

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ
ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Автоматизація управління технологічними процесами
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота / проект

другий магістерський рівень
(рівень вищої освіти)

на тему Оптимізація автоматизованої системи управління дрешингі
логі з метою підвищення якості випавки гавику

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1510
спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані механізми
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані механізми
(код і назва освітньої програми)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)

Д.С. Нісаноров Д.С.
(ініціали та прізвище)

Керівник доц., к.т.н. О.М. Барішечко
(посада, вчене звання, науковий ступінь, підпис, ініціали та прізвище)

Рецензент О.І. Крат
(посада, вчене звання, науковий ступінь, підпис, ініціали та прізвище)

Запоріжжя
2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ
ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет Металургії

Кафедра Автоматизованого управління технологічними процесами

Рівень вищої освіти другий магістерський рівень

(другий (магістерський) рівень)

Спеціальність БІ Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва)

Спеціалізація _____

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

“ ” _____ 20 _____ року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Ніканорова Дмитра Станіславовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи магістра Удосконалення автоматизованої системи управління димною парою з метою підвищення якості виробки товсту

керівник кваліфікаційної роботи магістра Баришечко Спендо Миколайовича к.т.н., доцент

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “30” гравня 2021 року № 374-Є

2. Строк подання здобувачем кваліфікаційної роботи магістра _____

3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи магістра Умови виробництва заводу

ПАТ «Запоріжсталь»

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Розробити алгоритми і програму інформаційно-шляхової системи управління технологічними процесами, режими нагрівання паралого дуття для аналізу сталів димної пари при переході з режиму в режим. Розробити базу даних режими пов'язані з режимом переходу з режиму в режим для ефективного контролю за станом знамен парашетров і контролю паралого дуття. Розробити техніко-економічні розрахунки та визначити економічну ефективність від удосконалення системи.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи магістра:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
1	Баріщенко О.М., доцент	
2	Баріщенко О.М., доцент	
3	Баріщенко О.М., доцент	
4	Баріщенко О.М., доцент	
5	Баріщенко О.М., доцент	
6	Баріщенко О.М., доцент	
7	Баріщенко О.М., доцент	

7. Дата видачі завдання 1 жовтня 2020 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи магістра	Пр
1	Аналіз існуючих літературних та електронних джерел, статей та патентів за темою магістерської роботи.	1 жовтня 2020 - 1 листопада 2020	Виконано
2	Дослідження існуючих систем та математичних моделей	2 листопада 2020 - 25 листопада 2020	Виконано
3	Оформлення отриманих результатів	26 листопада 2020 - 11 грудня 2020	Виконано
4	Розробка автоматизованої системи управління для проведення експериментів.	13 грудня 2020 - 11 березня 2021	Виконано
5	Розробка програми для запису показників у розроблену базу даних.	1 січня 2021 - 1 березня 2021	Виконано
6	Дослідження якості роботи системи та програми	2 березня 2021 - 20 травня 2021	Виконано
7	Оформлення отриманих результатів	21 травня 2021 - 10 червня 2021	Виконано
8	Написання кваліфікаційної роботи магістра	11 червня 2021 - 10 грудня 2021	Виконано

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Ніканоров Д.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи магістра

(підпис)

Баріщенко О.М.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Ніканоров Д. С. Удосконалення автоматизованої системи управління доменної печі з метою підвищення якості виплавки чавуну.

Кваліфікаційна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 151 – Автоматизоване управління технологічними процесами, науковий керівник О. М. Барішенко. Інженерний навчально – науковий інститут ім. Ю. М. Потебні ЗНУ. Кафедра автоматизованого управління технологічними процесами, 2021.

В роботі проаналізована робота повітрянагрівачів доменної печі.

Досліджена існуюча система автоматизованого управління доменної печі (повітрянагрівачів).

Описана удосконалена системи автоматичного управління технологічними процесами нагріву дуття у повітрянагрівачах доменної печі.

Ключові слова: АВТОМАТИЗАЦІЯ, ДОМЕННА ПІЧ,
ПОВІТРОНАГРІВАЧ, ГАЗОДИНАМІЧНИЙ ПРОЦЕС, БАЗА ДАНИХ.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АСУПТ	– автоматизована система управління технологічними процесами;
АРМ	– автоматизоване робоче місце;
БРУ	– блок ручного управління;
БЩУ	– блоковий щит управління;
ВР	– верхній рівень;
ВМ	– виконавчий механізм;
ВП	– вимірювальний перетворювач;
ДП	– доменна піч;
ЕГСР	– електрогідравлічною системою автоматичного регулювання;
ІС	– інтелектуальна система;
МК	– мікропроцесор;
ПЛК	– програмований логічний контролер;
ПЗ	– програмне забезпечення;
ПЕОМ	– персональна електронно-обчислювальна машина;
РК	– регулюючий клапан;
РО	– регулюючий орган;
САУ	– система автоматизованого управління;
СУ	– система управління;
УОС	– управляюча обчислювальна система;
УКТС	– уніфікований комплекс технічних засобів;
УП	– показчик положення;
УЗО	– пристрій зв'язку з об'єктом;
ЦР	– цифрові регулятори;
ШУ	– шафа управління.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ	13
1.1 Аналіз продуктивності доменних печей ПАТ «Запоріжсталь»	13
1.2 Характеристика доменної печі	15
1.3 Повітронагрівач доменної печі як об'єкт управління.....	20
1.4 Постановка задачі	30
1.5 Висновки розділу 1	31
РОЗДІЛ 2 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ	34
2.1 Аналіз існуючих досліджень САУ повітронагрівачами доменної печі	34
2.2 Розробка математичної моделі	36
2.3 Висновки розділу 2	46
РОЗДІЛ 3 ПРОЕКТУВАННЯ САУ ПОВІТРОНАГРІВАЧА.....	48
3.1 Структура САУ	48
3.2 Розрахунок динаміки САУ	51
3.3 Розрахунок налаштувань регулятора.....	53
3.4 Моделювання і синтез САУ	67
3.5 Висновки розділу 3	72
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ САУ	73
4.1 Розробка бази даних режимів роботи повітронагрівача	73
4.2 Перехід повітронагрівачів з режиму в режим.....	76
4.3 Розробка програмного забезпечення	80
4.4 Дослідження отриманих результатів	82
4.5 Дослідження впливу переходу з режиму в режим на температуру гарячого дуття	85
4.6 Висновки розділу 4.....	87
РОЗДІЛ 5 НАДІЙНІСТЬ СПРОЕКТОВАНОЇ СИСТЕМИ.....	88
5.1 Висновки розділу 5.....	95
РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ.....	96

6.1 Аналіз доменного виробництва з точки зору охорони праці	96
6.2 Аналіз робочого місця оператора АСУТП.....	98
6.3 Висновки розділу 6.....	102
РОЗДІЛ 7 ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ	103
7.1 Визначення капітальних вкладень	103
7.2 Розрахунок річних експлуатаційних витрат	104
7.3 Річні витрати на ЗП	104
7.4 Розрахунок річних амортизаційних відрахувань.....	105
7.5 Річні витрати на ремонт	106
7.6 Витрати електроенергії на живлення.....	106
7.7 Інші витрати	107
7.8 Річна економія експлуатаційних витрат.....	107
7.9 Висновки розділу 7.....	111
ВИСНОВКИ	112
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	114

ВСТУП

Актуальність теми. В доменному виробництві, в науково-технічному плані, важливими і актуальними є декілька основних завдань: раціональна організація і максимальна автоматизація технологічного процесу, підвищення якості виплавленого чавуну, зниження витрат енергії і палива на випуск продукції. Однією з основних тенденцій розвитку систем автоматизації управління доменною піччю є використання інтелектуального аналізу даних з метою виявлення нових залежностей між технологічними параметрами. В автоматизованому управлінні гаряче дуття доменної печі та її тепловий стан, залежить від різної тривалості режиму нагріву, при чому втрати тепла в навколишнє середовище найчастіше не враховуються. Тому, пошук шляхів модернізації і удосконалення сучасних систем автоматизації технологічного процесу доменного виробництва, в тому числі, і з урахуванням екологічних факторів, є досить актуальною темою дослідження.

Сучасний доменний цех ПАТ «Запоріжсталь» щодоби використовує більш ніж 50 тис. т різноманітних матеріалів, 100 млн. м³ повітря, близько 2 млн. т води і більше 20 тис. кВт · год електроенергії. Значно ускладнилося управління доменним виробництвом, виросла кількість інформації, що використовується для ефективного управління технологічним процесом. Зросло також число управляючого впливу. Існуюча на ПАТ «Запоріжсталь» система автоматизованого керування технологічними процесами не дозволяє забезпечити збільшення продуктивності печі, підвищити якості та знизити собівартості чавуну, а головне – забезпечити надійності функціонування технологічного комплексу (зменшення кількості аварійних ситуацій та покращити екологічні показники доменної печі) в повному обсязі.

В цих умовах існує гостра необхідність використання сучасних ефективних систем контролю і управління. Успішне вирішення усіх завдань багато в чому залежить від розробок нових і вдосконалення застарілих технологій, процесів та систем управління технологічними процесами. Тому, удосконалення існуючої

системи автоматизованого управління процесами доменної печі в умовах ПАТ «Запоріжсталь» обрано темою кваліфікаційна робота магістра.

Мета роботи: удосконалення автоматизованої системи управління доменної печі (повітрянагрівачів) з метою підвищення якості виплавки чавуну.

Об'єкт дослідження: технологічний процес доменної печі.

Предмет дослідження: система автоматизованого управління процесами (повітрянагрівачів) доменної печі.

Відповідно до поставленої мети досліджень в роботі сформульовані наступні *задачі дослідження:*

- проаналізувати підприємство ПАТ «Запоріжсталь»;
- дослідити технологічний процес доменного виробництва і роботу повітрянагрівача;
- провести аналіз існуючих досліджень САУ повітрянагрівачами доменної печі;
- дослідити існуючу систему управління технологічними процесами повітрянагрівачів доменної печі та визначити її основні недоліки, сформулювати основні задачі для її удосконалення;
- розробити алгоритм і програму інформаційно – модулюючої системи управління технологічними режимами нагрівання гарячого дуття для аналізу станів доменної печі при переході з режиму в режим;
- розробити базу даних роботи повітрянагрівачів доменної печі в періоди її переходу з режиму в режим для своєчасного коригування заданих значень параметрів і контролю гарячого дуття;
- розглянути питання пов'язані з охороною праці;
- виконати економічне обґрунтування проекту та визначити економічну ефективність від удосконалення АСУ ТП.

Методи дослідження – методи математичного моделювання для дослідження базується на використанні принципу роботи повітрянагрівачів доменної печі, з урахуванням індивідуальних особливостей теплового,

газодинамічного і шлакового режимів роботи доменних печей, а також їх конструктивних і режимних параметрів.

Технічне завдання дослідження. Модернізація існуючої системи автоматизації технологічного процесу має на меті:

- збільшити обсяги контрольованих параметрів доменної печі;
- підвищити оперативність прийняття рішень про необхідність зміни режиму роботи печі;
- підвищити якість чавуну, за рахунок точного дотримання технологічного процесу;
- різко скоротити кількість приладів КВПіА в диспетчерській і роботи з їх обслуговування;
- підвищити стійкості роботи інформаційно-керуючих систем;
- розробити інтелектуальну систему управління технологічними режимами гарячого дуття;
- розробити програмне забезпечення для автоматизованої обробки баз даних процесів роботи доменної печі.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. У кваліфікаційній роботі магістра проведено удосконалення автоматизованої системи управління технологічними процесами доменної печі, а саме системи управління повітрянагрівачів доменної печі з використанням інтелектуального аналізу технологічних параметрів. Стабільність роботи цієї системи дозволяє вирішити комплекс технологічних задач управління тепловим, газодинамічним і шлаковим режимами доменного процесу.

2. В роботі пропонується новий підхід, який дозволяє в режимі реального часу аналізувати стан перевірки повітрянагрівачів при їх переході з режиму в режим з використанням поточної технічної інформації, яка записана в базі даних.

3. Розроблена функціональна модель і проведена структурна декомпозиція автоматизованої інформаційної системи аналізу та прогнозування виробничих ситуацій доменного цеху при переході з режиму в режим.

4. Застосування запропонованого алгоритму аналізу в автоматичному управлінні повітрянагрівачів дозволить підвищити температуру гарячого дуття без значних капіталовкладень при реконструкції блоку доменної печі.

5. З метою підвищення економічності виплавки чавуну за рахунок прийняття своєчасних і коректних рішень з управління технологією доменної плавки розроблена інформаційно-моделююча система і програмне забезпечення призначене для оцінки газодинамічного режиму доменної плавки.

6. Результати аналізу отриманої бази даних, що містить поточну та архівовану інформацію про технологічні параметри доменної печі, дозволять зробити своєчасне виконання коригування діаграми параметрів блоку гарячого дуття доменної печі, для уточнення початкових значень моделювання роботи доменної печі.

7. Розроблене програмне забезпечення для автоматизованої обробки баз даних суттєво прискорює процес вивчення роботи доменної печі і мінімізує ризик помилок під час обробки.

Практичне значення одержаних результатів:

1. Сукупність наукових розробок є основою для створення сучасних прецизійних систем автоматичного керування продуктивністю доменних виробництвом, які забезпечують підвищення якості технологічних процесів в різних областях техніки. Розроблені архітектура і структура програмних модулів дозволяють формувати повний набір звітних показників роботи доменних печей і цеху і вирішувати комплекс технологічних завдань управління тепловим, газодинамічним та шлаковим режимами доменної плавки.

2. Практичне значення отриманих результатів роботи полягає в тому, що чисельні дослідження на основі комплексної методики розрахунку автоматизованої системи управління технологічним процесом доменної печі ПАТ «Запоріжсталь» можна використовувати на подібних доменних печах інших підприємств.

Особистий внесок дослідника. Теоретичні дослідження виконані автором самостійно. Його особистий внесок полягає: в розробці програмного забезпечення

автоматичної системи управління технологічним процесом гарячого дуття повітрянагрівачів доменної печі в умовах ПАТ «Запоріжсталь».

Апробація результатів. Матеріали кваліфікаційної роботи магістра були повідомлені та обговорені на наукових конференціях Інженерного навчально-наукового інститута ЗНУ.

Публікації. Основні результати кваліфікаційної роботи магістра оформлені в тезах та опубліковані в електронному виданні матеріалів наукових конференцій Інженерного навчально-наукового інститута ЗНУ.

Структура та обсяг магістерської роботи. Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, семи розділів, загальних висновків, списку літератури із 40 найменувань і вміщує 104 сторінки основного тексту, 14 таблиць, 40 рисунків, усього 117 сторінок.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Аналіз продуктивності доменних печей ПАТ «Запоріжсталь»

Публічне акціонерне товариство Запорізький металургійний комбінат «Запоріжсталь» є одним з найбільших промислових підприємств України, з повним металургійним циклом, що спеціалізується на виробництві гарячого та холодного прокату з вуглецевої, легованої, низьколегованої та нержавіючої сталі. ПАТ «Запоріжсталь» є єдиним в Україні підприємством по виробництву тонколистового прокату консервної жести. По об'єму виробництва ПАТ «Запоріжсталь» входить до четвірки найбільших підприємств України. Основними споживачами продукції комбінату являються підприємства автомобільного, сільськогосподарського комплексу, транспортного і авіаційного машинобудування, виробники зварних труб і побутової техніки та інші.

Основні види діяльності підприємства:

- виробництво та збут металургійної продукції, продукції виробничого та побутового призначення, інших супутніх видів продукції металургійного циклу;
- виробництво та збут будівельних матеріалів, конструкцій та виробів;
- виробництво та збут іншої продукції промислово – виробничого призначення, сільськогосподарської продукції, товарів народного споживання та продуктів харчування.

ПАТ «Запоріжсталь» пропонує до реалізації наступні види товарної продукції:

- переробний і ливарний чавун у чушках вагою 15 – 18 кг;
- сляби з вуглецевих і низьколегованих сталей;
- прокат листовий – гарячекатаний і холоднокатаний – в листах товщиною 0,5 ... 8,0 мм і рулонах товщиною 0,5 ... 8,0 мм з вуглецевих і низьколегованих сталей;

- холодногнуті профілі;
- жерсть білу гарячого лужіння;
- жерсть чорну;
- стрічку сталеву;
- виливниці і піддони;
- граншлак та щєбінь;
- рідкі гази;
- широкий асортимент (більше 170 найменувань) виробів з металу, дерева та бетону, інші види металопродукції.

До складу металургійного виробництва входять:

- агломераційний цех (6 агломашин);
- доменний цех (5 доменних печей);
- мартенівський цех (9 печей);
- цех підготовки сталерозливних складів [1].

ПАТ «Запоріжсталь» найбільш модернізоване підприємство запорізького промислового майданчика, один з лідерів у впровадженні природоохоронних технологій в українській важкій промисловості. Сьогодні особлива увага приділяється якості продукції, що випускається. З цією метою здійснюється контроль за дотриманням встановлених технологій на кожній стадії виробництва, а також за якістю сировини, що постачається, матеріалів та готової продукції. Здійснюється контроль якості сировини та матеріалів, що надходять та продукції, що відвантажуються, дотримання установлених технологій на всіх рівнях виробництва. Свідченням високої якості металургійної продукції комбінату є сертифікат, виданий фірмою TUV Nord [2].

Захисту навколишнього середовища з кожним роком також приділяється все більше уваги. Проведення заходів дозволили за останні 10 років більше ніж в 2 рази знизити викиди пилу в атмосферу, значно покращити очищення технічних вод, обмежити вміст шкідливих домішок у відпрацьованих газах.

З 2016 року на підприємстві ведеться робота з реконструкції доменних печей, також з урахуванням екологічної складової. Три з чотирьох доменних печей отримали модернізовані або збудовані нові аспіраційні установки ливарних дворів та бункерних естакад. Підприємство врахувало успішний досвід аглофабрики, тому аспірації доменного цеху також були оснащені рукавними фільтрами, які забезпечують очистку від пилу на рівні до 20 мг/м³. Для підвищення ефективності роботи аспіраційних систем домен, комбінатом розроблені індивідуальні проекти з встановлення додаткового укриття прийомних воронки на трьох модернізованих доменних печах. Це дозволяє вловлювати ще більше пилу та повертати його у виробництво.

Величезна продуктивність доменних печей, ускладнення технологічного процесу і оновлення устаткування виробництва на сучасному етапі розвитку комбінату ПАТ «Запоріжсталь» вимагає удосконалення існуючих систем автоматизації. З розвитком технологічного процесу збільшуються вимоги до функціональності АСУТП. Для отримання чавуну стабільного рівня якості слід уникати коливань технологічних параметрів при експлуатації доменної печі. Цього можна досягти тільки в результаті застосування інтелектуальних рішень в області автоматизації і контролю виробничого процесу. Для забезпечення якісного управління необхідно не тільки модернізація обладнання автоматизації, але введення нового ефективного математичного забезпечення.

1.2 Характеристика доменної печі

Доменне виробництво – перша ланка технологічного циклу металургійного заводу з повним металургійним циклом та металургійного комбінату, його мета – виплавка чавуну, яка здійснюється у доменній печі. Основою технології доменного виробництва є теорія доменного процесу.

Доменне виробництво складається з таких основних процесів: підготовка і подача шихти, плавка, видалення продуктів плавки.

На рисунку 1.1 наведена схема доменного процесу.

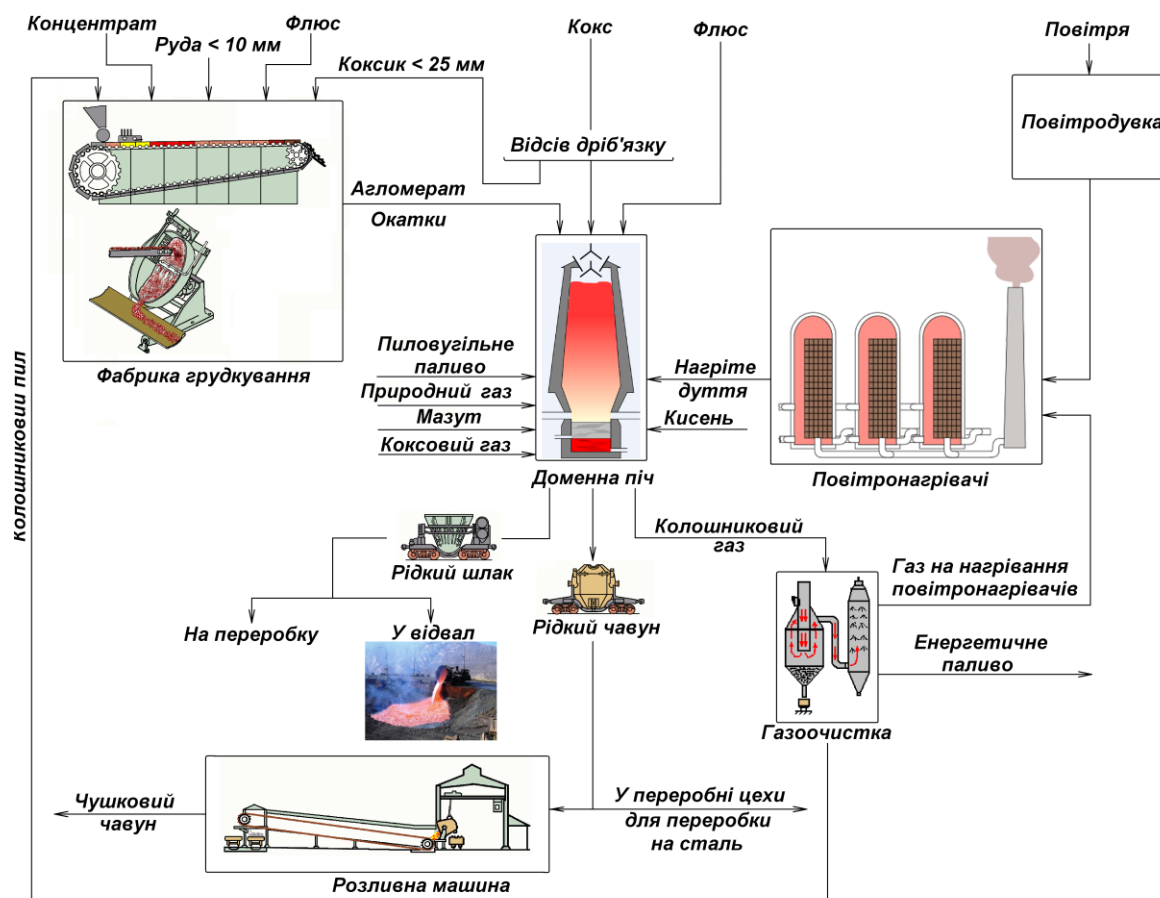


Рисунок 1.1 – Схема доменного процесу [3]

Доменний процес являє собою сукупність механічних, фізичних і фізико-хімічних явищ, які протікають в працюючій доменній печі при високих температурах (до 1900 °С). Основною метою доменної плавки є відновлення заліза з оксидів заліза, що утворюють рудну частину шихти.

Доменна піч самий великий і складний плавильний агрегат, який працює без перерви протягом п'яти або семи років, шляхом реакції потоку повітря, що вводиться під тиском на дно печі зі сумішшю металевої руди, коксу та флюсу, що надходить у верхню її частину, а з печі відводять доменний газ.

Доменні печі використовуються для виробництва чавуну з залізної руди для подальшої переробки на сталь, а також їх використовують для переробки свинцю, міді та інших металів.

На рисунку 1.2 наведена схема доменної печі.

Робочий простір печі включає:

- колошник;
- шахту;
- распар;
- заплечики;
- горн.

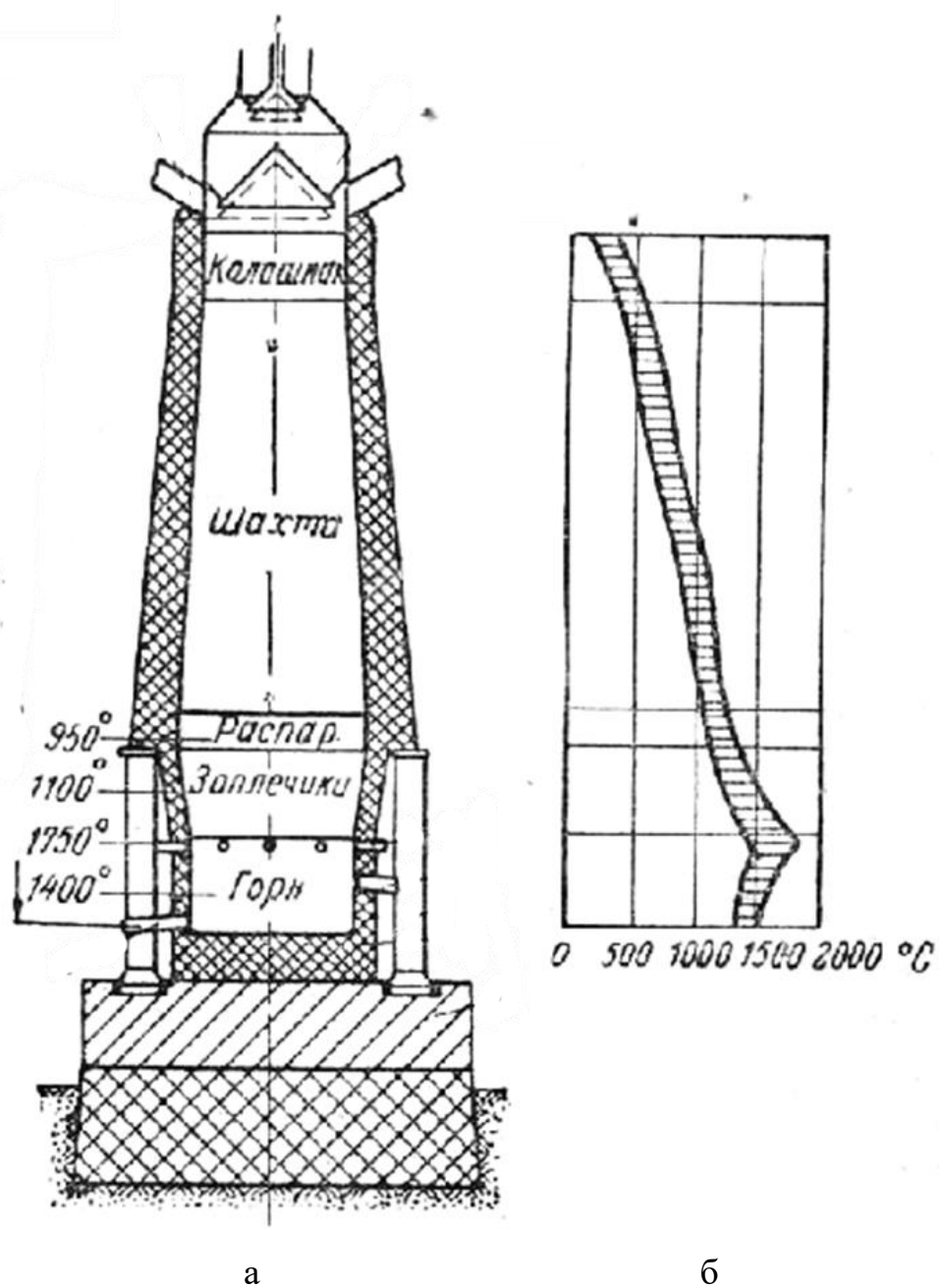


Рисунок 1.2 – Доменна піч (а) і розподіл температури по зонах доменної печі (б) [4]

Завантаження печі матеріалами, що містять метал (залізорудні гранули та агломерат), коксу та флюсу (вапняку), відбувається через шахту, де вони попередньо нагріваються і реагують з відновлювальними газами з утворенням заліза та шлаку, які накопичуються у вогнищі. Повітря, попередньо нагріте до температур від 900 °С до 1250 °С, разом з паливом, що закачується (нафта, природний газ), вдувається в піч через декілька фурм (форсунок), розташованих по колу печі біля верхньої частини вогнища; у великих печах таких насадок може бути від 12 до 40. Попередньо підігріте повітря, у свою чергу, подається з труби великого діаметру, що оточує піч. Воно інтенсивно реагує з попередньо нагрітим коксом до дуже високої температури близько 1650 °С, що призводить до утворення відновлювального газу (окису вуглецю), що піднімається через піч, так отримують рідке залізо та шлак. Сучасна доменна піч безперервно споживає 4000 ... 4500 м³/хв. дуття, нагрітого до температури 1100 ... 1200 °С [5].

Распар – це середня циліндрична частина робочого простору печі, що має найбільший діаметр. Распар створює деяке додаткове збільшення обсягу печі і усуває можливі затримки шихтових матеріалів, є найгарячішою частиною печі. Розплавлене залізо накопичується у вогнищі, яке має отвір для його витягування, а вище – шлакову дірку для видалення суміші домішок і флюсу. Вогнище і распар – це товстостінні конструкції, облицьовані вогнетривкими блоками вуглецевого типу, тоді як шахта облицьованій високоякісною шамотною цеглою для захисту оболонки печі. Щоб ці вогнетривкі матеріали не вигоріли, в них вбудовують тарілки або розпилювачі для циркуляції холодної води.

