

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

Автоматизованого управління технологічними процесами
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проект)

магістр
(рівень вищої освіти)

на тему Удосконалення системи автоматизованого управління процесом доменної плавки в умовах ПАТ „Запоріжсталь“

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.15-19
спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(код і назва спеціальності)

спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)

освітньої програми Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(назва освітньої програми)

Редотюв Тавлю Тавлювич
(ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н. доцент Овчинникова Т.А.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент Заст. дирек. СВ „Титмера“ Крат О.Г.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя 2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра Автоматизованого управління технологічними процесами
Рівень вищої освіти Другий (магістерський)
Спеціальність 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології"
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)
Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

« _____ »

20 _____ року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Редомову Тавлицю Тавловичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Удосконалення системи автоматизованого управління процесом доменної плавки в умовах ПАТ "Запоріжсталь"

керівник роботи _____

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

затверджені наказом ЗНУ від « 25 » 05 2020 року № 597 - С

2 Строк подання студентом роботи 27.11.2020

3 Вихідні дані до роботи Інструкції, тематична література, інтернетні джерела, методичні рекомендації

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Розробка інформаційно-маркетингової системи, вибір механічних засобів автоматизації, розробка програмного комплексу.

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

Інформаційна система аналізу, Скрін частини турбокомпресора, екрани управління САР охолодження, схема доменного процесу.

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Розділ	к.т.н. доцент Овчинникова Т.А.	Юршич	Юршич
2. Розділ	к.т.н. доцент Овчинникова Т.А.	Юршич	Юршич
3. Розділ	к.т.н. доцент Овчинникова Т.А.	Юршич	Юршич
4. Розділ	к.т.н. доцент Овчинникова Т.А.	Юршич	Юршич
5. Розділ	к.т.н. доцент Овчинникова Т.А.	Юршич	Юршич
6. Розділ	к.т.н. доцент Овчинникова Т.А.	Юршич	Юршич
7. Розділ	к.т.н. доцент Овчинникова Т.А.	Юршич	Юршич

7 Дата видачі завдання 25.05.2020

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вступ	01.05.20 - 10.05.20	
2.	Опис об'єкта автоматизації	11.05.20 - 25.05.20	
3.	Вибір технічних засобів автоматизації	21.10.20 - 02.11.20	
4.	Розробка реалізації програмного комплексу	03.11.20 - 18.11.20	
5.	Охорона праці	19.11.20 - 01.12.20	
6.	Висновки	02.12.20 - 06.11.20	

Студент

Гай
(підпис)

Редомов Т.Т.
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)

Юршич
(підпис)

Т.А. Овчинникова
(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер

Юршич
(підпис)

Т.А. Овчинникова
(ініціали та прізвище)

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АСУПТ	– автоматизована система управління технологічними процесами;
АРМ БЩУ	– автоматизоване робоче місце блокового щита управління;
АРМ ІС	– автоматизоване робоче місце інструментальної системи;
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;
МК	– мікропроцесор;
ПЛК	– програмований логічний контролер;
ПЗ	– програмне забезпечення;
ПЕОМ	– персональна електронно-обчислювальна машина;
РК	– регулюючий клапан;
РО	– регулюючий орган;
САР	– система автоматичного регулювання;
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

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	2
ВСТУП.....	8
1 ОПИС ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	14
1.1 Загальна характеристика доменного процесу.....	14
1.2 Аналіз існуючого рівня автоматизації на діючому виробництві	22
1.3 Постановка задачі і розробка технічного завдання	25
2 КОМПЛЕКСНА МОДЕРНІЗАЦІЯ АСУ ТП ДОМЕНОЇ ПЕЧІ.....	27
2.1 Модернізація САР системи охолодження доменної печі	27
2.3 Модернізація САР частоти обертання турбокомпресорного агрегату.....	31
3 РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНО-МОДУЛЮЮЧОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ РЕЖИМАМИ ВИПЛАВКИ	42
3.1 Структура АСУ ТП доменної плавки	42
3.2 Функціональна модель автоматизованої інформаційної системи	44
аналізу і прогнозування виробничих ситуацій	44
3.3 Розробка структури системи збору, первинної обробки і зберігання даних	47
3.4 Розробка структури підсистем модельної підтримки прийняття рішень, діагностики роботи доменних печей і прогнозування технологічних ситуацій	50
3.6 Розробка математичної моделі системі аналізу і прогнозування виробничих ситуацій.....	54
4 ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	62
4.1 Вибір та обґрунтування функціональної структури СА.....	62
4.2 Визначення принципів управління по кожному технологічному параметру	63
4.3 Вибір (розробка) математичної моделі системи управління.....	63
4.4 Вибір та обґрунтування технічних засобів нижнього рівня СА	65
4.4.2 Промислові контролери	70
5 РОЗРОБКА ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ	72
6 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	93
6.1 Аналіз доменного виробництва з точки зору охорони праці	93

6.2 Аналіз робочого місця оператора АСУТП.....	95
7 РОЗРАХУНОК КАПІТАЛЬНИХ ВКЛАДЕНЬ У ЗВ'ЯЗКУ З.....	99
МОДЕРНІЗАЦІЄЮ АСУ ТП.....	99
7.1 Визначення капітальних вкладень	99
7.2 Розрахунок річних експлуатаційних витрат	100
7.3 Річні витрати на ЗП.....	100
7.4 Розрахунок річних амортизаційних відрахувань.....	101
7.5 Річні витрати на ремонт	101
7.6 Витрати електроенергії на живлення.....	102
7.7 Інші витрати	102
7.8 Річна економія експлуатаційних витрат.....	103
ВИСНОВКИ	107
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	108
ДОДАТКИ	

ВСТУП

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ

Чорна металургія поряд з іншими галузями визначає науково-технічний прогрес у народному господарстві країни. Період економічної кризи характеризується нестабільним попитом на металопродукцію, зміною умов постачання підприємств залізородними матеріалами і коксом, а також зміною цін на сировину, залізничні тарифи. В 2019 році ціни на сировину, електроенергію і паливо для виробництв чорної металургії досягло своїх пікових значень за останні кілька років. На це вплинуло кілька факторів: торгівельні суперечки, зниження рівня виробництва в Китаї та інших країнах світу через пандемію COVID-19, природні катаклізми.

В доменному виробництві, в науково-технічному плані, важливими і актуальними три основні завдання: раціональна організація і максимальна автоматизація технологічного процесу, підвищення якості виплавленого чавуну, зниження витрат енергії і палива на випуск продукції. Тому, пошук шляхів модернізації і удосконалення сучасних систем автоматизації технологічного процесу, в тому числі, і з урахуванням екологічних факторів, є досить актуальною темою дослідження.

Якість чавуну, ефективність та інтенсивність процесу доменної плавки істотно залежать від стабільності кількості повітря, що подається турбокомпресорними агрегатами на колошники доменних печей, а також від стабільності і безперервності роботи системи випарного охолодження шахти печі. 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. кВтгод 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, комплексна модернізація існуючої системи автоматизованого управління процесами доменної печі в умовах ПАТ «Запоріжсталь» обрано темою кваліфікаційної роботи магістра.

МЕТА І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета роботи: комплексна модернізація автоматизованої системи управління технологічними процесами доменної печі.

Об'єкт дослідження: технологічний процес доменної печі.

Предмет дослідження: система автоматизованого управління процесами доменної печі.

Відповідно до поставленої мети досліджень в роботі сформульовані наступні задачі:

- провести аналіз існуючої системи управління технологічними процесами доменної печі;
- визначити недоліки існуючої системи управління технологічним процесом та сформулювати основні задачі для її модернізації;
- розробити математичні моделі доменного процесу;
- здійснити розрахунок параметрів налаштування регуляторів для контуру регулювання частоти обертання турбокомпресорного агрегату;

- здійснити розрахунок параметрів налаштування регуляторів для контуру регулювання системи охолодження доменної печі;
- проаналізувати сучасні тенденції розвитку комп'ютерних систем підтримки прийняття рішень;
- розробити інформаційно-модулюючу систему управління технологічними режимами виплавки;
- розробити програмне забезпечення АСР;
- підібрати технічні засоби автоматизації;
- розглянути питання пов'язані з охороною праці;
- виконаний розрахунок економічного обґрунтування проекту, визначено економічну ефективність від модернізації АСР.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

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 КИПіА в диспетчерській і роботи по їх обслуговуванню;
- підвищити стійкості роботи інформаційно-керуючих систем;
- розробити інформаційно-моделюючу систему з управління технологічними режимами виплавки чавуну.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Методи математичного моделювання для дослідження базується на використанні принципу роботи турбокомпресорного агрегату, системи охолодження доменної печі, а також системі подачі палива, з урахуванням індивідуальних особливостей теплового, газодинамічного і шлакового режимів роботи доменних печей, а також їх конструктивних і режимних параметрів.

НАУКОВА НОВИЗНА ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

1. У кваліфікаційній роботі магістра проведена комплексна модернізація автоматизованої системи управління технологічними процесами доменної печі, а саме системи охолодження доменної печі, системи подачі повітря турбогенератором, а також системи управління технологічними режимами виплавки. Стабільність роботи цих систем дозволяє вирішити комплекс технологічних задач управління тепловим, газодинамічним і шлаковим режимами доменного процесу.

2. Розроблена функціональна модель і проведена структурна декомпозиція автоматизованої інформаційної системи аналізу та прогнозування виробничих ситуацій доменного цеху.

3. З метою підвищення точності регулювання роботи турбокомпресора по основному параметру (витраті повітря) запропоновано електронну систему корекції (компенсації) систематичних похибок вимірювача витрати, яка заснована на порівнянні фактичних показань з прецизійною градуовальною характеристикою і введенні відповідної корегуючої поправки в вимірювальний сигнал.

4. З метою спрощення процедури структурного синтезу, практичної реалізації та налагодження запропоновано структуру чотирьохконтурного мультиплікативного регулятора, що включає автономні контури керування положенням золотника сервоклапана, положенням гідродвигуна, частотою обертання турбіни і продуктивністю турбокомпресора.

5. З метою підвищення стабільності роботи системи охолодження шахти печі розроблена АСК температури (реєстрація температур і контроль тенденцій змін температури), а також система інтегрованої оцінки якості відібраного тепла, діагностика метрологічних характеристик системи охолодження циклічним опитування датчиків з формування попереджувальних і аварійних повідомлень, відображення поточних параметрів на моніторі робочої станції технолога у вигляді мнемосхеми і гістограм.

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

7. Запропоновано спосіб компенсації похибок САР, обумовлених статичними нелінійними характеристиками виконавчого механізму (нечутливість, сухе тертя, люфти), шляхом використання в контурі управління змінного коефіцієнта підсилення з «горизонтальною зоною стабілізації».

8. Розроблено Scada-систему за допомогою програмного комплексу Intouch.

ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ

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 завдання управління тепловим, газодинамічних та шлаковим режимами доменної плавки.

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

інших підприємств.

ОСОБИСТИЙ ВНЕСОК

Теоретичні дослідження виконані автором самостійно. Його особистий внесок полягає: в розробці автоматичної системи управління технологічним процесом охолодження доменної печі в умовах ПАТ «Запоріжсталь»

АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Матеріали кваліфікаційної роботи магістра були повідомлені та обговорені на наукових конференціях ЗДІА.

ПУБЛІКАЦІЇ

Основні результати кваліфікаційної роботи магістра оформлені в тезах та опубліковані в електронному виданні матеріалів наукових конференцій ЗДІА.

СТРУКТУРА МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

Магістерська робота складається з вступу, семи розділів, загальних висновків, списку літератури із 32 найменувань і вміщує 105 сторінок основного тексту, 9 таблиць, 37 рисунків, 1 додатка, усього 108 сторінки.

1 ОПИС ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Загальна характеристика доменного процесу

Доменне виробництво – перша ланка технологічного циклу 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 (рис. 1.1) складається з таких основних процесів: підготовка і подача шихти, плавка, видалення продуктів плавки.

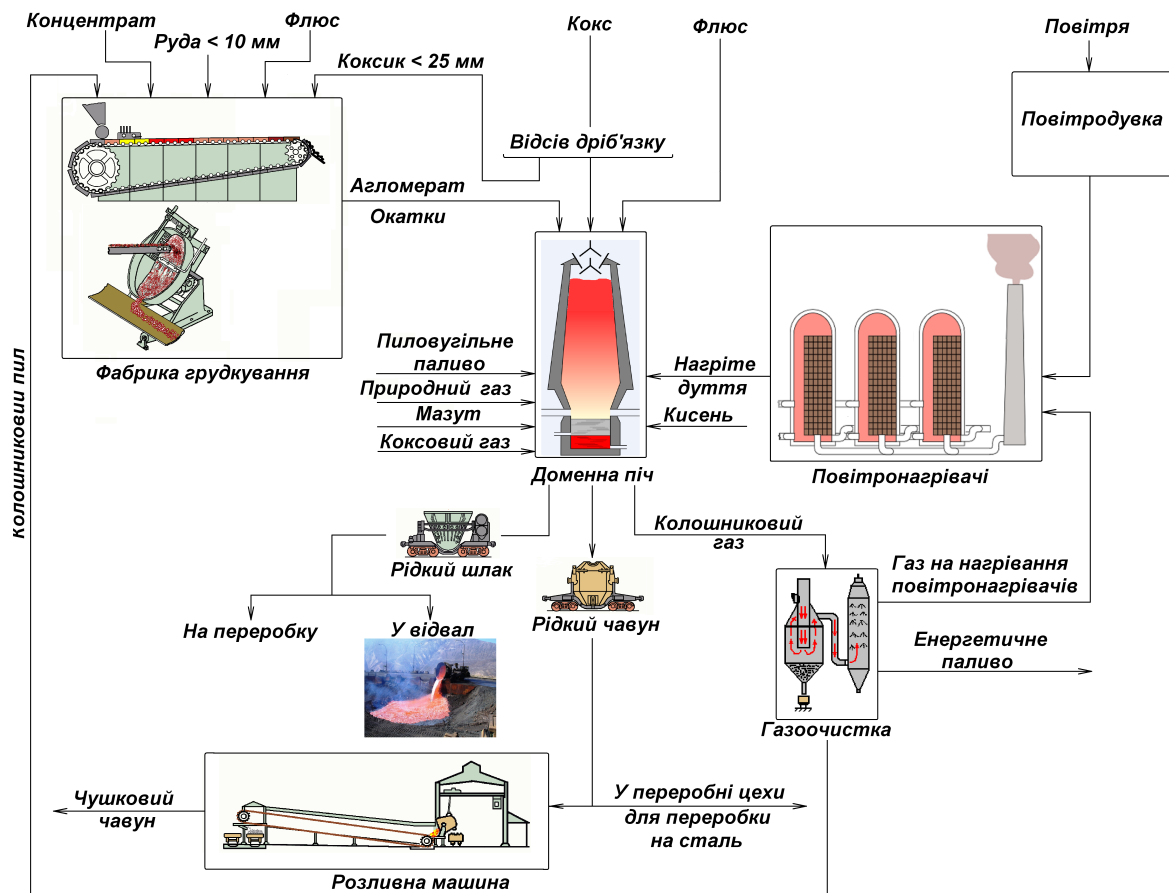
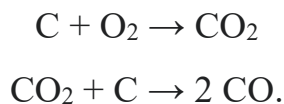


Рисунок 1.1 – Схема доменного процесу [1]

Виплавка чавуну – пірометалургійний процес, що відбувається в доменній печі при високих температурах (до 1900 °С). Основною метою доменної плавки

є відновлення заліза з оксидів заліза, що утворюють рудну частину шихти.

Під дією гарячого повітря, що вдувається в доменну піч, протікає згоряння коксу з утворенням двооксиду вуглецю (CO_2), який при контакті з розпеченим коксом при температурі 1800 – 1900 °С перетворюється в оксид вуглецю (CO):



Оксид вуглецю (CO) при проходженні через стовп шихти з низу печі догори відновлює залізо з рудних оксидів, також відновлення заліза відбувається при контакті руди з розпеченим коксом. Спрощена схема відновлення є такою:



Залізо, що утворилося при відновленні руди, знаходиться в твердому стані у вигляді губчатої маси; при контакті з оксидом вуглецю і розпеченим коксом залізо насичується вуглецем з утворенням цементиту (Fe_3C).

Внаслідок науглецювання температура плавлення заліза знижується, воно швидко переходить у рідкий стан і краплями стікає в горно доменної печі. При переміщенні крапель металу відбувається додаткове насичення заліза вуглецем і вміст його в металі збільшується. Таким чином, через постійний контакт відновленого заліза з вуглецем в доменній печі неможливо одержати залізо без розчиненого в ньому вуглецю, а продуктом доменної плавки завжди буде залізовуглецевий сплав – чавун.

Паралельно в доменній печі відбувається відновлення оксидів, що містяться в шихті: марганцю, силіцію, фосфору за схемою:



Відновлений марганець переходить в чавун, сприяє хімічному сполученню заліза і вуглецю з утворенням цементиту (Fe_3C). Крім того, марганець має більшу спорідненість з сіркою і звільняє чавун від цієї шкідливої домішки утворенням MnS і переходом цієї сполуки у шлак.

Пуста порода, зола коксу, флюс обов'язково містять кремнезем (SiO_2), який під час плавки також частково відновлюється і переходить в чавун.

Фосфор (шкідлива домішка), що міститься в деяких рудах, також відновлюється вуглецем в присутності кремнезему і переходить до чавуну [2].

Невелика кількість сірки (шкідлива домішка), що міститься в залізній руді і коксі, при плавці вигорає, але основна частина переходить у чавун. Для видалення сірки необхідна висока температура і надлишок вільного вапна, яке зв'язує сірку в нерозчинний в залізі сульфід кальцію (CaS) і переводить її у шлак. Джерелом вапна є вапняк CaCO_3 , який в печі розкладається на CaO і CO_2 .

Крім описаних процесів в доменній печі відбувається плавлення пустої породи і шлакоутворення. Пуста порода і зола коксу складаються в основному з кремнезему (SiO_2) і глинозему (Al_2O_3), які мають високу температуру плавлення – вищу ніж та, що досягається всередині доменної печі. Зниження температури плавлення і утворення рідкого шлаку досягається введенням в шихту флюсу – вапняку.

Залізна руда, концентрат і флюс спрямовуються на фабрику грудкування, де з них виготовляють агломерат або окатки. Відсіяний від дріб'язку агломерат і окатки направляються у доменний цех. Одночасно туди поступає кокс і флюс. Доменна піч одночасно може переплавляти агломерат і окатки або лише один з цих видів залізорудної сировини [3].

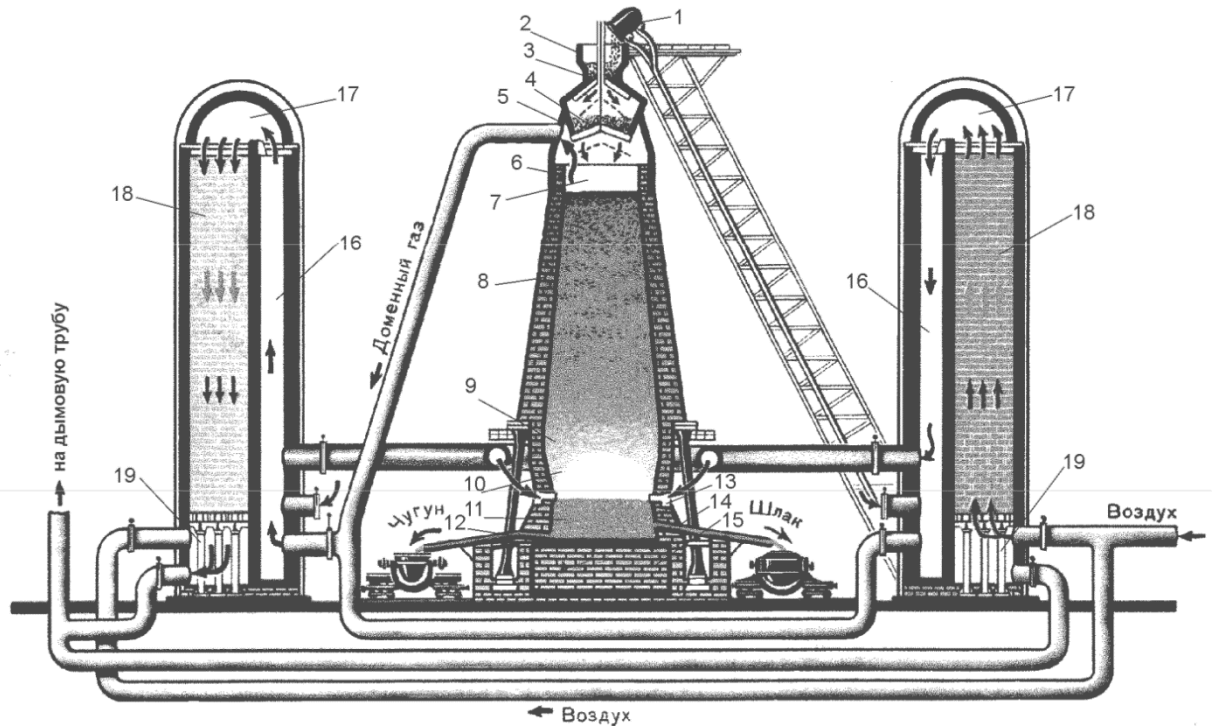
Доменний цех, який працює в умовах ПАТ «Запоріжсталь», має в своєму складі чотири доменні печі наступного корисного об'єму:

- №2 – 1513 м³;
- №3 – 1513 м³;
- №4 – 1513 м³;
- №5 – 1513 м³.

Схема доменної печі, представлена на рисунку 1.2.

Шихта завантажується в доменну піч. В доменній печі завантажені шихтові матеріали в результаті протікання фізичних і фізико – хімічних процесів поступово перетворюються на чавун, шлак і доменний газ. У нижню частину печі подається нагріте до температури 1150 – 1200 °С повітря,

збагачене киснем для інтенсифікації процесу і природний газ, що є замінником частки коксу в доменній плавці. В результаті хімічних реакцій окислення вуглецю коксу і термічного розкладання природного газу утворюється оксид вуглецю. В результаті взаємодії оксиду вуглецю з оксидами заліза відбувається часткове відновлення заліза.



- 1 – скіп; 2 – приймальна воронка; 3 – малий конус; 4 – великий конус;
 5 – воронка великого конуса; 6 – захисні сегменти; 7 – ведучий; 8 – шахта;
 9 – распар; 10 – заплечники; 11 – горн; 12 – чавунна льотка; 13 – фурма;
 14 – шлакова льотка; 15 – лещадь; 16 – камера горіння Каупера;
 17 – підкупольний простір; 18 – вогнетривка насадка Каупера;
 19 – поднасадочний простір.

Рисунок 1.2 – Схема доменної печі [4]

Остаточне відновлення заліза, його вуглецювання з утворенням чавуну здійснюється в нижній частці доменної печі. Оксиди кремнію, кальцію, магнія та інші елементи, що містяться в агломераті, окатишах, кусковій руді і вапняку після плавки переходять в шлак. Під час випуску продуктів плавки з доменної

печі відбувається розділення чавуну і шлаку. Продуктами доменної плавки є чавун, шлак і доменний газ [5].

Рідкий чавун використовується, в основному, в мартенівському цеху для виплавки сталі, а так само в ливарному цеху для виробництва виливниць.

Рідкий шлак поступає на гранбасейн для грануляції, після чого реалізується споживачам для використання, в основному, в дорожньому будівництві. Отримані шлаки використовуються для виготовлення цементу, цегли, шлакоблоків та інших будівельних матеріалів [6].

Останнім продуктом в доменній печі є доменний газ. Після очистки від пилу використовується як паливо для підігріву насадок повітрянагрівачів, сталевих зливків, коксових батарей, для опалення котлів та ін.

Розташування всіх доменних печей – острівне. Острівний план доменного цеху забезпечує найбільшу незалежність і зручність транспортного обслуговування кожної печі. Бункерна естакада розташована між доменними печами і рудним двором вздовж лінії печей і являє собою вивисується на 10 – 16 м над нульовою позначкою залізобетонне споруда, що складається з окремих бункерів та їх обладнання [7].

