

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет автоматизації виробництва та цифрових технологій
Кафедра автоматизації, електро- та робототехнічних систем

«Допущено до захисту»
Гарант ОПП

Світлана ГУРКОВСЬКА

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання
освітньо-професійної програми
«Комп'ютерне конструювання мехатронних систем»
за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування

**на тему «Вдосконалення модуля автоматизації механізму
автоперекидання шибєрів мартєнівської печі»**

Керівник
роботи

Микола ГОЛОТЮК

Консультант
від бази практики

Максим БАБЕНКО

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають
посилання на відповідне джерело*

Здобувач

Євген ДРУЗЬ

Підсумкова оцінка за атестацію			
--------------------------------	--	--	--

Голова ЕК

Андрій ГОЛОЯДОВ



ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет автоматизації виробництва та цифрових технологій

Кафедра автоматизації, електро- та робототехнічних систем

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування

ОПП Комп'ютерне конструювання мехатронних систем

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми
«Комп'ютерне конструювання мехатронних систем»

Світлана ГУРКОВСЬКА

(прізвище та ініціали)

(підпис)

«12» липня 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Друзь Євгена Андрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи (проєкту) Вдосконалення модуля автоматизації механізму автоперекидання шибєрів мартенівської печі
керівник роботи (проєкту) Голотюк Микола Віталійович, доцент кафедри АВЕРС
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом Університету від 01.07.2024 №162/01.07.2024 _____
2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 01.12.2024 р.
3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, державні стандарти з автоматизації, методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи з тематики автоматичного регулювання та управління, літературні джерела, технологічні інструкції, результати власних експериментів та досліджень тощо
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Анотація. Зміст. Вступ. 1. Аналіз предметної області. 2. Теоретичні дослідження. 3. Програма, методика та результати експериментальних досліджень (3.1 Мета та методи експериментальних досліджень; 3.2 Перелік використаної апаратури, обладнання; 3.3 Результати досліджень із аналізом отриманих результатів; висновки). 4. Розділ з економіки. Висновки. Додатки
5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу: _____
6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх.

Розділ	Консультант (прізвище, ініціали та посада)
1-4	Голотюк М.В., доцент кафедри АБЕРС

7. Дата видачі завдання 05 липня 2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи (проекта)	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1. Аналіз предметної області	09.09.2024 – 03.11.2024	
2	Розділ 2. Теоретичні дослідження	04.11.2024 – 10.11.2024	
3	Розділ 3. Методика та результати експериментальних досліджень	11.11.2024 – 17.11.2024	
4	Розділ 4. Економічне обґрунтування запропонованих змін	18.11.2024 – 20.11.2024	
5	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	21.11.2024 – 24.11.2024	
6	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	25.11.2024 – 27.11.2024	
7	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	25.11.2024 – 27.11.2024	
8	Рецензування завершеної роботи.	28.11.2024 – 01.12.2024	
8	Захист	02.12.2024 – 07.12.2024	

Здобувач

Керівник роботи

(підпис)

(підпис)

Друзь Євген Андрійович

(прізвище та ініціали)

Голотюк Микола Віталійович

(прізвище та ініціали)



АНОТАЦІЯ

Друзь Євген Андрійович. Вдосконалення модуля автоматизації механізму автоперекидання шиберів мартенівської печі. -Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування». ОПП «Комп'ютерне конструювання мехатронних систем»– ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, 2024.

Об'єктом дослідження даної роботи є процес автоперекидання газових шиберів мартенівської печі.

Предметом дослідження є механізм автоперекидання шиберів МП-2, МП-5, МП-6, МП-7, МП-8, МП-10 та МП-12.

Мета та завдання. Метою роботи є модернізація модулю керування процесом автоперекидання шиберів з метою покращити ступінь надійності електричних компонентів та розширити шляхи автоматичним керуванням з можливістю включення цього процесу в систему АСУТП.

У першому розділі проаналізовано металургійну промисловість. Розглянуто конструкцію та принцип роботи мартенівської печі. Детально розібрано функціонування контур управління стабілізації теплового режиму печі. Проаналізовані патенти, які на сьогодні марально застарілі, проте дають базу для подальшої модернізації за допомогою оцифрування вхідних та вихідних потоків даних, які потребують контролю та керування. В результаті виявлена необхідність у покращенні існуючого процесу здійснення автоперекидання шиберів, яке планується досліджувати та вдосконалювати в ході виконання кваліфікаційної роботи.

У другому розділі проведено дослідження виконавчого механізму. Розглянуто складові виконавчого механізму та визначено методологію та причини підбору комплектуючих за їх функціональними ознаками. Визначено фактори, які сприяли вибору та встановленню механізму відстеження, його компонентної бази та діаграми роботи. Досліджена електрична частина агрегату, яка відповідає за керування виконавчим пристроєм та дозволяє здійснювати моніторинг стану за допомогою світлової індикації.

У третьому розділі розглянута проблематика керування технологічним процесом контролю температурного режиму в печі. Обрано модулі, які підвищують надійність агрегату та автоматизують його в повному обсязі.

У четвертому розділі виконано розрахунок економічної ефективності модернізації процесу автоперекидання шиберів мартенівської печі.

**МАРТЕНІВСЬКА ПІЧ ВИРОБНИЦТВО ПРОМИСЛОВІСТЬ МЕТАЛУРГІЯ
КОНТРОЛЕР АВТОМАТИЗАЦІЯ КЕРУВАННЯ ГАЗ ПОВОРОТНА ЗАСУВКА**



ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АСУТП – автоматизована система управління технологічними процесами

АРМО – автоматизоване робоче місце оператора

ГПУ – графічний процесор управління

МП – мартенівська піч

ПЗ – програмне забезпечення

ПЛК – програмований логічний контролер

ППК – прилади приймально-контрольні

САР – система автоматизованого регулювання

АС – змінний струм

АД – асинхронний двигун

УП-універсальний перемикач



ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ.....	9
1.1 Галузь промисловості	9
1.2 Технологічний процес	10
1.3. Об'єкт керування.....	13
1.3.1 Принцип функціонування об'єкта керування	15
1.4 Патентний пошук.....	16
2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	18
2.1 Дослідження виконавчого механізму	18
2.1.1 Розрахунок та вибір двигуна	18
2.1.2 Розрахунок та вибір редуктора	27
2.3 Дослідження механізму відстеження	35
2.4 Дослідження системи керування.....	37
2.4.1 Огляд автоматичної схеми перекидання шиберів.....	37
2.4.2 Огляд силової частини виконавчого механізму.....	38
2.5 Дослідження системи моніторингу	40
3 Програма, методика та результати експериментальних досліджень ...	41
3.1 Мета та методи експериментальних досліджень	41
3.2 Перелік використаної апаратури, обладнання	42
3.3 Результати досліджень із аналізом отриманих результатів	46
3.3.1 Дослідження модуля керування.....	46
3.3.2 Дослідження температурного сигналу керування.....	49
3.4 Висновки	50
4 РОЗДІЛ З ЕКОНОМІКИ	51
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	54
ПЕРЕЛІК ВИКОРАСТИНИХ ДЖЕРЕЛ	55
ДОДАТОК А МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА.....	56
ДОДАТОК Б ОБЛАДНАННЯ.....	58



ВСТУП

Сучасний рівень і перспективи розвитку технологій нерозривно пов'язані з новими знаннями, пошуком нових ідей, механізацією та автоматизацією технологічних процесів.

Під механізацією технологічного процесу розуміють заміну ручної праці людини роботою машин або механізмів. Участь людини в багатьох видах робіт із застосуванням техніки є вкрай потрібною, наприклад для керування машинами, закріплення деталей, контролю точності та якості.

Постійна модернізація та удосконалення обладнання є необхідним та ключовим аспектом підвищення надійності та стійкості, так як це дає значний економічний ефект, призводить до збільшення виробництва та підвищенню якості готової продукції.

Автоматизація — це напрям розвитку техніки й технологій, що характеризується звільненням людини не тільки від затрат енергії м'язів для виконання рухів, пов'язаних з виробничим процесом, а й від оперативного керування відповідними механізмами.

У сучасному світі металургійна промисловість відіграє ключову роль у розвитку економіки, забезпечуючи необхідні матеріали для різних галузей виробництва. Одним із важливих процесів у металургії є виробництво сталі у мартенівських печах. Однак цей процес вимагає постійного вдосконалення та автоматизації для підвищення ефективності та безпеки виробництва.


Для автоматизації виробництва широко використовують електронно-обчислювальні машини та принципи програмного керування.

На сучасних підприємствах виробничі процеси автоматизовано. Технологічними машинами керують комп'ютери, а виконання трудомістких і монотонних або небезпечних операцій здійснюють спеціальні автоматизовані машини - роботи.

Автоматизація дає можливість підвищити продуктивність праці та якість продукції, знизити собівартість і скоротити втрати. Крім того, виробництво та продажі завдяки впровадженню цифрових технологій стають більш прозорими, зменшується вплив людського фактору.

Автоперекидання шиберів є одним із критичних етапів роботи мартенівської печі. Механізм автоперекидання шиберів забезпечує контрольоване переміщення шиберів, що дозволяє регулювати подачу матеріалів і теплоносіїв у процесі плавки. Надійність цього механізму безпосередньо впливає на якість продукції, продуктивність процесу та безпеку роботи всього обладнання.

Ненадійність та недостатня автоматизація цього процесу можуть призводити до значних втрат часу, ресурсів і навіть аварійних ситуацій. Наприклад, збій у роботі шиберів може викликати нерівномірне розподілення тепла, що знижує якість сталі та підвищує ризик пошкодження печі. Тому вдосконалення модуля автоматизації механізму



автоперекидання шиберів є актуальним завданням для сучасної металургії.

Тема є актуальною, так як в даний момент в умовах дефіциту кваліфікованого технологічного та ремонтного персоналу, виникає необхідність у розвантаженні найбільш критично важливих ділянок, які значно впливають на якість продукції та на надійності виробничого агрегату.

Апробація роботи:

1. Друзь Є.А., Голотюк М.В., Бундза О.З. Моделювання роботи модуля автоматизації механізму автоперекидання шиберів мартенівської печі. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «MININGMETALTECH 2024 – Гірничо-металургійний комплекс: інтеграція бізнесу, технологій та освіти», м. Запоріжжя, 28–29 листопада 2024 р. Запоріжжя, ТОВ «Технічний університет «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2024. DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-127>

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Галузь промисловості

Мартенівський спосіб одержання сталі належить до галузі чорної металургії, яка у свою чергу є однією з найважливіших напрямків важкої промисловості. Підприємства чорної металургії зазвичай виробляють чавун, сталь, різноманітні феросплави і металеві вироби промислового призначення (гарячо- та холоднокатані листа, балки, тощо).

До найбільших вітчизняних підприємств цієї галузі належать: «Криворіжсталь», «Дніпроспецсталь», Дніпропетровський металургійний комбінат, «Запоріжсталь» та інші. Стратегічно, для України металургія залишається дуже важливою галуззю промисловості, яка надає більше 200 тисяч робочих місць, понад 10 мільярдів доларів експортної виручки і займає п'яту частину товарного експорту. Втім, галузь має досить низький рівень екологічності виробництва а також, страждає від слабкої інноваційності. Це ставить питання щодо рішучих змін та підвищення ефективності виробництва в металургійній промисловості. На рис. 1.1 зображені показники металургійної промисловості в Україні за 8 місяців 2023 та 2024р [1].



Рисунок 1.1 - Показники металургійної промисловості за 8 місяців 2023-2024р

1.2 Технологічний процес

Мартенівська піч – це складний агрегат, у якого плавильне відділення розташоване горизонтально, воно складено з вогнестійкої цегли і укладено у жорсткий сталевий каркас з посилених колон, балок і облицювальних плит. Всі основні процеси, а саме спалювання палива і плавка сталі, відбуваються у робочому просторі печі.

На рис. 1.2 наведено конструкцію мартенівської печі.

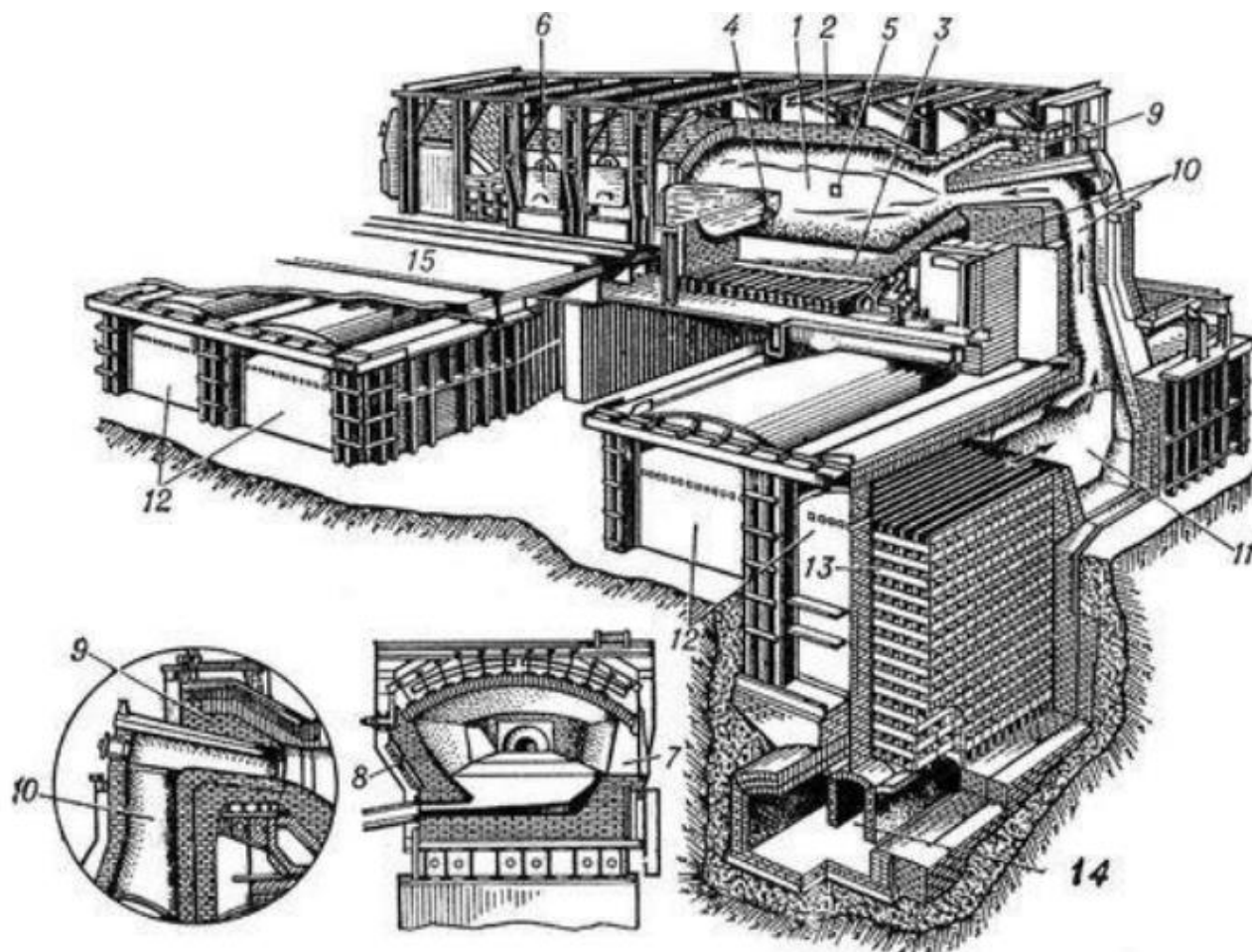



Рисунок 1.2 - Конструкція мартенівської печі: 1- робочий простір печі; 2- звід печі; 3- подина печі; 4- отвір для випуску сталі; 5- отвір для спуску шлаку; 6- завалочні вікна; 7- передня стінка; 8- задня стінка; 9- головка печі; 10- вертикальні канали; 11- шлаковики; 12- регенератори; 13- насадка регенераторів; 14- борова; 15- робочий майданчик.

Подина печі конструюється з вогнестійких матеріалів, які запобігають проривам металу а також, піддаються впливу температур до 1600 °С і ударним навантаженням при завантаженні шихти.

Задня стінка робочого простору зазвичай нахилена на 45...55 градусів – це зроблено задля більшої стійкості. Вона має отвори для випуску сталі й шлаку. Також, вона оснащена посиленою теплоізоляцією яка має знижувати втрати тепла через її збільшену площу. Передня стінка



зазвичай виповнена з магнезитової цегли та оснащена робочими вікнами через які загружають шихту, заливають чавун та ведуть спостереження за ходом плавки.

