

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему Дослідження та модернізація системи автоматичного керування електроприводом агрегату для конверторного способу одержання сталі

Виконав: студент б курсу, групи 601МЕ
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Малій М.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Єрмілова Н.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Дрючко О.Г.

(прізвище та ініціали)

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій
Ступінь вищої освіти Магістр
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри автоматичної,
електроніки та телекомунікацій
_____ О.В. Шефер
“ 03 ” вересня 2021 р.

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Малію Максиму Володимировичу

1. Тема проекту (роботи) «Дослідження та модернізація системи автоматичного керування електроприводом агрегату для конверторного способу одержання сталі».

керівник проекту (роботи) Єрмілова Н.В., к.т.н., доцент)

затверджена наказом вищого навчального закладу від “25” серпня 2021 року №688фа.

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 15.12.2021 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) діапазон зміни швидкості переміщення кисневої фурми: 0 – 0,9 м/с; плавний пуск і гальмування: прискорення не більше 2 м/с; автоматична зупинка фурми на заданій висоті над рівнем спокійної ванни з точністю до 10 см; потужність електропривода конвертора фурми – 75кВт.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Аналіз технологічних особливостей киснево-конверторного виробництва сталі. Характеристика електроприводу кисневої фурми і пред'явлених до нього технологічних вимог. Аналіз способів діагностування можливості викиду розплаву з кисневого конвертора. Дослідження впливу сумарної витрати кисню дугтя на викиди розплаву з кисневого конвертора. Аналіз часових діаграм зміни віброприскорення корпусу кисневого конвертора. Методика фільтрації фонових імпульсних перешкод в сигналах віброприскорення корпусу кисневого конвертора. Аналіз зміни середньоквадратичного відхилення значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора. Розрахунок компоненту амплітудного спектра зміни миттєвих значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора. Розрахунок значущих компонентів амплітудного спектра віброприскорення корпусу кисневого конвертора. Технологічні вимоги до системи керування електроприводом кисневої фурми. Розробка функціональної схеми системи керування електроприводом кисневої фурми конвертора. Розробка нечіткої моделі формування величини коригуючого переміщення кисневої фурми. Розробка алгоритму керування електроприводом кисневої фурми конвертора. Розробка функціональної схеми системи технічного діагностування можливості викиду розплаву з кисневого конвертора. Розробка алгоритму діагностування можливості викиду розплаву з кисневого конвертора. Розрахунок економічної ефективності.

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

1. Аналіз технологічних особливостей киснево-конверторного виробництва сталі.
2. Кінематична схема електроприводу кисневої фурми.
3. Існуюча функціональна схема керування електроприводом кисневої фурми конвертора.
4. Структурна схема нечіткої моделі формування величини коригуючого переміщення кисневої фурми.
5. Функції приналежності лінгвістичних змінних нечіткої моделі формування величини коригувального переміщення кисневої фурми.
6. Розроблена функціональна схема керування електроприводом кисневої фурми конвертора.
7. Блок-схема алгоритму керування електроприводом кисневої фурми конвертора.

8. Функціональна схема системи діагностування можливості викиду розплаву з кисневого конвертора.

9. Блок-схема алгоритму діагностування можливості викиду розплаву з кисневого конвертора.

10. Таблиця техніко-економічних показників.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|-----------|--|----------------|------------------|
| | | Завдання видав | Завдання прийняв |
| Економіка | Григор'єва Олеся Володимирівна, к.е.н., доцент | | |

7. Дата видачі завдання **03.10.2021 р.**

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| Пор. № | Назва етапів магістерської роботи | Термін виконання етапів роботи | | | Примітка (плакати) |
|--------|---|--------------------------------|-----------|----------|--------------------|
| | | Дата | Категорія | Відсоток | |
| 1 | Аналіз технологічних особливостей киснево-конверторного виробництва сталі. Характеристика електроприводу кисневої фурми і пред'явлених до нього технологічних вимог | 10.10.21 | | 10% | Пл. 1 |
| 2 | Аналіз способів діагностування можливості викиду розплаву з кисневого конвертора | 15.10.21 | | 20% | Пл. 2 |
| 3 | Дослідження впливу сумарної витрати кисню дуття на викиди розплаву з кисневого конвертора. Аналіз часових діаграм зміни віброприскорення корпусу кисневого конвертора. | 27.10.21 | I | 30% | Пл. 3 |
| 4 | Аналіз зміни середньоквадратичного відхилення значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора. | 02.11.21 | | 40% | Пл. 4 |
| 5 | Розрахунок значущих компонентів амплітудного спектра віброприскорення корпусу кисневого конвертора. Технологічні вимоги до системи керування електроприводом кисневої фурми | 10.11.21 | | 50 % | Пл. 5 |
| 6 | Розробка функціональної схеми системи керування електроприводом кисневої фурми конвертора. Розробка нечіткої моделі формування величини коригуючого переміщення кисневої фурми | 24.11.21 | II | 60% | Пл. 6 |
| 7 | Розробка алгоритму керування електроприводом кисневої фурми конвертора. Розробка функціональної схеми системи технічного діагностування можливості викиду розплаву з кисневого конвертора | 30.11.21 | | 70% | Пл. 7 |
| 8 | Розробка алгоритму діагностування можливості викиду розплаву з кисневого конвертора | 04.12.21 | | 80% | Пл. 8 |
| 9 | Розрахунок економічної ефективності | 10.12.21 | | 90% | Пл. 9 |
| 10 | Оформлення магістерської роботи | 15.12.21 | III | 100% | Пл. 10 |

Магістрант _____
(підпис)

Малій М.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Срмілова Н.В.
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

| | стор. |
|---|-------|
| ВСТУП | 6 |
| РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА | |
| 1.1 Короткі відомості про ВАТ «Дніпровський металургійний комбінат» | 8 |
| 1.2 Аналіз технологічних особливостей киснево-конверторного виробництва сталі | 9 |
| 1.3 Характеристика електроприводу кисневої фурми і пред'явлених до нього технологічних вимог | 17 |
| 1.4 Аналіз способів діагностування можливості викиду розплаву з кисневого конвертора | 21 |
| РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА | |
| 2.1 Дослідження впливу сумарної витрати кисню дуття на викиди розплаву з кисневого конвертора | 23 |
| 2.2 Аналіз часових діаграм зміни віброприскорення корпусу кисневого конвертора | 29 |
| 2.3 Статистичний аналіз часових діаграм віброприскорення корпусу кисневого конвертора | 31 |
| 2.4 Спектральний аналіз часових діаграм віброприскорення корпусу кисневого конвертора | 35 |
| 2.4.1 Розрахунок компоненту амплітудного спектра зміни миттєвих значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора | 35 |
| 2.4.2 Розрахунок значущих компонентів амплітудного спектра віброприскорення корпусу кисневого конвертора | 39 |
| РОЗДІЛ 3 МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ КИСНЕВОЇ ФУРМИ КОНВЕРТОРА | |
| 3.1 Технологічні вимоги до системи керування електроприводом кисневої фурми | 45 |
| 3.2 Розробка функціональної схеми системи керування | |

| | |
|--|----|
| електроприводом кисневої фурми конвертора | 52 |
| 3.3 Розробка нечіткої моделі формування величини коригуючого переміщення кисневої фурми | 54 |
| 3.4 Розробка алгоритму керування електроприводом кисневої фурми конвертора | 60 |
| 3.5 Розробка функціональної схеми системи технічного діагностування можливості викиду розплаву з кисневого конвертора | 63 |
| 3.6 Розробка алгоритму діагностування можливості викиду розплаву з кисневого конвертора | 65 |
| РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА | |
| 4.1. Техніко-економічне обґрунтування | 70 |
| 4.2 Визначення витрат на модернізацію системи керування електроприводом агрегату для конверторного способу одержання сталі | 70 |
| 4.3 Розрахунок річного фонду роботи конвертора | 72 |
| 4.4. Розрахунок річної експлуатаційної продуктивності | 73 |
| 4.5. Розрахунок поточних річних витрат | 74 |
| 4.6. Розрахунок вартості машино–години роботи | 77 |
| 4.7. Розрахунок вартості технологічної операції на одиницю продукції | 77 |
| 4.8 Розрахунок економічного ефекту від проведення модернізації | 77 |
| ВИСНОВКИ | 80 |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ | 81 |
| ДОДАТКИ | |

ВСТУП

Технологія киснево-конверторного переділу рідкого чавуну постійно вдосконалюється в напрямку підвищення якості виплавленої сталі і продуктивності кисневого конвертора. Одним із способів вирішення цих завдань є автоматизація процесів виплавки сталі, в тому числі автоматизація керування електроприводами основних механізмів кисневого конвертора.

Основним режимом роботи кисневого конвертора є продування розплаву киснем. Підвищення продуктивності кисневого конвертора пов'язано зі скороченням часу його простою на ліквідацію наслідків інцидентів, що виникають під час продування розплаву.

Викид розплаву через горловину кисневого конвертора є одним з найпоширеніших інцидентів в ході продувки кисневого конвертора. При викиді розплаву відбувається розлив рідкого металу і шлаку на поверхню корпусу кисневого конвертора та іншого технологічного обладнання, що призводить до тривалої зупинки сталеплавильного процесу та до зниження виходу та погіршення якості продукції зі сталі. В крайніх випадках такий інцидент може призвести до втрати всієї плавки. Основними причинами викидів розплаву є інтенсивне спінювання шлакометалевої емульсії і виникнення інтенсивних коливань поверхні розплаву. Попередній викид розплаву через горловину конвертора у магістерській роботі називається викид розплаву.

Створення системи автоматичного керування електроприводом кисневої фурми конвертора на основі нової, більш достовірної системи діагностування можливості викиду розплаву дозволить ефективно запобігати викидам розплаву, скоротити час простою кисневого конвертора на виконання ремонтних робіт і, як наслідок, підвищити продуктивність виплавки сталі.

У зв'язку з вищевикладеним, метою магістерської роботи є розробка системи автоматичного керування електроприводом кисневої фурми

конвертора, що забезпечує збільшення продуктивності кисневого конвертора за рахунок запобігання простоїв конвертора і втрат металу через викиди розплаву при продуванні кисневого конвертора.

Досягнення поставленої мети вимагає вирішення в магістерській роботі таких основних завдань:

- аналізу відомих технологічних вимог до електроприводу кисневої фурми конвертора з позиції запобігання викидам розплаву через горловину кисневого конвертора;

- аналізу існуючих способів діагностування можливості викиду розплаву через горловину кисневого конвертора і оцінки достовірності діагностичної інформації системи «Моніторинг-К»;

- аналізу часових діаграм зміни віброприскорення корпусу кисневого конвертора в нормальному режимі продувки і при виникненні викидів розплаву через горловину кисневого конвертора;

- визначення діагностичних ознак можливості викиду розплаву через горловину кисневого конвертора в характеристиках зміни віброприскорення корпусу кисневого конвертора, а також їх значень для умов кисневих конверторів;

- розробки функціональної схеми і алгоритму роботи системи керування електроприводом кисневої фурми конвертора, що забезпечують запобігання викидів розплаву через горловину кисневого конвертора;

- аналізу можливостей реалізації розроблених технічних рішень існуючими схемами електроприводу.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Короткі відомості про ВАТ «Дніпровський металургійний комбінат»

Електропривод кисневої фурми здійснює її переміщення уздовж вертикальної вісі конвертора і є основним механізмом в складі кисневого конвертора. Переміщення кисневої фурми уздовж вертикальної вісі конвертора є невід'ємною частиною технологічного циклу роботи кисневого конвертора, так як висота фурми над поверхнею розплаву визначає фізико-хімічні процеси виплавки сталі. Від точності і швидкодії роботи електроприводу кисневої фурми безпосередньо залежить продуктивність кисневого конвертора, його безаварійна робота і якість сталі, що виплавляється.

Одним з резервів підвищення продуктивності кисневого конвертора є скорочення часу простоїв і втрат металу, що виникають унаслідок викидів розплаву через горловину кисневого конвертора, одного з найпоширеніших інцидентів в ході продувки розплаву в кисневому конверторі.

Керування ходом продування металу в конверторі здійснюється технологічним персоналом в ручному режимі з метою регулювання процесу виплавки сталі заданого складу і запобігання викидів розплаву. На більшості українських кисневих конверторах контроль стану плавки здійснюється шляхом візуального спостереження горловини конвертора. На ряді конверторів оцінка стану плавки виконується на основі аналізу характеристик, що відходять із зони реакції газів і за допомогою систем віброакустичного контролю. У киснево-конверторному цеху ВАТ «Дніпровський металургійний комбінат» (ВАТ «ДМК») діагностування можливості викиду розплаву здійснюється системою вібраційного контролю «Моніторинг-К».

При виявленні можливості викиду розплаву технологічний персонал в ручному режимі коригує режим продувки за допомогою керування електроприводом кисневої фурми, зміни інтенсивності подачі кисню і присадки шлакоутворюючих матеріалів.

Аналіз даних експлуатації системи «Моніторинг-К», встановленої на кисневих конверторах №1-3 ВАТ «ДМК», показав наявність великої кількості хибних діагнозів можливості викиду розплаву. Це є однією з причин відсутності на кисневих конверторах ВАТ «ДМК» системи автоматичного керування електроприводом кисневої фурми, здатної запобігати викидам розплаву через горловину кисневого конвертора, в якій система «Моніторинг-К» використовувалася б як діагностична ланка.

Аналіз технологічних особливостей киснево-конверторного процесу виплавки сталі, способів діагностування можливості викиду розплаву через горловину кисневого конвертора і функціональних можливостей системи «Моніторинг-К» дозволить визначити шляхи подальших досліджень в напрямку розробки системи автоматичного керування електроприводом кисневої фурми, що дозволяє оперативно запобігати викидам розплаву на основі достовірного діагностування можливості викидів розплаву через горловину кисневого конвертора.

1.2 Аналіз технологічних особливостей киснево-конверторного виробництва сталі

Киснево-конверторний процес виробництва сталі являє собою сукупність технологічних операцій з переробки рідкого чавуну і металобрухту в сталь заданої марки за допомогою вдування в розплав технічно чистого кисню, що забезпечує видалення вуглецю і домішок, підвищення температури розплаву.

У практиці конверторного виробництва застосовуються три схеми вдування кисню: зверху через спускаючу фурму; через розташовані в днищі

продувальні блоки; комбіноване продування. Найбільшого поширення в металургії отримала схема з верхнім режимом продувки, при якій кисень з витратою до 1500м/хв подається через опускаючи зверху до рівня 2–3 м над розплавом кисневу фурму. У наконечнику такої фурми передбачено декілька спеціальних отворів (сопел), через які кисень вдувається в розплав з надзвуковою швидкістю, створюючи тим самим сприятливі умови для інтенсивного перемішування металу і протікання хімічних реакцій.

Спрощена типова схема кисневого конвертора з верхнім режимом продувки представлена на рисунку 1.1.

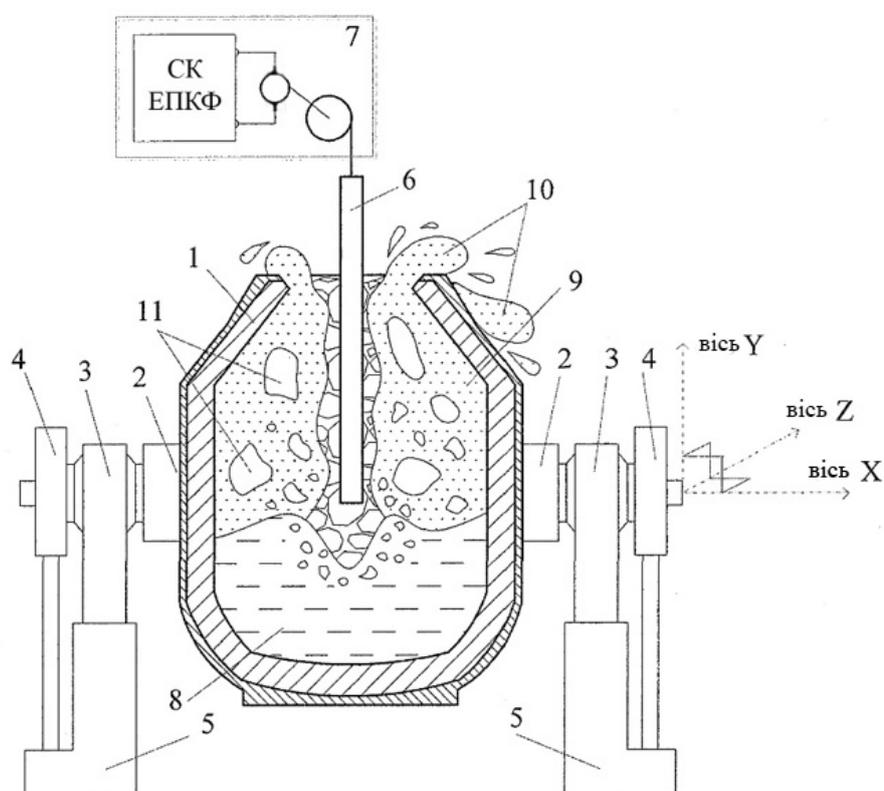


Рисунок 1.1 – Спрощена схема кисневого конвертора з верхнім режимом продувки

1 – корпус з футеровкою; 2 – опорне кільце конвертора; 3 – цапфи конвертора; 4 – механізм повороту конвертора; 5 – станини; 6 – киснева фурма; 7 – електропривод кисневої фурми; 8 – розплав металу; 9 – газо-шлакометалева емульсія; 10 – викид розплаву; 11 – бульбашки газів
СК ЕПКФ – система керування електроприводом кисневої фурми

Кисневий конвертор є відкритою зверху посудиною грушоподібної форми і складається з корпусу з футеровкою 1, опорного кільця конвертора 2, цапф конвертора 3, механізму повороту конвертора 4, станин 5. Через горловину конвертора уздовж вертикальної вісі Y опускається водоохолоджуюча киснева фурма 6. Переміщення кисневої фури здійснюється за допомогою електроприводу 7. Для виконання технологічних операцій (заливка чавуну, слив сталі тощо) конвертор має можливість обертатися навколо горизонтальної вісі X , що проходить через вісь цапфи 3.

З літературних джерел відомо, що технологічний цикл роботи кисневого конвертора (рис. 1.2) включає в себе наступні операції:

- 1) завантаження металобрухту (4–5 хв.);
- 2) заливку чавуну (4–6 хв.);
- 3) продування розплаву киснем (17–23 хв.);
- 4) злив сталі в стальковш (4–8 хв.);
- 5) злив шлаку в шлаковницю (3–6 хв.);
- 6) підготовку до наступного циклу виплавки сталі (3–5 хв.).