Шахта утримується повною, коли під час безперервної роботи зверху надходять по черзі шари коксу, руди та вапняку. Кокс запалюється на дні і швидко спалюється з примусовим повітрям з фурм. Оксиди заліза в руді хімічно відновлюються до розплавленого заліза вуглецем та чадним газом коксу. Шлак, що утворився, складається з вапнякового флюсу, золи коксу та речовин, що утворюються при взаємодії домішок у руді з флюсом; він плаває у розплавленому стані на вершині розплавленого заліза. Гарячі гази піднімаються з зони горіння, нагріваючи матеріал у шахті, а потім проходить через канали біля верхньої

частини печі – колошники. Такий газ називають колошниковим. Газ містить горючі складові CO і H_2 , тому, використовується як газоподібне паливо в металургійному виробництві. Крім того, проходячи через стовп шихти, газ захоплює дрібні частинки залізовмісних матеріалів, утворюючи так звану колошниковий пил. Пил вловлюється в спеціальних газоочисниках і використовується як добавка до шихти при агломерації або отриманні окатишів.

Колошники – це верхня частина доменної печі, через яку здійснюється завантаження шихтових матеріалів і відведення доменного або колошникового газу. Основною частиною колошникового пристрою є засипний апарат. На більшості доменних печей встановлені двоконусні завантажувальні пристрої. У звичайному положенні обидва конуса закриті і надійно ізолюють внутрішній простір печі від атмосфери. Після завантаження шихти в прийомну лійку малий конус опускається і шихта падає на великий конус. Малий конус закривається. Після того, як на великому конусі буде набрано задану кількість шихти, великий конус опускається при закритому малому конусі, і шихта висипається в піч. Після цього великий конус закривається. Таким чином, робочий простір доменної печі постійно герметизовано.

Шихтові матеріали зазвичай подаються на колошник печі з одного боку. В результаті, у воронці малого конуса утворюється укис. Тривала робота доменної печі з перекосом рівня шихти неприпустима. Для усунення цього явища приймальня воронка і малий конус зроблені обертовими. Після завантаження шихти воронка разом з конусом повертається на кут кратний 60° , завдяки чому після розвантаження декількох подач нерівномірність повністю усувається.

На сучасних печах можуть встановлюватися більш складні по конструкції засипні апарати. Замість великого конуса встановлюється обертається жолоб, кут нахилу якого може регулюватися. Така конструкція дозволяє змінювати місце подачі матеріалів по діаметру колошника [5].

1.3 Повітронагрівач доменної печі як об'єкт управління

Досягнення високої температури дуття здійснюється в повітронагрівачах, які представляють собою регенеративні пристрої періодичної дії. Звичайні його габарити: висота 40 ... 50 м, діаметр 9 ... 10 м.

Для того, щоб забезпечити безперервний нагрів дуття, доменну піч оснащують трьома або чотирма повітронагрівачами, що працюють по черзі в режимах акумуляції тепла насадками регенераторів (режим нагрівання) або нагріву дуття (режим дуття). Переключення повітронагрівачів з одного режиму роботи до іншого здійснюється за допомогою п'яти основних і трьох допоміжних (перепускних) клапанів.

Повітронагрівачі доменних печей мають найсучаснішу конструкцію і поставляються з внутрішніми або зовнішніми камерами горіння. Системи оснащені високоефективними керамічними пальниками, що забезпечують мінімальний рівень викидів CO, SO₂ і NO₂. В якості опції надається енергозберігаюча система утилізації відпрацьованого тепла.

Сучасний доменний повітронагрівач з внутрішньою камерою горіння є економічною альтернативою конструкції з зовнішньою камерою горіння.

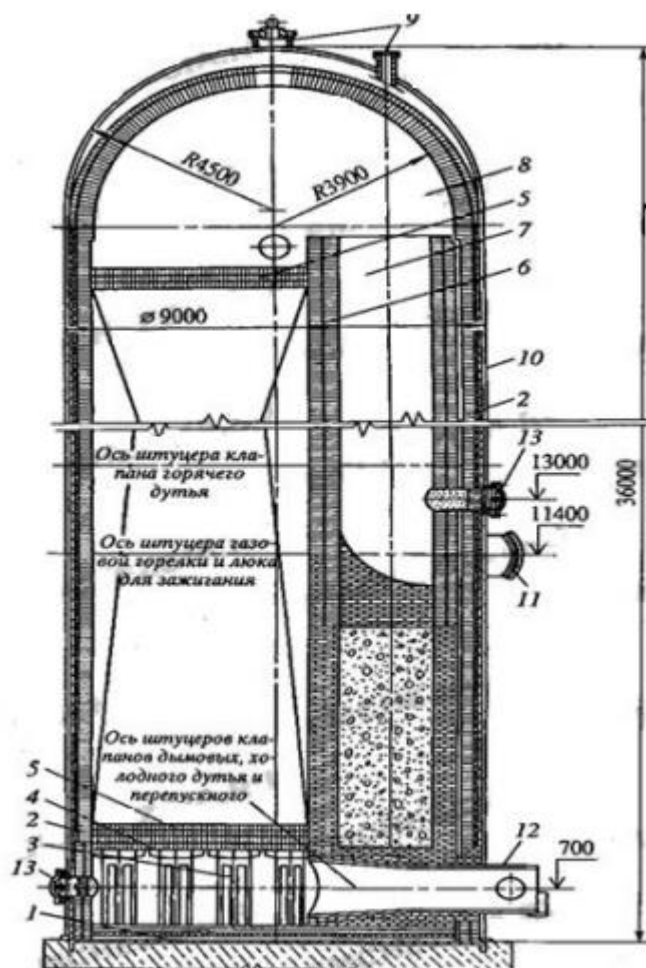
Подібні повітронагрівачі, придатні для експлуатації при максимальній робочій температурі в куполі до 1450 °С, забезпечують температуру дуття до 1250 °С.

Повітронагрівачі цієї конструкції мають грибоподібний купол, що розширюється у вигляді кільцеподібних стінок. Виготовлена повністю з кераміки розділова стіна, споруджена з взаємопов'язаних панелей, дозволяє мінімізувати витік газу між секційної камерою і камерою горіння.

Повітронагрівачі з зовнішньою камерою горіння. Доменний повітронагрівач з зовнішньою камерою горіння найбільш підходить для експлуатації при дуже високих робочих температурах і великих обсягах дуття. Подібні повітронагрівачі витримують максимальну робочу температуру в куполі до 1550 °С, забезпечуючи температуру дуття до 1350 °С.

Сучасна конструкція повітрянагрівачів включає два незалежних купола з невеликим взаємним тиском і можливістю автономного зміщення.

Загальний вигляд повітрянагрівачів з внутрішньою камерою горіння наведено на рисунку 1.3.



- 1 – дно; 2 – вогнетривка кладка 3 – опорні піднасадочні колони; 4 – піднасадочні решітки; 5 – насадки; 6 – розмежувальні стінки; 7 – камера горіння; 8 – підкупольний простір; 9 – люки; 10 – кожух повітрянагрівача; 11 – штуцер газового пальника; 12 – штуцер шибера холодного дуття і димові клапани

Рисунок 1.3 – Загальний вигляд повітрянагрівача з внутрішньою камерою горіння

Подібні конструктивні параметри дозволяють протидіяти початку міжкристалічної корозії під напругою. Добре відомо, що подібні суворі умови експлуатації можуть негативно вплинути на термін служби повітрянагрівачів,

навіть якщо обладнання має досить хороший захист, наприклад двошарове покриття.

Кожен купол має автономне виконання і адаптується до внутрішнього тиску, який виникає від розширення футеровки. Зусилля вигину і неоднорідні згинаючі напруги зведені до мінімального рівня, що запобігає утворенню концентраторів напружень.

Блок повітронагрівачів працює в наступних технологічних режимах:

- послідовному;
- попарно – паралельному;
- змішаному.

При послідовному режимі на нагріванні може бути використано будь-яку кількість повітронагрівачів, але не менше двох. При цьому на дуття завжди знаходиться один, інші на нагріванні та відділенні. Температура дуття надходить в доменну піч, регулюється вибором співвідношення кількостей гарячого дуття, що виходить з повітронагрівача, який знаходиться на дутті, і холодного дуття, що поступає по змішувальному повітряпроводу. Після охолодження повітронагрівача на дуття перекладається черговий нагрітий і тільки після цього остиглий ставиться на нагрів.

При попарно-паралельному режимі протягом всього дуттєвого періоду постійно знаходяться два повітронагрівача, цикли роботи яких змішані в часі. Температура дуття регулюється співвідношенням кількостей дуття, що надходять від більш і менш нагрітих повітронагрівачів. У перехідних режимах передбачена стабілізація температури гарячого дуття додаванням холодного.

При змішаному режимі протягом дуттєвого періоду на дутті на початку знаходяться два повітронагрівача. Спосіб стабілізації температури аналогічний способу при попарно – паралельному режимі. По закінченню заданого часу остиглий повітронагрівач перекладається на нагрів, на дутті залишається один повітронагрівач і температура гарячого дуття стабілізується додаванням холодного [6].

У даній дослідницькій роботі, розглянуто повітрянагрівач з послідовним режимом роботи, так як він більш ефективний з точки зору технології виробництва.

В даний час перевід повітрянагрівачів з режиму нагріву в режим дуття і назад здійснюється автоматично, що виключає помилки персоналу при виконанні операцій в заданій послідовності, забезпечує безпеку і скорочує час переходу повітрянагрівачів з одного режиму в інший, в результаті чого підвищується ККД всієї системи нагрівання дуття.

У перший момент після переведення з режиму нагріву в режим дуття ентальпія насадки повітрянагрівача максимальна. Температури купола і верха насадок також максимальні. Коли температура верхніх рядів насадки стане рівною заданій температурі дуття, слід перевести в режим дуття новий нагрітий повітрянагрівач, а остиглий перевести в режим нагрівання. Перевід повітрянагрівачів здійснюється за програмою: 1 година в режимі дуття; 2 години в режимі нагріву.

На деяких підприємствах переключення повітрянагрівачів здійснюється не за часом, а по сигналу про повне закриття змішувального клапана. При цьому час перемикання виходить невизначеним, що ускладнює планування розподілу газу між повітрянагрівачами всіх доменних печей цеху. В режимі нагріву повітрянагрівач опалюється доменним газом. Газ надходить у камеру згорання зі спеціального пальника, в яку потужним вентилятором нагнітається повітря.

Витрата газу регулюється поворотною засувкою, встановленою в газопроводі, витрата повітря – або зміною положення засувки направляючого апарату на всмоктуванні вентилятора, або засувками типу жалюзі на боці нагнітання повітря [6].

Принцип роботи повітрянагрівача доменної печі.

Повітрянагрівач працює циклічно. Цикл роботи починається з нагрівання насадки. Для цього в камеру горіння примусово подають газоповітряну суміш, яка, стикаючись з розпеченими стінами в нижній частині згорання, запалюється і повністю згорає в камері горіння.

Максимальна температура (1370 ... 1500 °C) досягається в підкупольному просторі, де газ, змінивши напрямок руху на 180°, спрямовується зверху вниз через вертикальні канали вогнетривкої насадки, передаючи їй своє тепло. З вертикальних каналів насадки газ надходить в піднасадочний простір охолодженими до 200 ... 400 °C і через два отвори димових каналів надходять в димові борів і димову трубу.

Після закінчення нагрівання насадки повітрянагрівач переводять на нагрів дуття. Для цього спеціальними каналами від'єднують повітрянагрівач від пальники і виходу до димаря і під'єднують піднасадочний пристрій з повітропроводом холодного дуття, а камеру горіння з повітропроводом гарячого дуття. Холодне повітря від турбоповітродувної машини або вентилятора з піднасадочного простору спрямовується через канали насадки і руху знизу вгору, відбираючи тепло від нагрітої насадки.

З вертикальних каналів насадки, нагрітий до високої температури повітря, виходить в під купольний простір, де змінює напрямок на 180° і через камеру горіння надходить в повітропровід гарячого дуття, який з'єднаний з кільцевих повітропроводом доменної печі.

Основною метою управління тепловим режимом повітрянагрівача є швидкий і рівномірний нагрів насадки по всьому перетину до максимально високої температури, тобто забезпечити накопичення якомога більшої кількості тепла, але при цьому не допустити нагріву найбільш тепло напружених ділянок повітрянагрівача. Тому найбільш важливими параметрами теплового режиму повітрянагрівача є температура купола у верхній частині насадки [7].

Виписка чавуну в доменній печі характеризується складними процесами, що відбуваються в умовах рухомих, хімічних і піддаються фазовим змінам середовищ. Знання закономірностей протікання цих процесів необхідно для розробки нових систем автоматичного управління, які повинні забезпечити оптимальний режим роботи доменної печі.

З точки зору теорії управління доменний процес є нелінійним об'єктом з багатьма зв'язками, розподіленими параметрами, полісигнальною структурою і втратами інформації.

На даний час більшість параметрів, що характеризують доменний процес, контролюються безперервно або через певні інтервали часу, проте точність і надійність деяких вимірювальних комплектів незадовільна. Крім того, одержувана в даний час інформація про хід процесу використовується неефективно.

Безліч контрольованих параметрів можна умовно розділити на три підмножини – вхідні параметри, вихідні параметри і параметри стану.

Вхідні параметри:

- витрата дуття;
- вміст кисню в дуття;
- температура гарячого дуття;
- вологість дуття;
- витрата паливної добавки, вдувати через фурми;
- хімічний склад паливної добавки;
- тиск газу під колошником;
- витрати дуття через окремі фурми (при наявності САУ);
- витрати паливної добавки через окремі фурми;
- діаметр і висота форм;
- кокс, рудна частина шихти, флюси:
 - а) кількість в подачу;
 - б) хімічний склад;
 - в) вологість;
 - г) реакційні характеристики;
 - д) фракційний склад;
 - е) характеристики;
- система завантаження;

- рівень засипки.

Вихідні параметри:

- продуктивність печі;

- якість чавуну:

- а) хімічний склад;

- б) температура.

- собівартість.

Параметри стану:

- тиск гарячого дуття;

- перепади тиску по висоті печі;

- витрати дуття через окремі фурми (при відсутності САУ);

- вихід колошникового газу;

- хімічний склад колошникового газу;

- хімічний склад газу по радіусах печі;

- швидкість сходу шихти;

- температура фурмених зон;

- температура периферії печі на різних горизонтах;

- температура газів в газовідводом;

- розподіл температури по радіусах печі;

- винос пилу;

- хімічний склад шлаку;

- кількість шлаку;

- температура шлаку;

- пульсація тиску гарячого дуття на фурмах.

У свою чергу вхідні параметри процесу можна поділити за ознакою можливості безперервного контролю і цілеспрямованого зміни їх на керуючі і впливи.

У типові системи контролю і регулювання ходу доменної печі включені прилади та регулятори – стабілізатори регульованих вхідних впливів, які досить

точно підтримують задані вручну параметри режиму дуття повітрянагрівача. Контроль же вихідних величин і збурень ще досить недосконалий, що змушує ускладнювати систему контролю, вводячи в неї ряд приладів, контролюючих деякі проміжні величини.

Основними САУ в доменній печі є температура гарячого дуття, витрата природного газу і тиск під колошником. Основними вхідними керуючими впливами доменного процесу є параметри режиму дуття (витрата, температура, вологість). Математичні залежності, що зв'язують параметри процесу, за умови надійного контролю останніх, можуть бути використані в обчислювальних пристроях для вироблення рекомендацій зі зміни керуючих величин або в обчислювальних пристроях для автоматичного зміни вхідних параметрів процесу.

Відповідно до обраної структури САУ повітрянагрівача інформаційним сигналом в ній є сигнал, пропорційний температурі гарячого дуття. Гаряче дуття подається в доменну піч при температурі 1100 °С, тиском 0,31 МПа, вологість дуття складає 50 г/м³, вміст кисню 27%, запиленість 3 мг/м³, контрольоване середовище не електропровідне.

Для вимірювання температури гарячого дуття використовують контактний термоелектричний метод. Термопару в захисній арматурі встановлюють на повітропроводі якомога вище до кільцевому ділянці повітропроводу гарячого дуття. Всі інші прилади і засоби САУ розміщують на щитах в спеціально підготовленому приміщенні, що опалюється і експлуатуються при атмосферному тиску і відсутності агресивних середовищ.

Регулятор повинен забезпечити формування ПІ-закону регулювання при розрахункових параметрах настройки, уніфікованому струмовому вхідному сигналі і реалізувати імпульсний вихідний.

Для реалізації перерахованих функцій використовують мікропроцесорний контролер. На ньому крім АСР температури гарячого дуття реалізовані ще три САУ доменної печі. Це дозволяє скоротити кількість використаних при автоматизації технічних засобів і їх номенклатури, що знижує витрати на їх монтаж, пусконаладжувальні роботи та експлуатацію, підвищує надійність

системи в цілому, а так само забезпечує можливість подальшого удосконалення САУ програмним шляхом без ускладнення апаратних засобів.

Широке використання нових методів автоматизованого управління технологічним режимом повітрянагрівачів доменної печі стримується через відсутність в багатьох випадках алгоритмів, які були б здатні забезпечити надійне управління технологічним процесом в умовах неповної інформації про шихту, що використовується, і про деякі важливі параметри плавки, які безпосередньо не вимірюються. Тому оперативне автоматизоване управління доменним процесом не знайшло поки що широкого використання. Тим не менш вивчення методів алгоритмізації управління доменним процесом є дуже важливим, оскільки воно узагальнює як наукові основи, так і практичний досвід раціональної організації доменної технології.

Аналіз існуючих досліджень систем автоматизованого управління повітрянагрівачів доменної печі дозволив сформулювати гіпотезу наукового дослідження випускної кваліфікаційної роботи магістра.

Гіпотеза дослідження: використання гібридного інтелектуального алгоритму для попередньої кластерної обробки технологічних джерел даних дозволить отримати високу надійність САУ повітрянагрівачів і прогнозований результат управління технологічним процесом.

Доменна піч як об'єкт автоматизованого управління має значні переваги перед іншими технологічними об'єктами. Факторами, що сприяють розробці систем автоматизованого управління доменної печі наступні:

- безперервність доменного процесу;
- стаціонарність завдань і умов доменної плавки;
- велика одинична потужність доменних печей, яка визначає високу економічну ефективність САУ і виправдовує значні витрати на їх створення.

Однак створення ефективних САУ повітрянагрівачів ускладнюються у зв'язку з:

- закритістю і надзвичайною складністю доменного процесу, який є

комплексом різноманітних процесів (механічних, газодинамічних, теплових, хімічних і фізикохімічних), складно поєднаних між собою;

– високим рівнем збурень процесу, що складно контролювати, пов'язаних, головним чином, зі значними коливаннями складу і властивостей агломерату і коксу внаслідок поганого усереднення агломераційної і коксової шихти.

Огляд наукових публікацій за останні кілька десятиліть, що стосуються автоматизації доменної печі виробничих підрозділів показує, що однією з основних тенденцій розвитку систем управління є використання інтелектуального аналізу даних, з метою виявлення нових залежностей між технологічними параметрами.

Більшість базових алгоритмів управління тепловим станом доменної печі ґрунтувалася на зведенні теплового балансу доменної плавки або на розрахунку показників, що характеризують вплив відновних процесів на нагрів печі. Розрахунок регулюючих дій будувався в цих алгоритмах переважно на аналізі змін складу газу. Розвиток методів управління тепловим режимом доменної плавки забезпечив вдосконалення запропонованих спочатку алгоритмів.

Задача оцінки тривалості періоду нагріву дуття найбільш актуальна в умовах підвищеної температури дуття, що обумовлено зменшенням доступного часу нагріву насадки. При реалізації систем керування і оцінки на основі нечітких баз знань необхідно вирішити задачі структурної та параметричної ідентифікації.

Структурно нечітка база знань представлена набором правил виду «якщо-то», екстракцію яких з експериментальних даних здійснено за допомогою методу Аргіогі. Нечітка база знань заснована на оцінці залежності тривалості періоду нагріву дуття від поточної температури гарячого повітря на виході з насадки і витрати холодного повітря на змішання. Кожному правилу відповідає ваговий коефіцієнт, значення якого знаходиться в діапазоні $[0; 1]$. При розробці нечіткої моделі досліджено два варіанти визначення функцій приналежності: Гаусса та дзвіноподібна, які описують нормальний розподіл модельованої величини.

1.4 Постановка задачі

1. Як показали результати дослідження на підприємстві ПАТ «Запоріжсталь» більшість повітрянагрівачів доменної печі обладнані системами автоматичного управління, в яких значення технологічних параметрів записуються в базу даних, що дозволяє вивчити стан процесу гарячого дуття доменної печі протягом тривалого періоду експлуатації, включаючи стан насадки при зміні його режими роботи. Існуюча система управління температури повітрянагрівачів доменної печі застаріла, і не забезпечує стабілізацію гарячого дуття при встановленому значенні температури. В даній системі управління рівень неконтрольованої приведеної до виходу похибки в багатьох випадках істотно перевищує рівень впливу на вихідні параметри контрольованих збурень нагріву дуття. Точна оцінка рівня нагріву гарячого дуття ускладнена, тому що вибір показника нагріву є певною мірою суб'єктивним, а самі показники, що використовуються, визначаються з великими похибками.

2. Аналіз існуючих підходів до математичного моделювання нагріву та охолодження насадки повітрянагрівача доменної печі показує, що дроблення часового відрізка розрахунків моделі для кожного шару за висотою насадки в залежності від швидкості теплоносія, як параметра, яким визначається дійсний обсяг газу, що бере участь у теплообміні з відповідним шаром насадки за фіксований проміжок часу, є достатньо ефективним.

3. В результаті аналізу існуючих систем керування режимом нагріву насадки повітрянагрівача виявлено, що єдиним каналом керуючих впливів є зміна параметрів теплоносія, що надходить до насадки, а саме температури та витрати. Основними виявленими недоліками існуючих систем автоматичного керування нагрівом насадки повітрянагрівачів є неспроможність врахування наявного часу на нагрів насадки, а також відсутність можливості оперативної зміни алгоритму керування при зміні поточних виробничих умов функціонування групи повітрянагрівачів.

4. В кваліфікаційній роботі пропонується застосувати новий підхід з використанням інтелектуального аналізу технологічних параметрів, який дозволяє в режимі реального часу аналізувати стан перевірки повітрянагрівачів при їх переході з режиму в режим з використанням поточної технічної інформації, яка записана в базі даних. Розроблена функціональна модель і проведена структурна декомпозиція автоматизованої інформаційної системи аналізу та прогнозування виробничих ситуацій доменного цеху при переході з режиму в режим дозволить досягти стабільності роботи цієї системи і вирішити комплекс технологічних задач управління тепловим, газодинамічним і шлаковим режимами доменного процесу.

5. Алгоритм аналізу системи управління повітрянагрівачів повинен підвищити температуру гарячого дуття без значних капіталовкладень при реконструкції блоку доменної печі. Економічність виплавки чавуну повинна досягатися за рахунок прийняття своєчасних і коректних рішень з управління технологією доменної плавки, що дозволить розроблена інформаційно-моделююча система і програмне забезпечення призначене для оцінки газодинамічного режиму доменної плавки.

6. Результати аналізу отриманої бази даних, що містить поточну та архівовану інформацію про технологічні параметри доменної печі, дозволять зробити своєчасне виконання коригування діаграми параметрів блоку гарячого дуття доменної печі, для уточнення початкових значень моделювання роботи доменної печі. Розроблене програмне забезпечення для автоматизованої обробки баз даних суттєво прискорює процес вивчення роботи доменної печі і мінімізує ризик помилок під час обробки.

1.5 Висновки розділу 1

Складність обробки інформації полягає в тому, що в базах даних різних типів через недосконалість існуючих контрольно – вимірювальних приладів,

встановлених на доменних печах, не наведені всі значення параметрів протягом того ж періоду часу, а частина параметрів записується з періодом, який збігаються з періодом запису в іншій базі даних. Для того, щоб обробити таку величезну кількість складної інформації, необхідно створити спеціалізований програмний інструмент для відкриття бази даних двох типів, вилучення з них необхідних даних (екстраполяція значень параметрів з однієї бази даних) і синхронізувати часові інтервали з записами іншої бази даних.

Результатом повинен бути масив даних для отримання даних параметрів та режимів роботи доменної печі.

Для кожного повітрянагрівача, слід створити окремий файл MS Excel, що містить три вкладки з відповідною інформацією про режим «нагрівання», режим «дуття» та режим «перемикання».

Для розробки алгоритму використовуються наступні параметри:

- витрата газу на спалювання;
- тиск повітря для горіння;
- параметри режиму «дуття».

В випускній кваліфікаційній роботі магістра пропонується новий підхід, який дозволяє в режимі реального часу аналізувати стан перевірки повітрянагрівачів при їх переході з режиму в режим з використанням поточної технічної інформації, яка записана в базі даних.

Надійне прогнозування відхилень роботи повітрянагрівача здійснюється за допомогою більшості алгоритмів лише на 2 ... 3 години, і, головним чином, завдяки інерційності доменного процесу. Тому замкнуте управління тепловим режимом доменної печі, що реалізується переважно за кордоном, передбачає використання тільки регулюючих дій «знизу». Таке управління, переслідуючи мету стабілізації нагріву чавуну, часто веде до перевитрати коксу, якщо регулювання здійснюється змінами температури або вологості дуття. В цьому випадку для забезпечення необхідного діапазону регулювання «знизу» доводиться створювати додатковий резерв палива в шихті, що завантажується в піч.

Аналіз сучасних методів оцінки тривалості режиму нагріву дуття виявив доцільність розробки підсистеми оцінки тривалості поточного режиму на основі теорії нечітких множин, які можливо використати в інтелектуальній САУ.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі завдання:

- розробити алгоритм для інтелектуального аналізу технологічної бази та її програмне впровадження;

- провести дослідження зміни температур купола та вихлопних газів у періоди зміни експлуатації режимів, щоб розробити структуру САУ повітрянагрівача на основі підсистеми розвідувального аналізу даних;

- розробити алгоритм, що дозволяє точно визначити, в якому режимі працює повітрянагрівачі доменної печі, відповідно до значень інших технологічних параметрів.

РОЗДІЛ 2 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

2.1 Аналіз існуючих досліджень САУ повітрянагрівачами доменної печі

У роботі М. А. Чжу – Ву «Експертна система повного автоматичного управління повітрянагрівачами доменної печі» [8] розглядається інтелектуальна експертна система, яка автоматично встановлює паливний газ та швидкості потоку повітря для нагрівання насадки повітрянагрівача доменної печі та при встановленій температурі димових газів, де розраховується автоматично тривалість періоду «нагрівання» та витрату газу відповідно до розрахункової тривалості подачі гарячого дуття.

У дослідницькій роботі А. Шахін, М. Морарі «Оптимізація управління повітрянагрівачами в шахівній паралельній роботі» [9] пропонується передбачувальна схема керування повітрянагрівачами з використанням лінійної моделі на основі результатів експериментів з покроковим відгуком на детальній динамічній моделі процесу, яка доповнена вбудованою моделлю збурень. Схема управління дозволяє мінімізувати споживання електричної енергії доменним виробництвом.

Автор І. Матино у своїй роботі «Два інноваційних підходи до моделювання і прогнозування витрат гарячого дуття і пічного газу від доменних печей» [10] розробив дві моделі, які дозволяють прогнозувати споживання вибухової речовини (топковий газ) блоком повітрянагрівачів доменних печей. Перша модель являє собою мережеву модель ехо-стану, яка є більш складною і чутливою до змін у методах роботи. Друга модель – це простий перемикач, який не вимагає навчання і дуже простий у використанні. Реалізація запропонованих моделей сприяє як скороченню використання природних ресурсів, наприклад, природного газу, так і зменшенню впливу об'єкта на навколишнє середовище.

У роботі С.Н. Чжан, Ю. Ли «Стратегія управління гарячим дуттям доменної печі на основі нечітких засобів ядра» [11] показана сучасна стратегія опалення повітрянагрівачів на основі нечіткої кластеризації. Стратегія являє собою

динамічне управління співвідношенням газ-повітря на основі кластерного аналізу великого обсягу виробничих даних. Порівняно з традиційним методом контролю горіння, покращений метод має значну ефективність оптимізації та вищу стабільність.

Дослідницька робота автора С. Чэнчэна «Розробка нової технології високої температури дуття у повітрянагрівачі доменної печі» [12] представив самостійно корегуючу комп'ютерну систему для контролю температури повітрянагрівача, що складається з трьох окремих підсистем: розрахунок коефіцієнта витрати газу; купольний контроль температури; регулювання температури газу, що згорає.

