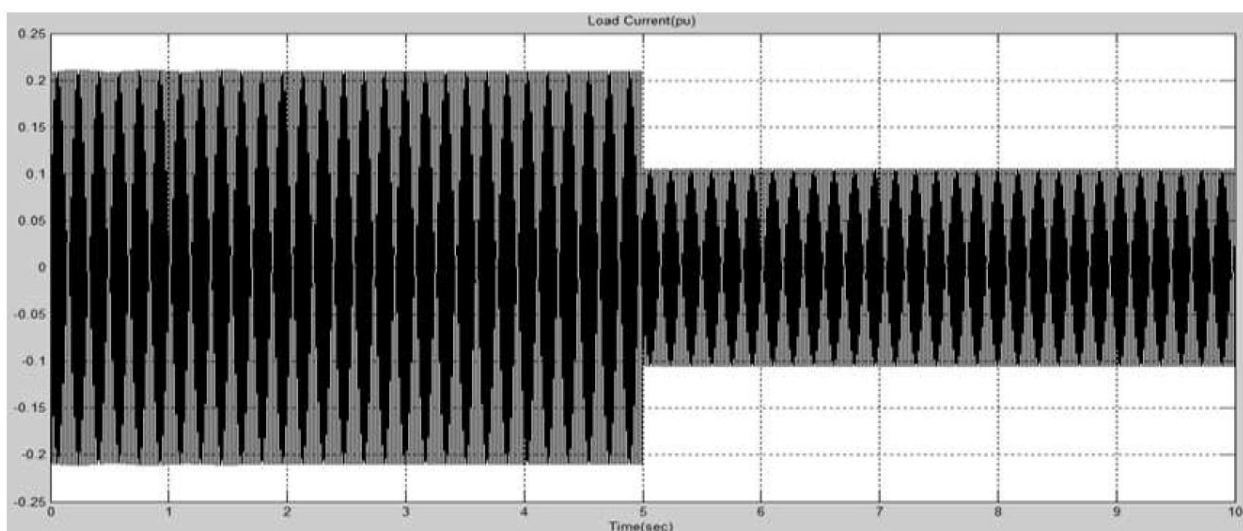


Рисунок 3.24 – Струм навантаження

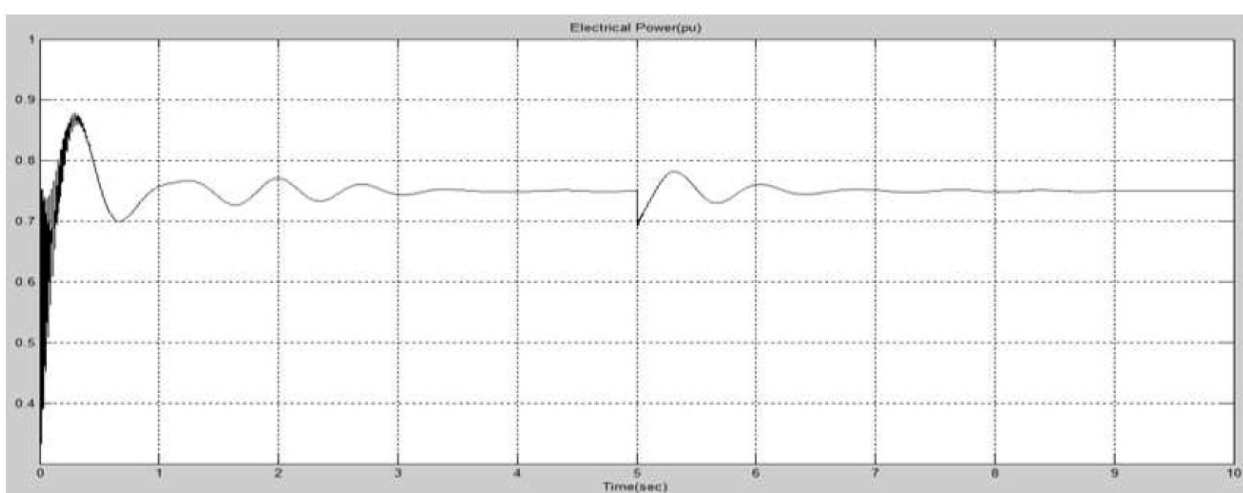


Рисунок 3.25 – Електрична потужність

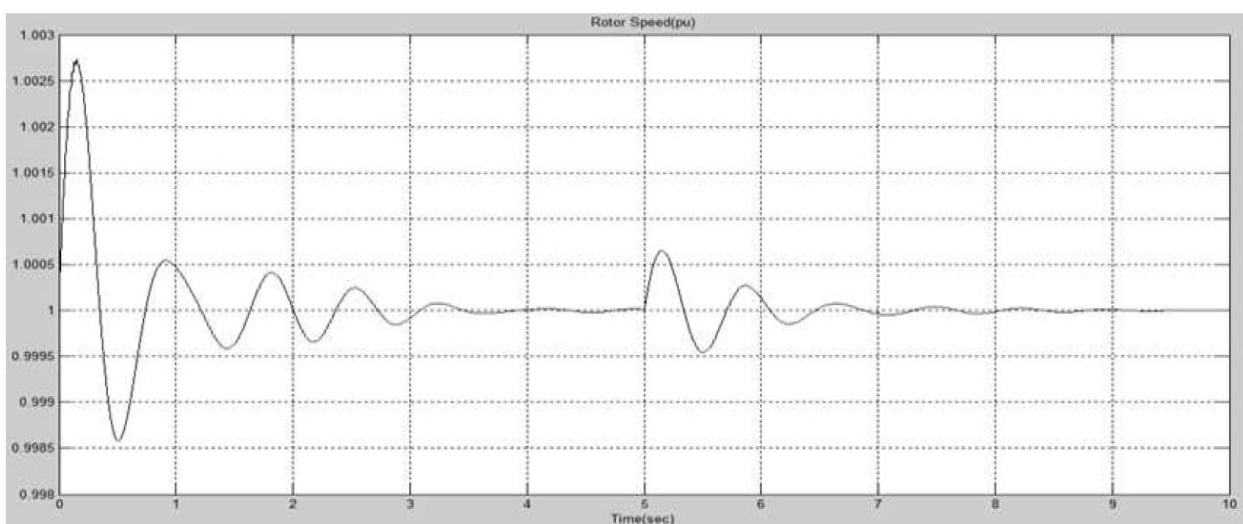


Рисунок 3.26 – Частота обертання ротора

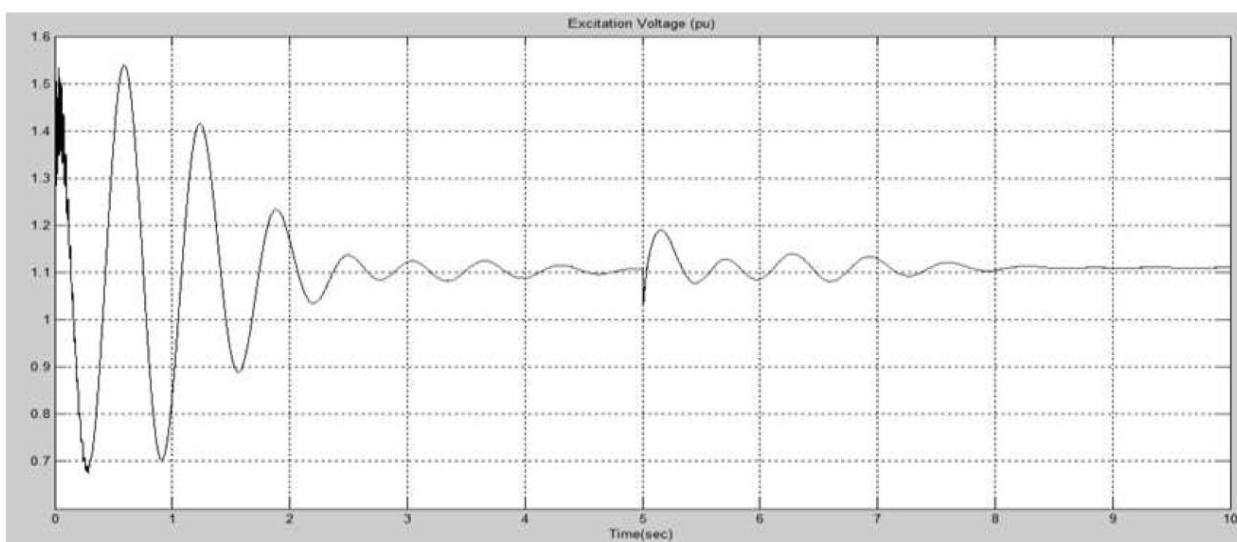


Рисунок 3.27 – Напряга збудження

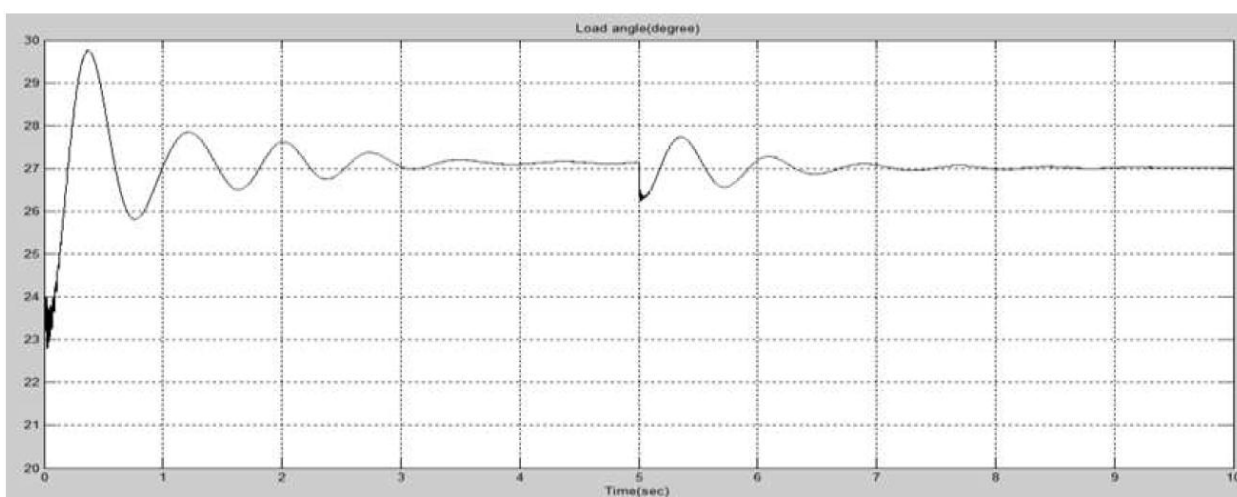


Рисунок 3.28 – Кут навантаження генератора (градуси)