Звід печі також виступає дуже важливим елементом її робочого простору. Він піддається впливу температури понад 1700 °С, термічним ударам та температурним коливанням факела, а також, хімічному впливу від пилу шихти і бризок шлаку. Зазвичай, в печах створюються аркові, розпорено-підвісні перекриття, які збираються з прямих та клинових цеглин, що підвішують до металоконструкцій мартена на сталеві штирі і пластини. При переході до голівок звід набуває невеликого нахилу та має вбудовані у ньому фурми, що подають кисень.

Займання палива відбувається у голівках печі, що розташовані по торцях робочого простору. У мартена дві головки: одна подає факел - полум'я, інша відводить продукти горіння. В цілому, вони виконують наступні функції:

- 1) відведення продуктів горіння з робочого простору;
- 2) змішування палива з підігрітим струменем повітря.

Шлаковики - це камери, що збирають частки пилу і шлаку захоплені продуктами горіння при виході з робочого простору. Вони розміщені над вертикальними каналами і для більш ефективного осідання часток мають, у порівнянні з ними, більш широкий поперечний переріз.


Регенератори – це перетворювачі, які являють собою камеру, заповнену спеціальною насадкою. Вони конденсують і передають теплову енергію відхідних продуктів горіння повітря чи газу, що транспортується в робочий простір. Вкладаються в сталевий каркас з кожухом і конструюються з 12 вогнетривкої цегли(як і шлаковики). З'єднані з боровами, що відводять продукти горіння до димаря.

Регулювання руху газу та інтенсивність тяги забезпечують перекидні клапани і шибери, що керуються в автоматичному режимі.

Мартенівська плавка складається з наступних періодів:

- 1) заправка поду печі доломітовим або магнетизованим порошком. Початком періоду заправки можна вважати початок випуску попередньої плавки. У період заправки не допускають остуджування печі, оскільки це призведе до подовження чергової плавки. Щоб уникнути затримок, зазвичай подають першу порцію шихти до початку випуску плавки. Заправка печі вище за рівень шлаку поєднується з періодом доведення, при цьому не допускається загущення шлаку заправними матеріалами. Ділянки, що знаходяться нижче рівня шлаку, заправляють у міру оголення стін під час випуску плавки. Заправка печі під час чистого кипіння забороняється. Також, заправка забороняється при довготривалому сході металу по жолобу під час випуску;

- 2) завантаження залізної руди, вапняку(сипучих матеріалів) і залізного лому. Першим шаром завалюють залізну руду, розміщуючи її по всій поверхні поду. Другим шаром сиплють вапняк. Завантаження забороняється, якщо подина печі остудилася. Завалка залізного лому



починається після закінчення прогріву сипучих матеріалів і проводиться послідовно і рівномірно в кожне вікно, при цьому важкий лом з кожного складу завалюється в останню чергу в середні вікна, ближче до задньої стінки. До закінчення завалки повинні бути встановлені з передньої сторони дві шлакові чаші та дві чаші під шлакові отвори задньої стінки;


3) прогрів завантажених матеріалів до 600 – 800 °С при температурі поверхні в 1400 – 1450 °С. Тривалість прогрівання має бути не більше 1 години для 650 т. та 1 година 20 хв – для 900 т. печей. Прогрів слід вважати закінченим, якщо на поверхні лому немає темних плям а його кромки злегка оплавлені і шихта трохи осіла;

4) завантаження рідкого чавуну. Заливання чавуну за відсутності шлакових чаш під печами забороняється. Жолоба для заливки чавуну встановлюють не пізніше ніж за 10 хв до початку заливки. Загальний час завантаження має бути для печей ємністю 900 т трохи більше 50 хвилин, для печей ємністю 650 т – трохи більше 45 хвилин. Необхідно враховувати, що скорочення часу заливки чавуну призводить до зменшення тривалості плавки, збільшення кількості первинного шлаку, що спускається, і поліпшення умов для видалення сірки по ходу плавки. Під час завантаження чавуну також контролюють завершення прогріву шихти(особистими спостереженнями);

5) плавлення, під час котрого залізний лом розчиняється у металевому сплаві, формування шлаку та видалення з металу практично усього кремнію і марганцю та значимої частини фосфору та вуглецю. Для випалення домішок, в робочому просторі забезпечують температуру, приблизно більшу на 100°С точки плавлення і подають велику кількість повітря. Метал переходить у рідкий стан і на поверхню розплаву виділяється шлак який видаляють. У випадках спінювання шлаку, необхідно зменшити витрати газу та збільшити витрати мазуту до 30% від загального теплового навантаження. Злиття первинного шлаку має починатися не пізніше ніж через 15 хвилин після зливу чавуну. Тривалість видалення шлаку, рахуючи від кінця заливки чавуну, повинна бути не більше 40 хвилин з таким розрахунком, щоб до моменту спливання вапняку спуск первинного шлаку був закінчений. Крім того, під час плавлення, за рахунок власних спостережень регулюють:

- кількість та час додавання у піч вапняку, бокситу та інших шлакоутворюючих елементів;
- час та умови відбору проб металу та шлаку;
- кількість та час додавання у піч вапняку,
- бокситу та інших шлакоутворюючих елементів;тривалість та інтенсивність продувки ванни киснем(також регулюють по показанням приладів);
- кількість чавуну.

6) доведення і розкислення, під час котрого метал доводиться до заданого хімічного складу і температури. Частиною доведення є період чистого кипіння, тобто кипіння ванни без присадок руди, окалини та без



продувки киснем. Розкислення – це остання стадія плавки, яку зазвичай, проводять використовуючи феросиліцій, феромарганець, силікомарганець, алюміній, титан 14 або кальцій. Ці елементи вступають в реакцію з FeO і виводять кисень, який потрапляє в шлак;

7) випуск. Випускний жолоб встановлюється на піч до заливання чавуну. Жолоб повинен бути ретельно очищений від гребінців та настилів вогнетривкої глини, сміття та добре просушений до моменту випуску плавки. Після встановлення жолобу слід перевірити справність і надійність роботи механізму регулювання швидкості зливання металу по рукавах жолобу. Перевірити справність затворів на бункерах для введення феросплавів у ківш. Ківш для прийняття металу повинен бути ретельно очищений усередині та зовні від настилів металу та шлаку, глини, сміття. Після очищення ківш продувається стисненим повітрям. Ківш повинен бути встановлений під плавку не пізніше ніж за 1 годину до початку випуску. Забороняється приступати до оброблення сталевипускного отвору за відсутності ківшу під жолобом та до встановлення та приймання у розливному прольоті складу з виливницями. Випускний отвір печі до моменту випуску плавки повинен бути оброблений до його перерізу і очищений від заправних матеріалів. Тривалість випуску металу з печі має бути не більше 30 хвилин для 650 т. печі та не більше 40 хвилин – для 900 т. печі. Під час випуску металу треба слідкувати за рівномірним розподіленням металу між ківшами. Категорично забороняється вивід сирих матеріалів. Після розливки сталі в виливниці, вона охолоджується і застигає [2].

1.3. Об'єкт керування

В якості об'єкта керування виступає контур управління стабілізації температури мартенівської печі. В розглядуваній роботі в нас 500 – тонна мартенівська піч. На рис. 1.3 наведено більш схематичне зображення мартенівської печі, а на рис. 1.4 основні габарити поду та висота склепіння [3].

Одним із недоліків мартенівської печі є її мала енергоефективність. Саме тому, для підвищення температури факелу газоподібне паливо та повітря заздалегідь підігрівають в регенераторах. При опаленні печей підігрітим газовим паливом широко використовуються голівки. Підігрітий газ надходить центральним вертикальним каналом, повітря — двома крайніми. Проходячи через газові і повітряні прольоти, що поступово звужуються, газ і повітря набувають великої швидкості, що забезпечує інтенсивне перемішування їх і належну організацію факела.

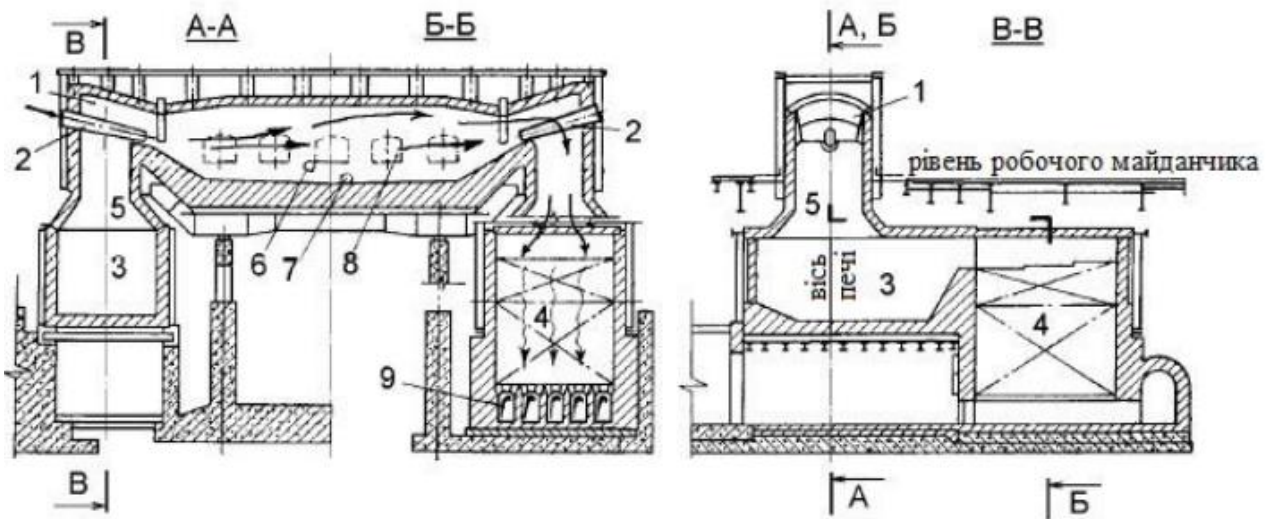


Рисунок 1.3 - Схематичне зображення мартенівської печі:
 1 - головка печі; 2- паливоспалюючий пристрій; 3- шлаковик; 4- регенератор; 5- вертикальний канал; 6- отвір для спуску шлаку; 7- отвір для випуску сталі; 8- завалочні вікна; 9- борова для диму.

Параметри	Місткість, тонни
	500
Площа поду, м ²	94,5
Довжина ванни, м	16,1
Ширина ванни, м	5,8
Глибина ванни всередині печі, м	1,2
Висота склепіння, м	3,1

Рисунок 1.4 - Таблиця параметрів поду і зводу мартенівської печі.

У регенераторах переважно застосовуються насадки двох типів з відкритими (Сіменса) і наскрізними (Каупера) каналами (рис. 1.5), найбільш поширені насадки з відкритими каналами. перетин осередку 157x157 мм. Верхня частина насадки (40—50% висоти) викладена з динасової, а нижня частина — із шамотної цегли. Допустима температура нагрівання такої насадки 1350-1375 °. У великих печей насадки викладені із фасонної цегли довжиною 230 мм, товщиною 75 мм; перетин осередку 157x157 мм.

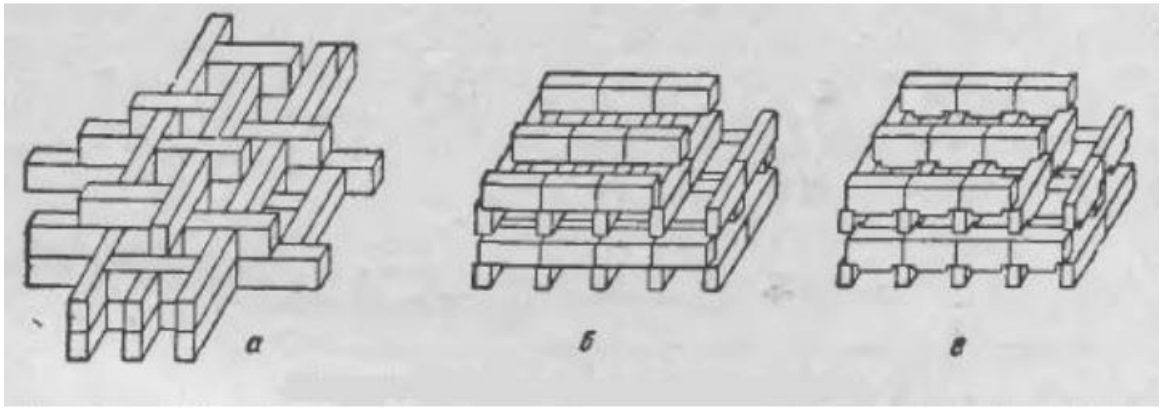


Рисунок 1.5 - Типи насадок регенераторів: а) – із наскрізними каналами; б) – з відкритими каналами; в) – з фасованої цегли.

Система автоматичного перекиду клапанів у мартенівській печі слугує для захисту насадки регенераторів від перегріву та забезпечення оптимального режиму роботи регенераторів. Задля уникнення зміни частоти перекиду клапанів при випадкових короткочасних коливаннях температури насадки, систему блокують з реле часу, котре не пропускає командний сигнал до збігу встановленого на реле мінімального часу.

1.3.1 Принцип функціонування об'єкта керування

Мартенівська піч належить до безперервних об'єктів керування.

На рис. 1.6 зображено спрощену схему роботи мартенівської печі.

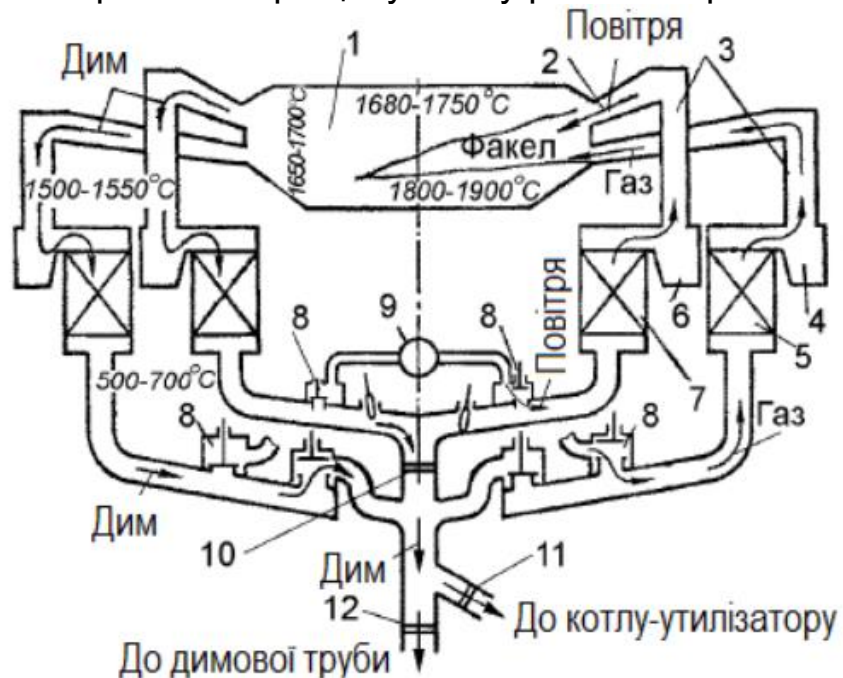



Рисунок 1.6 - Схема роботи мартенівської печі: 1- робочий простір печі; 2- головка; 3- вертикальні канали; 4- шлаковик; 5- газовий регенератор; 6- шлаковик; 7- повітряний регенератор; 8- перекидні клапани; 9- вентилятор; 10- регулювальна засувка(шибер); 11- засувки на борові до котла-утилізатора; 12- засувки на борові димової труби



Піч опалюється за допомогою пальника – при роботі на висококалорійному газі або за допомогою форсунки – при роботі на мазуті. При роботі на низькокалорійному газі, окрім палива, особливо необхідне повітря, що нагнітається вентилятором і надходить з регенератора в головку печі і далі в робочий простір печі. При згорянні палива утворюється факел із температурою 1800-1900 °С. Факел паливоспалюючого пристрою організують так, щоб він стелився по поверхні шихти. Продукти горіння проходять над шихтою, нагрівають її і видаляються через протилежну головку, потрапляючи через шлаковики в регенератори з температурою 1500-1550 °С. Тепло відпрацьованих газів акумулюється насадкою з вогнетривкої цегли, яка заповнює камеру регенератора, а потім віддається повітрі, що подається в піч для спалювання палива. Ступінь використання тепла газів, що відходять (коефіцієнт регенерації) залежить від розміру осередків регенеративної насадки: чим менший цей розмір, тим вище коефіцієнт регенерації. У шлаковиках осідає основна кількість плавильного пілу. Після регенератора дим із температурою 500-700 °С йде до димової труби за системою боровів. Поки через регенератор проходить дим, він (регенератор) поступово нагрівається. Через 5-10 хвилин слідує, так зване перекидання клапанів. Система клапанів перенаправляє потоки газу, повітря та диму в протилежний бік. У нагріті регенератори надходять холодне повітря і холодний газ, нагріваються в ньому і через головку печі надходять до горіння. Тим часом, продукти горіння йдуть через протилежні регенератори, нагріваючи його. Потім цикл повторюється.