У роботі таких авторів, як Х. Юань, Х. Ванг, Л. Бай Линг «Управління розв'язкою нейронної мережі для потоку палива гарячого дуття» [13] пропонується використання нейронної мережі для оптимізації контролю витрат палива і стабілізаційний контроль температури купола та температури газів згорання. Використання техніки управління роз'єднанням нейронної мережі, контроль витрати палива повітрянагрівачами було недоступне. Для того, щоб отримати можливість керувати розв'язкою нейронної мережі, автори використали прямий компенсатор зв'язку в структурі з нейронною мережею HBS.

У статті Ю. Ян, Х. Чжао, Х. Лю «Нова мережа станів ехо – сигналів і її застосування при температурі вихлопних газів доменної печі» [14] пропонується нова мережа ехо – стану з глибокою пам'яттю для прогнозування димоходу температури газів. Попередня обробка даних, включаючи відхилення викидів, обробку відсутніх даних та обчислення часу затримки, виконується для отримання найкращих динамічних характеристик набору даних. Для підвищення точності прогнозування пропонується вдосконалена структура прихованого стану, яка складається з двох частин: формування ехо – стану та утворення прихованого стану.

2.2 Розробка математичної моделі

Існує безліч аналітичних моделей теплових процесів, які протікають в насадці повітрянагрівача (ПН), проте всі вони мають істотні недоліки. В останні роки за кордоном почали використовувати математичні моделі теплової роботи повітрянагрівачів, які є складовою частиною АСУТП доменних печей. Це дозволяє: мінімізувати витрату паливного газу, знизити витрати на технічне обслуговування і збільшити термін служби повітрянагрівачів.

Критерієм оцінки ефективності математичної моделі може служити практичне застосування запропонованої моделі на реальному підприємстві.

Математична модель повинна відповідати наступним критеріям:

– модель повинна враховувати вплив на теплову роботу наступних факторів: конструктивні особливості ПН, склад палива, склад повітря, що подається на горіння і надлишок повітря, теплофізичні властивості вогнетривів і газової фази в залежності від температури і параметрів дуття;

– модель повинна досить добре описувати перехідні процеси роботи (при переході з одного режиму роботи на інший);

– модель повинна забезпечити можливість роботи АСУТП в реальному масштабі часу.

Розглядається ПН з вбудованою камерою згорання і насадкою з шестигранних вогнетривких блоків з вертикальними циліндричними осередками. Повітрянагрівач складається з камери згорання і насадки.

У першому блоці моделі моделюються процеси в камері згорання. У камеру згорання надходить паливо (суміш природного та доменного газу в заданому співвідношенні) і повітря з заданим коефіцієнтом витрати повітря. На основі теплового і матеріального балансу для камери згорання, визначається склад і дійсна температура продуктів згорання.

Математична модель роботи повітрянагрівача з урахуванням залежності, що характеризує фізичні процеси регенеративного теплообміну для регулювання

збіжності теплового балансу роботи повітрянагрівача доменної печі за допомогою САУ.

Вихідними даними розрахунку горіння палива є: вид та теплота згорання палива, а також температури підігріву повітря і газу. В результаті розрахунку горіння палива визначаються температура, обсяг та склад продуктів згорання, які надходять до насадки ПН.

Математично процес теплообміну між газом – теплоносієм та насадкою являє собою систему рівнянь вигляду:

$$\left\{ \begin{array}{l} c_{\Gamma} V_{\Gamma} \frac{dT_{\Gamma}}{d\tau} = -\alpha F_1 (T_{\Gamma} - T_1), \\ c_1 \rho V_1 \frac{dT_1}{d\tau} = \alpha F_1 (T_{\Gamma} - T_1) + \frac{\chi_1}{\delta} (T_2 - T_1) F_2, \\ \dots \\ c_i \rho V_i \frac{dT_i}{d\tau} = \frac{\chi_i}{\delta} F_i (T_{i-1} - T_i) + \frac{\chi_i}{\delta} (T_{i+1} - T_i) F_{i+1}, \\ \dots \\ c_n \rho V_n \frac{dT_n}{d\tau} = \frac{\chi_n}{\delta} F_n (T_{n+1} - T_n), \end{array} \right. \quad (2.1)$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі газу, Вт/м²К;

V_{Γ} – об'єм газу, м³;

V_i – об'єм i – того шару насадки за товщиною, м³;

ρ – щільність насадки, кг/м³;

c_{Γ} – теплоємність газу, Дж/м³К;

c_i – теплоємність i – того шару насадки за товщиною, Дж/м³К;

χ_i – коефіцієнт теплопровідності i – того шару насадки за товщиною, Вт/мК;

δ – крок за товщиною насадки, м;

T_{Γ} – температура газу, °С;

T_i – температура i – того шару насадки за товщиною, °С;

F_i – поверхня теплообміну i – того шару насадки за товщиною, м².

Висота насадки повітрянагрівача розбивається на певну кількість ділянок, для кожної з яких вирішується система рівнянь (2.1). Перше рівняння в системі описує теплообмін між газом – теплоносієм і поверхнею насадки. Друге рівняння

в системі описує баланс тепла для поверхні насадки. Наступні рівняння характеризують баланс тепла для кожного i – того шару за товщиною насадки. Для визначення дійсного об'єму газу, який бере участь у теплообміні, виникає потреба урахування швидкості руху газу – теплоносія, яка змінюється за висотою насадки, що обумовлено охолодженням газу. Швидкість газу, який проходить через канал насадки повітрянагрівача, приведена до нормальних умов, визначається за рівнянням:

$$w = \frac{F_{г.к.} (T_{г} + 273) 0,1013}{S_k \frac{273}{P_{г}}}, \quad (2.2)$$

де $F_{г.к.}$ – витрата газу – теплоносія через один канал насадки, $\text{м}^3/\text{с}$;

S_k – площа каналу насадки, м^2 ;

$P_{г}$ – тиск продуктів згорання, кПа ;

273 – температура продуктів згорання при нормальних умовах, К ;

0,1013 – тиск продуктів згорання за нормальних умов, кПа .

Кількість шарів за висотою насадки, які проходить газ за одиницю часу Δt розраховується наступним чином:

$$n = \frac{w \Delta t}{\Delta h}, \quad (2.3)$$

де Δh – висота шару насадки, для якого вирішується задача теплообміну, м .

Зважаючи на рівняння (2.3), доцільно змінити часовий крок Δt до значення, відповідного часу перебування певного об'єму газу – теплоносія в просторі каналу поточного шару насадки, обмеженого висотою Δh :

$$\Delta h_i = \frac{\Delta \tau_i}{n}. \quad (2.4)$$

Тоді об'єм газу – теплоносія, який бере участь у теплообміні, знаходиться за рівнянням:

$$V_T = F_{T.к.} \Delta \tau_i, \quad (2.5)$$

Передбачається, що згорання палива повне і при розрахунку дійсної температури пірометричний коефіцієнт, що враховує теплові втрати дорівнює 0,95. Нагрівання і охолодження кладки камери згорання не враховувалося.

У другому блоці моделюється теплова робота насадки ПН, в яку періодично поступають димові гази і холодне дуття. Теплообмін в насадці є періодичним повторюваним процесом нагрівання та охолодження насадки. Окремі періоди чергуються та зв'язуються так, що в кожному наступному періоді нагріву або охолодження у якості початкового розподілу температур по перетину насадки приймається температурне поле, отримане в кінці попереднього періоду.

Якщо періодичний процес повторюється достатньо довго, тоді початковий стан кладки перестає впливати на температурне поле у наступних періодах. Наступає сталий стан періодичного процесу, при якому перехід тепла в насадку за період нагріву дорівнює теплу за період охолодження.

Для спрощення завдання насадка розглядається як пристрій, що складається з однакових циліндричних осередків, кількість яких дорівнює кількості каналів в насадці. При цьому внутрішній діаметр циліндричного осередку дорівнює діаметру отвору в блоках насадки, а зовнішній ефективний діаметр визначається з умови сталості маси насадки фактичної і модельної:

$$D_{зв} = \sqrt{4F/\pi \cdot N}, \quad (2.6)$$

де F – площа поверхні перетину насадки, m^2 ;

N – число каналів в насадці.

Для вогнетривких блоків з числом каналів, що дорівнює 12, зовнішній ефективний діаметр становить:

$$D_{зв} = \sqrt{S_6/3 \cdot \pi}, \quad (2.7)$$

де S_6 – площа горизонтальної поверхні вогнетривкого блоку, m^2 ;

Диференціальні рівняння теплообміну в насадці повітрянагрівача для двомірної нестационарної задачі в циліндричній системі координат записані у вигляді:

– для твердої фази:

$$c \cdot \rho \frac{dt(z, r, \tau)}{dt} = \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left[r \cdot \lambda \frac{dt(z, r, \tau)}{dr} \right] + \frac{d}{dz} \left[\lambda \frac{dt(z, r, \tau)}{dz} \right]; \quad (2.8)$$

– для газової фази:

$$c_r \cdot \rho_r \left[\omega_r \frac{dt_r(z, \tau)}{dz} + \omega_r \frac{dt_r(z, \tau)}{d\tau} \right] = \alpha \frac{P}{S} [t_r(z, \tau) - t_c(z, \tau)] \quad (2.9)$$

де $t(z, r, \tau)$ – поле температур твердої фази, $^{\circ}C$;

z і r – осі координат по вертикалі і по радіусу отвору в насадці, м;

τ – час, с;

λ – коефіцієнт теплопровідності насадки (функція температури), $Вт/м \cdot град$;

ρ – щільність матеріалу насадки (функція температури), $кг/м^3$;

c – питома теплоємність насадки (функція температури), $Дж/кг \cdot град$;

$t_r(z, \eta)$ і $t_c(z, \eta)$ – поле температур газової фази і поверхні стінки, $^{\circ}C$;

c_r – питома теплоємність газової фази (функція температури), $Дж/кг \cdot град$;

ρ_r – щільність газової фази, (функція температури), $кг/м^3$;

ω_r – швидкість газової фази, $м/с$;

α – коефіцієнт тепловіддачі між газовою фазою і поверхнею насадки, $Вт/м^2 \cdot град$;

P – периметр каналу насадки, ($P = \pi \cdot d$), м;

S – площа перетину каналу насадки, ($S = \pi \cdot d^2/4$), $м^2$.

При цьому передбачалося, що в газовій фазі перенесення тепла здійснюється шляхом конвекційного теплообміну в напрямку осі z , а по радіусу циліндричного отвору за рахунок ідеального перемішування, температура газової фази при цьому залишається постійною.

Теплообмін на кордоні всередині каналу насадки описувався граничними умовами 3 – го роду, де α – нелінійна функція, що описує вплив конвекційного і променистого теплообміну. Для знаходження коефіцієнта тепловіддачі конвекцією використовувалися загальні рівняння подібності. Променистий коефіцієнт тепловіддачі знаходився тільки для періоду нагрівання, так як в період дуття величиною променистого теплообміну можна знехтувати.

При цьому щільність теплового потоку від продуктів згоряння до стінки насадки визначалася порівнянням променистого теплообміну між газом і його оболонкою:

$$q = \frac{\sigma_0 (T_g^4 + T_c^4)}{\frac{1}{\varepsilon_g} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1}, \quad (2.10)$$

де σ_0 – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла, $\text{Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4$;

T_g і T_c – температури газу і поверхні стінки, К ;

ε_g і ε_c – ступінь чорноти газової фази і поверхні стінки насадки.

Емпірична формула для розрахунку ступеня чорноти продуктів згоряння в насадці взята з довідкової літератури.

Граничні умови теплообміну на зовнішній стороні осередку, а також на верхній і нижній частинах насадки ПН приймалися як адіабатичні.

Фізичні властивості продуктів згоряння, дуття, матеріалів насадки представлені в моделі у вигляді аналітичних залежностей від температури. У розрахунках враховувалося, що матеріал насадки різний на різних рівнях.

Для аналізу ефективності роботи ПН в математичній моделі розраховувалися інтегральні показники роботи: теплова потужність ПН в період

нагріву і в період дуття, відносна величина втрат тепла з продуктами згоряння, що відходять.

Чисельне рішення диференціальних рівнянь (2.8) і (2.9) з урахуванням умов однозначності, отримано на основі методу скінченних різниць. Використовувався 4 – х точковий шаблон і неявна схема. Математична модель спочатку виконувала розрахунки для камери згоряння, а потім послідовно виконувала розрахунки нагріву і охолодження кладки для періодів нагріву і дуття відповідно. Розрахунок виконувався до досягнення сталого стану (50 – 60 циклів). Початкова температура насадки приймалася 100 – 200 ° С і як показали результати розрахунку, на сталий стан не впливала. Температура димових газів на вході в насадку визначається з розрахунку горіння палива. Нагрів насадки відбувається до моменту досягнення температури низу насадки 400 °С.

Точність виконання завдання оцінювалася за величиною відносної похибки – δ .

$$\delta = \frac{t' - t''}{t''}, \quad (2.11)$$

де t' і t'' – результати розрахунку, отримані з різним кроком (Δz , Δr і $\Delta \eta$), який вирізняється більш ніж в 2 рази.

Розрахунки виконувалися на наступних кроках: $\Delta z = 0,1$ м, $\Delta r = 1,6$ мм і $\Delta \eta = 1$ с, при цьому похибка розрахунку температури дуття і димових газів склала не більше 0,02%.

Математична модель реалізована на мові C#.

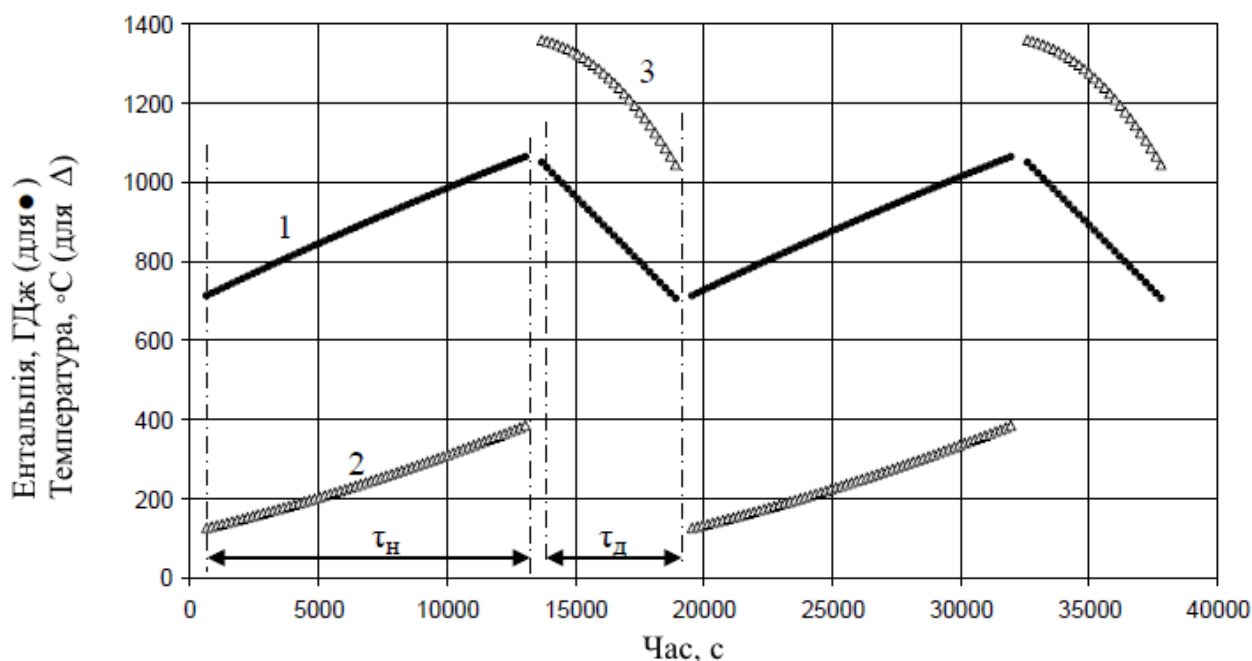
Апробація моделі проведена на параметрах роботи ПН доменного цеху ПАТ «Запоріжсталь». Насадка ВН виконана з шестигранних блоків з внутрішнім діаметром осередку 41 мм, повна поверхня нагріву становить 20181 м², висота насадки – 35 м.

Технологічні параметри: паливо – суміш доменного і природного газу, з вмістом останнього 2,5%, витрата палива 25 тис. м³/год, витрата дуття

158 тис.м³/год, температура холодного дуття 100 °С, температура дуття подається на піч 1020 ... 1080 °С, допустима температура купола 1400 °С, тривалість періоду нагріву 12600 с, періоду дуття 5400 с, тривалість паузи 900 с.

Для підтримки постійної температури гарячого дуття на ПН подають тільки частину холодного дуття, а решту пропускають через байпасну лінію і змішують з гарячим дуттям. Регулюючи витрати дуття через байпасну лінію підтримують постійну температуру змішаного дуття, що подається на доменну піч. Аналогічний режим управління підтримання температури гарячого дуття реалізований і на моделі.

На рисунку 2.1 наведені результати моделювання роботи ПН в сталому режимі роботи.



1

1 – ентальпія насадки ПН; 2 – температура відхідних газів; 3 – температура дуття на виході з повітрянагрівача

Рисунок 2.1 – Динаміка процесу нагрівання та охолодження ПН в сталому режимі

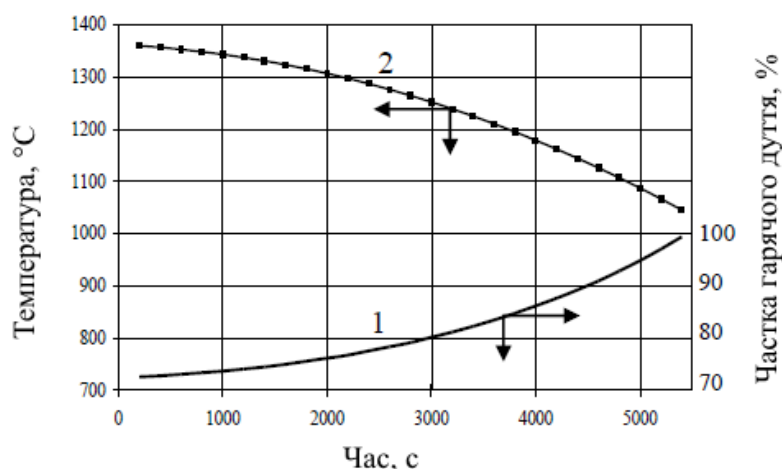
Температура газів, що відходять, на виході з ПН в процесі нагрівання насадки зростає, від 125 до 390 °С. Середня теплова потужність в період нагріву становить 28,4 МВт, в період дуття 66,27 МВт, втрата тепла з димовими газами – 14,5%. Ентальпія насадки повітрянагрівача змінюється циклічно (крива 1,

рисунок 3.2), при чому залежність від часу практично лінійна, як для періоду нагріву, так и для періоду дуття.

Необхідно зауважити, що температура дуття подається на доменну піч (суміш гарячого і холодного дуття), при моделюванні є вихідним параметром і задається оператором. Наведені результати розрахунків відповідають максимально досяжній температурі дуття. Для даних умов роботи ПН, при надлишку повітря на горіння 15%, температуру продуктів згорання на виході з камери згорання дорівнює 1365 °С, а максимально досяжна температура гарячого дуття, що подається на доменну піч, склала 1040 °С.

Температура дуття проходить через насадку нагрівача (крива 3, рис. 3.1), в циклі дуття монотонно знижується від 1360 °С до 1040 °С.

Для підтримки заданої температури дуття подається на піч (суміш гарячого дуття і холодного, що пройшла через байпасну лінію), частку гарячого дуття доводиться збільшувати від 73 до 100% (рисунок 2.2).

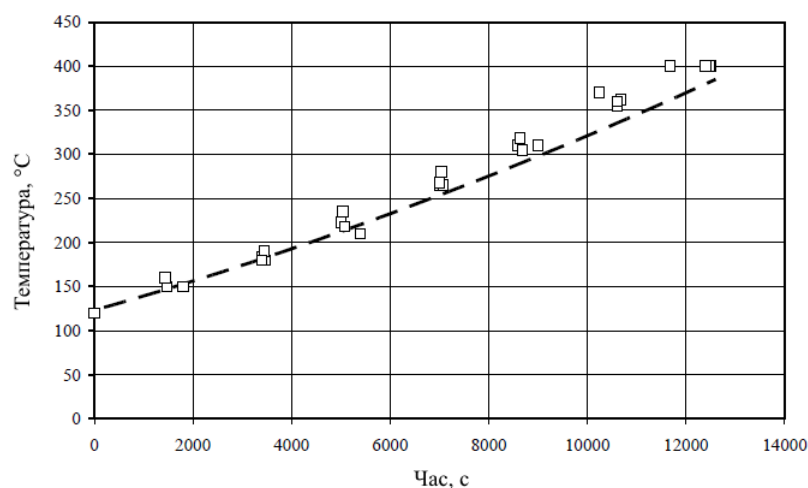


1 – частка гарячого дуття в суміші; 2 – температура дуття пройшов через ВН

Рисунок 2.2 – Динаміка зміни частки дуття, що проходить через ПН при постійній температурі дуття 1040 °С

Порівняння розрахункових і експериментальних даних отриманих на ПН ПАТ «Запоріжсталь», виконано по температурі продуктів згорання, що відходять, і наведено на рисунку 2.3. Збіг досить добрий, враховуючи, що модель не піддавалася адаптації через деякі особливості роботи ПН.

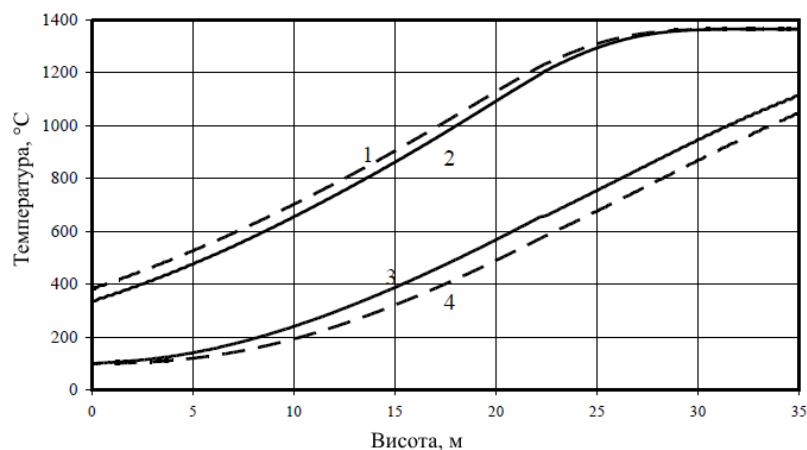
На рисунку 2.2 наведені розрахункові значення температур по висоті насадки. Результати наведені для сталого режиму наприкінці циклів (нагрівання і охолодження). Перепад температур між нагріваючим середовищем – продуктами згорання і насадкою, що нагрівається, наприкінці циклу нагріву дуже незначна, менше 30 °С. Для циклу дуття перепад температур дуття/поверхня насадки становить до 80 °С. Найбільші перепади температур виникають в перші хвилини після переходу з циклу нагріву на дуття і навпаки. Аналогічна поведінка перепаду температур спостерігається і по товщині насадки. Очевидно, що температура насадки досягає максимального значення в кінці періоду нагріву, а мінімального в кінці періоду дуття.



пунктирна крива – розрахунок, точки – експеримент

Рисунок 2.3 – Порівняння температури відхідних газів на ПН ПАТ «Запоріжсталь» з результатом моделювання

Розподіл температур насадки по висоті в ці моменти часу наведені на рисунку 3.4 (криві 2 і 3).



1 – температура димових газів; 2 – температура кладки в період нагріву;
3 – температура кладки в період дуття; 4 – температура дуття

Рисунок 3.4 – Розподіл температур по висоті насадки в кінці періодів нагріву і дуття

У нижній зоні насадки температура коливається в межах 100 ... 340 °С, а у верхній 1100 ... 1360 °С, що добре узгоджується результатами експерименту.

2.3 Висновки розділу 2

Доменний процес характеризується різноманіттям і складністю явищ газодинаміки, руху шихти, теплообміну, відновлення, фазових переходів і т. п. Дослідження цих явищ в доменній печі з метою виявлення резервів ефективності її роботи – зниження витрати коксу і підвищення продуктивності – пов'язане з великими фінансовими, технологічними і технічними труднощами. Тому застосування автоматизації при розробці систем контролю та управління доменним процесом має велике значення.

У ході вивчення літературних джерел з питання управління циклу нагріву повітрянагрівачів доменної печі, стало очевидним, що процес горіння є недостатньо ефективний і існують способи покращити його. Фактична агрегація та розумна оцінка виробничих даних дозволили визначити ряд заходів щодо підвищення температури гарячого дуття.

Удосконалена система управління дозволяє регулювати горіння залежно від хімічного складу доменних та коксових газів, необхідної температури горіння та правильного співвідношення повітря – паливо, підтримуючи мінімальний рівень кисню в димових газах для досягнення максимальної температури купола.

При дослідженні складних умов експлуатації повітрянагрівачів доменної печі пропонується використовувати гібридний інтелектуальний алгоритм для попередньої кластерної обробки технологічних джерел даних для отримання надійного прогнозування результатів.

Розроблена двовимірною математичною моделлю повітрянагрівача доменної печі, яка базується на основі нелінійних диференціальних рівнянь теплообміну в твердому газовому середовищі, а також на рівняннях теплового і матеріального балансу для камери згорання. Проведене порівняння результатів розрахунку і фактичних даних роботи ПН доменного цеху ПАТ «Запоріжсталь» показало, що розбіжність теплового балансу математичної моделі процесу теплообміну між газом – теплоносієм та насадкою не перебільшує 2%, що свідчить про адекватність математичної моделі. Дану математичну модель буде використано для розробки програмного комплексу САУ температури гарячого дуття повітрянагрівача доменної печі у наступному розділі роботи.

Розроблена математична модель може бути використана також для дослідження впливу технологічних параметрів нагріву дуття і оптимізації роботи доменних ПН на інших підприємствах.

РОЗДІЛ 3 ПРОЕКТУВАННЯ САУ ПОВІТРОНАГРІВАЧА

3.1 Структура САУ

Проектована САУ дворівнева. Нижній рівень виконує функції локального управління та збору інформації, а верхній рівень – функції супервізорного управління. До складу інформаційного забезпечення входять рішення по організації, збору, зберіганню та виводу сигналів та даних, а також технічна документація, що супроводжує розроблене забезпечення. Для реалізації функції локального управління, а також для збору інформації, що передається на робочу станцію оператора, ПЛК та модулі розширення повинні мати достатню кількість уніфікованих входів та виходів. Супервізорний рівень ПТКЗА включає в себе, перш за все, станцію управління, що являє собою автоматизоване робоче місце диспетчера чи оператора. Тут же розміщується, як правило, і сервер БД. Станції управління призначені для відображення ходу технологічного процесу (ТП) і оперативного управління ним. До функцій SCADA-системи також належить ведення архівів, баз даних, звітів подій і тривог, а також передача інформації на рівень АСУ В. Загалом SCADA-система реалізує так званий людино-машинний інтерфейс (НМІ/ММІ).

У якості технічних засобів автоматизації був вибраний ПТКЗА, оснований на використанні ПЛК Simatic PCS7 S7 – 300 фірми Siemens, та SCADA – системи InTouch, яка була створена фірмою Wonderware. На рисунку 3.1 представлена схема програмно – технічного комплексу засобів автоматизації, який включає в себе ПК, ПЛК та ТОУ (повітропідігрівач).

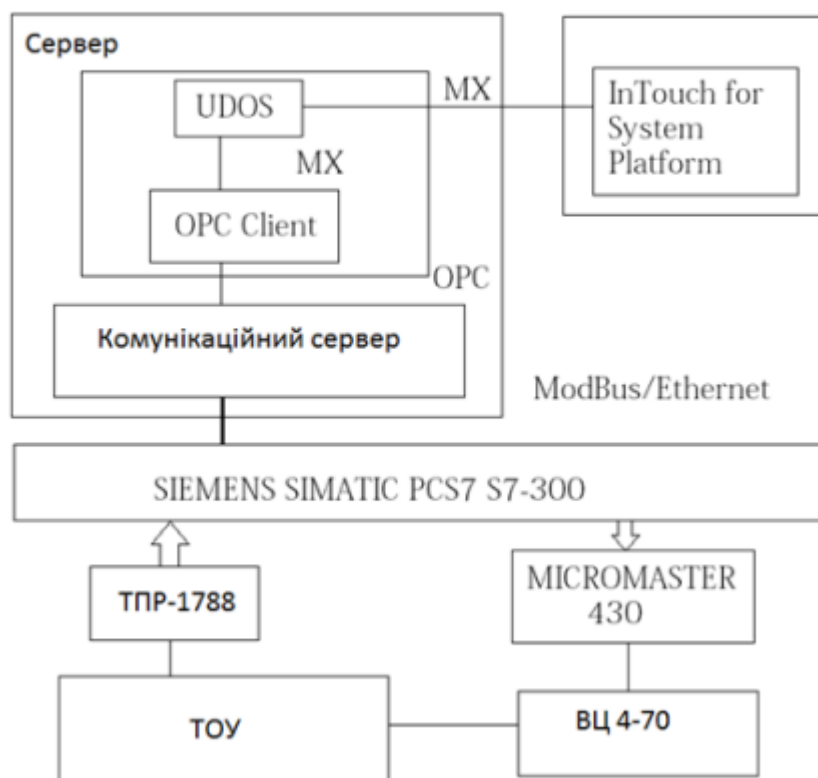


Рисунок 3.1 – Структурна схема системи регулювання температури повітрянагрівача

Нижній рівень САУ являє собою контролери з вимірювальною та виконавчою апаратурою, а верхній – супервізорний. До TCP/IP Ethernet приєднуються клієнти із встановленим InTouch.