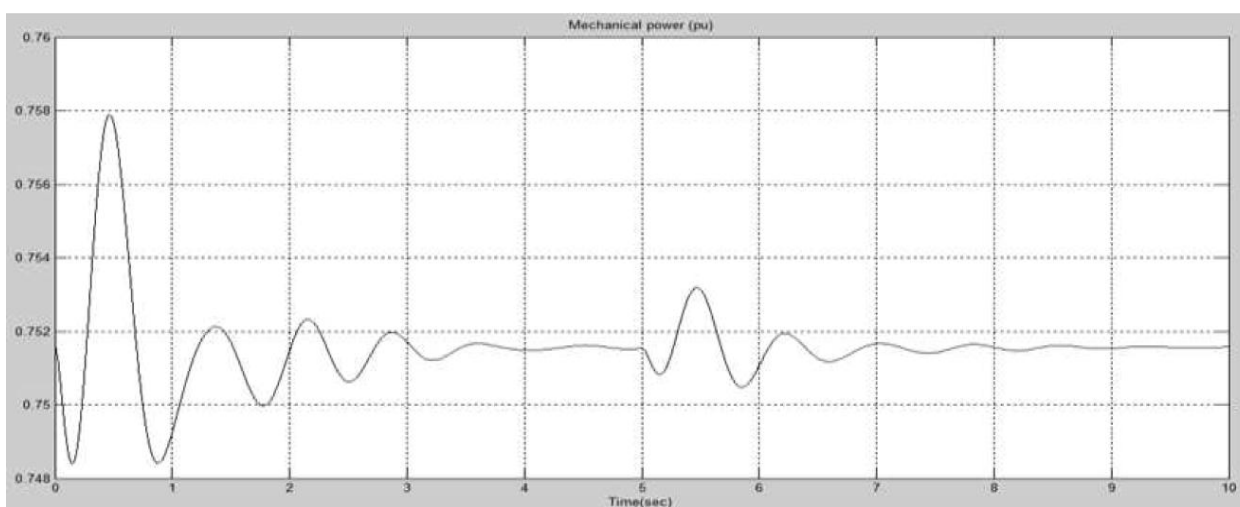


Рисунок 3.29 – Механічна потужність

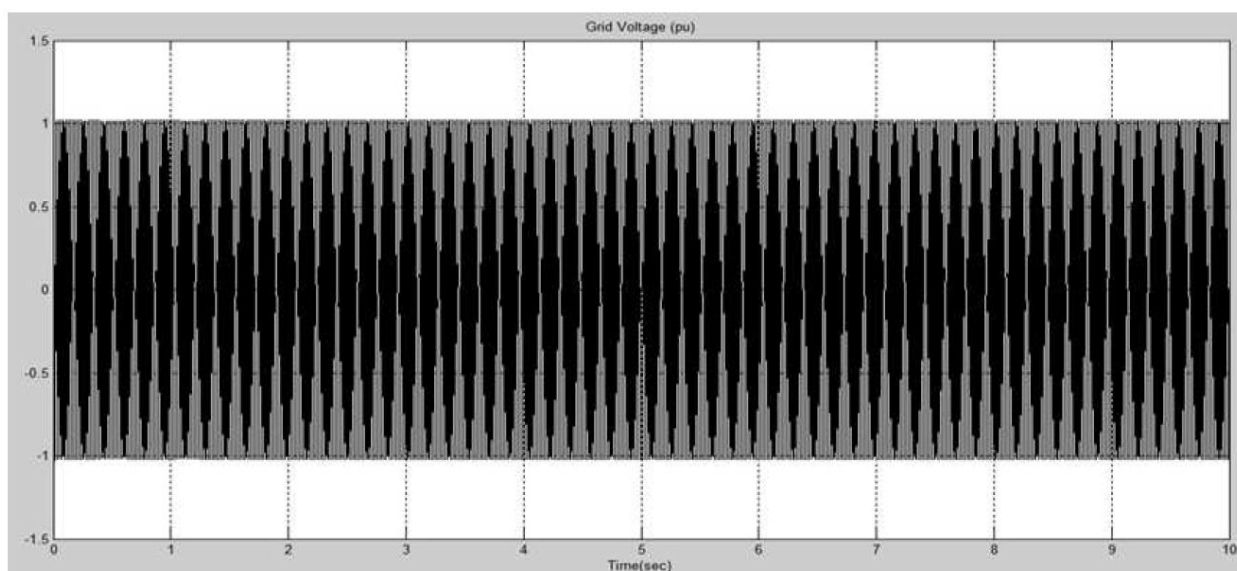


Рисунок 3.30 – Напряга мережі

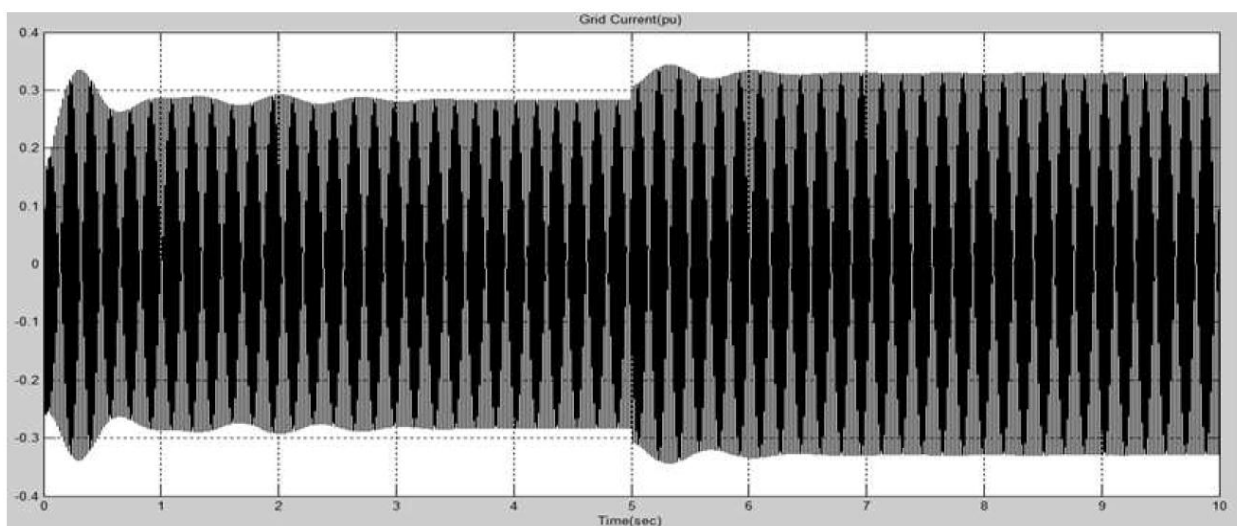


Рисунок 3.31 – Струм мережі

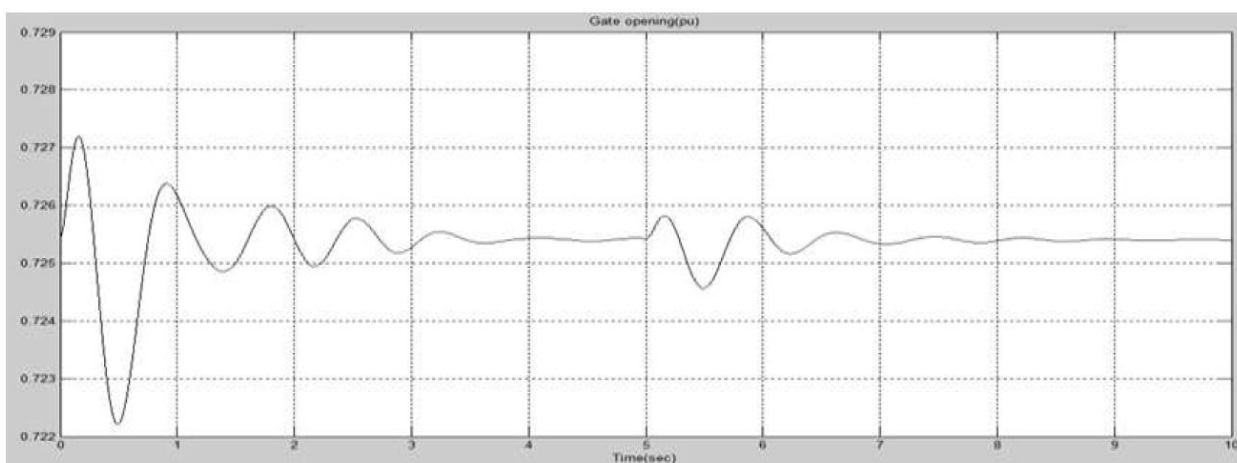


Рисунок 3.32 – Величина відкриття затвора

Спочатку напруга генератора, частота обертання ротора та напруга мережі становлять 1,0 в.о., тоді як струм генератора і струм мережі становлять 0,65 в.о. і 0,29 в.о. відповідно. Струм навантаження 0,2 в.о., електрична потужність 0,75 в.о., напруга збудження – 1,10 в.о., кут навантаження генератора – 27 градусів, механічна потужність – 0,751 в.о. та величина відкриття затвора 0,726 в.о.

З рисунків 3.22 і 3.30 бачимо, що при зменшенні навантаження відсутній вплив на напругу генератора і напругу мережі, при цьому відбувається незначне зменшення струму генератора при  $t = 5,0$  секунд, струм генератора досягає встановленого значення через 6,0 секунд, як показано на рисунку 3.23. Через збільшення навантаження, струм навантаження зменшується приблизно до 0,1 в.о. від початкового значення 0,2 в.о., як показано на рисунку 3.24. Можна побачити, що електрична потужність зменшується до 0,7 в.о. від початкового значення 0,75 в.о. і досягає встановленого значення через 7,0 секунд, як показано на рисунку 3.25, в той час як частота обертання ротора збільшується, але досягає стійкого значення через 7,0 секунд, як показано на рисунку 3.26. При зменшенні навантаження спостерігається зменшення напруги збудження приблизно до 1,0 в.о. і вона коливається протягом 3,0 секунд і досягає стійкого значення через 8,0 секунд, як показано на рисунку 3.27. Також знижується кут навантаження генератора до 26 градусів, і він коливається протягом 2,0 секунд і досягає початкового встановленого значення через 7,0 секунд, як показано на рисунку 3.28. Механічна потужність зменшується при  $t = 5,0$  секунд і коливається протягом 3,0 секунд і досягає встановленого значення після 8,0 секунд, як показано на рисунку 3.29. Через зменшення навантаження струм мережі збільшується до 0,35 в.о. від 0,29 в.о., як показано на малюнку 3.31. З рисунка 3.32 бачимо, що при виході навантаження із системи збільшується величина відкриття затвора і коливається протягом 2,0 секунд, і до 7,0 секунд повертається в початкове встановлене значення.

### Випадок III: Коротке замикання

Модель Matlab/Simulink для цього випадку показана на рисунку 3.33, а однолінійна діаграма показана на рисунку 3.34.