Перед початком продувки в робочий простір кисневого конвертора (рис. 1.1) засипається металобрухт (етап I, рис. 1.2), потім заливається рідкий чавун (етап II, рис. 1.2).

Основною технологічною операцією в процесі виплавки сталі в кисневому конверторі є продування розплаву (етап III, рис. 1.2). Над розплавом 7 уздовж вісі Y опускають кисневу фурму 6, через яку здійснюється подача кисню під високим тиском. В результаті взаємодії кисневого струменя і поверхні розплаву відбувається окислення вуглецю і домішок. На поверхні розплаву формується шар газо-шлакометалевої емульсії 9 (рис.1.1). По завершенні продувки киснем проводиться відбір проб для аналізу хімічного складу і температури металу і, якщо параметри сталі відповідають необхідним значенням, виконується злив сталі в стальковш, злив шлаку і підготовка конвертора до наступної плавки (етапи IV–VI, рис. 1.2).

Таким чином, в нормальному режимі роботи кисневого конвертора тривалість технологічного циклу виплавки сталі складає $43 + 8$ хв. (рис. 1.2).

Однією з основних вимог, що ставляться до процесу киснево-конверторної виплавки сталі, є вимога підтримки рівня газо-шлакометалевої емульсії в ванні конвертора в заданому діапазоні протягом всієї плавки.

Особливо критичне підвищення рівня шлакометалевої емульсії вище норми, що призводить до викидів розплаву 10 через горловину конвертора (рис. 1.1). Викидами розплаву називають виплеск макрооб'ємів газо-шлакометалевої емульсії 9 через горловину конвертора, обумовлені різким спінюванням розплаву в моменти вибухового виділення бульбашок газу 11. Викиди розплаву є невід'ємним супутнім фактором технології виплавки сталі в кисневому конверторі. Температура викидаючого розплаву досягає $1500\text{--}1600$ °С. Втрати металу з викидами можуть досягати 2% від маси рідкої сталі в конверторі.

Одним з резервів підвищення продуктивності кисневого конвертора є своєчасне попередження викидів розплаву. При викидах розплаву через горловину кисневого конвертора часто проводиться переривання продувки для скачування шлаку, що призводить до подовження технологічного циклу на $t_{\text{пер}} = 6\text{--}8$ хвилин (рис. 1.3) і зниження виходу придатної сталі до 1,5%. Крім цього, при розливі металу на шляху сталевозу під конвертором блокується підведення стальковша для зливу сталі, внаслідок чого конвертор додатково простоє протягом $20\text{--}40$ хвилин через виконання робіт з розчищення шляхів. Таким чином, через викиди розплаву відбувається збільшення циклу виплавки сталі на $t_{\text{втр}} = 6\text{--}40$ хв.

У разі підйому шлакометалевої емульсії вище допустимого рівня з метою запобігання викидів розплаву потрібне негайне застосування одного або декількох коригувальних впливів: опускання кисневої фурми б (рис. 1.1); зниження витрати вдуваючого кисню; присадка шлакоутворюючих матеріалів.

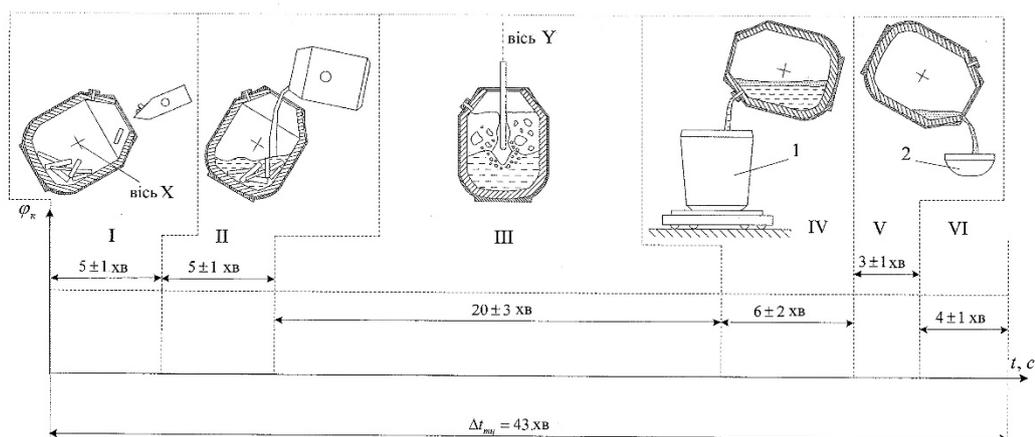


Рисунок 1.2 – Часова діаграма технологічного циклу роботи кисневого конвертора в нормальному режимі

1– стальковщ; 2–шлаковниця

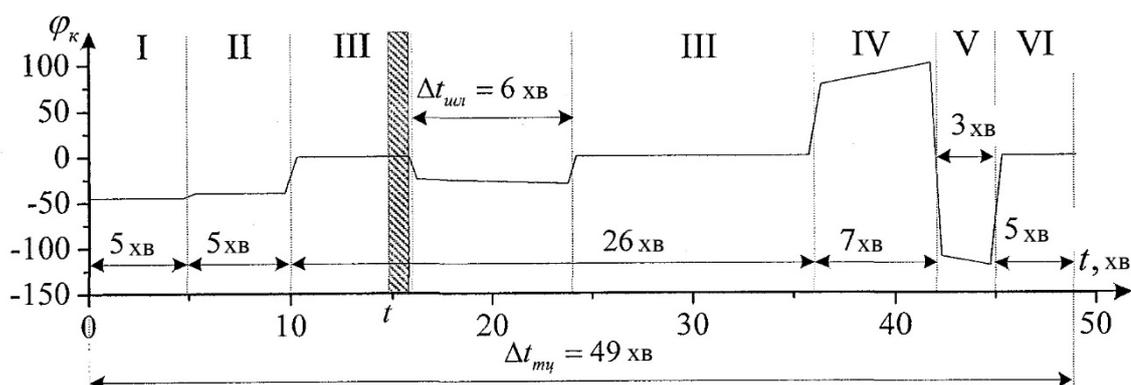


Рисунок 1.3 – Часова діаграма технологічного циклу виплавки сталі в кисневому конверторі при викиді розплаву

Основним застосовуваним способом запобігання викидам розплаву є опускання кисневої фурми, адже при цьому практично не знижується продуктивність конвертора, відсутня додаткова витрата шлакоутворюючих матеріалів. Регулювання положення кисневої фурми здійснюється електроприводом 7 (рис. 1.1).

На підставі викладеного можна зробити наступні висновки:

– викид розплаву з кисневого конвертора є типовим для технології киснево-конверторного виробництва сталі інцидентом;

- викид розплаву з конвертора призводить до втрат металу до 2% і збільшення тривалості технологічного циклу виплавки сталі на 11...78%;
- основним способом запобігання викидам розплаву з конвертора є регулювання положення кисневої фурми.

В даний час в киснево-конверторному цеху ВАТ «ДМК» діють три кисневих конвертора продуктивністю 370 т з верхнім способом продування розплаву [24–25]. Продування розплаву здійснюється через кисневу фурму з інтенсивністю до 2000 м³/хв. Киснева фурма переміщається електроприводом з робочим ходом 20,6 м уздовж вертикальної вісі конвертора зі швидкістю 0,05 – 0,9 м/с. В кінці продувки за допомогою вимірювальної фурми здійснюється вимірювання температури сталі і відбір проб металу. Конвертори №1–3 ВАТ «ДМК» є типовими за основними технічними характеристиками і особливостями технології виплавки сталі. Аналогічні конвертори встановлені на ВАТ «МК Азовсталь» в Україні та закордоном ВАТ «Західносибірський металургійний комбінат», ВАТ «Северсталь», на «Weirton Steel» в США, на «Nippon Steel» в Японії тощо [1–3].

Керування основними механізмами кисневих конверторів на ВАТ «ДМК» здійснюється шляхом ручного і програмного керування автоматизованими електроприводами механізмів агрегатів. Керування продувкою розплаву здійснюється технологічним персоналом в ручному режимі.

Основою автоматизації процесу продувки розплаву є АСК ТП «Плавка». В її функції входить збір і візуалізація даних про стан процесу, установка завдань системи керування електроприводом кисневої фурми, витрати вдуваючого кисню і завантаження шлакоутворюючих матеріалів. АСК ТП «Плавка» може здійснювати зміну завдання висоти кисневої фурми в програмному режимі за встановленим технологічним персоналом шаблоном на основі досвіду попередньої плавки.

В ході продувки розплаву здійснюється ручне або програмне регулювання висоти кисневої фурми над розплавом, витрати кисню дуття і

подача шлакоутворюючих матеріалів. Програмна зміна положення кисневої фурми здійснюється без урахування поточного стану розплаву в конверторі і можливості його викиду. В ході продувки технологічний персонал на підставі даних про хімічний склад газів, що відходять, показань системи діагностування можливості викиду розплаву «Моніторинг-К» і візуального спостереження оператором горловини конвертора оцінює можливість викиду розплаву.

У разі виявлення відхилень від нормального ходу спінювання розплаву технологічний персонал в ручному режимі опускає кисневу фурму на 0,15 – 0,2 м нижче рекомендованого технологічною інструкцією положення, скорочує витрату кисню до 500...600 м/хв., присаджує вапно порціями від 0,5 до 2,0 т. Після запобігання викиду розплаву проводиться плавний перехід в нормальний режим продувки [5].

Застосований ручний спосіб керування має ряд істотних недоліків. Показання газоаналізаторів відображають хід процесу, що протікає зі значною затримкою $\Delta t_1 = 8-12$ с. Так як інтервал часу переходу процесу плавки до викиду розплаву через горловину кисневого конвертора становить 6–18 с [21], то найчастіше дані газоаналізаторів надходять на пульт оператора вже після викиду розплаву. Тому технологічний персонал визначає можливість викиду розплаву переважно візуально. Згідно [20] час суб'єктивної реакції оператора на зміну параметрів процесу продувки становить $\Delta t_1 = 5-10$ с, що призводить до затримки керуючих впливів. Крім того, швидкість переміщення кисневої фурми до рівня, що дозволяє запобігти викиду розплаву, обмежена динамікою електроприводу кисневої фурми.

Проведено аналіз наслідків викидів розплаву на конверторах №1-3 ВАТ «ДМК» за період з 1 вересня 2010 р. по 1 листопада 2010 р. За вказаний період часу викиди розплаву зафіксовані на 152 плавках з 2374. В результаті викидів розплаву на шляху сталевозу проводилися роботи з розчищення шляхів, при цьому сумарний час простою конверторів склав 7 годин. На 32

плавках продування переривалося для скачування шлаку через викиди розплаву, що призвело до подовження технологічного циклу кожної плавки на 6 – 8 хвилин (рис. 1.4) [3].

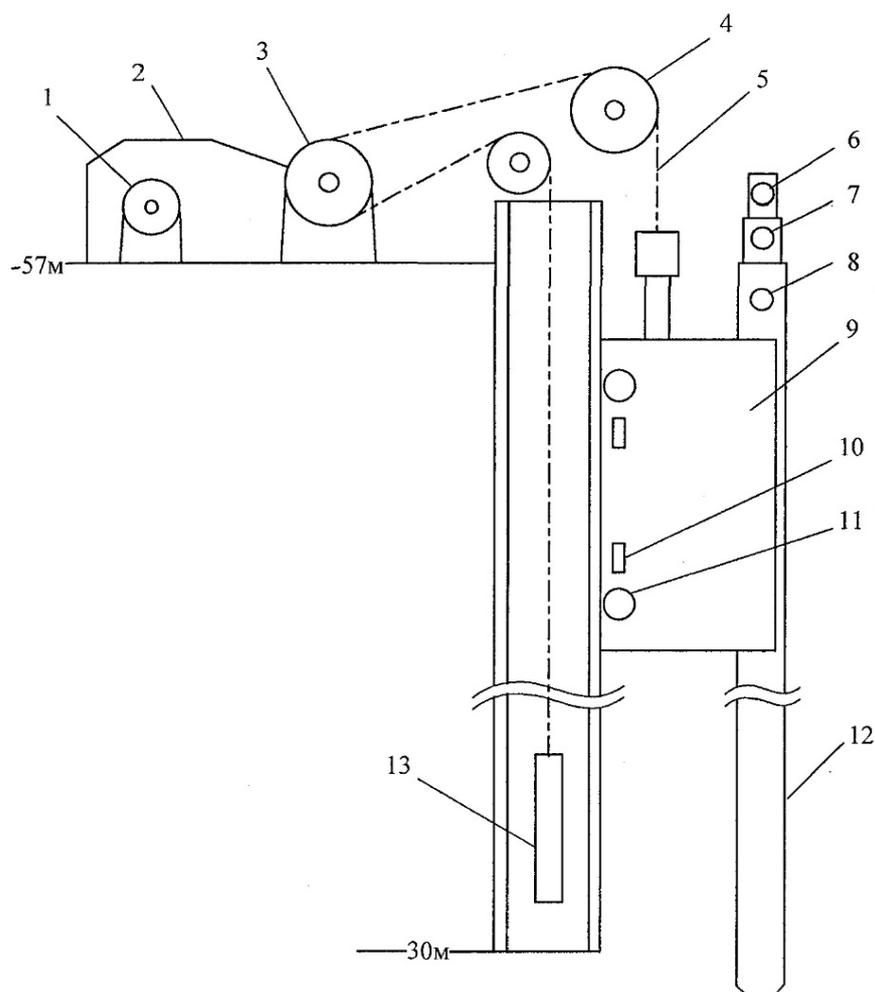


Рисунок 1.4 – Спрощена кінематична схема електроприводу кисневої фурми

1 – електродвигун; 2 – редуктор; 3 – лебідка; 4 – опорний ролик;
5 – трос; 6 – підведення охолоджуючої води; 7 – підведення кисню дуття; 8 – відведення охолоджуючої води; 9 – каретка; 10 – притискні ролики; 11 – напрямні ролики; 12 – киснева фурма; 13 – противага

Таким чином, при ручному керуванні продувкою кисневого конвертора затримка коригувальних впливів з моменту виявлення можливості викиду становить від 13 до 22 с. З урахуванням часу відпрацювання завдання електроприводом кисневої фурми її переміщення до необхідного рівня

здійснюється ще з більшою затримкою. В результаті чого не вдається запобігти викидам розплаву в ході більше 6% продувок сталі в конверторі.

1.3 Характеристика електроприводу кисневої фурми і пред'явлених до нього технологічних вимог

Механізм подачі кисню (МПК) в конверторі включає в себе кисневу фурму, резервну фурму та пристрої для їх переміщення. На конверторах №1-3 ВАТ «ДМК» застосовується механізм подачі кисню виробництва АТ «Південьуралмаш» [5]. Параметри механізму подачі кисню є типовими для українських конверторів і представлені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1– Основні параметри механізму подачі кисню

| Найменування параметру | Значення |
|--|----------|
| Робочий хід кисневої фурми, м | 20,45 |
| Швидкість переміщення кисневої фурми, м/с: | |
| номінальна | 0,76 |
| мінімальна | 0,05 |
| максимальна | 0,9 |
| Витрата кисню, м ³ /хв. | 800–2000 |

Спрощена кінематична схема електроприводу кисневої фурми представлена на рисунку 1.4. Переміщення кисневої фурми 12 здійснюється електродвигуном 1, встановленим на спеціальному майданчику над конвертором.

Головна технологічна вимога до МПК – забезпечення необхідної інтенсивності подачі кисню в розплав.

На більшості кисневих конверторах в Україні електропривод кисневої фурми виконаний за системою ТП-Д з підлеглим регулюванням координат із зовнішнім контуром регулювання положення кисневої фурми [26].

Функціональна схема типового електропривода кисневої фурми конверторів №1-3 ВАТ «ДМК» представлена на рисунку 1.5.

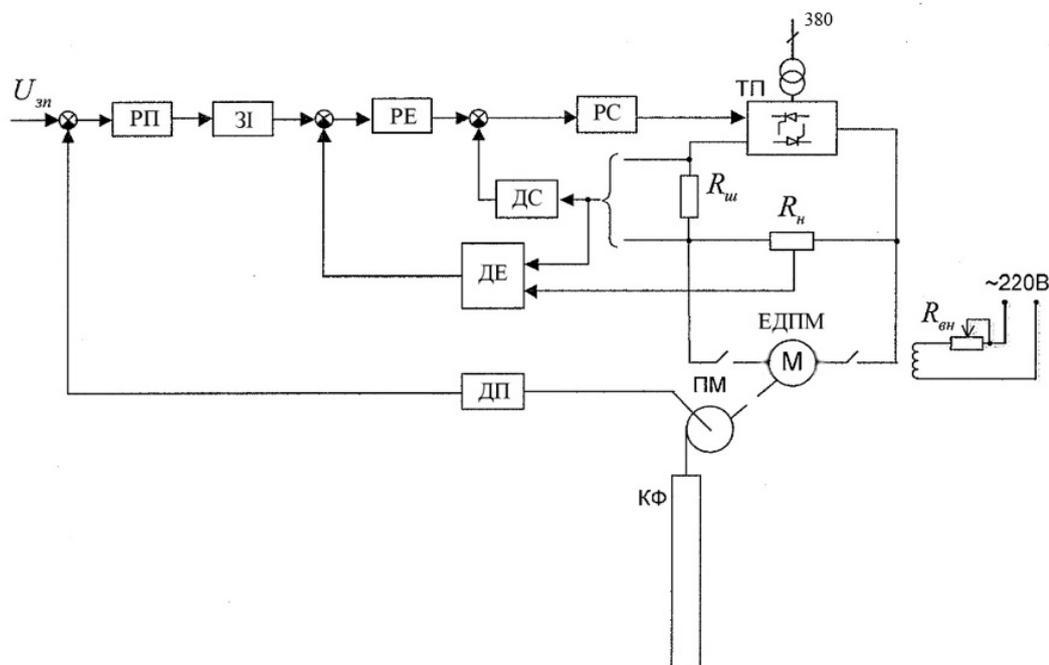


Рисунок 1.5 – Функціональна схема електроприводу кисневої фурми конверторів №1-3 ВАТ «ДМК»

ТП – тиристорний перетворювач; ЗІ – задатчик інтенсивності; РС – регулятор струму; ДС – датчик струму; ДЕ – датчик ЕРС; РЕ – регулятор ЕРС; РП – регулятор положення; ДП – датчик положення; ЕД – електродвигун кисневої фурми; Л – лебідка; КФ – киснева фурма

Для підтримки заданої швидкості обертання електродвигуна система керування електроприводом кисневої фурми має внутрішній контур регулювання ЕРС на виході тиристорного перетворювача з підлеглим контуром регулювання якірного струму електродвигуна.