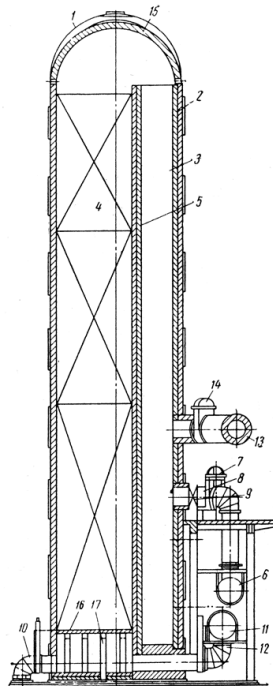
Для обслуговування доменного цеху залізничним транспортом в цеху є залізничні колії.

Нагрівання дуття в доменному виробництві – один з найважливіших етапів його розвитку, який зіграв величезну роль в зниженні витрат пального і підвищенні продуктивності доменних печей [8]. Пошуки шляхів підвищення температури дуття привели до створення регенеративних повітрянагрівачів, що показали значну перевагу за рівнем досягнутої нагрівання повітря і швидко витіснили з практики всі раніше створені конструкції. Таким чином вони стали переважним засобом для нагріву доменного дуття до теперішнього часу.

Очищений доменний газ (або суміш доменного і коксового газів), підведений до повітрянагрівачів, подається в камеру горіння газовим пальником спільно з необхідним для спалювання газу повітрям, що подається спеціальною повітрорудною станцією. Відпрацьовані газу піднімаються

вгору під купол повітрянагрівача, де відбувається їх повне згоряння та розвивається максимальна температура. Далі продукти згоряння опускаються вниз через канали насадки. Віддаючи насадки своє тепло, вони охолоджуються до 150 – 400 °С і потім відводяться через димові клапани в боров до димаря. Після нагріву насадки та досягнення максимально допустимої температури підкупольного простору подача газу в камеру горіння припиняється.

Схема повітрянагрівача, представлена на рисунку 1.3.



1 – кожух; 2 – кладка; 3 – камера горіння; 4 – насадка; 5 – розділова стіна;
6 – газовий клапан; 7 – відокремлюваний клапан; 8 – підведення до пальника; 9 – пальник; 10 – димової клапан; 11 – клапан холодного дуття; 12 – патрубок трубопроводу холодного дуття; 13 – трубопровід гарячого дуття; 14 – клапан гарячого дуття; 15 – футеровка купола; 16 – литі металеві піднасадні решітки; 17 – литі металеві піднасадні колони.

Рисунок 1.3 – Схема повітрянагрівача [9]

Через піднасадочний простір, насадку і камеру горіння в зворотному газу напрямку подається повітря, яке нагрівається, проходячи через гарячу насадку,

і потім через клапан гарячого дуття прямує по повітропроводу гарячого дуття в доменну піч.

Після охолодження насадки повітронагрівач знову переводять на режим нагріву. Безперервність подачі дуття забезпечується наявністю блоку з трьох – чотирьох повітронагрівачів на піч, з яких по черзі два або три працюють в режимі нагріву, а решта – на дуття, в залежності від їх числа і прийняте схеми роботи (одиначної або попарно паралельної). Режими нагрівання та охолодження є основними для роботи повітронагрівача. Крім цього, він може перебувати на «тязі» або бути відключеним.

Доменний процес – виплавка чавуну в доменній печі. У доменну піч завантажують пиловугільне паливо і агломерат [10].

Агломерат – це певним чином підготовлена руда, спечення з флюсом [11]. За допомогою повітря, що вдувається, або кисню підтримується постійна температура, необхідна для виплавки чавуну. У горні відбувається згорання вугілля і утворення вуглекислого газу. Процес відновлення руди відбувається головним чином у верхній частині шахти.

У руді також присутній порожня порода – пісок або діоксид кремнію, який є тугоплавким з'єднанням. Щоб тугоплавку речовину перетворити на легкоплавку, в руду додають флюси (наприклад, CaCO_3). При взаємодії з якими тугоплавке з'єднання утворює легко відокремлюваний шлак. Залізо поступово опускається у більш гарячу частину печі (розпар) і розчиняє в собі до 4 % вуглецю й інші домішки. Таким чином, утворюється чавун, який розплавляється і стікає в нижню частину печі, а шлаки залишаються на його поверхні. Розплавлені чавун і шлаки періодично випускають через спеціальні отвори [12]. При цьому з отвору виходять гази, що містять ~ 25% оксиду вуглецю, їх спалюють у кауперах (камерах, призначених для нагрівання газів).

За допомогою вдування в піч кисню можна прискорити виплавку чавуну, при цьому попередній нагрів становиться непотрібним. В результаті чого відпадає необхідність у кауперах, а також разом з цим підвищується продуктивність печі і зменшення витрати палива. У великій доменній печі

щохвилини відбувається виплавка 2,5 тонн чавуну. Переробка чавуну в сталь відбувається при окисленні міститься в чавуні вуглецю і домішок та відділенні утворюються оксидів в газову фазу або шлак. Основна маса чавуну переробляється в сталь при мартенівському процесі [13].

Для виробництва чавуну крім постійного забезпечення матеріалами дуже важливо енергетичне забезпечення. Тому велике значення має подача дуття з необхідними параметрами (витрата, тиск, температура, вологість і вміст кисню). Зі збільшенням корисного об'єму ДП і інтенсифікацією їх виробництва підвищуються і вимоги, перш за все по витраті, тиску дуття, а також економічності, стабільності і технічній забезпеченості турбокомпресора за умови комплексної автоматизації виробничого процесу.

Турбокомпресорний агрегат призначений для стиснення атмосферного повітря, збагаченого до 30% киснем, подачі його в обігрівачі і далі в доменну піч.



Рисунок 1.4 – Турбокомпресорний агрегат доменної печі

Відцентровий двосекційний компресор з горизонтальним роз'ємом корпусу має проміжний повітроохолоджувач, ротор компресора приводиться в обертання безпосередньо від парової турбіни через муфту. Продуктивність компресора регулюється зміною частоти обертання турбіни. Ротор компресора, що складається з вала, робочих коліс і вирівнюючого поршня, встановлений в опорному і комбінованому підшипниках ковзання з мастилом під тиском. Ущільнення ротора в статорі здійснюється за допомогою кінцевих лабіринтових ущільнень.

Турбіна парова одноциліндрова з аксіальним входом пара. Проточна частина ротора складається з однієї регулюючої (активної) ступені і реактивної ступені тиску.

Турбіна має наступні основні конструктивні характеристики:

- стопорний клапан з гідравлічним сервоприводом, що встановлюється з правого боку від переднього підшипника турбіни;
- підвід пари до стопорному клапану знизу;
- односідельні вхідні регулюючі клапани;
- регенеративний нижній відбір пара.

Допоміжне технологічне обладнання включає в себе систему постачання олії для змащення турбіни, поверхневий конденсатор, парострумний двоступеневий ежектор, ежектор пусковий, конденсаційні насоси, конденсатор пари, регенеративні підігрівачі низького тиску, КВП, електрообладнання.

1.2 Аналіз існуючого рівня автоматизації на діючому виробництві

Контрольно – вимірювальна апаратура і елементи засобів автоматизації, які використовуються в доменній печі ПАТ «Запоріжсталь»:

- звужуючий пристрій: тип ДБ 2,5 – діафрагма безкамерна: умовний тиск 0,25 МПа, внутрішній діаметр трубопроводу $D_{тр} = 400 - 1200$ мм.

– дифманометр ДМ 3583 М. Верхня межа вимірювання тиску 0,04 МПа. Робочий тиск до 16 МПа. Вихідний сигнал 0 – 5 мА.

– блок кондуктивного поділу БКР. Живлення напруги 220 В, частота 50 Гц. Час витрачений при виконанні функції гальванічного поділу 8 мс. Час витрачений при виконанні операції підсумовування 0,5 мс. Споживана потужність 18 ВА;

– блок регулюючий імпульсний РБІМ. Похибка підсумовування вхідних сигналів не перевищує + 0,5%. Відносна вологість повітря від 30 до 80%. Відхилення напруги живлення не більше 20% від номінального значення, частота 50 Гц.

– задатчик ручний тип РЗД – 22. Електричне живлення 220 – 240 В або 24 В. Похибка 2,5%. Споживана потужність не перевищує 4 ВА;

– блок ручного управління БРУ. Технічні дані: електричне живлення 24 В при частоті 50 Гц. Споживана потужність не перевищує 2,5 ВА.

– пускач безконтактний реверсивний ПБР – 2. Джерело живлення пускачів мережу змінного струму напругою 220 В, частота 50 Гц. Максимальний комутований струм 4 А. Потужність споживана пускачем не більше 20 ВА;

– виконавчий механізм. Тип МЕК – 25К – 120. Технічні дані: номінальний час повного ходу вала 10 с, номінальний повний хід вихідного валу 0,25 об, номінальний обертаючий момент на вихідному валу 250 нм, напруга живлення при частоті 50 Гц 220/380 В, споживана потужність 290 ВА.

До складу автоматизованої технологічних систем турбоагрегату входять:

- компресор;
- всмоктуючий повітропровід з повітроочисних пристроєм;
- киснепровід від колектора до всмоктуючого воздухопровода;
- нагнітальний повітропровід з протипожежним, випускним і зворотним клапанами і запірною арматурою;
- приводная парова турбіна; електрогідравлічна система; система регулювального масла; система мастила; валоповоротного пристрій; системи

турбіни конденсаційна.

Агрегат оснащується пристроями аварійного захисту, що забезпечують автоматичний останов при виході технологічних параметрів за допустимі межі (щодо підвищення частоти обертання, осьового зсуву ротора турбіни, осьового зсуву ротора компресора, по пониженню тиску мастильного та регулювального масел, щодо підвищення температури мастила, щодо підвищення абсолютного тиску в конденсаторі турбіни, щодо підвищення вібрації корпусів підшипників турбоагрегату).

Локальний захист «Відсічення кисню» здійснюється в наступних випадках: при помпажі компресора, при зниженні витрати повітря на всмоктуванні компресора нижче допустимого значення, при припиненні підведення свіжого пара до турбіни (при спрацьовуванні технологічного захисту, які здійснюють останов агрегату).

Проведений аналіз існуючого рівня автоматизації у доменному виробництві ПАТ «Запоріжсталь» показав:

– на даному підприємстві використовуються, як первинний перетворювач термopара ТПР – 0573 в парі з нормуючим перетворювачем Ш9322, це дуже не раціонально, бо сигнал може надходити з похибкою;

– використовуються регулятори, а в якості вторинних приладів використовуються ДИСК – 250, які схильні до частих механічних зносів і необхідна їх постійна перевірка. Прилади мають такі недоліки, як: висока похибка при вимірюваннях, відсутність ліній зв'язку для передачі вимірної величини на відстань і реєстрації на ЕОМ, велику вагу і габарити, велику енергоємність, вплив вапнякового пилу на рухомі частини та деталі пристроїв; якості палива використовується кокс, який має дефіцит і велику вартість;

– прилади, які використовуються на діючому виробництві морально застаріли і це негативно впливає на доменний процес, як наслідок, на продуктивність печі, крім цього, в системі КВП печі відсутня сигналізація про вихід за задані межі будь – якого з контрольованих технологічних параметрів.

Проаналізувавши існуючий рівень автоматизації на діючому виробництві, можна зробити висновок, що функції, які виконуються системою, та її технічне забезпечення є застарілими, що призводить до виникнення аварійних ситуацій та економічних збитків. Тому слід модернізувати систему для покращення якості продукції, що виготовляється, для мінімізації економічних збитків та збільшення річного економічного прибутку.

Проведений аналіз рівня автоматизації існуючої системи в доменному цеху показав ряд таких недоліків:

- відсутність системи компенсації похибок вимірювання витрати повітря турбокомпресором;

- відсутність системи контролю температури, а також системи інтегрованої оцінки якості відібраного тепла і аварійної сигналізації системи охолодження шахти печі;

- використання застарілих датчиків ТПР – 0573;

- використання застарілих проміжних перетворювачів Ш9322;

- використання застарілих вторинних приладів ДИСК – 250;

- відсутність мікропроцесорних контролерів;

- відсутність автоматизованого робочого місця оператора системи оцінки газодинамічного режиму доменної плавки.

Тому для покращення якості продукції, що виготовляється на підприємстві, мінімізації економічних збитків та збільшення річного економічного прибутку, в дипломну проекті пропонується провести комплексну модернізацію існуючої системи автоматизованого управління процесами доменної печі.

1.3 Постановка задачі і розробка технічного завдання

Якість чавуну, ефективність та інтенсивність процесу доменної плавки істотно залежать від стабільності кількості повітря, що подається

турбокомпресорними агрегатами на колошники доменних печей, а також від стабільності і безперервності роботи системи випарного охолодження шахти печі. Існуюча на ПАТ «Запоріжсталь» система автоматизованого керування технологічними процесами не дозволяє забезпечити збільшення продуктивності печі, підвищити якість та знизити собівартості чавуну, а головне – забезпечити надійності функціонування технологічного комплексу (зменшення кількості аварійних ситуацій та покращити екологічні показники доменної печі) в повному обсязі.

Для модернізації існуючої системи автоматизації технологічного процесу доменної печі ПАТ «Запоріжсталь» запропоновано:

- електронну систему корекції (компенсації) систематичних похибок вимірювача витрати, яка заснована на порівнянні фактичних показань з прецизійною градуовальною характеристикою і введенні відповідної корегуючої поправки в вимірювальний сигнал, з метою підвищення точності регулювання роботи турбокомпресора по основному параметру (витраті повітря);

- розроблена АСК температури (реєстрація температур і контроль тенденцій змін температури), а також система інтегрованої оцінки якості відібраного тепла, діагностика метрологічних характеристик системи охолодження циклічним опитування датчиків з формування попереджувальних і аварійних повідомлень, відображення поточних параметрів на моніторі робочої станції технолога у вигляді мнемосхеми і гістограм, з метою підвищення стабільності роботи системи охолодження шахти печі;

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

2 КОМПЛЕКСНА МОДЕРНІЗАЦІЯ АСУ ТП ДОМЕННОЇ ПЕЧІ

2.1 Модернізація САР системи охолодження доменної печі

Сучасна доменна піч являє собою агрегат, надійність охолодження якого обумовлює можливість нормального його функціонування і тривалість експлуатації. Охолодження конструкцій доменних печей виконує наступні функції:

- оберігає матеріал деталей, які працюють в зонах високих температур, від руйнування і передчасного зносу;
- сприяє утворенню на холодильниках гарнісажу, що оберігає їх від стирання і забезпечує постійний профіль і рівний хід печі;
- сприяє правильному розподілу теплових потоків всередині кладки, яке виключає термічну напругу.

На такому складному і небезпечному тепловому агрегаті, як доменна піч, відсутність контролю будь-якого параметра може стати причиною серйозної аварії, тому при виборі обладнання та програмних засобів пильна увага приділялася надійності обладнання і програмного забезпечення і позитивного досвіду експлуатації в агломераційному і доменному виробництві.

На доменній печі ПАТ «Запоріжсталь» застосовується метод охолодження холодною технічною водою. Він полягає в тому, що вода, проходячи через порожнину охолоджуваної деталі і відбираючи від її стінок тепло, нагрівається до визначеної температури (межі встановлюються для кожної групи холодильників). На охолодження доменної печі витрачається 1,0 ..1,2 м³ води на годину на кожен 1м³ корисного обсягу. Надійне забезпечення водою системи охолодження печі з використанням двох самостійних водопровідних ліній, а також постійний контроль з боку оператора за роботою всієї системи охолодження печі найважливіші умови безаварійної її роботи

Складна система охолодження вимагає постійного контролю і догляду.

Догляд за охолоджувальною системою зводиться до контролю за нормальним постачанням її водою, контролю за температурою води, що відходить від холодильників. Зміні фільтрів, які необхідні для очищення води, яка надходить з охолоджувачів, періодичного промивання холодильників, виявлення пошкоджених охолоджувальних приладів і своєчасної їх заміни, з метою запобігання попадання води у піч. Система контролю повинна регулювати температуру, тиск, витрату і циркуляцію води. Результати спостережень і вимірювань повинні автоматично заноситися в журнал.

Основні недоліки існуючої системи контролю охолодження доменної печі:

- контроль нагрівання води на 2...15 °С здійснюється обслуговуючим персоналом за допомогою ртутного термометра;
- контроль температур здійснюється вручну з великою похибкою;
- відсутня реєстрація температур;
- не контролюється тенденція зміни температур;
- відсутня інтегрована оцінка якості відбору тепла;
- якість контролю повністю залежить від сумлінності виконавців.

Розроблена в кваліфікаційній роботі магістра система контролю охолодження доменної печі дозволяє уникнути перерахованих вище недоліки і реалізувати наступні можливості:

- діагностика метрологічних характеристик системи;
- виконання циклічного опитування датчиків;
- обчислення різниці температур води на вході в систему охолодження і на виході;
- формування попереджуючих і аварійних повідомлень;
- формування бази даних за результатами вимірювань;
- відображення поточних параметрів на цифровому дисплеї щита сигналізації;
- відображення поточних параметрів на моніторі робочої станції оператора АСУТП у вигляді мнемосхеми і гістограмм;

– побудова графіків зміни різниці температур.

Розроблена система являє собою багаторівневу систему на базі PC сумісного комп'ютера (робоча станція технолога), промислового контролера і розподілених шаф управління. Екрани управління САР системи охолодження доменної печі представлені на рис. 2.1 та 2.2.

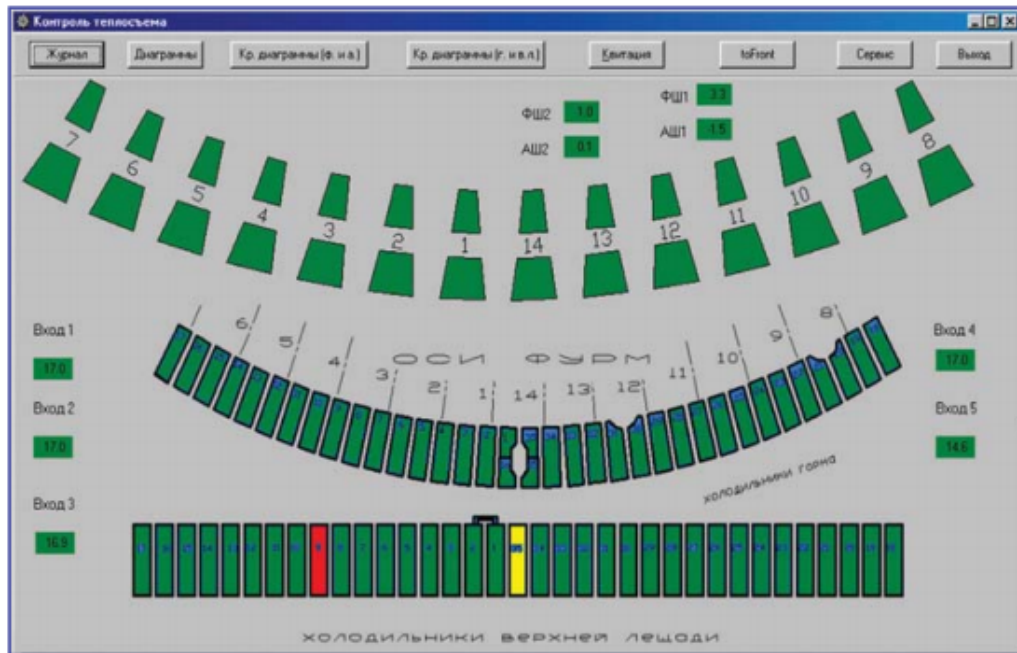


Рисунок 2.1 – Экран управления САР системы охлаждения доменной печи

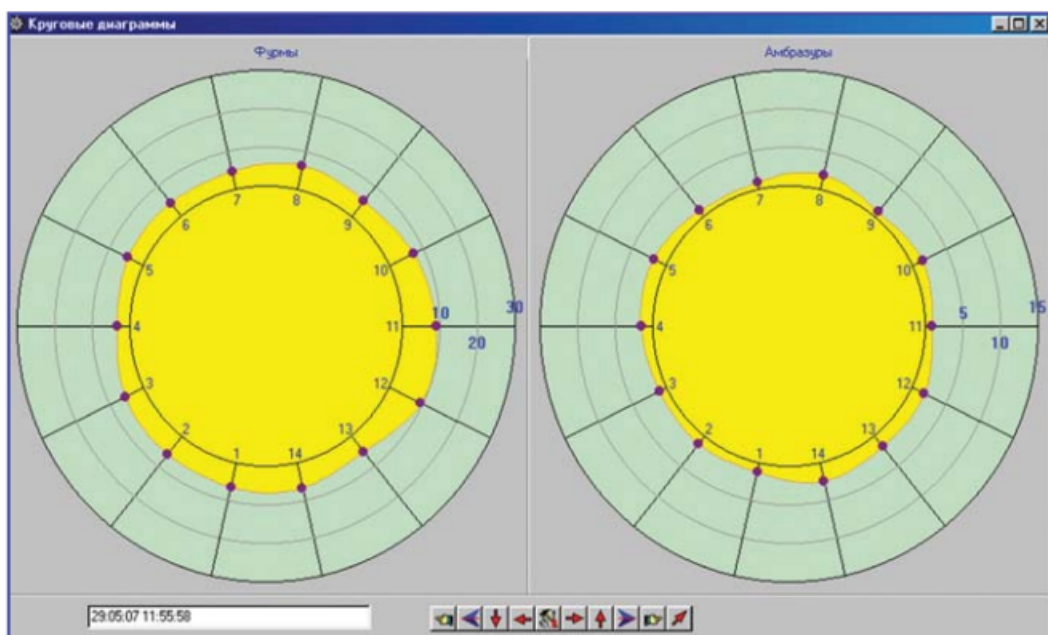


Рисунок 2.2 – Экран отображения круговых диаграмм контроля температуры САР системы охлаждения доменной печи

В системі використовуються наступні пристрої:

- в якості робочої станції оператора АСУТП міні-комп'ютер на основі процесорної плати Vortex86 (ICOP Technology, Тайвань);
- промисловий контролер – процесорна плата ICOP 6015, з допомогою якої здійснюється управління розподіленими модулями зв'язку з первинними перетворювачами;
- модуль перетворювача послідовного інтерфейсу RS232 /RS485 моделі і-7520 (ICP_DAS, Тайвань);
- модулі виведення дискретних сигналів і-7043 для управління комутацією вимірювального каналу;
- модулі вводу аналогових сигналів від датчиків температури і-7033;
- аналогові комутатори PCLD-788 (Advantech, Тайвань) для забезпечення почергового підключення датчиків до аналого-цифрового перетворювача;
- модуль комутації дискретних керуючих сигналів;
- щит сигналізації для індикації та сигналізації;
- первинні вимірювальні перетворювачі стандартні датчики температури і термоопору TCM-1288.

Комутатори і модулі збору інформації встановлені в пило-влаго-непроникній шафі класу захисту IP 54. Зв'язок між модулями розподіленого контролю контролером виконується крученою парою RS485, а передача даних між контролером і робочою станцією по мережі Ethernet.

Після впровадження даної системи очікується значне зменшення, або цілковите усунення випадків аварій, пов'язаних з прогаром холодильника або фурменого приладу.

2.3 Модернізація САР частоти обертання турбокомпресорного агрегату

Інтенсивність і ефективність процесу доменної плавки і якість чавуну істотно залежать від стабільності кількості повітря, що подається турбокомпресорними агрегатами на колошники доменних печей. Ця стабільність забезпечується електрогідравлічною системою автоматичного регулювання (ЕГСР), яка підтримує постійну задану витрату повітря при зміні тиску над колошником шляхом відповідної зміни частоти обертання турбіни.

В існуючій ЕГСР доменної печі ПАТ «Запоріжсталь» зазвичай використовуються традиційні промислові ПД – регулятори. Такі регулятори мають високу чутливість до зміни параметрів системи і не забезпечують відповідного адаптивного самонастроювання коефіцієнтів регулятора.