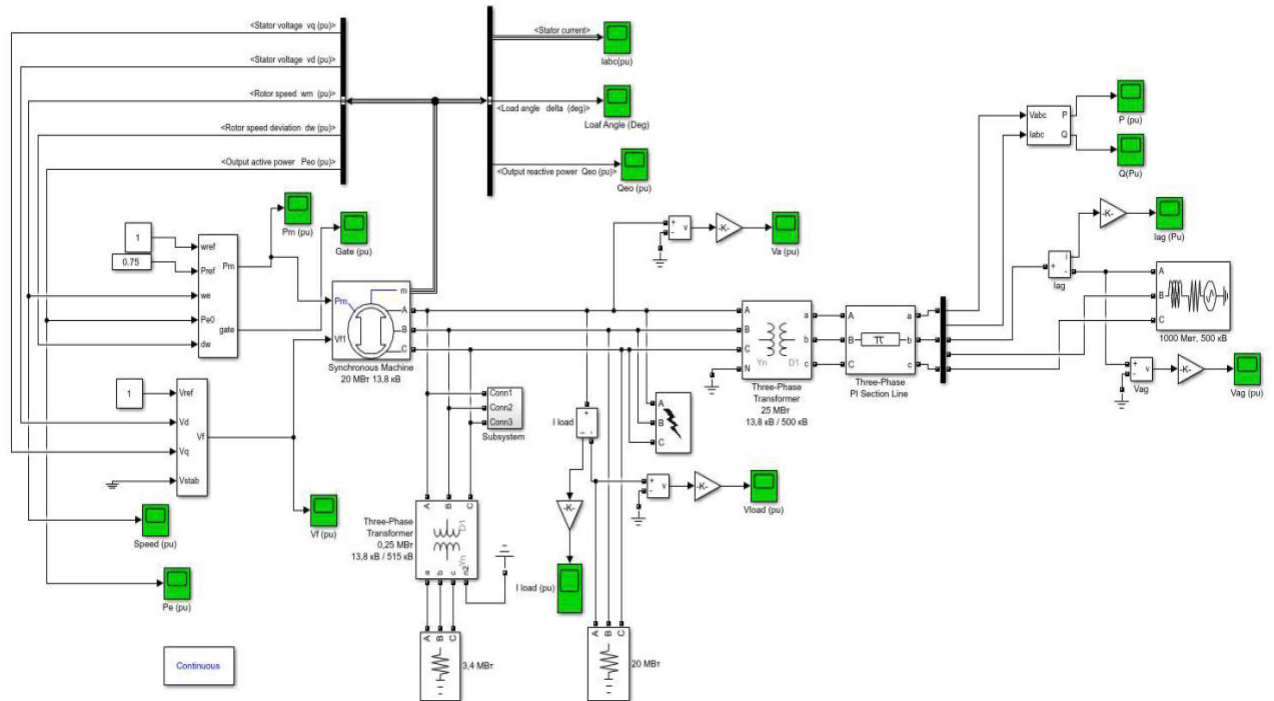


Рисунок 3.33 – Модель мікро-ГЕС в Matlab/Simulink для моделювання короткого замикання

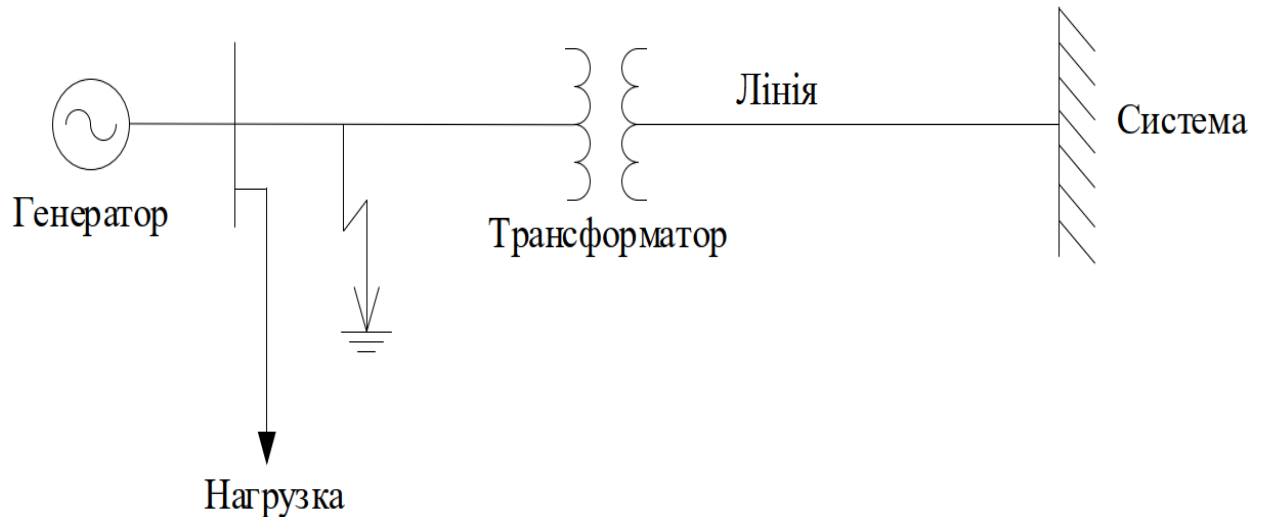


Рисунок 3.34 – Однолінійна діаграма для трьохфазного короткого замикання

Розглянуто трифазне замикання на виводах генератора. Моделювання проводиться протягом 10 секунд. Усі величини вказані у відносних одиницях.

На рисунках 3.35 – 3.45 представлені часові характеристики. На рисунку 3.35 показано зміну напруги генератора, на рисунку 3.36 показано зміну струму генератора, на рисунку 3.37 показано зміну струму навантаження, на рисунку 3.38 показано зміна електричної потужності генератора. На рисунку 3.39 показано зміну швидкості обертання ротора, на рисунку 3.40 показано зміну напруги збудження, на рисунку 3.41 показано зміну кута навантаження генератора, на рисунку 3.42 показано зміну механічної потужності, на рисунку 3.43 показано зміну напруги мережі, на рисунку 3.44 показано зміну струму мережі, а на рисунку 3.45 показано зміну величини відкриття затвора.