Стандартним комунікаційним протоколом між сервером і контролером є протокол OPC. OPC – комунікаційний сервер опитує контролери через польову шину ModBus/RS – 232 і передає дані в SCADA через протокол OPC. Проте InTouch не підтримує протокол OPC на рівні ядра, він підтримує протоколи SuiteLink (фірмовий протокол Wonderware).

В даному випадку використовується проміжний софт FSGateway, який взаємно конвертує протоколи OPC та SuiteLink. Така конвертація дозволяє позбутися недоліків відносно протоколу OPC. Елементною базою нижнього рівня є Simatic PCS7 S7 – 300. На модулі даного контролера поступають сигнали від

вимірювальних приладів, в даній роботі це термоелектричний термометр ТПР – 1788 для вимірювання температури.

Контролер має багатозадачну операційну систему, яка дає можливість швидко опрацювати кілька подій які надійшли в прикладну програму. ПЛК з традиційними операційними системами повинні мати дорогі високоефективні процесори, щоб забезпечити досить швидкий час сканування відповідно найшвидшій події в процесі. Багатозадачна операційна система здатна пропрацювати переривання або швидкі завдання середнього пріоритету, а потім продовжити виконання прикладної програми з точки припинення головного завдання. Велика увага приділяється миттєвим і історичним алармам які сигналізують про вихід того чи іншого параметру за задані межі та за швидкість зміни параметру. В даному випадку температури повітропідігрівача.

Функція введення алармів є край важливою і критичною з погляду замовника САУ. Миттєві аларми відразу після виникнення відображаються у Viewer алармів. Оператор повинен проквітувати аларм, тобто клікнути на красному алармі після чого він стане чорним.

Аларми зберігаються не у своїх внутрішніх базах, або в зовнішній СУБД MSSQL Server. В системі реалізується відображення всіх контролюючих параметрів ТОУ як у вигляді числових значень так і у вигляді трендів реального часу і історичних трендів (вони записуються у внутрішню базу даних). Тренди реального часу завжди оновлюються, історичні тренди не оновлюються тому для них необхідно робити оновлення.

Всі параметри InTouch можуть архівуватися, архівування тегів відбувається у власних базах даних, які є звичайними cvs – файлами. Для перегляду історичних архівованих даних використають історичний тренд. Історичний тренд підключається до внутрішніх архівів InTouch і виводить дані за даний проміжок часу. Всі давачі в даній розробленій системі автоматизації мають уніфікований струменевий вихідний сигнал (4...20) мА. Цей сигнал надходить на модулі аналогових входів/виходів.

3.2 Розрахунок динаміки САУ

Перехідна характеристика – реакція об'єкту на одиничне ступінчате збурення. На практиці, в більшості випадків, спочатку отримують криву розгону, а потім її перераховують у перехідну характеристику.

В проекті розглядається об'єкт керування зображений на рисунку 3.2.

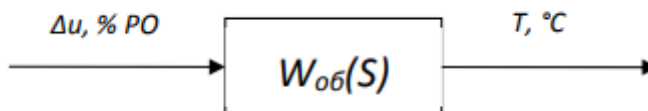


Рисунок 3.2 – Об'єкт керування

Використаємо передаточну функцію об'єкта управління з літературних джерел:

$$W_{об1}(p) = \frac{2,75}{200p + 1} e^{-20p};$$

$$K_{об} = 2,75 \frac{\text{м}^3/\text{ГО}}{\% \text{РО}};$$

$$T_{об} = 200 \text{ с};$$

$$\tau_{об} = 20 \text{ с}.$$

Цей об'єкт належить до об'єктів з самовирівнюванням. Такий об'єкт апроксимується послідовним з'єднанням ланки транспортного запізнення та аперіодичної ланки першого порядку, передавальні функції яких $W_T(s)$ та $V_{АП}(s)$ відповідно мають загальний вигляд:

$$W_T(S) = e^{-S\tau_{об}}$$

$$W_{АП}(S) = \frac{K_{об}}{(T_{об}S + 1)}$$

Послідовному з'єднанню відповідає перемноження передаточних функцій, тому передаточна функція об'єкта управління має загальний вигляд:

$$W_{об}(S) = W_{АП}(S) \cdot W_T(S) = \frac{K_{об}}{(T_{об}S+1)} \cdot e^{-S\tau_{об}},$$

де s – оператор Лапласа.

Існує два типи показників якості функціонування САУ: прямі і непрямі. До прямих показників якості відносяться: час регулювання, величина перерегулювання і статична помилка. До непрямих показників якості відносяться показник коливальності і запас стійкості.

Перехідна характеристика об'єкта управління зображена на рисунку 3.3.

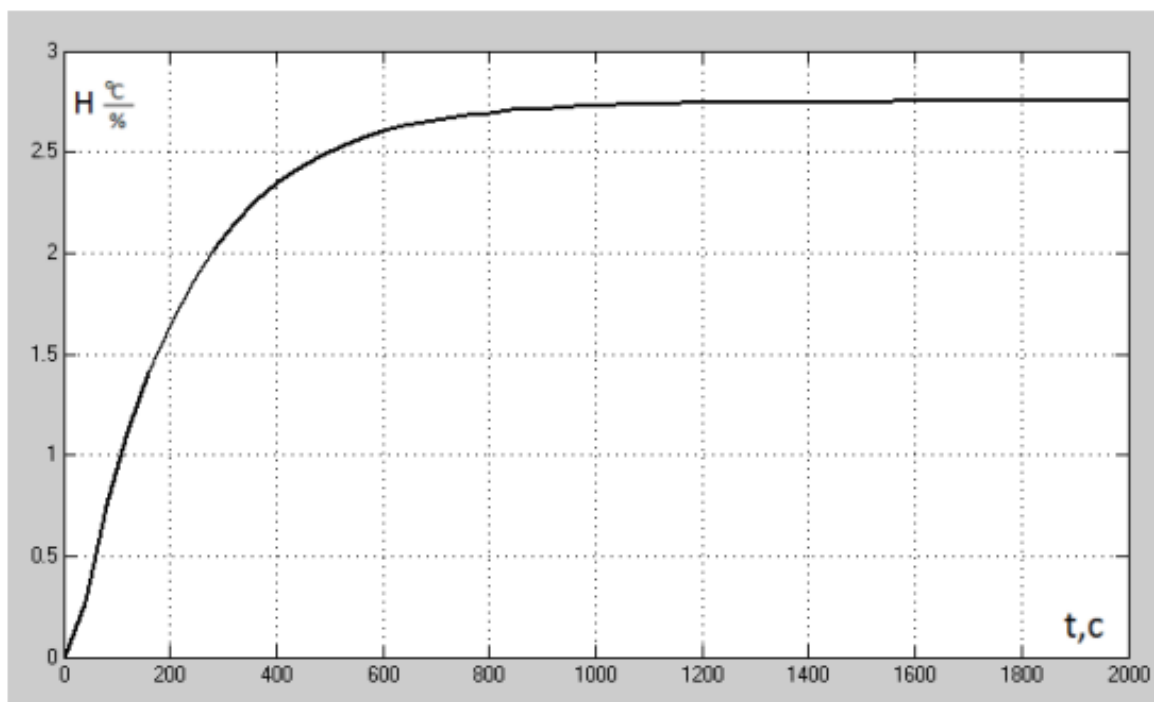


Рисунок 3.3 – Перехідна характеристика об'єкта регулювання температури гарячого дуття повітрянагрівача доменній печі

3.3 Розрахунок налаштувань регулятора

Для даного контуру регулювання оберемо ПІ – закон регулювання та розрахуємо налаштування контролера за трьома методами:

- метод розширеної амплітудно – фазової характеристики (РАФХ);
- метод максимум амплітудно – частотної характеристик (МАЧХ);
- інженерна методика.

Вказані вище методи дадуть змогу визначити оптимальні налаштування. Спочатку знайдемо параметри регулювання методом РАФХ. Метод РАФХ забезпечує прийнятну точність оптимізації налаштувань одноконтурних автоматичних систем з типовими законами регулювання. Для розрахунку системи задаємося значенням коефіцієнта коливальності $m = 0,345$, що відповідає показнику затухання $\psi = 0,88$.

```
w=0:0.0001:0.01;
m=0.345;
s=w.*(-m+j);
Wop=2.75.*exp(-20*s)./(200.*s+1);
Re=real(Wop);
Im=imag(Wop);
plot(Re,Im,'k') grid on hold on s=w.*j;
Wop=2.75.*exp(-20*s)./(200.*s+1);
Re=real(Wop);
Im=imag(Wop);
plot(Re,Im,'k--')
xlabel('Re(w)')
ylabel('Im(w)')
```

На рисунку 3.4 наведені АФХ та РАФХ об'єкту регулювання.

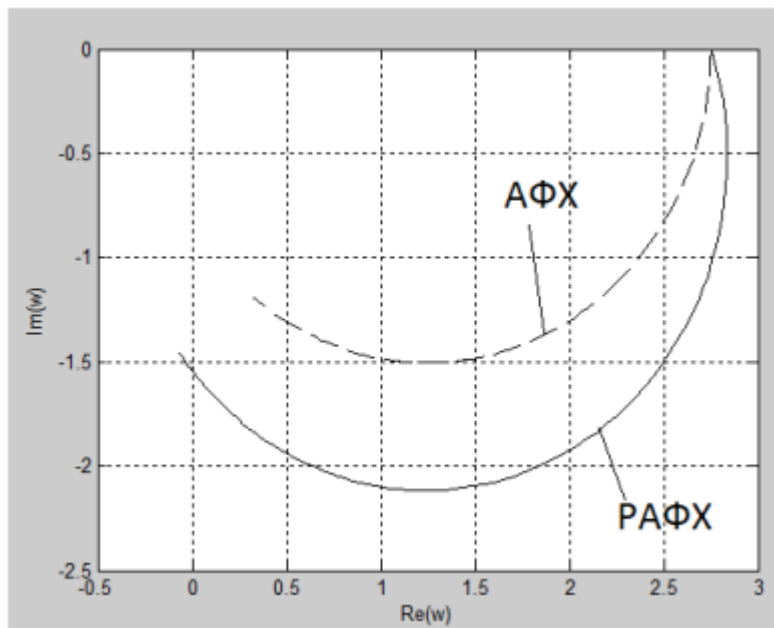


Рисунок 3.4 – АФХ та РАФХ об'єкту регулювання

Для побудови кривої заданого ступеню коливальності використаємо раніше розглянуті формули:

$$K_p = -\frac{mQ_{об}(m, \omega) + P_{об}(m, \omega)}{A_{об}^2(m, \omega)};$$

$$K_i = -\omega(m^2 + 1) \frac{Q_{об}(m, \omega)}{A_{об}^2(m, \omega)};$$

де

$$K_i = \frac{K_p}{T_i}, A_{об}^2(m, \omega) = \sqrt{P_{об}^2(m, \omega) + Q_{об}^2(m, \omega)}.$$

Текст М – файла для побудови кривої заданого ступеню коливальності наведено нижче:

$$w=0:0.001:0.065;$$

$$m=0.345;$$

```

s=w.*(-m+j);
Wop=2.75.*exp(-20*s)./(200.*s+1);
Re=real(Wop);
Im=imag(Wop);
A=Re.^2+Im.^2;
Kp=-(m.*Im+Re)./A;
Ki=-w.*(m^2+1).*Im./A;
plot(Kp,Ki,'k')
xlabel('Kp')
ylabel('Ki')
grid on

```

На рисунку 3.5 приведена крива заданого ступеня коливальності.

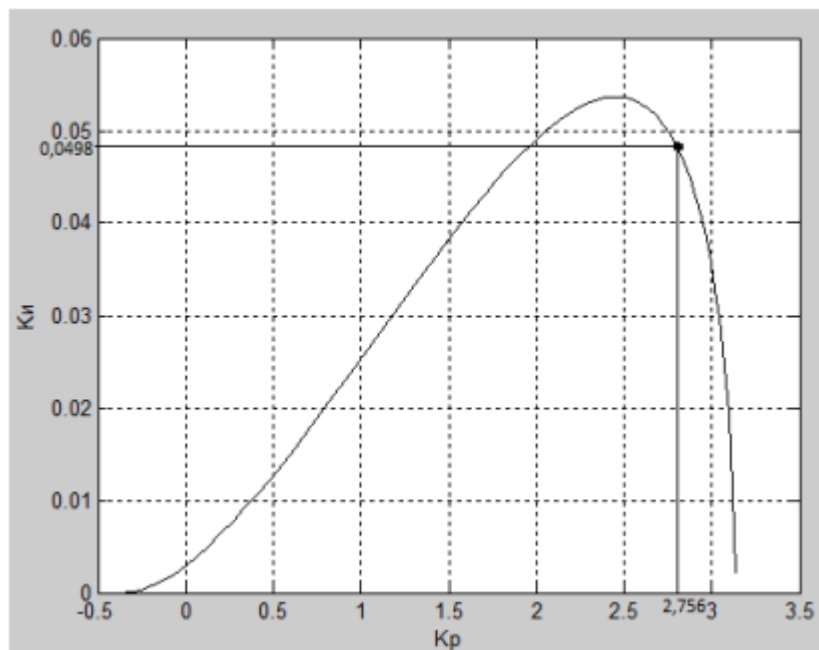


Рисунок 3.5 – Крива заданого ступеня коливальності

Для ПІ – регулятора визначимо настройки як K_p від $K_i = 0.93 \max(K_i)$, оскільки такі параметри часто відповідають оптимальному інтегральному квадратичному критерію якості перехідного процесу системи. Отримуємо наступні налаштування для ПІ – регулятора:

$$K_p = 2,756, K_i = 0,0498 \Rightarrow T_i = K_p / K_i = 55,34$$

Перевіримо правильність визначених параметрів регулятора:

```
w=0.02:0.001:0.2;
m=0.366;
s=w.*(-m+j);
Kp=2.7; Ti=56.25;
Wop=2.75.*exp(-20*s)./(200.*s+1);
Wr_v=Kp*(1+1./(Ti.*s));
Wrs=Wr_v.*Wop;
Re=real(Wrs);
Im=imag(Wrs);
plot(Re,Im,'k') grid on hold on s=w.*j;
Wop=2.75.*exp(-20*s)./(200.*s+1);
Wr_v=Kp*(1+1./(Ti.*s));
Wrs=Wr_v.*Wop;
Re=real(Wrs);
Im=imag(Wrs);
plot(Re,Im,'k--')
xlabel('Re(w)')
ylabel('Im(w)')
```

На рисунку 3.6 наведені АФХ і РАФХ системи з розрахованим ПІ – регулятором.

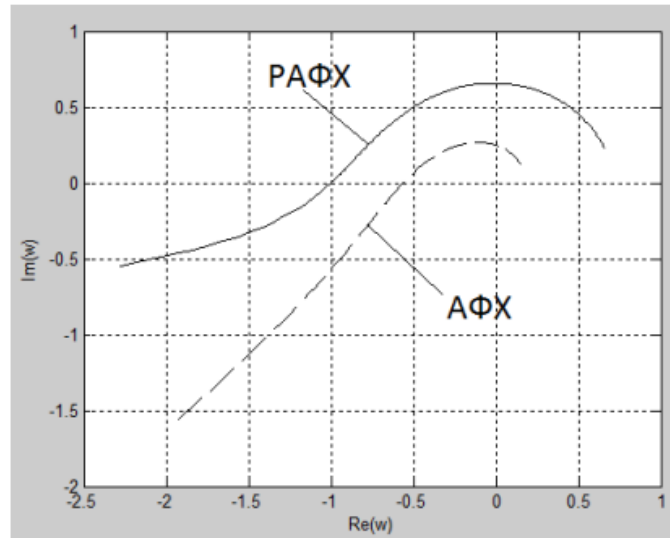


Рисунок 3.6 – АФХ і РАФХ системи з розрахованим ПІ – регулятором

Видно, що РАФХ розімкнутої системи проходить через точку $(-1; j0)$. Це означає, що отримана система повинна мати кореневої показник коливальності $m=0,345$. Отже, передаточна функція ПІ – регулятора має вигляд:

$$W_p(p) = 2,76 \left(1 + \frac{1}{55,34p} \right).$$

Розрахуємо налаштування регулятора за методом МАЧХ.

Амплітудно – фазова характеристика ПІ – регулятора:

$$W_p(j\omega) = K_p \left(1 + \frac{1}{j\omega T_n} \right).$$

Відповідно АФХ розімкнутої системи з цим регулятором має вигляд:

$$W_p(j\omega) = K_p \left(1 + \frac{1}{j\omega T_n} \right) W_{об}(j\omega).$$

Ця характеристика може бути переписана в наступному вигляді:

$$W_p(j\omega) = K_p W_1(j\omega)$$

де $W_1(j\omega)$ – характеристика розімкнутої системи при ступені нерівномірності регулятора, рівній одиниці.

Розрахунок ПІ – регулятора здійснюватимемо в наступному порядку:

1. По АФХ об'єкта, що регулюється, будемо сімейство АФХ розімкненої системи для K_p і декількох $T_{и}$.

2. Будемо кола з центрами, розміщеними на від'ємній частині реальної півосі, які одночасно дотикаються до лінії, проведеній під кутом γ , і до кожної з характеристик $W_1(j\omega)$. Значення K_p , що відповідають значенням $T_{и}$, для яких виконано побудова характеристик $W_1(j\omega)$, визначаємо по формулі:

$$K = \frac{M}{M^2} \frac{1}{r}$$

При цьому значення r , що фігурує в формулі є радіусом кола, що дотикається до характеристики $W_1(j\omega)$ для відповідного $T_{и}$. 3. За отриманими даними в площині параметрів настройки K_p и $T_{и}$ будують лінію, що обмежує область заданого запасу стійкості системи.

Розрахунок параметрів регулятора.

Для заданої передаточної функції побудуємо АФХ розімкнутої системи при $K_p = 2,756$, $T_{и} = 55,34$, взяті із розрахунку за методом РАФХ та побудуємо на цьому ж графіку пряму під кутом, що дорівнює $\arcsin 1/M$, $M = 1,6$.

$$K = \frac{M}{M^2} \frac{1}{r} \approx \frac{1}{r}$$

На рисунку 3.7 наведено АФХ розімкненої системи.

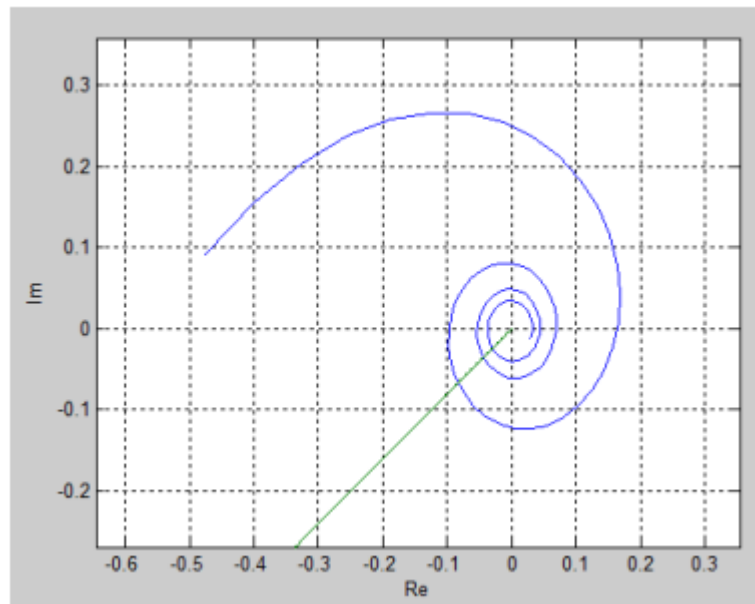


Рисунок 3.7 – АФХ розімкненої системи при $K_p = 2,756$, $T_n = 55,34$

Текст програми для побудови АФХ розімкненої системи:

```
w=0.08:0.01:1.2;
```

```
X_MIN=20;
```

```
p=j*w;
```

```
Wo=2.75.*exp(-20*p)./(200.*p+1);
```

```
T=55.34;
```

```
Kp=2.756;
```

```
Wr=Kp.*(1+1./(T.*p));
```

```
W=Wo.*Wr;
```

```
Re=real(W);
```

```
Im=imag(W);
```

```
M=1.6;
```

```
beta=asin(1/M);
```

```
x=-X_MIN:0.001:0;
```

```
y=tan(beta).*x;
```

```
x1=-X_MIN:0.001:0;
```

```
plot(Re,Im,x,y);
```

```
xlabel('Re');
```



```
ylabel('Im');
```

```
grid on;
```

Для того, щоб визначити оптимальні значення $K_{\text{опт}}$ необхідно проваріювати значення T_u і для кожного з них підібрати коло, центр якого лежить на від'ємній реальній осі і яке дотикатиметься і до годографу і до прямої.

Текст програми в середовищі Matlab:

```
M=1.62; % 1) R=0.388;
```

```
L=0.7; % 2) R=0.355;
```

```
L=0.64; % 3) R=0.326;
```

```
L=0.59; % 4) R=0.31;
```

```
L=0.56; % 5) R=0.298;
```

```
L=0.54; % 6) R=0.47; L=0.85;
```

```
x=-3.5:0.001:0;
```

```
k=asin(1/M);
```

```
y=k*x;
```

```
plot(x,y,'red');
```

```
hold on;
```

```
t=0:0.01:2*3.141562;
```

```
x1=R.*cos(t)-L;
```

```
y1=R.*sin(t);
```

```
plot(x1,y1, 'black');
```

```
w=0.02:0.001:2;
```

```
s=i*w;
```

```
% 1) Tu=55.34;
```

```
% 2) Tu=60;
```

```
% 3) Tu=65;
```

```
% 4) Tu=70;
```

```
% 5) Tu=75; % 6)
```

```
Tu=50;
```

```
W=((2.75.*(exp(-20.*s)))/(200*s+1)).*(1+1./(Tu.*s));
```

```

Re=real(W);
Im=imag(W);
plot(Re,Im,'green');
xlabel('Re(w)')
ylabel('Im(w)')
grid on;

```

Побудова відповідних АФХ розімкненої системи при різних $T_{и}$ дає можливість визначити відповідні значення $K_{опт}$. Наведемо ці графіки та розрахунки. Для отриманих радіусів кіл розрахуємо оптимальне значення K_p .

1. При значенні $T_{и} = 55.34$.

Метод МАЧХ для ПІ – регулятора при $T_{и}=55.34$ наведено на рис. 3.8.

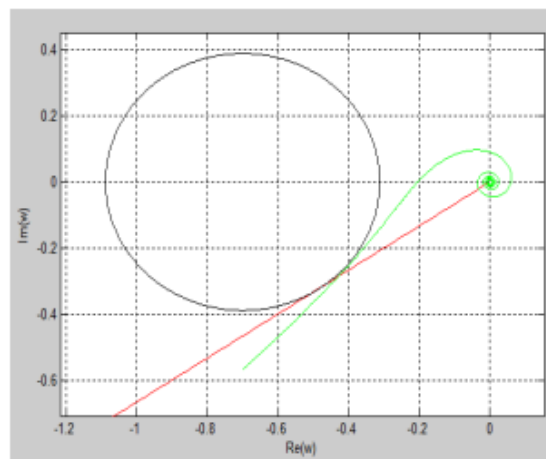


Рисунок 3.8 – Метод МАЧХ для ПІ – регулятора при $T_{и} = 55.34$

Радіус кола $r = 0.388$, тоді $K_{опт} = 1/0,388 = 2,577$.

2. При значенні $T_{и} = 60$.

Метод МАЧХ для ПІ – регулятора при $T_{и} = 60$ наведено на рис. 3.9.

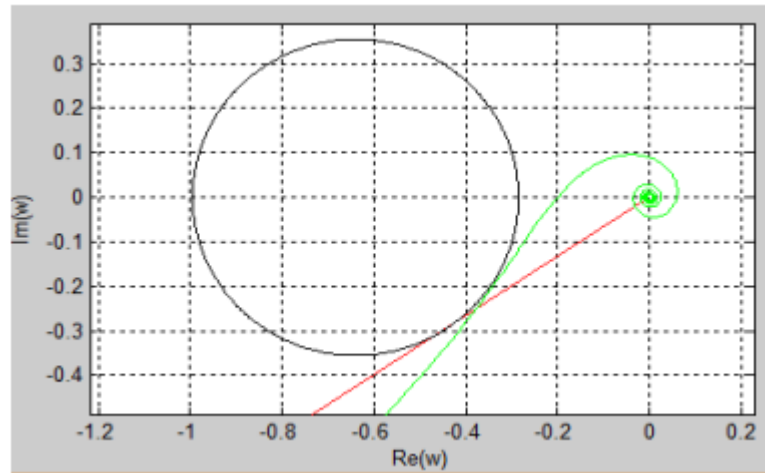


Рисунок 3.9 – Метод МАЧХ для ПІ – регулятора при $T_n = 60$

Радіус кола $r = 0.355$, тоді $K_{\text{опт}} = 1/0,355 = 2,816$.

3. При значенні $T_n = 65$.

Метод МАЧХ для ПІ – регулятора при $T_n = 65$ наведено на рис. 3.10.

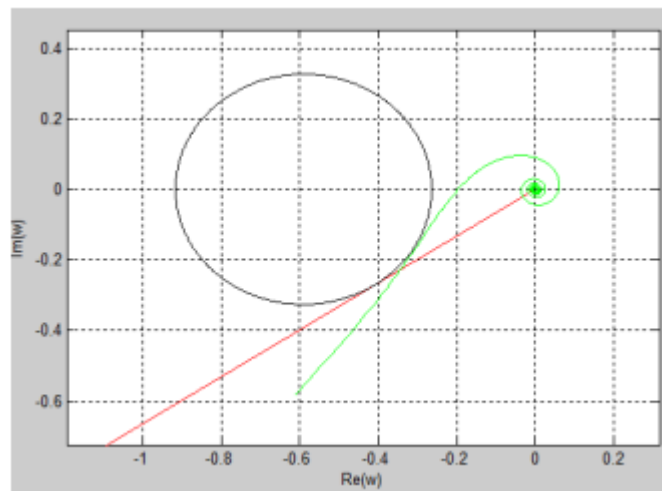


Рисунок 3.10 – Метод МАЧХ для ПІ – регулятора при $T_n = 65$

Радіус кола $r = 0.326$, тоді $K_{\text{опт}} = 1/0,326 = 3,067$.

4. При значенні $T_n = 70$.

Метод МАЧХ для ПІ – регулятора при $T_n = 70$ наведено на рис. 3.11.

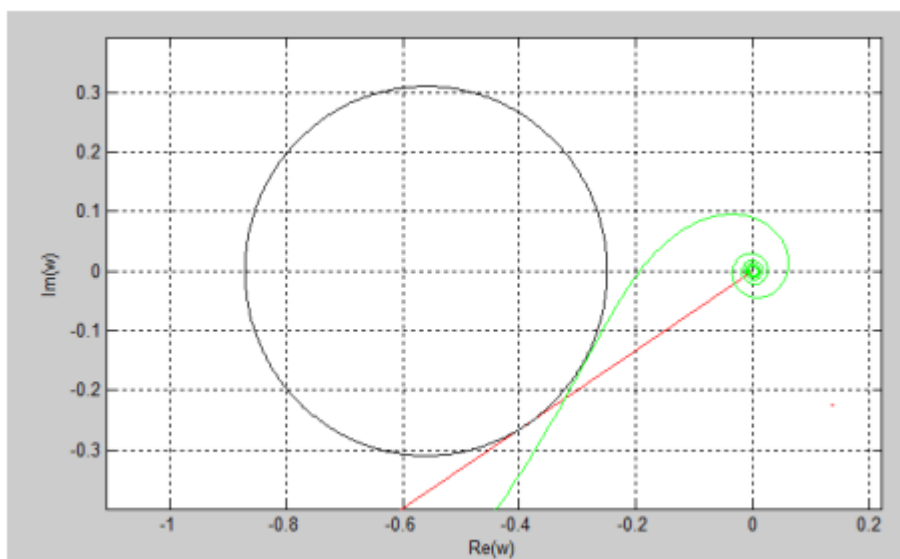


Рисунок 3.11 – Метод МАЧХ для ПІ – регулятора при $T_n = 70$

Радіус кола $r = 0.31$, тоді $K_{\text{опт}} = 1/0,31 = 3,225$.

6. При значенні $T_n = 75$.

Метод МАЧХ для ПІ – регулятора при $T_n = 75$ наведено на рис. 3.12.