Існуюча система автоматичного регулювання подачі повітря у домну не забезпечує точності подачі повітря в необхідних межах (2 – 3% від номінального значення). Це призводить до зниження інтенсивності і ефективності процесу плавки, збільшення витрати коксу, погіршення якості чавуну.

З метою підвищення якості електрогідравлічного виконавчого механізму в даній кваліфікаційній роботі магістра запропоновано удосконалену уніфіковану схему електрогідравлічного виконавчого механізму САР частоти обертання турбоагрегату (рис. 2.3), що включає прецизійний електрогідравлічний виконавчий механізм на основі сервомотору високого тиску, здатного безпосередньо, без проміжних механізмів, передавати необхідне робоче зусилля на траверсу з регулюючими клапанами, та компактного пропорційного сервоклапану з високою половою пропускання, що дає можливість забезпечити високу статичну і динамічну точність регулювання і легко інтегрується в мікропроцесорну систему керування.

Для перевірки ефективності сформульованої наукової гіпотези виконано структурно-параметричний синтез прецизійної САР продуктивності турбокомпресорного агрегату, що забезпечує подачу повітря в домну.

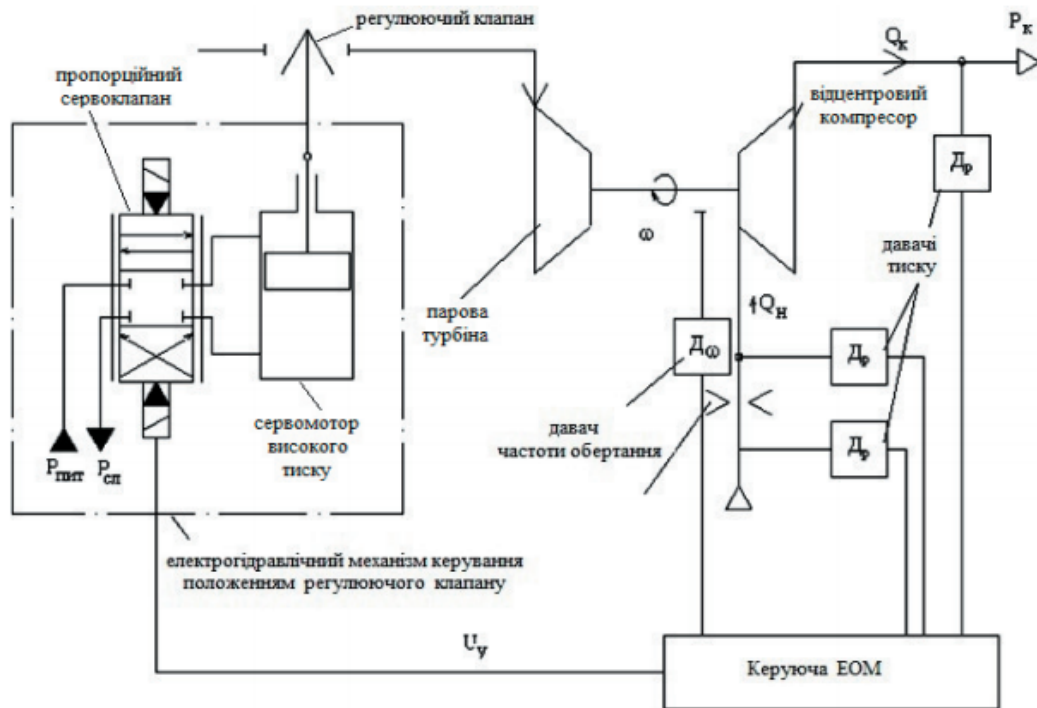


Рисунок 2.3 – Принципова схема електрогідравлічного виконавчого механізму САР частоти обертання турбоагрегату

$$J_{пр} \ddot{\phi} + |M_{ст}| \text{sign} \{\dot{\phi}\} k_{жт} \dot{\phi} + C_{св} (\phi_k - \phi_T) = K_{мпр}^{раб} P_{по} + K_{мп\Sigma} G_{п}^2, \quad (2.1)$$

де ϕ – частота обертання ротора турбокомпресорного агрегату, рад/с;

$M_{кр}$ – обертальний момент на валу компресора Н/м;

P_H, T_H – значення тиску і температури повітря на вході в компресор, Па, К;

P_k, T_k – параметри повітря на виході на виході з компресора, Па, К;

R – газова постійна повітря Дж/кгК;

Z_H и Z_K – коефіцієнти стисливості повітря;

Q_K – об'ємна подача компресора, м³/с;

S_H и S_K – площі перерізів патрубків на вході і на виході з компресора;

C_p – питома теплоємність повітря, Дж/кгК;

ϕ та ϕ_T – кути повороту ротора турбокомпресора і турбіни, рад;

$J_{пр}$ – приведений момент інерції ротора, кгм²;

$M_{ст}$ и $k_{жт}$ – значення моменту сухого тертя і коефіцієнта рідкого тертя в опорах ротора, Н·м, Нм/с;

$C_{св}$ – крутильна жорсткість зв'язку роторів компресора і турбіни, Нм/рад.

$P_{по}$ – тиск пари на вході в соплову решітку турбіни, Па;

G_n^2 – масова витрата пари через турбіну, кг/с.

Математична модель виконавчого механізму ЕГСР представлена передавальною функцією електромеханічного перетворювача сервоклапана:

$$W_{змп}(S) = \frac{X_z(S)}{U_y(S)} = \frac{K_{змп}}{(T_3 S + 1)(T_m^2 S^2 + 2\xi_m T_m S + 1)} \quad (2.2)$$

Для вирішення завдань аналізу і синтезу прецизійних регуляторів розроблено математичні моделі турбокомпресорного агрегату і виконавчого механізму електрогідравлічної системи регулювання подачі повітря. Математичні моделі відцентрового компресору і парової турбіни представлені рівняннями стискання повітря в компресорі та динаміки ротора:

$$\omega M_{кр} = \frac{P_k}{Z_k R T_k f_2(Q_k, \omega)} \left\{ \left(C_p T_n \ln \frac{P_k}{P_n} \right) Q_k + 0,5 \left[\frac{1}{S_k^2} - \left(\frac{P_k}{P_n} \cdot \frac{Z_k}{Z_n} \cdot \frac{T_k}{T_n S_n} \right)^2 \right] Q_k^2 \right\} \quad (2.3)$$

Рівняннями динаміки гідродвигуна (сервомотора):

$$\begin{cases} Q_{rл1} = S_n \frac{dX_n}{d\tau} + C_{rлy} P_{rл1} + C_{rлн} (P_{rл1} - P_{rл2}) + \left(\frac{V_{rл1}}{\chi} + \frac{F_n^2}{C_{он}} \right) \frac{dP_{rл1}}{d\tau}, \\ Q_{rл2} = (S_n - S_{нтр}) \frac{dX_n}{d\tau} + C_{rлy} P_{rл2} + C_{rлн} (P_{rл1} - P_{rл2}) + \\ + \left(\frac{V_{rл2}}{\chi} + \frac{F_{нтр}^2}{C_{он}} \right) \frac{dP_{rл2}}{d\tau}, \\ T_{np}^2 \ddot{X}_n + 2\xi_{np} T_{np} \dot{X}_n + X_n = K_{P_1}^{xn} \Delta P, \\ T_{rл}^2 \ddot{X}_r + 2\xi_{rл} T_{rл} \dot{X}_r + X_r = (K_{P_1}^{xr} P_{rл1} - K_{P_2}^{xr} P_{rл2}) + X_n, \\ T_n^2 \ddot{X}_n + 2\xi_n T_n \dot{X}_n + X_n = K_{xn}^{xn} X_r, \end{cases} \quad (2.4)$$

і рівнянням витрати пари через регулюючий клапан турбіни:

$$Q_{к.л} = K_{QS} \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_{вх}^{к.л} - P_{вых}^{к.л})} X_{см}. \quad (2.5)$$

де $Q_{гд1}$ і $Q_{гд2}$ – витрати робочої рідини через порожнини гідродвигуна, $м^3/с$;

$X_{п}$ – переміщення поршня, м;

$P_{гд1}$ і $P_{гд2}$ – тиски в робочих порожнинах, Па;

$V_{гд1}$, $V_{гд2}$, $S_{п}$, $S_{шт}$ – обсяги та ефективні площі поршневої і штокової порожнин гідродвигуна, відповідно, $м^3$ і $м^2$;

$X_{з}$ – переміщення золотника сервоклапана, м;

U_y – керуюча напруга, В;

$K_{эмп}$ – статичний коефіцієнт посилення сервоклапана, м/В;

$T_э$ та $T_м$ електрична і механічна постійні часу сервоклапана, с;

$X_{д}$ – переміщення гідродвигуна, м;

$P_{гд1}$ та $P_{гд2}$ – тиски в робочих порожнинах гідродвигуна, м;

$T_{д}$, $T_{к}$, $T_{н}$ – постійні часу робочого органу, корпусу гідродвигуна і навантаження, с;

$\xi_{д}$, $\xi_{к}$, $\xi_{н}$ – відповідні коефіцієнти демпфіювання;

$Q_{к.л}$ – об'ємна витрата пари через регулюючий клапан турбіни, $м^3/с$;

$X_{см}$ – переміщення клапана, м;

$P_{вх\ к.л}$ і $P_{вых\ к.л}$ – тиски пари на вході і на виході з регулюючого клапана, Па;

ρ – щільність пари, $кг/м^3$;

K_{QS} – коефіцієнт витрати.

З метою ідентифікації і визначення параметрів розроблених моделей проведено експериментальні дослідження САР продуктивності турбокомпресорного агрегату домни об'ємом $3000\ м^3$. У процесі досліджень вимірювалися частота обертання ротора турбокомпресора, об'ємна

продуктивність і витрата стисненого повітря. Вимірювання швидкості обертання здійснювалося приладами, які входять у комплект багатоканальної автоматизованої системи віброзахисту та діагностики IT12PE виробництва НВП «Вимірювальні технології» (Росія).

Витрата повітря визначалась по вимірюваному перепаду тисків на торцевій діафрагмі з діаметром отвору 1556 мм при перепаді тисків 400 кгс/м^2 і номінальному значенні витрати $320000 \text{ Нм}^3/\text{год}$. Для вимірювання тисків використовувалися давачі тиску типу «Метран 100» мембранного типу, що забезпечують безперервне перетворення вимірюваного тиску у вихідний цифровий сигнал. Межа допустимої основної похибки датчиків «Метран» – від 0,25 до 1%.

Дослідження показали, часи перехідних процесів зміни частоти обертання і продуктивності турбокомпресора становлять близько 30 с; значення постійної, змінної і сумарної похибок регулювання витрати повітря складають, відповідно, 3,5; 6,9 і 10,4%.

Отримані результати дозволили виконати повну ідентифікацію параметрів математичної моделі турбокомпресорного агрегату і виконавчого механізму системи регулювання і, відповідно, використати її для вирішення задачі синтезу прецизійного регулятора подачі повітря. В основу структурно-параметричного синтезу прецизійних регуляторів покладено нову класифікацію загальних структур прецизійних САР, які можуть ефективно використовуватися для структурно-параметричного синтезу конкретних систем управління турбокомпресорних агрегатів.

На основі аналізу результатів попередніх досліджень в області синтезу прецизійних електрогідравлічних САР виділено сегмент найбільш ефективних структур САР, здатних забезпечити високу точність управління, до якої відносяться:

- САР з мультиплікативними регуляторами;
- САР з регуляторами, побудованими на основі рішення зворотних задач динаміки керованих об'єктів;

– САР з еталонними моделями (спостерігачами стану) об'єктів управління. Найбільш ефективні варіанти прецизійних САР можуть бути отримані на основі комбінації наведених вище видів.

З метою підвищення статичної та динамічної точності САР запропоновані:

- ефективна конструкція електрогідравлічного виконавчого механізму, що включає двокаскадний пропорційний електрогідравлічний підсилювач (сервоклапан) і гідроциліндр, шток якого безпосередньо з'єднаний з клапанною траверсою;
- прецизійна система вимірювання об'ємної витрати повітря, що включає мікропроцесорний модуль корекції систематичних похибок і еталонну модель спостерігач (фільтр Калмана), яка обчислює в реальному масштабі часу значення витрати повітря у повітропроводі;
- ефективні алгоритми управління, що забезпечують компенсацію усіх видів статичних і динамічних помилок.

Структурну схему, що відповідає спрощеній математичній моделі, наведено на рис. 2.4.

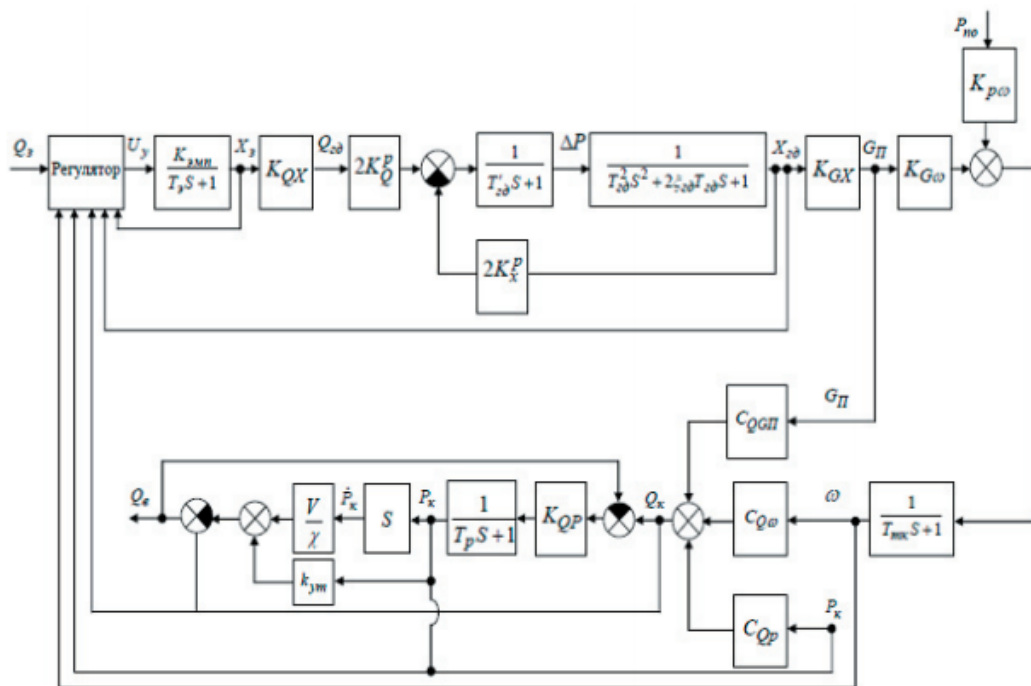


Рисунок 2.4 – Структурна схема турбокомпресорного агрегату

Чисельні значення параметрів структурної схеми ідентифіковані за результатами експериментальних досліджень. При структурному синтезі використано принцип мультиплікативного керування, заснований на побудові автономних контурів управління окремими елементами. Цей принцип дає можливість спрощення структури, параметричного синтезу та настройки параметрів регулятора. Структуру мультиплікативного регулятора наведено на рис. 2.5. Він включає чотири автономні контури керування: положенням золотника сервоклапану, положенням гідродвигуна (сервомотора), частотою обертання турбіни і продуктивністю компресора.

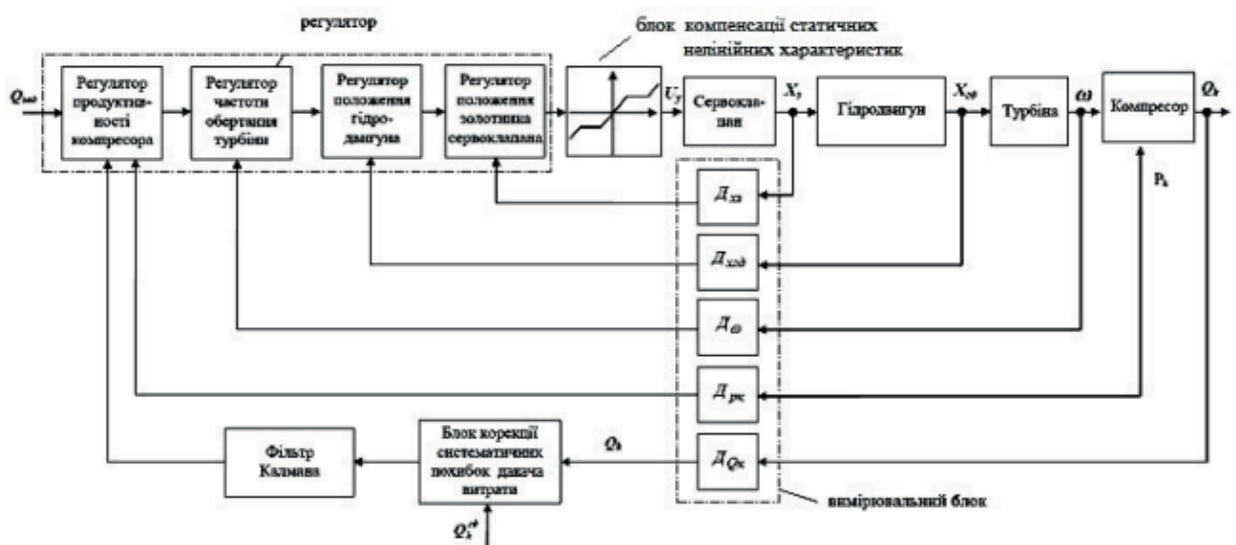


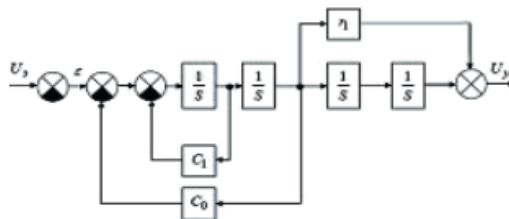
Рисунок 2.5 – Загальна функціональна схема САР продуктивності турбокомпресорного агрегату з прецизійним мультиплікативним регулятором

Вимірювальний блок при цьому включає датчі положення золотника (D_{xz}) і гідродвигуна (D_{xzd}), частоти обертання ротора турбокомпресора (D_{ω}), об'ємної продуктивності компресора (D_{Q_k}) і тиску в напірному повітроводі (D_{pk}). З метою підвищення точності регулювання по основному параметру (витраті повітря) запропоновано електронну систему корекції (компенсації) систематичних похибок вимірювача витрати, яка заснована на порівнянні фактичних показань з прецизійною градуовальною характеристикою і введенні відповідної коригуючої поправки в вимірювальний сигнал. Вимірювання

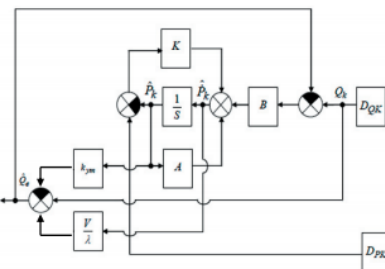
положення, тиску і частоти обертання може здійснюватися з досить високою точністю, а точне вимірювання витрати повітря може становити значну технічну проблему не тільки через систематичні похибки, але і внаслідок шумів і випадкових похибок, обумовлених змінами режиму руху, пульсаціями тиску і утворенням вихрових зон в потоці. З метою відокремлення цих похибок від спектра основного сигналу запропоновано використання у вимірювальній схемі фільтру Калмана – Бюси (спостерігача стану, заснованого на реалізації у мікропроцесорній системі керування у реальному часі еталонної моделі процесу). На основі циклу теоретичних та експериментальних досліджень доведено, що найбільш ефективні алгоритми управління і регулятори для прецизійних САР можуть бути синтезовані на основі рішення зворотних задач динаміки керованого об'єкта. Такі алгоритми забезпечують високу швидкодію систем, надійну компенсацію помилок, обумовлених астатизмом будь-якого порядку, мають уніфіковану і просту в практичній реалізації структуру, є робастними (тобто малочутливими до зміни параметрів об'єкту в процесі експлуатації), здатні забезпечувати ефективне управління з використанням тільки одного вимірюваного сигналу – вихідного регульованого параметра. Виходячи з цього, представляється доцільним синтезувати всі автономні контури загального мультиплікативного регулятора (рис. 2.5) на основі рішення зворотних задач динаміки відповідних елементів. У відповідності зі структурною схемою об'єкта регулювання (рис. 2.4), загальна структура мультиплікативного регулятора (рис. 2.5) включає три контури управління об'єктами першого динамічного порядку (сервоклапан, турбіна і компресор) і один контур управління об'єктом третього динамічного порядку (гідродвигун).

Для компенсації негативного впливу на точність роботи електрогідравлічного виконавчого механізму статичних нелінійних характеристик (позитивних перекриттів золотника, сухого тертя, люфтів, нечутливості) у регуляторі положення сервоклапана використовується блок корекції статичних нелінійних характеристик.

Структурні схеми таких автономних регуляторів наведено на рис. 2.6.



а



б

а – для динамічного об'єкту першого порядку; б – для динамічного об'єкту третього порядку

Рисунок 2.6 – Структурні схеми астатичних регуляторів, побудованих на вирішенні зворотних задач динаміки

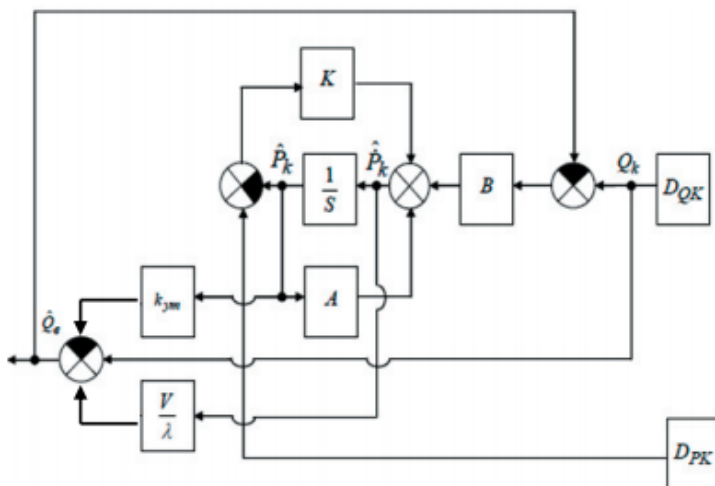


Рисунок 2.7 – Структурна схема еталонної моделі-спостерігача для повітропроводу

Він забезпечує високі значення загального коефіцієнта підсилення в області малих сигналів і «зону стабілізації» (роботу з нульовим коефіцієнтпідсилення) в області переходу до номінального значення

коефіцієнту підсилення з метою збереження стійкості системи (рис. 2.5).

Запропонована структура регулятора забезпечує компенсацію всіх основних видів похибок САР продуктивності турбокомпресора, обумовлених астатизмом і статичними нелінійними характеристиками елементів виконавчого механізму, систематичними і випадковими похибками каналу вимірювання регульованої величини (витрати повітря). Параметричний синтез регуляторів виконувався на основі узагальнених універсальних методик оптимізації, отриманих на основі методів розв'язання зворотних задач динаміки. При цьому за критерій оптимізації приймався мінімум інтегралу від добутку абсолютного значення похибки на час, що забезпечує оптимальне співвідношення статичної та динамічної точності регулювання. На основі цього критерію отримані співвідношення для визначення оптимальних параметрів універсальних регуляторів для об'єктів першого і третього порядків. Виконано:

- аналіз існуючої АСУТП доменної печі на ПАТ «Запоріжсталь»;
- аналіз існуючої САР охолодження доменної печі і турбоагрегатів;
- з метою структурного синтезу прецизійного регулятора розроблено математичну модель турбокомпресорного агрегату, що враховує основні функціональні зв'язки і параметри, визначені всі чисельні значення параметрів розробленої моделі за результатами оціночних розрахунків та ідентифікації експериментальних характеристик;
- з метою спрощення процедури структурного синтезу, практичної реалізації та налагодження запропоновано структуру чотирьохконтурного мультиплікативного регулятора, що включає автономні контури керування положенням золотника сервоклапана, положенням гідродвигуна, частотою обертання турбіни і продуктивністю турбокомпресора. На основі рішення зворотної задачі динаміки об'єкту керування запропоновані уніфіковані структурні схеми алгоритмів керування всіма виділеними автономними контурами;

– для оцінки вільної від випадкових збурень складової вимірювального сигналу витрати повітря в повітропроводі виконано структурно-параметричний синтез фільтра Калмана (еталонної моделі-спостерігача);

– з метою підвищення точності вимірювання витрати повітря запропоновано запатентований спосіб компенсації систематичних похибок давача шляхом порівняння в електронному мікропроцесорному блоці фактичних значень витрати зі значеннями еталонної градуювальної характеристики;

– запропоновано запатентований спосіб компенсації похибок САР, обумовлених статичними нелінійними характеристиками виконавчого механізму (нечутливість, сухе тертя, люфти), шляхом використання в контурі управління змінного коефіцієнта підсилення з «горизонтальною зоною стабілізації»;

– запропоновано уніфіковані структурні схеми прецизійних регуляторів для САР продуктивності турбокомпресорного агрегату, що забезпечують компенсацію всіх основних видів статичних і динамічних похибок;

– параметричний синтез запропонованих уніфікованих регуляторів, отримані універсальні матричні співвідношення для визначення оптимальних параметрів за критерієм мінімуму інтеграла від добутку абсолютного значення помилки на час.