1.4 Патентний пошук

При огляді існуючих систем, на жаль у відкритому доступі знайти конкретну інформацію про сучасні патенти з автоматизації перекидання шибрів у мартенівських печах не вдалось. Можливо, це пов'язано з тим, що такі патенти можуть бути дуже спеціалізованими та не завжди доступними для широкого оголошення.

У зв'язку з переходом на конверторне виробництво з 60-х років минулого століття, найбільш свіжі данні, на які можна опиратись в нашому дослідженні, це Н. И. Топерверх, «Шляхи автоматизації теплового режиму мартенівських печей», який датується 1938 роком. В ньому він розглядає основні питання автоматизації теплового режиму мартенівських печей. У статті розглядаються експериментальні результати та рекомендації щодо використання автоматичних систем для оптимізації процесу плавлення сталі. Все це і на сьогодні використовується майже в повному об'ємі, за винятком заміни деяких складових на більш сучасні, але функціонально подібні.

В сучасних реаліях зміна палива для опалення печей, інтенсифікація виробництва, знос робочих агрегатів та зменшення робочого персоналу, змінили вектор з розвитку та модернізації сталеплавильного комплексу на підтримку роботи існуючого обладнання. Через це мають доцільність



модернізація, яка направлена на суттєвий економічний ефект, який буде збережений в часі, або на здатність заміщення людського ресурсу автоматичною системою чи комплексом.



2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Дослідження виконавчого механізму

Автоперекидання шиберів у мартенівській печі включає використання автоматизованих систем для керування та перемикання шиберів з однієї позиції в іншу. Виконавчий компонент такого механізму це привод. Привод забезпечує необхідну силу для перемикання шиберів та складається з двигуна та редуктора.

Електромеханічні приводи використовують електродвигуни для створення сили, необхідної для перемикання шиберів. Його задача приводити в рух механічну систему.

В механізмах зі змінним силовими або швидкісними режимами між двигуном та робочим органом повинна бути встановлена керована передача (коробка швидкостей, варіатор тощо). Механізм автоперекидання характеризується тим, що рух його робочого органа відбувається за встановленим циклом, який визначається характером технологічного процесу. В складі таких машин зазвичай включаються механізми, які дозволяють встановлювати (задавати) і регулювати роботу машини, кулачкові і кулісні механізми, механізми мальтійського хреста, важільні механізми.

Вимоги, які висуваються до виконавчого компонента, можуть бути виконані із використанням різних варіантів передач та їх кінематичних схем для редуктора, так і різними видами приводів. Задача полягає в розробці і виборі оптимальних ланок в заданих умовах, які б виконували заданий процес за різними показниками(вагою, вартістю, якістю, зручністю компоновки та технічного обслуговування і т.д.).

2.1.1 Розрахунок та вибір двигуна


Різні типи приводів мають свої переваги та недоліки, залежно від конкретних умов використання та вимог до системи. Переваги та недоліки приведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1- Переваги та недоліки приводів

Тип приводу	Переваги	Недоліки
Гідравлічні приводи	Велика сила: Гідравлічні приводи можуть створювати дуже велику силу, що робить їх ідеальними для важких навантажень.	Витік рідини: Можливі проблеми з витокami рідини, що може призвести до втрати ефективності.

Продовження таблиці 2.1

Тип приводу	Переваги	Недоліки
Гідравлічні приводи	Точність: Забезпечують високий рівень точності та контролю руху. Компактність: Мають високу щільність потужності, що дозволяє зменшити розмір механізму.	Складність обслуговування: Вимагають регулярного технічного обслуговування та контролю за рівнем рідини. Чутливість до температури: Працездатність може змінюватися в залежності від температури рідини.
Пневматичні приводи	Простота: Простий у конструкції та обслуговуванні. Швидкість: Швидкий в роботі, що робить їх ідеальними для додатків, де необхідна швидка реакція. Безпека: Пневматичні приводи менш небезпечні в порівнянні з гідравлічними.	Менша сила: Не можуть створювати таку велику силу, як гідравлічні приводи. Шум: Пневматичні системи досить шумні під час роботи. Ефективність: Менш ефективні в порівнянні з гідравлічними системами.
Електромеханічні приводи	Точність: Висока точність контролю та позиціонування. Енергоефективність: Висока ефективність використання енергії.	Складність: Можуть бути складнішими у конструкції та обслуговуванні. Вартість: Вища вартість у порівнянні з гідравлічними та
Тип приводу	Переваги	Недоліки
	Безпека та екологічність: Не використовують рідини, що робить їх більш безпечними та екологічними.	пневматичними приводами. Чутливість до умов: Можуть бути чутливими до вібрацій та інших умов навколишнього середовища.



Проаналізувавши кожен з цих типів приводів, які мають свої переваги та недоліки, можемо зробити вибір, який залежить від конкретних умов експлуатації та вимог до системи. Тому обираємо найбільш придатний варіант для розгляду та використання-електромеханічний привод.

Електромеханічні приводи мають високу точність контролю та позиціонування, високу ефективність використання енергії, не використовують рідини, що робить їх більш безпечними та екологічними. Окрім цього одним найважливішим параметром є простота в інтеграцію з системами керування та автоматизації.

Асинхронні електродвигуни (АС) є одними з найбільш популярних типів електродвигунів завдяки своїм численним перевагам. Асинхронні двигуни мають просту і надійну конструкцію, що робить їх менш чутливими до пошкоджень та зменшує потребу в технічному обслуговуванні. Завдяки простій конструкції та великому обсягу виробництва, асинхронні двигуни зазвичай мають низьку вартість виробництва та придбання. Ці двигуни мають високу надійність і довговічність, що робить їх ідеальними для використання в промислових умовах. Асинхронні двигуни можуть витримувати короточасні перевантаження без значного зниження продуктивності або пошкоджень, а ще вони не потребують складних систем запуску, що полегшує їхнє використання в різних механічних системах.

При розгляданні недоліків цього двигуна можливо зробити припущення, що вони не мають суттєвого впливу на якісні показники роботи нашої системи. Наприклад такі як понижений ККД у порівнянні з іншими двигунами, обмежений діапазон регулювання швидкості, неефективна робота при значних коливаннях навантаження (що може призвести до зниження продуктивності) та неможливість забезпечувати точний контроль швидкості.

Для початку розрахунків вибору двигуна потрібно починати з найпростішого. При експлуатації навіть вдало вибраного за потужністю ЕД, завжди можуть виникнути короточасні сплески навантаження, які значно перевершують потужність двигуна. Вони помітно не підвищують нагрівання ЕД, однак у випадку, якщо буде перевершена їх певна межа, нормальний режим буде порушений.

Таким чином при виборі ЕД у першу чергу слід виходити із наступних двох факторів: нагрівання та величина миттєвого перевантаження. Для цього потрібно проаналізувати графік перекидання шиберів, який приведений на рисунку 2.1. З нього отримуємо значення часу увімкненого стану двигуна 22с. Період паузи на різних періодах роботи варіюється від 180 до 600 с. Тому розраховувати період ввімкнення будемо за час найменшої паузи, щоб не дозволити перегрів двигуна. Режим роботи повторно-короткочасний номінальний режим (s3).



Рисунок 2.1 - Графік роботи перекидки

Тут короткочасні періоди незмінного номінального навантаження (робочі періоди) чергуються з періодами відмикання машини (паузами), причому ні на одному з робочих періодів температура нагрівання ЕД не досягає усталеної температури нагрівання, а при будь-якій паузі двигун не встигає охолонути до температури навколишнього середовища, дивись рисунок 2.2.

Формула для визначення повторно-короткочасного номінального режиму роботи, характеризується відносною тривалістю вмикання (ТВ):

$$ТВ_{\phi} = \frac{t_B}{t_y} \cdot 100\%, \quad (2.1)$$

$t_y = t_0 + t_B$ - час циклу;

t_B - час увімкненого стану (роботи);

t_0 - час паузи.

$$ТВ_{\phi} = \frac{22}{202} \cdot 100\% = 10,89\%$$

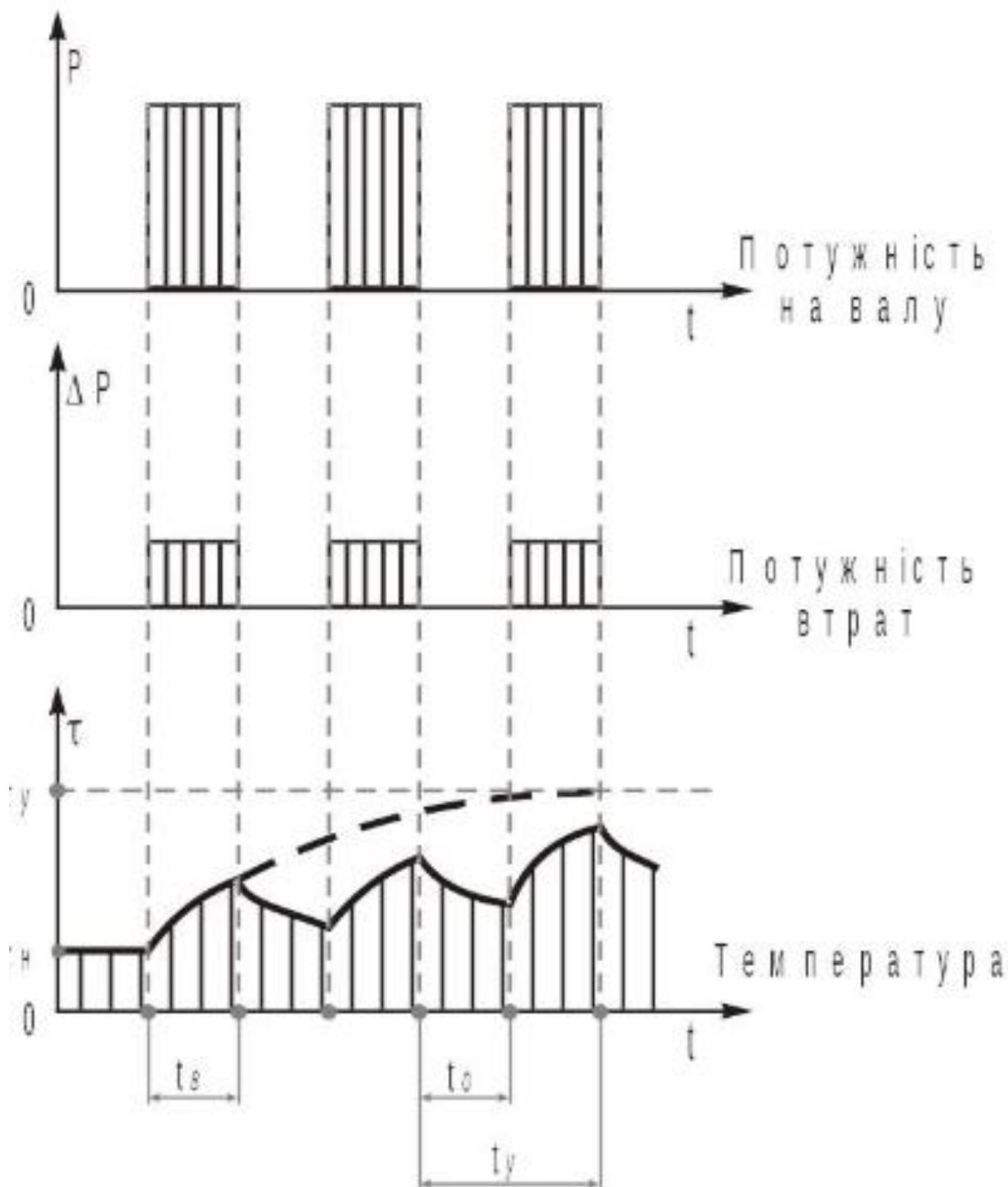


Рисунок 2.2 - Графіки повторно-короткочасного режиму роботи
 Вибираємо найближче більше стандартне ТВ (15;25;40;60;100).

$$TB_{CT} = 15\%.$$

Перерахунок потужності двигуна здійснюється за формулою:

$$P_{роз} = P_{екв} \cdot \sqrt{\frac{TB_{\phi}}{TB_{CT}}} \quad (2.2)$$



Еквівалентна потужності визначаємо за формулою:

$$P_{\text{роз}} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2 \cdot t_i}{\sum t_i}} \quad (2.3)$$

За каталогом, вибираємо двигун спеціального виконання за умовою:

$$P_{\text{н}} \geq P_{\text{роз}} \quad (2.4)$$

Вибраний двигун перевіряють за умовами пуску та перевантажувальній можливості.

Перевіряємо електродвигун за умовами пуску:

$$M_{\text{п.дв}} \geq M_{\text{зр}}, \quad (2.5)$$

де $M_{\text{п.дв}}$ - пусковий момент електродвигуна при зниженій напрузі, Н·м;
 $M_{\text{зр}}$ - момент зрушення робочої машини, Н·м.

$$M_{\text{п.дв}} = M_{\text{н}} \cdot \mu_{\text{п}} \cdot k_u^2, \quad (2.6)$$

де $M_{\text{н}}$ - номінальний момент електродвигуна, Н·м;
 $\mu_{\text{п}}$ - кратність пускового моменту електродвигуна;
 k_u - коефіцієнт зниження напруги. Приймаємо $k_u = 0.9$ [4]

$$M_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}}}{\omega_{\text{н}}}, \quad (2.7)$$

де $\omega_{\text{н}}$ - номінальна кутова швидкість електродвигуна, рад/с.

$$\omega_{\text{н}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{н}}}{30}, \quad (2.8)$$

де $n_{\text{н}}$ - номінальна частота обертання електродвигуна, хв⁻¹
Перевіряємо електродвигун за умовами перевантаження:

$$M_{\text{мак.дв}} \geq M_{\text{о.мак.рм}}, \quad (2.9)$$

де $M_{\text{мак.дв}}$ - максимальний момент електродвигуна при зниженій напрузі;

$M_{\text{о.мак.рм}}$ - максимальний момент опору робочої машини.

$$M_{\text{о.мак.рм}} = \frac{P_{\text{о.мак}}}{\omega_{\text{н}}}, \quad (2.10)$$

де $P_{\text{о.мак}}$ - максимальна потужність з навантажувальної діаграми, кВт;
 $\omega_{\text{н}}$ - номінальна кутова швидкість, рад/с.



$$M_{\text{макс.дв}} = M_{\text{н}} \cdot \mu_{\text{макс}} \cdot k_u^2, \quad (2.11)$$

З навантажувальної діаграми приведеній на рис 2.3., визначаємо найбільше значення навантаження та за ним обираємо двигун.