До складу електроприводу кисневої фурми на ВАТ «ДМК» входять:

- двох-кінцева лебідка з противагою;
- електродвигун постійного струму типу Д812;
- тиристорний перетворювач типу «ТКЕ 500/220» виробництва ВАТ «Запорізький завод Перетворювач»;

– понижуючий редуктор типу «ЦД 650» з передавальним числом 16,3 і максимальним обертовим моментом 17250 Н·м;

– гальмо типу «ТКП400»;

– сельсин типу «БД1404» з редуктором 1:5 «ВПФ-11-01-24150».

Тиристорний перетворювач «ТКЕ 500/220» являє собою шестипульсний тиристорний керований перетворювач з мікропроцесорною системою керування.

Параметри електродвигуна постійного струму Д812 виробництва ІТЦ «ЛаборКомплектСервіс» наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Параметри електродвигуна Д812

| Параметр | U_n , В | I_n , А | P_n , кВт | ω_n , об/хв. | ω_{max} , об/хв. | M_{max} , Н·м |
|----------|-----------|-----------|-------------|---------------------|-------------------------|-----------------|
| Значення | 220 | 380 | 75 | 515 | 1900 | 4000 |

Система керування електроприводом кисневої фурми конверторів №1–3 ВАТ «ДМК» (рис. 1.6) реалізує два режими швидкості переміщення: нормальний режим та аварійний режим (Р2). В аварійному режимі переміщення кисневої фурми здійснюється зі швидкістю 0,9 м/с, в нормальному режимі переміщення кисневої фурми здійснюється зі швидкістю до 0,76 м/с.

До електроприводу кисневої фурми ставляться наступні основні технологічні вимоги:

1. Діапазон зміни швидкості переміщення кисневої фурми: 0 – 0,9 м/с.
2. Плавний пуск і гальмування: прискорення не більше 2 м/с.
3. Автоматична зупинка фурми на заданій висоті над рівнем спокійної ванни з точністю до 10 см.

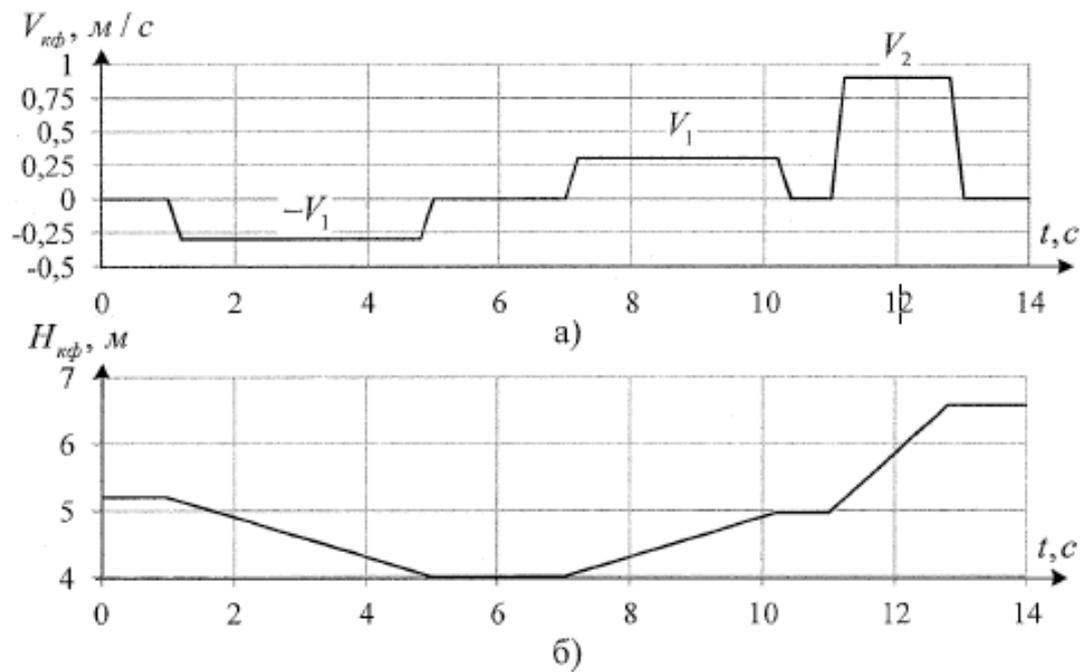


Рисунок 1.6 – Часові діаграми зміни лінійної швидкості переміщення кисневої фурми V_{kf} (а) і її висоти над рівнем спокійного розплаву H_{kf} (б)

З аналізу технологічних вимог до електроприводу кисневої фурми і функціональних можливостей існуючих систем автоматизованих електроприводів кисневих фурм конверторів №1-3 ВАТ «ДМК» слідує:

1. Застосовувані системи керування електроприводом кисневої фурми конверторів забезпечують виконання лише обов'язкових технологічних вимог. Корекція положення кисневої фурми при виявленні можливості викиду розплаву з конвертора здійснюється в ручному режимі.

2. У системі керування електроприводом кисневої фурми конверторів не передбачена технічна можливість автоматичного керування положенням кисневої фурми з метою запобігання викидів розплаву при продуванні кисневого конвертора.

3. Відсутня науково обґрунтована методика розрахунку допустимих значень часових інтервалів роботи електроприводу кисневої фурми з позицій автоматичного запобігання викидам розплаву при продуванні кисневого конвертора.

4. Технологічні вимоги до електроприводу кисневої фурми з точки зору запобігання в автоматичному режимі викидів розплаву при продуванні кисневого конвертора і алгоритми реалізації даних вимог не визначені.

Вирішення зазначених проблем вимагало аналізу способів діагностування можливості викиду розплаву і функціональних можливостей застосовуваної на ВАТ «ДМК» системи технічного діагностування можливості викиду розплаву «Моніторинг-К».

1.4 Аналіз способів діагностування можливості викиду розплаву з кисневого конвертора

Інтенсивне спінювання розплаву, що приводить в деяких випадках до його викидів з конвертора, є невід'ємною частиною технології виплавки сталі. Основними технологічними причинами зазначеного явища є: виникнення високо-амплітудних коливань поверхні розплаву; різке прискорення швидкості окислення вуглецю в розплаві і в шлако-металевій емульсії, супроводжувані утворенням великих міхурів в обсязі розплаву [6].

З метою запобігання викидам розплаву з кисневого конвертора на практиці використовуються системи діагностування можливості викиду розплаву з конвертора. Пряме вимірювання параметрів процесу плавки, таких як висота шлакометалевої емульсії і швидкість її спінювання, неможливо [12]. Тому дані системи діагностування побудовані за принципом аналізу непрямих параметрів процесу плавки.

На вітчизняних і зарубіжних конверторах застосовуються системи діагностування стану плавки, побудовані на основі аналізу зміни наступних параметрів: характеристик газів, що відходять, вібрації конвертора і шуму продувки [9].

Спосіб діагностування можливості викиду розплаву на основі аналізу газів, що відходять застосовується на більшості підприємствах. Основні труднощі у використанні зазначеного способу діагностування в системах

керування полягає в необхідності створення надійної і довговічної системи відбору та підготовки проб газу. Як уже було відзначено вище, процес вимірювання концентрації газів, що відходять кисневого конвертора характеризуються значною затримкою, що виникає внаслідок інерційності газоаналізаторів та їх віддаленістю від зони протікання реакцій. Ці фактори знижують ефективність вжитих технологічним персоналом керуючих впливів. Найбільш перспективними способами непрямого контролю процесу продувки конвертора є акустичний, вібраційний і їх комбінація. Віброакустичний спосіб діагностування можливості викиду розплаву заснований на вимірюванні акустичних коливань, вібрації корпусу конвертора і вібрації кисневої фурми.

Вібрація корпусу конвертора визначається гідродинамікою процесу і потужністю перемішування конверторної ванни бульбашками газу. Основними джерелами вібрації є спливаючі газові бульбашки і сплески газоплакометалевої емульсії. На рівень вібрації корпусу конвертора, крім технологічних факторів, впливає також зменшення товщини футеровки, зміна процентного співвідношення заливаючого чавуну і металобрухту, заростання горловини конвертора і вібрація навколишнього агрегату обладнання.

Фірмами «Nippon Steel Corporation» та «SIEMENS VAI» розроблені системи технічного діагностування можливості викиду розплаву і запобігання викидів розплаву за допомогою автоматичного введення шлакоутворюючих матеріалів і регулювання положення кисневої фурми. Однак показники ефективності подібних систем в літературі не наводяться, а структура і алгоритми їх роботи є комерційною таємницею.

РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1 Дослідження впливу сумарної витрати кисню дуття на викиди розплаву з кисневого конвертора

Для цілодобової фіксації викидів розплаву на головних постах керування конверторів №1–2 були встановлені відеокамери, спрямовані на горловину конвертора. За допомогою зазначених відеокамер здійснювався запис відеокадрів у вигляді архіву даних, на основі якого технологічним персоналом проводилася оцінка стану плавки. Викид розплаву відзначався при спостереженні переливу шлакометалевої емульсії через горловину конвертора.

Функціональна схема системи збору даних на кисневому конверторі №1-2 ВАТ «ДМК» представлена на рисунку 2.1. Датчики вібрації 1 здійснюють вимірювання віброприскорення корпусу кисневого конвертора 2 в трьох вісях X, Y, Z. Сигнали віброприскорення посилюються блоком посилення БПС 3 і передаються в блок функціональної обробки УФО 4, де проводиться їх аналогово-цифрове перетворення. У цифровому вигляді сигнали віброприскорення передаються в станцію діагностики РСД 5. На головному посту керування кисневого конвертора встановлена цифрова відеокамера 6, за допомогою якої здійснюється відеозапис горловини конвертора 2. Сервер АСК ТП «Плавка» 7 здійснює збір даних про технологічні параметри плавки, таких як положення кисневої фурми 8 від системи керування електроприводом кисневої фурмою 9, витрата кисню дуття та інших.

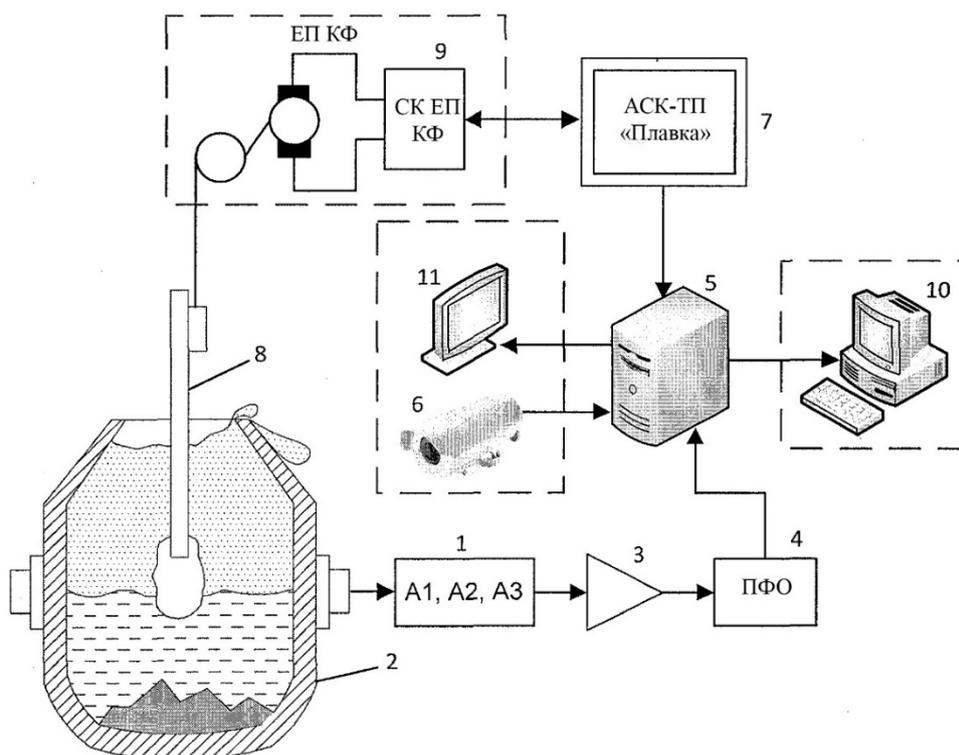


Рисунок 2.1 – Схема системи збору статистичних даних

1 – датчики віброприскорення; 2 – корпус кисневого конвертора;
 3 – підсилювач сигналів віброприскорення; 4 – блок функціональної обробки;
 5 – станція діагностики; 6 – цифрова відеокамера; 7 – сервер АСК ТП
 «Плавка»; 8 – киснева фурма; 9 – система керування електроприводом
 кисневої фурми; 10 – персональний комп'ютер; 11 – дисплей оператора
 продувки

Від сервера АСК ТП «Плавка» 7 значення технологічних параметрів плавки, а також значення сигналу режиму роботи конвертора (табл.2.1), передаються в блок РСД 5. Сигнал режиму роботи конвертора приймає одне з таких значень: «Завантаження металобрухту», «Заливка чавуну», «Продувка», «Злив сталі», «Злив шлаку», «Ремонт». У блоці РСД проводиться формування комплексних архівів даних, які по завершенні кожного продування надходять в персональний комп'ютер 10.

Параметри вхідних сигналів, які використовуються для діагностування можливості викиду розплаву, наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Параметри вхідних сигналів

| № | Назва | Частота дискретизації | Одиниці виміру |
|---|---|-----------------------|---------------------|
| 1 | Віброприскорення уздовж вісей Z, Y і X, що вимірюється датчиками A1, A2, A3 | 512 Гц | м/с ² |
| 2 | Висота кисневої фурми над рівнем спокійного розплаву Н _{кф} | 1 Гц | м |
| 3 | Миттєва витрата кисню дуття | 1 Гц | м ³ /хв. |
| 4 | Сумарна витрата кисню дуття | 1 Гц | м ³ |
| 5 | Сигнал режиму роботи конвертора | 1 Гц | – |

В ході продувки кисневого конвертора формуються масиви часових діаграм миттєвих значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора A_{xi} , A_{yi} , A_{zi} уздовж вісей X, Y і Z конвертора відповідно.

Кожна Часова діаграма включає в себе $N_A = 512$ спостережень миттєвих значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора в інтервалі часу 1 с.

Протягом інтервалу часу з 10 травня 2020 по 10 вересня 2020 року зібрані масиви часових діаграм, A_{xi} , A_{yi} , A_{zi} віброприскорення корпусу кисневого конвертора №1 ВАТ «ДМК» уздовж його вісей X, Y і Z, містять по $K_A = 239843$ часових діаграм віброприскорення корпусу кисневого конвертора уздовж кожної його вісі X, Y і Z.

На основі результатів візуальної оцінки викидів розплаву по відеоархіву сформований масив S_i спостережуваного стану плавки, що приймає дискретні значення: 0 – нормальний процес продувки; 1 – викид

розплаву, де I – номер елемента масиву C_i , що відповідає i -й часовій діаграмі віброприскорення корпусу кисневого конвертора в масивах A_{xi} , A_{yi} , A_{zi} .

Для визначення закономірності виникнення викидів розплаву при продуванні кисневого конвертора проведено аналіз розподілу значень сумарної витрати кисню дуття Q на момент часу спостереження викиду розплаву в ході $N=40$ продувок (рис. 2.2).

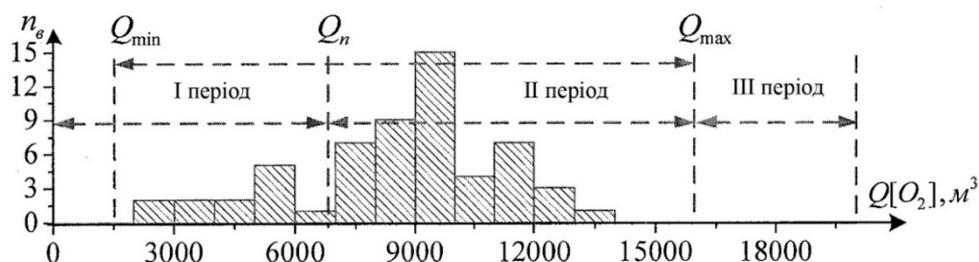


Рисунок 2.2 – Гістограма розподілу значень сумарної витрати кисню дуття на момент часу викиду розплаву

Відповідно до технології киснево-конверторного виробництва конверторну плавку можна розділити на три основних етапи [1–4]:

- 1) запалювання плавки і переважне окислення домішок;
- 2) етап постійної швидкості знеуглецювання;
- 3) завершальний етап продувки.

Відповідно до відомих закономірностей протікання процесу продувки конвертора [8–10] викиди розплаву спостерігаються в першому і другому періодах продувки (рис. 2.2). На початку продувки, коли сумарна витрата кисню дуття Q не перевищує $Q_{\min} = 2000 \text{ м}^3$ викиди розплаву не спостерігаються, що пояснюється малим об'ємом шлаку в розплаві. Наприкінці продувки відбувається значне зниження швидкості знеуглецювання [10], в результаті чого при $Q > Q_{\min} = 1,4 \cdot 10^3 \dots 1,5 \cdot 10^3 \text{ м}^3$ викиди розплаву не спостерігаються.

Проведена перевірка розподілу значень сумарної витрати кисню дуття в момент викиду розплаву на відповідність нормальному закону розподілу за критерієм Пірсона $\chi^2_{\text{пр}}$.

Значення параметра $\chi_{\text{пр}}$ розраховане за виразом (табл. 2.2):

$$\chi_{\text{пр}}^2 = \sum_{m=1}^k \frac{(n_m - F_m)^2}{F_m}; \quad (2.1)$$

де: n_m – частота попадань значень сумарної витрати кисню в інтервал m ;

$k=8$ – число інтервалів розбиття значень сумарної витрати кисню Q [O_2];

F_{im} – теоретична частота потрапляння значень сумарної витрати кисню Q [O_2] в інтервал m .

$$F_{0m} = \frac{N}{S\sqrt{2\pi}} \int_{x_{m-1}}^{x_m} e^{-\frac{1}{2S^2}(x_m - \overline{Q[O_2]})^2}; \quad (2.2)$$

де: $\overline{Q[O_2]}$ – математичне очікування значень сумарної витрати кисню Q [O_2].

$$\overline{Q[O_2]} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N Q[O_2]_j; \quad (2.3)$$

де: S – середньоквадратичне відхилення значень сумарної витрати кисню Q [O_2].

$$\overline{Q[O_2]} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (Q[O_2]_j - \overline{Q[O_2]})^2}; \quad (2.4)$$

де: x_m – верхня межа інтервалу m .

Число ступенів свободи $\eta = k - 2 - 1 = 5$.