3 РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНО-МОДУЛЮЮЧОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ РЕЖИМАМИ ВИПЛАВКИ

3.1 Структура АСУ ТП доменної плавки

Сучасні АСУ ТП доменної плавки це складні системи, що розрізняються за структурою, призначенням, цілям і технічними особливостям реалізації, мають ієрархічну, багаторівневу, відкриту, розподілену структуру [19, 20]. Кожен рівень відрізняється своїми функціями, характеристиками і моделями, що використовуються, програмно-апаратними засобами.

Автоматизований технологічний комплекс доменної печі, як об'єкт контролю і управління характеризується наступними ознаками:

- великим обсягом контрольованих змінних і розрахункових параметрів;
- низькою прозорістю процесу, через відсутність можливості безпосереднього контролю розвитку окремих стадій процесу виплавки чавуну;
- істотним запізненням в отриманні інформації про вихідні показники процесу (продукти плавки), в зв'язку з чим, результати безпосереднього контролю часто не дозволяють визначати першопричину розладу ходу печі;
- глибоким взаємозв'язком всіх процесів плавки в умовах обмежених ресурсів на управління;
- наявністю випадкових вимірювальних перешкод різної природи і характеру, що знижує якість інформації.

Структура АСУТП:

- перший, нижній рівень. Інструментальна система на базі КВПіА, являє собою набір датчиків, виконавчих механізмів та інших пристроїв, призначених для збору первинної інформації та реалізації керуючих впливів, цей рівень називається I/O (Input / Output);
- другий рівень. Control Level – просте управління (базова автоматизація). Рівень призначений для безпосереднього управління виробничим процесом з

допомогою різних пристроїв зв'язку з об'єктом (УСО), програмованих логічних контролерів (PLC – Programmable Logic Controller);

– третій рівень. Супервізорна система, SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition – буквально збір даних і диспетчерське управління). На рівні SCADA Level здійснюються диспетчеризація систем збору даних і оперативне управління технологічним процесом, приймаються тактичні рішення, перш за все, спрямовані на досягнення стабільності процесу;

– четвертий рівень. Підсистема управління комплексом доменних печей. Рівень MES (Manufacturing Execution Systems – або системи управління технологіями, виконання виробництва). Цей рівень виконує впорядковану обробку та зберігання інформації про хід процесів в різних доменних печей цеху, забезпечує управління комплексом доменних печей (цеху в цілому), а також є джерелом необхідної інформації в реальному часі для більш високого, найвищого рівня управління. Даний рівень характеризується необхідністю вирішення завдань оперативної впорядкованості первинної інформації з цеху і передачі цієї інформації на верхній рівень планування ресурсів всього підприємства.

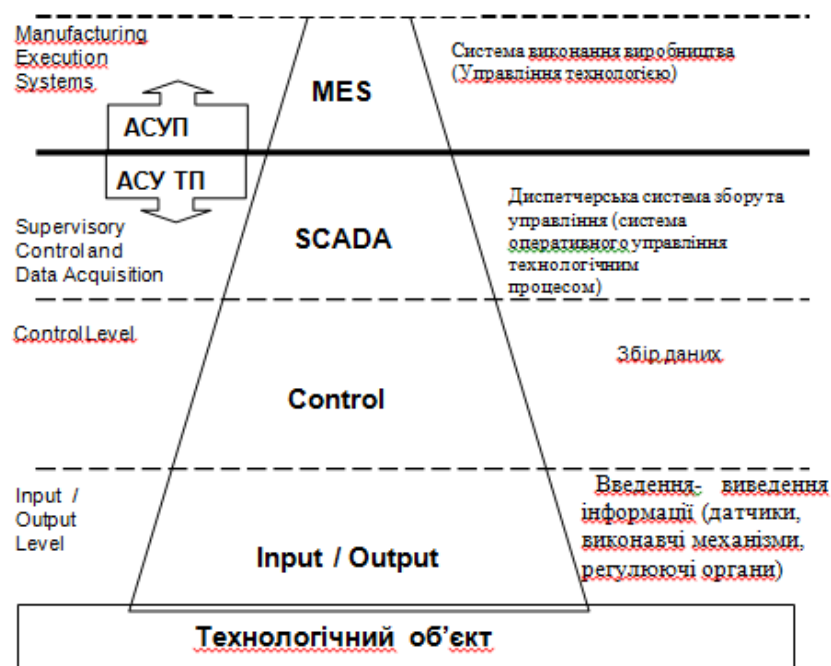


Рисунок 3.1 – Рівні автоматизованої інформаційної системи

Вирішення цих завдань на даному рівні управління забезпечує оптимізацію управління ресурсами цеху, як єдиного організаційно-технологічного комплексу за завданнями, що надходять з верхнього рівня, і при оперативному обліку поточних параметрів, що визначають стан об'єкта управління.

Кінцевою метою розробки системи управління комплексом доменних печей є створення системи управління, що забезпечує нормальну роботу виробництва в цілому при мінімальній собівартості продукції з урахуванням обмежень, зумовлених вимогами технології і можливостями обладнання. В області управління доменним процесом сьогодні необхідно на основі розробки засобів отримання об'єктивної інформації про параметри технологічного процесу і наявних можливостей використання коштів інтелектуального забезпечення максимально наблизити управління доменним виробництвом до автоматизованого.

Системи підтримки прийняття рішень комп'ютерних інформаційних систем, що допомагають оператору АСУТП в прийнятті рішень при наявності погано структурованих задач за допомогою прямого діалогу з комп'ютером з використанням даних і математичних моделей.

3.2 Функціональна модель автоматизованої інформаційної системи аналізу і прогнозування виробничих ситуацій

Функціональна модель інформаційної системи аналізу та прогнозування виробничих ситуацій доменного цеху (АІС АППС ДЦ) розроблена з урахуванням вимог інженерно-технологічного персоналу.

Виходячи з аналізу вимог і функціональних можливостей системи, її структуру можна розділити на ряд основних підсистем (відповідно до рис. 3.2).

– збір, первинна обробка та зберігання даних. Основною функцією

підсистеми є заповнення бази даних вихідними даними, необхідними для успішного функціонування АІС АППС ДЦ;

– візуалізація даних про роботу доменних печей і цеху в цілому, забезпечує побудову графічних трендів за вказаними параметрами в будь-якій комбінації за вибраний часовий період;

– формування технічного звіту про роботу доменних печей і цеху, підсистема призначена для формування технічного звіту про роботу печей і цеху в цілому за задані періоди роботи печей і цеху;

– порівняльний аналіз роботи доменних печей і цеху, забезпечує можливість порівняння роботи цеху або печі по комплексу обраних параметрів за заданий часовий період;

– модельна підтримка прийняття рішень, прогнозування технологічних ситуацій і діагностика роботи доменних печей.

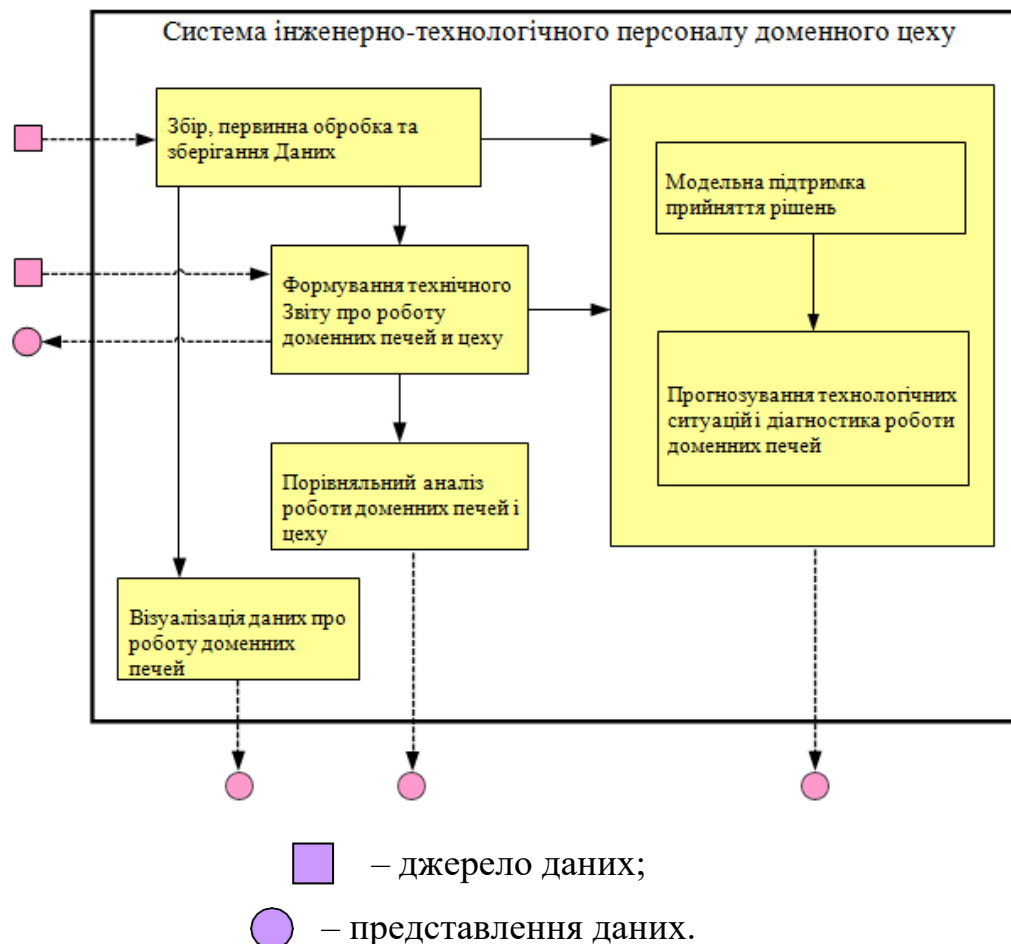


Рисунок 3.2 – Функціональна структура системи

В основу реалізації підсистеми покладені алгоритми розрахунку з використанням математичних моделей доменного процесу для обраного користувачем періоду роботи окремих печей або цеху в цілому.

Аналіз доменного процесу дозволяє констатувати, що підсистема модельної підтримки прийняття рішень аналізу і прогнозу роботи доменного цеху повинна включати наступні взаємопов'язані підсистеми нижчого рівня декомпозиції:

- розрахунку балансів елементів;
- шлакового режиму;
- газодинамічного режиму;
- теплового режиму;
- діагностики ходу доменної плавки.

Зазначені підсистеми охоплюють основні явища, властиві доменному процесу. Кожна з цих підсистем взаємодіє з іншими блоками, підсистемами і зовнішнім середовищем. Наступним етапом розробки після створення структури АІС АППС ДЦ є процес функціонального моделювання системи. В основу методу, використовуваного при проектуванні автоматизованої інформаційної системи аналізу та прогнозування виробничих ситуацій доменного цеху, покладені ідеї і нотації методики структурного аналізу і проектування IDEF0 [20]. Методологія IDEF0 є розвитком добре відомої графічної мови опису функціональних систем SADT (Structural Analysis and Design Technique), запропонованої Дугласом Россом.

Використання цієї методики дозволило змодельовати функціональну структуру програмного комплексу, виявити вироблені їм дії і зв'язку між цими діями, що управляють і механізми виконання кожної функції, що, в кінцевому підсумку, дозволило на ранній стадії проектування запобігти можливим помилкам.

Верхній (перший) рівень функціональної моделі АІС інженерно-технологічного персоналу доменного цеху.

На першому рівні функціональної моделі виділені два основних потоки вхідної інформації в систему: дані з систем АСУ ТП і корпоративної інформаційної системи (КІС), а також звітні документи по виробництву. Конкретизація вхідних даних представлена на наступних етапах декомпозиції системи.

Інтерфейс управління можна розбити на чотири логічних блоків:

- сукупність документів (технологічних інструкцій, керівництв користувачів);
- нормативно-довідкової інформації (НДІ);
- вимог користувачів;
- опис математичних моделей і алгоритмів, на основі яких проведена розробка програмного забезпечення з аналізу та прогнозування роботи доменних печей і цеху.

Зауважимо, що під документами розуміється інструкції ведення технологічних процесів, існуючих на підприємстві та затверджених в якості стандарту підприємства і керівництва користувачів для роботи з автоматизованими робочими місцями.

3.3 Розробка структури системи збору, первинної обробки і зберігання даних

Центральним ланкою АІС АППС ДЦ є структура зберігання даних, яка формується на сервері бази даних інформаційно-обчислювального центру аглодоменного виробництва (ІОЦ ДЦ). Джерелами її наповнення є апаратно-програмне забезпечення АСУ доменного цеху, корпоративної інформаційної системи (КІС) і центральної диспетчерської комбінату (КДК). Залежно від вимог окремих підсистем можливо реалізувати різні періоди усереднення даних в базі за допомогою механізмів СУБД. На рис. 3.3 продемонстрована структура підсистеми, в якій виділені основні компоненти для її програмної реалізації.

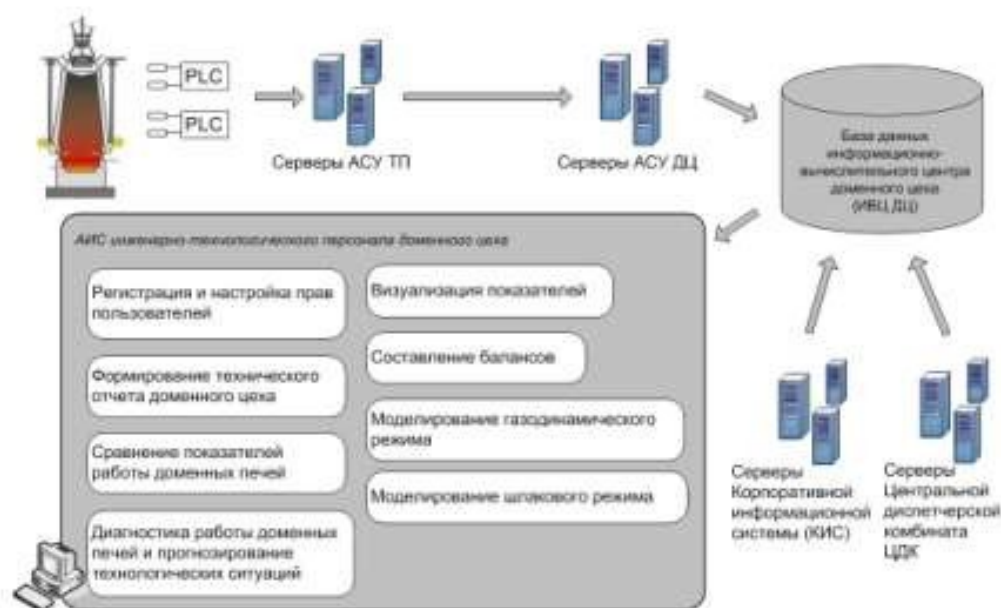


Рисунок 3.3 – Структурна схема підсистеми збору, первинної обробки та зберігання даних АІС АППС ДЦ

Наприклад, для підсистеми візуалізації показників мінімальним періодом усереднення показників роботи є середньозмінна величина, а для підсистеми формування технічного звіту необхідно представлення даних за календарний місяць або за період з початку року до довільно обраного місяця.

Представлена на рис. 3.3 структурна схема забезпечує задану функціональність, виконання вимог предметної області, відносно просте розширення і зміну системи, можливість автономної реалізації окремих програмних модулів і їх незалежність від структури зберігання даних.

Вимоги до структури БД. Схема бази даних повинна відповідати таким вимогам:

- абстрактність даних, що в ній міститься, тобто при додаванні нових параметрів структура бази даних не повинна змінитися;
- схема БД повинна бути приведена до третьої нормальної форми, тобто не містити надлишкових даних і мати чітко певні зв'язки між даними;
- містити обмеження на введення і коригування логічно невірних значень;

– мати зв'язок між відносинами, які відображають предметну область.

Необхідно відзначити, що хоча нормалізована за всіма правилами база даних забезпечує високу продуктивність і гнучкість для оперативних транзакційних баз даних, існує ряд ситуацій, в яких може виникнути необхідність в денормалізації сутностей і таблиць з міркувань продуктивності.

У базі даних повинна бути передбачена можливість відстеження всіх змін даних в робочих таблицях. Заповнення відомостей про користувачів і комп'ютерах, з яких ведеться робота з системою, має здійснюватися через довідники.

Структура бази даних підсистеми збору, первинної обробки та зберігання даних. Аналіз вимог до функціональності системи, що розробляється і існуючого на комбінаті інформаційного забезпечення корпоративної бази даних дозволив сформулювати структурну схему підсистеми АІС АППС ДЦ, яка відобразатиме можливості проведення збору, первинної обробки та зберігання даних для кожної окремої підсистеми. В ході цього процесу надані порівняно незалежні інформаційні блоки, що моделюють окремі аспекти доменного виробництва (рис. 3.4).

Виділені блоки дозволяють використовувати теми, збережені в них дані одночасно в різних підсистемах. Центральною ланкою є структура бази даних, яка розташовується на сервері ІОЦ ДЦ в корпоративній мережі комбінату. Етапи розробки зовнішніх моделей бази даних будуть розглянуті далі при описі процесів проектування і реалізації окремих підсистем АІС АППС ДЦ.

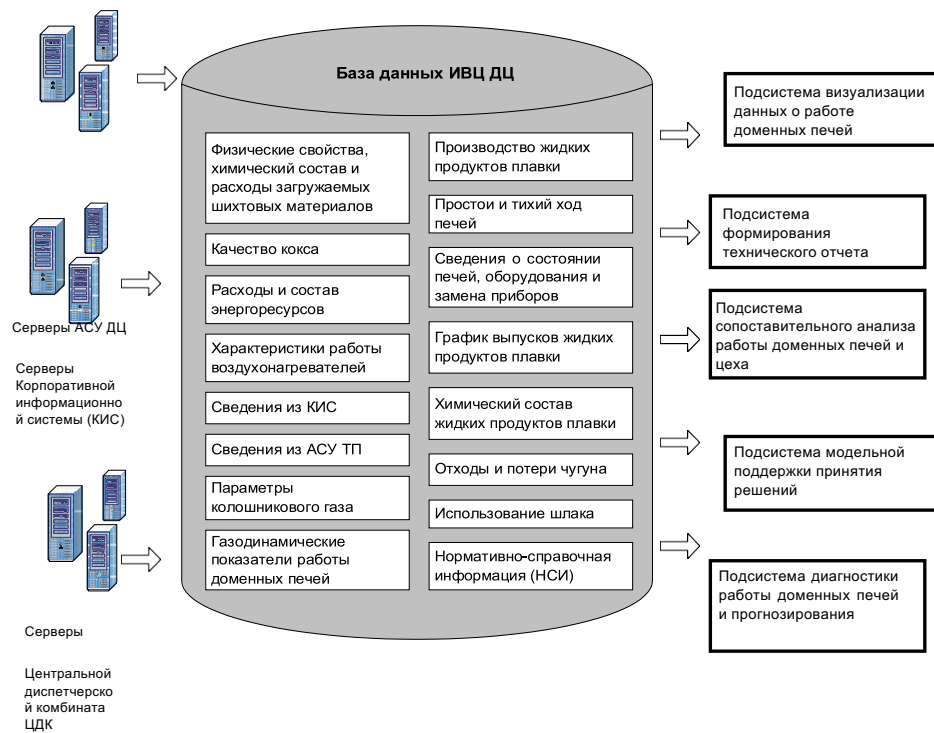


Рис. 3.4 – Узагальненняя структура бази даних АІС АППС ДЦ

3.4 Розробка структури підсистем модельної підтримки прийняття рішень, діагностики роботи доменних печей і прогнозування технологічних ситуацій

Підсистема модельної підтримки прийняття рішень, діагностики роботи доменних печей і прогнозування технологічних ситуацій включає в себе наступні блоки:

- розрахунку балансів (матеріального, теплового, окремих елементів);
- діагностики теплового, шлакового і газодинамічного режимів роботи доменних печей і прогнозування технологічних ситуацій.
- Підсистема розрахунку балансів доменної плавки включає в себе:
 - матеріальний баланс;
 - тепловий баланс;
 - баланс окремих елементів (Fe, S, Zn, Cr, V, Ti, CaO і лугів).

Слід зазначити, що математичне і алгоритмічне забезпечення модулів розрахунку матеріального і теплового балансів доменної плавки розроблені в УГТУ-УПІ раніше [16,19].

Структура підсистеми розрахунку балансів окремих елементів умовно відображена на рис. 3. 5. Ця підсистема дозволяє визначити питомі маси приходу і витрати Fe, S, Zn, Cr, V, Ti, CaO і лугів. Вхідними даними для підсистеми є дуттьові параметри, фізичні властивості, хімічний склад і витрати завантажуються шихтових матеріалів і параметри рідких продуктів плавки.

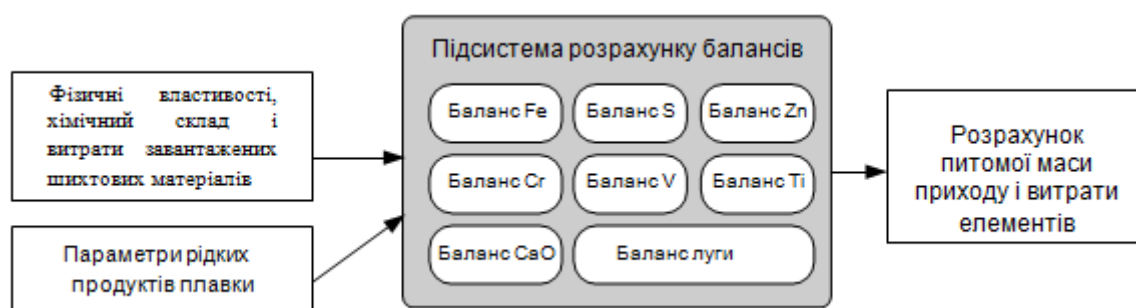


Рисунок 3.5 – Структура підсистеми розрахунку балансів доменної плавки

Основний принцип, покладений в основу підсистеми діагностики теплового, шлакового і газодинамічного режимів роботи доменних печей і прогнозування технологічних ситуацій, принцип – натурно-математичного моделювання [9,16,19]. Модель умовно можна розділити на дві частини – модель базового стану і що прогнозує модель.

Модель базового (еталонного) стану дозволяє оцінювати стан процесу за фактичними середніми показниками за базовий (еталонний) період роботи печі.

Базовий період (аналог-стандарт) – служить базою порівняння при аналізі і узагальненні фактичних показників роботи окремих доменних печей і заводів.

Інформація про базовий період необхідна для адаптації математичної моделі до реальних умов роботи печі і налаштування моделі. При цьому

використовується фактично доступна інформація про роботу печі: параметри шихти, комбінованого дуття, колошникового газу і продуктів плавки і ін. Прогнозуюча модель з використанням результатів, отриманих за допомогою моделі базового (еталонного) стану, дозволяє оцінити показники доменного процесу в разі зміни видів і властивостей залізородної сировини, флюсів, дуттєвих параметрів.