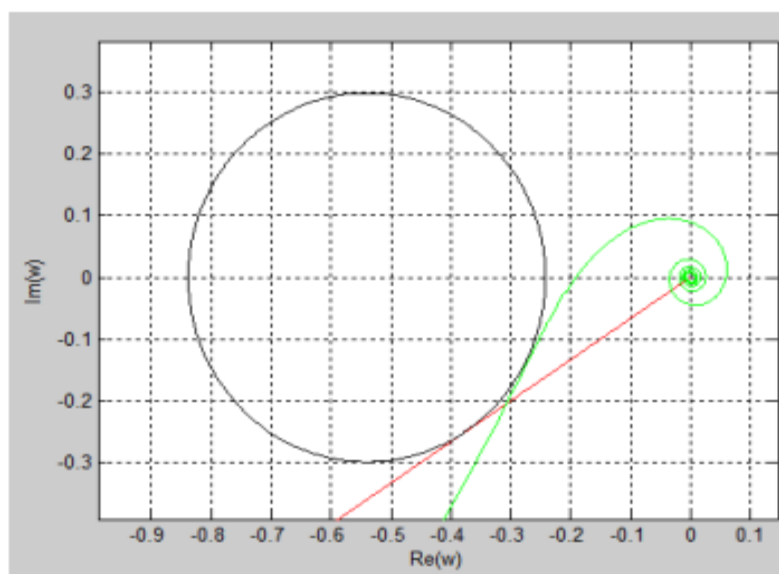


Рисунок 3.12 – Метод МАЧХ для ПІ – регулятора при $T_n = 75$

Радіус кола $r = 0.298$, тоді $K_{\text{опт}} = 1/0,298 = 3,355$.

7. При значенні $T_n = 50$.

Метод МАЧХ для ПІ – регулятора при $T_n = 50$ наведено на рис. 3.13.

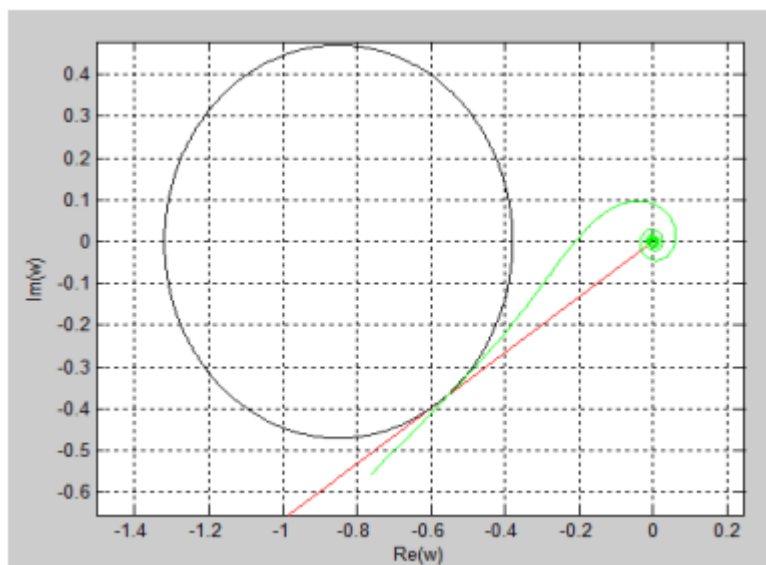


Рисунок 3.13 – Метод МАЧХ для ПІ – регулятора при $T_n = 50$

Радіус кола $r = 0.47$, тоді $K_{opt} = 1/0,47 = 2,127$.

Отже, отримавши дані з кожного графіка, можемо звести в таблицю та побудувати залежність $K_u = f(K_p)$ за допомогою Microsoft Excel, таблиця 3.1.

Таблиця 3.1 – Вибірка параметрів ПІ – регулятора

	M=	1,62	
T	K _p	K _u	R
50	2,127	0,0425	0.47
55,34	2,577	0,0465	0.388
60	2,816	0,0469	0.355
65	3,067	0,0471	0.326
70	3,225	0,046	0.31
75	3,355	0,0447	0.298

Отже, підберемо пару, яка буде оптимальною за найменшим значенням інтегрального лінійного показника якості. Для цього побудуємо залежність k_p/T_n від k_p . Необхідне нам значення буде знаходитись у точці максимуму.

Графік залежності $K_u = f(K_p)$ наведено на рис. 3.14.

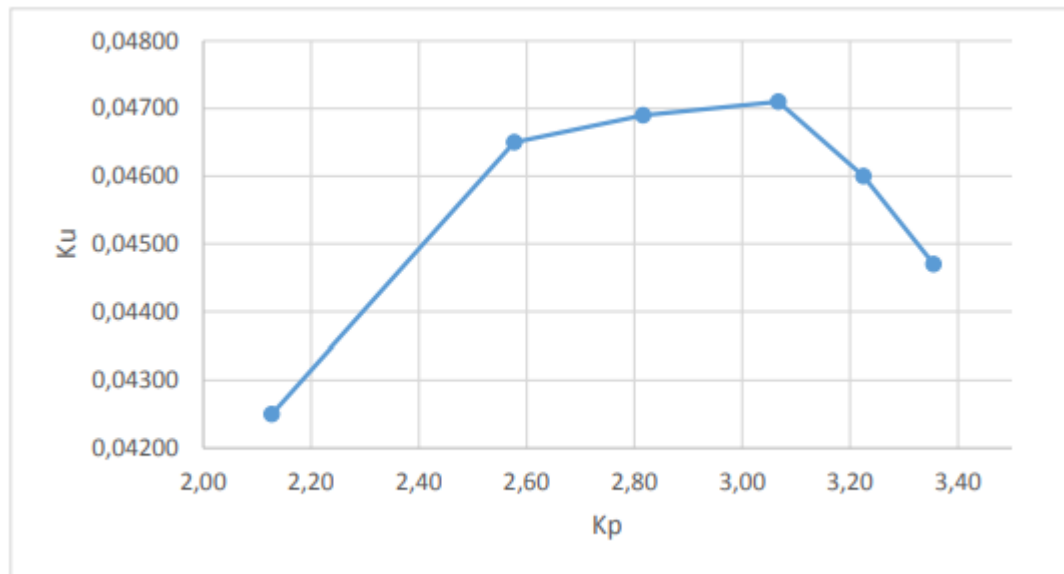


Рисунок 3.14 – Графік залежності $K_u=f(K_p)$

Таким чином з даної залежності визначаємо наступні параметри регулятора: $K_p = 3,07 \text{ \%}/\text{м}^3/\text{год}$, $K_u = 0.047$. Виходячи із формул, якими ми задавалися перед початком розрахунків визначимо T_i :

$$T_i = \frac{K_p}{K_u} = \frac{3.07}{0.047} = 65 \text{ с.}$$

Отже, передаточна функція ПІ – регулятора має вигляд:

$$W_p(p) = 3.07 \left(1 + \frac{1}{65p} \right).$$

Розрахуємо параметри регулятора інженерним методом.

Синтезуємо ПІ – регулятор системи експрес – методом, оснований на затуханні коливань (з затуханням амплітуди $1/4$). Даний метод дозволяє налаштувати регулятор без виведення системи на критичні режими роботи.

Експеримент: (підбираємо k_p , при якому будуть забезпечені затухання):

- встановлюємо початкове k_p ;
- спостерігаємо перехідний процес, змінюючи k_p добиваємось $u_3/u_1=1/4$;

- вимірюємо T та обчислюємо $T_{и}$ ($T_{и}=T/1,5$).
- Підберемо k_p , при якому $y_3/y_1=0,25$.

Перехідна характеристика САУ при ПІ – законі наведена на рис. 3.15.

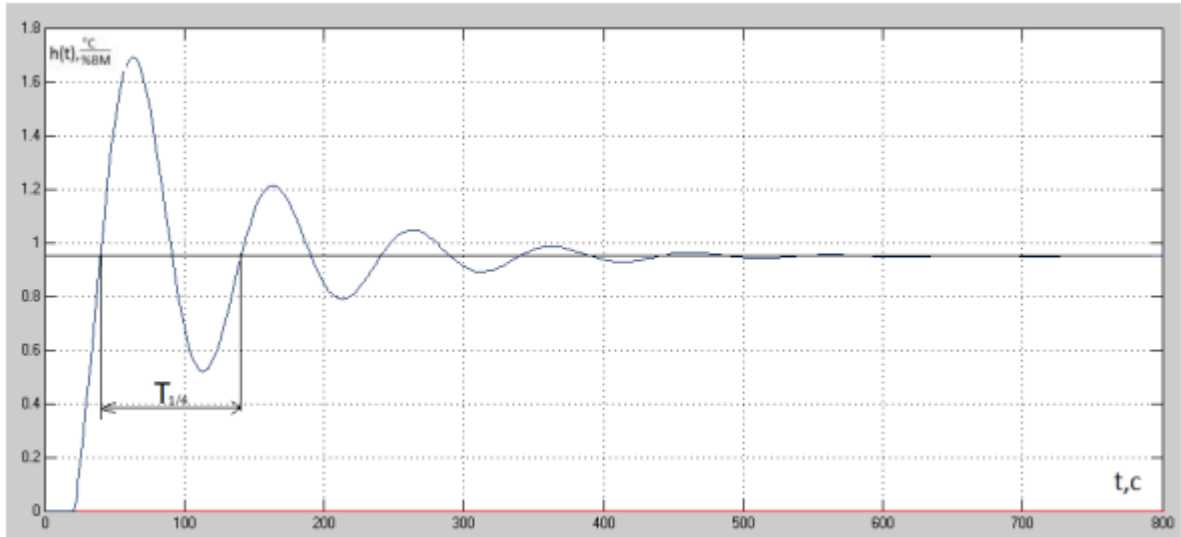


Рисунок 3.15 – Перехідна характеристика САУ при ПІ – законі

Ця умова виконується при $k_p = 3.6$.

Визначимо T :

1. Знайдемо період:

$$T = 139,2 - 40,7 = 98,5 \text{ (с)}.$$

2. Знайдемо $T_{и}$:

$$T_{и} = \frac{T_{1/4}}{1.5} = \frac{98.5}{1.5} = 65.66.$$

3. Знайдемо k_p :

$$k_p = k_{1/4} = 3.6.$$

4. Отже, передаточна функція регулятора має вигляд:

$$W_p(p) = 3.6 \left(1 + \frac{1}{65.66p} \right).$$

3.4 Моделювання і синтез САУ

Отже, за результатами розрахунків ми отримали три пари налаштувань регулятора. Розглянемо замкнуту систему з регулятором, налаштованим за цими методиками, розрахуємо перехідні прямі показники якості і зведемо їх до таблиці для порівняння перехідних процесів.

На рисунку 3.16 наведена модель замкненої САУ температури повітропідігрівача для різних налаштувань регулятора.

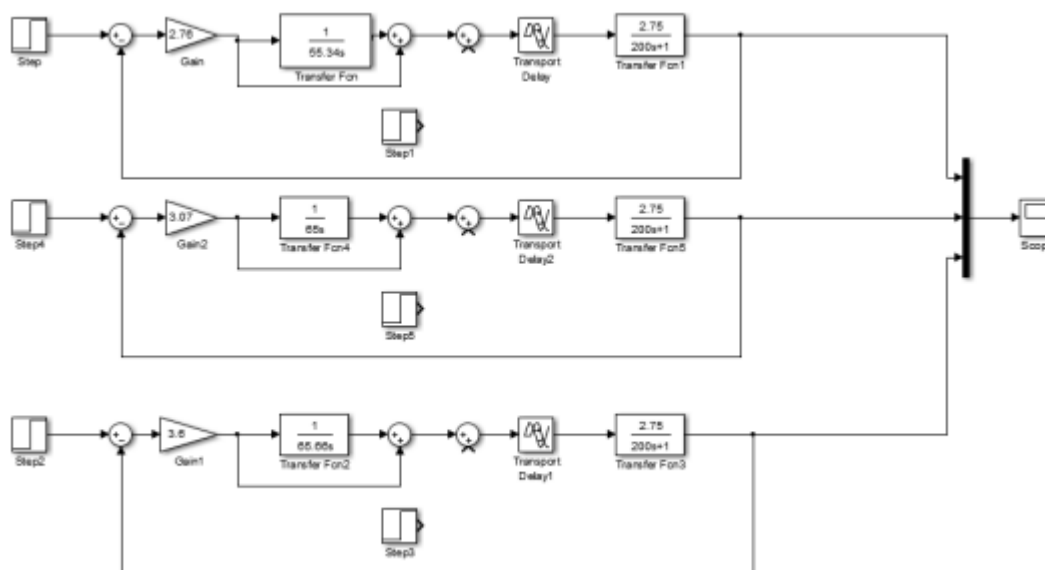


Рисунок 3.16 – Модель замкненої САУ температури повітропідігрівача для різних налаштувань регулятора

Перехідні процеси в замкненій САУ температури повітропідігрівача по каналу «завдання – вихід» (1 – РАФХ, 2 – МАЧХ, 3 – з 20% перерегулюванням) наведено на рисунку 3.17.

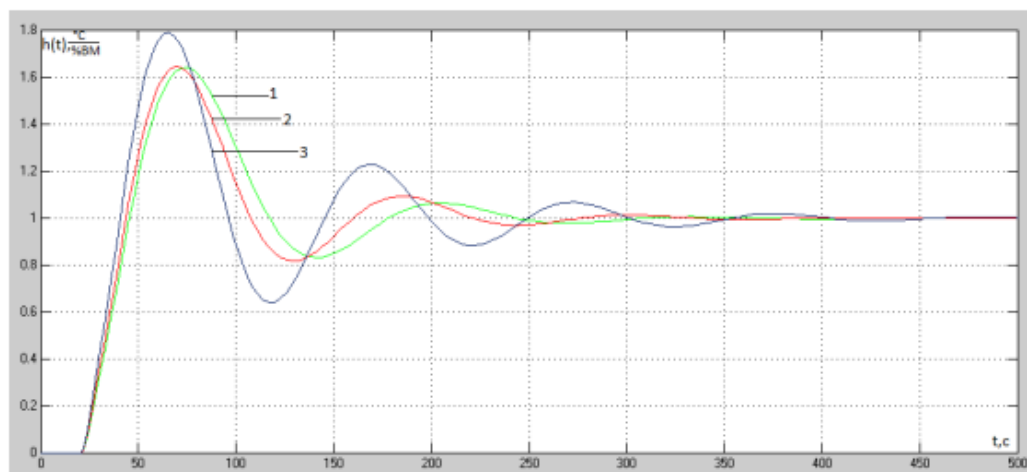


Рисунок 3.17 – Перехідні процеси в замкненій САУ температури повітропідігрівача по каналу «завдання – вихід» (1 – РАФХ, 2 – МАЧХ, 3 – з 20% перерегулюванням)

Порівняємо показники якості перехідних процесів по обом каналах, отриманих для всіх трьох методів налаштування регулятора.

Прямі показники якості перехідних процесів по каналах «завдання – вихід» та «збурення – вихід» в САУ температури повітропідігрівача наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Прямі показники якості перехідних процесів по каналах «завдання – вихід» та «збурення – вихід» в САУ температури повітропідігрівача

	«завдання-вихід»			«збурення-вихід»		
	РАФХ	МАЧХ	з 20% перерегулюван ням	РАФХ	МАЧХ	з 20% перерегулюванн ям
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0	0	0	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0,643	0,648	0,794	0,388	0,379	0,363
Ступінь затухання ψ	0,898	0,85	0,71	0,92	0,87	0,76
Час регулювання $t_{рег}$, с	219,4	206	285,2	215,3	206,2	278,7
Перерегулювання σ , %	64,3	64,8	79,4	15,2	8	17,6

Виходячи з отриманих результатів можна зробити висновок, що по каналу «завдання – вихід» методи РАФХ та МАЧХ дають майже однакові результати, по відношенню до інженерного методу.

По каналу «збурення – вихід» метод РАФХ незначним чином поступається методу МАЧХ. МАЧХ має менше перерегулювання та час регулювання, але динамічна похибка та ступінь затухання гірші). Щодо інженерної методики, то вона в кінцевому результаті виявилась гіршою і менш точною за графічні методи. Причиною цього може бути те, що інженерні методи є наближеними і використовуються, зазвичай, для економії часу і коли немає вимог до точності. В даній роботі надалі використовуватимемо параметри регулятора, розраховані за методом МАЧХ. Передаточна функція ПІ – регулятора з оптимальними налаштуваннями має вигляд:

$$W_p(p) = 3.07 \left(1 + \frac{1}{65p} \right).$$

Грубість одноконтурної САУ – це низька чутливість критерію функціонування до варіацій параметрів розімкненої САУ.

Для дослідження системи були зняті 9 перехідних характеристик: при змінному $K_{об}$; при змінному $T_{об}$; при змінному $\tau_{об}$ – всі при оптимальних параметрах налагоджування регулятора. Варіації параметрів проводились в діапазоні $\pm 10\%$. Дослідження були проведені по каналу завдання – вихід. Розглянемо детально отримані результати наведені на рисунку 3.18 – 3.20.

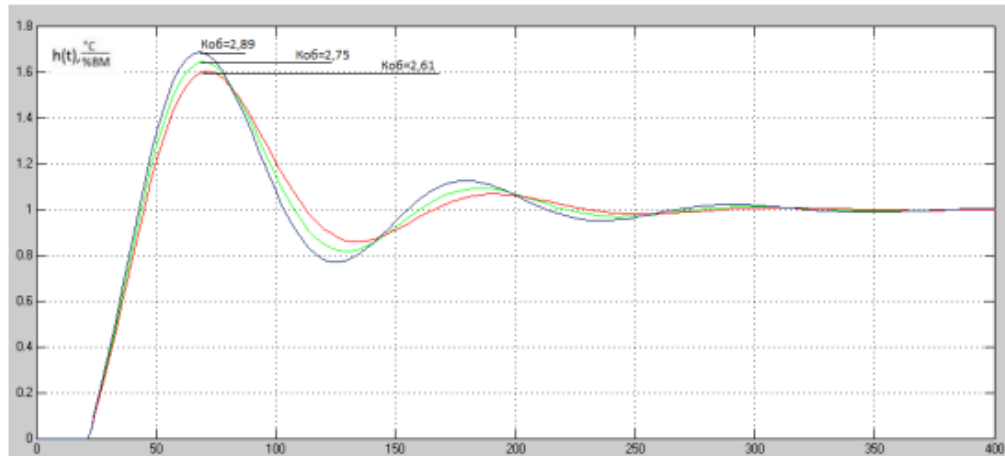


Рисунок 3.18 – Перехідні процеси у замкненій АСР при оптимальних параметрах настроювання регулятора, але при різних значеннях $K_{об}$ ($T_{об}$ та τ_o сталі)

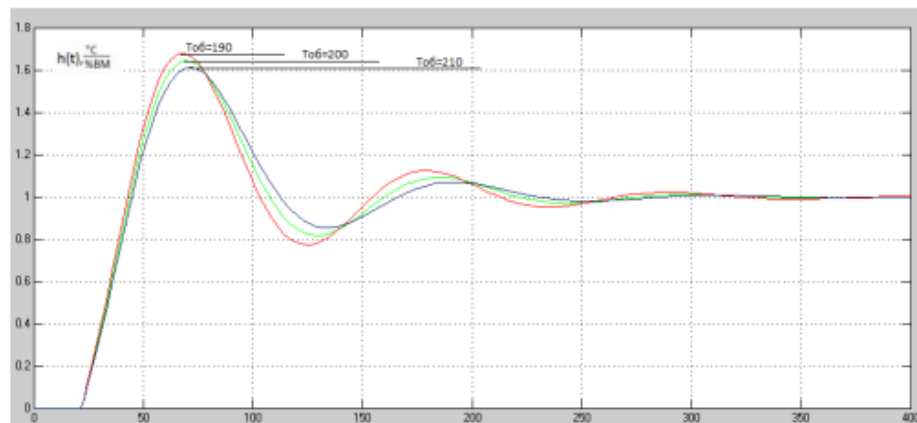


Рисунок 3.19 – Перехідні процеси у замкненій АСР при оптимальних параметрах настроювання регулятора, але при різних значеннях $T_{об}$ ($K_{об}$ та τ_o сталі)

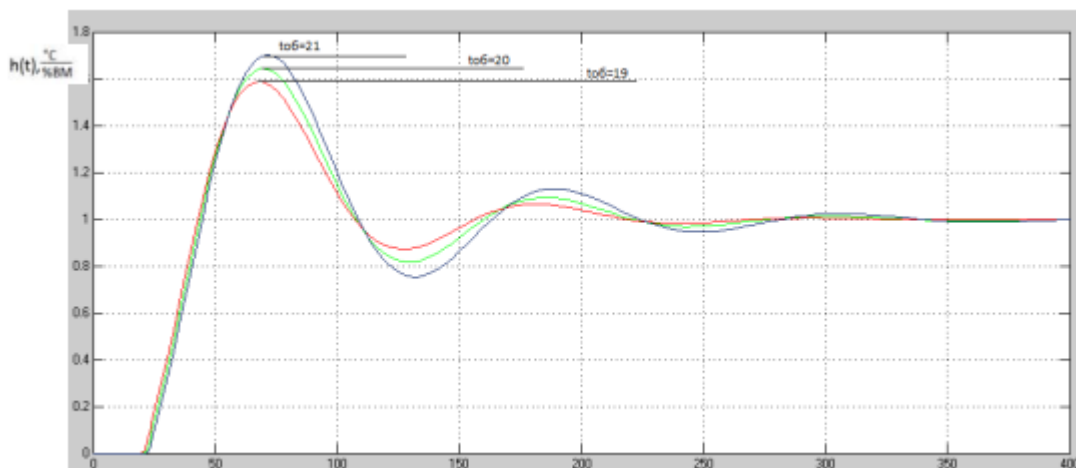


Рисунок 3.20 – Перехідні процеси у замкненій АСР при оптимальних параметрах настроювання регулятора, але при різних значеннях $\tau_{об}$ ($K_{об}$ та $T_{об}$ сталі)

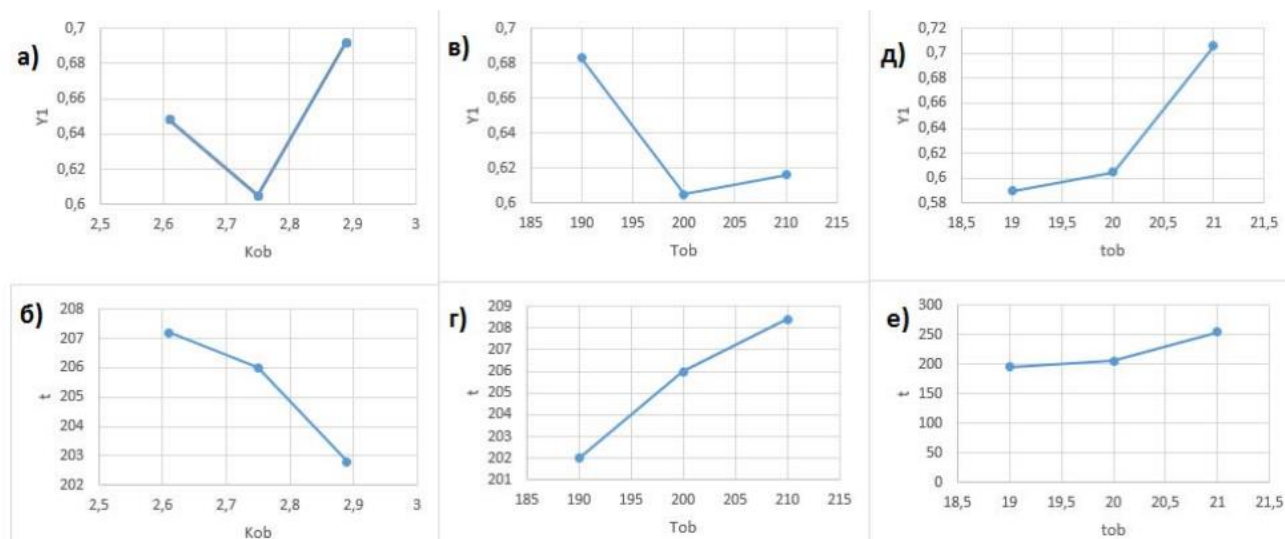
Визначимо для кожного перехідного процесу такі показники якості як максимальну динамічну похибку (Y_1) та час регулювання (t_p).

Максимальна динамічна похибка та час регулювання при різних значеннях параметрів об'єкта наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Максимальна динамічна похибка та час регулювання при різних значеннях параметрів об'єкта

$k_{об}, \text{ }^\circ\text{C}/\%$	$T_{об}, \text{ с}$	$\tau_{о}, \text{ с}$	Y_1	$\tau_p, \text{ с}$
2,75	200	20	0,605	206
2,61	200	20	0,648	207,2
2,89	200	20	0,692	202,8
2,75	190	20	0,983	202
2,75	210	20	0,616	208,4
2,75	200	19	0,59	195,5
2,75	200	21	0,706	254

За отриманими даними побудуємо функції чутливості на рис. 3.21.



а), б) при змінному коефіцієнті передачі об'єкту; в), г) при змінній сталій часу об'єкту; д), е) при змінному запізненні в об'єкті

Рисунок 3.21 – Функції чутливості, що будувались для критеріїв якості динамічного викиду та тривалості регулювання

3.5 Висновки розділу 3

За отриманими в цьому розділі даними можна зробити наступні висновки:

- обрані оптимальними параметри налаштування регулятора задовольняють вимогам до якості перехідних процесів в АСР температури повітропідігрівача;
- за результатами дослідження отриманої системи на чутливість можна сказати, що система не є чутливою по більшості показників.
- передаточна функція ПІ – регулятора з оптимальними налаштуваннями має вигляд:

$$W_p(p) = 3.07 \left(1 + \frac{1}{65p} \right).$$

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ САУ

Для інтенсифікації процесу виплавки в доменній печі подається гаряче дуття, яке нагрівається до температури 1200 ... 1300 °С. Необхідне значення температури дуття визначається доменною технологією. Повітронагрівач являє собою регенеративний пристрій періодичної дії висотою до 40 м. Під час роботи в режимі «нагрівання» повітря нагрівається від згорання паливного газу, що переноситься до вогнетривкої насадки. Під час режиму «дуття» тепло від насадки передається дуттю. Стандартний блок гарячого дуття печі складається з трьох, чотирьох одиниць. Основне завдання АСУ ТП повітронагрівача – підтримувати температуру гарячого дуття на заданому рівні.

4.1 Розробка бази даних режимів роботи повітронагрівача

Під часовим режимом мається на увазі тривалість періоду подачі гарячого дуття (далі «дуття») та опалювальний період (далі «нагрівання»), тривалість періоду відокремлення, коли газу не рухаються через піч, а також режим «перемикання».

Режим роботи повітронагрівачів визначається наступними параметрами:

- споживання палива;
- споживання повітря;
- температура дуття;
- максимальна температура диму в підконтрольній кладці;
- витрата дуття;
- часовий режим.

Основні режими роботи повітронагрівачів: послідовний, парно – паралельний, змішаний, паралельний.

Режими роботи визначаються діаграмою параметрів. Часові характеристики режиму «нагрівання» та «дуття», для переведення доменної печі з режиму в режим, постійні. У цьому випадку відхилення одного з параметрів діаграми від встановлених параметрів та коливань у значенні температури гарячого дуття, і призводять до зміни режимів роботи повітрянагрівачів

Основні негативні впливи на роботу повітрянагрівачів:

- теплотворна здатність доменного газу змінюється протягом дня на 20 – 30%, що безпосередньо впливає на час нагрівання насадки;
- неправильне співвідношення паливо – повітря через неточний контроль потоку повітря, або його повну відсутність;
- час перемикання гарячого дуття з режиму в режим (дуже часте перемикання гарячого дуття з режиму в режим здійснюється на пульті дистанційного керування оператором, який впливає на тривалість перемикання).

Більшість повітрянагрівачів доменних печей оснащені системами автоматичного управління (САУ) температури, співвідношення палива до повітря та стабілізації температури гарячого дуття. Перемикання режимів здійснюється операторами дистанційно за допомогою відповідних перемикачів на панелі управління. Значення технологічних параметрів записуються в поточну базу даних, а потім у архів, що дозволяє вивчити температурний стан повітрянагрівачів при зміні режимів їх роботи.

Для побудови графіків змін основних технологічних параметрів (тренди) беруться значення переважно з архівної бази даних.

В системі автоматизації досліджуваних повітрянагрівачів значення технологічних параметри записуються у два типи файлів баз даних у форматі *.dbf. У файлі першого типу (рис. 4.1) записуються 175 значень технологічних параметрів чотирьох повітрянагрівачів кожні 10 секунд протягом усього дня.