Таблиця 2.2 – Статистичні характеристики масиву значень сумарної витрати кисню дуття в момент викиду розплаву

| N | $\overline{Q[O_2]}$, м ³ | $S_{Q[O_2]}$, м ³ | $\chi_{\text{тб}}^2$ | χ_m^2 |
|----|--------------------------------------|-------------------------------|----------------------|------------|
| 40 | 8892 | 2000 | 6,2 | 11,1 |

Для досліджуваної вибірки виконується нерівність $\chi_{\text{пр}}^2 \leq \chi_m^2$ (табл. 2.2).

Отже, закон розподілу значень сумарної витрати кисню дуття в момент

викиду розплаву відповідає нормальному і індивідуальне спостереження випадкової величини сумарної витрати кисню дуття в момент викиду розплаву з ймовірністю $\rho = 0,95$ знаходиться в інтервалі:

$$\overline{Q[O_2]} - 2\sigma_{Q[O_2]} < Q[O_2] < \overline{Q[O_2]} + 2\sigma_{Q[O_2]}; \quad (2.5)$$

де: $2\sigma_{Q[O_2]}$ – верхня межа довірчих інтервалів генеральної дисперсії розсіювання значень $Q [O_2]$ на рівні значущості $\alpha = 0,05$ [15].

$$\sigma_{Q[O_2]} = \sqrt{\frac{f \cdot S_{Q[O_2]}^2}{\chi_{\alpha=0,05}^2}}; \quad (2.6)$$

де: $\chi_{\alpha=0,05}^2$ – квантиль розподілу Пірсона з числом ступенів свободи;

$f = N - 1$ і довірчою ймовірністю $\rho = 0,95$.

Межі інтервалу (2.5) для технологічних умов виплавки сталі на конверторах ВАТ «ДМК» $Q [O_2]_{\min} = 1420\text{м}^3$, $Q [O_2]_{\max} = 1,67 \cdot 10^4 \text{ м}^3$.

Запропоновано: виконувати діагностування можливості викиду розплаву при виконанні умови:

$$Q[O_2]_{\min} < Q[O_2] < Q[O_2]_{\max}; \quad (2.7)$$

Для подальшого аналізу сформовані вибірки часових діаграм віброприскорення корпусу кисневого конвертора уздовж його вісей X, Y, Z: $A_X^{\text{норм}}, A_Y^{\text{норм}}, A_Z^{\text{норм}}$ при нормальному ході продувки і $A_X^{\text{вик}}, A_Y^{\text{вик}}, A_Z^{\text{вик}}$ при можливості викиду розплаву. У вибірки $A_X^{\text{норм}}, A_Y^{\text{норм}}, A_Z^{\text{норм}}$ включаються часові діаграми віброприскорення корпусу кисневого конвертора в інтервалах часу продувок кисневого конвертора, протягом яких величина сумарного обсягу кисню дуття $Q [O_2]_j$ задовольняє нерівності (2.7).

Так як перехід процесу плавки до стану, що передує викиду розплаву, відбувається не менше ніж за 10 с [5,7], запропоновано включити в вибірки $A_X^{\text{вик}}, A_Y^{\text{вик}}, A_Z^{\text{вик}}$ часові діаграми віброприскорення корпусу кисневого конвертора на часовому інтервалі $[t_{\text{в.поч.}}=10 \text{ с}; t_{\text{в.кін}}]$ кожного продування, в

ході якого спостерігався викид розплаву, де $t_{в.поч}$ – час початку спостереження викиду розплаву, час $t_{в.кін}$ закінчення спостереження викиду розплаву.

Обсяг вибірок $A_X^{норм}, A_Y^{норм}, A_Z^{норм}$ склав $K_{норм} = 16510$ часових діаграм віброприскорення корпусу кисневого конвертора, обсяг вибірок $A_X^{вик}, A_Y^{вик}, A_Z^{вик}$ склав $K_{вик} = 588$ часових діаграм віброприскорення корпусу кисневого конвертора.

2.2 Аналіз часових діаграм зміни віброприскорення корпусу кисневого конвертора

Типові часові діаграми зміни значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора уздовж вісей X, Y і Z протягом однієї плавки без викидів розплаву представлені на рисунку 2.3.

Як впливає з рисунка 2.3 в ході продувки значно змінюється амплітуда віброприскорення корпусу кисневого конвертора: до моменту часу $t = 200$ с від моменту часу початку продувки $t = 0$ с амплітуда віброприскорення уздовж вісей X, Y і Z не перевищує $A_{x,200,max} = 0,009 \text{ м / с}^2$, $A_{y,200,max} = 0,012 \text{ м / с}^2$, $A_{z,200,max} = 0,0097 \text{ м / с}^2$, досягаючи максимальної величини в другій половині інтервалу часу $t > 550$ з продувки ($A_{x,1082,max} = 0,059 \text{ м / с}^2$, $A_{y,1082,max} = 0,057 \text{ м / с}^2$, $A_{z,1082,max} = 0,0052 \text{ м / с}^2$).

Аналіз часових діаграм віброприскорення корпусу кисневого конвертора показав наявність фонових імпульсних перешкод високої амплітуди, що перевищує амплітуду віброприскорення корпусу кисневого конвертора без перешкод в 3–8 разів (рис. 2.4). Виникнення зазначених перешкод пов'язано з накладенням коливань від іншого цехового обладнання на вібрацію корпусу кисневого конвертора, пов'язану з процесом продування.

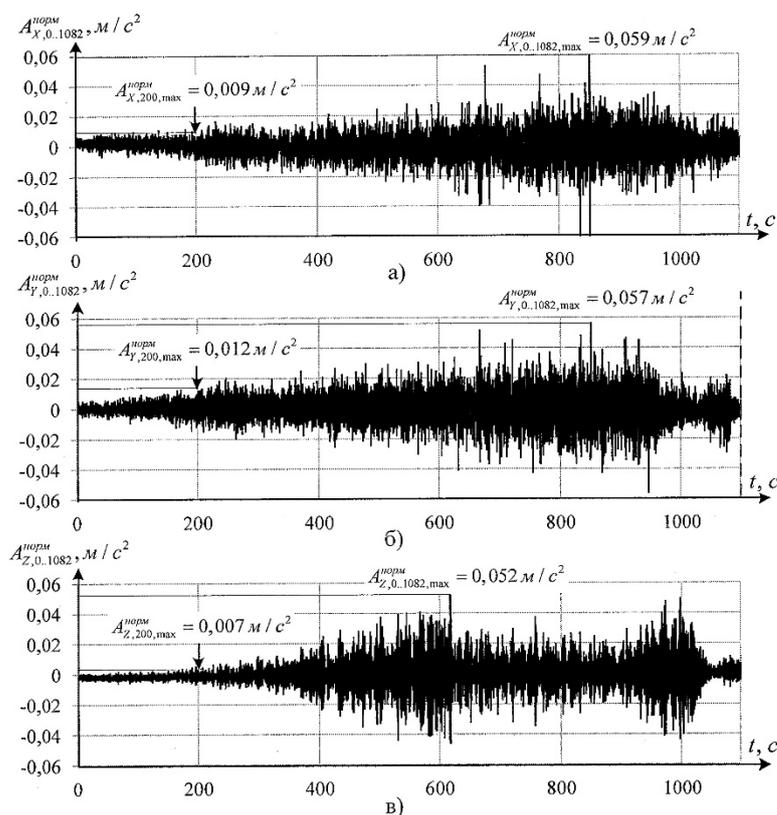


Рисунок 2.3 – Типові часові діаграми зміни значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора
а) уздовж вісі Y; б) уздовж вісі Z; в) уздовж вісі X.

На рисунку 2.4 приведена часова діаграма зміни миттєвих значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора уздовж вісі X. У момент часу $t = 99,9$ с з початку продувки спостерігається фонові імпульсна перешкода тривалістю $t_{\text{ИП}} \approx 0,1$ с.

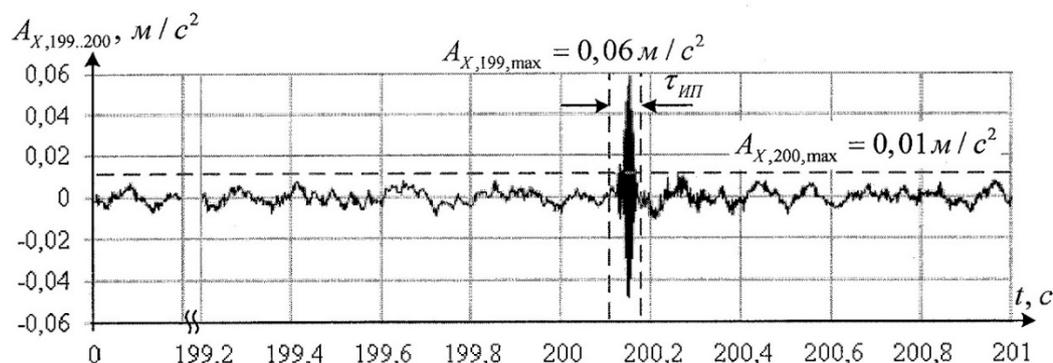


Рисунок 2.4 – Часова діаграма зміни миттєвих значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора при наявності фонові імпульсної перешкоди

Максимальне значення віброприскорення в часовому інтервалі спостереження імпульсної перешкоди становить $A_{x,199,\max} = 0,06 \text{ м / с}^2$, що в 6 разів перевищує амплітуду віброприскорення корпусу кисневого конвертора без перешкод $A_{x,200,\max} = 0,01 \text{ м / с}^2$.

Наявність фонові імпульсної перешкоди значно спотворює часові діаграми зміни миттєвих значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора (рис. 2.4), що перешкоджає вилученню корисної інформації про характер протікання фізико-хімічних процесів продувки кисневого конвертора. Формальна статистична обробка значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора без урахування можливих перешкод призведе до зниження вірогідності діагностування можливості викиду розплаву. Тому запропоновано виключити з обробки значення віброприскорення корпусу кисневого конвертора, отримані в інтервалі часу спостереження фонових імпульсних перешкод.

2.3 Статистичний аналіз часових діаграм віброприскорення корпусу кисневого конвертора

Перевірка на відповідність нормальному закону розподілу зміни миттєвих значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора проведена для часових діаграм тривалістю 10 с, складених шляхом об'єднання послідовно розташованих часових діаграм в вибірках $A_X^{\text{норм}}, A_Y^{\text{норм}}, A_Z^{\text{норм}}, A_X^{\text{вик}}, A_Y^{\text{вик}}, A_Z^{\text{вик}}$ окремо для кожної вісі конвертора (рис. 2.5).

Кількість спостережень миттєвих значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора в кожному аналізованому інтервалі часу $N_{CA} = 5120$. Оцінка відповідності розподілу значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора нормальному закону розподілу проведена за критерієм Пірсона [15,26] шляхом підстановки в вираз (2.1–2.4) A_X, A_Y і A_Z замість $Q [O_2]$.

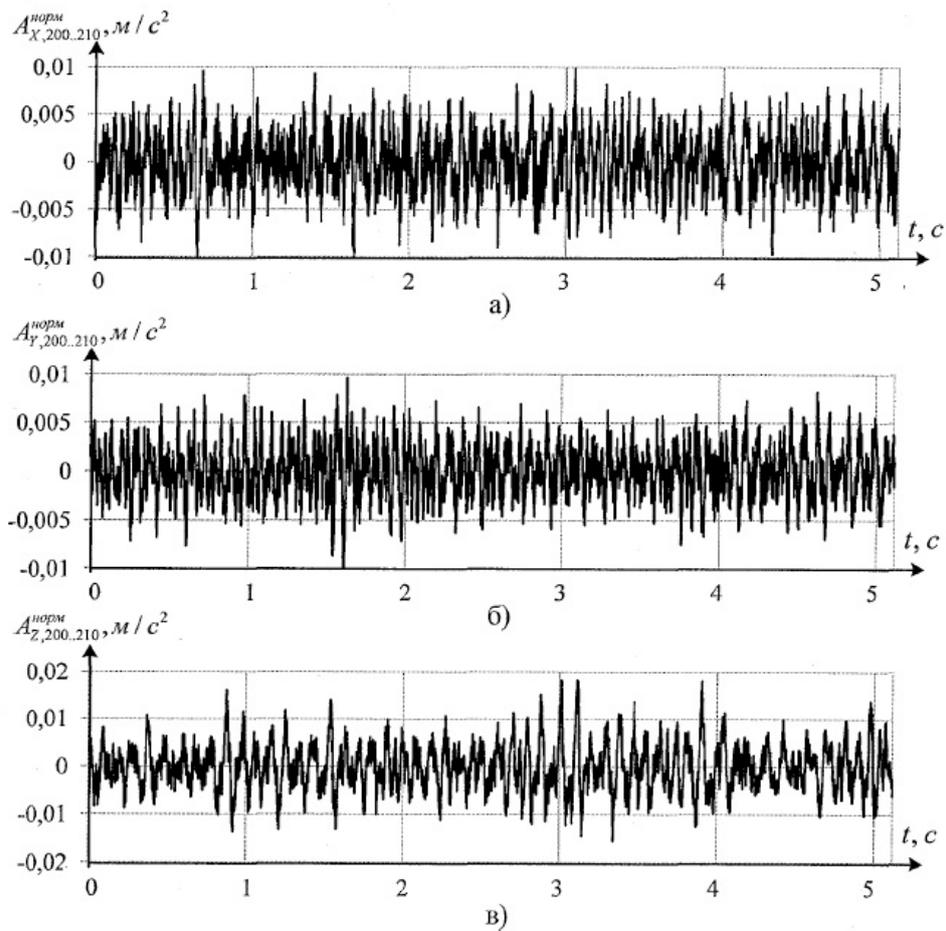


Рисунок 2.5 – Часові діаграми миттєвих значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора

а) уздовж вісі X конвертора; б) уздовж вісі Y конвертора; в) уздовж вісі видання Z конвертора

Фрагмент таблиці з результатами розрахунків статистичних характеристик зміни значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора наведено в таблиці 2.3. Для всіх досліджуваних вибірок (табл. 2.3) виконується нерівність:

$$\chi_{\text{пр}}^2 \leq \chi_{\text{м}}^2; \quad (2.8)$$

що свідчить про те, що закон зміни в часі миттєвих значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора уздовж його вісей X, Y і Z на часових інтервалах тривалістю 10 с відповідає нормальному.

Таблиця 2.3 – Результати розрахунку величини $\chi_{\text{пр}}^2$

| Індекс масиву | N_{CA} | $\overline{A_{i,i+10}}$ | $S(A_{i,i+10})$ | $\chi_{\text{пр}}^2$ | $\chi_{\text{м}}^2$ |
|------------------------------|-----------------|-------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| $A_{\text{X}}^{\text{норм}}$ | 5120 | $2,5 \cdot 10^{-4}$ | $2,6 \cdot 10^{-3}$ | 8,41 | 12,59 |
| $A_{\text{Y}}^{\text{норм}}$ | 5120 | $3,7 \cdot 10^{-4}$ | $5,1 \cdot 10^{-3}$ | 5,18 | 12,59 |
| $A_{\text{Z}}^{\text{норм}}$ | 5120 | $4,1 \cdot 10^{-4}$ | $1,2 \cdot 10^{-3}$ | 6,16 | 12,59 |
| $A_{\text{X}}^{\text{вик}}$ | 5120 | $3,3 \cdot 10^{-4}$ | $5,4 \cdot 10^{-3}$ | 10,32 | 12,59 |
| $A_{\text{Y}}^{\text{вик}}$ | 5120 | $4,2 \cdot 10^{-4}$ | $4,9 \cdot 10^{-3}$ | 9,84 | 12,59 |
| $A_{\text{Z}}^{\text{вик}}$ | 5120 | $4,8 \cdot 10^{-4}$ | $3,2 \cdot 10^{-3}$ | 8,77 | 12,59 |

З метою перевірки стаціонарності зміни миттєвих значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора на часових інтервалах тривалістю 10 с виконана перевірка гіпотези про однорідність дисперсій (S^2 (A_i)) миттєвих значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора уздовж його вісей X, Y і Z за критерієм Кохрена.

Параметри розподілу Кохрена розраховувалися для вибірок значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора уздовж кожної вісі конвертора, складених з $K_c = 10$ послідовних часових діаграм з масивів $A_{\text{X}}^{\text{норм}}, A_{\text{Y}}^{\text{норм}}, A_{\text{Z}}^{\text{норм}}, A_{\text{X}}^{\text{вик}}, A_{\text{Y}}^{\text{вик}}, A_{\text{Z}}^{\text{вик}}$. Значення параметра G розподілу Кохрена розраховане за виразом [20]:

$$G_i = \frac{S_{i\text{MAX}}^2}{\sum_{i=1}^{K_c} S_i^2}; \quad (2.9)$$

де: $S_{i\text{max}}^2$ – найбільша з порівнюваних дисперсій;

$$S_i^2 = \frac{1}{N_A - 1} \sum_{j=1}^{N_A} (A_{i,j} - \overline{A_i})^2 - \text{значення вибіркової дисперсії значень}$$

віброприскорення корпусу кисневого конвертора;

$i = 0, 1, \dots, K_{\text{норм}}$ (для вибірок $A_X^{\text{норм}}, A_Y^{\text{норм}}, A_Z^{\text{норм}}$ і (для вибірок $A_X^{\text{вик}}, A_Y^{\text{вик}}, A_Z^{\text{вик}}$) – номер часової діаграми зміни віброприскорення корпусу кисневого конвертора;

$K_C = 10$ – кількість незалежних оцінок дисперсії S_i^2 значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора.

Фрагмент результатів розрахунку для перевірки гіпотези про однорідність дисперсій вибірок значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Результати перевірки на однорідність дисперсій вибірок значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора уздовж кожної вісі конвертора

| Індекс вибірки | G | \bar{G} |
|---------------------|------|-----------|
| $A_X^{\text{норм}}$ | 0,07 | 0,25 |
| $A_Y^{\text{норм}}$ | 0,09 | 0,25 |
| $A_Z^{\text{норм}}$ | 0,05 | 0,25 |

З таблиці 2.4 випливає, що для вибірок значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора, виміряних в інтервалах часу 10 с виконується нерівність $G < \bar{G}$, що свідчить про однорідність дисперсій зазначених вибірок.

Таким чином, закон зміни значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора, виміряних в інтервалах часу 10 с відповідає нормальному розподілу і умові стаціонарності, тому правомірно застосувати метод спектрального аналізу для визначення діагностичних ознак можливості викиду розплаву.

2.4 Спектральний аналіз часових діаграм віброприскорення корпусу кисневого конвертора

В ході продувки кисневого конвертора значно змінюються умови протікання фізико-хімічних процесів рафінування сталі і шлакоутворення. Параметри генеруючих при цьому механічних коливань являють собою реалізацію нестационарного випадкового процесу [18].