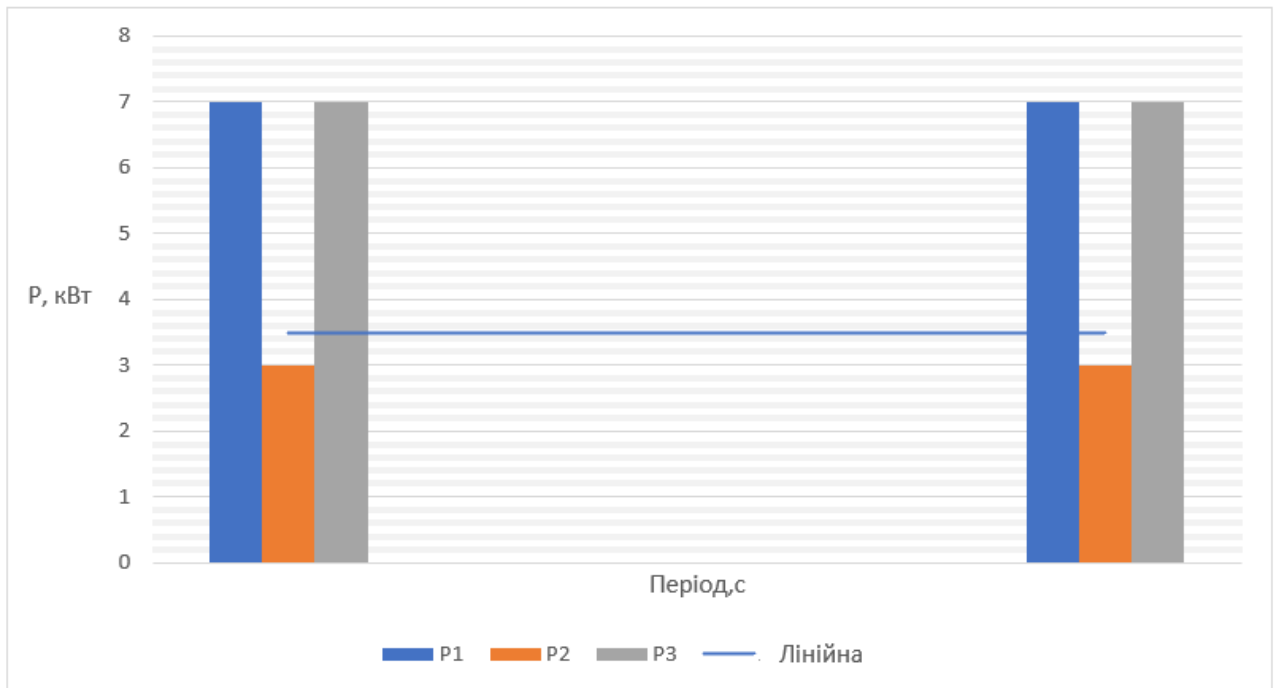


Рисунок 2.3 - Навантажувальна діаграма електродвигуна

Обрані асинхронні двигуни серії МТН 211-6 відомі своєю ефективністю та надійністю. Вони зазвичай використовуються в промислових установках, де потрібна стабільна та безперебійна робота. Ці двигуни мають високу енергоефективність та можуть працювати в різних умовах, забезпечуючи довгий термін служби. Асинхронний крановий електродвигун МТН 211-6 - двигун з фазним ротором і трифазним живленням від мережі змінного струму 50 Гц, напругою 220/380В. Номінальна потужність – 7,5 кВт, частота обертання ротора – 940 об/хв, ступінь захисту від вологи та пилу – IP 54. Підходить для повторно-короткочасного режиму роботи з частими пусками S3 у температурному діапазоні навколишнього середовища від -40 до +50°С. Повні технічні характеристики наведені в таблиці 2.2.

Схеми підключення до трифазної мережі електродвигуна МТН 211-6 здійснюється по схемі зірка 380В. Зірка забезпечує оптимальний ККД двигуна та нижчі струми. Але при цьому неможливо досягти паспортної потужності електродвигуна. Серед переваг даного з'єднання: плавний запуск, стабільна робота двигуна, допускається нетривале навантаження. Зовнішній вигляд наведено на рис 2.4.

Таблиця 2.2 - Технічні характеристики двигунів серії МТН 211-6

Характеристики	Крановий електродвигун			
	МТН 211-6	МТФ 211-6	МТВ 211-6	DMTF 211-6
Потужність, кВт	7,5			
Частота обертання, об/хв	925			
Струм статора, А (380В)	19			
Струм ротора, А	19,2			
ККД, %	82,0			
Сos φ	0,73			
Напруга між кільцями ротора, В	255			
Момент максимальний, Нм	236			
Момент інерції, Нм	0,082			
Клас ізоляції, до	180 С°	155 С°	130 С°	155 С°
Основний режим роботи	S3			
Кліматичне виконання	У1,У2,УХЛ			
Вага, кг	160			

Для утримання валу механізму в загальмованому положенні та щоб здійснювати зупинку використовуються колодкові гальма зі змінним струмом. Гальмо з магнітом короткого ходу зі змінними струмами має шків із діаметром 100-300 міліметрів, призначені для застосування в пристроях за всіма групами режиму, використовуються в умовах різкого перепаду температури. Він має електромагнітне приводну систему, що забезпечує надійне та точне управління від живлення двигуна та підходить для роботи з різними типами механізмів.



Рисунок 2.4 - Зовнішній вигляд електродвигуна МТН 211-6

Найбільш поширені у використанні ТКТ300 з електромагнітом МО200Б та робочим діаметром шківa 300мм на робочому механізмі. Гальмо ТКТ-300 – це колодкове гальмо змінного струму, яке широко застосовується в різних механізмах для забезпечення безпечної зупинки та утримання валів у зафіксованому положенні. Зазвичай його використовують у підйимально-транспортному обладнанні, кранах, лебідках та інших механізмах, де потрібна надійна гальмівна система. Переваги такої гальмівної системи це висока ефективність, надійність, простота використання і обслуговування(при якісному регулюванні потребує лише технічного обслуговування, що виражається в заміні колодок) та економічність(живлення здійснюється для розгальмування робочого органу, що дозволяє утримувати положення незрушним в аварійних режимах). Зовнішній вигляд приведений на рис 2.5.



Рисунок 2.5 - Зовнішній вигляд гальма ТКТ300

2.1.2 Розрахунок та вибір редуктора

Одним із найважливіших завдань при проектуванні машин є вибір приводу. В приводах використовуються дві і більше механічні передачі одного або різних типів. Важливим параметром, що визначає потребу використання механічної передачі в приводі, є його передаточне число. Загальне передаточне число приводу визначається відношенням кутової швидкості валу двигуна до кутової швидкості приводного валу виконавчого механізму або робочого органу машини:

$$U_{\text{заг.}} = \frac{\omega_{\text{дв.}}}{\omega_{\text{пр.}}}, \quad (2.12)$$

де $\omega_{\text{дв.}}$ – кутова швидкість на валу двигуна, рад/с;

$\omega_{\text{пр.}}$ – кутова швидкість на вихідному валу редуктора, рад/с.

Оскільки частота обертання валу більшості електродвигунів висока і постійна або змінюється в незначних межах, а частота обертання приводного валу виконавчого механізму звичайно досить низька, то передаточне число приводу $U_{\text{заг.}} > 1$. Якщо $U_{\text{заг.}} = 1$, а зміна напрямку обертання приводного валу виконавчого механізму можна здійснити за рахунок реверса двигуна, то приводний вал робочого органу можна з'єднати з валом електродвигуна безпосередньо за допомогою муфти. У всіх інших випадках складовою частиною приводу є механічні передачі.

Таблиця 2.3 - Порівняльні характеристики основних типів механічних передач

Тип передачі	Макс. Потужність, кВт	Макс. колова швидкість, м/с	ККД	Передаточне число	Відносний габаритний розмір	Відносна маса	Відносна вартість
Зубчаста циліндрична	3000	50	0,98	8	1,0	1,0	1,0
Зубчаста конічна	500	30	0,97	5	1,8	1,2	2,0
Черв'ячна	100	25	0,70	80	1,5	1,1	1,6
Ланцюгова	150	10	0,96	6	1,6	0,8	0,4
Клинопасова	100	25	0,93	7	5,0	0,5	0,3
Плоскопасова	100	25	0,95	5	10,0	0,4	0,2
Фрикційна	20	25	0,94	6	3,0	1,5	0,8

Можливість використання в приводі машини тієї або іншої механічної передачі визначається рядом факторів: особливостями окремих передач, загальним передаточним числом приводу, потужністю, що передається, й частотою обертання валів, відстанню між валами і їх взаємним розташуванням, наявністю необхідних умов технічного обслуговування, ресурсом приводу та ін. Для можливості загальної орієнтації при проектуванні приводів у табл. 2.3. наведені порівняльні характеристики основних типів механічних передач, які найчастіше використовуються в серійних приводах енергетичних, технологічних і транспортних машин. Показники відносних габаритних розмірів, маси й вартості передач наведені в порівнянні із зубчастою циліндричною передачею. Найбільш раціональним є використання механічних передач у вигляді окремих механізмів – зубчастих і черв'ячних редукторів, коробок швидкостей, варіаторів. Редуктори мають високу навантажувальну здатність, малі габаритні розміри, можуть забезпечувати досить високі передаточні числа, прості в експлуатації.

Найбільш доцільною для використання є черв'ячні передачі в редукторі, які можуть бути корисними в ситуаціях забезпечення плавного і стабільного обертання, що особливо важливо для точних механічних процесів. Черв'ячні передачі також зменшують вібрації, що покращує довговічність обладнання. З недоліків цієї передачі, які не впливають на роботу нашого механізму це те, що вони можуть бути менш ефективними

в ситуаціях, де потрібна висока швидкість обертання або високий крутний момент.

Черв'яки виготовляються здебільшого з якісних вуглецевих або легованих сталей із твердістю $HV \geq 280$. Працездатність черв'ячної передачі істотно збільшується, якщо, за інших рівних умов, витки черв'яка піддаються поверхневому зміцненню до більш високої твердості (загартування, цементація, азотування й т.п.) з наступним їхнім шліфуванням і поліруванням. Черв'ячні колеса виготовляють в основному складеними – з вінцем із кольорового сплаву й сталевую або чавунною маточиною. Значно рідше вінці виконуються з менш якісних матеріалів типу латуней, чавунів і т. п. Найкращі антифрикційні й, отже, експлуатаційні властивості мають бронзи олов'яні, однак вони дорогі й дефіцитні. У зв'язку з цим часто використовуються різні замітники у вигляді безолов'яних бронз, латуней, антифрикційних чавунів і т. п., які мають більш високі міцнісні властивості, але є менш стійкими проти заїдання й спрацьовування. Вибір матеріалу зубів колеса виконується залежно від величини швидкості ковзання в зачепленні VS , твердості й чистоти поверхні витків черв'яка. Вироблені практикою відповідні рекомендації наведені в табл. 2.4. Відхилення допускаються тільки в бік поліпшення матеріалу колеса при даній швидкості ковзання (для поліпшення умов роботи зачеплення).

Таблиця 2.4 - Матеріали зубів черв'ячних коліс

Стан поверхні витків черв'яка	Швидкість ковзання VS , м/с				
	$VS > 8$	$8 > VS \geq 5$	$5 > VS \geq 2$	$2 > VS \geq 1$	$VS < 1$
Шліфовані, поліровані, $HRC \geq 45$	Бронзи олов'яні	Бронзи безолов'яні	Латуні	Чавуни	—
Остаточні оброблені різцем, $HRC < 45$	—	Бронзи олов'яні	Бронзи безолов'яні	Латуні	Чавуни

Допустимі напруження контактні $[\sigma]_H$ й при згинанні $[\sigma]_F$ (без урахування впливу режиму роботи передачі) наведені на рис 2.6 Для олов'яних бронз вони визначені з умови забезпечення контактної витривалості, для інших матеріалів, що мають знижені антифрикційні властивості, – з умов відсутності заїдання й зносостійкості зубів колеса. Допустимі напруження з урахуванням впливу режиму роботи передачі:

$$[\sigma]_{HL} = [\sigma]_H \cdot K_{HL}, \quad (2.13)$$

$$[\sigma]_{FL} = [\sigma]_H \cdot K_{FL}, \quad (2.14)$$

Для матеріалів, що мають добрі антифрикційні властивості (наприклад, олов'яні бронзи), коефіцієнт довговічності:

$$K_{HL} = \sqrt[8]{\frac{N_{HO}}{N_{HE}}} \quad (2.15)$$

Якщо зуби із зазначених матеріалів працюють у парі з поверхнево зміцненим до твердості $HRC \geq 45$, шліфованим і полірованим черв'яком, базова кількість циклів змін напружень, що відповідає довгочасній границі витривалості, дорівнює $N_{HO} = 25 \cdot 10^7$. Еквівалентна кількість циклів змін напружень:

$$N_{HE} = 60 \sum t_i \cdot n_i \cdot \left(\frac{T_i}{T_1}\right)^4 = 60 \sum t_i \cdot n_i \cdot \left(\frac{P_i}{P_1}\right)^4, \quad (2.16)$$

де n_i , t_i – час дії й частота обертання колеса, які відповідають кожному ступеню навантаження, включаючи ступінь із максимальним навантаженням (рис. 2.6.);

P_i , T_i – навантажування на кожному ступені навантаження, включаючи найбільше;

P_1 , T_1 – навантажування найбільше з діючих за цикл, прийняте в розрахунках за номінальне.

Розрахункові значення K_{HL} повинні відповідати умові:

$$1,7 \geq K_{HL} \geq 1 \quad (2.17)$$

Якщо вони виходять за межі зазначених значень, то їх доцільно приймати граничними.

Для матеріалів, що мають знижені антифрикційні властивості (безолов'яні бронзи, латуні, чавуни), а також у всіх випадках при використанні черв'яків із твердістю $HRC < 45$, остаточно оброблених різцем, варто приймати $K_{HL} = 1$. Коефіцієнт довговічності:

$$K_{FL} = \sqrt[9]{\frac{N_{FO}}{N_{FE}}} \quad (2.18)$$

Матеріал зубів колеса			Витки черв'яка шліфовані й поліровані, HRC \geq 45									Витки черв'яка остаточно оброблені різцем, HRC $<$ 45								
Марка	Спосіб виливання	σ_B , МПа	$[\sigma]_H$, МПа при V_S , м/с								$[\sigma]_F$, МПа при навантаженні		$[\sigma]_H$, МПа при V_S , м/с						$[\sigma]_F$, МПа при навантаженні	
			0,5	1	2	3	4	6	8	нереверсивн.	реверсивн.	0,5	1	2	3	4	6	нереверсивн.	реверсивн.	
Бр 010 Ф1	У кокіль	245,0	147								40	27	122						30	20
	У піщану форму	215,5	128								35	22	106						25	15
Бр 010 Ц2	У кокіль	225,5	135								38	25	112						28	17
	У піщану форму	215,5	128								35	22	106						25	15
Бр 04 Ц7С5	У кокіль	176,2	106								21	18	88						16	14
	У піщану форму	147,0	91								18	13	75						14	11
Бр А9ЖЗЛ	У кокіль	490,0	188	183	178	170	166	160	145	58	53	153	147	144	137	134	127	47	42	
	У піщану форму	392,0	184	178	173	165	162	152	138	54	40	147	142	140	134	130	123	42	34	
Бр А10Ж4Н4Л	У кокіль	587,0	193	190	185	178	173	162	148	65	63	156	154	148	145	140	133	52	51	
ЛМц С58-2-2	У кокіль	340,0	148	144	140	134	130	123	112	42	37	120	117	114	110	105	100	34	30	
ЛАЖМц 66-6-3-2	У кокіль	650,0	172	169	154	149	140	128	118	76	70	140	137	125	120	114	104	61	56	
	У піщану форму	600,0	170	166	150	146	136	125	115	73	65	138	134	122	118	110	100	58	52	
А 4С-1	–	350,0	120	100	80	–	–	–	–	54	34	104	–	–	–	–	–	43	27	

Рисунок 2.6 - Допустимі напруження для розрахунку черв'ячних передач

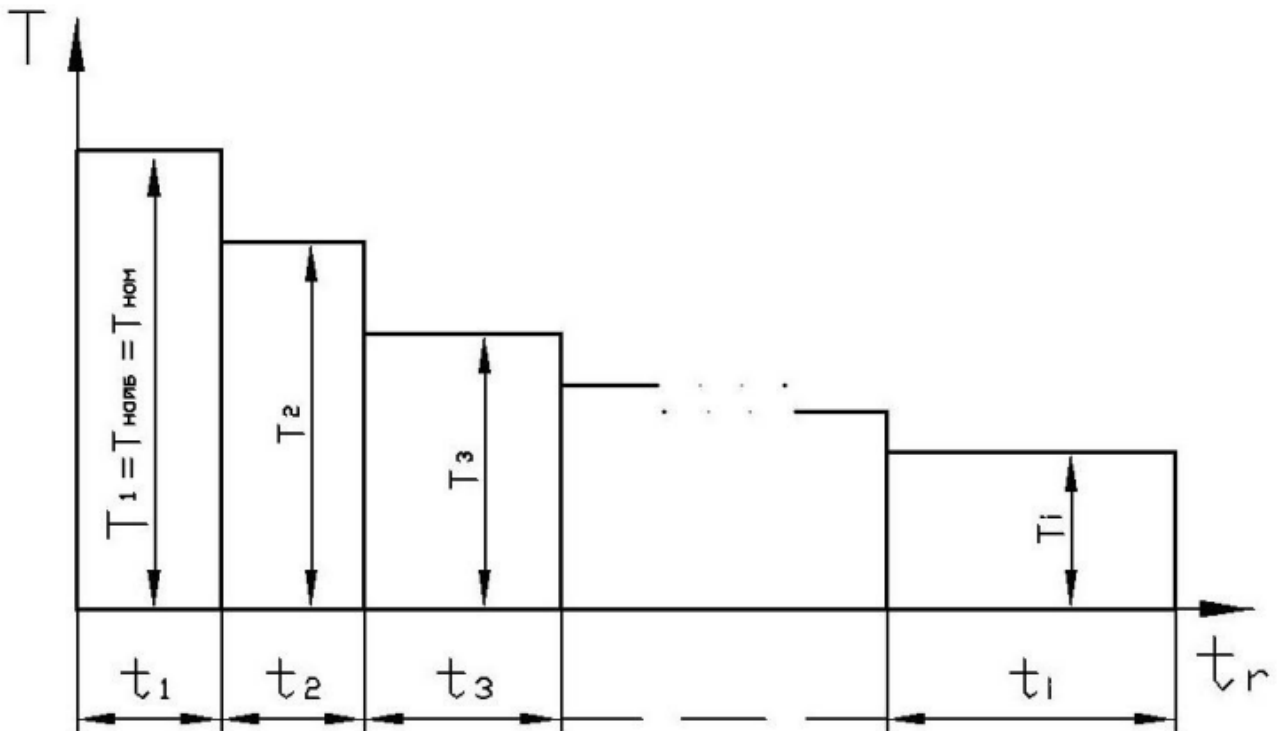


Рисунок 2.7 - Циклограма діючих на передачу навантажень

Базова кількість циклів змін напружень для бронзи і латуней – $N_{FO} = 25 \cdot 10^7$; для чавунів – $N_{FO} = 10^7$.