Таким чином, проектний період – період роботи печі при планованих при зміні складу і властивостей шихтових матеріалів, але не реалізованих умовах. Для вирішення завдань вибору оптимального складу доменної (агломераційної) шихти), підбору дуттєвих параметрів, оцінки газодинамічного і шлакового режимів доменної плавки вводяться плановані параметри шихтових матеріалів і дуттєвих параметрів.

Використаний принцип дозволив побудувати математичну модель доменного процесу, призначену для вирішення сформульованих вище завдань. Модель володіє властивостями адаптованості структури обчислень до конкретної технологічної задачі з урахуванням існуючої системи збору інформації та помехозащищенністю, тобто можливість отримання достовірних оцінок прогнозного зміни параметрів роботи печі по зашумленій інформації.

Необхідність блоку «Налаштування» в структурі моделі, що включає підсистеми «Нормативно-довідкова інформація»; «Коректувальні коефіцієнти»; «Налаштування діагностики» обумовлена вимогами настройки моделі на конкретні умови функціонування системи.

Розгорнута структура моделі, заснована на принципі натурно-модельного підходу, представлена на рис. 3.6.

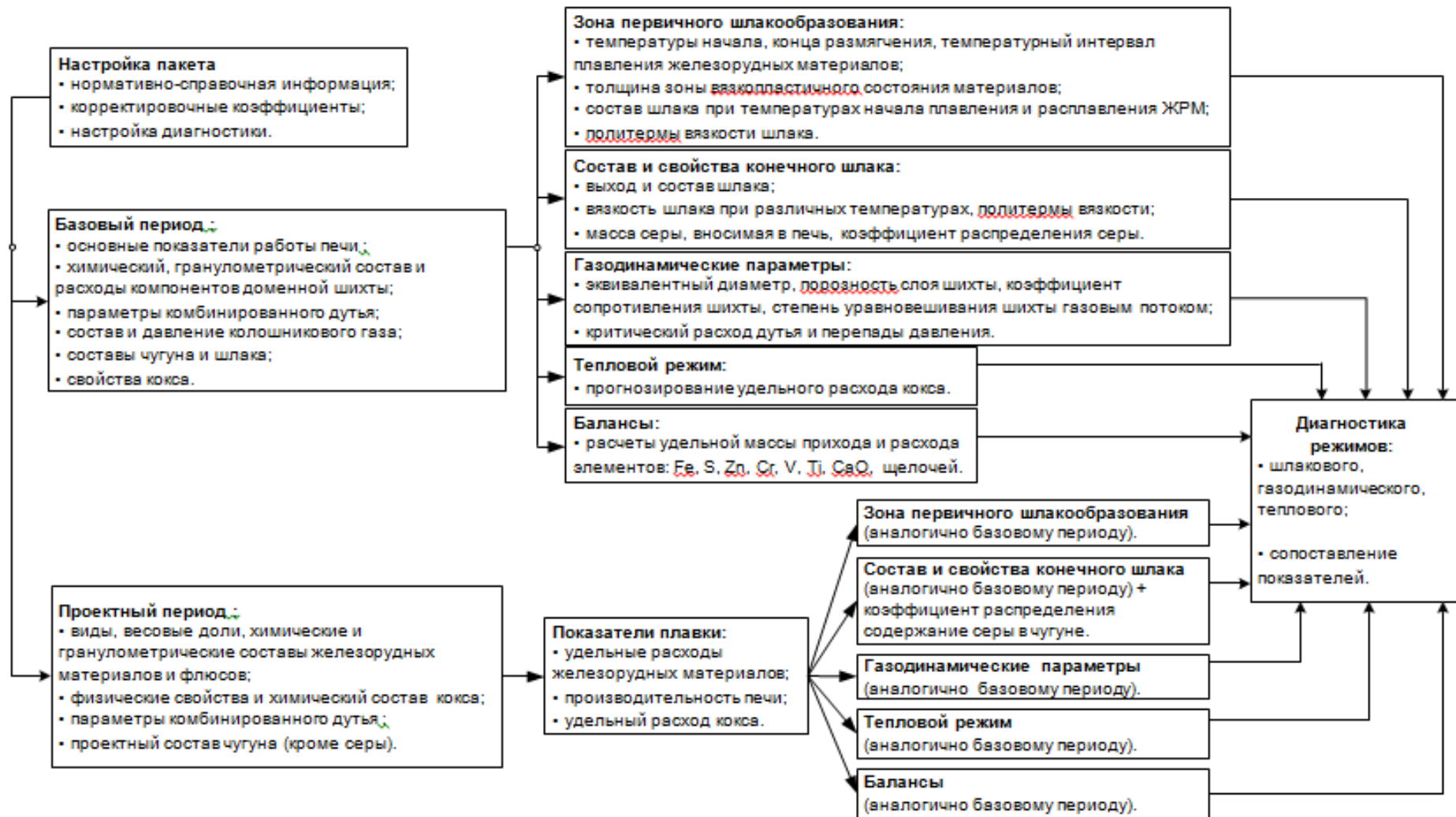


Рисунок 3.6 – Структура підсистеми моделювання доменної плавки

3.6 Розробка математичної моделі системи аналізу і прогнозування виробничих ситуацій

Аналіз нелінійності доменного процесу показав, що при вирішенні задач оптимального розподілу паливно-енергетичних ресурсів, в силу відносно невеликого відхилення параметрів від базового стану, досить використовувати лінеаризовані залежності [16,19 – 21].

Оптимізаційна модель в загальному випадку зводиться до наступного.

Цільова функція:

$$Z = \sum_{i=1}^n \{ \alpha (e_i C_k - C_{\text{пг}}) + (1 - \alpha) C_{\text{п}} [\Delta \Pi_i^{\text{пг}} - e_i \Delta \Pi_i^{\text{к}}] \} V_i^{\text{пг}} \rightarrow \max_{V_i^{\text{пг}}} \quad (3.1)$$

де Z – ефективність використання природного газу по цеху, грн./год;

n – число печей в розглянутій групі (цеху);

α – ваговий коефіцієнт, $0 < \alpha \leq 1$;

e_i – еквівалент заміни коксу, кг коксу/м³ природного газу;

C_k – вартість коксу, руб. /кг коксу;

$C_{\text{п}}$ – умовно-постійний коефіцієнт, грн. /т чавуну;

$\Pi_i^{\text{пг}}$ – зміна продуктивності, т чавуну /м³ природного газу;

$\Pi_i^{\text{к}}$ – зміна продуктивності печі, т чавуну/кг коксу;

$V_i^{\text{пг}}$ – витрата природного газу, м³/год.

За витратою природного газу:

$$\sum_{i=1}^n V_i^{\text{пг}} \leq V_{\text{пг}}^{\Sigma} \quad (3.2)$$

де $V_{\text{пг}}^{\Sigma}$ – ресурс цеха по природному газу, м³/год.

По витратою коксу:

$$\sum_{i=1}^n \{K_{0i} + 0,001(V_{i0}^{m} - V_{i0}^{k}) \epsilon_i\} \leq K_{\Sigma}, \quad (3.3)$$

де K_{0i} – витрата коксу на піч, т/год;

K – резерв по коксу цеху, т/год;

V_{i0}^{m} – витрата природного газу на піч в базовому періоді, м³/год.

По об'єму виробництва чавуну:

$$\sum_{i=1}^n \{(V_{i0}^{m} - V_{i0}^{k}) \Delta\Pi_{i0}^{m} - \epsilon_i (V_{i0}^{m} - V_{i0}^{k}) \Delta\Pi_{i0}^{k} + \Pi_{i0}\} \geq \Pi_{\Sigma}, \quad (3.4)$$

де Π_{Σ} – необхідна виробництво чавуну в цеху, т/год;

Π_{i0} – продуктивність i -й печі, т/год.

Таким чином, в найзагальнішому вигляді постановка задачі оптимізації в доменному цеху передбачає врахування наступних обмежень на роботу цеху:

- обсяг виділеного цеху природного газу $V_{m\Sigma}$;
- планове (необхідну) виробництво чавуну Π_{Σ} ;
- наявні в розпорядженні цеху ресурси по витраті коксу K_{Σ} .

У процесі виконання завдання можлива ситуація, коли цех не може повністю або частково ефективно використовувати всі зазначені ресурси, тоді частина (або навіть всі) обмежень, зазначених вище, можуть виявитися

несуттєвими і вони могли б не враховуватися в процесі вирішення. Однак це не очевидно і стає зрозумілим тільки після виконання процедури вирішення.

Технологічні обмеження на кожну з печей цеху.

При виборі основних обмежень на тепловий стан доменної печі використовувалися фізичне обґрунтування та класифікація факторів, що лімітують при інжекції палив в доменні печі, представлені в роботах Б.І. Китаєва та його учнів [11,16,19].

У загальному випадку технологічні умови, що обмежують застосування природного газу, зводяться до наступного:

- забезпечення достатньої кількості тепла в нижній і верхній щаблях теплообміну;
- забезпечення повної конверсії природного газу в районі фурмених вогнищ;
- стабілізація газодинамічного режиму шару шихтових матеріалів;
- забезпечення високого ступеня використання відновного потенціалу монооксиду вуглецю і водню;
- отримання чавуну необхідного хімічного складу з допустимим вмістом в ньому сірки.

Як параметри, що характеризують тепловий стан печі, прийняті:

- узагальнений показник теплового стану низу печі (індекс низу):

$$Q_{ні}^{min} \leq \{ (V_i^{III} - V_{i0}^{III}) \Delta Q_{ін}^{III} - e_i (V_i^{III} - V_{i0}^{III}) \Delta Q_{ін}^K + [\Delta \Pi_i^{III} (V_i^{III} - V_{i0}^{III}) - e_i (V_i^{III} - V_{i0}^{III}) \Delta \Pi_i^K] \Delta Q_{ін}^II + Q_{ін0} \} \leq Q_{ні}^{max}, \quad (3.5)$$

де $Q_{ніmin}$ – мінімально допустиме значення індексу низу, МДж/т чавуну;

$Q_{інII}$ – приріст теплового стану низу печі при збільшенні витрати природного газу на м³/ч, тобто МДж/т чавуну/(м³/год);

$Q_{інK}$ – приріст теплового стану низу печі при збільшенні витрати коксу на кг коксу/год, тобто МДж/т чавуну/(кг коксу/ч);

$Q_{\text{инп}}$ – приріст теплового стану низу печі при збільшенні потужності печі на т / год, тобто МДж /т чавуну/(т чавуну/год);

$Q_{\text{ин0}}$ – індекс теплового стану низу печі в базовому режимі, МДж/т чавуну;

$Q_{\text{инmax}}$ – максимально допустиме значення індексу низу печі, МДж/т чавуну.

– теоретична температура горіння на фурмах:

$$T_i^{\text{min}} \leq (V_i^{\text{гр}} - V_{i0}^{\text{гр}}) \Delta T_i^{\text{гр}} + T_i^0 \leq T_i^{\text{max}}, \quad (3.6)$$

де i_{min} , i_{max} – мінімально і максимально допустимі значення теоретичних температур горіння, °С;

$i_{\text{гр}}$ – зміна теоретичної температури горіння при збільшенні витрати природного газу на печі на м³/ч, тобто °С/(м³/год);

T_i^0 – теоретична температура горіння на і-й печі в базовому періоді, °С;

– вміст кремнію в чавуні:

$$Si_i^{\text{min}} \leq (V_i^{\text{гр}} - V_{i0}^{\text{гр}}) \Delta Si_i^{\text{гр}} - e_i (V_i^{\text{гр}} - V_{i0}^{\text{гр}}) \Delta Si_i^{\text{к}} + [\Delta \Pi_i^{\text{гр}} (V_i^{\text{гр}} - V_{i0}^{\text{гр}}) - e_i (V_i^{\text{гр}} - V_{i0}^{\text{гр}}) \Delta \Pi_i^{\text{к}}] \Delta Si_i^{\text{п}} + Si_{i0} \leq Si_i^{\text{max}}, \quad (3.7)$$

де $S_{i\text{min}}$, $S_{i\text{max}}$ – мінімально і максимально допустимі вмісту кремнію в чавуні, %;

$S_{i\text{гр}}$ – приріст вмісту кремнію в чавуні (у відсотках) при збільшенні витрати природного газу на м³/ч;

$S_{i\text{к}}$ – приріст вмісту кремнію в чавуні (у відсотках) при збільшенні витрати коксу на кг/год;

$S_{i\text{п}}$ – приріст вмісту кремнію в чавуні (у відсотках) при збільшенні продуктивності печі на т/год;

S_{i0} – вміст кремнію в чавуні в базовому періоді, %;

– відношення теплоємностей потоків шихти і газу в верхньому щаблі теплообміну:

$$m_i^{\min} \leq (V_i^{\text{nr}} - V_{i0}^{\text{nr}}) \Delta m_i^{\text{nr}} - e_i (V_i^{\text{nr}} - V_{i0}^{\text{nr}}) \Delta m_i^{\text{k}} + [\Delta \Pi_i^{\text{nr}} (V_i^{\text{nr}} - V_{i0}^{\text{nr}}) - e_i (V_i^{\text{nr}} - V_{i0}^{\text{nr}}) \Delta \Pi_i^{\text{k}}] \Delta m_i^{\text{n}} + m_{i0} \leq m_i^{\max}, \quad (3.8)$$

де $m_{i\min}$, $m_{i\max}$ – мінімально і максимально допустимі значення відносини теплоємностей потоків;

$m_{i\text{nr}}$ – зміна ставлення теплоємностей потоків при збільшенні витрати природного газу на $\text{м}^3/\text{ч}$;

$m_{i\text{k}}$ – зміна ставлення теплоємностей потоків при збільшенні витрати коксу на $\text{кг}/\text{год}$;

$m_{i\text{n}}$ – зміна ставлення теплоємностей потоків при збільшенні продуктивності печі на $\text{т}/\text{год}$;

m_{i0} – відношення теплоємностей потоків на печі в базовому режимі;

Облік повноти конверсії природного газу та газодинамічного режиму доменної плавки зводиться до наступного:

– прямі обмеження на витрату природного газу на кожну з печей цеху:

$$V_{i\min}^{\text{nr}} \leq V_i^{\text{nr}} \leq V_{i\max}^{\text{nr}},$$

де $V_{i\text{nr}}$, $V_{i\text{nr}}$ – відповідно мінімально та максимально допустимі витрати природного газу, $\text{м}^3/\text{год}$;

– ступінь врівноваження шихти:

$$C_{y_i}^{\min} \leq (V_i^{\text{nr}} - V_{i0}^{\text{nr}}) \Delta C_{y_i}^{\text{nr}} - e_i (V_i^{\text{nr}} - V_{i0}^{\text{nr}}) \Delta C_{y_i}^{\text{k}} + C_{y_{i0}} \leq C_{y_i}^{\max}, \quad (3.9)$$

де $C_{y_i}^{\min}$, $C_{y_i}^{\max}$ – відповідно мінімально та максимально допустимі ступеня урівноваження шихти;

$C_{yi}^{пр}$ – зміна ступеня урівноваження шихти при збільшенні витрати природного газу на м³/ч;

$C_{yi}^{до}$ – зміна ступеня урівноваження шихти при збільшенні витрати коксу на кг/год;

C_{yi}^0 – ступінь врівноваження шихти в базовому періоді;

– якість виплавленого чавуну оцінюється за вмістом сірки в чавуні:

$$S_i^{\min} \leq (V_i^{пр} - V_{i0}^{пр}) \Delta S_i^{пр} - e_i (V_i^{пр} - V_{i0}^{пр}) \Delta S_i^k + [\Delta \Pi_i^{пр} (V_i^{пр} - V_{i0}^{пр}) - e_i (V_i^{пр} - V_{i0}^{пр}) \Delta \Pi_i^k] \Delta S_i^п + S_{i0} \leq S_i^{\max}, \quad (3.10)$$

де S_i^{\min} , S_i^{\max} – відповідно мінімально та максимально допустимі вмісту сірки в чавуні, %;

$S_i^{пр}$ – приріст вмісту сірки в чавуні (у відсотках) при збільшенні витрати природного газу на м³/ч;

S_{ik} – приріст вмісту сірки в чавуні (у відсотках) при збільшенні витрати коксу на кг/год;

$S_i^п$ – приріст вмісту сірки в чавуні (у відсотках) при збільшенні продуктивності печі на т/год;

S_{i0} – вміст сірки в чавуні на даній печі в базовому періоді, %.

Отже, на відміну від відомих робіт, в даній постановці в значно більшому ступені враховані обмеження по тепловій роботі «верху» (m) і «низу» (Q_n) печі, хімічному нагріванню (вміст в чавуні S_i), якості чавуну (вміст в чавуні S), газодинамічних характеристик роботи печі (C_y). При цьому гранично допустимі значення величин, тобто чисельні значення параметрів визначаються методом експертних оцінок, що дозволяє здійснювати настройку моделі на реальний процес шляхом формалізації досвіду інженерно-технічного і технологічного персоналу.

В математичному плані вирішення завдань оптимального розподілу технологічного кисню і природного газу не викликає ускладнень, оскільки

сьогодні є багатий вибір інструментальних засобів вирішення задач лінійного математичного програмування (системи MS Excel, MatLAB, Visual Fortran, MathCAD, Mathematica і інші).

Розроблена модель дозволяє вирішувати завдання оптимального розподілу витрат природного газу в наступних технологічних ситуаціях:

- при збереженні обсягу ресурсів по витраті природного газу для цеху в цілому на постійному рівні;
- при зміні обсягу ресурсів по витраті природного газу для цеху в цілому;
- для визначення максимального обсягу ресурсів комбінованого дуття, яке може використовувати комплекс доменних печей;
- при зміні ресурсу за обсягом коксу, наявного в розпорядженні цеху;
- при зміні вимог завдання на обсяг виплавленого чавуну комплексом доменних печей;
- при зміні кон'юнктури ринку, тобто вимог забезпечення максимуму економії коксу, забезпечення максимуму виробництва, економічності роботи комплексу печей, цін на паливно-енергетичні ресурси і т.п.;
- в разі зміни режимних та конструктивних параметрів печей, що входять в дану групу.

Визначення коефіцієнтів оптимізаційної моделі включає в себе вирішення наступних завдань:

- оцінка стану кожної з доменних печей в базовий період з метою адаптації оптимізаційної моделі до конкретних умов печі;
- розрахунок зміни параметрів плавки і характеристик теплового, газодинамічного, шлакового режимів при послідовному витраті коксу, природного газу на кожній з печей цеху (прогноз показників) при сталості інших вхідних параметрів і відсутності вимог, що пред'являються до хімічного складу продуктів плавки, фізичним характеристикам шлаку і т.п.

В результаті визначаються коефіцієнти, що входять у ліву частину матриці обмежень і в цільову функцію.

Метою розподілу природного газу було досягнення максимальної економії коксу по цеху за рахунок інжекції природного газу. Таким чином, оптимізація розподілу витрат природного газу в ряді випадків супроводжується значною корекцією параметрів комбінованого дуття. При наявності відповідного математичного і програмного забезпечення інженерно-технічний персонал зможе періодично оперативно прогнозувати (уточнювати) ступінь оптимальності параметрів комбінованого дуття і при необхідності вносити необхідні корективи.

4 ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

4.1 Вибір та обґрунтування функціональної структури СА

Функціональна структура модернізованої системи автоматизації складатися з таких рівнів.

Нижній рівень: комплекс засобів, для отримання даних про стан обладнання, технологічний процес і його параметри.

Цей рівень включає в себе датчики, які здійснюють збір інформації про температуру, тиск, витрату та інших параметрів технологічного процесу та виконавчі механізми які змінюють витрату сировини яка подається в піч.

Середній рівень: програмований логічний контролер WAGO, та комплекс технічних засобів.

Даний контролер, отримавши інформацію з нижнього і з верхнього рівнів, здійснює управління технологічним процесом за програмою користувача. Управління здійснюється шляхом подачі команд на виконавчі механізми.

Верхній рівень: комплекс засобів, для відображення технологічного процесу, а також для передачі задаючих параметрів управління в контролер.

Цей рівень виконаний на базі сучасних персональних комп'ютерів, обладнаних спеціальними платами – комунікаційними процесорами для зв'язку з контролерами через шину PROFIBUS. Через ці комп'ютери здійснюється завдання параметрів і режимів роботи доменної печі, а також здійснюється управління піччю в ручному режимі в разі виникнення позаштатних ситуацій.

4.2 Визначення принципів управління по кожному технологічному параметру

Доменна піч має параметри, за якими необхідно виробляти керуючі впливи:

- для регулювання температури охолодження доменної печі управляючим параметром виступає температура на трубопроводі охолоджувальної води доменної печі. Для її регулювання керуючий вплив подається на виконавчий механізм який за допомогою заслінки на трубопроводі змінює витрату води;

- для регулювання розподілу подачі охолоджувальної води керуючі впливи подаються на виконавчі механізми які за допомогою заслінок на трубопроводах подачі води змінює її витрату;

- для регулювання тиску води керуючий вплив подається на виконавчий механізм який за допомогою заслінки на трубопроводі змінює витрату води на трубопроводі.

Усі системи регулювання одноконтурні.

4.3 Вибір (розробка) математичної моделі системи управління

Математична модель САР температури охолодження доменної печі розроблена у програмному пакеті Simulink середовища Matlab.

За допомогою математичної моделі можна побудувати перехідні процеси при використанні різних законів регулювання, та зробити оптимізацію САР.

Зміна температури на виході з насадки протягом повітряного періоду:

$$\Delta t_B = \tau_B \frac{t_B^K - t_B^П}{T_B - \frac{\tau_B}{2}}, \quad (4.1)$$

де τ_B – тривалість повітряного періоду, год.;

t_B^K – кінцева температура періоду охолодження °С;

t_B^H – початкова температура періоду охолодження, °С;

T_B – час повітряного періоду, год.

Передатна функція об'єкту має вигляд:

$$W_{об}(p) = \frac{100}{50p^2 + 10p + 0,9} \quad (4.2)$$

Розроблена математична модель має вигляд, представлений на рисунку 4.1.

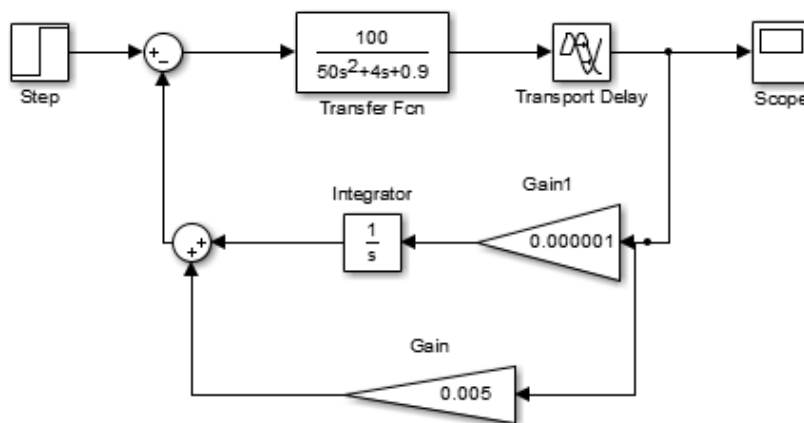


Рисунок 4.1 – Математична модель САР температури охолодження доменної печі

Використовуючи розроблену математичну модель та передатну функцію, був знайдений оптимальний закон регулювання температури охолодження доменної печі. За допомогою ПІ – закону регулювання з настройками $K_p=0,005$ та $T_i = 0,000001$ перехідний процес має вигляд який представлений на рисунку 4.2.

При порівнянні отриманих значень було обрано налаштувати регулятор за допомогою Fertik and Sharpe так як він по каналу «збурення – вихід» краще ніж з 20% перерегулюванням, але по каналу завдання – вихід» трохи гірший ніж за «збурення – вихід», але все в межах допустимих правил.