Інформація про динаміку зміни частотних характеристик часових діаграм зміни миттєвих значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора, може служити основою для визначення діагностичних ознак можливості викиду розплаву.

2.4.1 Розрахунок компонент амплітудного спектра зміни миттєвих значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора

З метою встановлення закономірностей впливу можливості викиду розплаву на частотні характеристики зміни миттєвих значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора виконаний розрахунок значень компонент амплітудного спектра зміни миттєвих значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора за методом спектрального перетворення на основі авторегресивної моделі зміни миттєвих значень [20].

Вихідними даними для частотного аналізу часових діаграм зміни миттєвих значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора є: частота дискретизації миттєвих значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора $f_s=512$ Гц; розмірність масивів миттєвих значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора $N_{СП} = 5120$, що відповідає інтервалу часу 10 с.

Для розрахунку амплітудного спектра зміни миттєвих значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора застосований метод оцінки параметрів авторегресивної моделі часових діаграм зміни миттєвих значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора. Ступінь авторегресивної

моделі $R = 1000$ обрана з умови точності оцінки форми зміни миттєвих значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора в діапазоні аналізованих частот $0,1-100$ Гц [10].

Значення компонентів $AC_{X,i}(f_n), AC_{Y,i}(f_h), AC_{Z,i}(f_h)$ амплітудних спектрів зміни миттєвих значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора уздовж кожної з його вісей на h -й частоті визначено за наступним виразом [20]:

$$AC_i(f_h) = \sqrt{\frac{S_{p,i}^2}{\Delta f \left| \sum_{m=1}^{R_c} \varphi_m e^{\frac{-j2\pi m f_h}{f_s}} \right|^2}}; \quad (2.10)$$

де: $\Delta f = \frac{f_s}{N_{СП}} = 0,1$ Гц. – частотний інтервал між компонентами

спектра зміни віброприскорення корпусу кисневого конвертора;

φ_m – коефіцієнти авторегресивної моделі зміни миттєвих значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора, розраховані за методом найменших квадратів шляхом рішення системи лінійних рівнянь [21]:

$$\begin{cases} \varphi_1 A_{i,999} + \varphi_2 A_{i,998} + \dots + \varphi_{1000} A_{i,0} = A_{i,1000} \\ \varphi_1 A_{i,1000} + \varphi_2 A_{i,999} + \dots + \varphi_{1000} A_{i,1} = A_{i,1001} \\ \dots \\ \dots \\ \varphi_1 A_{i,5118} + \varphi_2 A_{i,5117} + \dots + \varphi_{1000} A_{i,4119} = A_{i,5119} \end{cases}; \quad (2.11)$$

де: $A_{i,j}, j = 0 \dots 5119$ – масив миттєвих значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора, m/c^2 ;

S_p^2 – дисперсія розсіювання помилки авторегресивної моделі зміни миттєвих значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора:

$$S_{p,i}^2 = \frac{1}{N_{СП}} \sum_{j=1000}^{N_{СП}} \left(\left(A_{i,j} - \sum_{m=1}^{1000} \varphi_m A_{i,j-m} \right) - \overline{A_{p,i}} \right)^2; \quad (2.12)$$

де: $\overline{A}_{p,i}$ – математичне очікування помилки авторегресивної моделі зміни миттєвих значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора:

$$\overline{A}_{p,i} = \frac{1}{N_{СП}} \sum_{o=1000}^{N_{СП}} \left(\sum_{m=1}^{1000} \varphi_m A_{i,j-m} \right); \quad (2.13)$$

На рисунку 2.6 наведені графіки компонент амплітудного спектра зміни значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора для часових діаграм зміни значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора уздовж вісі X, виміряних в ході однієї продувки за 60 с до викиду розплаву (а) і за 5 с до викиду розплаву (б).

Найбільший рівень вібрації доводиться на низькочастотну область 5–20 Гц (рис.2.6), що відповідає відомим закономірностям [28].

При можливості викиду розплаву і при нормальному ході продувки в ході однієї плавки форми графіків зміни $AC_i(f_h)$ аналогічні, однак у вузьких частотних діапазонах відзначається зростання величин компонентів амплітудного спектра зміни значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора при можливості викиду розплаву.

Для виявлення можливих відмінностей в часових діаграмах віброприскорення корпусу кисневого конвертора при нормальному ході продувки і при можливості викиду розплаву необхідно провести аналіз часових діаграм зміни кожного компоненту амплітудного спектра віброприскорення корпусу кисневого конвертора.

При можливості викиду розплаву відбувається зростання значень деяких компонентів амплітудного спектра віброприскорення корпусу конвертора ($f_h = 0, \dots, 0,6 \text{ Гц}, 10 \text{ Гц}, 27 \text{ Гц}$ і ін.), що може бути діагностичною ознакою (рис. 2.7).

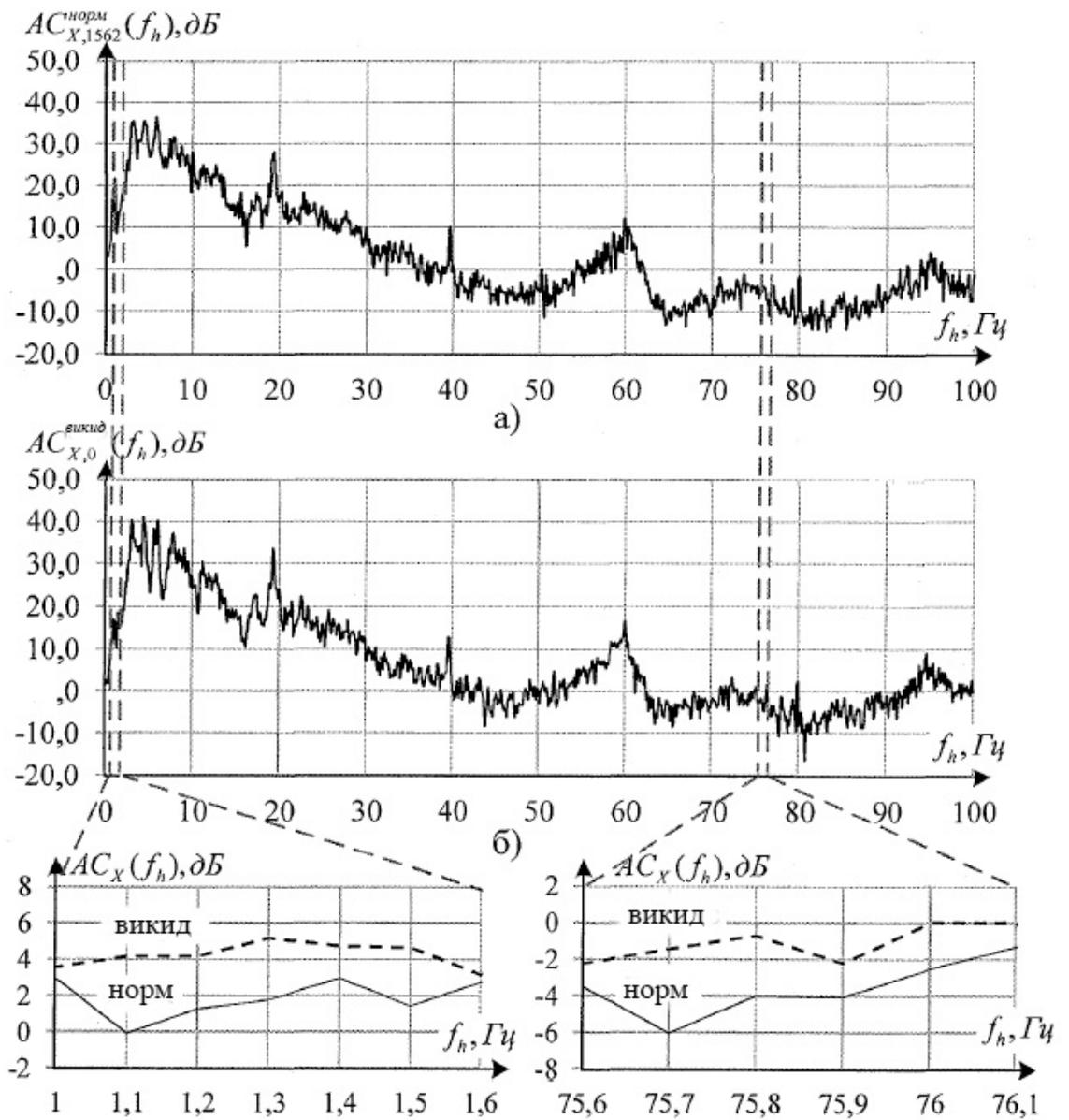


Рисунок 2.6 – Графіки компонентів амплітудного спектра віброприскорення корпусу кисневого конвертора
а) за 60 с до викиду розплаву; б) за 10 с до викиду розплаву

Для визначення виду діагностичних ознак необхідно провести статистичний аналіз значень компонентів амплітудного спектра віброприскорення корпусу кисневого конвертора.

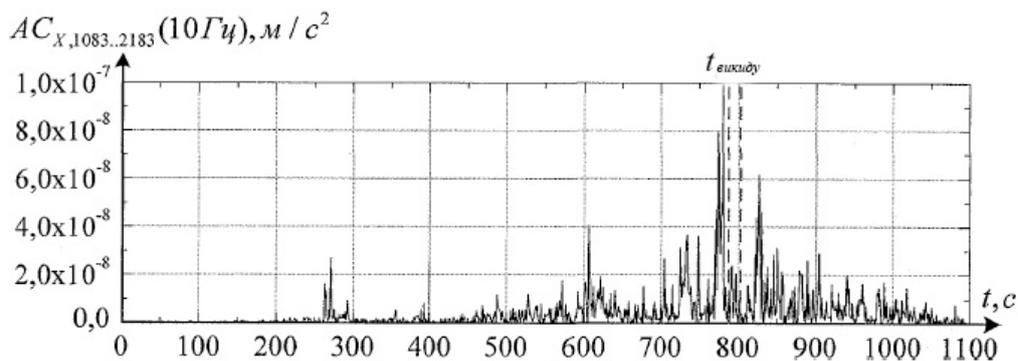


Рисунок 2.7 – Часова діаграма компоненту $AC_{x,i}(10\text{Гц})$ амплітудного спектра віброприскорення корпусу кисневого конвертора

Розраховані значення компоненту амплітудного спектра зміни значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора для часових діаграм зміни значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора № 1 в ході 59 плавок при викидах розплаву $N_{\text{вик}} = 588$ і в ході 191 плавок при нормальному ході процесу продувки $N_{\text{норм}} = 16170$.

Сформовано масиви значень компонента амплітудного спектра зміни значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора уздовж трьох його вісей X, Y, Z: $A_{X_i}^{\text{норм}}(f_h), A_{Y_i}^{\text{норм}}(f_h), A_{Z_i}^{\text{норм}}(f_h); A_{X_i}^{\text{вик}}(f_h), A_{Y_i}^{\text{вик}}(f_h), A_{Z_i}^{\text{вик}}(f_h)$.

2.4.2 Розрахунок значущих компонентів амплітудного спектра віброприскорення корпусу кисневого конвертора

Статистична оцінка 1000 компонентів амплітудного спектра зміни значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора скрутна і не інформативна. Доцільно визначити значимі для діагностування можливості викиду розплаву компоненту амплітудного спектра зміни значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора.

Для визначення значущих компонентів амплітудного спектра зміни значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора сформовані масиви

$$L_X = [AC_X(f_{1...1000})]_{1...N_L}, L_Y = [AC_Y(f_{1...1000})]_{1...N_L}, L_Z = [AC_Z(f_{1...1000})]_{1...N_L}$$

де: $N_L = N_{\text{норм}} + N_{\text{вик}} = 16758$.

В якості критерію значущості компонентів амплітудного спектра зміни значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора обраний максимум величини приросту інформації $G_{h\max}$ [22]:

$$G_{h\max} = \max \left(G \left(AC_i \left(f_{hy} \right) \right) \right), k = 0 \dots K; \quad (2.14)$$

де: $G \left(AC_i \left(f_h \right) \right)$ – приріст інформації:

$$G \left(AC_i \left(f_h \right) \right) = E \left(L, AC_i \left(f_h \right) \right) - \sum_{k=1}^{m_i} \frac{|L_k|}{|L|} E_k \left(L_k, AC_i \left(f_h \right) \right); \quad (2.15)$$

де: m_i – кількість значень $c_{i,k}$, прийнятих $AC_i \left(f_h \right)$ в масиві L ;

L_k – підмножина масиву L , в якому виконується умова $AC_i \left(f_h \right)$;

$E_k \left(L, AC_i \left(f_h \right) \right)$ – величина ентропії, що характеризує несуперечливість вибірки L :

$$E_k \left(L, AC_i \left(f_h \right) \right) = - \sum_{k=1}^{m_{i,j}} p_{i,k} \log_2 p_{i,k}; \quad (2.16)$$

де: $p_{i,k}$ – пропорція елементів масиву L в яких компонент приймає значення $c_{i,k}$:

$$p_{i,h} = \frac{F \left(L, c_{i,k} \right)}{|L|}; \quad (2.17)$$

де: $F \left(L, c_{i,k} \right)$ – кількість елементів вибірки в яких компонент $AC_i \left(f_h \right)$ приймає значення $c_{i,k}$.

Запропоновано методикау перетворення компонентів амплітудного спектра зміни значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора, що дозволяє значно знизити обсяг аналізованих даних:

1. Для кожного компонента $AC_i \left(f_h \right)$ амплітудного спектра зміни значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора розраховується максимум величини приросту інформації G_{\max} по формулі (2.14).

2. Проводиться сортування $AC_i \left(f_h \right)$ в масиві L за критерієм зменшення значення в результаті G_{\max} чого формується масив L^* ,

3. З масиву L^* виключаються компоненти $AC_i(f_h)$ амплітудного спектра зміни значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора, для яких виконується умова $Gh_{\max} < 0,95$, що дозволяє виділити найбільш інформативні компоненти амплітудного спектра.

4. Для кожної пари $(AC_i(f_h), AC_i(f_n))$, $h > n$ розраховується значення коефіцієнта рангової кореляції Спірмена ρ [12]:

$$\rho = \frac{1 - 6 \sum_{j=1}^{N_L} d_j^2}{N_L (N_L^2 - 1)}; \quad (2.18)$$

де: d_j – різниця між рангами елементів масивів $(AC_i(f_h), AC_i(f_n))$, визначеними відповідно до правил ранжирування [12].

5. Формується масив величин значущих компонент амплітудного спектра V_i шляхом розрахунку середнього значення компонент амплітудного спектра зміни значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора,

коефіцієнт парної кореляції яких $\rho > 0,8$: $V_i = \frac{\sum_{h=n}^{n+Kf} AC_i(f_h)}{Kf}$. Компоненти $AC_i(f_n, \dots, AC_i(f_{n+Kf}))$ виключаються з масиву L^* і проводиться перехід до п. 1.

В результаті розрахунків по вказаній методиці були знайдені діапазони частот для розрахунку значущих компонентів амплітудного спектра зміни значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора (табл. 2.5).

Отримані часові діаграми значущих компонентів віброприскорення корпусу кисневого конвертора характеризуються високою дисперсією (рис. 2.8, а), яка відповідає їх математичним очікуванням, що призведе до невиправданого розширення довірчих інтервалів при їх подальшому аналізі з метою визначення діагностичних ознак [13].

Для зниження дисперсії значущих компонентів амплітудного спектра зміни значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора розраховані згладжені значення $b_{i,j}^*$ значущих компонентів амплітудного спектра зміни

значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора уздовж трьох вісей за методом експоненціального згладжування [11]:

$$b_{i,j}^* = \begin{cases} b_{i,j}^0, \text{ якщо } j = 0 \\ b_{i,j} \frac{1}{\tau_c} + \left(1 - \frac{1}{\tau_c}\right) b_{i,j-1}^*, \text{ якщо } j > 0 \end{cases}; \quad (2.19)$$

Таблиця 2.5 – Діапазони частот, що відповідають значущим компонентам амплітудного спектра зміни значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора уздовж вісей X, Y, Z

| | $b_{Y,1}$ | $b_{Y,2}$ | $b_{Y,3}$ | $b_{Y,4}$ | $b_{Y,5}$ | $b_{X,1}$ | $b_{X,2}$ | $b_{X,3}$ | $b_{X,4}$ | $b_{Z,1}$ | $b_{Z,2}$ |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| f_h | 0,1- | 0,9- | 3,4- | 22,1- | 73,9- | 0,1- | 2,9- | 23,3- | 71- | 20,7- | 65,3- |
| Гц | 0,7 | 2,6 | 7,8 | 30,2 | 98,4 | 0,9 | 6,3 | 31,8 | 96,3 | 29,5 | 82,7 |

Згладжування значних компонентів віброприскорення корпусу кисневого конвертора дозволяє знизити дисперсію їх значень, але вносить часову затримку в оцінку значень значущих компонентів. Збільшення коефіцієнта τ_c призводить до зниження дисперсії значень значущих компонентів і збільшення тривалості затримки їх оцінки. Значення коефіцієнта $\tau_c = 20$ вибрано з умови компромісу між діагностичною значимістю спектральної оцінки і часовою затримкою спектральної оцінки віброприскорення корпусу кисневого конвертора [20]. Часові діаграми вихідних і згладжених значень перших значущих компонентів амплітудного спектра віброприскорення корпусу кисневого конвертора уздовж його вісі X представлені на рисунку 2.8.

Згідно [17], можливість викиду розплаву супроводжується різкою зміною параметрів генеруючої вібрації в кисневому конверторі. Тому для діагностування можливості викиду розплаву запропоновано додатково аналізувати величину темпу зміни значущих компонентів амплітудного спектра зміни миттєвих значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора (рис. 2.9, б):

$$\left(\Delta b_{i,j}^* / \Delta t\right) = \frac{b_{i,j}^* - b_{i,j-1}^*}{\Delta t}; \quad (2.20)$$

де: $\Delta t = 1$ с – інтервал часу між розрахунками величини $b_{x,j}^*$, яка визначається довжиною часових діаграм віброприскорення корпусу кисневого конвертора, одержуваних від системи збору даних.