Еквівалентна кількість циклів змін напружень (на рис. 2.7.):

$$N_{HE} = 60 \sum t_i \cdot n_i \cdot \left(\frac{T_i}{T_1}\right)^9 = 60 \sum t_i \cdot n_i \cdot \left(\frac{P_i}{P_1}\right)^9, \quad (2.19)$$

Розрахункові значення K_{FL} також повинні відповідати умові:

$$1,7 \geq K_{FL} \geq 1 \quad (2.20)$$

Допустимі напруження на згинання при статичному перевантаженні передачі:

$$[\sigma]_{Fmax} = 0,6 \cdot \sigma_B, \quad (2.21)$$

Розрахунок на контактну витривалість має основну мету – визначення міжосьової відстані передачі з умови контактної витривалості зубів колеса. Розрахункові формули:

$$\alpha \geq K_{at} \cdot (q + z_2) \cdot \sqrt[3]{\frac{T_2 \cdot K_H}{q \cdot z_2^2 \cdot [\sigma]_{HL}^2}}, \quad (2.22)$$

де T_2 приймаємо рівним $9550 \cdot \frac{P_2}{n_2}$.

Розраховане значення міжосьової відстані повинно бути округлене до найближчого більшого стандартного (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 - Міжосьові відстані черв'ячних передач по ДСТУ 2458-98

а,мм	63	80	100	125	140	160	180	200	225	250	280	315
------	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Перевірка контактної витривалості зубів колеса несе мету – визначення контактних напружень при остаточно прийнятих параметрах передачі. Ці напруження не повинні перевищувати допустимих напружень.

Розрахункові формули:

$$\alpha \geq \frac{z_H' \cdot z_M'}{d_2} \cdot \sqrt[2]{\frac{T_2 \cdot K_H}{d_1}} \leq [\sigma]_{HL}, \quad (2.23)$$

$$0,8[\sigma]_{HL} \leq \sigma_H \leq 1,05[\sigma]_{HL}.$$

Це означає, що недовантаження передачі $[\sigma]_{HL} > \sigma_H$ допустиме не більше 20%, перевантаження $[\sigma]_{HL} < \sigma_H$ – не більше 5%. Вихід за зазначені межі величини σ_H вимагає уточнення раніше знайдених параметрів передачі. Значення коефіцієнтів, що ввійшли в розрахункові формули, наведені в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 - Усереднені значення коефіцієнтів для розрахунків на контактну витривалість

Сполучення матеріалів черв'як – колесо	Z_M'	K_{aT}'	K_{ap}'
Сталь – бронза	8600	310	6550
Сталь – латунь	8250	300	6350
Сталь – чавун	7650	285	6050

Розрахунок витривалості зубів колеса при згинанні має мету – визначення розрахункових напружень при згинанні в зубах колеса. Ці напруження не повинні перевищувати допустимих напружень. Розрахункові формули

$$\sigma_F = Y_F' \cdot \frac{2300 \cdot T_2 \cdot K_F}{d_1 \cdot d_2 \cdot m} \leq [\sigma]_{HL} \quad (2.24)$$

або

$$\sigma_F = Y_F' \cdot \frac{22 \cdot 10^6 \cdot P_2 \cdot K_F}{n_2 \cdot d_1 \cdot d_2 \cdot m} \leq [\sigma]_{HL} \quad (2.25)$$

Значення коефіцієнта форми зуба черв'ячного колеса наведені в табл. 2.7.

Таблиця 2.7 - Коефіцієнт форми зуба черв'ячного колеса

$Z_{E2} = Z2/\cos^3\gamma$	20	24	26	28	30	32	35	37
Y'_F	1,98	1,88	1,85	1,80	1,76	1,71	1,64	1,61
$Z_{E2} = Z2/\cos^3\gamma$	40	45	50	60	80	100	150	300 і більше
Y'_F	1,55	1,48	1,45	1,40	1,34	1,30	1,27	1,24

Розрахункове навантаження або розрахунковий момент можуть бути отримані множенням відповідних номінальних величин на коефіцієнт навантаження K . Коефіцієнти навантаження приблизно можна вибирати з урахуванням таких рекомендацій:

$$K = K_H \cong K_F = K_v K_\beta \quad (2.26)$$

де K_v – коефіцієнт динамічності, залежить від ступеня точності передачі й швидкості ковзання, для найпоширеніших ступенів точності передач 7, 8 і швидкостей ковзання $V_s = 1,5...7,5$ м/с, значення $K_v = 1,0...1,3$;

K_β – коефіцієнт нерівномірності розподілу навантаження по довжині контактної лінії, приблизно $K_\beta = 1,03...1,1$ (менше значення – при більшій величині q).

Для проектувальних розрахунків можна приймати:

$$K = 0,5 \cdot (K_\beta^0 + 1) \quad (2.27)$$

Перевірка статичної міцності зубів колеса при згинанні мета якої визначення розрахункових напружень при згинанні в зубах колеса під час дії на передачу найбільших короткочасних (статичних) перевантажень. Ці напруження не повинні перевищувати допустимих напружень. Розрахункова умова:

$$\sigma_{F\ max} = \sigma_F \cdot K_{пер} \leq [\sigma]_{F\ max}, \quad (2.28)$$

де

$$K_{пер} = \frac{T_{max}}{T_{ном}} \cdot \frac{P_{ед}}{P_{потр}} = \beta.$$

Значення початкового коефіцієнта концентрації приймають за рис. 2.8.

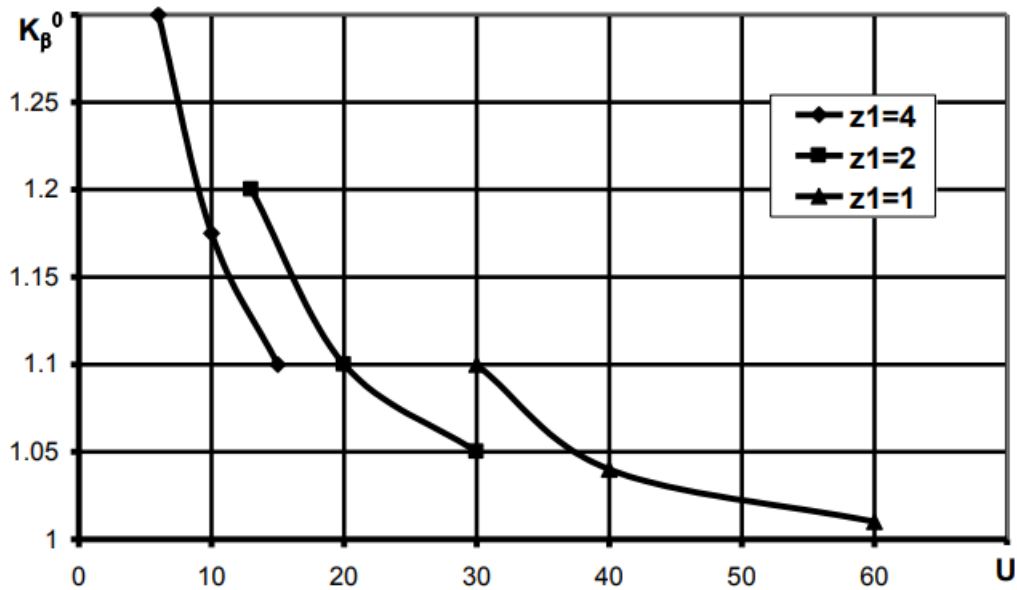


Рисунок 2.8 - Графік для визначення початкового коефіцієнта концентрації K_{β}^0

З урахуванням приведених розрахунків було спроектовано та розроблений черв'ячний редуктор РЧ-300. Його можна використовувати в повторно-короткочасному або безперервному режимі роботи, тривалість роботи при цьому може бути до 24 годин на добу, навантаження при цьому може бути як постійне, так і змінне, напрямок може змінюватися - бути одним постійно, або з періодичним реверсом, вали можуть обертатися в будь-який бік. Для експлуатації редуктора зовнішнє середовище має бути неагресивним і невибухонебезпечним. Конструктивно має додатковий вихідний вал для встановлення слідкуючого камандоапарату, який відстежує кут повороту виконавчого барабану.

Схеми лебідки та розташування шибєрів наведені у додатку (див. ДОДАТОК А рисунки А.1, А.2).

2.3 Дослідження механізму відстеження

Для автоматичного дистанційного управління електроприводами використовується електромеханічний пристрій – командоапарат. Він належить до групи кулачкових регульованих командоапаратів і відрізняється високою точністю та надійністю. На рис. 2.9 показано його зовнішній вигляд.


Командоапарат має один чи декілька привідних валів, який передає рух на інші механізми. Також він характеризується передаточним числом, співвідношенням яке означає, що для одного повного оберту внутрішнього комутаційного барабану, зовнішній приводний вал здійснить більшу кількість обертів. Командоапарат може здійснювати рух у двох напрямках,

а завдяки своїй конструкції, командоапарат забезпечує точне позиціонування виконавчих механізмів.

Для керуванням та індикацією станом перекидаючого пристрою необхідно 5 контактів, 2 з яких будуть виконувати роль обмежувачів положення для лівого та правого шибера. Інші 3 мають сигнальну. Два сигналізують про те що відчинений лівий чи правий шибера, а ще один сигналізує про сам процес кантування. Спрощена діаграма приведена на рис. 2.10.



Рисунок 2.9 - Зовнішній вигляд командоапарату КА 4658–6



Принцип роботи поділяється на режими:

- автоматичний режим (встановлений за замовчуванням): орієнтується на показники регулятора затримки та самостійно без участі оператора за вказаним часом виконує кантування. При натисканні кнопки «перекидка»(1К на схемі) дозволяє примусово зробити перекидання;
- півавтоматичний режим (менш використовуваний): відпрацьовує за натисканням на кнопку лівий або правий шибер для виконання кантування(реле 1РВ та кнопки РП10 та РП13);
- ручний (аварійний): використовується у разі відмови оперативної схеми автоматики та працює напряму з силовими контакторами та командоапаратом. Для виконання кантування необхідно другим УП обрати шибер який ми хочемо відкрити, після чого натиснути та тримати кнопку «перекидка», і орієнтуючись за сигнальними лампами чекати поки командоапарат не розірве ланцюг живлення розмиканням контакту кінцевого вимикача(керування здійснюється за допомогою 2РВ).

2.4.2 Огляд силової частини виконавчого механізму

Після огляду та розбору оперативної частини схеми перекидання клапанів, розглянемо силову схему наведену на рис. 2.12.

В зазначеній схемі ВЛ 14 це трьох полюсний автомат типу АП 50 який підключено до загального автомату «Автоперекидка», та який отримує 3 фази змінного струму з частотою 50 Гц і номіналом 380В. Він подає живлення на групу контакторів, які здійснюють блокуючу дію, організовують реверс та безпосередньо подають живлення на двигун.

Контактор КТ 6013 – це електромагнітний апарат, призначений для комутації електричних ланцюгів змінного струму. Він широко використовується в промисловості для керування електродвигунами, освітленням, нагрівальними елементами та іншим електрообладнанням. Використаний тип контакторів зображено на рис. 2.12.

Контактор складається з електромагнітної котушки, рухомого якоря, системи контактів та дугогасильної системи. При подачі напруги на котушку створюється магнітне поле, яке притягує якор, замикаючи основні контакти і включаючи навантаження. Номінальний струм становить 100 А, що дозволяє комутувати досить потужні навантаження. В залежності від конструювання бувають двополюсні та триполюсні, а сама система контактів або нормально розімкнені, або нормально замкнуті.

Завдяки простій конструкції та відсутності складних електронних компонентів, контактори КТ 6013 відрізняються високою надійністю і довгим терміном служби. Контактори легко встановлюються, не вимагають складного обслуговування, а можливість встановлення додаткових контактів дозволяє розширити функціональні можливості контактора.

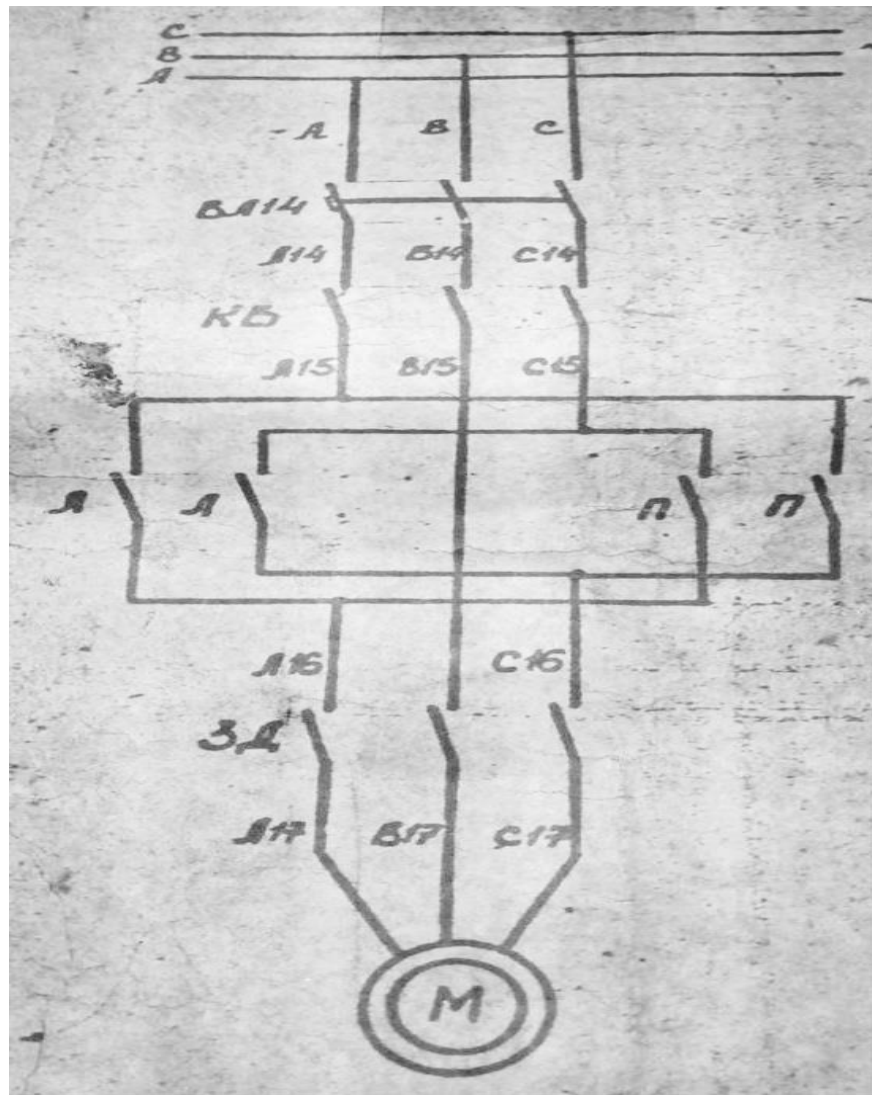


Рисунок 2.12 - Електрична схема керування двигуна



Рисунок 2.13 - Контакттор КТ 6013

Схема ж керування двигуном складається з контактор КБ, який виконує роль 0 захисту та блокування. Він розгалужується на контактори Л та П, які в свою чергу здійснюють включення та реверс, та з'єднані між собою через електро-блокуючий пристрій. Після цього через спеціальні контакти подається живлення на контактор ЗД, який вже безпосередньо подає напругу на двигун.