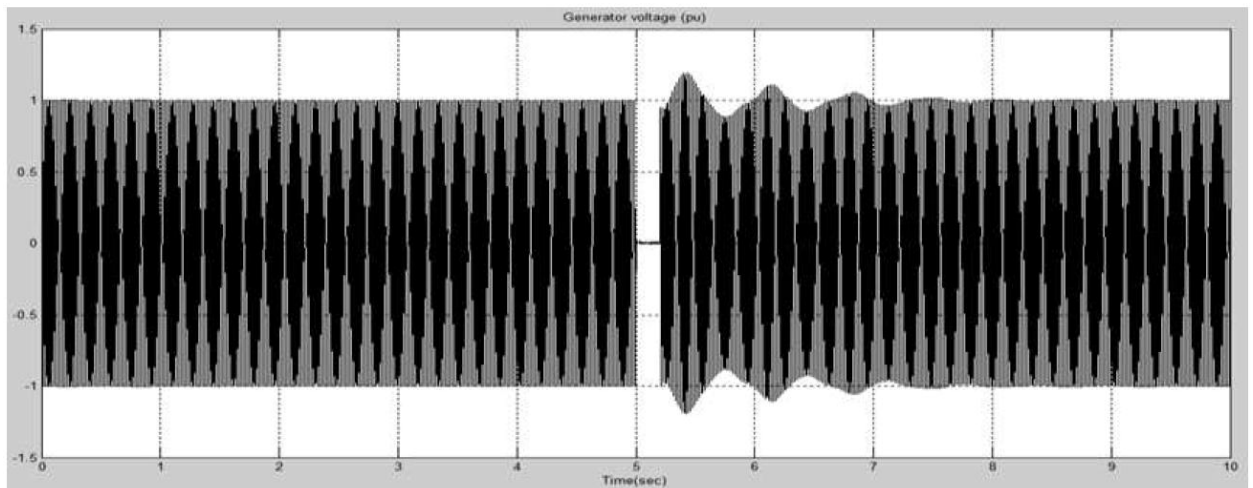


Рисунок 3.35 – Напруга генератора

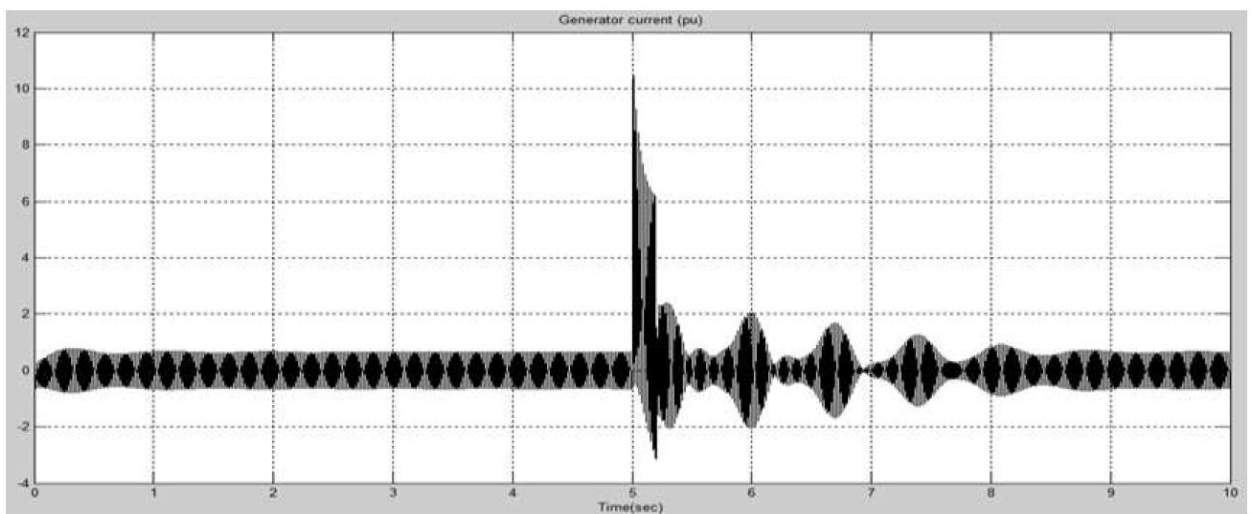


Рисунок 3.36 – Струм генератора

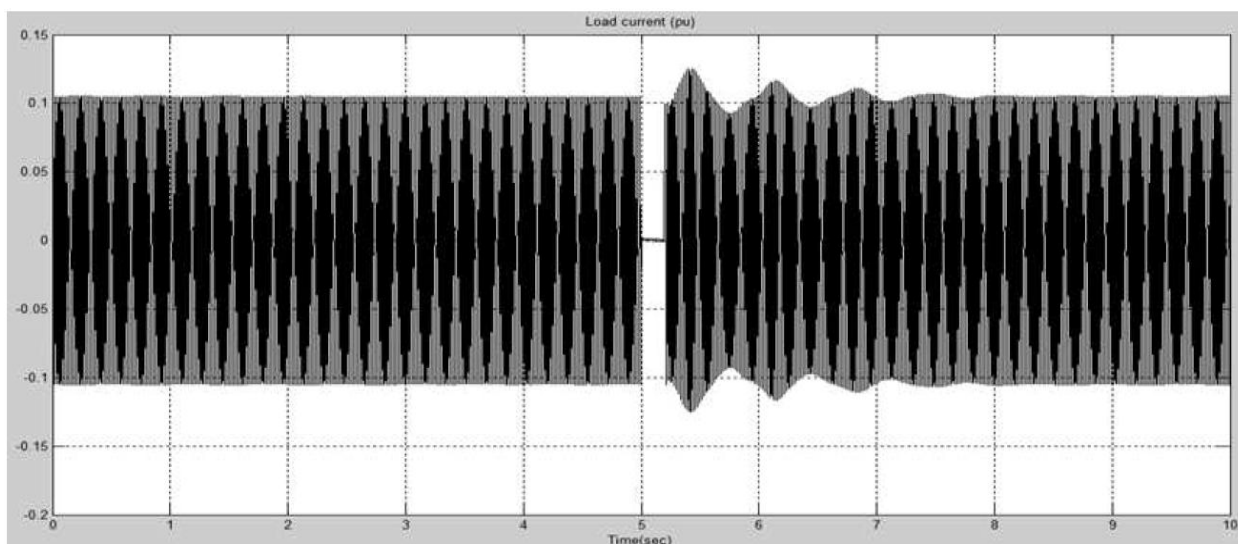


Рисунок 3.37 – Струм навантаження

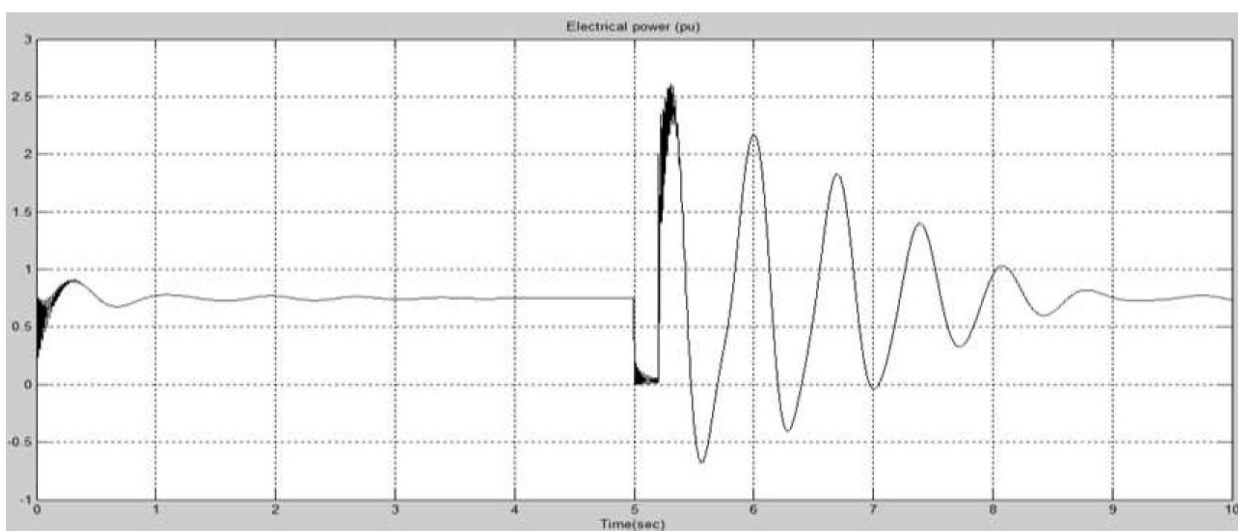


Рисунок 3.38 – Електрична потужність

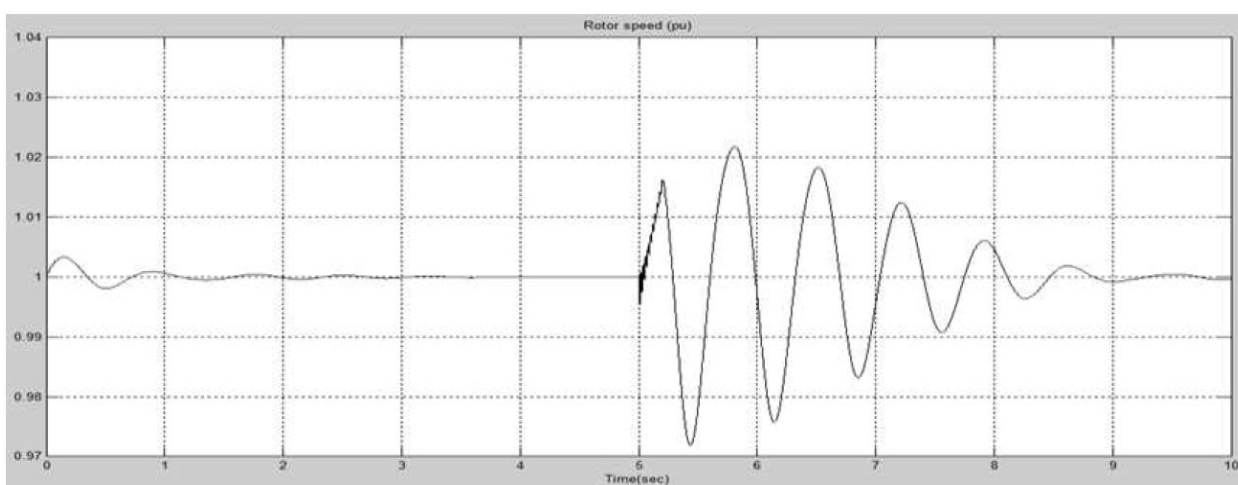


Рисунок 3.39 – Частота обертання ротора

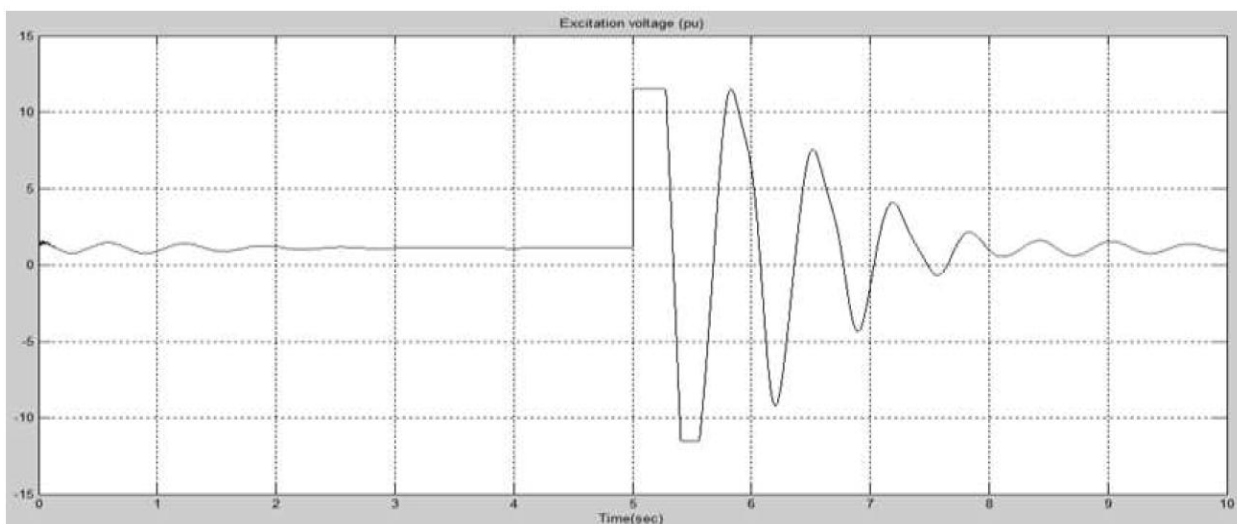


Рисунок 3.40 – Напряга збудження

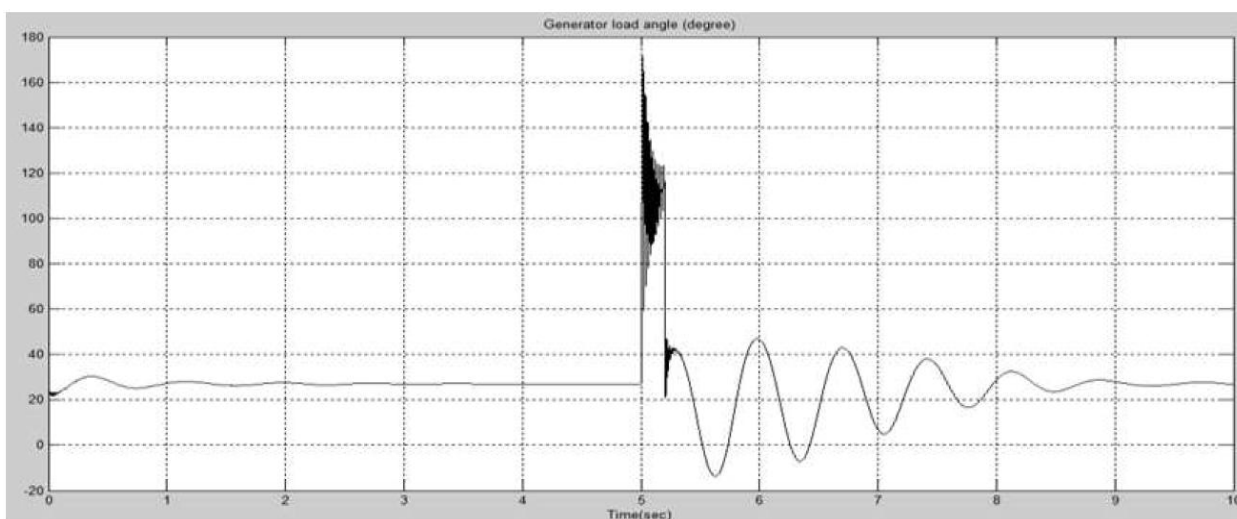


Рисунок 3.41 – Кут навантаження генератора (градус)