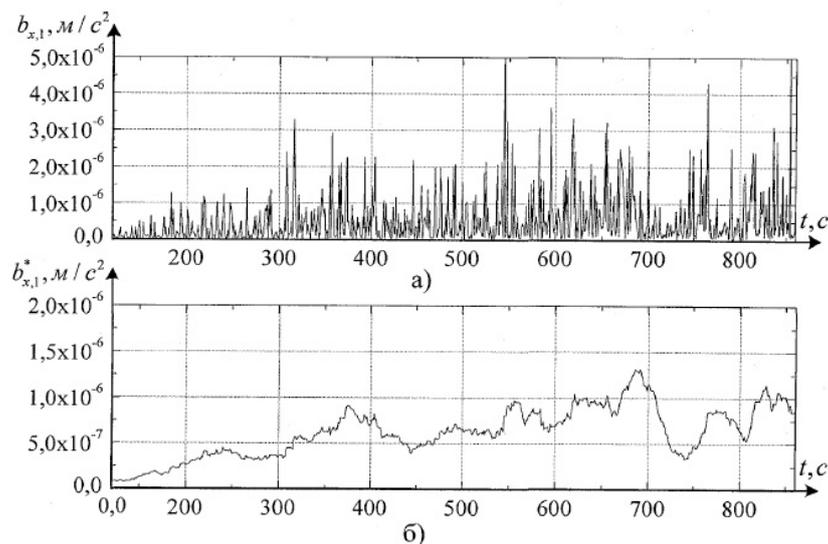


Рисунок 2.8 – Часові діаграми значущих компонентів амплітудного спектра віброприскорення корпусу кисневого конвертора

а) не згладжена $b_{x,1}$ б) згладжена $b_{x,j}^*$

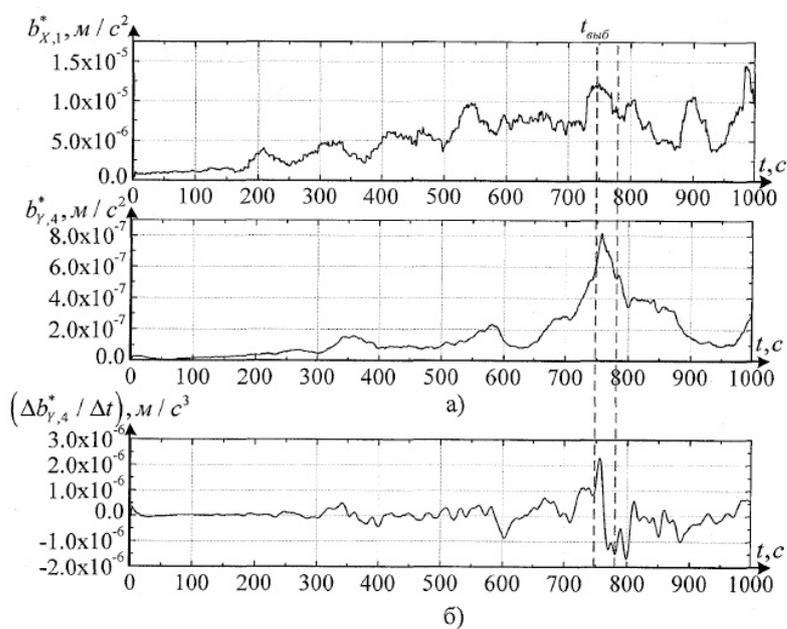


Рисунок 2.9 – Часові діаграми

а) значущих компонентів $b_{X,1}^*$ і $b_{Y,4}^*$ амплітудного спектра віброприскорення корпусу кисневого конвертора; б) темпу зміни $\Delta b_{Y,4}^* / \Delta t$ компоненту $b_{Y,4}$

При можливості викиду розплаву через горловину кисневого конвертора в момент часу $t_{\text{вик}}$ спостерігається зростання величин значущих компонентів амплітудного спектра віброприскорення корпусу конвертора і темпу їх зміни (рис. 2.9), що є передумовою для використання зазначених параметрів в якості діагностичних ознак.

Для визначення діагностичних ознак необхідно провести статистичний аналіз величин і темпи зміни значущих компонентів амплітудного спектра віброприскорення корпусу кисневого конвертора при нормальному ході продувки і при можливості викиду розплаву з кисневого конвертора.

РОЗДІЛ 3 МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ КИСНЕВОЇ ФУРМИ КОНВЕРТОРА

В даний час на сучасних вітчизняних кисневих конверторах запобігання викидів розплаву через горловину конвертора в процесі продувки здійснюється технологічним персоналом шляхом ручного керування електроприводом кисневої фурми [12–24].

Системи керування електроприводом кисневої фурми конверторів українського виробництва не мають функціональної можливості автоматичного запобігання викидам розплаву через горловину кисневого конвертора [12–24].

Принципи побудови зарубіжних систем автоматичного керування електроприводом кисневої фурми конвертора, що дозволяють запобігати викиду розплаву, в технічній літературі не описані.

Конкретні технологічні вимоги до електроприводу кисневої фурми конвертора з позицій запобігання викидам розплаву не визначені. Відсутній і алгоритм доцільного керування електроприводом кисневої фурми конвертора, що дозволяє в автоматичному режимі виконувати запобігання викидів розплаву при продуванні кисневого конвертора.

3.1 Технологічні вимоги до системи керування електроприводом кисневої фурми

З метою визначення конкретних технологічних вимог до системи керування електроприводом кисневої фурми з позицій автоматичного запобігання викидам розплаву проведено аналіз наведених у технічній літературі [25–26] способів запобігання викидів розплаву при продуванні кисневого конвертора шляхом регулювання положення кисневої фурми.

Згідно з технологічною інструкцією по виплавці сталі в кисневих конверторах ВАТ «ДМК» [25] для запобігання викидів розплаву і відновлення нормального ходу продувки сталі необхідно виконати такі технологічні операції:

1. Опустити кисневу фурму на $\Delta H_{\text{кф}} = 0,15\text{--}0,2$ м нижче рекомендованого для цього етапу продувки рівня.

2. Після усунення загрози викиду розплаву здійснити плавне переміщення кисневої фурми в рекомендоване для цього етапу продувки положення.

3. У разі неможливості усунення викидів розплаву перервати продування для скачування шлаку.

В ході регулювання положення кисневої фурми з метою запобігання її прогари обмежується мінімальна висота кисневої фурми над рівнем спокійного розплаву H_{min} [25].

В роботі [13] наведені результати досліджень, згідно з якими зменшення висоти кисневої фурми над розплавом під час продування сталі в конверторі призводить до зниження окислення шлаку. Тому, для запобігання викидам розплаву внаслідок переокислення шлаку необхідно опускати кисневу фурму.

В [27] пропонується поступово опускати кисневу фурму на величину 25% або 50% від робочої висоти над розплавом в залежності від величини відносини потужності сигналів акустичного шуму в області інфразвукових і звукових частот.

В [27] пропонується регулювати положення кисневої фурми при можливості викиду розплаву по одному з заздалегідь встановлених законів керування в залежності від величини ознаки початкової температури плавки. При цьому самі закони керування становищем кисневої фурми не регламентується.

В [24] пропонується опускати кисневу фурму східчасто на $(0,2...0,5) \Delta H_{\max}$, $(0,6...0,8) \Delta H_{\max}$, та ΔH_{\max} , де ΔH_{\max} – величина максимально допустимого переміщення кисневої фурми вниз, в залежності від величини непрямого параметра S , відповідного схильності розплаву до викидів.

Таким чином, виявлені суперечливі відомості щодо закону переміщення кисневої фурми $H_{\text{КФ}}(t)$, необхідного для запобігання викидам розплаву. Крім того, жорстко регламентовані заходи запобігання викидам розплаву не сприяють підвищенню ефективності боротьби з викидами для різних умов проведення киснево-конверторної плавки [19,22,23]. Тому система автоматичного керування електроприводом кисневої фурми повинна забезпечувати адаптивний закон керування положенням кисневої фурми.

Запропоновано для запобігання викидам розплаву при продуванні кисневого конвертора здійснювати корекцію завдання на положення кисневої фурми шляхом передачі сигналу $\Delta H_{\text{КФ}}$ відхилення від робочого положення кисневої фурми в систему керування електроприводом кисневої фурми. Розрахунок величини відхилення від робочого положення кисневої фурми $\Delta H_{\text{КФ}}$ запропоновано виконувати в залежності від величини та тривалості формування діагностичного сигналу D_v можливості викиду розплаву [25].

Для визначення тривалості інтервалу часу, необхідного для усунення можливості викиду розплаву шляхом регулювання електроприводу кисневої фурми проведено аналіз архівних даних 34 продувок кисневих конверторів №1,2 ВАТ «ДМК», в ході яких розробленою системою діагностування був сформований сигнал можливості викиду розплаву $D_v \geq 1$, а оператор продувки здійснював за допомогою електроприводу кисневої фурми переміщення кисневої фурми в напрямку дна конвертора (рис. 3.1).

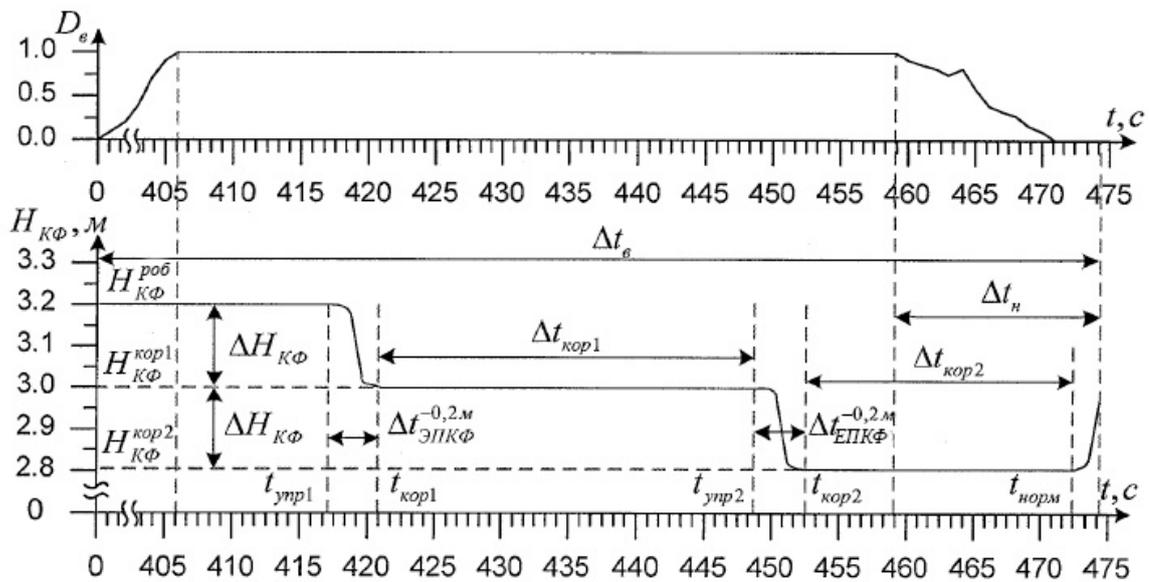


Рисунок 3.1—Часові діаграми зміни висоти кисневої фурми $H_{KФ}$ над рівнем спокійного розплаву і діагностичного сигналу D_B в процесі продувки кисневого конвертора

До моменту формування діагнозу можливості викиду розплави D_B кисневої фурми перебувала на робочій висоті над розплавом $H_{KФ}^{роб}$ (рис. 3.1). У момент часу $t_{кер.1}$ оператор віддав команду на переміщення кисневої фурми вниз на $\Delta H_{KФ} = -0,2$ м. Через інтервал часу перехідного процесу в електроприводі кисневої фурми $\Delta t_{ЕПКФ}^{-0,2м} = 3...4$ с киснева фурма була переміщена в положення $H_{KФ}^{кор.1} = H_{KФ}^{роб} - 0,2$ м. Через інтервал часу $\Delta t_{кор.1}$ в момент $\Delta t_{кор.2}$ оператор віддав команду на додаткове переміщення кисневої фурми вниз на $\Delta H_{KФ} = -0,2$ м. Через інтервал часу $\Delta t_{ЕПКФ}^{-0,2м}$ киснева фурма була переміщена в положення $H_{KФ}^{кор.2} = H_{KФ}^{кор.1} - 0,2$ м. Після нормалізації процесу плавки оператор в момент часу $t_{норм}$ віддав команду на переміщення кисневої фурми в робоче положення.

На рисунку 3.2 наведені гістограми розподілу кількості плавок $N_{пл}^{норм}$, що пройшли без викидів розплаву і з викидами розплаву $N_{пл}^{вик}$ в залежності від інтервалу часу $\Delta t_{кор.1}$ в перебігу якого киснева фурма

перебувала на висоті $H_{\text{КФ}}^{\text{кор.2}} = H_{\text{КФ}}^{\text{кор.1}} - 0,2\text{ м}$. Для побудови діаграми дані згруповані по інтервалах значень $\Delta t_{\text{кор.1}} \in [16...18); [18..20); [22...24)$.

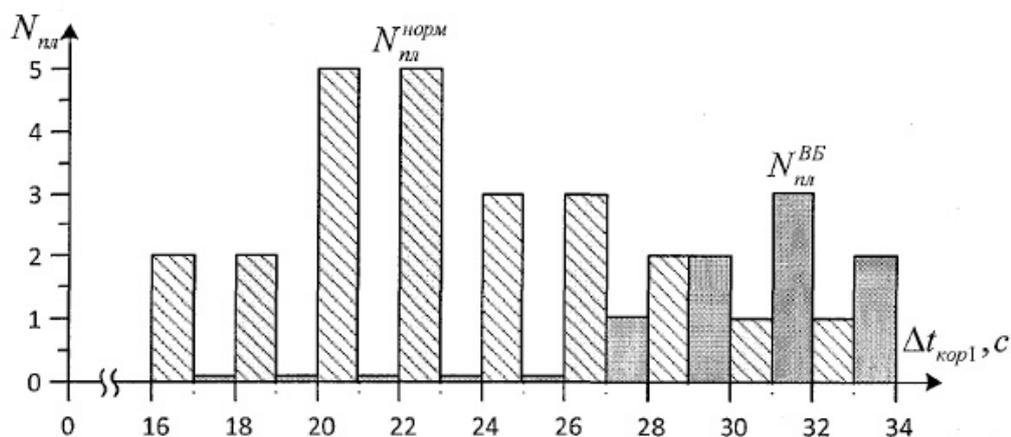


Рисунок 3.2 – Розподіл кількості плавки в залежності від тривалості продувки при корегуванні положення кисневої фурми

Нормалізація процесу плавки спостерігалася в ході продувок при коректуванні положення кисневої фурми протягом інтервалу часу $\Delta t_{\text{кор.1}} \geq 16$ с (рис. 3.2). В ході декількох продувок при коректуванні положення кисневої фурми протягом інтервалу часу $\Delta t_{\text{кор.1}} \geq 26$ с спостерігалися викиди розплаву. Отже, для технологічних умов конверторів №1,2 ВАТ «ДМК» мінімальний час продувки при коректуванні положення кисневої фурми, необхідний для нормалізації процесу плавки при можливості викиду розплаву $\Delta t_{\text{кор.1min}} = 16$ с. В той же час, продування при зазначеному положенні не завжди дозволяє нормалізувати процес плавки, що призводить до викидів розплаву (рис. 3.2). Тому в цих випадках оператор продувки додатково опускає кисневу фурму на 0,2 м (рис. 3.1).

Таким чином, після перевищення інтервалу часу $\Delta t_{\text{кор.1max}}$ продувки при коректуванні положення кисневої фурми система керування електроприводом кисневої фурми конвертора повинна додатково опускати кисневу фурму на 0,2 м.

Для визначення необхідного моменту часу $t_{\text{кор.2}}$ додаткової корекції положення кисневої фурми проведено статистичний аналіз значень інтервалів часу $\Delta t_{\text{кор.1}}^{\text{BP}}$, при яких спостерігалися викиди розплаву. За критерієм Пірсона [22] встановлено, що розподіл значень інтервалів часу $\Delta t_{\text{кор.1}}^{\text{BP}}$ відповідає нормальному закону розподілу. Тому індивідуальне спостереження випадкової величини $\Delta t_{\text{кор.1}}^{\text{BP}}$ з ймовірністю $\rho = 0,95$ приймає значення не менше [23]:

$$\Delta t_{\text{кор.1}}^{\text{BP}} > \overline{\Delta t_{\text{кор.1}}^{\text{BP}}} - 2\sigma(\Delta t_{\text{кор.1}}^{\text{BP}}) = \Delta t_{\text{кор.1min}}^{\text{BP}}; \quad (3.1)$$

Величина $2\sigma(\Delta t_{\text{кор.1}}^{\text{BP}})$ розрахована за виразом (2.6) шляхом підстановки $\Delta t_{\text{кор.1}}^{\text{BP}}$ замість $Q[\text{O}_2]$ технологічних умов конверторів №1,2 ВАТ «ДМК» розрахована величина $\Delta t_{\text{кор.1max}}^{\text{BP}} = 27$ с. Щоб забезпечити до моменту часу $t_{\text{кор.1}} + \Delta t_{\text{кор.1min}}^{\text{BP}}$ положення кисневої фурми $H_{\text{КФ}}^{\text{роб}} - 0,4$ м необхідно відповідним чином змінити завдання електроприводу кисневої фурми в момент часу $t_{\text{кор.2}} = t_{\text{кор.1}} + \Delta t_{\text{кор.1min}}^{\text{BP}} - \Delta t_{\text{ЕПКФ}}^{-0,2\text{м}}$ де $\Delta t_{\text{ЕПКФ}}^{-0,2\text{м}}$ – затримка переміщення електроприводом кисневої фурми на 0,2 м вниз.

Таким чином, якщо після закінчення інтервалу часу $\Delta t_{\text{кор.1max}} = \Delta t_{\text{кор.1min}}^{\text{BP}} - \Delta t_{\text{ЕПКФ}}^{-0,2\text{м}}$ після першого опускання кисневої фурми діагностується можливість викиду розплаву, необхідно додатково опустити кисневу фурму на 0,2 м. Для технологічних умов конверторів №1-2 ВАТ «ДМК» розрахована величина $\Delta t_{\text{кор.1max}} = 25$ с.

Після усунення можливості викиду розплаву згідно з технологічною інструкцією [25] електропривод кисневої фурми повинен здійснити її плавне переміщення в робоче положення, при цьому швидкість такого переміщення не регламентується.

Тривале продування при зниженому положенні кисневої фурми може привести до згортання шлаку і продування в режимі відкритого струменя, що

є відхиленням від технології [5–7,25], тому необхідно повернути кисневу фурму в робоче положення з максимальним темпом. Однак занадто швидке переміщення кисневої фурми в робоче положення може привести до відновлення інтенсивного спінювання розплаву через затримку в зміні стану розплаву при регулюванні положення кисневої фурми і відповідно – в оцінці його стану розробленою системою діагностування.

У роботах [11,13] вказано, що час реакції процесу знеуглецювання на переміщення кисневої фурми становить до 18 с. Тому підйом кисневої фурми в робоче положення запропоновано здійснювати на 0,2 м за $\Delta t_p = 18$ с, що відповідає середній швидкості кисневої фурми $V_{кф} = 0,011$ м/с.