2.5 Дослідження системи моніторингу

Для моніторингу процесу перекидання використовуються контакти з привідних контактів командоконтролера, як було зазначено в 2.3. Для цього через загальну точку та рухомі контакти подається живлення на індикаторні лампи, які сигналізують про перебіг процесів в даний момент часу. Схема з'єднання наведена на рис. 2.14.

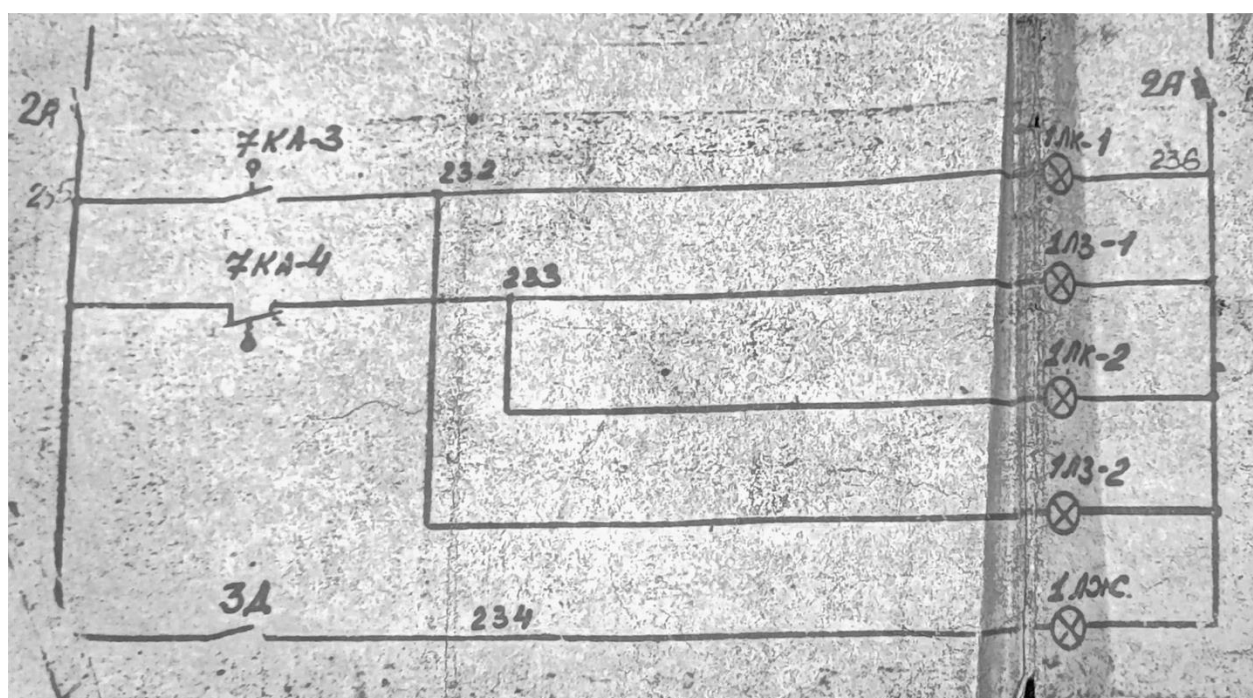


Рис. 2.14 Схема живлення індикації

Окрім цього встановлені лампи загальної індикації мережі. Взагалом отримано 6 сигнальні лампи, які сигналізують про:

- контроль напруги(сигналізує про те що схема механізму ввімкнена та на двигун може бути подана напруга);
- робота електродвигуна(сигналізує про роботу двигуна, тобто відбувається процес перекидання шиберів);
- лівий шибер відчинено/зачинено(вказує на положення шибера відносно жолобу, при знаходженні в середньому положенні, жодна лампа не вмикається);
- правий шибер(вказує на положення шибера відносно жолобу, при знаходженні в середньому положенні, жодна лампа не вмикається);

3 ПРОГРАМА, МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Процес перекидання газових клапанів є одним з ключових аспектів, які відповідають за тепловий баланс в просторі мартенівської печі, а також є більш піддатливою для керування, так як в регенераторах накопичується менша температура, ніж у самій МП. В умовах інтенсифікації промисловості та нехваткою персоналу, важливість створення більш сучасної автоматизованої системи контролю і автоматизації, зменшити вплив температурних коливань у робочому просторі печі та вивільнити людський ресурс від моніторингу та контролю за роботою цього агрегату, окрім аварійних режимів. Від ефективності та якості роботи перекидки з точки зору технологічного процесу вплив коливань температур дає змогу збільшити ресурс печі до наступного ремонту завдяки створенню плавних переходів термонавантаження на вогнетривкі елементи МП.

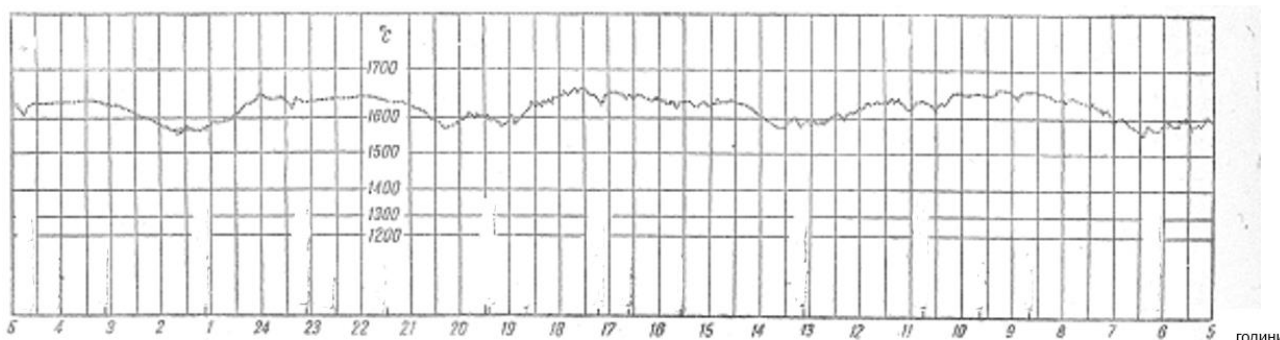



Рисунок 3.1 - Діаграма температури своду печі

Як зазначено на рис. 3.1. ми бачимо, що при постійному контролі подачі палива у простір МП, діаграма коливається в межах 800 С°. Для досягнення таких показників необхідно додержуватись балансу кількості палива та його температурних показників на різних проміжних стадіях роботи печі.

3.1 Мета та методи експериментальних досліджень

Мета експериментальних досліджень автоперекидання шиберів мартенівського цеху полягає в покращенні ефективності та безпеки роботи обладнання. Основні завдання це:

- підвищення точності позиціонування шиберів. Забезпечення точного встановлення шиберів у заданому положенні для досягнення необхідної температури та складу металу;
- збільшення надійності системи. Виявлення та усунення слабких місць, розробка заходів щодо підвищення стійкості до зносу та корозії;



- покращення режиму роботи. Розробка систем автоматизації та захисту від аварійних ситуацій, забезпечення зручності управління обладнанням для оператора;

- зменшення енергоспоживання. Оптимізація роботи електричного обладнання та інших елементів системи для зниження витрат електроенергії;

- продовження терміну служби обладнання. Розробка вдосконаленої конструкції та режимів роботи.

Основні етапи експериментальних досліджень:

1) розробка програми досліджень. Визначення ключових об'єктів дослідження, методів і засобів вимірювань;

2) підготовка обладнання, монтаж датчиків, калібрування вимірювальної апаратури;

3) проведення експериментів, реалізація запланованих випробувань в різних режимах роботи;

4) обробка результатів та аналіз отриманих даних, побудова графіків, таблиць;

5) формулювання висновків та оцінка ефективності проведених досліджень, розробка рекомендацій щодо поетапного вдосконалення обладнання.

Типові проблеми та шляхи їх вирішення

- високі температури та вібрації. Використання термостійких та вібростійких матеріалів з можливістю охолодження датчиків;

- забруднення. Захист датчиків від пилу та інших забруднень;

- складність доступу до об'єктів вимірювання. Використання дистанційних методів вимірювання.

Результати експериментальних досліджень дозволяють:

1) підвищити надійність системи: запобігти аварійним зупинкам, збільшити термін служби обладнання;

2) покращити якість продукції за рахунок стабільності процесу керування;

3) розробити нові конструктивні рішення: для підвищення ефективності та безпеки роботи обладнання.

3.2 Перелік використаної апаратури, обладнання

Головний контролер повинен отримувати сигнали з датчиків, або з стаціонарного пульта керування. За будь-яким з цих сигналів повинна бути сформована програма для здійснення перекидання та сформовано завдання для об'єкта керування.

Для вирішення задачі обрано контролер «SIEMENS LOGO!». Зовнішній вигляд головного контролера представлений на рис. 3.2.

Контролер складається з універсальних модулів «SIEMENS LOGO!» – ці модулі дозволяють розширювати систему управління без зміни попередньої частини, додаючи нові модулі попередня система управління розширюється з мінімальними інженерними витратами на

перепроєктування та зміну компоновки. Кожен контролер має в собі певну кількість аналогових та дискретних входів та за необхідності легко може бути доповнений необхідними модулями. Маленькі габарити, гарна підтримка від виробника та велика база готових програмних рішень та практик, дозволяє обрати контролер «SIEMENS LOGO!», так як даний контролер гарно зарекомендував себе у використанні на промислових об'єктах.



Рисунок 3.2 - Контролер «SIEMENS LOGO!»

Використовуючи функції входів контролеру по обробці аналогових та дискретних сигналів «SIEMENS LOGO!» без розширення додатковими модулями вводу-виводу дозволяє вирішувати задачу опитування 8 цифрових та 4 аналогових входів, одночасно в системі контролера знаходиться 2 аналогових та 8 дискретних виходів, що дозволяє формувати керуючі сигнали для виконавчих пристроїв. Спеціальний внутрішній логічний модуль керує обробкою сигналів з дискретних входів та виходів. Сигнали, що були створені внутрішнім логічним модулем потім передаються на виконавчі пристрої. Модулі контролера з'єднуються між собою за допомогою внутрішньої шини даних, яка працює за протоколом

«SIEMENS LOGO!» CM EB. Також кожен модуль має в своєму складі підсистему гальванічної розв'язки, що дозволяє використовувати у якості модулів, компоненти з різними напругами живлення, що значно спрощує проектування системи, та одночасно підвищує надійність. Більше інформації наведено в додатки таблиця 1.1.

Для відпрацювання вхідних сигналів з контролера та здійснення повільного пуску, відпрацювання перекидання та повільного сповільнення, а також реверсу, необхідний пристрій здатний керувати двигуном за таким сигналом. Важливо враховувати що клас захисту, стійкість при перепадах живлення та захист від перевантажень повинен відповідати промисловій електроніці. Для вирішення задачі обраний частотний перетворювач Control L620 з номінальним навантаженням до 7,5 кВт.

Зовнішній вигляд частотного перетворювача Control L620 для керування двигуном на рис. 3.3.



Рисунок 3.3 - Частотный перетворювач Control L620 для керування двигуном потужністю до 7,5 кВт.

Виконує такі функції:

- змінює частоту обертання ротора двигуна за лінійним або S-подібним законом (S-подібний закон потрібен для зниження ударних навантажень), задається час на пуск та зупинку;
- пуск з попереднім гальмуванням та зупинка з наступним гальмуванням (задається час очікування та гальмування);
- запускає електродвигун без зупинки після короткочасного (аварійного) зникнення напруги в мережі (аналізує поточну швидкість обертання, підхоплює і виводить на задану частоту обертання);
- реверсує силову установку (задається час між прямим та зворотним напрямком обертання);
- зміщує вал у потрібне положення при налагодженні (поштовховий режим);
- захищає двигун від роботи при резонансній частоті (перескакує небезпечну частоту);
- для точного підтримання заданих характеристик має вбудований ПІД-регулятор (пропорційно-інтегральний-диференціюючий регулятор).

Перетворювач має багатофункціональні входи, такі як 5 цифрових для керування перетворювачем частоти та 1 аналоговий для підключення датчика до 20 мА, тахогенератора або потенціометра до 10 В. Що до входів, то це 1 релейний від електромеханічного реле для підключення сигнальної лампи або котушки контактора, 1 цифровий, 1 аналоговий для приєднання вольтметра напругою до 10 Ст.

Імпульсні (цифрові) входи та виходи застосовують для зв'язку із зовнішніми керуючими пристроями (наприклад, програмованим логічним контролером) на постійну напругу 24 з частотою слідування імпульсів 16 кГц.

Для виміру температурних показників та подальшого опрацювання різниці значень контролером використовуються багаторазові термопари типу ТПР-1788, яка наведена на рис 3.4.



Рисунок 3.4 - Зовнішній вигляд ТПР-1788

Максимальний рубіж вимірів термопар 1500-1600 градусів. Виготовляється з жароміцних матеріалів та сплавів, які не піддаються впливу таких рівнів температур при яких інші метали та матеріали руйнуються.

Перетворювач температури ТПР-1788 має чутливий елемент у вигляді спаю двох провідників - платинородій і платина. Цей спай розміщено в захисну арматуру, яка складається з керамічної частини, яка вставляється в трубку з жароміцної нержавіючої сталі. Для під'єднання до вимірювального вторинного приладу термодатчик ТПР-1788 термопара має клемну голівку з силуміну.

3.3 Результати досліджень із аналізом отриманих результатів

Розглянемо обране обладнання та розділимо його на умовні дві групи за впливом на роботу модуля автоматичної перекидки. Встановлення частотного перетворювача та контролера розраховано на підвищення точності позиціонування шиберів, зменшення енергоспоживання, оптимізація роботи електричного обладнання та інших елементів системи для зменшення зносу.

Застосування пірометрів направлене на поліпшення стрибків температурних коливань в робочій зоні печі шляхом контролю температур в осередку регенераторів. Важливий контроль не лише за перевищенням температури в тому чи іншому борові, а також моніторинг за охолодженням.

3.3.1 Дослідження модуля керування

Розгляд проблематики позиціонування шиберів не можливий через не здатність теперішньої системи керування здійснити попереднє гальмування перед зупинкою. Через це закривання шиберу відбувається «кидком» в його посадкове положення, що може призвести до виходу тросу з роликів (див рис. 3.5).



Рисунок 3.5 - Направляючий ролик тросу лебідки

Для цього необхідно перед тим як завершити закривання шибери отримати сигнал, який би інформував що кантування повинне здійснюватися зі зменшеною швидкістю. Це можливо здійснити за допомогою кінцевого вимикача важільного типу безпосередньо на тросі біля самого шибери. Діаграма роботи двигуна при прямому пуску та при плавному пуску та уповільненні перед вимкненням розміщені на рис 3.6 та рис. 3.7.



Рисунок 3.6 - Діаграма роботи двигуна при прямому пуску

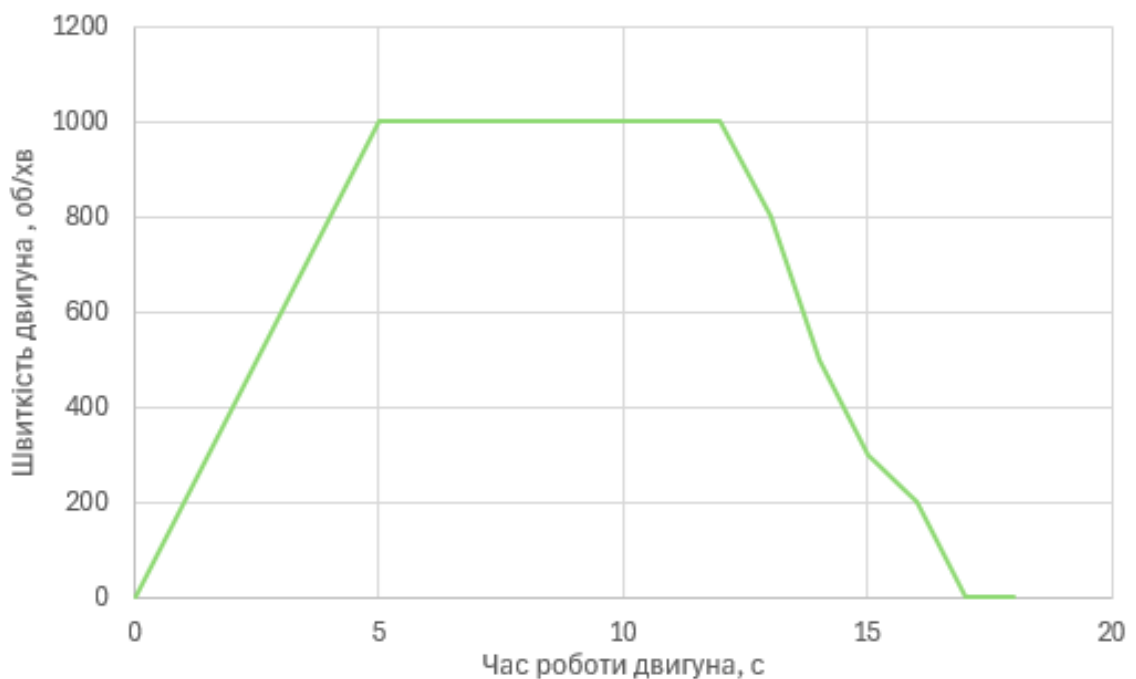


Рисунок 3.7 - Діаграма роботи двигуна при плавному пуску та уповільненні перед вимкненням

Для зменшення енергоспоживання та оптимальної роботи електричного обладнання необхідно розглянути виконавчі елементи які використовуються в даний момент та ті якими ми хочемо їх замінити, без урахування модулів які залишаться без змін. Для цього розглянемо роботу в режимі очікування та споживання під час виконання перекидання, а також врахуємо змінене споживання двигуном.