Один файл містить понад 1,5 мільйона записів. Дані зберігаються в досить незручний спосіб – колоною.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Date	Time	Taging	Value	Status	Marker	Internal	
2	12.08.2020	0:00:20	0	5,326		B		
3	12.08.2020	0:00:20	1	1,000		B		
4	12.08.2020	0:00:20	2	10,327		B		
5	12.08.2020	0:00:20	3	72429,563		B		
6	12.08.2020	0:00:20	4	0,141		B		
7	12.08.2020	0:00:20	5	6,563		B		
8								

Рисунок 4.1 – База даних загального типу

Файл другого типу, так звана база даних розширеного типу (рис. 3.2), вже має кілька десятків стовпців даних, що значно спрощує роботу, період запису даних становить 20 секунд.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
1	Date	Time	Milli	GSS\DDG	S\GSS\RDG	S\GSS\TDG	S\BVN\DSG	S\B	S\B	S\B	S\7								S\BVN\DSGZ	S\B	S\BVN\P				
2	01.09.2020	00:00:23	75	B	8,914	68536,805	0,000	3,414	1	0	0							56,506		3,300	0				10,
3	01.09.2020	00:00:35	434		9,001	69071,422	0,000	3,431	1	0	0							56,519		3,300	0				7,
4	01.09.2020	00:00:55	434		8,846	68445,164	0,000	3,380	1	0	0							56,600		3,300	0				3,
5	01.09.2020	00:01:15	465		8,752	67937,992	0,000	3,358	1	0	0							56,400		3,300	0				1,
6	01.09.2020	00:01:35	621		8,753	68309,508	0,000	3,367	1	0	0							56,587		3,300	0				3,
7	01.09.2020	00:01:55	653		9,082	69976,766	0,000	3,462	1	0	0							56,444		3,300	0				13,

Рисунок 4.2 – База даних розширеного типу

У цьому випадку температура гарячого дуття записується в окремий файл «розширеної» бази даних з інтервалом 10 секунд.

В основі першого типу є певні змінні, що відповідають режиму «нагрівання» та режиму «дуття», тому легко визначити, в якому з трьох режимів знаходиться повітрянагрівач.

Однак у «розширеній» базі даних є лише одна змінна, що характеризує режим «дуття», ускладнює визначення режиму «нагрівання» та режиму «перемикання». Таким чином, нічого не записується до цієї змінної для одного з повітрянагрівачів доменної печі. Протягом усієї роботи доменної печі її технічний стан погіршується, термічні характеристики насадки змінюється, що вимагає коригування алгоритмів управління системи автоматизації.

Отже, завданням удосконалення АСУ ТП повітрянагрівачів є реалізація прийнятої діаграми параметрів за допомогою мінімального споживання доменного газу, висококалорійних домішок та повітря для горіння, для того щоб досягалася максимально можлива температура гарячого дуття.

4.2 Перехід повітрянагрівачів з режиму в режим

В основі бази даних першого типу є відповідні змінні VN/N і VN/D для визначення режиму «нагрівання», режиму «дуття» та режиму «перемикання», тому поділити базу даних на три режими роботи гарячих доменних печей не складно. Попередня статистична обробка бази даних показала, що значення технологічних параметрів були правильно записані в базі даних.

На рисунку 4.3 показана блок – схема аналізу основи бази даних першого типу.

Однак у базі даних другого типу є одна змінна, що описує режим «нагрівання» VN/D , тоді як відкритий клапан гарячого дуття відповідає значенню $VN/D = 1$, а закритий клапан відповідає $VN/D = 0$.

На основі циклограми перемикання клапанів, якщо значення параметрів правильно записані в базі даних, періоди можна визначити наступним чином:

1. Режим «дуття»:

$VN/D = 1$ – клапан гарячого дуття відкритий, дуття подається для нагрівання до перевірки доменної печі;

$VN/RSG = 0$, паливний газ не подається для спалювання в пальник доменної печі, витрата газу 0;

$VN/PVOZ = 0$, тиск повітря для горіння 0, потік повітря 0.

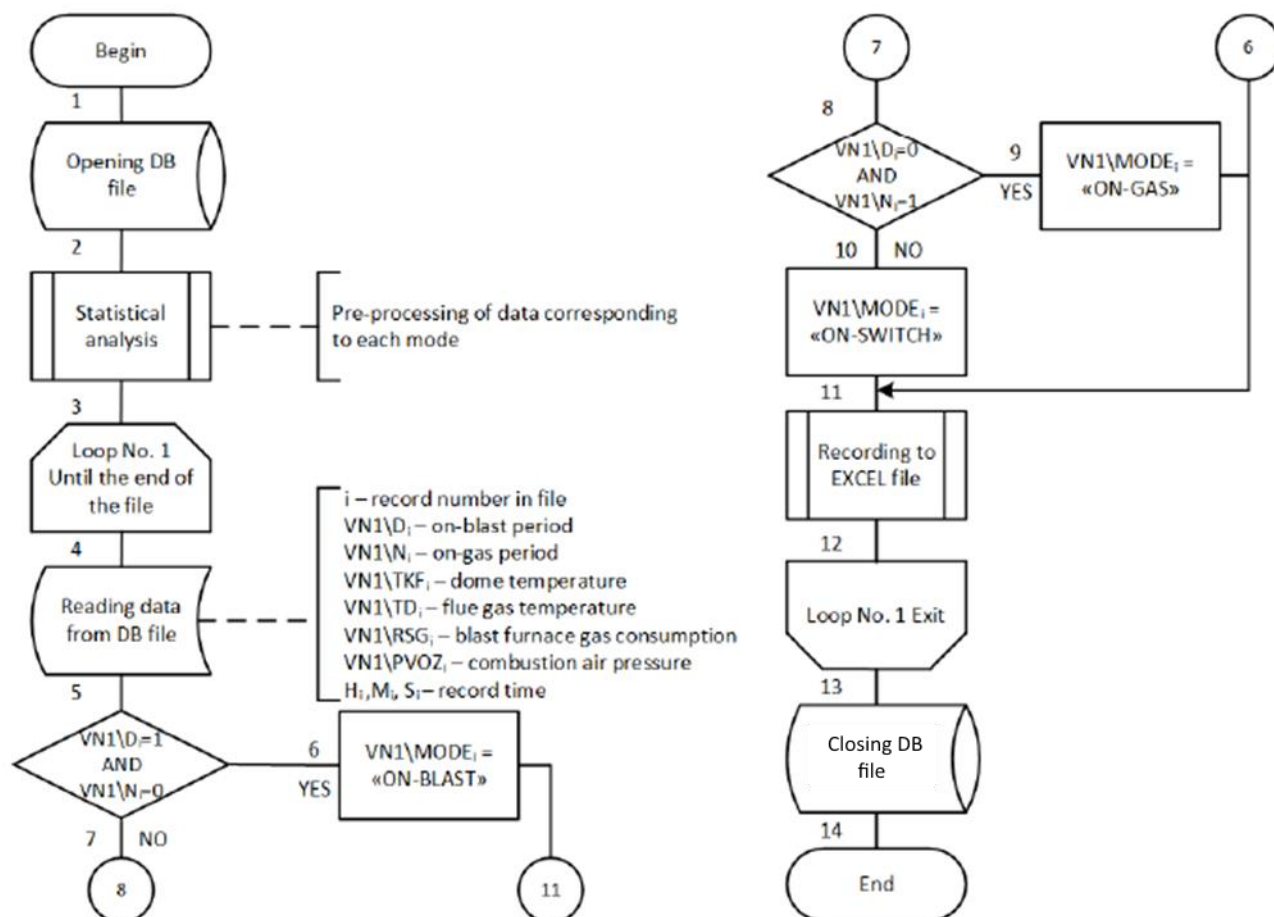


Рисунок 4.3 – Структурна схема аналізу бази першого типу

2. Режим «нагрівання»:

$VN/D = 0$, клапан гарячого дуття закритий, дуття не подається для нагріву до шахти доменної печі;

$VN/RSG > 0$, паливний газ подається для спалювання при гарячому дутті, витрата газу більше 0;

$VN/PVOZ > 0$, повітря подається для горіння, споживання повітря більше 0.

3. Режим «перемикання» доменної печі з режиму в режим:

$VN/D = 0$, при перемиканні клапан гарячого продування повинен бути закритий;

$VN/RSG = 0$, паливний газ для спалювання не подається в пальник доменної печі, витрата газу 0;

$VN/PVOZ \geq 0$, на початку переходу з режиму «нагрівання» до режиму «дутьтя» повітря подається до вентиляції повітрянагрівача, потік повітря більше або дорівнює 0.

При складанні алгоритму поділу бази даних на режими було проведено попередній аналіз неправильних записів значень параметрів, які узагальнені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Аналіз «розширеної» бази даних

Parameter	Mode	VN1	VN2	VN3	VN4
		Current value			
VN\D	«On-blast», «On-switch»	<u>0</u>	1	1	1
	«On-gas»	0	0	0	0
VN\RSG	«On-blast», «On-switch»	<u>0<CV<8000</u>	<u>0<CV<8800</u>	<u>0<CV< 6000</u>	0
		>0	>0	>0	>0
	«On-gas»	MIN=13030 AVG=30666 MAX=41535	MIN=8968 AVG=18732 MAX=28059	MIN=11791 AVG=34905 MAX=37951	MIN=13919 AVG=43752 MAX=52552
	«On-blast», «On-switch»	<u>0<CV<0,106</u>	0	0	<u>0<CV<0,049</u>
VN\PVOZ		>0	>0	>0	>0
	«On-gas»	MIN=1,211 AVG=3,841 MAX=6,078	MIN=2,422 AVG=3,432 MAX=4,672	MIN=0,572 AVG=1,333 MAX=2,138	MIN=0,985 AVG=2,205 MAX=2,506

На рисунку 4. 4 показана блок – схема аналізу бази «розширеного» типу.

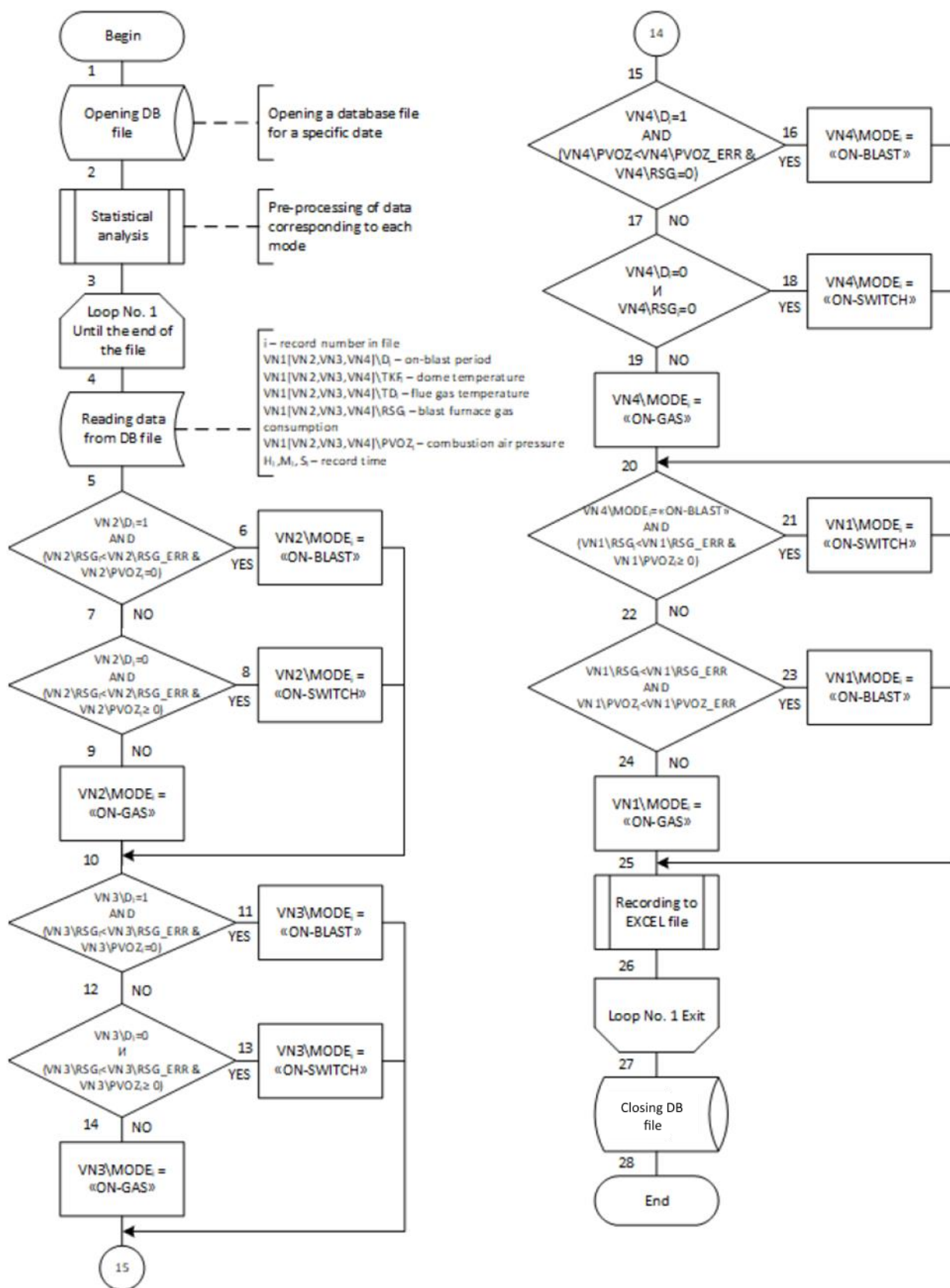


Рисунок 4.4 – Структурна схема аналізу бази іншого типу

4.3 Розробка програмного забезпечення

Було вирішено розробляти програму в сучасному програмному середовищі IDE MS Visual Studio 2019 на об'єктно – орієнтованій мові програмування C#. Це досить проста мова програмування з безліччю зручних функцій і розширень для різних завдань. Програма підключається до каталогу, в якому зберігаються файли бази даних. Усю необхідну інформацію беруть також з каталогу та надсилають її, в зручній для читання формі, до нової структурованої бази даних або до файлу MS Excel для подальшої її обробки.

Для розробки програми, для підключення до бази даних та вилучення файлу необхідні записи з неї. Для цього використовувалася система управління базами даних MS Visual FoxPro. Це середовище для розробки систем баз даних, включаючи об'єктно – орієнтовану реляційну СУБД мовою програмування для розробки додатків баз даних та систем звітності ClosedXML. Ця бібліотека для читання, обробки та запису файлів MS Excel, була використана для створення та виведення з неї результатів обробки бази даних для оператора. ClosedXML має величезний набір потужних функцій для створення та обробки файлів MS Excel, отже, з її допомогою робота з файлами через код програми майже те саме, що працювати в MS Excel.

Відповідно до алгоритмів, включених до програми, інформація з бази даних поділяється на файли формату *.xlsx, кожен з яких містить інформацію про режими роботи повітрянагрівачів: режим «нагрівання», режим «дугтя» або режим «перемикання».

Значення температури дугтя і газу в шахті, а також температури гарячого дугтя були обрані в якості досліджуваних параметрів, що характеризують тепловий стан доменної печі.

Після відкриття вікна програми (рисунок 4.5) користувачеві необхідно за допомогою перемикача вибрати тип бази даних для обробки, а при необхідності ввести номери тегів (за винятком «розширеної» бази даних) та вибрати інтервал, через який будуть відображатися дані.

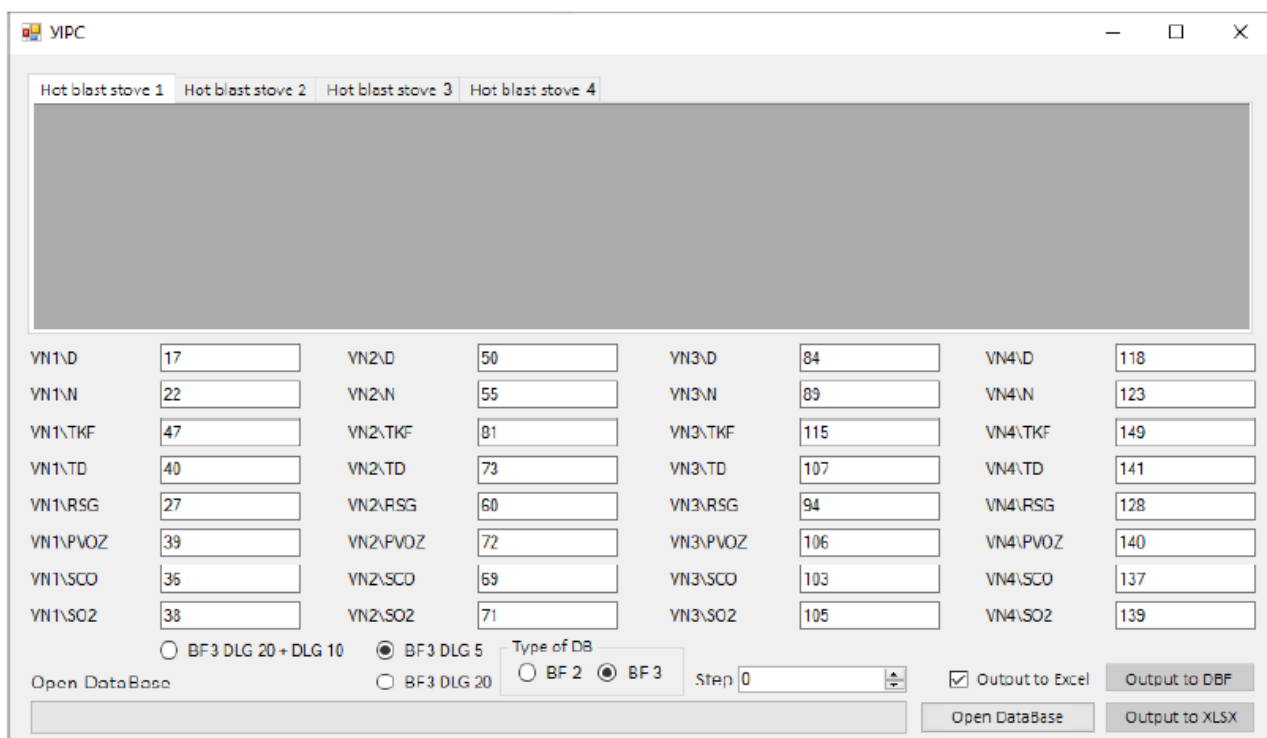


Рисунок 4.5 – Головне вікно програми

Після роботи програма для перевірки відображає дані для кожного повітрянагрівача відповідні вкладки у вікні (рисунок 4.6) та звіти про успішне створення файлів MS Excel за допомогою результатів розрахунків для кожного повітрянагрівача доменної печі.

Date	Time	VNI_TAG	VNI_VALUE	VNI_TAG	VNI_VALUE	Mode	TKF_TAG	T
26.06.2020 00:00	00:00:21	92	0	122	1	0	6	13
26.06.2020 00:00	00:00:27	92	0	122	1	0	6	13
26.06.2020 00:00	00:00:37	92	0	122	1	0	6	13
26.06.2020 00:00	00:00:47	92	0	122	1	0	6	13
26.06.2020 00:00	00:00:57	92	0	122	1	0	6	13

Рисунок 4.6 – Виведення даних для перевірки за допомогою вкладок у підвікні програми

4.4 Дослідження отриманих результатів

Дослідження зміни температури дуття під час «перемикання» режимів доменної печі.

В ході аналізу бази даних протягом тривалого періоду роботи повітрянагрівачів доменної печі, використовуючи розроблене програмне забезпечення, на додаток до типових перемикань (рис. 4.7 а, б, 4.8 а, б), які відповідають правильній послідовності дій оператора АСУ ТП при перемиканні режимів роботи, є декілька нетипових показань, які були виявлені в режимі «перемикання» (рис. 4.7 в, г, 4.8 в, г).

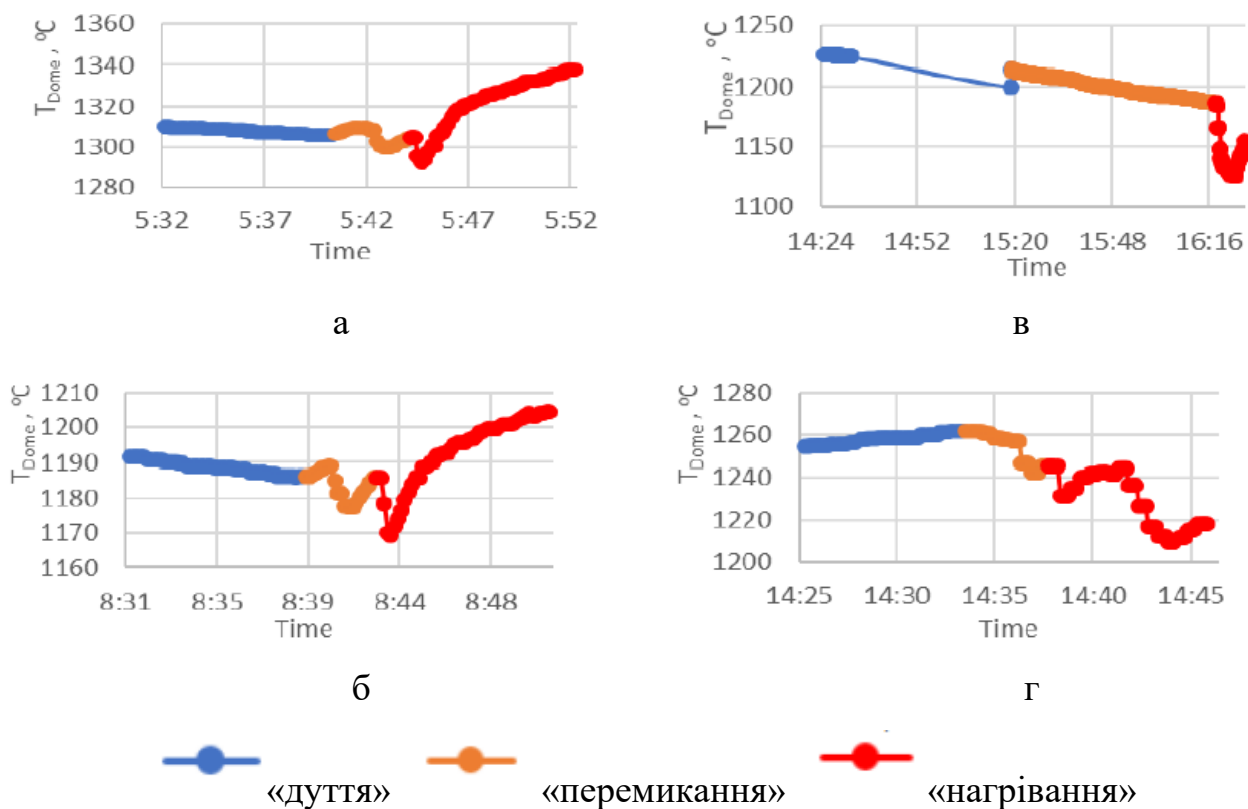


Рисунок 4.7 – Перехід доменної печі з режиму «дуття» в режим «нагрівання»

Графік зміни температури дуття для кожного перемикання складається з трьох частин: на додаток до періоду «перемикання» додається 50 значень попереднього та наступного режимів.

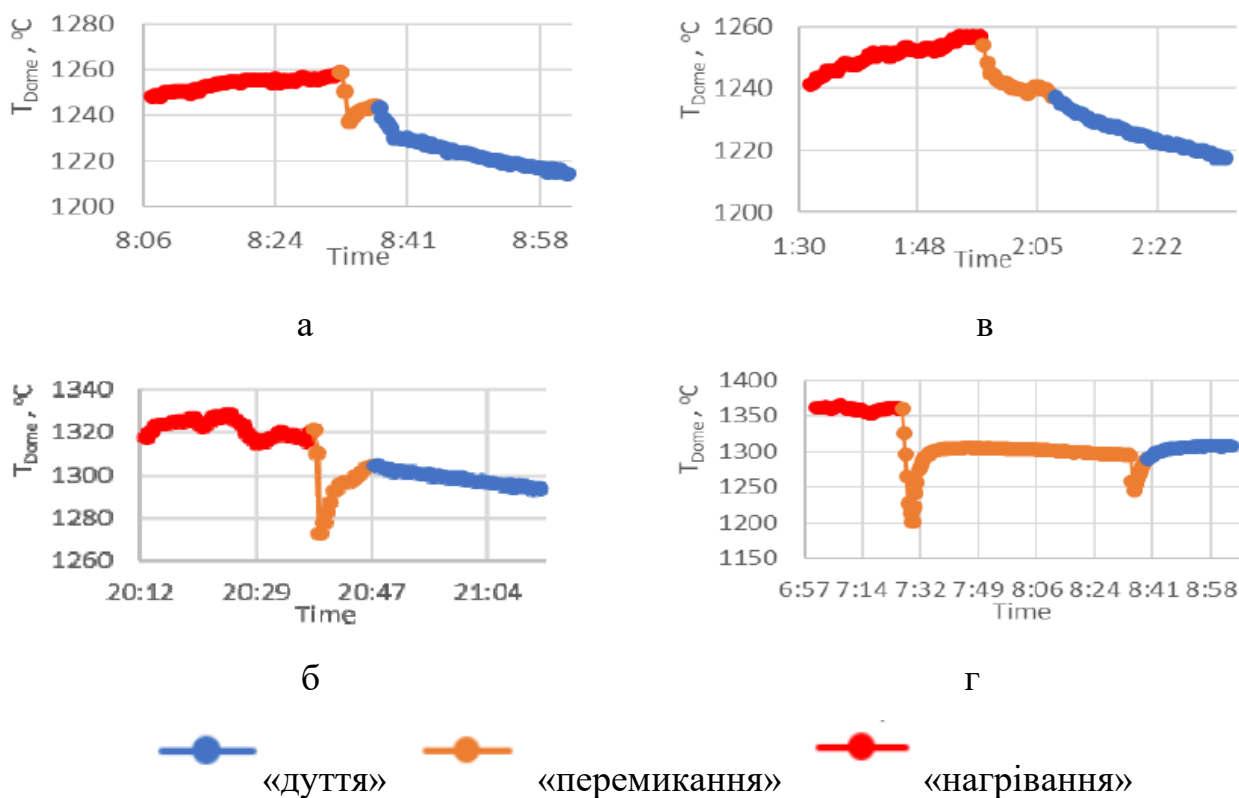


Рисунок 4.8 – Перехід гарячої доменної печі з режиму «нагрівання» на режим «дуття»

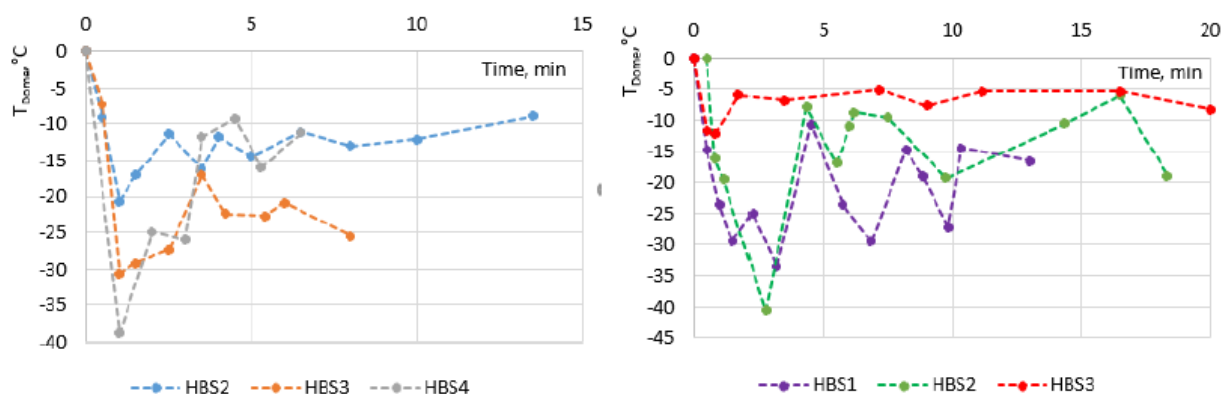
Типові перемикання з режиму «дуття» на режим «нагрівання» (рисунок 4.7 а, б) мають однаковий характер для всіх повітрянагрівачів доменної печі і перемикання займає близько 5 хвилин, а температура купола падає на 15 ... 20 °С.

Типові перемикання з режиму «нагрівання» на режим «дуття» (рисунок 4.8 а, б) мають подібний характер, при тривалості близько 8 ... 10 хвилин температура купола знижується на 15 ... 25 °С.