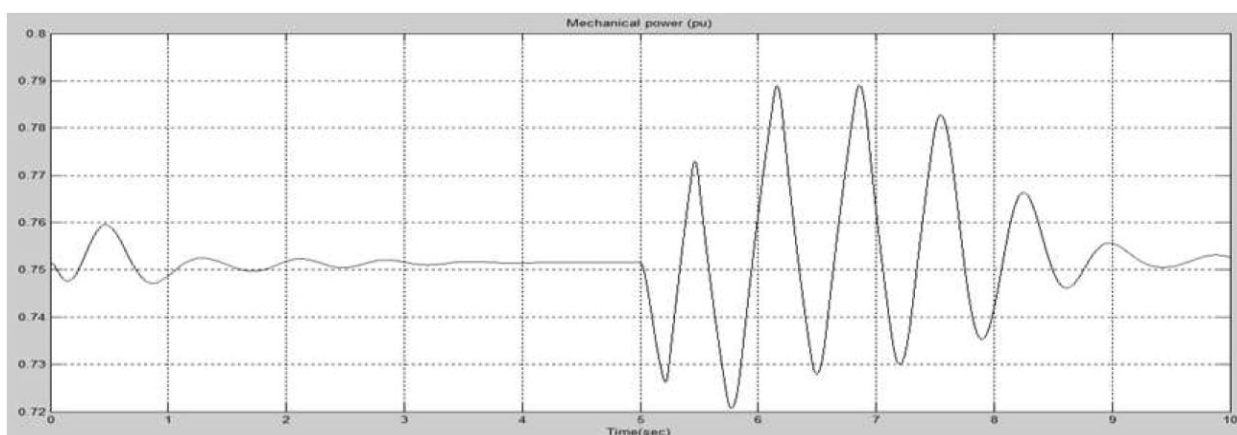


Рисунок 3.42 – Механічна потужність



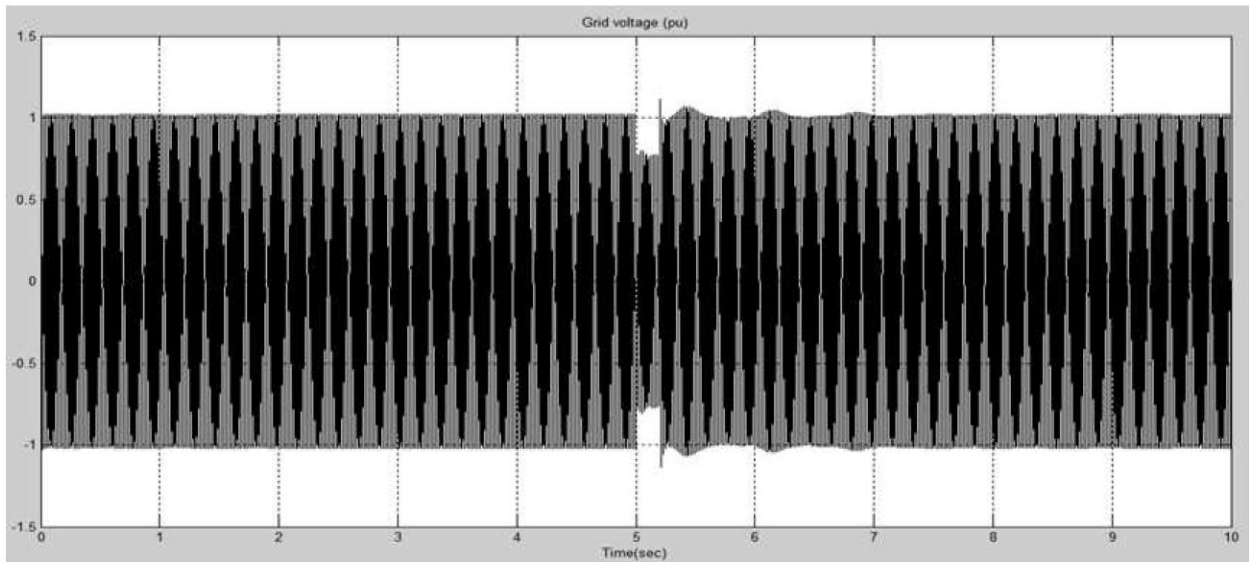


Рисунок 3.43 – Напряга мережі

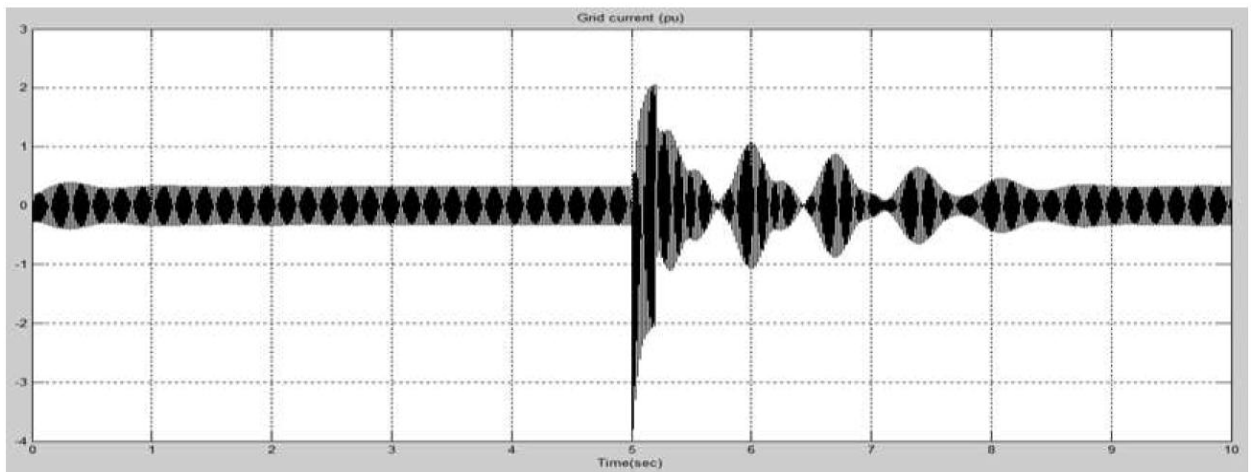


Рисунок 3.44 – Струм мережі

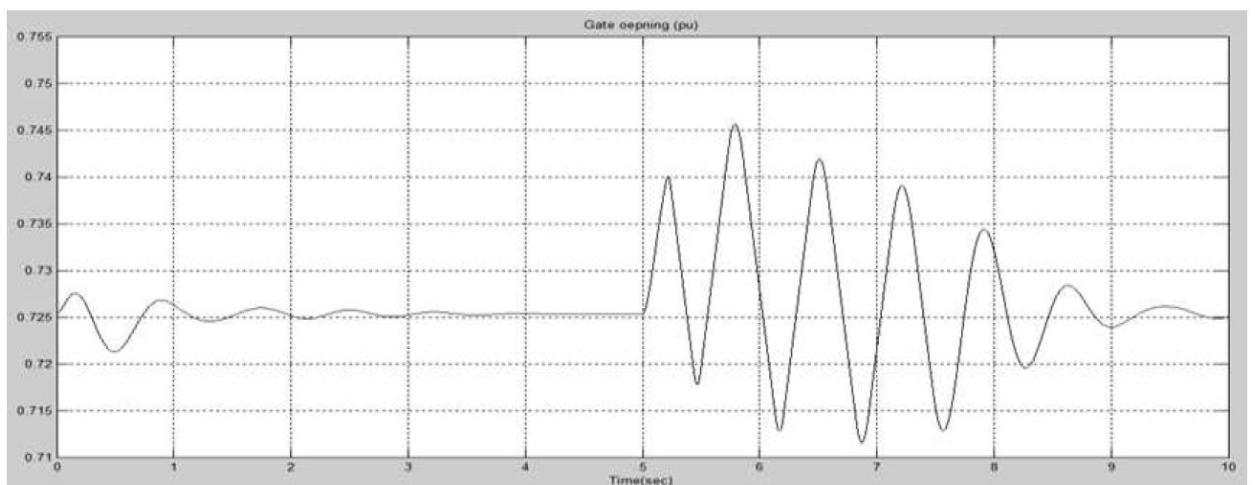


Рисунок 3.45 – Час відкриття затвора

Спочатку напруга генератора, частота обертання ротора і напруга мережі становлять 1,0 в.о., тоді як струм генератора і струм мережі становлять 0,65 в.о. і 0,29 в.о. відповідно. Струм навантаження близько 0,1 в.о., електрична потужність 0,75 в.о., напруга збудження – 1,10 в.о., кут навантаження генератора – 27 градусів, механічна потужність – 0,751 в.о. та величина відкриття затвора 0,725 в.о.

Через виникнення трифазного замикання на землю, на виводах генератора при  $t = 5,0$  секунд напруга і струм генератора знижуються до нуля від початкового значення 1,0 в.о. і 0,1 в.о. відповідно, як показано на рисунках 3.35 і 3.37 і залишаються в перехідному стані протягом 2,0 секунд після того, як коротке замикання усувається при  $t = 5,2$  секунди і досягає встановленого значення через 7,0 секунд. Під час пошкодження струм генератора і струм мережі збільшуються приблизно до 11,0 в.о. і 2,0 в.о. відповідно, залишаються в перехідному стані протягом 3,0 секунд і досягають встановленого значення через 8,0 секунд, як показано на рисунках 3.36 і 3.44. Також можна побачити, що під час несправності електрична потужність падає до нуля, як показано на рисунку 3.38 і коливається протягом 4,0 секунд після усунення короткого замикання, і досягає встановленого значення через 9,0 секунд. Частота обертання ротора збільшена до 1,01 в.о. в порівнянні з початковим значенням 1,0 в.о., як показано на рисунку 3.39, і коливається протягом 4,0 секунд, після чого досягає встановленого значення після 9,0 секунд. Напруга збудження сильно збільшується до середнього значення 11,5 в.о. від початкового значення 1,10 в.о., як показано на рисунку 3.40, і коливається протягом 4,0 секунд, після чого досягає встановленого значення через 9,0 секунд. Кут навантаження генератора значно збільшується до 170 градусів від початкового значення 27 градусів, як показано на рисунку 3.41, і коливається протягом 4,0 секунд, після чого досягає встановленого значення через 9,0 секунд. Механічна потужність зменшується і коливається протягом 4,0 секунд, як показано на рисунку 3.42, і досягає встановленого значення 0.751 в.о.

Напруга мережі також зменшується приблизно до 0,7 в.о. від початкового значення 1,0 в.о., і залишається в перехідному стані протягом 2,0 секунд, після чого досягає значення 1,0 в.о. через 7,0 секунд, як показано на рисунку 3.43. Величина відкриття затвора збільшується до 0,74 в.о. від початкового значення 0,725 в.о. і коливається протягом 4,0 секунд, як показано на рисунку 3.45, і прагне досягти встановленого значення через 9,0 секунд.

З отриманих результатів при різному значенні посилення регулятора ПД-регулятора видно, що вплив на гідравлічний перехідний процес є більш значним, коли коефіцієнт посилення похідного регулятора ПД-регулятора збільшується в порівнянні зі збільшенням пропорційного та інтегрального коефіцієнта посилення. Отже система стає вкрай нестабільною, коли збільшується похідне посилення. Таким чином, для стабільної роботи мікро-ГЕС рекомендується менше значення коефіцієнта приросту похідної.

### 3.3 Економічна доцільність впровадження мікро-ГЕС

Основними і головними економічними показниками системи утилізації гідроенергетичного ресурсу, що визначають рентабельність останньої, є собівартість електричної енергії, яка виробляється нею,  $C_{EE}$  і термін окупності  $T_{ок}$ . 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:

$$C_{EE} = \frac{B_{зв}}{W_{EE}} \quad (3.27)$$

$$T_{ок} = \frac{K}{W_{EE} \cdot (C_m - C_{EE})} \quad (3.28)$$

де  $K$  - капітальні витрати на спорудження СГЕУ, грн.;

$B_{зв}$  - затрати виробництва за відповідний період (рік), грн.;

$W_{EE}$  - кількість відпущеної електроенергії (рік), кВт·год;

$C_m$  - діючий тариф на покупну електроенергію з мережі, грн/кВт·год.