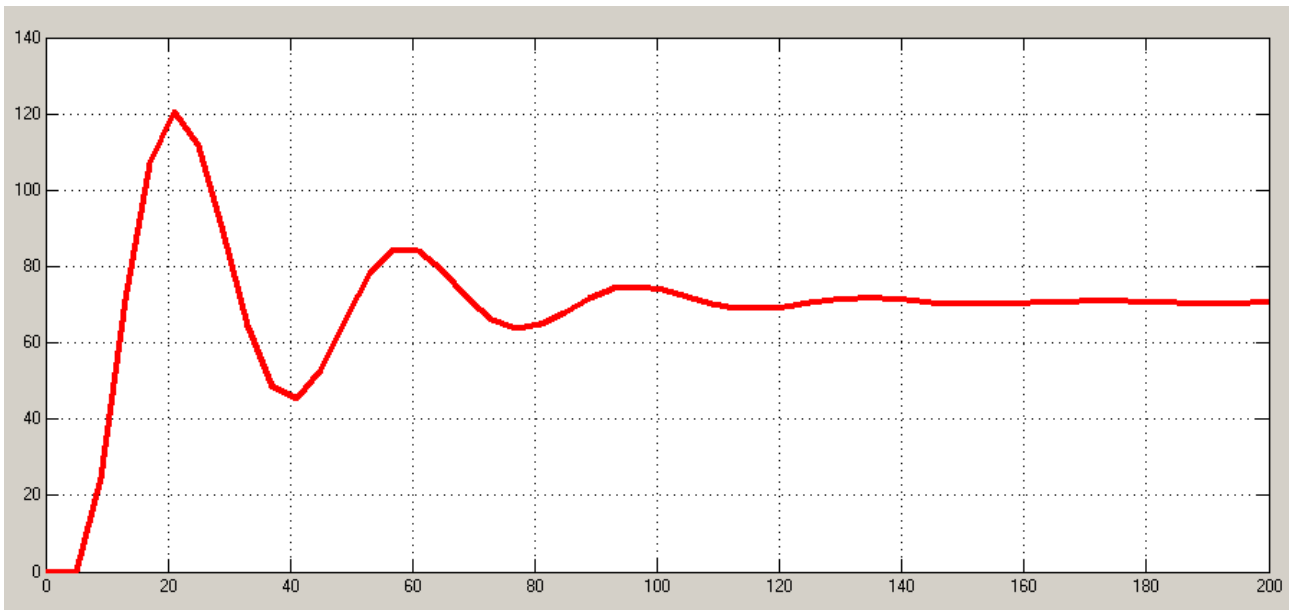


Рисунок 4.2 – Перехідний процес з налаштуванням $K_p = 0,005$ та $T_i = 0,000001$.

4.4 Вибір та обґрунтування технічних засобів нижнього рівня СА

Щоб розробити САР температури охолодження доменної печі, необхідна певна кількість технічних засобів, завдяки яким можна робити регулювання подачі кисню до доменної печі, через повітрянагрівач.

Температура охолодження доменної печі не може перевищувати 130 – 140 °С, тому рекомендовано обирати ТХАУ – 205ЕХ – 16, тому що діапазон вимірювання температури в цьому приладі знаходиться 0 – 300 °С.

Для реєстрації показників, використовується прилад КП – 1Е, цей прилад може замінити застарілий ДИСК – 250, який схильний до частих механічних зносів і необхідна їх постійна перевірка.

Сигнал з КП – 1Е передається до контролера WAGO 750 – 841, якого достатньо, для того, щоб розробити програму, подачу кисню до повітрянагрівача, також для подачі азоту, чи інших видів газу. Тому цей контролер є найоптимальнішим як у працездатності, так і в його ціні.

З нього передається сигнал до ПБР – 2М1, який в свою чергу призначений для безконтактного управління електричними виконавчими механізмами в

приводі яких використані трифазні електродвигуни.

Щодо виконавчого механізму використовується МЕО – 100/25, обґрунтування вибору саме цього виконавчого пристрою, приведенні нижче у розрахунках.

Також використовується ДУП – М, для того щоб було зрозуміло наскільки відкрита заслонка МЕО.

Для живлення приладів використовується БП – 906.

4.4.1 Первинні перетворювачі, нормуючі пристрої, вторинні прилади, блок живлення

Усі технічні засоби були обрані відповідно до вимог точності та надійності.

Список технічних засобів, які були підібрані для системи автоматизації представлені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Список технічних засобів, які були підібрані для системи автоматизації

Елементи	Кількість
Перетворювач рівня радарний БАРС 322МИ	1
Перетворювач тиску Serabar M	4
Термоперетворювач ТХАУ – 205ЕХ – 16	1
Промисловий датчик вологості температури повітря ПВТ100	1
Датчик різниці тиску Метран 100ДД	1
Аналізатор кисню ОСХ 8800	2
Діафрагма камерна ДК – 100	1
Конвеєрні ваги ВК – 202	1
Вторинний реєструючий прилад КП – 1Е	9
Багатоканальний реєструючий прилад Альфалог – 100М	1
Блок ручного управління БРУ – 10	9
Пускач безконтактний реверсивний ПБР – 2М1	10
Виконавчий механізм МЕО – 100/25	10
Дистанційний показник положення ДУП – М	1
Контролер WAGO	1

Термоперетворювач з уніфікованим вихідним сигналом ТХАУ – 205ЕХ – 16 – призначений для вимірювання температури охолодження доменної печі доменних печей. Загальний вигляд ТХАУ – 205ЕХ – 16 наведений на рисунку 3.3.



Рисунок 4.3 – Термоперетворювач ТХАУ – 205ЕХ – 16

Технічні характеристики ТХАУ – 205ЕХ – 16, представлені у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Технічні характеристики ТХАУ – 205ЕХ – 16

Параметр	Значення параметра
Температурний діапазон, °С	0 – 300 °С
Матеріал захисної арматури	Сталь 12Х18Н10Т
Вихідний сигнал	4 – 20 мА
Напруга живлення	12 – 36 В
Клас точності	Від 0,25

Реєстратор технологічний КП – 1Е, з функцією архівування даних призначений для вимірювання та автоматичного регулювання температури та інших неелектричних величин, перетворених в сигнали сили, напруги постійного струму і активний опір постійному струму. Вбудований буфер пам'яті дозволяє архівувати значення вимірюваної величини. Для перенесення архіву на ПК передбачений USB – порт на лицьовій панелі. Прилади застосовуються в різних технологічних процесах у промисловості та енергетиці, в тому числі атомної [27]. Загальний вигляд КП – 1Е наведений на рисунку 4.4.



Рисунок 4.4 – Мікропроцесорний вимірювач – регулятор технологічний
КП – 1Е

Технічні характеристики КП – 1Е представленні у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Технічні характеристики КП – 1Е

Параметр	Значення параметра
Вбудоване джерело живлення	24 В
Вихідні сигнали	Струмові: 0 – 5/4 – 20 мА; Напруга: 0 – 10 В
Інтерфейс	RS – 485/Ethernet

Блок живлення призначений для перетворення змінної напруги мережевої частоти (~ 220 В) або постійної напруги в стабілізовану напругу $=24$ В або $=36$ В [28]. Загальний вигляд БП – 906 наведений на рисунку 4.5.



Рисунок 4.5 – Блок живлення БП – 906

Технічні характеристики БП – 906 представлені у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Технічні характеристики БП – 906

Параметр	Значення параметра
Вихідна напруга	24/36 В
Гальванічно розв'язані канали	1, 2, 4 або 8
Максимальний струм навантаження на канал:	
Для багатоканального приладу	до 150 мА
Для одноканального приладу	до 1000 мА

4.4.2 Промислові контролери

Для управління роботою доменною піччю було обрано контролер WAGO. WAGO 750 – 841, який представлений на рисунку 4.6.



Рисунок 4.6 – контролер WAGO 750 – 841

Оснащений 100 – Mbit портом Ethernet, контролер підтримує протоколи ModbusTCP і EtherNet/IP. WAGO 750 – 841 є безініціативним контролером, тому працює під управлінням будь – якого інтелектуального пристрою, наприклад комп'ютера зі SCADA – програмою [29].

Він програмується інструментальною системою програмування WAGO – I/OPRO САА (CoDeSys) відповідно до стандарту ІЕС 61131 – 3, використовуючи 512 Кбайт пам'яті програм, 128 Кбайт пам'яті даних і 24 Кбайт незалежної пам'яті.

Контролер побудований на базі 32 – бітового процесора, який працює в мультитадачному режимі і має вбудований годинник – таймер реального часу.

Контролер має напругу живлення 24 В постійного току. Експлуатаційний режим контролера відображається за допомогою індикаторів у формі світлодіодів. В деяких випадках, вони є різноколірними (червоними/зеленими або червоними/ зеленими/рожевими).

У нижній частині мережного адаптера під захисною стулкою знаходиться конфігураційний і програмний порт, а також операційний перемикач режимів.

Конфігураційний і програмний порт зв'язку використовується для програмування контролера за допомогою середовища розробки WAGO – I/O – PRO CAA (CoDeSys), а також для завантаження мікропрограм. Операційний вимикач режиму має три положення:

- у верхньому положенні – обробка програми активована;
- у середній позиції – програмований пристрій працює, додаток контролера зупинений;
- нижнє положення вимикача режиму – апаратні засоби скинуті, змінні встановлені в нуль або приведені в початковий стан.

Всі модулі I/O SYSTEM 750 виконані на основі вібростійкого не обслуговуваного затиску CAGE CLAMP, який забезпечує системі найвищу надійність.

Кількість інформаційних сигналів, що надходять від датчиків до контролера дорівнює 11 уніфікованих струмових сигналів діапазону 4 – 20 мА. Для прийому цих вхідних сигналів необхідно встановити наступні модулі:

- 8 – каналний аналоговий модуль вводу WAGO 750 – 496;
- 2 – каналний аналоговий модуль вводу WAGO 750 – 452;
- 2 – каналний аналоговий модуль вводу WAGO 750 – 452.

Зміну витрат технологічних параметрів здійснюють 9 виконавчих механізмів, а це означає, що для керування їх роботою потрібно 18 вихідних каналів дискретного модуля виводу.

Для керування роботою виконавчих механізмів необхідно встановити наступний модуль:

- 8 – каналний дискретний модуль виводу 750 – 530;
- 8 – каналний дискретний модуль виводу 750 – 530;
- 2 – каналний дискретний модуль виводу 753 – 501.

Крім модулів вводу – виводу необхідно встановити кінцевий термінальний модуль WAGO 750 – 600.

5 РОЗРОБКА ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ

Створення програмних додатків створені з урахуванням вимог інженерно-технологічного персоналу та особливостей використання комплексу аналізу і прогнозування виробничих ситуацій в практиці роботи доменного виробництва:

– комплекс повинен вирішувати кілька пов'язаних завдань, спрямованих, в кінцевому підсумку, на підвищення ефективності доменної плавки: збір та формування звітних даних про роботу доменних печей, моніторинг звітних параметрів, порівняльний аналіз роботи доменних печей в різні періоди плавки, модельна підтримка прийняття рішень по управлінню газодинамічних і шлаковим режимами, прогнозування технологічних ситуацій і діагностика роботи доменних печей. З огляду на відносно великі масштаби споживання сировинних і паливно-енергетичних ресурсів, а також випуску продукції доменного цеху, суттєво зростають ризики від прийняття необґрунтованих, неправильних управлінських рішень, тому застосування даного комплексу в доменному виробництві має безсумнівні переваги і приносить позитивний ефект від його використання;

– інженерно-технологічний персонал доменного цеху за допомогою програмного комплексу повинен мати можливість оперативно проводити аналіз роботи металургійних агрегатів, оцінювати поточний стан ходу технологічного процесу, дозволяти вивчення і аналіз відхилень ключових показників, виявляти причини, що призвели до цих відхилень і розробляти заходи щодо підвищення ефективності металургійного виробництва;

– програмний комплекс необхідно інтегрувати в інформаційну структуру підприємства, забезпечити в процесі експлуатації взаємодія з іншими програмно-апаратними інформаційними системами комбінату. Тому використання деяких функцій системи вимагає адміністративного управління і виконання завдань за розкладом, наприклад функція збору виробничих даних і підготовки звітних документів за минулий період;

– важливою вимогою при розробці комплексу є простота і зручність у використанні, оскільки його застосування розраховане на широке коло користувачів, від яких не потрібно спеціальних знань в області інформаційних технологій. Він повинен бути забезпечений достатньо повною і зрозумілою різних категорій користувачів документацією, спеціальне керівництво для фахівців із супроводу, а також набір керівних документів з навчання роботі з програмою;

– оскільки проект є досить об'ємною системою, то для його реалізації була використана система контролю версій і система автоматичного складання, в комплект якої входить Веб-сервер, що відображає інформацію по збірках проекту. Необхідно відзначити, що система автоматичного складання крім компіляції проекту виконує його модульне тестування і формує звіт, який можна подивитися на Веб-сервері. Також використовувався сервер автоматичних оновлень, який встановлює у користувачів нову версію програмного продукту.

На рисунку 5.1 показана загальна схема програмного забезпечення АСУТП.

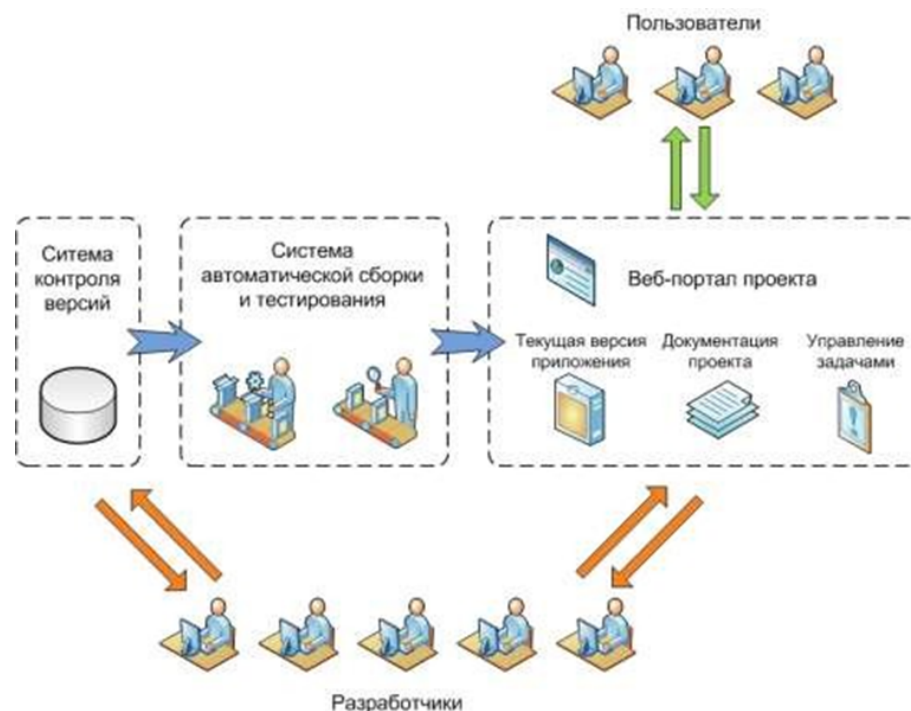


Рисунок 5.1 – Схема процесу розробки програмного забезпечення

Програмний модуль відображення динаміки зміни показників роботи доменних печей (робоча назва «Trends») входить до складу комплексу АІС АППС ДЦ. В ході розробки програмного забезпечення підсистеми спроектовані і реалізовані серверна частина системи і додаток. Призначенням програмного забезпечення розробляється підсистеми є надання користувачеві можливостей відображення в зручному вигляді показників роботи доменних печей за певний період, формування звітів і експорту чисельних значень даних в стандартному форматі для подальшого аналізу програмними засобами.

Основними процесами при реалізації підсистеми «Trends» були:

- розробка архітектури програмного засобу, структури програмних модулів, кодування;
- тестування і налагодження програмного засобу;
- документування системи: розробка керівництва для користувача.

До реалізації проекту «Trends» дані про роботу доменних печей, усереднені по змінах і за добу, існували у вигляді окремих файлів, які накопичувалися на сервері бази даних під управлінням СУБД MS SQL Server 2019. Окремим логічним елементом даних є технологічні показники роботи кожної доменної печі, розраховані за допомогою інтегрованого пакета прикладних програм «Автоматизоване робоче місце інженерно-технічного персоналу доменної печі» («АРМ майстра ДП»), а також дані з АСУТП доменної печі.

В процесі розробки було створено:

- структури бази даних для заповнення даними з бази ІОЦ АСУ доменного виробництва;
- програмного модуля, що дозволяє витягувати технологічні показники роботи доменних печей з БД, а також файлів за певний період роботи і представити їх зміни у вигляді графічних трендів.

Розробка архітектури побудови підсистеми. Архітектура проектованої системи представлена на рисунку 5.2.

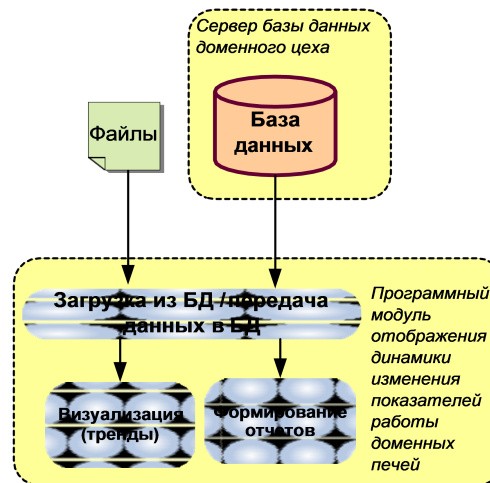


Рисунок 5.2 – Архітектура підсистеми відображення даних про роботу доменних печей

Додаток користувача призначений для роботи технолога з метою автоматизованого аналізу роботи доменного цеху і підготовки звітних документів. Він складається з наступних модулів:

- модуль отримання вихідних даних виконує введення даних в програму. Як джерело даних виступають файли і база даних, в яких зберігаються дані про роботу доменного цеху. Модуль повинен виконувати завантаження даних за будь-який вказаний користувачем період;
- модуль візуалізації дозволяє відобразити дані за вибраний користувачем період в двох режимах: зміни даних за всіма показниками для однієї доменної печі, зміни даних по одному показнику для всіх доменних печей;
- модуль формування звітів формує показники роботи доменного цеху у вигляді, придатному для їх обробки, роздруківки і збереження в зовнішньому файлі (MS Excel). Це потрібно для формування твердих копій звітних документів, які можна використовувати в роботі.

Основні функціональні можливості. Програмне забезпечення підсистеми дозволяє витягти і представити в зручній графічній формі показники роботи доменного цеху і окремих печей відповідно до інформаційних потреб

користувача. Програма включає дві основні процедури: візуалізації і формування звітів. Процедура візуалізації дозволяє відобразити дані за вибраний користувачем період в двох режимах: динаміка даних по всім доступним показникам для окремої доменної печі; динаміка зміни величини по одному обраним показником для всіх доменних печей.

Процедура формування звітів формує показники роботи доменного цеху у вигляді, придатному для їх обробки, роздруківки і збереження в зовнішньому файлі (формат MS Excel) для подальшого аналізу. Варіант відображення трендів «Одна піч».

На головній формі програми (рис. 5.3) користувач повинен вказати для побудови наступні дані:

- номер доменної печі;
- перелік параметрів (за допомогою прапорців);
- початок періоду роботи печі;
- кінець періоду роботи печі;
- інтервал усереднення – зміна або добу.

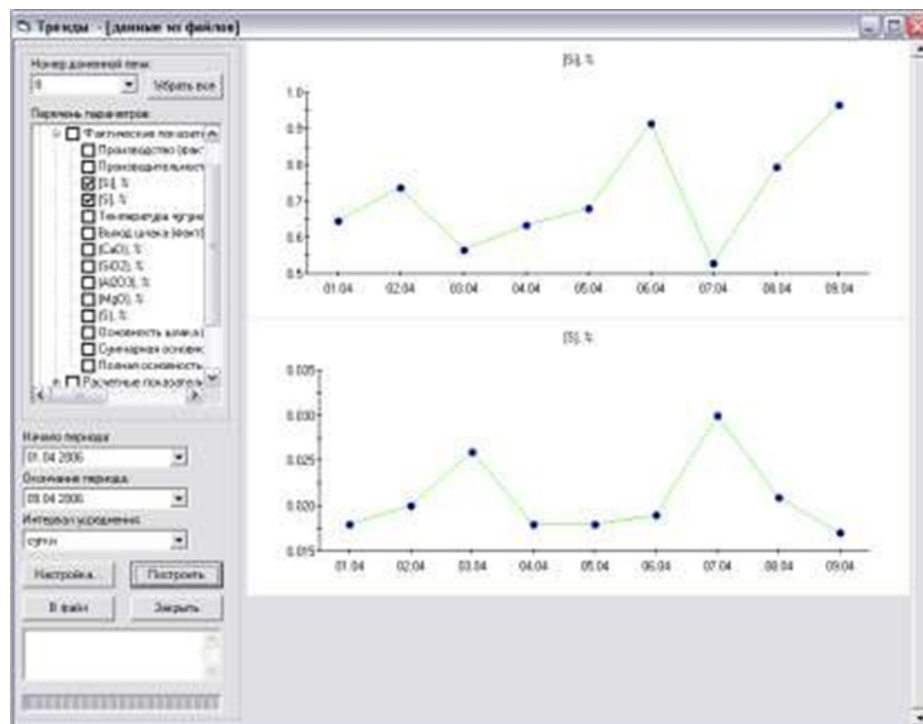


Рисунок 5.3 – Головне вікно програми (варіант «Одна піч»)

При натисканні кнопки «Побудувати» відбувається графічне представлення обраних параметрів по печі і за період, зазначеними користувачем.

У разі відсутності даних програма покаже інформацію у відповідному вікні, розташованому на формі. Після цього активізується кнопка «В файл», за допомогою якої користувач може експортувати чисельні значення даних і вибрані графічні залежності в файл електронних таблиць MS Office Excel.

Варіант відображення трендів «Все печі». На головній формі програми (рис. 5.4) користувач повинен вказати для побудови наступні дані:

- номери доменних печей (за допомогою прапорців);
- параметр;
- початок періоду роботи печі;
- кінець періоду роботи печі;
- інтервал усереднення – зміна або добу.

При натисканні кнопки «Побудувати» відбувається графічне представлення обраного параметра по печей і за період, зазначеними користувачем. У разі відсутності даних програма покаже інформацію у відповідному вікні, розташованому на формі. Після цього активізується кнопка «В файл».

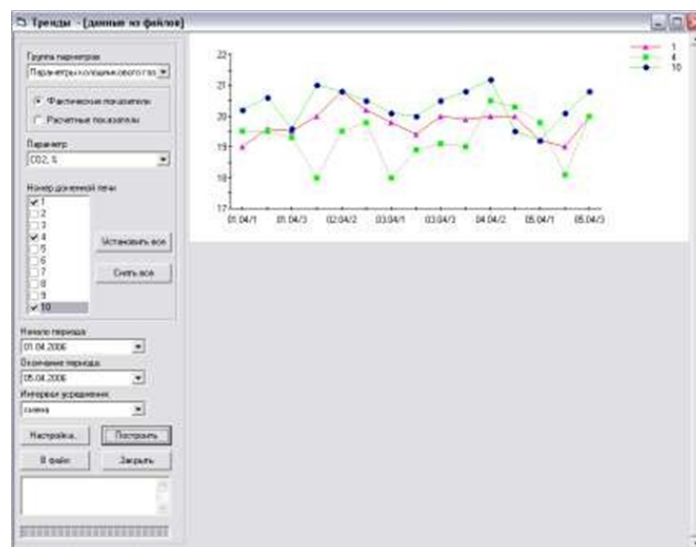


Рисунок 5.4 – Головне вікно програми (варіант «Всі печі»).

Програмна реалізація підсистеми формування технічного звіту (модуль «АРМ технолога доменного цеху») здійснена у зв'язку з наступними обставинами на ПАТ «Запоріжсталь» для контролю звітних показників роботи доменного цеху використовувався файл електронних таблиць MS Office Excel, який дозволяв формувати технічний звіт про роботу цеху за місяць. Поряд з перевагами такого способу створення звітної документації в порівнянні з ручним він все-таки має ряд недоліків:

- одночасно вводити дані може тільки одна людина;
- відсутня будь-яка захист даного файлу від некоректного введення даних;
- будь-який співробітник може отримати доступ до секретної інформації; всі розрахунки проводяться всередині звіту;
- в результаті отримуємо звіт тільки в одному форматі MS Excel;
- відсутні механізми порівняльного аналізу показників за попередні періоди роботи доменного цеху.