Проведені дослідження дозволяють сформулювати конкретні технологічні вимоги до системи керування електроприводом кисневої фурми конвертора з позиції запобігання викидам розплаву через горловину конвертора:

1. У системі керування електроприводом кисневої фурми конвертора по характеристикам віброприскорення корпусу конвертора має виконуватися діагностування можливості викиду розплаву.

2. Система керування електроприводом кисневої фурми конвертора повинна мати можливість доцільного автономного керування електроприводом з метою автоматичного запобігання інциденту в разі появи діагнозу про можливість викиду розплаву:

а) переміщення кисневої фурми конвертора вниз на $\Delta H_{кф} = 0,2$ м від робочого положення і реалізації режиму зупинки протягом $\Delta t_{кор.мах} = 25$ с;

б) додаткового переміщення кисневої фурми конвертора вниз на 0,2 м від корегуючого положення та реалізації режиму зупинки протягом $\Delta t_{кор.мах} = 25$ с;

в) після нормалізації процесу плавки система керування електроприводом кисневої фурми конвертора повинна мати можливість

переміщення кисневої фурми в робоче положення зі швидкістю $V_{\text{кф}} = 0,011$ м/с.

Діюча система керування електроприводом кисневої фурми конверторів №1-3 ВАТ «ДМК» задовольняє розробленим технологічним вимогам по швидкодії. З метою скорочення капітальних витрат на впровадження запропонованої системи керування електроприводом кисневої фурми конвертора, що забезпечує запобігання викидів розплаву в автоматичному режимі шляхом доцільного керування завданням на положення кисневої фурми, реалізувати на апаратній частині існуючої схеми електроприводу кисневої фурми.

3.2 Розробка функціональної схеми системи керування електроприводом кисневої фурми конвертора

З метою автоматичного керування електроприводом кисневої фурми при можливості викиду розплаву запропоновано включити пристрій корекції завдання на положення кисневої фурми в систему керування електроприводом кисневої фурми, реалізовану на діючому обладнанні [28].

Алгоритм керування електроприводом кисневої фурми конвертора запропоновано реалізувати в мікропроцесорному блоці діагностування можливості викиду розплаву і керування електроприводом (БДК). Блок БДК складається з двох функціональних модулів: модуля діагностування можливості викиду розплаву (МДВВР) і модуля керування електроприводом кисневої фурми конвертора (МКЕПКФ) (рис. 3.3). Діагностування можливості викиду розплаву здійснюється за розробленим в розділі 3 алгоритмом в блоці МДВВР.

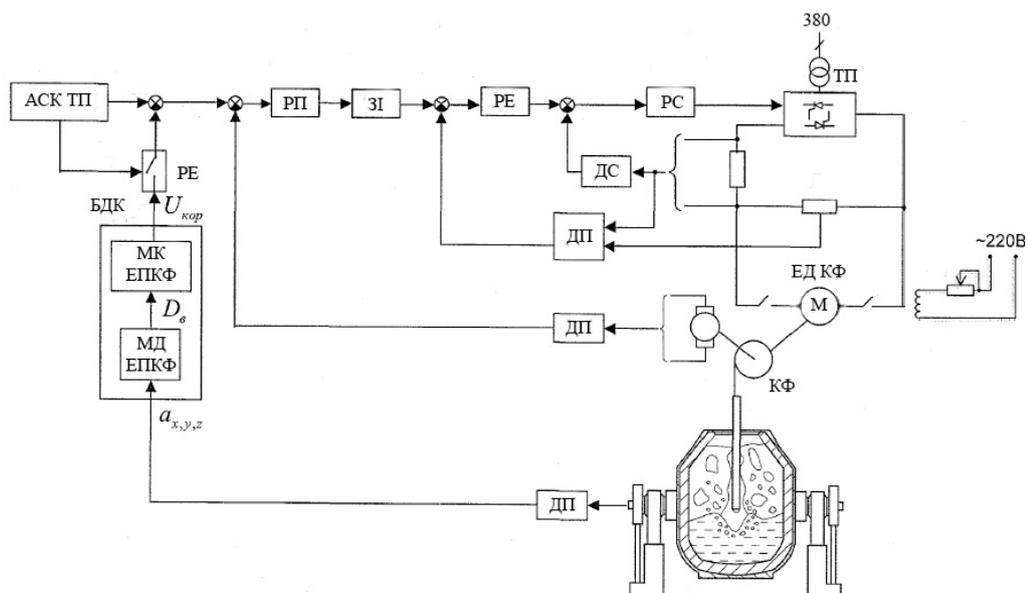


Рисунок 3.3 – Функціональна схема керування електроприводом кисневої фурми

У нормальному режимі продувки сталі керування електроприводом кисневої фурми (КФ) конвертора здійснюється з пульта оператора АСК ТП конвертора (рис. 3.2). При формуванні в блоці МДВВР діагнозу можливості викиду розплаву D_v , блок МУЕПКФ формує сигнал $U_{кор}$ корекції завдання на положення кисневої фурми, який надходить на додатковий вхід системи керування електроприводом кисневої фурми конвертора з метою виконання вимог, пред'явлених до системи керування електроприводом кисневої фурми конвертора для запобігання викиду розплаву.

Після усунення загрози викиду розплаву здійснюється плавний підйом кисневої фурми в робоче положення. Оператор продувки має можливість керування положенням кисневої фурми в ручному режимі. Для цього оператор встановлює сигнал $R_y = 0$, в результаті чого релейний елемент (РЕ) розмикається і відключає блок БДУ від системи автоматичного керування електроприводом кисневої фурми конвертора.

Запропонована функціональна схема системи керування дозволяє здійснювати запобігання викидів розплаву шляхом автоматичного керування

електроприводом кисневої фурми конвертора по сигналу системи діагностування можливості викиду розплаву і може бути використана при проектуванні електроприводів кисневих фурм конверторів [10].

3.3 Розробка нечіткої моделі формування величини корегуючого переміщення кисневої фурми

Продування кисневого конвертора є слабоформалізуючим процесом і характеризується високим ступенем невизначеності, зумовленою неможливістю прямого вимірювання параметрів процесу і відсутністю задовільного математичного опису. Застосування традиційних систем керування є складним через відсутність в них механізму використання якісної інформації і недостатніх можливостей адаптації. Тому запропоновано для керування переміщенням кисневої фурми при можливості викиду розплаву застосувати нечітку модель, що забезпечує адаптивне формування величини корегуючого переміщення кисневої фурми [21].

Нечітка модель формування величини корегуючого переміщення кисневої фурми здійснює перетворення числових значень вхідних параметрів у відповідні якісні характеристики (лінгвістичні змінні), потім, на основі безлічі логічних правил виконує нечіткий логічний висновок якісного значення корегуючого переміщення кисневої фурми (рис. 3.4).

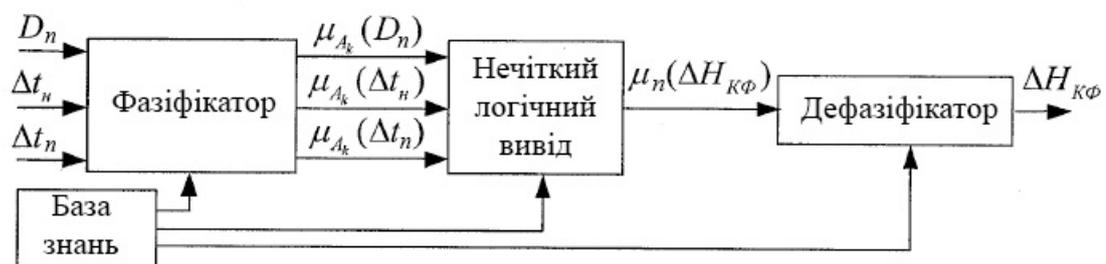


Рисунок 3.4 – Структурна схема нечіткої моделі формування величини корегуючого переміщення кисневої фурми

Числове значення корегуючого переміщення кисневої фурми розраховується шляхом процедури дефазифікації якісного значення корегуючого переміщення кисневої фурми [11].

Вхідними змінними нечіткої моделі формування величини корегуючого переміщення кисневої фурми обрані:

1) діагностичний сигнал D_B можливості викиду розплаву, що формується розробленою системою діагностування можливості викиду розплаву;

2) інтервал часу Δt_B після формування позитивного діагнозу можливості викиду розплаву;

3) інтервал часу Δt_H після скидання діагнозу можливості викиду розплаву.

Для нечіткої моделі формування величини корегуючого переміщення кисневої фурми приймемо такі обмеження:

– внутрішні функції приналежності мають трикутний вид, зовнішні – трапецеїдальний, що забезпечує обмеження вихідного сигналу;

– агрегування функцій приналежності величини корегуючого переміщення кисневої фурми здійснюється операцією знаходження максимуму;

– дефазифікація відбувається за методом «центр ваги»;

– функції приналежності розташовані симетрично щодо центру.

Нечіткі обчислення величини корегуючого переміщення кисневої фурми запропоновано виконувати за методом Мамдані [24]. Нечіткий логічний висновок величини корегуючого переміщення кисневої фурми здійснюється за виразом:

$$\mu'_B = \wedge \left(\mu_B(\Delta_H) \wedge \left(\wedge \mu_{A_{k,i}}(x_i) \right) \right); \quad (3.2)$$

де: x_i – значення вхідних параметрів;

$\mu_{A_{k,i}}(x_i)$ – функції належності вхідних параметрів;

$\mu_{Bk}(\Delta H_{K\Phi})$ – функція приналежності величини корегуючого переміщення кисневої фурми $\Delta H_{K\Phi}$.

Узагальнена ступінь достовірності значень вхідних параметрів k -го логічного правила визначається за виразом:

$$\alpha_k = \min[\mu_{A,k,j}(x_i)]; \quad (3.3)$$

Отримані узагальнені оцінки достовірності використовуються для модифікації вихідних функцій приналежності [24]:

$$\mu'_{Bk}(\Delta H_{K\Phi}) = \min[\mu_{Bk}(\Delta H_{K\Phi})\alpha_k]; \quad (3.4)$$

Розрахунок загальної функції приналежності величини корегуючого переміщення кисневої фурми здійснюється шляхом об'єднання вихідних функцій $\mu_{Bk}(\Delta H_{K\Phi})$ кожного непарного логічного правила за виразом:

$$\mu_B(\Delta H_{K\Phi}) = \max[\mu'_{Bk}(\Delta H_{K\Phi})]; \quad (3.5)$$

На етапі дефазифікації за методом «центр ваги» [16] значення вихідної змінної $\Delta H_{K\Phi}$ визначається шляхом розрахунку зваженого центру функції приналежності $\mu_B(\Delta H_{K\Phi})$, яка розділяє область під графіком функції на дві області (А) і (Б), що мають однакову площу (рис. 3.5) [24]:

$$\Delta H_{K\Phi} = \frac{\int_{Y(\Delta H_{K\Phi})} \Delta H_{K\Phi} \mu_B(\Delta H_{K\Phi}) d\Delta H_{K\Phi}}{\int_{Y(\Delta H_{K\Phi})} \mu_B(\Delta H_{K\Phi}) d\Delta H_{K\Phi}}; \quad (3.6)$$

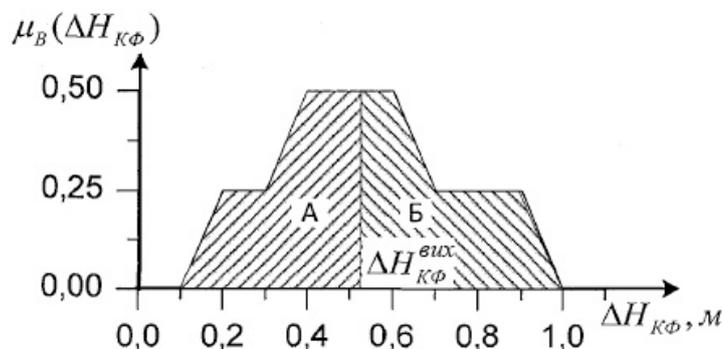


Рисунок 3.5 – Графік функції приналежності $\mu_B(\Delta H_{K\Phi})$ величини корегуючого переміщення кисневої фурми

Налаштування нечіткої моделі формування величини корегуючого переміщення кисневої фурми здійснюється за допомогою зміни параметрів нечіткого виведення, а саме:

- кількості та форми функцій належності вхідних і вихідної змінних;
- розподілу термів в області визначення лінгвістичної змінної;
- продукційних правил нечіткого логічного висновку.

Для вхідної змінної Δt_n нечіткої моделі вибрано три терміни:

- 1) S – мала величина;
- 2) M – середня величина;
- 3) L – висока величина.

Для вхідної змінної вибрано два терміни:

- 1) S – мала величина;
- 2) L – висока величина.

Значенням змінної відповідають два терміни:

- 1) Alarm – позитивний діагноз можливості викиду розплаву;
- 2) Normal – негативний діагноз.

Для вихідної змінної нечіткої моделі вибрано три терміни, що дозволяє здійснювати корегуючі переміщення кисневої фурми в широкому діапазоні значень:

- 1) Z – переміщення в робоче положення;
- 2) SN – мале переміщення вниз;
- 3) LN – велике переміщення вниз.

Функції приналежності лінгвістичних змінних нечіткої моделі формування величини корегуючого переміщення кисневої фурми задані на основі розроблених технологічних вимог до системи автоматичного керування електроприводом кисневої фурми конвертора (рис. 3.6–3.7).

База продукційних правил нечіткої моделі формування величини корегуючого переміщення кисневої фурми повинна відповідати таким вимогам [21]:

- 1) має існувати як мінімум одне продукційне правило для кожного терміну кожної вихідної змінної;
- 2) для будь-якого терміну кожної вхідної змінної повинне існувати хоча б одне продукційне правило, в якому цей термін використовується в якості посліди;
- 3) для довільної реалізації вхідних змінних має існувати хоча б одне продукційне правило, ступінь виконання якого більше нуля.

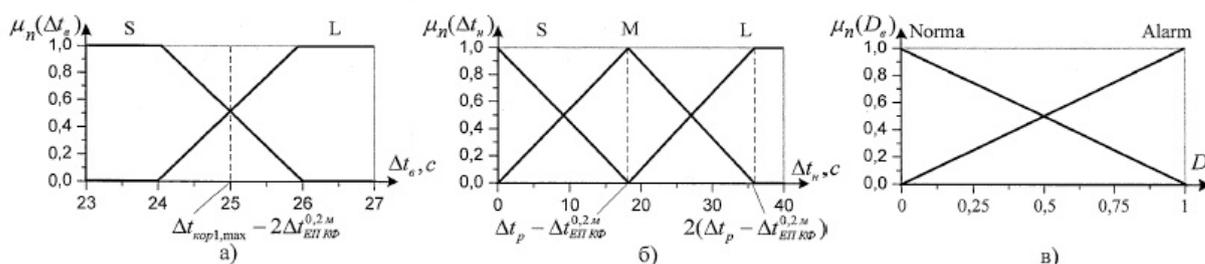


Рисунок 3.6 – Графіки функцій приналежності вхідних лінгвістичних змінних нечіткої моделі формування величини коригуючого переміщення кисневої фурми

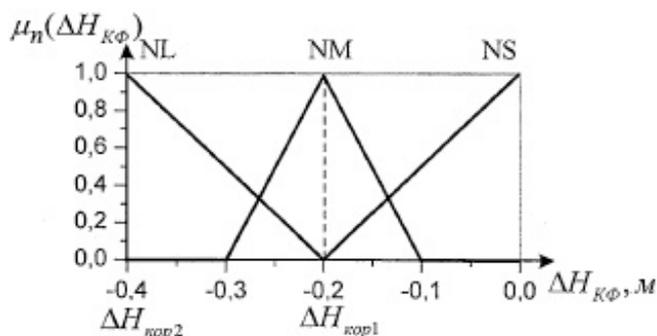


Рисунок 3.7 – Графік функції приналежності вихідної лінгвістичної змінної нечіткої моделі формування величини корегуючого переміщення кисневої фурми

На основі розроблених технологічних вимог до системи автоматичного керування електроприводом кисневої фурми розроблена база продукційних правил нечіткої моделі формування величини корегуючого переміщення кисневої фурми при можливості викиду розплаву:

- 1) Якщо $D_b = \text{Alarm}$ і $\Delta t_{\text{НВР}} = S$ то $\Delta H_{\text{КФ}} = SN$;
- 2) Якщо $D_b = \text{Alarm}$ і $\Delta t_{\text{НВР}} = B$ то $\Delta H_{\text{КФ}} = LN$;
- 3) Якщо $D_b = \text{Normal}$ і $\Delta t_{\text{НВР}} = Vi \Delta t_{\text{норм}} = S$ то $\Delta H_{\text{КФ}} = LN$;
- 4) Якщо $D_b = \text{Normal}$ і $\Delta t_{\text{НВР}} = Vi \Delta t_{\text{норм}} = M$ то $\Delta H_{\text{КФ}} = SN$;
- 5) Якщо $D_b = \text{Normal}$ і $\Delta t_{\text{НВР}} = Si \Delta t_{\text{норм}} = S$ то $\Delta H_{\text{КФ}} = SN$;
- 6) Якщо $D_b = \text{Normal}$ і $\Delta t_{\text{НВР}} = Si \Delta t_{\text{норм}} = M$ то $\Delta H_{\text{КФ}} = Z$;
- 7) Якщо $D_b = \text{Normal}$ і $\Delta t_{\text{НВР}} = M$ то $\Delta H_{\text{КФ}} = Z$.

Розроблена нечітка модель формування величини корегуючого переміщення кисневої фурми реалізована в середовищі Matlab. В результаті чисельного моделювання побудовані тривимірні графіки передавальної функції нечіткої моделі формування величини корегуючого переміщення кисневої фурми (рис. 3.8–3.9).

При надходженні діагнозу можливості викиду розплаву $D_b = 1$ нечітка модель формування величини корегуючого переміщення кисневої фурми реалізує ступеневе опускання кисневої фурми на 0,2 ж і 0,4 с в залежності від величини інтервалу часу Δt_b (рис. 3.8). При нормалізації процесу продувки ($D_b = 0$) формується сигнал $\Delta H_{\text{КФ}}$, прямо пропорційний величині інтервалу часу Δt_b , що забезпечує переміщення кисневої фурми з заданим темпом. Таким чином, передавальна функція розробленої нечіткої моделі формування величини корегуючого переміщення кисневої фурми задовольняє технологічним вимогам до системи автоматичного керування електроприводом кисневої фурми з позицій запобігання викидам розплаву через горловину кисневого конвертора.