В свою чергу, результат у вищезазначених формулах може змінюватися від багатьох факторів, таких як: вартість обладнання, придатного для даного виду утилізації, вартість монтажних і пусконаладжувальних 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:

- за трудомісткістю робіт;

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

### 3.3.1 Розрахунок капітальних вкладень

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 3.4 і 3.5 складені за діючими на 2020 рік цінами виробників відповідного обладнання (БМУ «Запоріжстальбуд – 1» і Chengdu Forster Technology) і можуть бути прийняті для подальших розрахунків. Також наведений перелік може бути доповнений і розширений іншими (новими і більш досконаліми) зразками енергетичного і допоміжного обладнання.

Таблиця 3.4 - 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

Продовження таблиці 3.4

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 3.5 - Номенклатура і одинична вартість енергетичного модуля виробництва Chengdu Forster Technology

	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 2021 року – 0,8962 грн/кВт·год, тобто збільшився у сім 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.

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  $p$ -му центрі збору впродовж часу  $T$ , очевидно, буде визначатися як сума відповідних енергій  $W_{p\gamma}$  за проміжки  $t_\gamma$ , тобто:

$$W_p = \sum_{\gamma=1}^L W_{p\gamma}. \quad (3.29)$$

Загальне вироблення електричної енергії для об'єкта гідроенергетичної утилізації визначається за виразом:

$$W = \sum_{p=1}^q W_p. \quad (3.30)$$

де  $q$  - кількість центрів збору гідроресурсів.

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

$$C_{EE} = \frac{K_{nc\kappa}}{W}. \quad (3.31)$$

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

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

$$B_E = W_p \cdot (C_M - C_{EE}) \quad (3.32)$$

– розрахунковий коефіцієнт ефективності капіталовкладень:

$$E_p = \frac{B_E}{K_{C_k}} \quad (3.33)$$

а термін їх окупності, років:

$$T_{ок} = \frac{K_{C_k}}{B_E} \quad (3.34)$$

Проведемо розрахунок техніко-економічних показників системи гідроенергетичної утилізації вторинних водотоків для ливарного цеху АТ «Мотор Січ». Вихідні дані для відповідних обчислень наведені раніше.

Капіталовкладення на отримання електричної енергії з наведеного водотоку будуть складатися з витрат на енергомодуль мікро-ГЕС, з'єднуючі трубопроводи, вартість робіт з монтажу. Відповідні коефіцієнти амортизації енергетичного обладнання – 24%, трубних конструкцій – 8%. Вартість монтажних і пуско-налагоджувальних робіт, в даному випадку, складе 7,5%, а на поточний ремонт і обслуговування основних фондів - 5% від капітрат. Мікро-ГЕС типу 10Пр виробництва Chengdu Forster Technology коштує 114,576 тис.грн., питома вартість трубопроводу діаметром 325 мм за даними



БМУ «Запоріжстальбуд – 1» - 290145 грн/км . Річна кількість електроенергії, що виробляється дорівнює  $w = 64580,5$  кВт · год.

Тоді, з урахуванням вищезазначеного, отримаємо, грн:

$$K_{C_1} = 290145 \cdot 38 \cdot 10^{-3} + 114576 = 125601,51 .$$

Вартість робіт з монтажу і пуско-наладки, грн:

$$K_m = 125601,51 \cdot 0,075 = 9420,11 .$$

Тоді, загальні капітальні витрати згідно формулі 5.1 становлять, грн:

$$K = 125601,51 + 9420,11 = 135021,62 .$$

### 3.3.2 Розрахунок експлуатаційних витрат, грн.:

Експлуатаційні витрати розраховуються за формулою:

$$B_{зв} = C_a + C_p + C_{фзп} , \quad (3.35)$$

де  $C_a$  - експлуатаційні витрати на амортизацію, грн;  $C_a$  - експлуатаційні витрати на ремонт, грн;  $C_a$  - експлуатаційні витрати на фонд заробітної плати, грн.

$$C_a = 11025,51 \cdot 0,08 + 114576 \cdot 0,24 = 28380,28 ,$$

$$C_p = 135021,62 \cdot 0,05 = 6751,08 ,$$

$$C_{фзп} = \Delta\Phi ЗР = 0 .$$

$$B_{36} = 28380,28 + 6751,08 = 35131,36.$$

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

$$C_{EE} = B_{36}/W, \quad (3.36)$$

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

Тобто, можна записати:

$$C_{EE} = \frac{35131,36}{64580,5} = 0,54 < C_m$$

За економічними і енергетичними показниками для об'єкта гідроенергетичної утилізації, що розглядається, визначено величину, яка відображає економічну доцільність капіталовкладень в проект. Остання, а саме вигода, розраховується за виразом:  $B_i = W_i \cdot (C_m - C_i)$ , де  $W_i$  - кількість електричної енергії, що виробляється генераторами  $i$  - го варіанта СГЕУ, кВт·год./рік;  $C_m$ ,  $C_i$  - вартість електроенергії з мережі (для промислових підприємств станом на 1.12.2021р. – 1,01 грн./кВт·год.) і її собівартість, відповідно.

Передбачувані капіталовкладення в реалізацію проекту складають 135021,62 грн. згідно з діючою на 1.12.2021 р. вартістю обладнання, робіт з монтажу і обслуговування.

3.3.3 Визначення техніко-економічних показників впровадження системи гідроенергетичної утилізації

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 (Таблиця 3.6). Перший з останніх, для об'єкта, що розглядається, буде дорівнювати:

$$B_E = 64580,5 \cdot (1,04 - 0,54) = 32290,25 \text{ тис.грн/рік.}$$

– коефіцієнт ефективності капіталовкладень:

$$E_p = \frac{32290,25}{135021,62} = 0,24.$$

– термін окупності капітальних вкладень:

$$T_{ок} = \frac{135021,62}{32290,25} = 4,18 \text{ років.}$$

Таблиця 3.6 - Техніко-економічні показники впровадження модульних мікро-ГЕС в умовах ливарного цеху № 10

№п/п	Економічні показники	Значення Chengdu Forster Technology
1	2	3
1	Капітальні витрати, грн	135021,62
2	Кількість виробленої ЕЕ річна, кВт	64580,5
4	Економічний ефект, грн	32290,25
5	Собівартість ЕЕ, грн/кВт·год	0,54
6	Ефективність капіталовкладень	0,24
7	Термін окупності, років	4,18

Зважаючи на те, що вартість електроенергії для промислових підприємств постійно збільшується, вигода від реалізації проекту

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

Отримані в результаті розрахунків техніко-економічні показники засвідчують, що виробництво власної електричної енергії дає значну економію коштів на придбання енергоресурсів промисловими підприємствами і електроенергії зокрема.

### 3.4 Висновок

Запропонований проект виявився економічно вигідним, бо строк окупності та коефіцієнт капітальних вкладень не перевищує 5 років та більше 0,15 від нормативних, відповідно(Таблиця 3.7).

Таблиця 3.7 - Техніко-економічні показники впровадження запропонованих заходів в умовах ливарного цеху №10 підприємства АТ «Мотор Січ»

№ п/п	Економічні показники	Мікро-ГЕС Chengdu Forster Technology
1	Капітальні витрати, грн	135021,62
2	Економічний ефект, грн	32290,25
3	Ефективність капіталовкладень	0,24
4	Термін окупності, років	4,18

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Акціонерне товариство «Мотор Січ» на сьогодні є одним з провідних підприємств країни по виробництву авіаційної і цивільної енергетичної продукції. Енергозабезпечення підприємства здійснюється за рахунок покупних видів палива (природний газ і мазут) та електроенергії, а тепла енергія надходить від власних промислових котелень. В цілому по підприємству за станом 2021р. обсяги власного споживання покупних енергоресурсів складають: паливо – 57,5 тис. т.у.п., електроенергії – 137 млн. кВт. год

Підприємство володіє величезним потенціалом ВЕР у вигляді фізичної теплоти відхідних газів нагрівальних і термічних печей, вагранок, теплоти випарного охолодження печей, теплоти відпрацьованої пари пресів і молотів.

Одним з основних енергоємних цехів підприємства «Мотор Січ» є ливарний цех №10. Обсяги споживання покупних енергоресурсів за станом 2021р. складають: паливо – 108,35 т.у.п., електроенергії – 9097 тис. кВт. год. В останні роки простежується стійка тенденція до збільшення обсягів споживання енергетичних ресурсів ливарним цехом №10. При цьому у 2021 р. мало місце найбільше збільшення обсягів споживання природного газу на 29,4% та електроенергії енергії на 18% порівняно з 2020р.

В зв'язку з цим був запропонований проект з енергозбереження, а саме: впровадження мікро-ГЕС в системі оборотного водопостачання.

Впровадження мікро-ГЕС типу 10Пр з пропелерною турбіною виробництва Chengdu Forster Technology в системі оборотного водопостачання.

Мікро-ГЕС було вибрано після визначення параметрів сумарного вторинного водотоку – 7836,1 Вт. Номінальні витрати коливаються в межах 0,1-0,21 м<sup>3</sup>/с, напори 4,5 – 10 м, потужність 2,2 – 10 кВт. Енергія, що виробляється генератором за рік складає 64580,5 кВт.

Передбачувані капіталовкладення в реалізацію проекту складають 135021,62 грн. згідно з діючою на 1.12.2021 р. вартістю обладнання, робіт з монтажу і обслуговування. Собівартість електричної енергії, що виробляється всією СГЕУ – 0,54 грн. Економічний ефект – 32290,25 грн. Термін окупності проекту – 4,18 років. Зважаючи на те, що вартість електроенергії для промислових підприємств постійно збільшується, вигода від реалізації проекту гідроенергоутилізації також, відповідно, зростатиме.