Досить істотним обмеженням є також і те, що відстежити і скоригувати показники роботи цеху в цілому можна тільки в кінці місяця, а не в будь-який момент часу. Для вирішення викладених проблем було прийнято рішення розробити ПО автоматизованого робочого місця технолога доменного цеху [20].

Програмне забезпечення «АРМ технолога доменного цеху» призначене для надання користувачеві можливості автоматизованого введення, зберігання, обробки, маніпулювання та подання в зручному вигляді технологічних даних про стан печей доменного цеху; кількості і якості отриманого чавуну; виконання графіків; витраті, залишках, хімічний склад сировини, як коксу. Передбачено вирішення таких завдань:

- автоматизований збір і підготовку необхідних звітних даних про роботу доменного цеху за нормативний період (місяць), а також довільно зазначений користувачем період роботи (оперативний період). Як джерела даних можуть виступати як звітні дані у вигляді твердих копій документів, а й результати

роботи АРМ доменних печей; централізовані інформаційні ресурси центру АСУ;

- відображення в зручній табличній і графічній формі показників роботи доменного цеху і окремих печей відповідно до інформаційних потреб користувача;

- формування технічного звіту доменного цеху за місяць;

- автоматичний пошук і відображення показників роботи, які виходять за межі допустимих величин; діагностика режимів роботи, автоматизований пошук та оперативне відображення можливих чинників порушення технологічних режимів доменної плавки.

Цілі створення програмного забезпечення. Основними цілями створення ПО «АРМ технолога доменного цеху» є:

- підвищення якості продукції, що виробляється за рахунок підвищення оперативності роботи технолога печі і скорочення часу аналізу якісних показників сировини і отриманого чавуну;

- надання деталізованої інформації про виплавку чавуну для оцінки економічної ефективності;

- надання даних про стан печей і устаткування, формування необхідної звітної документації;

- скорочення часу пошуку необхідної інформації за рахунок реалізації дружнього клієнтського інтерфейсу.

- підвищення культури управління виробництвом, поліпшення умов праці і інформованості оперативного і виробничого персоналу;

- створення умов для подальшого вдосконалення і розвитку системи.

Розробка архітектури програмного забезпечення системи.

Центральною ланкою системи є СУБД MS SQL Server 2019. На сервері зберігається централізована БД, до якої звертаються оператори для її заповнення. Технолог в кінці звітної періоду аналізує дані, робить відповідні

висновки на наступний період часу і подає звіт керівництву. При цьому технолог має право редагувати дані, введені оператором.

Архітектура системи має вигляд, показаний на рис. 5.5.

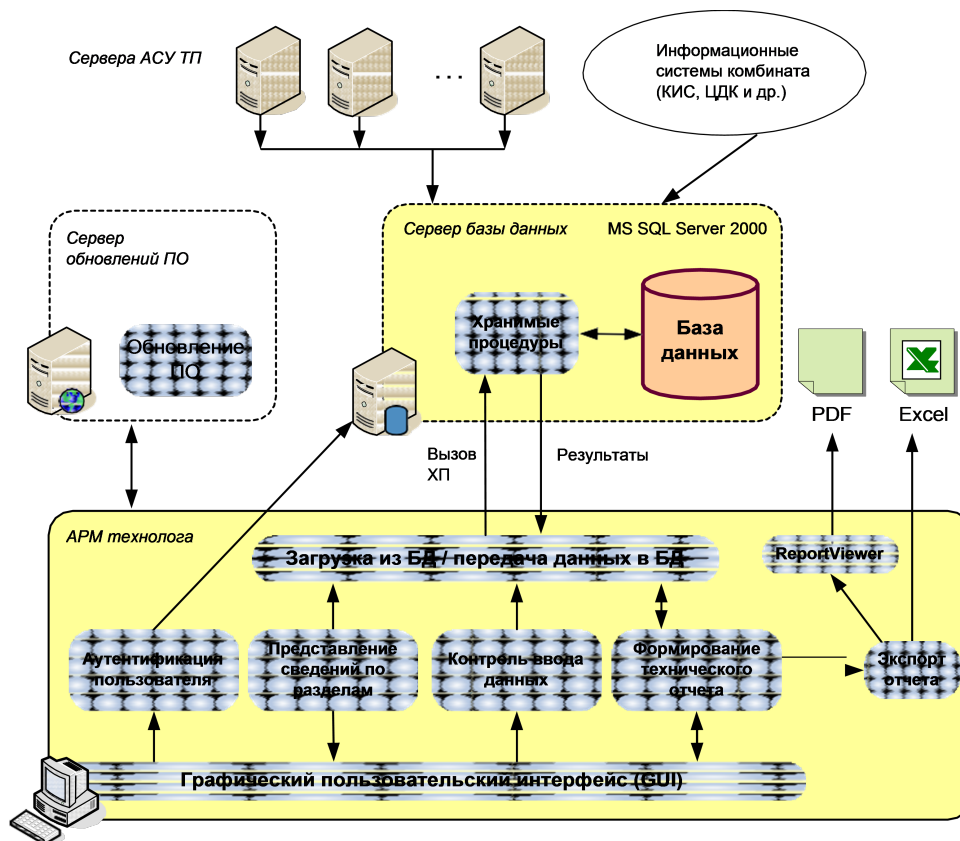


Рисунок 5.5 – Архітектура підсистеми формування технічного звіту

Розробка структури зберігання даних. У базі даних повинна бути передбачена можливість відстеження всіх змін даних в робочих таблицях. Заповнення відомостей про користувачів і комп'ютерах, з яких виробляються робота з системою, має здійснюватися через довідники.

Таким чином, в проекті використана модель активного сервера (технологія «тонкий клієнт»), згідно з якою в прикладній програмі відсутні вирази SQL-запитів на вибірку, вставку, зміна і видалення даних [20]. Для управління даними на клієнті використані виклики збережених процедур сервера бази даних. Це дає безсумнівні переваги в гнучкості і підвищенні надійності ПО системи.

Розробка інтерфейсу взаємодії додатка з базою даних. Оскільки в якості середовища розробки використовується MS Visual Studio.NET 2005, то для доступу до бази даних використовується модель об'єктів ADO.NET [20]. Програмне взаємодія додатки підсистеми з базою даних реалізовано наступним чином. Для кожної сутності, необхідної для формування певного розділу технічного звіту, створений клас, основу якого складають такі підкласи: SqlDataAdapter; SqlConnection; SqlCommand.

Фрагмент структури інтерфейсу додатку з базою даних на прикладі реалізації взаємодії з довідником печей представлена на рис. 5.6. При розробці функціональної специфікації було приділено особливу увагу функціям редагування, завантаження і збереження даних в базі даних, оскільки для реалізації був використаний збірний джерело даних.

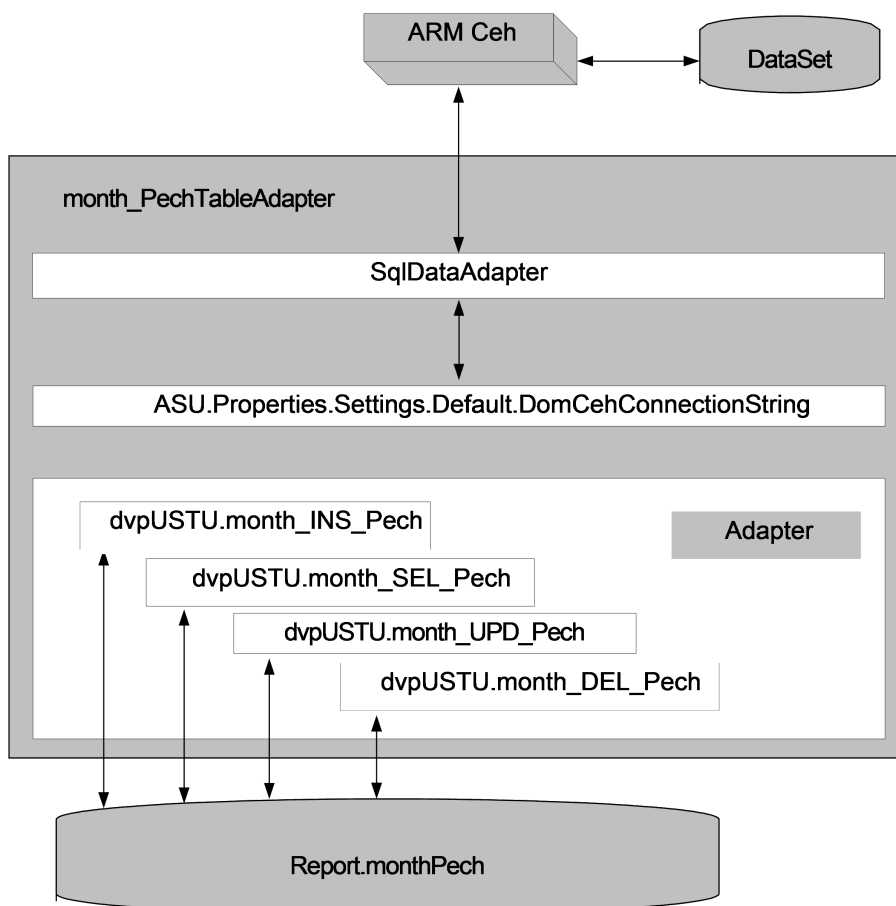


Рисунок 5.6 – Приклад структури інтерфейсу програми та бази даних

Програмна реалізація системи. Структура програмного модуля зображена на рис. 5.7.

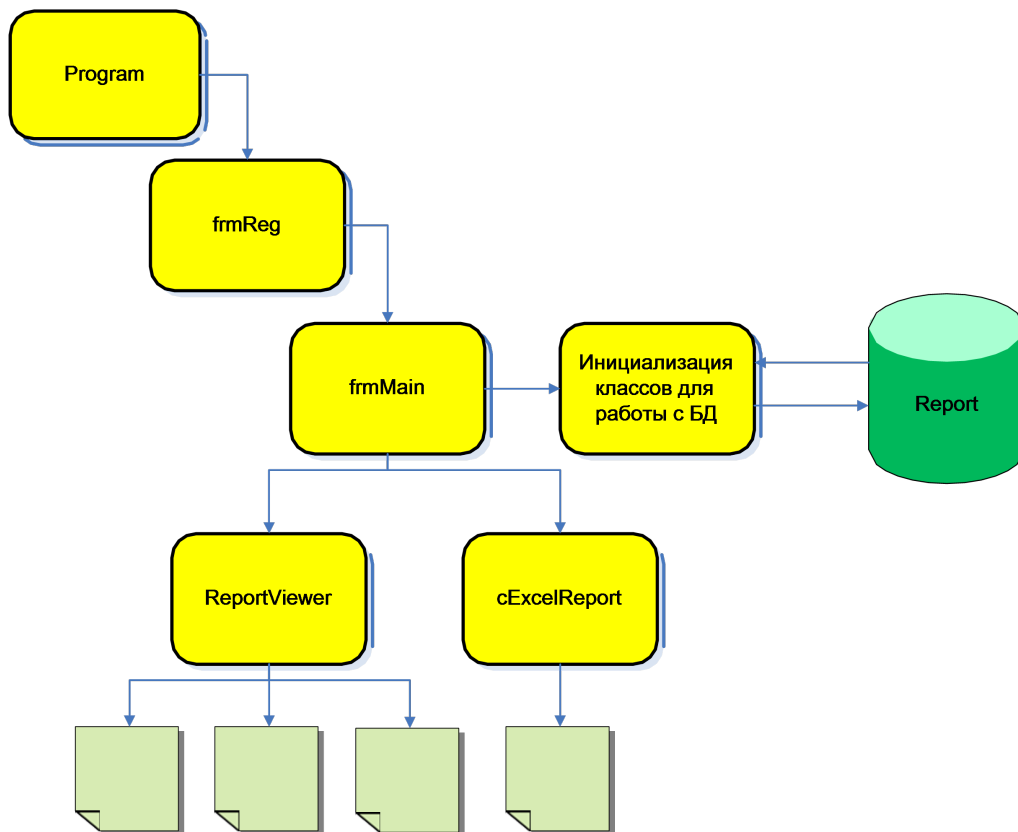


Рисунок 5.7 – Структура програмного модуля додатка

Клас Program – це точка входу в програму, там відбувається перевірка на наявність раніше запущених копій програми, і відбувається виклик модуля авторизації / аутентифікації – frmReg. Клас frmReg перевіряє з'єднання з БД при зазначеному логін та пароль (в разі SQL авторизації), якщо з'єднання з БД дозволено, тоді відбувається ініціалізація і завантаження основного тіла програми – frmMain.

Клас сExcelReport дає більш гнучкі можливості для генерації звітів в середовищі MS Excel, ніж ReportViewer, оскільки основним завданням останнього є демонстрація звіту і друк. В кінцевому рахунку, взаємодія з MS SQL Server 2019 відбувається за допомогою викликів збережених процедур. Відповідно до сучасних вимог індустрії програмування доступ практично до всіх функцій модуля зосереджений на одній формі, що є безперечною

перевагою для користувача. Обсяг рукописного коду для реалізації проекту склав близько 10000 рядків. Необхідно також відзначити, що в підсистемі існує процедура аутентифікації.

Основні функціональні можливості. Підсистема формування технічного звіту забезпечує підготовку та формування всіх відомостей про роботу доменного цеху за календарний місяць або за період з початку року до зазначеного місяця. Виконання цієї функції забезпечується співробітниками технологічної групи доменного цеху, ІОЦ АСУ аглодоменного виробництва, енергоцеху, ЦЛК, економістами доменного цеху.

Керівними документами для цієї підсистеми є технологічна інструкція доменного цеху, керівництва користувачів автоматизованих робочих місць, нормативно-довідкова інформація корпоративної мережі комбінату і вимоги користувачів до обробки даних. Виходом підсистеми є звітні документи з основних розділів доменного виробництва:

- надходженню і витраті шихтових матеріалів і коксу в доменному цеху;
- виплавленої чавуну і виходу шлаку;
- хімічним складом і показниками якості сировини, паливно-енергетичних ресурсів і продуктів доменної плавки;
- обліку простоїв і стану технологічного обладнання; показниками роботи повітря;
- використання ковшів в доменному цеху; продуктивності робочих кадрів доменного цеху.

Основні принципи і поняття, що використовуються при роботі з програмним забезпеченням. Вихідними даними для програми є дані Центру АСУ ПАТ «Запоріжсталь», а також тверді копії звітних документів різних служб доменного цеху. Всі відомості, що входять в технічний звіт, згруповані за окремими розділами. Користувач за допомогою діалогових вікон заповнює відомості за окремими розділами і зберігає їх в базі даних. Передбачено автоматичне формування підсумкового документа (цілком і по окремих

розділах), його роздруківка, а також експорт в формати MS Office Word і Adobe PDF.

Інтерфейс програмного забезпечення. Інтерфейс користувача можна розділити на дві частини: розділи технічного звіту та дані, що відносяться до розділу. Звітні дані розділу відображаються за вказаний період. Період може становити або місяць, або з початку року до зазначеного місяця. Крім цього дані можуть бути ставитися до печі або до всього цеху відразу.

Розділ технічного звіту. Як приклад, розглянемо розділ технічного звіту «Виплавка чавуну – Передільний». Заповнення відомостей цього розділу проводиться через призначену для користувача форму, представлену на рис. 5.8.

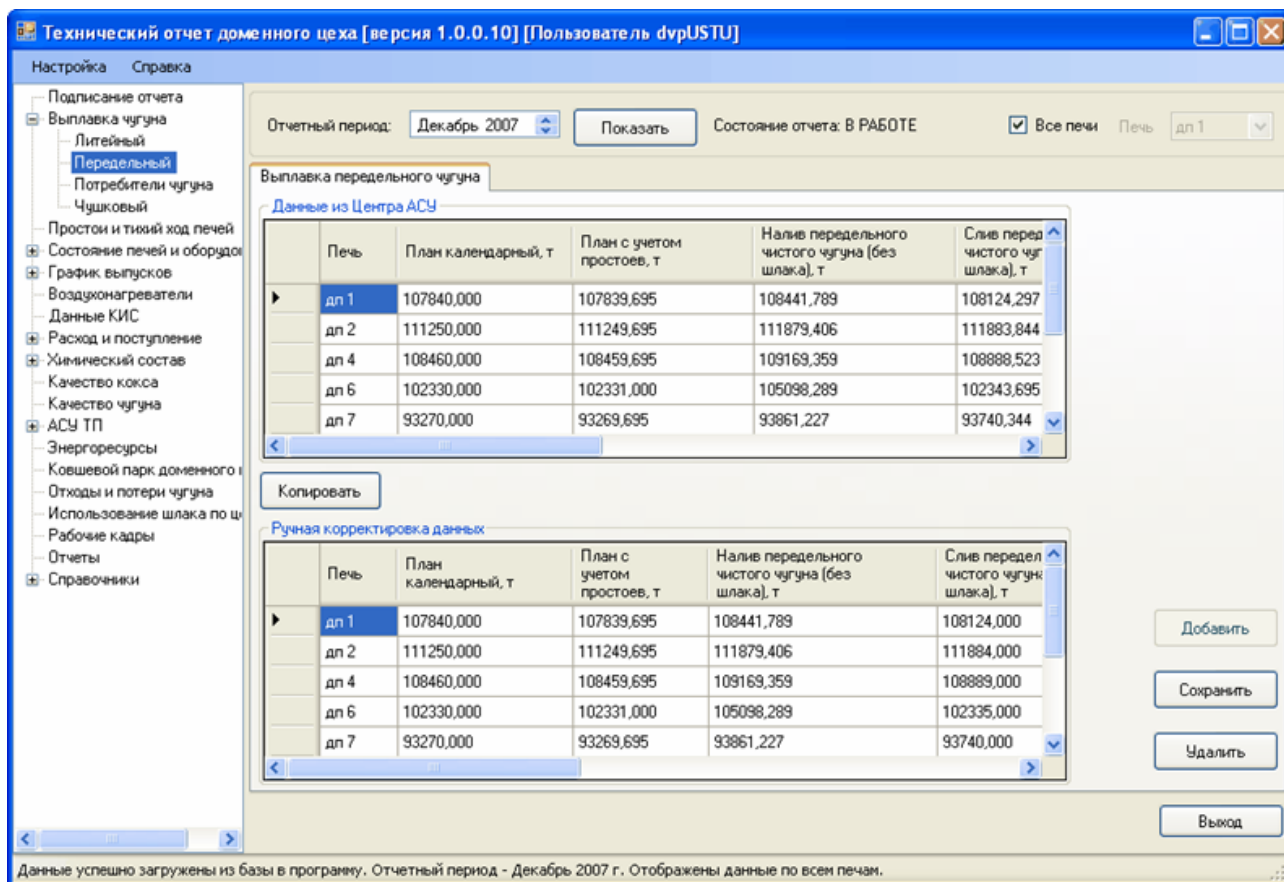


Рисунок 5.8 – Форма «Виплавка чавуну»

Реалізація та опис підсистеми оптимального управління паливно-енергетичними ресурсами доменного цеху.

Програма призначена для розрахунку оптимального розподілу природного газу в групі доменних печей [20,21]. Для кожної печі при оптимальній подачі природного газу можливе визначення наступних показників її роботи:

- витрата природного газу, м³/год;
- витрата коксу, т/год;
- продуктивність печі, т/год;
- температура горіння на фурмах, °С;
- вміст кремнію в чавуні,%;
- вміст сірки в чавуні,%;
- питомі витрати тепла в нижній зоні печі, МДж/т чавуну;
- відношення теплоємностей потоків в шахті, частки;
- ступінь врівноваження шихти, частки; ефективність використання газу, грн./год.

У програмі передбачено два варіанти розрахунку: за реальними даними та демонстраційний розрахунок.

Розрахунок за реальними даними передбачає завантаження в програму і використання в розрахунку вихідних даних, що містять фактичні значення показників роботи доменних печей за минулий період. Як періоду, використовуюваного для усереднення виробничих показників, прийнята календарний тиждень починаючи з конкретної дати роботи доменних печей.

При цьому програма автоматично визначає склад вихідних даних і максимально можливу кількість печей, за якими буде розраховано оптимальний перерозподіл природного газу за відповідний період.

Демонстраційний розрахунок використовується для моделювання виробничих ситуацій. У цьому випадку проводиться розрахунок за даними, що містяться в налаштувальних файлах. Всі зміни у вихідних даних автоматично запам'ятовуються і використовуються програмою при її наступному виклику.

У програмі передбачено вирішення завдання оптимального розподілу природного газу для двох періодів роботи доменних печей: базового і

проектного.

Розрахунок для базового періоду проводиться за фактичними вихідними даними, що відображає вже минулий період роботи доменних печей. У цьому випадку користувач за допомогою програми може оцінити, наскільки ефективно був використаний природний газ. Зокрема, можна розрахувати для минулого періоду оптимальний витрата природного газу на кожну піч, визначити показники роботи печей при цьому витрату і виконати порівняльний аналіз всіх перерахованих вище показників при сталася (базової) і оптимальної подачі природного газу.

У проектному періоді можливий розрахунок при зміні користувачем деяких параметрів роботи доменних печей, наприклад дугтєвих (вологості і температури дугтя, а також вмісту в ньому кисню). У цьому випадку за основу розрахунку береться базовий період роботи доменних печей, тобто всі основні показники вибираються як усереднені за попередню календарну тиждень.

Розрахунок за програмою для проектного періоду можна використовувати для визначення оптимального розподілу природного газу та показників роботи в майбутньому періоді, коли передбачається зміна дугтєвих параметрів роботи окремих печей. В цьому випадку будуть розраховані оптимальні значення показників роботи для кожної доменної печі.

Після запуску програми на екрані з'являється головна форма програми, в центрі якої зображено вікно вітання (відповідно до рис. 5.9). У цьому вікні користувач за допомогою перемикача може вибрати варіанти розрахунку – за реальними даними або демонстраційний – або закрити вікно. Залежно від вибору користувача далі піде виклик майстра завантаження вихідних даних.

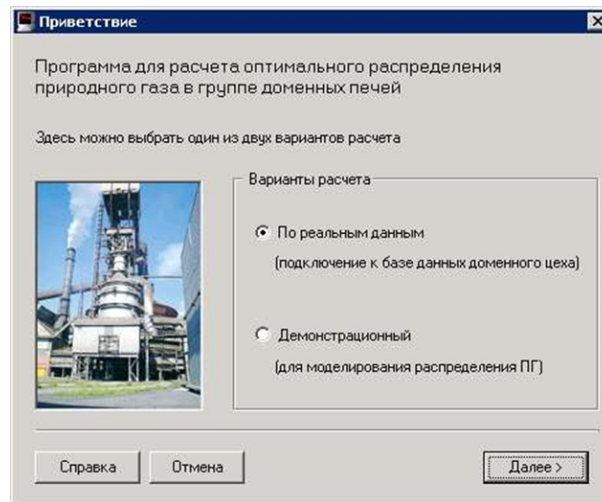


Рисунок 5.9 – Вікно вітання програми

На екрані з'являється перше з чотирьох вікон майстра завантаження вихідних даних (відповідно до рис. 5.10), на якому користувач повинен вибрати дату початку періоду імпортування вихідних даних. Варіанти вибору – минулий тиждень або самостійний вибір дати початку тижня за календарем.