В керуванні двигуном зі сторони силових контакторів в режимі очікування ввімкнений лише контактор КБ, зі споживанням 110 Вт/год, а під час процесу кантування контактор КБ, ЗД та один з реверсів, що в сумі дає 330 Вт/год. Таймер працює лише в режимі очікування і його споживання 50 Вт/год. Оперативна частина керування в режимі споживання, очікуючи команди таймера не споживає електроенергію, а під час кантування, не враховуючи короткочасне замикання РАП, працює чотири реле з сумарним споживанням приблизно 200 Вт/год. З урахуванням пускових струмів, двигун споживає 7800Вт/год під час кантування.

З використанням частотного перетворювача та контролера в режимі очікування та роботи вбудованих таймерів, різниця споживання в режимі очікування змінюється в межах 100-150 Вт/год. Під час кантування з урахуванням роботи вбудованих реле, споживання в залежності від програми може досягати 350 Вт/год. Двигун який керується за відсутності пускових струмів та на зменшеній швидкості на старту та фініші споживає приблизно 7100Вт/год.

Для наглядного зображення зменшеного споживання електроенергії доцільно буде звести данні обох варіантів для режимів очікування та роботи, а також сумарне значення з двигуном для наглядного зображення середнього споживання, в загальну зведену діаграму. Побудована діаграма зображена на рис. 3.8.

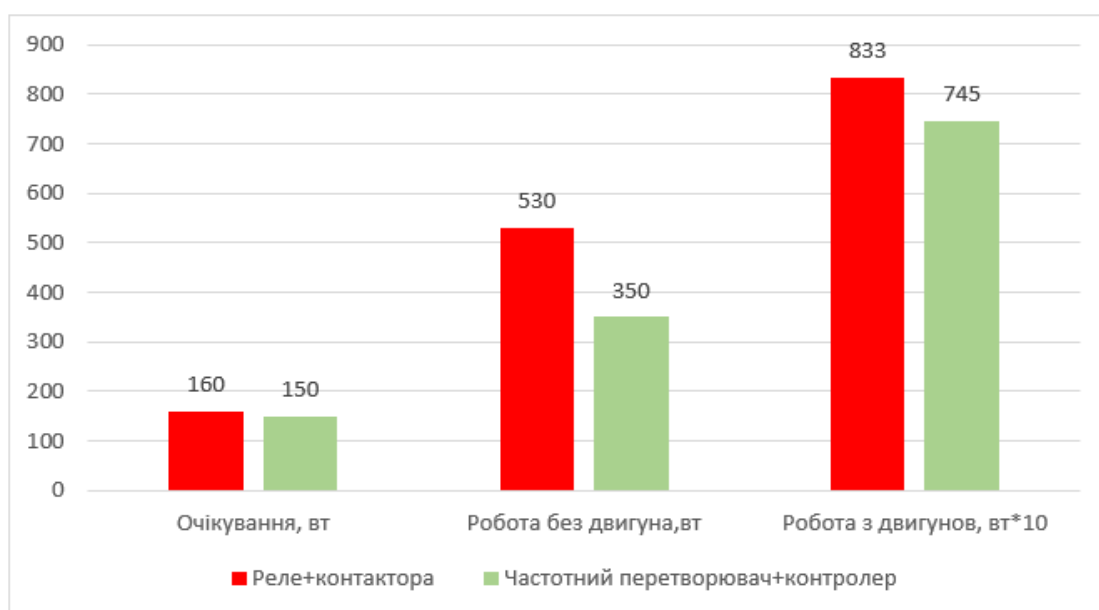


Рисунок 3.8 - Зведена діаграма споживання двох систем

Аналіз та розгляд кількісного використання елементів системи та його зносу до відмови наглядно характеризує так звана «крива ванни». Вона показує ризик відмови обладнання від часу встановлення, до моменту його амортизаційного зносу. Крива зображена на рис.3.9.

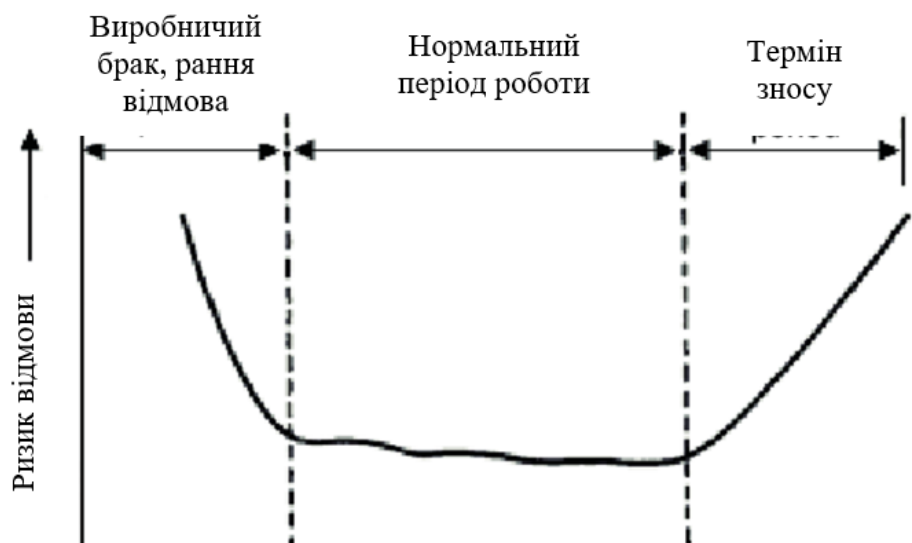


Рисунок 3.9 - Графік «Крива ванни» для графічного відображення ризику виходу зі строю обладнання

Як можна побачити графік відображає життєвий цикл одного чи декілька однотипних елементів, що дає змогу спрогнозувати період, коли необхідно буде виконувати заміну обладнання, або хоча б мати змогу його замінити в момент виходу зі строю. Для різнотипних елементів з різними параметрами та періодом життєвого циклу крива буде знаходитись на рівні високого ризику відмови.


3.3.2 Дослідження температурного сигналу керування

З плавильного простору мартенівської печі продукти горіння, що мають температуру близько 1600 °С, поступають в регенератори, і поступово нагрівають їх насадки до температури 1000-1200° С.

Для контролю за температурним режимом печі потрібно враховувати кількість та пропорції палива, тиск розрідження з простору печі та температурний контроль регенераторів.

Завдяки постійному підведенню гарячого повітря і продуктів згорання в робочий простір, підтримується необхідна висока температура для плавлення металу. Вчасне змінювання напрямку потоків газу запобігає перегріву окремих ділянок футеровки печі і продовжує її термін служби. За рахунок використання тепла, накопиченого в регенераторах, значно зменшується витрата палива. В таблиці 3.1 приведено розхід газу на різних періодах роботи печі.

Загалом, кількість газу, використаного на один цикл роботи мартенівської печі об'ємом 500 тон, може варіюватися від 100 до 200 м³. В залежності від складу та якості матеріалів, що плавляться, знос та вид



футеровки, ефективність регенерації тепла, автоматизація процесу – всі ці фактори впливають на споживання палива та варіюються у конкретних умовах і технологічних вимог.

Таблиця 3.1 - Розхід газу по періодам

Період роботи печі	Розхід газу, м ³	Час періоду, год
Заправка	20-40	1-2
Завалка	10-20	1-2
Прогрів	60-100	5-5,5
Заливання	10-20	0,5-1
Плавлення	5-10	1-2
Випуск	5-10	0,5-1

Для виключення впливу на розхід газу від температурної залежності, необхідно забезпечити рівномірний прогрів регенераторів. Це забезпечить зниження викидів шкідливих речовин в атмосферу за рахунок більш повного згоряння палива, зменшення цього фактору впливу на температурні коливання всередині печі (див рис 3.1.), підвищення стійкості вогнетривів регенераторів через запобігання їх перегріву.

3.4 Висновки

Розглянуті шляхи модернізації в сукупності дозволяють оцінити покращення роботи мартенівської печі за такими пунктами:

- підвищення надійності та довговічності(заміна деталей з високим ризиком на відмову на нові, більш міцні та надійні);
- зменшення ризику аварійних зупинок і простоїв виробництва(за рахунок плавного старту та зупинки);
- підвищення якості продукції(більш стабільна робота печі забезпечує стабільнішу температуру плавки і покращує якість сталі).

Сучасні системи управління дозволяють більш точно контролювати процес плавки, оптимізувати роботу в разі модульної інтеграції в старе обладнання і є більш енергоефективними та надійними.

4 РОЗДІЛ 3 ЕКОНОМІКИ

У даному розділі досліджуються економічні аспекти модернізації автоматизованої системи керування перекиданням клапанів мартенівської печі.

Вартість приладів та засобів автоматизації визначається за прейскурантами та цінниками. Капітальні витрати на систему автоматизації, що вводиться, складаються з первісної приладів.

Величина капітальних витрат розраховується за формулою:

$$K = K_{об} + Z_{тзс} + Z_{м} + Z_{н} + Z_{пр}, \quad (4.1)$$

де $K_{об}$ – вартість усього обладнання;

$Z_{тзс}$ – транспортно-заготівельні та складські витрати;

$Z_{м}$ – монтажні витрати;

$Z_{н}$ – налагоджувальні витрати;

$Z_{пр}$ – інші одноразові витрати.

Таблиця 4.1 - Прайс лист на обладнання

Прилад	Кількість	Ціна за 1шт, грн	Монтаж (15%), грн	Транспортні витрати (10%), грн	Загальна ціна, грн
Контролер «SIEMENS LOGO!»	7	5150	772,5	515	45062,5
Частотний перетворювач Control L620	7	21000	3150	2100	183750
Термопара ТПР-1788	14	22000	3300	2200	385000
Всього	28	48150	7222,5	4815	613812,5

Ціни на прилади визначаємо виходячи з прайс-листів фірм постачальників. Витрати на монтаж можна прийняти в 15% від цін приладів. Транспортні ж витрати приймаємо як 10% від ціни приладу. Різноманітні витрати на нову систему автоматизації наведені в табл. 4.1.

Капітальні витрати на встановлення нової системи автоматизації загалом будуть коштувати – 613813 грн.

Через активне використання системи виникають експлуатаційні витрати, що розраховуються за формулою:



$$C = C_a + C_3 + C_T + C_c + C_e + C_{пр}, \quad (4.2)$$

де C_a – амортизаційні витрати,
 C_3 - заробітна плата обслуговуючого персоналу,
 C_T – витрати на технічне обслуговування та ремонт,
 C_c – єдиний соціальний внесок,
 C_e – витрати на електроенергію,
 $C_{пр}$ – інші витрати.

Прийнятий термін експлуатації (T_n) для обладнання печі становить 7 років.
 Норма амортизації розраховується за формулою:

$$H_a = \left(\frac{1}{T_n}\right) \cdot 100\%, \quad (4.2)$$

$$H_a = \left(\frac{1}{7}\right) \cdot 100\% = 14,3\%$$

Тоді амортизаційні відрахування визначаються за формулою:

$$A = \frac{\Phi_n \cdot H_a}{100\%}, \quad (4.3)$$


$$A = \frac{613813 \cdot 14,3}{100\%} = 87776 \text{ грн.}$$

Отже, амортизаційні відрахування становлять – 87 776 грн.

Оптимальний розрахунок для безперервних виробництв де схема роботи «в чотири бригади», в якій працівники розбиваються на чотири бригади і щодня дві бригади працюють, кожна у свою зміну, а дві відпочивають. Одна бригада, по обслуговуванню автоматизованої системи, складається з одного чергового слюсаря та одного чергового електрика, тобто взагалом працівників. В середньому, один робітник працює 12 годин, 15 дні на місяць. Загальна кількість вихідних на рік становить 182 дні, а робочих 183. Тобто загальна кількість годин 2196 години. Розрахунок заробітної плати персоналу наведено у табл. 4.2.

Таблиця 4.2 - Фонд заробітної плати

Професія	Число працівників, осіб.	Штат у зміну, осіб.	Тарифна ставка, грн/год.	Річний фонд робочого часу, год.	Річний фонд заробітної плати, грн.
Електромонтер	4	1	82	2196	720288
Слюсар	4	1	87	2196	764208
Всього:	8	2	169	4392	1484496



Додаткова заробітна плата, а саме, понаднормові та преміальні виплати становлять 13% від основної плати і дорівнюють – 192 985 гривень. Загальний фонд заробітної плати становить:

$$C_3 = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{дод}} \quad (4.4)$$

$$C_3 = 1484496 + 192985 = 1677480 \text{ грн.}$$

Єдиний соціальний внесок та військовий збір становить 23% від загального фонду заробітної плати та становить – 385821 гривень.

Витрати на обслуговування та ремонт будуть коштувати приблизно 8% від капітальних витрат і становитимуть – 49 105 гривень.

Вартість електроенергії, спожитої автоматизованою системою, розраховуються за формулою:

$$C_{\text{еe}} = K_{\text{е}} \cdot K_{\text{др}} \cdot T, \quad (4.5)$$

де $K_{\text{е}}$ – кількість спожитої за годину електроенергії (кВт/год.);

$K_{\text{др}}$ – кількість днів у році(366);

T – тариф на електроенергію для підприємств становить 13,33 грн. для кВт/год, (без ПДВ).

$$C_{\text{еe}} = (7 \cdot 0,869) \cdot 24 \cdot 366 \cdot 13,33 = 712263 \text{ грн.}$$

Інші витрати по експлуатації системи включають витрати з охорони праці, на спецодяг та ін. Згідно з практикою, ці витрати приймаємо у розмірі 6% від річного фонду заробітної плати і становлять – 89069 гривень. Отже тепер, розуміючи значення різноманітних витрат, розрахуємо річні експлуатаційні витрати:

$$C = 87776 + 1677480 + 385821 + 49105 + 712263 + 89069 = 2912445 \text{ грн.}$$

Аналіз економічної частини виявив, що капітальні витрати на модернізацію даної системи автоматизації буде коштувати – 613812,5 гривень, а експлуатаційні витрати за рік становлять – 2912445 гривень. При розрахунку експлуатаційних витрат, були також встановлені витрати на амортизацію, заробітну плату працівників, соціальні відрахування, витрати на ремонт, електроенергію, тощо.



ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі предметом дослідження є модернізація модуля автоматизації керування перекидки шиберів мартенівської печі. За результатами аналізу технологічного процесу, структури об'єкта керування та вимог до його функціонування сформовані вимоги до системи керування, її функціонування та дослідження об'єкта керування.

Розглянуто основні компоненти з яких складається агрегат, їх характеристики, переваги та недоліки. Для виконавчого механізму досліджена методологія та залежності, за якими обирались та розроблялись конкретні моделі, які застосовуються в обладнанні. Досліджена схема керуванням двигуном, сигнальна схема що подає імпульс на перекидку та система сигналізації-моніторингу.

За результатами аналізу вимог до функціонування системи керування, датчиків та виконавчих пристроїв обрано контролер, частотний перетворювач та датчики термопари. На підставі обраного апаратного забезпечення досліджено відмінності та переваги, які модернізована система дозволяє отримати в ході роботи агрегату. За результатами проведено аналіз отриманих результатів та побудовані графіки та діаграми для наочного відображення позитивної динаміки.

Розраховані капітальні затрати та амортизаційні відрахування для впровадження даної модернізації. Отримані значення складають суттєвих значень, проте можуть окупитися з плином часу за рахунок покращення технологічних показників роботи печі.