Запропонований проект виявився економічно вигідними, бо строк окупності та коефіцієнт капітальних вкладень не перевищує 5 років та більше 0,15 від нормативних, відповідно. За рахунок впровадження системи заходів підприємство отримає річну економію природного газу в об'ємі 92233,62 м<sup>3</sup>, та електричної енергії 122011,84 кВт.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вторичные энергоресурсы и энерготехнологическое комбинирование в промышленности/Н.А.Семененко, Л.И.Куперман, С.А.Романовский и др.–Киев: "Вища школа", 1979.–296с.
2. Статистичний щорічник України за 2010 рік. – К.: Видавництво Консультант, 2011. – 551 с.
3. Пирогов Н.Л. Вторичные ресурсы: эффективность, опыт, перспективы: учебник для вузов / Пирогов Н.Л., Сушон С.П., Завалко А.Г. – М. : Экономика, 1987. – 326 с.
4. Коваленко В.Л. О возможности повышения эффективности утилизации вторичных энергоресурсов промышленных предприятий / В.Л. Коваленко, Ю.Г
5. Аксенов П.И. Оборудование литейных цехов – Москва: Машиностроение, 1977 - 510 с.
6. Воздвиженский В.М., Грачев В.А., Спасский В.В. Литейные сплавы и технология их плавки в машиностроении – Москва: Машиностроение, 1984 - 431 с.
7. Ладыжский Б.Н., Орешкин В.Д., Сухарчук Ю.С. Литейное производство – Москва: Машиностроение, 1953 – 207 с.
8. Литейное производство: Учебник для вузов. Под редакцией Михайлова А.М. – Москва.: Машиностроение, 1987 – 255 с.
9. Внедрение энергосберегающих технологий в литейном производстве [Электронный ресурс] / Режим доступа до ресурса: <http://www.technolit.by/node/55>.
10. Экономия энергетических и материальных ресурсов в литейном и металлургическом производстве [Электронный ресурс] / Режим доступа до ресурса: <http://www.technolit.by/node/57>.
11. Литейное производство сегодня и завтра./По материалам 6-й Всероссийской научно-практической конференции, г. Санкт-Петербург, 20-

22 июня 2006 года к.т.н. В.И. Евсеев, вице-президент Союза литейщиков Санкт-Петербурга [Электронный ресурс] / Режим доступа до ресурса: <http://souzlit.ru/60.html>.

12. Рум'янців В. Д., Ольшанский В. М. Теплотехніка: Навчальний посібник. В. И.Губинского. - Дніпропетровськ: Пороги, 2002. - 325 с.

13. Розенгарт Ю.И. Вторичные энергетические ресурсы черной металлургии и их использование. - К.: " Высшая школа", 2008г. - 328с.

14. Сезоненко Б. Д., Орлик В. Н., Доруденко В. В. Підвищення ефективності використання природного газу при опалюванні промислових печей регенеративними пальниками. Екотехнології і ресурсозберігання, 1996, № 1. -С.14-18.

15. Хоу Чэн Лян. Сучасний стан і перспективи розвитку регенеративних печей. "Металургійна теплотехніка". Збірка наукових праць Державної металургійної академії України. У 2-х томах. Т. 1 - Дніпропетровськ: ГМетАУ, 1999. - 214 с.

16. Методика розрахунку питомих витрат паливо-енергетичних ресурсів на виробляємому продукцію для підприємств машинобудівного комплексу Мінпромполітики України. Київ, 2006р.

17. Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби України КТМ 204 України 244-94

18. СНиП 2.04.05-91. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Издание неофициальное, Киев. : КиевЗНИИЭП, 1996 - с. 89

19. В. Мааке, Г.-Ю. Эккерт, Ж.-Л. Кошпен. Учебник по холодильной технике: Пер. с франц. — М.: Изд-во Московского Ун- а, 1998. — 1142 с., ил.

20. Рей Д., Макмайл Д. Тепловые насосы: Пер. С англ. — М.:Энергоиздат, 1982. — 224 с., ил. 3. Эль Садин Хасан. Выбор оптимальных параметров системы теплоснабжения жилого дома // Холодильная техника. — 2003. — № 3. — с.18-21.



21. Овчаренко А.В. Використання теплових насосів // Холод М+Т. — 2006. — № 2. — с. 34-36.
22. Бондарь Е.С., Калугин П.В. Энергосберегающие системы кондиционирования воздуха с аккумуляцией холода // С.О.К.. — 2006. — № 3. — с. 44-48.
23. 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.
24. 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.
25. Коваленко В.Л. Об оценке потенциала вторичного гидроэнергетического ресурса предприятия / В.Л. Коваленко, Ю.Г. Качан // Відновлювана енергетика. – 2009. – № 2. – С. 54 – 58.
26. Андоньев С.М. Особенности промышленного водоснабжения: учеб. пособ. / Андоньев С.М. – Киев : Будівельник. – 1981. – 246 с.
27. Андоньев С.М. Испарительное охлаждение металлургических печей: учебн. пособ. / Андоньев С.М. – М. : Металлургия, 1970. – 318 с.
28. Віхорєв Ю.О. Перспективи використання енергії водотоків технічних систем водопостачання і водовідведення / Ю.О. Віхорєв, А.П. Ільяшенко // Проблеми загальної енергетики. – 2002. – № 7. – С. 29 – 33.
29. Обрезкова В.И. Гидроэнергетика / [под ред. В.И. Обрезкова]. – М. : Энергоиздат, 1981. – 608 с.
30. Юдасин Л.С. Энергетика: проблемы и надежды : учеб. пособ. / Юдасин Л.С. – М. : Просвещение, 1990. – 207 с.
31. Штеренлихт Д.В. Гидравлика : учеб. для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. / Штеренлихт Д.В. – М. : Колос, 2004. – 656 с.
32. Чугаев Р.Р. Гидравлика (техническая механика жидкости) : учеб. для вузов / Чугаев Р.Р. – Л. : Энергоиздат, 1982. – 672 с.

33. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления трубопроводов: учеб. для вузов / А.Д. Альтшуль, В.И. Калицун. – М. : Стройиздат, 1964. – 170 с.
34. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления : учеб. для вузов / Альтшуль А.Д. – М. : Недра, 1970. – 216 с.
35. Є.Г.Самойленко. Гідроенергетичне обладнання гідро- і гідроакумуючих електростанцій. Ч. I. Основи теорії гідромашин : навч. посібн / Самойленко Є.Г. – Запоріжжя : ЗДІА, 1999. – 104 с.
36. Основи охорони праці: Навч. посіб. / В. В. Березуцький, Т. С. Бондаренко, Г. Г. Валенко та ін.; За заг. ред. В. В. Березуцького. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Х.: Факт, 2007. – 480 с.
37. СНиП 11-4-79. Естественное и искусственное освещение
38. ГОСТ 12.2.098-84 ССБТ. Кабины звукоизолирующие. Общие требования

## ДОДАТОК А

Демонстраційні матеріали до захисту кваліфікаційної роботи

«Підвищення ефективності роботи енергетичного обладнання  
машинобудівного підприємства»

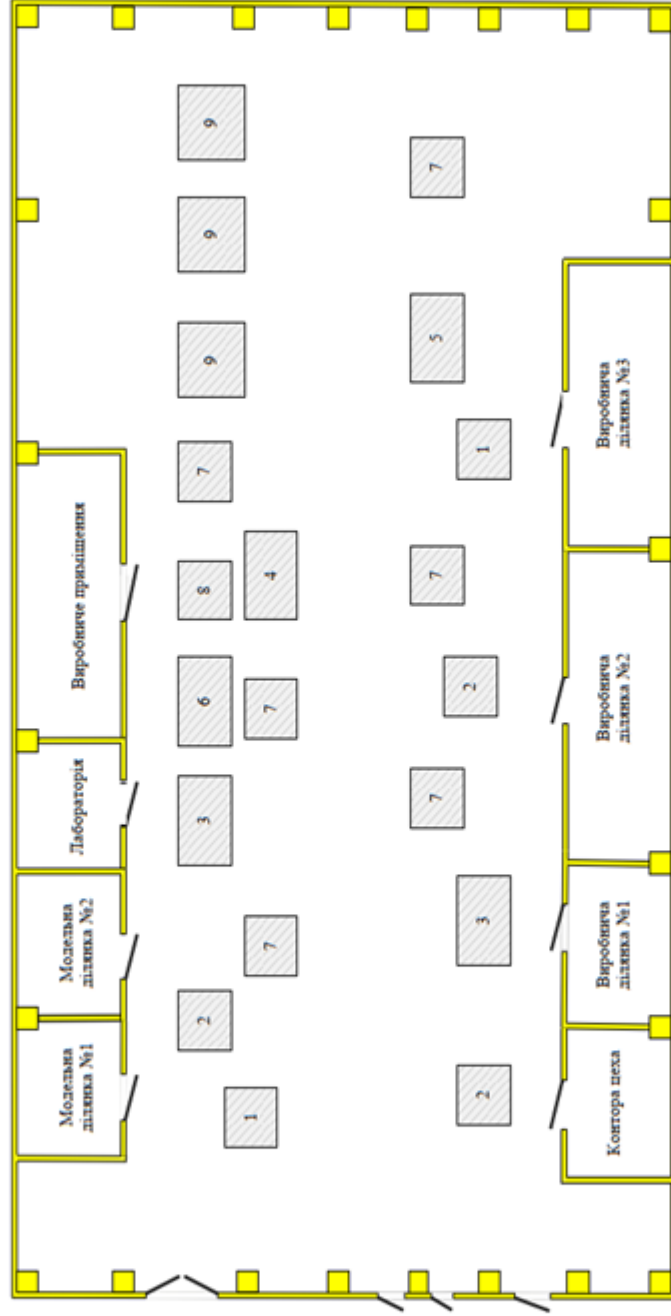
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні ЗНУ  
Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем  
Кваліфікаційна робота магістра на тему:

«Підвищення ефективності роботи енергетичного обладнання  
машинобудівного підприємства»

Виконав: ст.гр. 8.1411 Петраш О.В.  
Керівник: к.т.н., доцент Єрофєєва А.А.

# План приміщення ливарного цеху №10 підприємства АТ «Мотор Січ»

2



Умовні позначення:

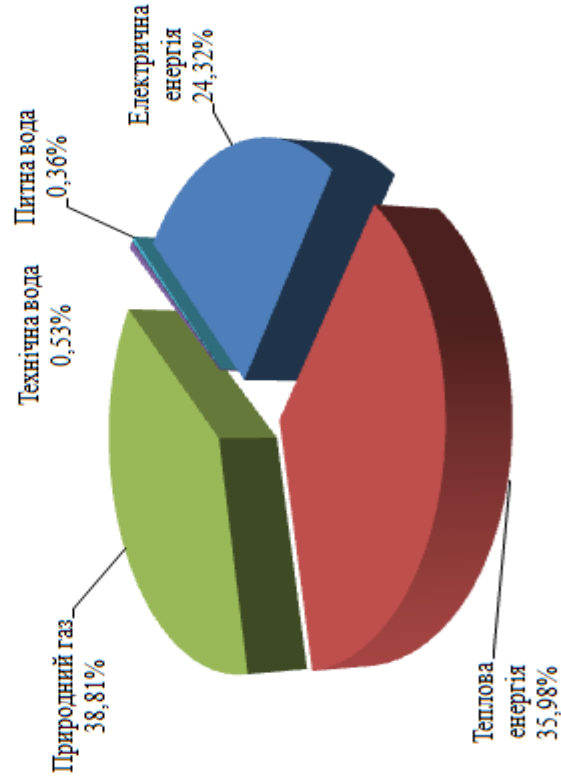
- 1 - Вакуумна установка УВПФ-3М
- 2 - Вакуумна установка ВВП 100
- 3 - Ізлучувальна плів (алюмінієва плівка) ИСТ 016
- 4 - Ізлучувальна плів АЯКС (генератор)
- 5 - Ізлучувальна плів АЯКС (СПЧ)
- 6 - Ізлучувальна плів МПТ 252
- 7 - Вакуумна установка УВНК-8П
- 8 - Вакуумна пл. установка ULVACFM1-11-100
- 9 - Плів герметична типу Г-240