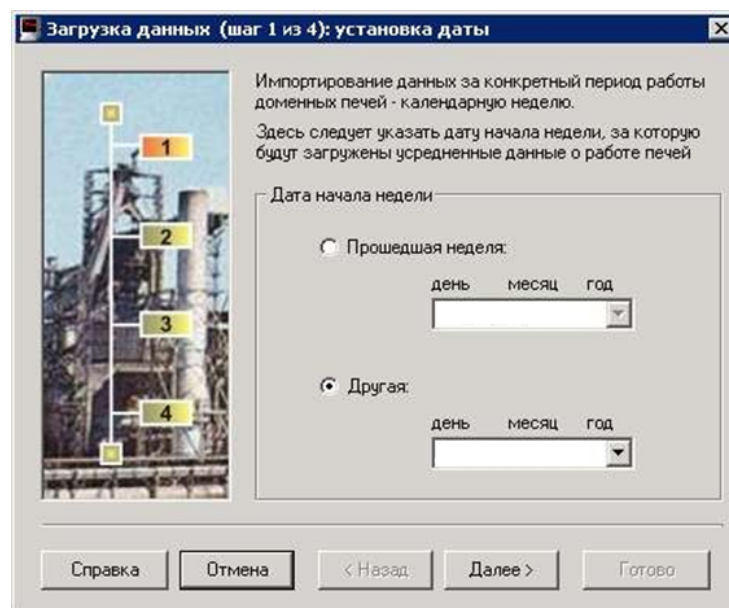


Рисунок 5.10 – Вікно завантаження реальних даних: установка дати

На другому кроці користувачеві надається можливість вибору двох і більше печей для розрахунку із загального числа доступних (відповідно до рис. 5.11).



Рисунок 5.11 – Вікно завантаження реальних даних: вибір доменних печей.

Загальна кількість доступних печей визначається програмою автоматично за наявності вихідних даних за період, дату якого визначив користувач на попередньому кроці.

Третій крок дозволяє користувачеві відзначити різні типи обмежень на доменні печі, які будуть враховуватися при розрахунку оптимального розподілу природного газу (відповідно до рис. 5.12). Вибір того чи іншого типу обмежень впливає на величину діапазону варіювання витрати природного газу, в межах якого буде розраховуватися оптимальний витрата.

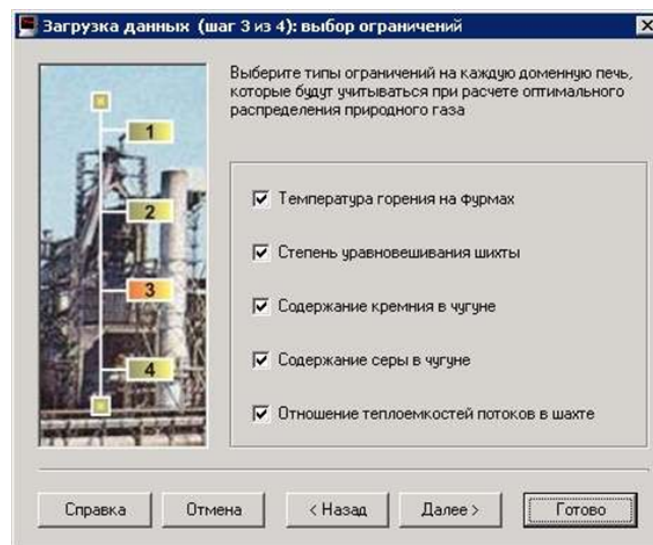


Рисунок 5.12 – Вікно завантаження реальних даних: вибір обмежень

У програмі можливий облік наступних типів обмежень:

- температура горіння на фурмах;
- ступінь врівноваження шихти; вміст кремнію в чавуні;
- вміст сірки в чавуні;
- відношення теплоємностей потоків в шахті.

На останньому, четвертому етапі користувач повинен задати максимальні ресурси по витраті природного газу ($\text{м}^3/\text{ч}$) і коксу ($\text{т}/\text{год}$) на групу печей, а також мінімально допустиму продуктивність чавуну в цеху ($\text{т}/\text{год}$). За замовчуванням у вікні майстра (відповідно до рис. 5.13) у відповідних полях для редагування вже внесені величини, розраховані виходячи з базових значень параметрів з урахуванням кількості обраних печей.

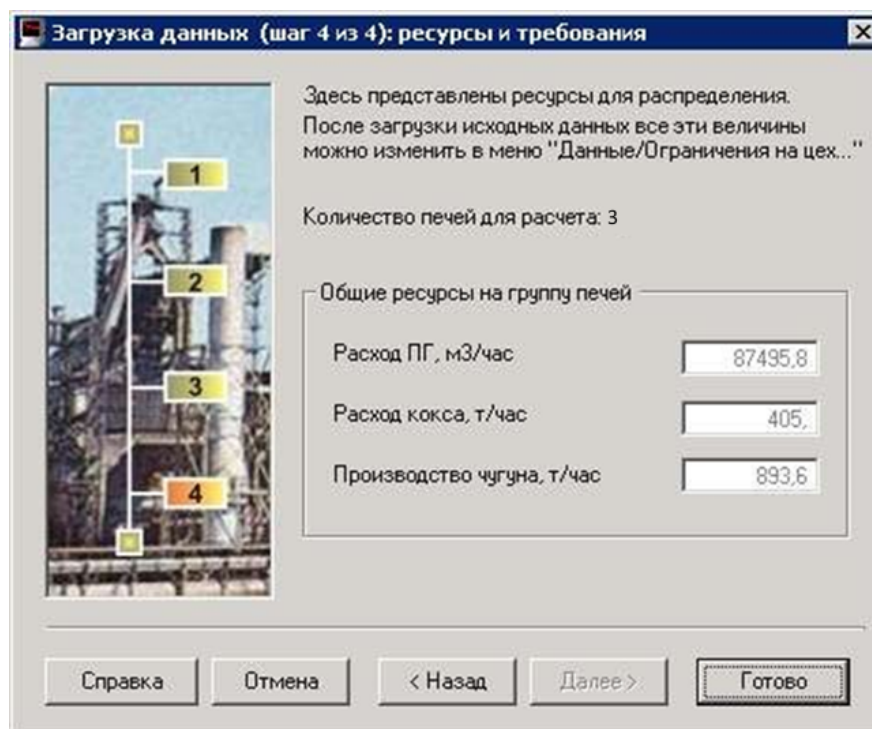


Рисунок 5.13 – Вікно завантаження реальних даних: ресурси і вимоги

При здійсненні розрахунків зазначені величини можна перевизначити в меню «Дані / Обмеження на цех ...». Натискання кнопки «Готово» призводить до закінчення завантаження вихідних даних для розрахунку. Вибір варіанту

розрахунку «Демонстраційний» користувач завантажує демонстраційні вихідні дані за допомогою трьох кроків майстра. Зовнішній вигляд вікон майстра аналогічний розглянутим раніше. Головне меню програми включає в себе наступні пункти: файл; дані; розрахунок; результати; звіт; довідка.

Спочатку після завантаження даних користувачеві доступні тільки перші три пункти меню, а також пункт «Довідка». Команди «Результати» і «Звіт» заблоковані і стають доступними тільки після виконання розрахунку.

Пункт меню «Файл» дозволяє користувачеві змінити протягом роботи з програмою варіант завантаження вихідних даних, а також коректно завершити її виконання.

Пункт меню «Дані» призводить до появи підміню, в якому згруповані такі функціональні категорії команд:

- перегляд і коригування основних усереднених показників роботи доменних печей; введення обмежень по паливно-енергетичних ресурсів і продуктивності в цілому на цех;

- завдання різних типів обмежень і їх кількісних величин по кожній печі окремо;

- перегляд і коригування чисельних значень коефіцієнтів, що використовуються для розрахунку параметрів оптимізації;

- завдання питомих вартісних характеристик природного газу і коксу; установка всіх перерахованих вище величин за замовчуванням (лише для демонстраційного варіанта розрахунку).

Основні базові показники роботи доменних печей наступні:

- витрата коксу, т/год; виробництво чавуну, т/год;

- температура горіння на фурмах, °С;

- еквівалент заміни коксу, кг коксу/м³ газу; витрата природного газу, м³/год;

- сумарний витрата газу, м³/год;

- сумарний витрата коксу, т/год;

- загальна продуктивність всіх печей, т/год;
- середній еквівалент заміни коксу по цеху, кг коксу/м³ газу.

Основні базові показники роботи доменних печей, які відображаються у вікні на рис. 5.14.

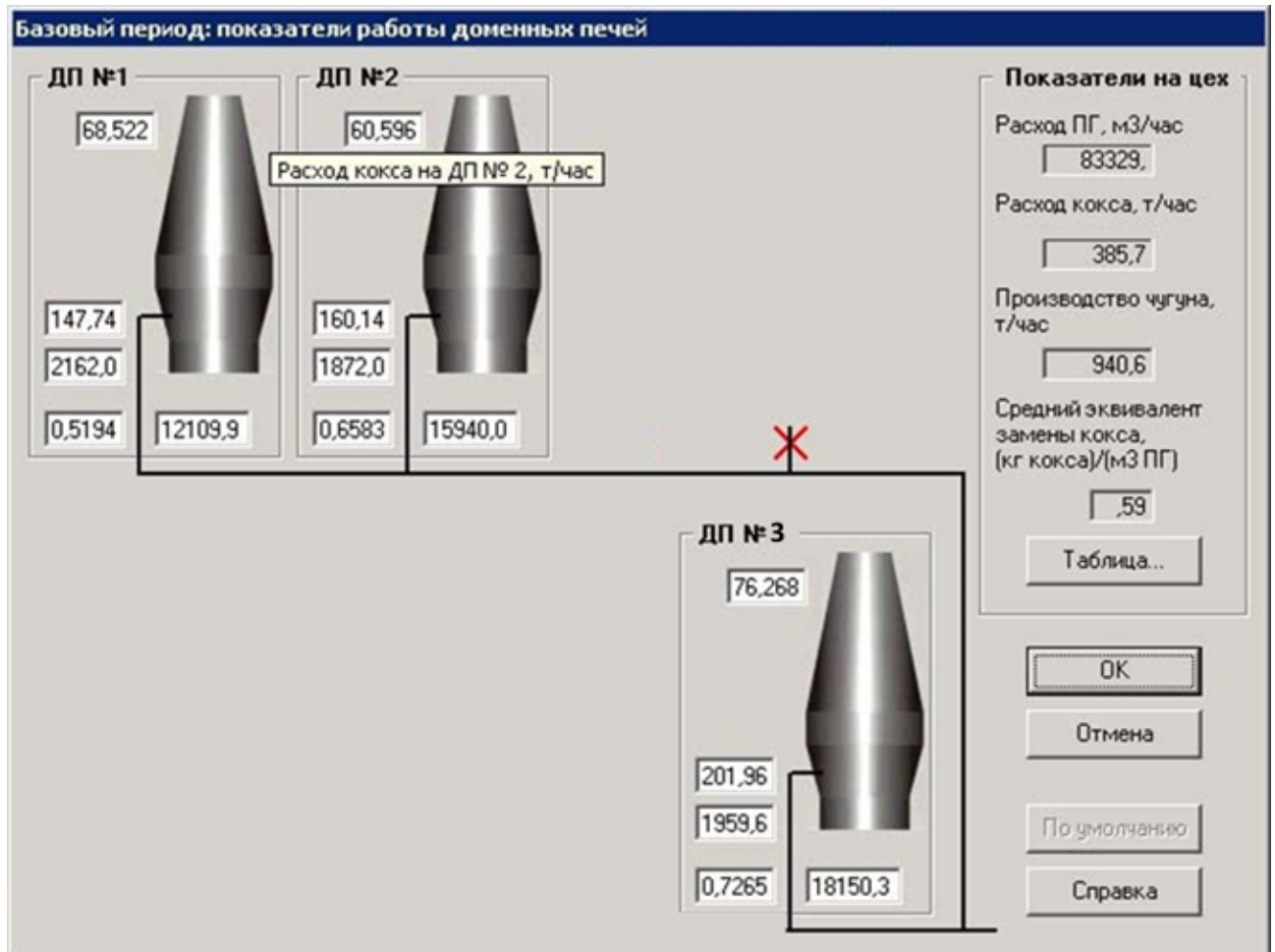


Рисунок 5.14 – Вікно відображення основних базових показників роботи печей

У програмі можливий облік наступних типів обмежень на доменну піч з встановленими максимальними і мінімальними значеннями відповідних параметрів:

- прямий витрата природного газу; температура горіння на фурмах;
- ступінь врівноваження шихти газовим потоком; вміст кремнію в чавуні;
- вміст сірки в чавуні;
- відношення теплоємностей потоків в шахті печі.

Одже, результати впровадження АІС АППС ДЦ дозволять:

- 1) Підвищити якість виробленої продукції доменного цеху за рахунок підвищення оперативності роботи технологічної групи і скорочення часу аналізу якісних і кількісних показників доменного виробництва.
- 2) Надати детальну інформацію про хід технологічного процесу виплавки чавуну для оцінки його економічної ефективності.
- 3) Надати фактичні дані про стан печей і устаткування доменного цеху, оперативно сформувати необхідний комплект звітної документації.
- 4) Скоротити час пошуку необхідної звітної інформації для проведення порівняльного аналізу роботи доменного цеху в різні періоди за рахунок реалізації централізованої структури зберігання звітних даних і дружнього інтерфейсу програмного забезпечення клієнтських додатків.
- 5) Підвищити культуру управління виробництвом, поліпшення умов праці та інформованість оперативного і виробничого персоналу доменного цеху.
- 6) Створити умови для подальшого вдосконалення та розвитку системи АСУ ПТ доменної печі ПАТ «Запоріжсталь».

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

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, наведений 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 мкалл/ч. Теплове опромінення 1500 – 3500 ккалл/(м³·ч) 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 проєкті передбачені конструктивні заходи щодо зниження рівня шуму від повітряно – розвантажувального клапана і скидних клапанів завантажувального пристрою доменної печі.

Відведення повітря(дугтя) 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 небезпечку.

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 неуважністю 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 значенням (площа на одне робоче місце має становити не менше ніж $6,0 \text{ м}^2$, а об'єм не менше ніж $20,0 \text{ м}^3$). 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» [13] 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 Іб – 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.

7 РОЗРАХУНОК КАПІТАЛЬНИХ ВКЛАДЕНЬ У ЗВ'ЯЗКУ З МОДЕРНІЗАЦІЄЮ АСУ ТП

7.1 Визначення капітальних вкладень

У зв'язку з модернізацією системи автоматизованого регулювання (САР) доменної печі ПАТ «Запоріжсталь» проводиться заміна застарілого устаткування на сучасний програмно-технічний комплекс, який має значно більш високі технічні і експлуатаційні можливості, та впровадження нової інформаційно-модулюючої системи управління технологічними режимами виплавки,

До складу АСУТП входять 16 шаф управління (ШУ) на базі технічних засобів ТСА М2002 ТУ У 33.3-14315500-028-2003 вартістю 75000 гривень за одиницю.

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 $V_{уст} = V_{ШУ}$

$$V_{ШУ} = 750000 \cdot 16 = 1200000, \text{ грн.}$$

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

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

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

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).

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

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

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

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_{OB}	1332000 грн.
Витрати на демонтаж існуючої апаратури K_{DM}	66600 грн.
Вартість придбаного устаткування $V_{уст}$	1200000 грн.
Додаткові капіталовкладення модернізацію САР K_{CAP}	1931400 грн.

7.2 Розрахунок річних експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати (V_{CAP}), пов'язані з обслуговуванням нової САР 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).

$$V_{CAP} = V_{ЗП} + V_a + V_p + V_{ел} + V_{ин}. \quad (7.3)$$

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

$$\Phi_{\text{ОП}} = \Phi_{\text{ЗП}} \cdot K_{\text{ін}}, \quad (7.5)$$

де $K_{\text{ін}} = 1,1$

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

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

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

$H_{\text{ЗП}}$ – нарахування на ФОП складають 20%.

Тоді:

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

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

$$B_{\text{ЗП}} = 50 \cdot 71280 = 3564000, \text{ грн.}$$

7.4 Розрахунок річних амортизаційних відрахувань

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

$$B_a = K_{\text{САР}} \cdot H_A / 100, \quad (7.7)$$

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.

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

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

7.6 Витрати електроенергії на живлення

Річні витрати на живлення САР визначаються так:

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

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

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

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

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

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

7.7 Інші витрати

Інші витрати визначаються так:

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

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

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

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

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 $V_{\text{а}}$	319680 грн.
Поточний ремонт нового обладнання $V_{\text{р}}$	39960 грн.
Електричну енергію для живлення нового обладнання $V_{\text{ел}}$	19656 грн.
Інші експлуатаційні витрати $V_{\text{ін}}$	981 грн.
Експлуатаційні витрати $V_{\text{САР}}$	3944277 грн.

7.8 Річна економія експлуатаційних витрат

Економія (E) від модернізації САР визначається за виразом:

$$E = E_{\text{п}} + E_{\text{н}} + E_{\text{вп}} - B_{\text{САР}}$$

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

$E_{\text{н}}$ – економія у зв'язку з підвищенням надійності роботи, грн.;

$E_{\text{вп}}$ – економія у зв'язку зі скороченням витрат електроенергії на власні потреби через модернізацію САР, грн.;

$B_{\text{САР}}$ – вартість річних експлуатаційних витрат.

Економія ($E_{\text{п}}$) від зменшення кількості пусків через зниження відмов САР визначається за виразом:

$$E_{\text{п}} = (1 - K_{\text{від}}) \cdot P_{\text{в}} \cdot t_{\text{від}} \cdot c_{\text{п}} \cdot CB_{\text{ел}}^{\text{од}} / 100, \quad (7.11)$$

де $P_{\text{в}}$ – встановлена електрична потужність ($P_{\text{в}} = 10^6$), кВт;

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

$c_{\text{п}}$ – число скорочених пусків ($c_{\text{п}} = 1$);

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

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

Тоді

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

Економія ($E_{\text{н}}$) у зв'язку з підвищенням надійності роботи ЕС і додатковим виробленням електроенергії ($dE_{\text{в}}$) визначається за виразом:

$$E_{\text{н}} = (CB_{\text{ел}}^{\text{од}} - CB_{\text{ел}}^{\text{од}}) * W_{\text{в}}, \quad (7.12)$$

$СВМ_{\text{ел}}^{\text{од}}$ – собівартість 1 кВтгод з урахуванням додаткової роботи доменної печі після модернізації САР визначається за виразом:

$$СВМ_{\text{ел}}^{\text{од}} = СВ_{\text{ел}}^{\text{од}} (1 - A_{\text{п}} \cdot (1 - W_{\text{в}} / (W_{\text{в}} + dW_{\text{в}}))) \quad (7.13)$$

де $A_{\text{п}}$ – доля умовно-постійних витрат в собівартості 1 кВт*год:

$$A_{\text{п}} = 1 - В_{\text{п}} / СВ_{\text{п}}, \quad (7.14)$$

$$В_{\text{п}} = 183,45 \cdot 10^6 \text{ грн.},$$

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

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

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

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

Тоді:

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

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

$$E_{\text{вп}} = (СР^{\text{од}}_{\text{ел}} - СРМ^{\text{од}}_{\text{ел}}) / 100 \cdot WM_{\text{р}}, \text{ грн.} \quad (7.15)$$

де $WM_{\text{р}}$ – річний обсяг реалізованої ел.енергії зі скороченими витратами на власні потреби на 20%,

$$WM_{\text{р}} = W_{\text{в}} \cdot (1 - q_{\text{м}}^{\text{вп}} / 100), \text{ кВт} \cdot \text{год}, \quad (7.16)$$

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

$$q^{\text{вп}}_{\text{с}} = 4,22\%.$$

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

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

$$СРМ^{\text{од}}_{\text{ел}} = СР^{\text{од}}_{\text{ел}} (1 - A_{\text{п}} * (1 - W_{\text{р}} / WM_{\text{р}})) \quad (7.18)$$

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

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

Підставляючи числові значення, розрахуємо економію (E) від модернізації САР:

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

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 ($dK = K_{\text{САР}}$) визначається:

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

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

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

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

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

Данні по розрахунку зведені в таблиці 7.3.

Таблиця 7.3 – Річна економія експлуатаційних витрат

Розрахунок економічного ефекту від модернізації САР доменної печі	
Економія від модернізації САР E	2875312 грн.
Економія від зменшення кількості пусків через зниження відмов САР Eп	135000 грн.
Економія у зв'язку з підвищенням надійності ЕС Eн	31959200 грн.
Економія у зв'язку зі скороченням витрат електроенергії на власні потреби Eвп	603200 грн.
Вартість річних експлуатаційних витрат BСАР	4299472 грн.
Приріст чистого прибутку d\Pi	7889000 грн.
Термін окупності додаткових капіталовкладень T _o	4,1 роки

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 розроблений проект модернізації доменної печі ПАТ «Запоріжсталь».

В загальній частині роботи проведено аналіз існуючої системи управління технологічними процесами доменної печі та визначені її основні недоліки, а також сформульовані основні задачі для її модернізації.

В спеціальній частині роботи розроблені математичні моделі доменного процесу, здійснено розрахунок параметрів налаштування регуляторів для контуру регулювання частоти обертання турбокомпресорного агрегату. Зроблено розрахунок параметрів налаштування регуляторів для контуру регулювання системи охолодження доменної печі.

Також, було проаналізовано сучасні тенденції розвитку комп'ютерних систем підтримки прийняття рішень і на їх основі розроблена інформаційно-модулююча система управління технологічними режимами виплавки.

Розроблене програмне забезпечення АСР та підібрані технічні засоби автоматизації.

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.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Устрій типової доменної печі. URL: <https://lektsii.org/4-26742.html> (дата звернення: 13.11.2020).
2. Доменний процес. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Доменний_процес (дата звернення: 13.11.2020).
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. Лекція 3. 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: 13.11.2020).
8. Повітрянагрівачі доменної печі. URL: <https://ukrbukva.net/101560-Vozduhonagrevateli-domennoiy-pechi.html> (дата звернення: 13.11.2020).
9. Доменний процес. URL: <https://moyaosvita.com.ua/himiya/domennij-proces/> (дата звернення: 13.11.2020).
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: 13.11.2020).
12. Тема 9 Загальні способи добування металів. URL: <http://samzan.ru/121145> (дата звернення: 13.11.2020).

13. Основи виробництва чавуну й сталі. URL: https://studopedia.su/13_115347_osnovi-virobnitstva-chavunu-y-stali.html (дата звернення: 13.11.2020).

14. Метрологія, інформаційно – вимірювальна техніка та цифрова обробка сигналів. URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2019/05/5.pdf> (дата звернення: 13.11.2020).

15. Опис конструкції автоматизації випалювальної печі. URL: <https://referat.co/ref/383048/read?p=11> (дата звернення: 13.11.2020).

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. Вимоги до системи. URL: <https://mydocx.ru/2-120435.html> (дата звернення: 13.11.2020).

18. 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.

19. Вимоги до ергономіки та технічної естетики. URL: <http://wikipage.com.ua/1x400f.html> (дата звернення: 13.11.2020).

20. Захист від несанкціонованого доступу. URL: <https://infopedia.su/3x73fa.html> (дата звернення: 13.11.2020).

21. 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: 13.11.2020).

22. Створення автоматизованої інформаційної системи. URL: <https://ukrbukva.net/page,6,73565-Sozdanie-avtomatizirovannoiy-informacionnoiy-sistemy.html> (дата звернення: 13.11.2020).

23. 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: 13.11.2020).

24. Конкурсні торги (стр. 13) | Контент-платформа Pandia.ru. URL: <https://pandia.ru/text/79/500/41251-13.php> (дата звернення: 13.11.2020).

25. 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: 13.11.2020).

26. Вимоги до видів забезпечення. URL: <https://mydocx.ru/2-120437.html> (дата звернення: 13.11.2020).

27. КП-1Е, КП-140Е – реєстратори технологічні. URL: https://www.elemer.ru/production/rmt/tehnolog/kp_140e.php (дата звернення: 13.11.2020).

28. Блок живлення БП – 911. URL: https://www.elemer.ru/production/bp/bp_911.php (дата звернення: 13.11.2020).

29. Проектне компонування контролера WAGO. URL: https://vuzlit.ru/740869/proektne_komponuvannya_kontrolera_wago (дата звернення: 13.11.2020).

30. Пускач безконтактний реверсивний ПБР-2М. URL: <https://ukrbukva.net/page,4,10165-Sintez-sistemy-avtomaticheskogo-upravleniya-processom-elektricheskoiy-ochistki-gaza.html> (дата звернення: 13.11.2020).

31. Промислові мікропроцесорні мережі. URL: <http://um.co.ua/8/8-11/8-110801.html> (дата звернення: 13.11.2020).

32. 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.

Принципова електрична схема WAGO 750 – 841