ПЕРЕЛІК ВИКОРАСТИНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1) Результати діяльності металургійної галузі України за 8 місяців 2024 р.: веб-сайт. URL: <https://www.ukrmetprom.org/rezultati-diyalnosti-metalurgiynoi-46/> (дата звернення: 22.11.2024).
- 2) Ярушин С.Г. Технологічні процеси в машинобудуванні/ К.: Litres, 2014р. – 229 с
- 3) Мартенівська піч: МЕТИНВЕСТ: веб-сайт. URL: <https://metinvest-smc.com/ua/articles/martenivska-pich/> (дата звернення: 22.11.2024).
- 4) Електропривід: підручник / Ю.М. Лавріненко, О.С. Марченко, П.І. Савченко [та ін] за ред. Ю.М. Лавріненка – К.: Ліра-К, 2009. – С.320-321.
- 5) Розрахунки механічних передач : навчальний посібник до курсового й дипломного проектування / С. Г. Карнаух, Н. В. Чоста. – Краматорськ : ДДМА, 2008. – 204 с.
- 6) Командоапарат КА 4658-1,2,3,5,6: Електрообладнання, загальне від "ТОВ "ЕНЕРГОМАШ"" : веб-сайт. URL : https://energomash2002.com.ua/ua/p1295616465-komandoapparat-4658-12356.html?srsId=AfmBOoou2wEH_hVptz-ZNRTiAtY6zBP1EBADGNXE5M6aFu6s3QomR9ox (дата звернення: 29.11.2024).
- 7) Логічний модуль Siemens LOGO! 8 230RCE, 115 - 230 VAC, реле, 8DI/4DO Київ, Україна: MEAN WELL: веб-сайт. URL: <https://meanwell.kiev.ua/ua/p671237696-6ed1052-2fb08-0ba0.html> (дата звернення: 30.11.2024).
- 8) ТПР-1788 термоперетворювач ТПР-1788 термopарa 1600 градусів високотемпературна: продаж, ціна у Києві: Датчики температури від "ТОВ "ТК ПРОМЕЛ": веб-сайт. URL: <https://profmaster.com.ua/ua/p1146200653-tp-1788-termopreobrazovatel.html> (дата звернення: 30.11.2024).
- 9) What Is a Bathtub Curve? : UpKeep : URL : <https://upkeep.com/learning/bathtub-curve/> (дата звернення: 30.11.2024).
- 10) ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Чинний від 2016-07-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.

ДОДАТОК А МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА

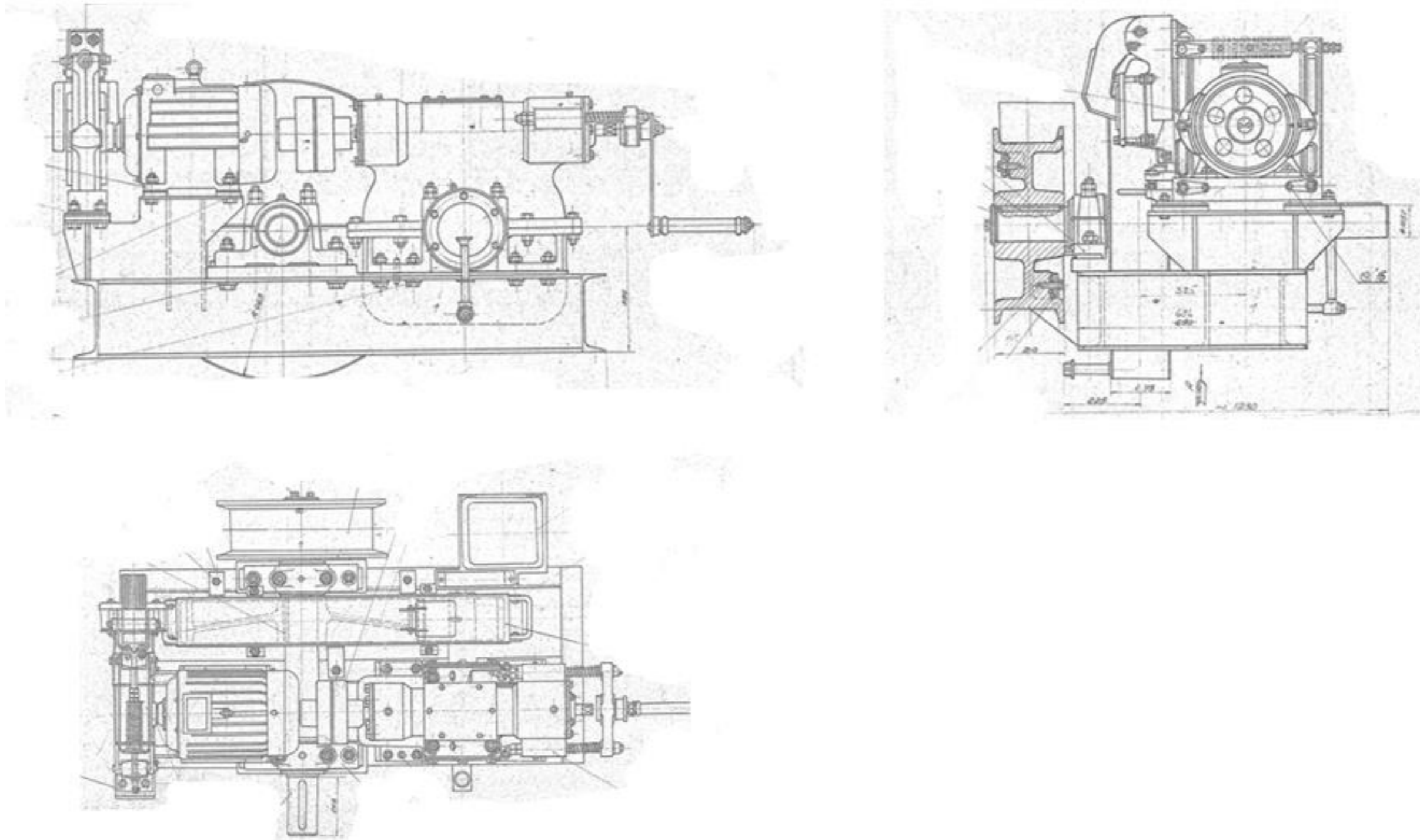


Рисунок А.1 – Зображення лебідки для перекидання клапанів та шиберів перекидних пристроїв для мартенівської печі

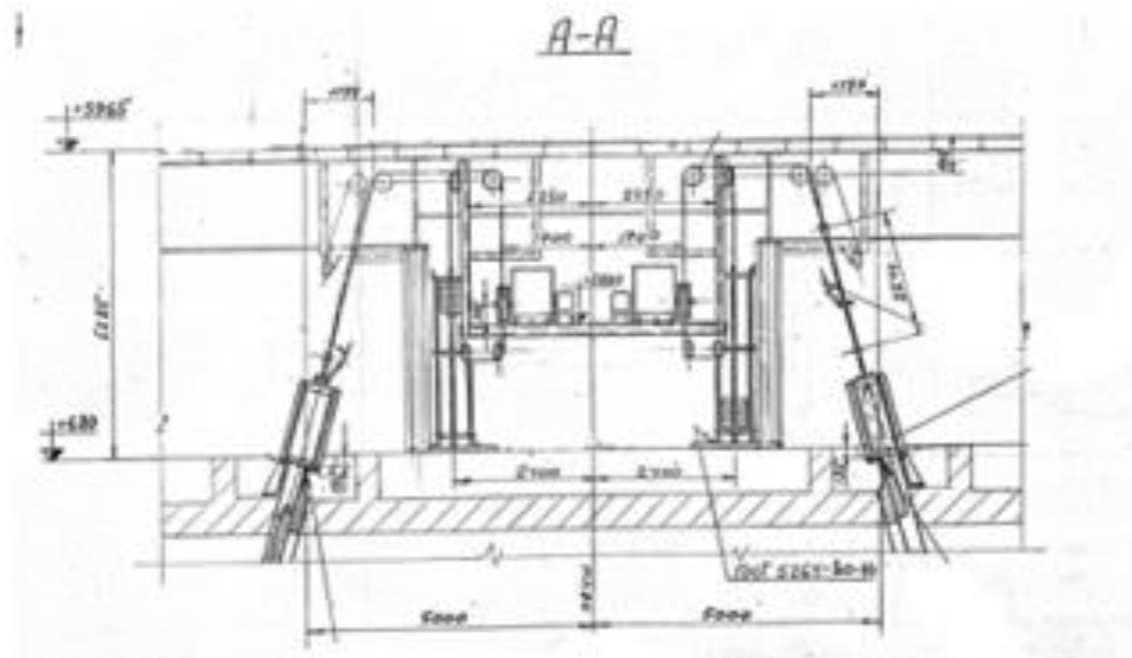
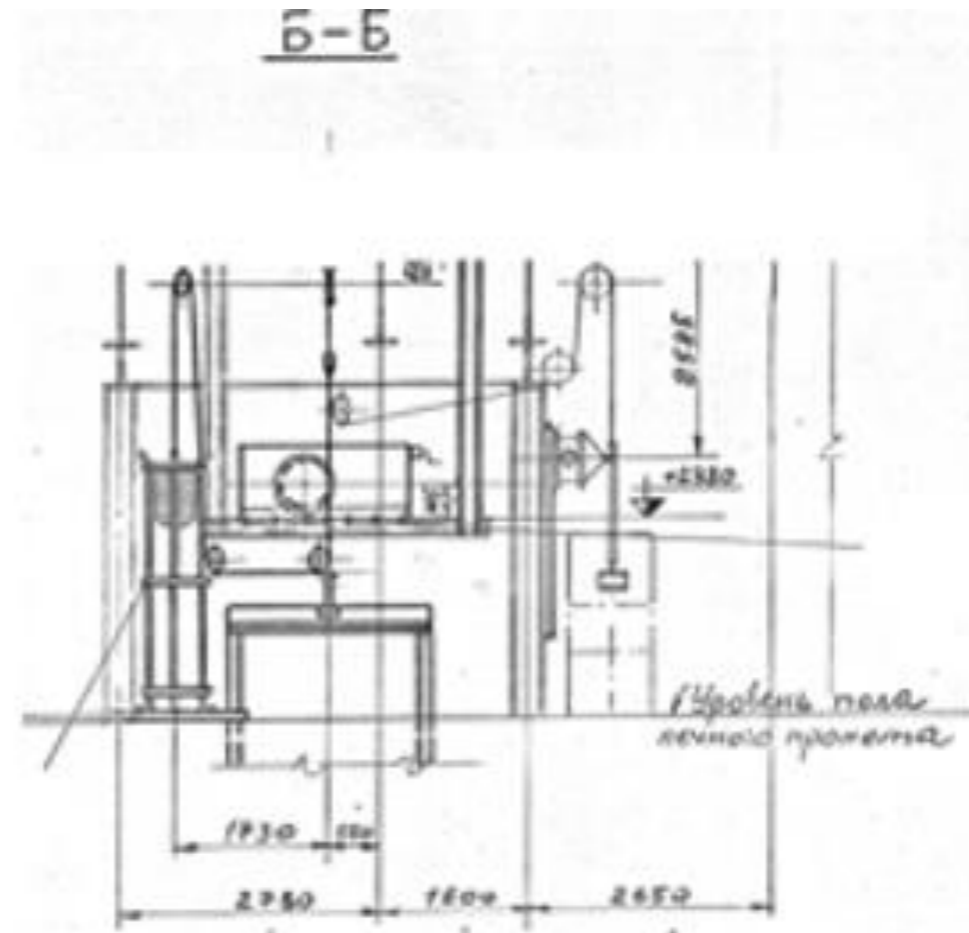
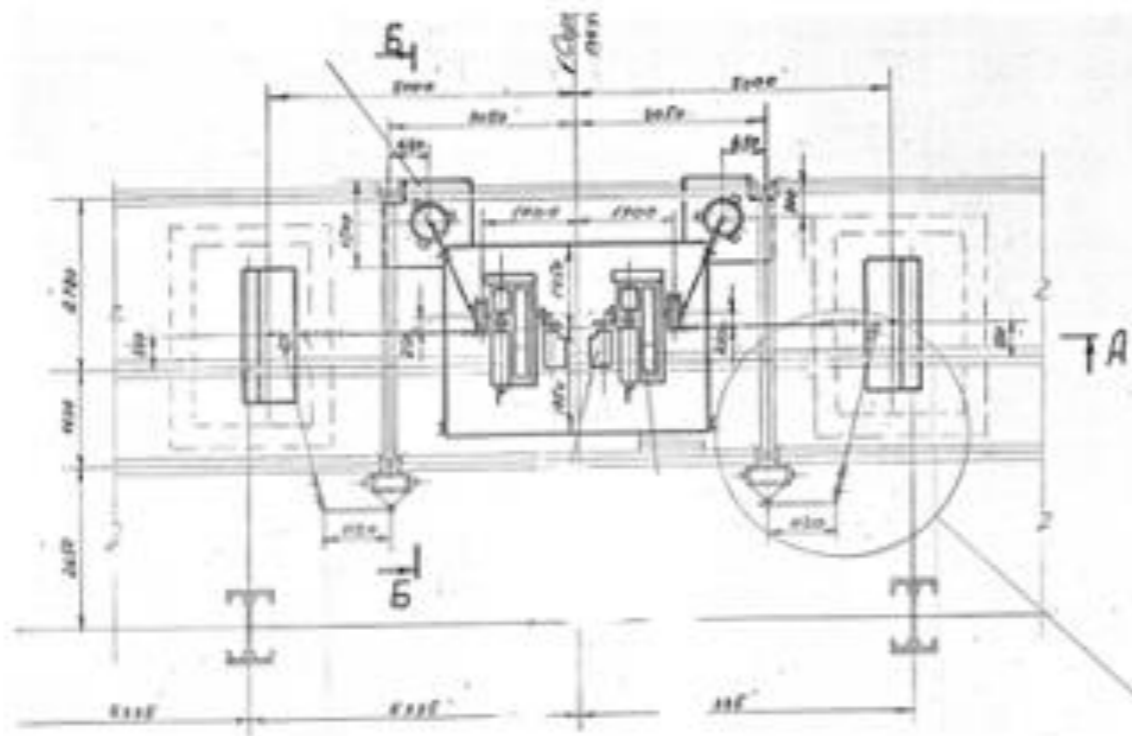


Рисунок А.2 - Зображення розміщення лебідок та шиберів на прикладі ДСПА

ДОДАТОК Б ОБЛАДНАННЯ

Дисплей	
С дисплеем	нет
Вид конструкции/монтаж	
Монтаж	на монтажной шине 35 мм, 4 модуля в ширину
Напряжение питания	
Номинальное значение (пост. ток)	
• 115 В пост. тока	да
• 230 В пост. тока	да
Допустимый диапазон, нижний предел (пост. ток)	100 V
Допустимый диапазон, верхний предел (пост. ток)	253 V
Номинальное значение (перем. ток)	
• 115 В перем. тока	да
• 230 В перем. тока	да
Сетевая частота	
• диапазон допустимых значений, нижний предел	47 Hz
• диапазон допустимых значений, верхний предел	63 Hz
Время	
Таймеры	
• Число	400; Макс. 400, в зависимости от функции
• Запас хода	480 h
Цифровые входы	
Число входов	8
Цифровые выходы	
Вид выходов	4; Реле
Защита от короткого замыкания	нет; требуется внешняя защита предохранителем
Релейные выходы	
Коммутационная способность контактов	
— при индуктивной нагрузке, макс.	3 A
— при омической нагрузке, макс.	10 A
ЭМС	
Излучение радиопомех согласно EN 55 011	
• Класс граничных значений В, для применения в жилых районах	да
Степень защиты и класс защиты	
Степень защиты IP	IP20
Стандарты, допуски, сертификаты	
Маркировка CE	да
Допуск CSA	да
Допуск UL	да
Допуск FM	да
разработано согласно IEC 61131	да
согласно VDE 0631	да
Допуск для судостроения	да
Окружающие условия	
Температура окружающей среды при эксплуатации	
• мин.	-20 °C; Без конденсации
• макс.	55 °C
Температура окружающей среды при хранении/транспортировке	
• мин.	-40 °C
• макс.	70 °C
Высота при эксплуатации относительно уровня моря	
• Температура окружающей среды-давление воздуха-высота установки	Tмин ... Tмакс при 1 060 гПа ... 795 гПа (-1 000 м - +2 000 м)
Размеры	
Ширина	71,5 mm
Высота	90 mm
Глубина	60 mm

Рисунок Б.1 - Технічні данні контролера Siemens LOGO!