## Річні обсяги споживання енергетичних ресурсів підприємством

3

№п/п	Види енергоресурсів	Одиниці виміру	Обсяги споживання				
			2017р.	2018р.	2019р.	2020р.	2021р.
1	Електрична енергія	тис.кВт.год	138226	140118	134191	131804	137459
2	Теплова енергія (власне виробництво)	Гкал	293923	281049	250340	277273	291725
3	Природний газ	тис.м <sup>3</sup>	49765	47866	48686	47450	49597
4	Мазут топковий	т	-	18,3	9,69	-	6,64

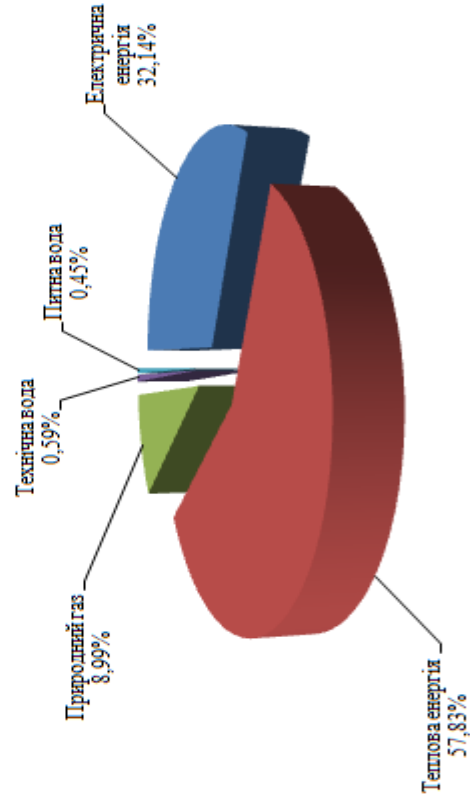
Річні витрати на енергетичні ресурси підприємством за 2021 рік, %



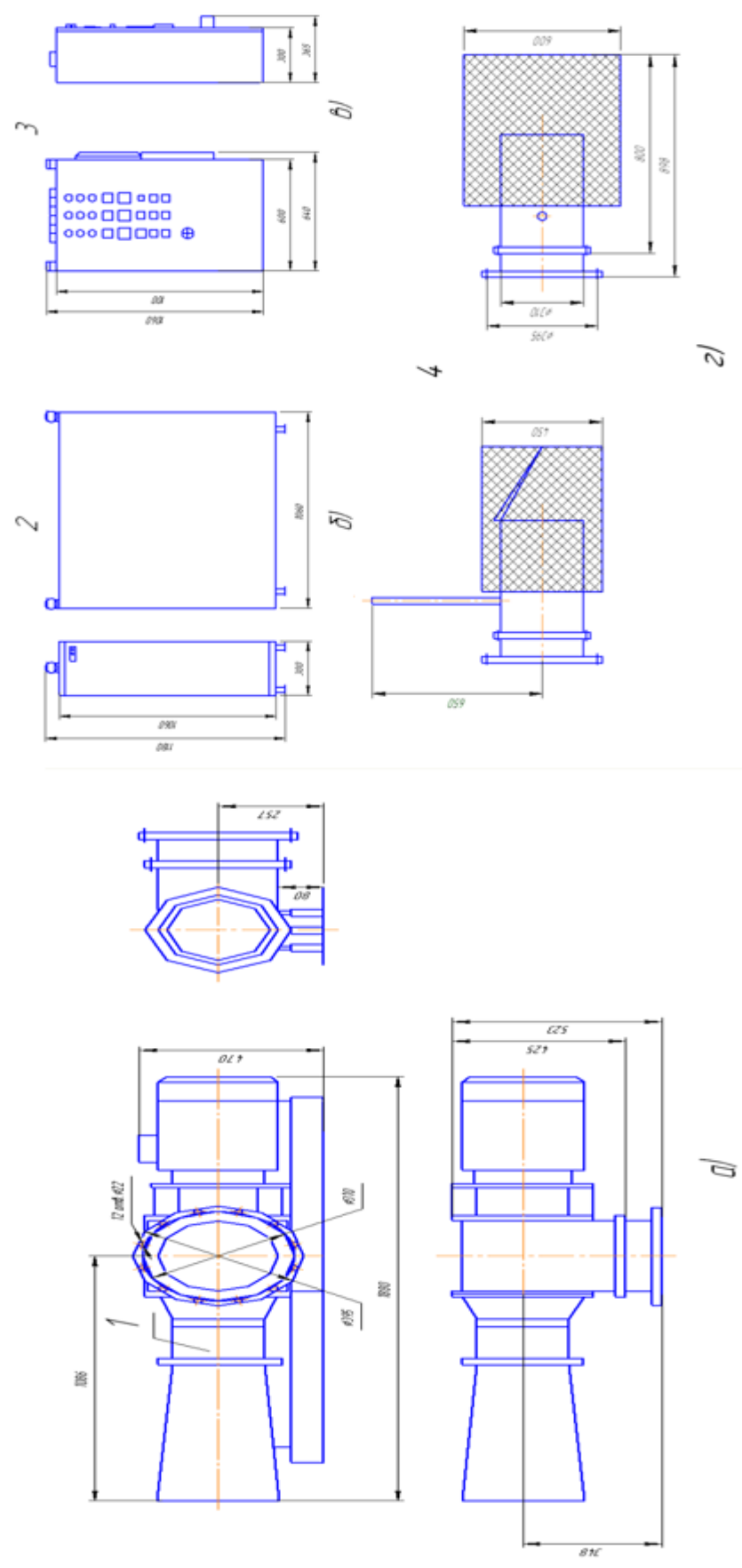
## Річне споживання енергетичних ресурсів ливарного цеху №10 підприємства АТ «Мотор Січ»

№	Види енергоресурсів	Одиниці виміру	Обсяги споживання				
			2017р.	2018р.	2019р.	2020р.	2021р.
1	Електрична енергія	кВт.год	5803996	578413 0	5815184	7445935	9096789
2	Теплова енергія (власне виробництво)	Гкал	17005,5	17197,3	15840,2	19807,5	23479,4
3	Природний газ	тис.м <sup>3</sup>	924,8	435,9	287,3	406,4	575,3
4	Технічна вода	м <sup>3</sup>	155563	138785	88168	84188	93398
5	Питна вода	м <sup>3</sup>	37862	280345	20523	24720	28678

Річні витрати на енергетичні ресурси ливарним цехом  
№10 за 2021рік, %



# Габаратні і установчі розміри пропелерної мікро-ГЕС 10Гр





## Технічні характеристики мікро-ГЕС

№	Параметри	Тип мікро-ГЕС		
		10Пр	15Пр	50Пр
1	Потужність, кВт	0,6-4	2,2-10	10-30
2	Напір, м	2,0-4,5	4,5-10	2,5-6
3	Витрата, м <sup>3</sup> /с	0,07-0,14	0,1-0,21	0,3-0,8
4	Частота обертання, хв <sup>-1</sup>	1000	1500	600
5	Номінальна напруга, В	230	400	230, 400
6	Ном. частота струму, Гц	50		

№	Параметри	Тип мікро-ГЕС	
		20ПрД	100Д О
1	Потужність, кВт	10 - 20	до 100 до 200
2	Напір, м	8-18	40-250
3	Витрата, м <sup>3</sup> /с	0,080-0,170	0,015-0,046
4	Частота обертання, хв <sup>-1</sup>	1500	600; 750; 1000
5	Номінальна напруга, В	230, 400	230, 400
6	Номінальна частота струму, Гц	50	50

Основні технічні характеристики мікро-ГЕС  
із пропелерними турбінами виробництва  
Chengdu Forster Technology

Основні технічні характеристики мікро-ГЕС  
із діагональною й ковшовою турбінами  
Chengdu Forster Technology

## 7 Моделювання поведінки мікро-ГЕС при трьох

### випадках

При різному значенні посилення регулятора ПД-регулятора видно, що вплив на гідравлічний перехідний процес є більш значним, коли коефіцієнт посилення похідного регулятора ПД-регулятора збільшується в порівнянні зі збільшенням пропорційного та інтегрального коефіцієнта посилення. Отже система стає вкрай нестабільною, коли збільшується похідне посилення. Таким чином, для стабільної роботи мікро-ГЕС рекомендується менше значення коефіцієнта приросту похідної.

## Економічна доцільність впровадження мікро-ГЕС

Основними і головними економічними показниками системи утилізації гідроенергетичного ресурсу, що визначають рентабельність останньої, є собівартість електричної енергії, яка виробляється нею, і термін окупності .

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

## Техніко-економічне обґрунтування впровадження запропонованого заходу

№ п/п	Економічні показники	Мікро-ГЕС Chengdu Forster Technology
1	Капітальні витрати, грн	135021.62
2	Економічний ефект, грн	32290.25
3	Ефективність капіталовкладень	0,24
4	Термін окупності, років	4,18

## Висновки

- Одним з основних енергоємних цехів підприємства «Мотор Січ» є ливарний цех №10. Обсяги споживання покупних енергоресурсів за станом 2021р. складають: паливо – 108,35 т.в.д., електроенергії – 9097 тис. кВт. год. В останні роки простежується стійка тенденція до збільшення обсягів споживання енергетичних ресурсів ливарним цехом №10. При цьому у 2021 р. мало місце найбільше збільшення обсягів споживання природного газу на 29,4% та електроенергії енергії на 18% порівняно з 2020р.
- В зв'язку з цим був запропонований проект з енергозбереження, а саме: впровадження мікро-ГЕС в системі оборотного водопостачання. Впровадження мікро-ГЕС типу 10Пр з пропелерною турбіною виробництва МНТО «ІНСЕТ» в системі оборотного водопостачання. Мікро-ГЕС було вибрано після визначення параметрів сумарного вторинного водотоку – 7836,1 Вт. Номінальні витрати коливаються в межах 0,1-0,21 м<sup>3</sup>/с, напори 4,5 – 10 м, потужність 2,2 – 10 кВт. Енергія, що виробляється генератором за рік складає 64580,5 кВт.
- Передбачувани капіталовкладення в реалізацію проекту складають 135021,62 грн. Економічний ефект – 32290,25 грн. Термін окупності проекту – 4,18 років. Зважаючи на те, що вартість електричної енергії для промислових підприємств постійно збільшується, вигода від реалізації проекту гідроенергоутилізації також, відповідно, зростатиме.
- Запропонований проект виявився економічно вигідним, строк окупності та коефіцієнт капітальних вкладень не перевищує 5 років та більше 0,15 від нормативних, відповідно. За рахунок впровадження системи заходів підприємство отримає річну економію природного газу в об'ємі 92233,62 м<sup>3</sup> та електричної енергії 122011,84 кВт.