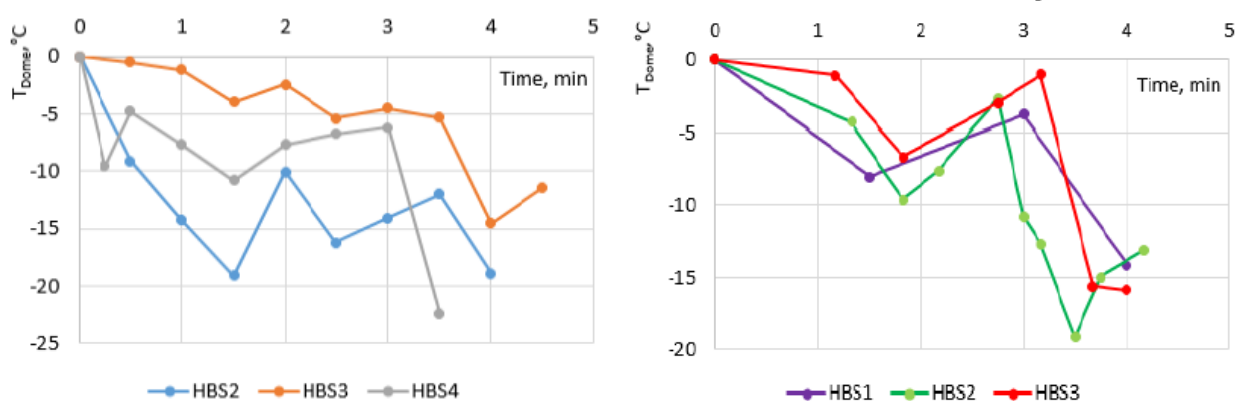
У режимі «перемикання» можна спостерігати зниження температури в межах 30 ... 40 °С, а іноді і до 50 °С, що необхідно враховувати при автоматичному контролі подальших режимів роботи доменної печі.

Використовуючи розроблену програму, база даних вивчалася протягом тривалого періоду для отримання необхідного об'єму даних. Далі аналізувалися

усереднені графіки зміни температури купола повітрянагрівачів доменної печі під час режимів «перемикання» (рисунок 4.9).



з «нагрівання» до «дуття»



з «дуття» до «нагрівання»

Рисунок 4.9 – Середні графіки зміни температури дуття під час режиму «перемикання»

При зміні температури дуття під час режиму «перемикання» від «дуття» до «нагрівання» режими мають той самий характер, а тривалість режиму «перемикання» показує схема параметрів роботи повітрянагрівачів, прийнята за досліджуваний період (рис. 4.9).

Тривалість режиму «перемикання» від режимів «нагрівання» до «дуття» для HBS4 та HBS3 повітрянагрівачі доменної печі відповідає діаграмі параметрів.

Для HBS2 і HBS1 вона триває вдвічі довше, ніж зазначено діаграмі параметрів.

Отже, тривалість перемикання з режиму «нагрівання» до режиму «дуття» для всіх повітрянагрівачів значно довші, що вказано в таблиці параметрів. Отримані результати необхідно враховувати при складанні нової виправленої діаграми параметрів для оптимізації роботи повітрянагрівачів доменної печі.

4.5 Дослідження впливу переходу з режиму в режим на температуру гарячого дуття

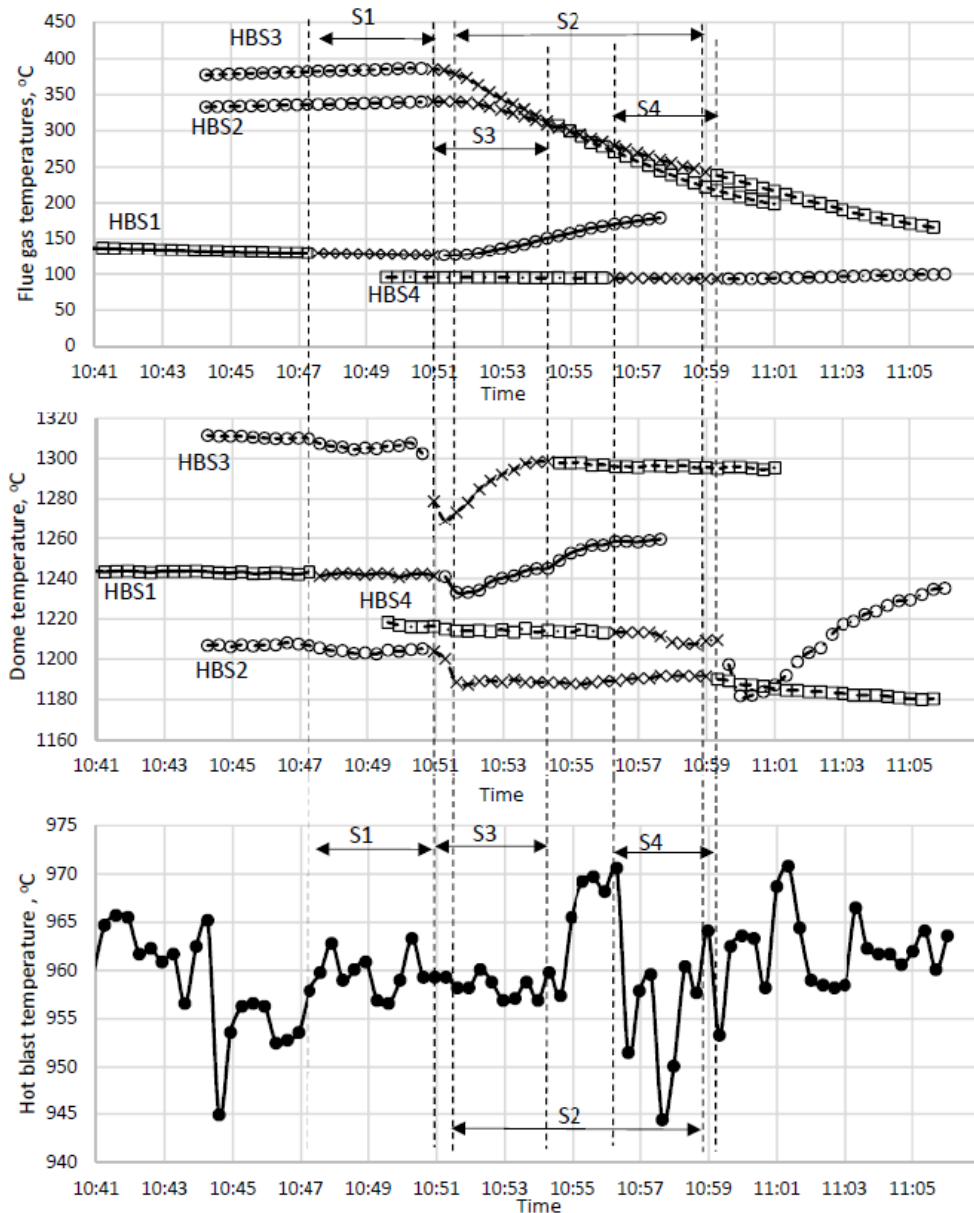
Особливий інтерес представляє комплексний аналіз режимів «перемикання» повітрянагрівачів, що працюють в паралельній роботі та їх вплив на температуру гарячого дуття.

До режиму «перемикання» повітрянагрівачі працювали у паралельному режимі: повітрянагрівачі HBS1 та HBS4 працювали у режимі «нагрівання», а HBS2 та HBS3 – у режимі «дуття».

На рисунку 4.10 наведені графіки впливу «перемикання» режимів роботи повітрянагрівачів доменної печі на температуру гарячого дуття.

Розглянемо послідовність «перемикання» режимів:

- HBS1 першим перейшов у режим «нагрівання» – коливань температури дуття не спостерігається;
- HBS2 та HBS3 почали переходити до режиму «дуття» – відбувається різкий стрибок температури дуття, приблизно 15 °С протягом 2 хвилин;
- HBS4 останнім перейшов у режим «нагрівання» – у цьому випадку різке падіння дуття спостерігається температура на 25 °С;
- після закінчення режиму «перемикання» температура гарячого дуття стабілізується.



«нагрівання»: —○— - HBS1; - -○- - HBS2;○..... - HBS3; - ○ · - HBS4

«дуття»: —×— - HBS1; - -□- - HBS2;□..... - HBS3; - □ · - HBS4

«перемикання»: —□— - HBS1; - -×- - HBS2;×..... - HBS3; - × · - HBS4

S1 - перемикання HBS1 з «дуття» до «нагрівання»

S2 - перемикання HBS2 з «нагрівання» до «дуття»

S3 - перемикання HBS3 з «нагрівання» до «дуття»

S4 - перемикання HBS4 з «дуття» до «нагрівання»

Рисунок 4.10 – Вплив «перемикання» режимів повітрянагрівачів на температуру горячого дуття

4.6 Висновки розділу 4

Стабілізація температури гарячого дуття під час перемикання – одне з найважливіших завдань АСУ ТП, оскільки коливання температури доменного процесу негативно впливають на хід виплавки у доменній печі. Тому інформація про характер коливань температури гарячого дуття передається в систему автоматичного управління повітрянагрівачами доменної печі.

Отримання даних з бази даних, що містить поточну та архівовану інформацію про технологічні процеси нагрівання в доменній печі повинні використовуватися в системах автоматичного управління. Використання отриманого результату аналізу «перемикання» режимів роботи повітрянагрівачів дозволяють зробити своєчасне коригування діаграми параметрів повітрянагрівачів для уточнення початкових значень моделювання роботи доменної печі

Розроблений алгоритм отримання даних технологічної інформації, який дозволяє оцінити стан повітрянагрівачів доменної печі в періоди переходу з режиму в режим, та розроблене програмне забезпечення для автоматизованої обробки баз даних суттєво прискорює процес вивчення роботи повітрянагрівачів і мінімізує ризик помилок під час обробки інформації.

Було виконано аналіз зміни температури дуття та температури диму під час «перемикання» на режим гарячого дуття та ефект включення температури дуття.

Застосування запропонованого алгоритму інтелектуального аналізу даних в системі автоматичного управління доменної печі дозволить досягти підвищення температури гарячого дуття без значних капіталовкладень у реконструкцію повітрянагрівачів доменних печей.

РОЗДІЛ 5 НАДІЙНІСТЬ СПРОЕКТОВАНОЇ СИСТЕМИ

Під надійністю АСУ ТП повітрянагрівача розуміють комплекс показників, серед яких важливе місце займає ймовірність виконання функцій контролю, управління і захисту за заданий проміжок часу. Виконання цих функцій залежить від виду одержуваної інформації та способів її обробки, надійності використовуваних технічних засобів і людської надійності операторів та ремонтного персоналу.

Вимоги до підвищення надійності технічних засобів АСУ ТП:

- поліпшення якості виготовлення і принципів побудови елементів системи;
- поліпшення структури і введення надмірності;
- підвищення надійності в процесі експлуатації.

Перші два способи підвищення надійності використовуються в процесі проектування і виготовлення, як елементів, так і системи в цілому. В результаті система досягає певного рівня надійності.

Третій спосіб полягає в основному в забезпеченні рівня надійності, досягнутого в результаті розробки і виготовлення технічної системи.

Основа забезпечення надійності будь – якої складної системи – виконання надійних елементів, з яких виготовляється система [15].

Призначення системи. Підтримує задане значення витрати гарячого дуття.

Умови працездатності системи. Працездатність – здатність виконувати всі задані функції зі збереженням параметрів в необхідних межах.

Регулювання здійснюється за пропорційним законом за рахунок охоплення регулятора зворотним зв'язком по положенню регулюючого органу. Вимірювання температури здійснюється термопарою типу ТП – 0395, виробництва «Елемер». База вимірювання датчиків складає 630 мм. Задане значення температури 1040 ± 5 °С (зона регулювання ± 5 °С від заданої температури). При тривалості командного імпульсу більше 5 секунд відбувається відключення регулятора. Управління регулятором здійснюється або в ручному, або в автоматичному режимі від регенеративної системи низького тиску.

Ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$ – це ймовірність того що час від моменту включення апаратури до її відмови буде більше або дорівнює часу протягом якого визначається ймовірність безвідмовної роботи, тобто це ймовірність того, що в межах заданої напрацювання відмова об'єкта не виникає:

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (5.1)$$

де λ – інтенсивність відмов.

Ймовірність відмови – ймовірність того, що при певних умовах експлуатації в заданому інтервалі часу виникне хоча б один відмову.

$$Q(t) = 1 - P(t) \quad (5.2)$$

Частота відмов – це щільність ймовірностей часу роботи виробу до першої відмови.

$$a(t) = -\frac{dP(t)}{dt} = \frac{dQ(t)}{dt} \quad (5.3)$$

Інтенсивність відмов – це відношення частоти відмов виробу до ймовірності безвідмовної роботи виробу в одиницю часу.

$$\lambda(t) = \frac{a(t)}{P(t)} \quad (5.4)$$

Середнє напрацювання до першої відмови – математичне очікування часу роботи виробу до відмови.

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda} \quad (5.5)$$

У таблиці 5.1 наведені інтенсивності відмов блоків, що входять в канал, взяті з технічного опису для кожного блоку. Але для нього відомі інші дані ймовірність безвідмовної роботи ([24]) $P(t) = 0,97$ за 2000 годин, тому інтенсивність відмови можна розрахувати за формулою:

$$\lambda_i(t) = \frac{1}{T_{cp}} \ln\left(\frac{1}{P_i(t)}\right) \quad (5.6)$$

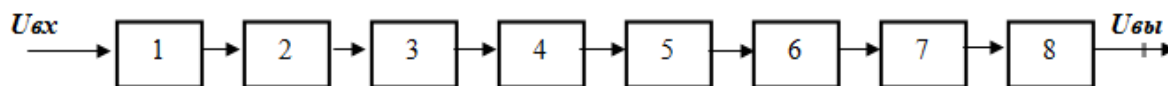
Зробимо розрахунок λ і внесемо його в таблицю 5.1.

$$\lambda = \frac{1}{2000} \ln\left(\frac{1}{0,97}\right) = 1,523 \cdot 10^{-5} \quad (5.7)$$

Таблиця 5.1 – Значення інтенсивності відмов елементів системи

Перелік блоків в ФЛС	Назва блока	Інтенсивність відмов λ , 1/ч
1	ТП	$1,523 \cdot 10^{-5}$
2	Р	$2 \cdot 10^{-5}$
3	ЧП	$7,7 \cdot 10^{-8}$
4	Д	$5 \cdot 10^{-7}$
5	БУС	$4 \cdot 10^{-7}$
6	БП	$1 \cdot 10^{-5}$
7	ОУ	$1,8 \cdot 10^{-6}$
8	БПС	$1 \cdot 10^{-6}$

На підставі структурної схеми регулятора (рисунок 3.1) складаємо розрахунково – логічну схему (рисунок 5.2). До складу структурної схеми так само входять Д05, БГР, БРУ – 32, БСПТ, але ці блоки не беруться до уваги надійності, так як керуючий сигнал пройде через основний канал. Це відіб'ється на надійності (зменшить її), але система залишиться працездатною.



1 – термопара, 2 – регулятор, 3 – частотний перетворювач, 4 – мікроконтролер,
5 – підсилювач сигналу, 6 – блок живлення, 7 – орган управління, 8 – блок
перетворення сигналу

Рисунок 5.2 – Функціонально – логічна схема регулятора
температури гарячого дуття

Вибір часу роботи всіх елементів основного каналу. Так як час кампанії енергоблоку становить 4 роки (при використанні ТП – 0395), виберемо загальний час роботи елементів системи, рівне:

$$T_{\text{общ}} = 4 \cdot 365 \cdot 24 = 35040 \text{ год.}$$

Розіб'ємо цей час на п'ять рівних ділянок по 7008 годин. Подальші розрахунки будемо робити, спираючись на ці значення часу.

Таким чином, час роботи основних елементів каналу складе:

$$\begin{aligned} t_1 &= 7008 \text{ годин (292 дня);} \\ t_2 &= 14016 \text{ годин (584 дня);} \\ t_3 &= 21024 \text{ годин (876 днів);} \\ t_4 &= 28032 \text{ годин (1168 днів);} \\ t_5 &= 35040 \text{ годин (1460 днів).} \end{aligned}$$

Розрахунок ймовірностей безвідмовної роботи регулятора температури. Розрахунок ймовірності безвідмовної роботи будемо розраховувати за формулою (5.1):

$$P_i = e^{-\lambda_i \cdot t}$$

де λ_i – ймовірність відмови i -ого елемента;

t – час роботи системи.

Зробимо розрахунок ймовірності безвідмовної роботи елементів системи:

$$P_i = e^{-1,523 \cdot 10^{-5} \cdot 7008} = 0,8987667$$

Виконаємо розрахунок ймовірності безвідмовної роботи основного каналу без урахування резервування для часу $t_1 = 7008$ годин:

$$P_0(t_i) = 0,8987667 \cdot 0,8692191 \cdot 0,9994605 \cdot 0,9965021 \cdot 0,9972007 \cdot 0,9323192 \cdot 0,9874648 \cdot 0,9930165$$

Аналогічно виконаємо розрахунки для часу t_2, t_3, t_4, t_5 в програмі «Mathcad» і представимо їх у таблиці 5.2.

Інтенсивність відмови основного каналу.

$$\begin{aligned} \lambda_0 &= 1,523 \cdot 10^{-5} + 2 \cdot 10^{-5} + 7,7 \cdot 10^{-8} + 5 \cdot 10^{-7} + 4 \cdot 10^{-7} + 1 \cdot 10^{-5} + 1,8 \cdot 10^{-6} + 1,8 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 10^{-6} = \\ &= 4,007 \cdot 10^{-5} \cdot 1/ч \end{aligned}$$

Розрахунок ймовірності безвідмовної роботи системи. Ймовірності безвідмовної роботи системи $P_c(t)$ при даному способі резервування у ненавантаженому стані резерву (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Ймовірності безвідмовної роботи елементів системи

t_i ,год $P_i(t)$	7008	14016	21024	28032	35040
P_1	0,8987667	0.8077815	0.7260071	0.6525109	0.5864551
P_2	0.8692191	0.7555419	0.6567315	0.5708436	0.4961882
P_3	0.9994605	0.9989214	0.9983825	0.9978439	0.9973056
P_4	0.9965021	0.9930165	0.9895431	0.9860818	0.9826326
P_5	0.9972007	0.9944093	0.9916257	0.9888498	0.9860818
P_6	0.9323192	0.8692191	0.8103897	0.7555419	0.7044063
P_7	0.9874648	0.9750868	0.9628639	0.9507942	0.9388759
P_8	0.9930165	0.9860818	0.9791955	0.9723573	0.9655668

Розрахунок ймовірності безвідмовної роботи на основній лінії (табл. 5.3).

Таблиця 5.3 – Значення ймовірностей безвідмовної роботи на основній лінії

t_i ,ГОД $P_{0i}(t)$	7008	14016	21024	28032	35040
$P_0(t)$	0.7093251	0.5031422	0.3568912	0.2531524	0.1795675

Схема розрахунку надійності регулятора для роздільного резервування з постійно включеним резервом і цілої кратністю представлено на рисунку 5.3.

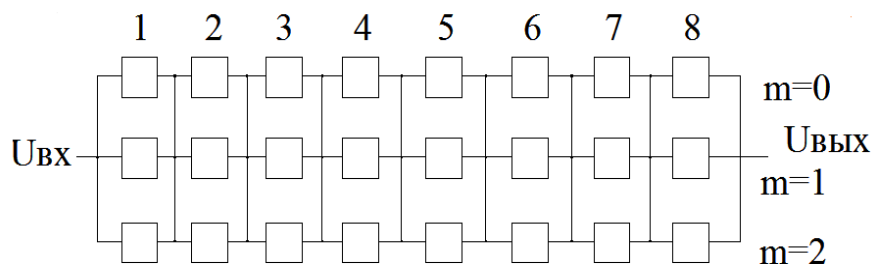


Рисунок 5.3 – Схема розрахунку надійності регулятора для роздільного резервування з постійно включеним резервом і цілої кратністю

Тоді для $m_i = 0$ і $N = 8$ отримаємо:

$$P_C(t) = \prod_{i=1}^8 [1 - (1 - P_i(t))^{0+1}] = 0,7093253$$

Аналогічно проводимо інші розрахунки в програмі «Mathcad». Результати розрахунків наведені в таблиці 5.4.

Побудуємо графік залежності $P_c(t)=f(\lambda_0 t)$ при роздільному резервуванні з постійно включеним резервом і цілої кратністю при різних значеннях кратності резервування ($m = 0,1,2$) і представимо його на рисунку 5.4.

Таблиця 5.4 – Ймовірності безвідмовної роботи системи P_c при різних m

$P_c(t) \backslash t_i, \text{ГОД}$	$t_1=7008$	$t_2=14016$	$t_3=21024$	$t_4=28032$	$t_5=35040$
P_c при $m=0$	0.7093253	0.5031424	0.3568916	0.2531522	0.1795673
P_c при $m=1$	0.9681482	0.8892161	0.7850381	0.6720845	0.5614579
P_c при $m=2$	0.9964167	0.9761862	0.9333499	0.8693026	0.7892888

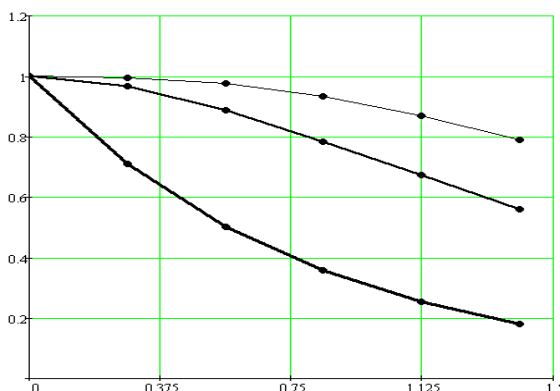


Рисунок 5.4 – Графік залежності $P_c(t)$ від при $m = 0,1,2$ і роздільному резервуванні з постійно включеним резервом і цілої кратністю.

Розрахунок середнього часу безвідмовної роботи. Для даного способу резервування і ненавантаженому стані резерву середній час безвідмовної роботи визначається як:

$$T_{spc} = \frac{(7)!}{4,007 \cdot 10^{-5} \cdot (0+1)!} \cdot \sum_{i=0}^0 \frac{1}{v_i \cdot (v_i + 1) \cdot \dots \cdot (v_i + N - 1)} = 2550,65602$$

Аналогічно проводимо інші розрахунки для $m = 1,2$ в програмі «Mathcad». Результати розрахунків наведені в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Значення середнього часу безвідмовної роботи резервованої системи при різних значеннях m

	$m=0$	$m=1$	$m=2$
$T_{ср}$	2550,6560287	62155,9398877	6211,8708125

5.1 Висновки розділу 5

В даному розділі кваліфікаційної роботи було зроблено розрахунок значень ймовірності безвідмовної роботи системи без урахування і з урахуванням резервування. При роздільному резервуванні з постійно включеним резервом і цілої кратністю значення ймовірності безвідмовної роботи системи вище спочатку отриманого. Резервування системи значно підвищує надійність роботи об'єкта, хоча і ускладнює його конструкцію і оптимальним рішенням є заміна елемента, що часто відмовляється.

РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ

6.1 Аналіз доменного виробництва з точки зору охорони праці

До небезпечних і шкідливих факторів доменного цеху відносять: теплові виділення і випромінювання при випуску чавуну і шлаку, шум, вібрацію, електричний струм. Рівень шуму в доменному виробництві становить 83 дБ при дозволеному рівні звуку 80 дБ.

Дія вібрації викликано роботою технологічного устаткування (машин для розкриття чавунної льотки, пневмо- і вібротрамбовки, відбійного молотка і т.д.), передається через струс підлоги і майданчики ливарного двору на весь організм людини (загальна). При безперервному впливі на людину вібрації протягом робочого дня допустимі значення параметра вібрації в доменному цеху 90 дБ при середньгеометричній частоті активних смуг 85 Гц, а при 95 дБ – 15 Гц (при допустимій швидкості коливань 2 мм/с).

У повітрі робочої зони ливарного двору доменної печі міститься ряд шкідливих речовин, наведених в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Вміст шкідливих речовин в робочій зоні ливарного двору доменної печі

Речовина	ГДК, мг/м ³	факт. ГДК, мг/м ³	Клас небезпеки
Ангідрид хром	0,01	0,016	I
Бензопірен	0,00015	0,00082	I
Оксиди марганцю	0,05	0,054	I
Сірководень	10	13	II
Фенол	0,3	1,3	II
Оксиди сірки	10	25	III
Оксиди азоту	5	27,9	III
Азот діоксид	2	7,8	III
Нафталін	20	60,2	IV
Окис вуглецю	20	54	IV
Кремній діоксид кристалічний з вмістом пилу від 2 до 10%	4	240,3	III

Можливе ураження електричним струмом від електроустановок змінного струму 50 Гц.

Тепловиділення від доменної печі і ковшів з чавуном і шлаком становить 850 ккал/ч. Теплове опромінення 1500 ... 3500 ккал/(м³·год) при випуску чавуну і шлаку.

За ступенем впливу на організм людини шкідливості відносяться від першого до четвертого класу.

У таблиці 6.2 представлені технічні заходи захисту в доменному цеху.

Таблиця 6.2 – Технічні заходи захисту від виявлених потенційних небезпечних і шкідливих факторів

Небезпечний або шкідливий чинник виробничої сфери	Захисний пристрій	Тип пристрою	Місце установки на плані печі
Тепловиділення при випуску чавуну і шлаку, головних жолобів і ванн	Накриття кришками: головні жолоби, транспортні жолоби, ванни чавуну і шлаку	Аспіраційна система	На карті печі
Дим	Нагнітальна вентиляція, аспірація	Витяжна аспіраційна система	Район чавунної і шлакової льотки; На карті печі
Пил	Система пилоподавлення	Пилоподавлення азотом аспіраційна система	На засипному апараті доменної печі; На карті печі
Шум	Шумопоглинаючі екрани	Металевий лист	Будівля печі і ливарного двору

У проекті передбачені конструктивні заходи щодо зниження рівня шуму від повітряно – розвантажувального клапана і скидних клапанів завантажувального пристрою доменної печі.

Відведення повітря (дуття) від повітряно – розвантажувального клапана передбачено через спеціальний глушник.

6.2 Аналіз робочого місця оператора АСУТП

На основі аналізу роботи існуючого обладнання і посадових обов'язків оператора АСУТП у приміщенні обладнаному ПК з ВДТ сформовані заходи по забезпеченню безпеки праці.

Приміщення, у якому здійснюються заходи пов'язані з виконанням посадових обов'язків та проведенням досліджень та розрахунків (розробкою, модернізацією, удосконаленням, тощо), є спеціалізованим, яке обладнане ПК з ВДТ.

Для запобігання ураження електричним струмом встановлено електроустаткування, яке відповідає вимогам ДСанПіН 3.3.2.007 – 98 «Державні стандартні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно – обчислювальних машин», «Правил улаштування електроустановок» (далі – «ПУЕ»), ДСТУ Б В.2.5 – 82:2016 «Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом», НПАОП 40.1 – 1.32 – 01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок», НАПБ А.01.001 – 2014 «Правила пожежної безпеки в Україні» та буде використовуватися згідно вимог НПАОП 40.1 – 1.01 – 97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок» (далі – «ПБЕЕ»), НПАОП 40.1 – 1.21 – 98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» (далі – «ПБЕЕС») та НПАОП 0.00 – 7.15 – 18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями».

Згідно «ПУЕ», за ступенем небезпеки ураження електрострумом, робоче місце оператора АСУТП приміщення належить до 1 – го класу, тобто є приміщенням без підвищеної небезпеки, у якому відсутні умови, що створюють підвищену та особливу небезпеку.

Згідно глави 1.7 – «Заземлення і захисні заходи від ураження електричним струмом» – «ПУЕ», обладнання має основну ізоляцію струмовідних частин, яка забезпечує захист від прямого дотику та подвійну, яка складається з основної та

додаткової ізоляції, для забезпечення захисту від ураження електричним струмом у разі пошкодження основної ізоляції.

Відповідно до вимог п. 6.7.4. НПАОП 40.1 – 1.21 – 98 «ПБЕЕС» усі доступні для доторкання металеві деталі електрообладнання у приміщенні з ПК, які можуть опинитись під напругою, у випадку пошкодження ізоляції, з'єднані з заземлюючим пристроєм.

Оскільки робоче місце оператора АСУТП за ступенем небезпеки ураження електрострумом належить до 1 – го класу, тому відповідно до вимог п. 6.7.6 НПАОП 40.1 – 1.21 – 98 «ПБЕЕС» та додатку №1 до НПАОП 40.1 – 1.01 – 97 «ПБЕЕ» користувачі ПК пройшли інструктаж з електробезпеки з оформленням в журналі інструктажу та мають I групу з електробезпеки.

Ймовірність механічного травмування може виникнути внаслідок нераціонального розташування робочих місць, захаращення робочих місць або у зв'язку з недбалістю та неухважністю обслуговуючого персоналу. Для виключення травматизму згідно ДСанПіН 3.3.2.007 – 98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно – обчислювальних машин» зроблено більш зручне та раціональне розташування робочих місць, таким чином збільшена відстань між ними, яка відповідає нормованим значення (площа на одне робоче місце має становити не менше ніж 6,0 м², а об'єм не менше ніж 20,0 м³). Поверхня підлоги є рівною, неслизькою, з антистатичними властивостями.

У зв'язку із стресовими ситуаціями та нервово – емоційними навантаженнями у працівників може виникнути ймовірність захворювань загально – невротичного характеру.

З метою зниження нервово – емоційного напруження, стомлення зорового аналізатора, поліпшення мозкового кровообігу, подолання несприятливих наслідків гіподинамії, запобігання втоми, згідно ДСанПіН 3.3.2.007 – 98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно – обчислювальних машин» для робітників із застосування ЕОМ, передбачені регламентовані перерви для відпочинку

тривалістю 15 хвилин через кожні дві години, а також обладнані побутові приміщення для відпочинку під час роботи, кімната психологічного розвантаження. В кімнаті психологічного розвантаження передбачені пристрої для приготування й роздачі тонізуючих напоїв, а також місця для занять фізичною культурою.

Для оптимізації відносин у колективі проводяться тренінги з залучанням психологів на теми: «Адаптація у новому колективі», «Поведінка в суспільстві».

Для запобігання кістково – м'язових порушень робочі місця користувачів ПК оператора АСУТП відповідають ергономічним вимогам з урахуванням характеру і особливостей трудової діяльності згідно з ДСанПіН 3.3.2.007 – 98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно – обчислювальних машин».

Висота робочої поверхні столу з ПК регулюється в межах 680 ... 800 мм, а ширина і глибина – забезпечує можливість виконання операцій у зоні досяжності моторного поля (рекомендовані розміри: ширина – 600 ... 1400 мм, глибина – 800 – 1000 мм). Робочий стіл має простір для ніг висотою 600 мм, шириною – 500 мм, глибиною (на рівні колін) – 450 мм, на відстані витягнутої ноги – 650 мм.

Заходи з виробничої санітарії і гігієни праці для робочого місця оператора, обладнаного ПК з ВДТ розроблені відповідно до вимог Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», ДСанПіН 3.3.2.007 – 98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно – обчислювальних машин» і НПАОП 0.00 – 7.15 – 18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями».

Основними причинами недостатньої або надмірної освітленості робочих місць є несправність або хибний вибір освітлювальних приладів, неправильне розташування робочих місць по відношенню до джерел освітлення.

Незадовільна освітленість на робочому місці або на робочій зоні може бути причиною зниження продуктивності та якості праці, отримання травм. Недостатнє

або надмірне освітлення викликає зоровий дискомфорт, що виражається у відчутті незручності або напруженості. Тривале перебування в умовах зорового дискомфорту призводить до розсіювання уваги, зменшення зосередженості, зоровій і загальній втомі.

Робоче місце оператора АСУТП обладнаному ПК з екранним пристроєм (далі – «ЕП»), згідно ДСанПіН 3.3.2.007 – 98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно – обчислювальних машин» та ДБН В.2.5 – 28 – 2018 «Природне і штучне освітлення» передбачене природне та штучне освітлення.

Природне освітлення здійснено через світлові прорізи, які орієнтовані на південь і забезпечують коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5%. Для захисту від прямих сонячних променів, які створюють прямі та відбиті відблиски на поверхні екранів і клавіатури, передбачено сонцезахисні пристрої, на вікнах встановлені жалюзі.

Метеорологічні умови для приміщенні з комп'ютеризованими робочими місцями – температура, відносна вологість та швидкість переміщення повітря цілком відповідають вимогам ДСН 3.3.6.042 – 99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень». Роботи у приміщенні з ПК, належать до категорії I – легка робота, тому передбачені наступні оптимальні значення параметрів мікроклімату:

– у холодний період року: температура 21 ... 23°C; відносна вологість: 40 ... 60%; швидкість переміщення повітря: 0,1 м/с;

– у теплий період року: температура 22 ... 24°C; відносна вологість: 40 ... 60%; швидкість переміщення повітря: 0,2 м/с.

6.3 Висновки розділу 6

У цій частині дипломного проекту розглянута організація праці на ПАТ «Запоріжсталь». Проаналізувавши умови праці, виділили такі чинники, як виробничий шум, вібрація, температура повітря, вентиляція та освітлення, які перевищують гранично допустимі рівні, встановлені документами, які суттєво впливають на здоров'я персоналу. Були зазначені заходи зниження впливу небезпечних і шкідливих факторів.

РОЗДІЛ 7 ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

7.1 Визначення капітальних вкладень

У зв'язку з удосконаленням системи автоматизованого управління (САУ) доменної печі ПАТ «Запоріжсталь» проводиться впровадження сучасного програмно – технічного комплексу з використанням розробленої бази даних управління технологічними режимами повітрянагрівачів. Нова система має значно більш високі технічні і експлуатаційні можливості.

До складу АСУТП входять технічні засоби і програмний комплекс вартістю $V_{ШУ} = 1200000$ гривень.

Сума капіталовкладень ($K_{об}$) на устаткування без урахування ПДВ включає вартість придбаного устаткування ($V_{уст}$) та витрати на транспортні ($V_{тр} = 6\%$) і заготівельно – складські ($V_{зс} = 5\%$) операції у визначених відсотках від $V_{уст}$:

$$K_{об} = V_{уст} + V_{тр} + V_{зс}, \quad (7.1)$$

де $V_{уст} = V_{ШУ}$

$$K_{об} = 1200000 \cdot (1 + 0,06 + 0,05) = 1332000, \text{ грн.}$$

Додаткові капіталовкладення $K_{САУ}$ на модернізацію САУ складаються з таких витрат:

$$K_{САУ} = K_{дм} + K_{об} + K_{м}, \quad (7.2)$$

де $K_{дм}$ – витрати на демонтаж існуючої апаратури ($K_{дм} = 0,05 \cdot K_{об}$, грн);

$K_{м}$ – витрати на монтаж нового устаткування ($K_{м} = 0,4 \cdot K_{об}$, грн).

$$K_{дм} = 0,05 \cdot 1332000 = 66600, \text{ грн.}$$

$$K_{м} = 0,4 \cdot 1332000 = 532800, \text{ грн.}$$

$$K_{CAU} = 66600 + 1332000 + 532800 = 1931400, \text{ грн.}$$

Данні по розрахунку зведені в таблиці 7.1 .

Таблиця 7.1 – Визначення капітальних вкладень

Визначення капітальних вкладень	
Витрати на монтаж нового устаткування K_m	532800 грн.
Сума капіталовкладень $K_{об}$	1332000 грн.
Витрати на демонтаж існуючої апаратури $K_{дм}$	66600 грн.
Вартість придбаного устаткування $V_{уст}$	1200000 грн.
Додаткові капіталовкладення модернізацію САУ K_{CAU}	1931400 грн.

7.2 Розрахунок річних експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати (V_{CAU}), пов'язані з обслуговуванням нової САУ складаються з річних витрат на:

- зарплату персоналу ($V_{зп}$);
- амортизацію нового обладнання (V_a);
- поточний ремонт нового обладнання (V_p);
- електричну енергію для живлення нового обладнання ($V_{ел}$);
- інші експлуатаційні витрати (V_i).

$$V_{CAU} = V_{зп} + V_a + V_p + V_{ел} + V_{ін}. \quad (7.3)$$

7.3 Річні витрати на ЗП

Річні витрати на ЗП обслуговуючого персоналу визначається за формулою:

$$V_{зп} = n \cdot \text{ФОП}, \quad (7.4)$$

де n – чисельність обслуговуючого персоналу ($n = 50$ роб.);

ФОП – середньорічний фонд оплати праці одного робітника з обов'язковими нарахуваннями на соціальні збори.

Розрахуємо середньорічний фонд оплати праці одного робітника з обов'язковими нарахуваннями на соціальні збори:

$$\text{ФОП} = \Phi_{зп} \cdot K_{ін}, \quad (7.5)$$

де $K_{ін} = 1,1$

$\Phi_{зп}$ – щорічна витрата на зарплату робітника з урахуванням нарахувань на ФОП, грн.

$$\Phi_{зп} = 12 \cdot ЗП \cdot H_{зп}, \quad (7.6)$$

де $ЗП$ – середня місячна зарплата робітника ($ЗП = 4500$ грн.);

$H_{зп}$ – нарахування на ФОП складають 20%.

Тоді:

$$\Phi_{зп} = 12 \cdot 4500 \cdot (1 + 0,2) = 64800, \text{ грн.}$$

$$\text{ФОП} = 64800 \cdot 1,1 = 71280, \text{ грн.}$$

$$V_{зп} = 50 \cdot 71280 = 3564000, \text{ грн.}$$

7.4 Розрахунок річних амортизаційних відрахувань

Амортизаційні відрахування (V_a) на реновацію придбаного устаткування на соціальні збори ПАТ «Запоріжсталь» визначаються за виразом:

$$B_a = K_{CAV} * H_A / 100, \quad (7.7)$$

де H_A – річна норма амортизації на реновацію ($H_A = 24\%$);

$$B_a = 1332000 \cdot 24/100 = 319680, \text{ грн.}$$

7.5 Річні витрати на ремонт

Ці витрати обчислюють через коефіцієнт $K_p = 3\%$ від загальної суми капіталовкладень:

$$B_p = K_p \cdot K_{CAV}, \text{ грн.} \quad (7.8)$$

$$B_p = 0,03 \cdot 1332000 = 39960 \text{ грн.}$$

7.6 Витрати електроенергії на живлення

Річні витрати на живлення САУ визначаються так:

$$B_{ел} = P_{ел} \cdot T_{ф} \cdot K_3 \cdot СВ^{од}_{ел}, \text{ грн.} \quad (7.9)$$

де $P_{ел}$ – встановлена електрична потужність САУ ($P_{ел} = 3,5$ кВт);

$T_{ф}$ – фактичний термін роботи САУ за рік ($T_{ф} = 7000$ год.);

K_3 – коефіцієнт для врахування реального споживання ($K_3 = 0,8$);

$СВ^{од}_{ел}$ – собівартість виробленого 1кВт · год ($СВ^{од}_{ел} = 90$ коп.)

$$B_{ел} = 3,5 \cdot 7800 \cdot 0,8 \cdot 0,90 = 19656 \text{ грн.}$$

7.7 Інші витрати

Інші витрати визначаються так:

$$V_{\text{ін}} = 0,25 \cdot (V_a + V_{\text{зп}} + V_p) \quad (7.10)$$

$$V_{\text{ін}} = 0,25 \cdot (319680 + 3564000 + 39960) = 980,91 \text{ грн.}$$

Підставляючи отримані значення маємо загальну суму річних експлуатаційних витрат ($V_{\text{САУ}}$, грн.):

$$V_{\text{САУ}} = 319680 + 3564000 + 39960 + 19656 + 980,91 = 3944276,91 \text{ грн.}$$

Данні по розрахунку зведені в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Розрахунок річних експлуатаційних витрат

Розрахунок річних експлуатаційних витрат	
Зарплата персоналу $V_{\text{зп}}$	3564000 грн.
Амортизація нового обладнання V_a	319680 грн.
Поточний ремонт нового обладнання V_p	39960 грн.
Електричну енергію для живлення нового обладнання $V_{\text{ел}}$	19656 грн.
Інші експлуатаційні витрати $V_{\text{ін}}$	981 грн.
Експлуатаційні витрати $V_{\text{САУ}}$	3944277 грн.

7.8 Річна економія експлуатаційних витрат

Економія (E) від удосконалення САУ визначається за виразом:

$$E = E_{\text{п}} + E_{\text{н}} + E_{\text{вп}} - V_{\text{САУ}}$$

де $E_{\text{п}}$ – економія від зменшення кількості пусків через зниження відмов САУ, грн.;

E_H – економія у зв'язку з підвищенням надійності роботи, грн.;

$E_{ВП}$ – економія у зв'язку зі скороченням витрат електроенергії на власні потреби через модернізацію САУ, грн.;

$V_{САУ}$ – вартість річних експлуатаційних витрат.

Економія (E_{Π}) від зменшення кількості пусків через зниження відмов САУ визначається за виразом:

$$E_{\Pi} = (1 - K_{від}) \cdot P_B \cdot t_{від} \cdot c_n \cdot CB_{ел}^{од} / 100, \quad (7.11)$$

де P_B – встановлена електрична потужність ($P_B = 10^6$), кВт;

$t_{від}$ – відрізок часу виведення системи з мережі при його відключенні (9 год);

c_n – число скорочених пусків ($c_n = 1$);

$CB_{ел}^{од}$ – собівартість 1 кВт*год виробленої електроенергії ($CB_{ел}^{од} = 5$ коп);

$K_{від}$ – коефіцієнт корисного навантаження за час $t_{від}$ ($K_{від} = 0,7$).

Тоді:

$$E_{\Pi} = (1 - 0,7) \cdot 10^6 \cdot 9 \cdot 1 \cdot 5 / 100 = 135000 \text{ грн.}$$

Економія (E_H) у зв'язку з підвищенням надійності роботи ЕС і додатковим виробленням електроенергії (dE_B) визначається за виразом:

$$E_H = (CB_{ел}^{од} - CBM_{ел}^{од}) \cdot W_B, \quad (7.12)$$

$CBM_{ел}^{од}$ – собівартість 1 кВт*год з урахуванням додаткової роботи доменної печі після удосконалення САУ визначається за виразом:

$$CBM_{ел}^{од} = CB_{ел}^{од} (1 - A_{\Pi} \cdot (1 - W_B / (W_B + dW_B))) \quad (7.13)$$

де A_{Π} – доля умовно-постійних витрат в собівартості 1 кВт*год:

$$A_{\Pi} = 1 - V_{\Pi} / СВП, \quad (7.14)$$

$$V_{\Pi} = 183,45 \cdot 10^6 \text{ грн.},$$

$$СВП = 210,3 \cdot 10^6 \text{ грн.},$$

$$A_{\Pi} = 1 - 183,45 \cdot 10^6 / 210,3 \cdot 10^6 = 0,27$$

$$W_B = 7 \cdot 10^9 \text{ кВт*год.}$$

$$СВМ_{\text{ел}}^{\text{од}} = 5 \cdot (1 - 0,128 \cdot (1 - 7 \cdot 10^9 / (7 \cdot 10^9 + 24 \cdot 10^6))) = 0,45 \text{ коп.}$$

Тоді:

$$E_{\Pi} = (5 - 0,45) \cdot (7 \cdot 10^9 + 24 \cdot 10^6) / 100 = 31959200 \text{ грн.}$$

Економія ($E_{\text{вп}}$) у зв'язку зі скороченням витрат електроенергії на власні потреби через удосконалення САУ визначається за виразом:

$$E_{\text{вп}} = (СРМ_{\text{ел}}^{\text{од}} - СРМ_{\text{ел}}^{\text{од}}) / 100 \cdot WM_p, \text{ грн.} \quad (7.15)$$

де WM_p – річний обсяг реалізованої електроенергії зі скороченими витратами на власні потреби на 20%,

$$WM_p = W_B \cdot (1 - q_{\text{мвп}} / 100), \text{ кВт} \cdot \text{год}, \quad (7.16)$$

$$q_{\text{мвп}} = 0,8 q^{\text{вп}}, \quad (7.17)$$

$$q^{\text{вп}} = 4,22\%.$$

$$WM_p = 7,8 \cdot 10^9 \cdot (1 - 3,38 / 100) = 7,54 \cdot 10^9, \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Собівартість продукції, з урахуванням зменшення витрат на власні потреби $СРМ_{\text{ел}}^{\text{од}}$ визначається за виразом:

$$СРМ_{\text{ел}}^{\text{од}} = СРМ_{\text{ел}}^{\text{од}} (1 - A_{\Pi} * (1 - W_p / WM_p)) \quad (7.18)$$

$$СРМ_{\text{ел}}^{\text{од}} = 5 \cdot (1 - 0,27 * (1 - 6,76 * 10^9 / 7,54 * 10^9)) = 4,92 \text{ коп.}$$

$$E_{\text{вп}} = (5 - 4,92) / 100 \cdot 7,54 \cdot 10^9 = 603200, \text{ грн.}$$

Підставляючи числові значення, розрахуємо економію (E) від удосконалення САУ:

$$E = 31959200 + 603200 + 135000 - 3944277 = 2875312, \text{ грн.}$$

Приріст чистого прибутку визначається так:

$$d_{\Pi} = K_e \cdot E, \text{ грн.} \quad (7.19)$$

де K_e – коефіцієнт економічної ефективності ($K_e = 0,7$):

$$d_{\Pi} = 0,7 \cdot 2,9 \cdot 10^6 = 7889000, \text{ грн.}$$

Термін окупності (T_o) додаткових капіталовкладень ($d_K = K_{САУ}$) визначається:

$$T_o = K_{САУ} \cdot (1 + \alpha_a + \alpha_p + \alpha_{зсв}) / d_{\Pi}, \text{ років} \quad (7.20)$$

де α_a – додаткові нарахування на амортизацію ($\alpha_a = 0,14$);

α_p – додаткові нарахування на поточний ремонт ($\alpha_p = 0,01$);

$\alpha_{зсв}$ – доля загальностанційних витрат, визначена додатковими капіталовкладеннями ($\alpha_{зсв} = 0,20$).

$$T_o = 1931400 \cdot (1 + 0,14 + 0,01 + 0,20) / 7889000 = 4,1 \text{ років.}$$

Данні по розрахунку зведені в таблиці 7.3.

Таблиця 7.3 – Річна економія експлуатаційних витрат

Розрахунок економічного ефекту від удосконалення САУ повітрянагрівача доменної печі	
Економія від удосконалення САУ, Е	2875312 грн.
Економія від зменшення кількості пусків через зниження відмов САУ, Е _п	135000 грн.
Економія у зв'язку з підвищенням надійності ЕС, Е _н	31959200 грн.
Економія у зв'язку зі скороченням витрат електроенергії на власні потреби, Е _{вп}	603200 грн.
Вартість річних експлуатаційних витрат, В _{САУ}	4299472 грн.
Приріст чистого прибутку, d _п	7889000 грн.
Термін окупності додаткових капіталовкладень, Т _о	4,1 роки

7.9 Висновки розділу 7

В результаті проведеного розрахунку економічних показників були визначені капітальні витрати на будівництво, щорічні витрати, пов'язані з виробництвом електроенергії, чистий приведений прибуток, внутрішня норма прибутку, індекс доходності, термін окупності проекту, рентабельність і так далі. Термін окупності проекту 4,1 року, що свідчить про його ліквідність, тобто можливості повернути витрачені спочатку засоби на реалізацію проекту за можливо менший термін.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі магістра проведено удосконалення автоматизованої системи управління технологічними процесами доменної печі, а саме системи управління повітрянагрівачів доменної печі з використанням інтелектуального аналізу технологічних параметрів. Стабільність роботи цієї системи дозволяє вирішити комплекс технологічних задач управління тепловим, газодинамічним і шлаковим режимами доменного процесу.

В роботі пропонується новий підхід, який дозволяє в режимі реального часу аналізувати стан перевірки повітрянагрівачів при їх переході з режиму в режим з використанням поточної технічної інформації, яка записана в базі даних.

Розроблена функціональна модель і проведена структурна декомпозиція автоматизованої інформаційної системи аналізу та прогнозування виробничих ситуацій доменного цеху при переході з режиму в режим.

Застосування запропонованого алгоритму аналізу в автоматичному управлінні повітрянагрівачів дозволить підвищити температуру гарячого дуття без значних капіталовкладень при реконструкції блоку доменної печі.

Стабілізація температури гарячого дуття під час перемикання – одне з найважливіших завдань АСУ ТП, оскільки коливання температури доменного процесу негативно впливають на хід виплавки у доменній печі. Тому інформація про характер коливань температури гарячого дуття передається в систему автоматичного управління повітрянагрівачами доменної печі.

Отримання даних з бази даних, що містить поточну та заархівовану інформацію про технологічні процеси нагрівання в доменній печі повинні використовуватися в системах автоматичного управління. Використання отриманого результату аналізу «перемикання» режимів роботи повітрянагрівачів дозволяють зробити своєчасне коригування діаграми параметрів повітрянагрівачів для уточнення початкових значень моделювання роботи доменної печі

Розроблений алгоритм отримання даних технологічної інформації, який дозволяє оцінити стан повітрянагрівачів доменної печі в періоді переходу з режиму в режим, та розроблене програмне забезпечення для автоматизованої обробки баз даних суттєво прискорює процес вивчення роботи повітрянагрівачів і мінімізує ризик помилок під час обробки інформації.

Було виконано аналіз зміни температури дуття та температури диму під час «перемикання» на режим гарячого дуття та ефект включення температури дуття.

Застосування запропонованого алгоритму інтелектуального аналізу даних в системі автоматичного управління доменної печі дозволить досягти підвищення температури гарячого дуття без значних капіталовкладень у реконструкцію повітрянагрівачів доменних печей.

Були визначили оптимальні параметри налаштування ПІ – регулятора: $K_p = 3,07$, $K_u = 0,047$, які дозволили оцінити якість функціонування автоматичної системи регулювання за прямими і непрямими показниками, та зробили висновок що система стійка, добре обробляє керуючі впливи.

Результати аналізу отриманої бази даних, що містить поточну та архівовану інформацію про технологічні параметри доменної печі, дозволять зробити своєчасне виконання коригування діаграми параметрів блоку гарячого дуття доменної печі, для уточнення початкових значень моделювання роботи доменної печі. Розроблене програмне забезпечення для автоматизованої обробки баз даних суттєво прискорює процес вивчення роботи доменної печі і мінімізує ризик помилок під час обробки.

У розділі охорони праці проведений аналіз небезпечних та шкідливих факторів у доменному цеху, розроблені заходи щодо їх запобігання, та проведена оцінка робочого місця оператора АСУТП з точки зору охорони праці.

В економічно – організаційній частині виконаний розрахунок собівартості продукції та обчислено економічний ефект від модернізації системи. Термін окупності проекту 4,1 року, що свідчить про його ліквідність реалізації проекту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Устрій типової доменної печі. URL: <https://lektsii.org/4-26742.html> (дата звернення: 13.08.2021).
2. Доменний процес. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Доменний_процес (дата звернення: 13.08.2021).
3. Трофименко В. В., Клименко О. П., Овчаренко В. І. Методичні вказівки з дисципліни «Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство» до виконання лабораторного практикуму з розділу «Металургія чорних металів» для студентів механічних спеціальностей усіх форм навчання. Дніпропетровськ, 2012. 36 с.
4. Фізико – хімічні процеси плавлення чавуна в доменній печі. URL: <https://www.kazedu.kz/referat/138413/4> (дата звернення: 13.11.2020).
5. Вплив металургійного виробництва на довкілля. URL: https://kegt-rshu.in.ua/images/dustan/1_o_p_3.pdf (дата звернення: 13.11.2020).
6. Доменний цех. URL: <http://bibliograph.com.ua/spravochnik-181-2/21.htm>. (дата звернення: 13.11.2020).
7. Доменний цех. URL: <https://ukrbukva.net/5404-Domennyiy-ceh.html> (дата звернення: 13.11.2021).
8. Повітрянагрівачі доменної печі. URL: <https://ukrbukva.net/101560-Vozduhonagrevateli-domennoiy-pechi.html> (дата звернення: 13.11.2021).
9. Доменний процес. URL: <https://moyaosvita.com.ua/himiya/domennij-proces/> (дата звернення: 13.11.2021).
10. Виробництво чавуну і сталі – UA.TextReferat.com. URL: <http://ua.textreferat.com/referat-1795.html> (дата звернення: 13.11.2020).
11. Доменний процес. URL: <http://um.co.ua/6/6-6/6-63686.html> (дата звернення: 13.11.2021).
12. Загальні способи добування металів. URL: <http://samzan.ru/121145> (дата звернення: 13.11.2021).

13. Основи виробництва чавуну й сталі. URL: https://studopedia.su/13_115347_osnovi-virobnitstva-chavunu-y-stali.html (дата звернення: 13.11.2021).

14. Метрологія, інформаційно – вимірювальна техніка та цифрова обробка сигналів. URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2019/05/5.pdf> (дата звернення: 13.11.2021).

15. Опис конструкції автоматизації випалювальної печі. URL: <https://referat.co/ref/383048/read?p=11> (дата звернення: 13.11.2021).

16. Манько О. О. Методичні вказівки та завдання до виконання контрольної роботи з дисципліни “Основи проектування систем автоматизації” за напрямом підготовки 6.050202 “Автоматизація та комп’ютерно – інтегровані технології ” для студентів заочної форми навчання. Рівне, 2012. 40 с.

17. Мочалін В. Н., Кочнев Н. В. Моделювання та дослідження систем автоматичних управління з використанням ПЕОМ : навч. посіб. Череповець ЧГП, 2015. 178 с

18. Вимоги до системи. URL: <https://mydocx.ru/2-120435.html> (дата звернення: 13.11.2021).

19. Манько О. О., Кутя В. М. Методичні вказівки до виконання розрахунково – графічної роботи з дисципліни “Основи проектування систем автоматизації” для студентів, які навчаються за напрямом підготовки 6.050202 “Автоматизація та комп’ютерно – інтегровані технології ”. Рівне, 2010. 31 с.

20. Вимоги до ергономіки та технічної естетики. URL: <http://wikipage.com.ua/1x400f.html> (дата звернення: 13.11.2021).

21. Захист від несанкціонованого доступу. URL: <https://infopedia.su/3x73fa.html> (дата звернення: 13.11.2021).

22. Технічне та програмне забезпечення системи автоматизації колони отбензінівання нафти. URL: <https://ukrbukva.net/page,11,111104-Tehnicheskoe-i-programmnoe-obespechenie-sistemy-avtomatizacii-kolonny-otbenzinivaniya-nefti.html> (дата звернення: 13.11.2021).

23. Створення автоматизованої інформаційної системи. URL: <https://ukrbukva.net/page,6,73565-Sozдание-avtomatizirovannoiy-informacionnoiy-sistemy.html> (дата звернення: 13.11.2021).
24. Розробка інформаційної системи &Облік і контроль замовлень фірми & Вікна Маріо &. URL: <https://ukrbukva.net/page,4,92492-Razrabotka-informacionnoiy-sistemy-Uchet-i-kontrol-zakazov-firmy-Okna-Mario.html> (дата звернення: 13.11.2021).
25. Сідлецький В. М., Трегуб В. Г. Проектування систем автоматизації : методичні рекомендації до виконання курсового проекту для студентів напряму 6.050202 «Автоматизація та комп'ютерно – інтегровані технології» денної та заочної форм навчання. Київ, 2013. 46 с.
26. Черенкова В.В. Промышленные приборы и средства автоматизации: *Справочник* / ред. В.В. Черенкова. Москва : Машиностроение, 2015. С. 105
27. Смилянського Г. Г. Справочник проектировщика АСУ ТП. / *Справочное пособие* / ред. Г. Г. Смилянського Москва : Машиностроение, 1983. С. 218.
28. Ключев А. С. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. *Справочное пособие* /ред. А. С. Ключева. Москва : Энергоатомиздат, 1990. С. 80 – 81.
29. Тимофеев Б. Б. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. *Справочник*/ ред. Б. Б. Тимофеева. Киев : Техника, 1983. С. 87 – 88.
30. Авраменко В. С., Авраменко А. С. Проектування інформаційних систем : навч. посібник. Черкаси : ЧНУ ім. Б. Хмельницького, 2017. 434 с.
31. Проектування систем керування : конспект лекцій для студентів спеціальності «Автоматизоване управління технологічними процесами»; уклад. М. З. Кваско, Я. Ю. Жураковський, А. І. Жученко, В. В. Миленський, Київ : НТУУ «КПІ», 2015. 279 с.
32. Вимоги до захисту від впливу зовнішніх впливів. URL: http://ni.biz.ua/6/6_14/6_14732_trebovaniya-k-zashchite-ot-vliyaniya-vneshnih-vozdeystviy.html (дата звернення: 13.11.2021).

33. Вимоги до видів забезпечення. URL: <https://mydocx.ru/2-120437.html> (дата звернення: 13.11.2021).

34. КП-1Е, КП-140Е – реєстратори технологічні. URL: https://www.elemer.ru/production/rmt/tehnolog/kp_140e.php (дата звернення: 13.11.2021).

35. Блок живлення БП – 911. URL: https://www.elemer.ru/production/bp/bp_911.php (дата звернення: 13.11.2021).

36. Пускач безконтактний реверсивний ПБР-2М. URL: <https://ukrbukva.net/page,4,10165-Sintez-sistemy-avtomaticheskogo-upravleniya-processom-elektricheskoiy-ochistki-gaza.html> (дата звернення: 13.11.2021).

37. Промислові мікропроцесорні мережі. URL: <http://um.co.ua/8/8-11/8-110801.html> (дата звернення: 13.11.2021).

38. Сідлецький В. М., Трегуб В. Г. Проектування систем автоматизації : методичні рекомендації до виконання курсового проекту для студентів напряму 6.050202 «Автоматизація та комп'ютерно – інтегровані технології» денної та заочної форм навчання. Київ, 2013. 46 с.

39. Ткачук К. Н., Халімовський М. О., Зацарний В. В., Зеркалов Д. В. Основи охорони праці : підручник. 2-ге видання, доповнене та перероблене; уклад. К. Н. Ткачуком, М. О. Халімовським. Київ : Основа, 2006. 448 с.

40. Повітронагрівач (доменне виробництво). URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Повітронагрівач_\(доменне_виробництво\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Повітронагрівач_(доменне_виробництво)) (дата звернення: 13.11.2021).