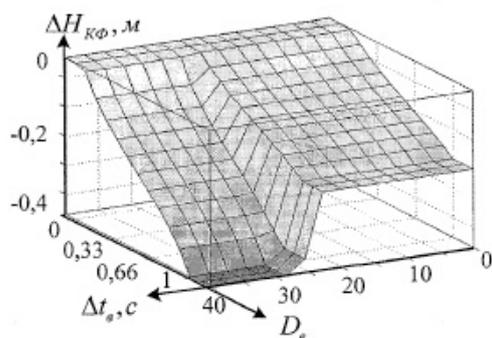


Рисунок 3.8 – Графік функції відгуку нечіткої моделі формування величини корегуючого переміщення кисневої фурми при діагнозі можливості викиду розплаву

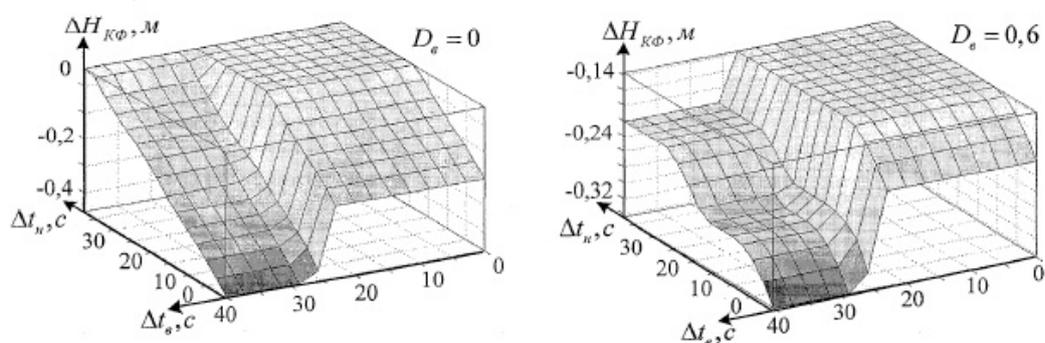


Рисунок 3.9 – Графіки функції відгуку нечіткої моделі формування величини корегуючого переміщення кисневої фурми при переході в нормальний режим продувки

3.4 Розробка алгоритму керування електроприводом кисневої фурми конвертора

Блок-схема алгоритму керування електроприводом кисневої фурми конвертора представлена на рисунку 3.10. У блоці 1 проводиться перевірка режиму роботи конвертора. При переході в режим «Продувка» здійснюється перехід до блоку 2, в якому проводиться прийом даних про величини висоти кисневої фурми над розплавом, сигналу $H_{КФ}$ аварійної зупинки продувки $P_{авар}$. У блоці 3 здійснюється перевірка значення сигналу $P_{авар}$. При відсутності аварійного сигналу проводиться перехід до блоку 4. У блоці 4

здійснюється діагностування можливості викиду розплаву за розробленим в розділі 3 алгоритмом.

При виявленні можливості викиду розплаву в блоках 5-11 здійснюється розрахунок значень інтервалу часу Δt_a з моменту появи позитивного діагнозу можливості викиду розплаву і інтервалу часу Δt_n з моменту появи негативного діагнозу можливості викиду розплаву. У блоці 5 здійснюється перевірка значення діагнозу $D_{v,i}$ можливості викиду розплаву.

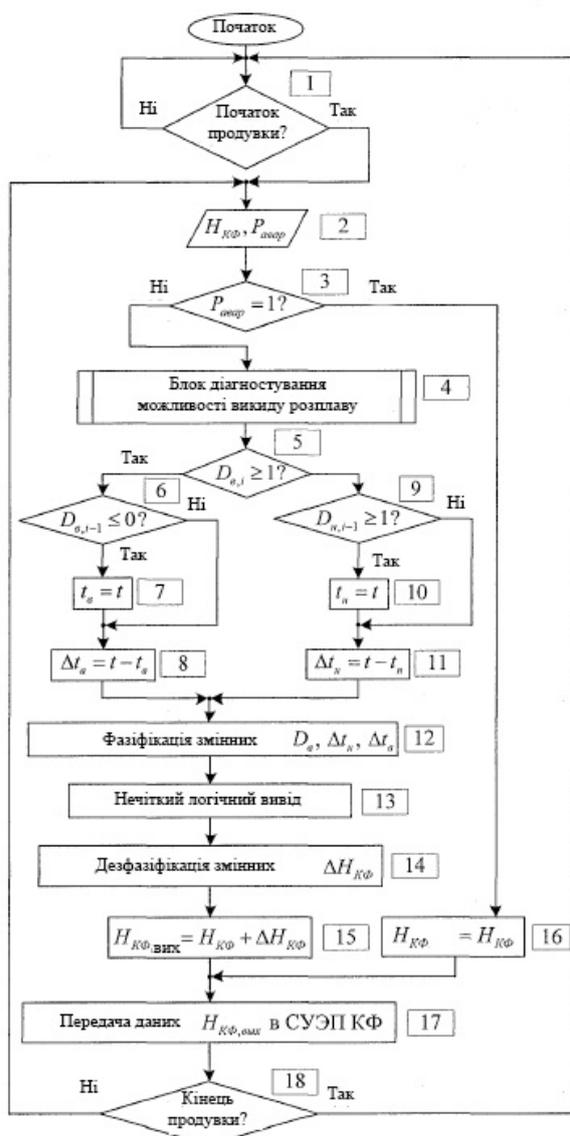


Рисунок 3.10 – Блок-схема алгоритму керування електроприводом кисневої фурми конвертора

При позитивному діагнозі можливості викиду розплаву проводиться перехід до блоку 6, в якому здійснюється перевірка значення діагнозу $D_{v,i=1}$, розрахованої на попередній ітерації алгоритму. Якщо виконується нерівність $D_{v,i=1} \leq 0$, то здійснюється перехід до блоку 7, в якому фіксується час моменту переходу діагнозу можливості викиду розплаву в позитивне значення $t_{HBP} = t$. Якщо нерівність $D_{v,i=1} \leq 0$ не виконується, то проводиться перехід до блоку 8, в якому розраховується величина інтервалу часу $\Delta t_b = t - t_b$ з моменту переходу діагнозу можливості викиду розплаву в позитивне значення. При негативному діагнозі можливості викиду розплаву $D_{v,i}$ проводиться перехід до блоку 9. Якщо виконується умова $D_{v,i=1} = 1$, то здійснюється перехід до блоку 10, в якому фіксується час моменту переходу сигналу діагнозу можливості викиду розплаву в від'ємне значення $t_n = t$. Якщо умова $D_{v,i=1} \geq 1$ не виконується, то проводиться перехід до блоку 11, в якому розраховується величина інтервалу часу $\Delta t_b = t - t_b$ з моменту переходу діагнозу можливості викиду розплаву в від'ємне значення.

У блоці 12 проводяться фазифікації значень змінних Δt_b і Δt_n відповідно до функцій приналежності (рис.3.6–3.7). Далі в блоці 13 на основі продукційних правил проводиться нечіткий логічний висновок функції належності вихідної змінної $\Delta N_{K\Phi}$. Дефазифікація величини корегуючого переміщення кисневої фурми $\Delta N_{K\Phi}$ здійснюється в блоці 14 по методу центра ваги (3.3). У блоці 15 проводиться розрахунок завдання на положення кисневої фурми $\Delta N_{K\Phi_{вих}} = N_{K\Phi} + \Delta N_{K\Phi}$, необхідного для запобігання викиду розплаву через горловину кисневого конвертора. Якщо надходить сигнал аварійного підйому кисневої фурми $P_{авар}$ (перевірка в блоці 3), то сигнал коригувального переміщення кисневої фурми $\Delta N_{K\Phi}$ приводиться до 0 і формується завдання на положення кисневої фурми $\Delta N_{K\Phi_{вих}} = N_{K\Phi}$ (блок 16).

У блоці 17 на керуючий вихід $U_{\text{кор}}$ блоку БДУ встановлюється напруга корекції завдання на положення електроприводу кисневої фурми для її переміщення на висоту $\Delta H_{\text{КФвих}}$. При надходженні від АСК ТП конвертора сигналу «Кінець продувки» (блок 18) проводиться перехід до блоку 1, інакше проводиться перехід до блоку 2.

3.5 Розробка функціональної схеми системи технічного діагностування можливості викиду розплаву з кисневого конвертора

У попередньому розділі магістерської роботи визначені діагностичні ознаки і нова методика технічного діагностування можливості викиду розплаву з кисневого конвертора по характеристикам зміни миттєвих значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора.

Кислородно-конверторна виплавка сталі – складний технологічний процес та, крім власне робочого режиму продувки сталі, має місце ряд допоміжних режимів роботи конвертора. Тому однією з цілей цього розділу є розробка функціональної схеми системи діагностування та алгоритму діагностування можливості викиду розплаву з урахуванням логіки зміни режимів роботи кисневого конвертора, а також перевірка можливості використання штатного обладнання для їх реалізації.

Вище зазначалося, що запобігання викидів розплаву через горловину кисневого конвертора засобами автоматизованого електроприводу кисневої фурми можливо тільки при використанні в складі системи керування зазначеним електроприводом діагностичної ланки, що володіє високим ступенем достовірності виявлення можливості викиду розплаву в процесі продувки. Тому другою метою даного розділу є оцінка технічної ефективності розробленої системи діагностування можливості викиду розплаву в умовах реального виробництва на діючих кисневих конверторах.

На рисунку 3.11 представлена функціональна схема системи діагностування можливості викиду розплаву з кисневого конвертора [27].

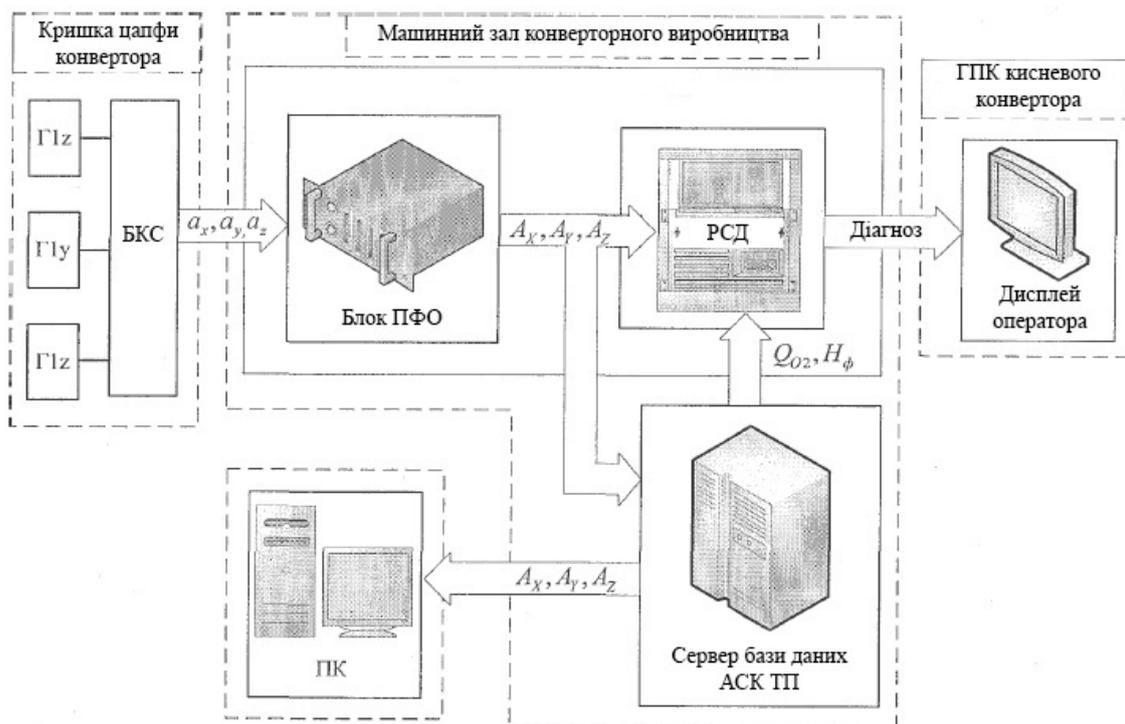


Рисунок 3.11 – Функціональна схема системи діагностування можливості викиду розплаву з кисневого конвертора

Блок УФО – блок посилення, фільтрації та обробки сигналів віброприскорення корпусу кисневого конвертора; РСД – робоча станція діагностики; ПК – персональний комп'ютер; ГПУ – головний пост керування конвертора

Збір, оцифрування та первинна обробка сигналів віброприскорення здійснюється в блоці УФО системи «Моніторинг-К». Від блоку УФО одночасно в РСД і сервера бази даних АСК ТП надходять масиви A_x , A_y , A_z миттєвих значень віброприскорення корпусу кисневого конвертора уздовж трьох його вісей. На основі обчислювального пристрою РСД реалізований основний алгоритм діагностування можливості викиду розплаву. На сервері АСК ТП здійснюється тривале зберігання масивів A_x , A_y , A_z .

Діагноз можливості викиду розплаву з кисневого конвертора від блоку РСД системи діагностування (рис. 3.11) надходить на пульт оператора ГПУ конвертора у вигляді попереджувального сигналу.

З метою скорочення капітальних витрат на модернізацію існуючої системи діагностування викидів розплаву в ККЦ ВАТ «ДМК» прийнято рішення реалізувати алгоритм діагностування можливості викиду розплаву на діючому обладнанні АСУ ТП, а саме на РСД (рис. 3.11) замість алгоритму системи «Моніторинг-К».

3.6 Розробка алгоритму діагностування можливості викиду розплаву з кисневого конвертора

На підставі запропонованої в другому розділі методики діагностування можливості викиду розплаву з кисневого конвертора розроблений алгоритм технічного діагностування можливості викиду розплаву з кисневого конвертора (рис. 3.12).

Діагностування можливості викиду розплаву виконується в режимі продувки кисневого конвертора в робочому діапазоні інтенсивності подачі кисню і висоти кисневої фурми над розплавом.

Продування кисневих конверторів №1-3 ВАТ «ДМК» здійснюється в технологічному режимі роботи «Продування». При переході до режиму «Продувка» в АСК ТП формується сигнал «Запалювання плавки» [25].

При включенні в роботу алгоритму (рис. 3.12) в блоці 1 здійснюється перевірка режиму роботи кисневого конвертора. При появі на вході блоку 1 сигналу «Продувка» запускається основний алгоритм діагностування можливості викиду розплаву з кисневого конвертора.

У блоці 2 виконується прийом від системи збору даних АСК ТП значення сумарної витрати кисню дуття $Q[O_2]$. Отримане значення $Q[O_2]$ підставляється в нерівність (2.7) в блоці 3. Якщо нерівність (2.7) не виконується, то здійснюється повернення до блоку 2. Якщо нерівність (2.7)

виконується, то проводиться перехід до блоку 4. У блоці 4 виконується прийом від системи збору даних масиву миттєвих значень віброприскорення корпусу кисневого конвертера уздовж трьох вісей.

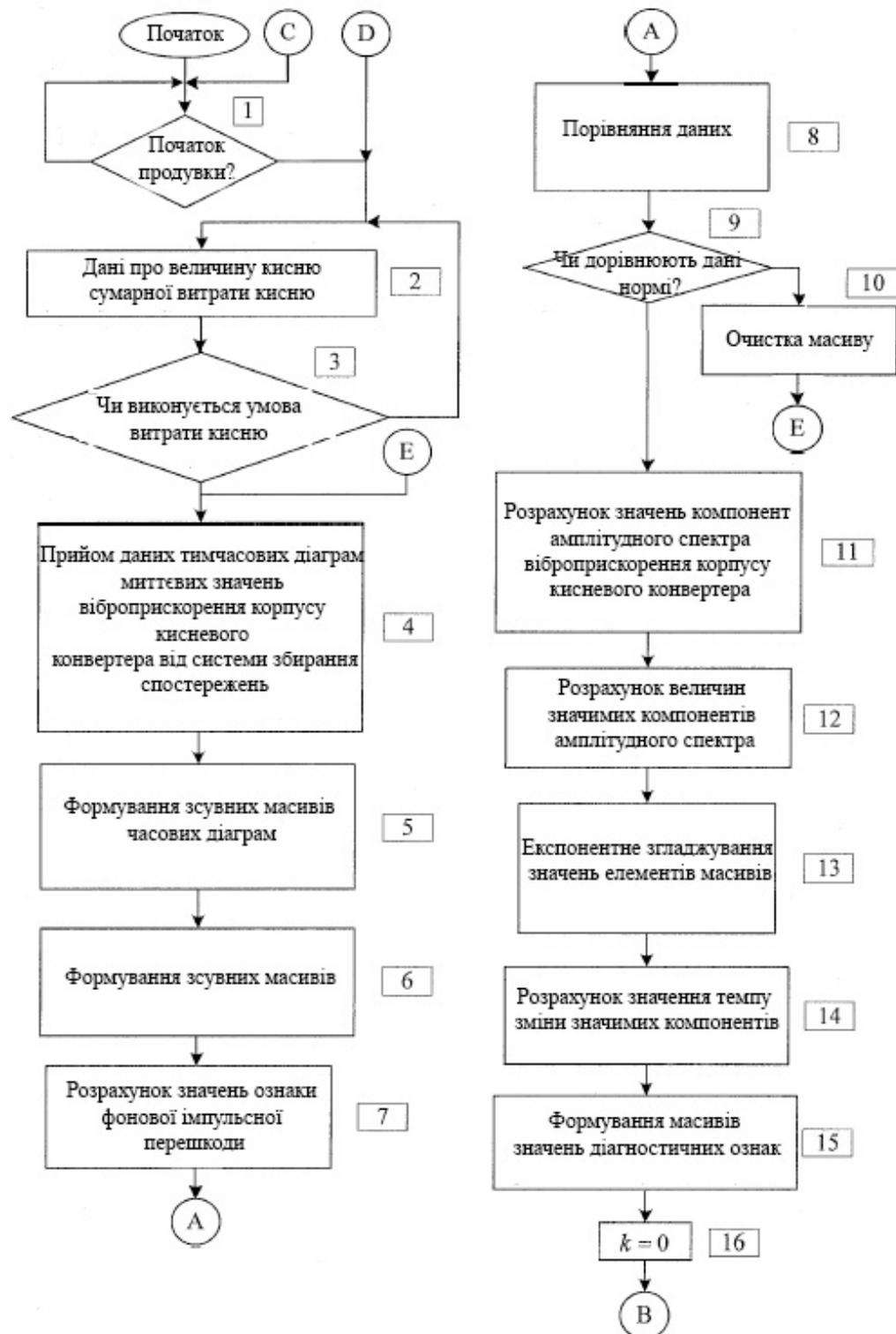


Рисунок 3.12 (початок) – Блок-схема алгоритму діагностування можливості викиду розплаву з кисневого конвертера

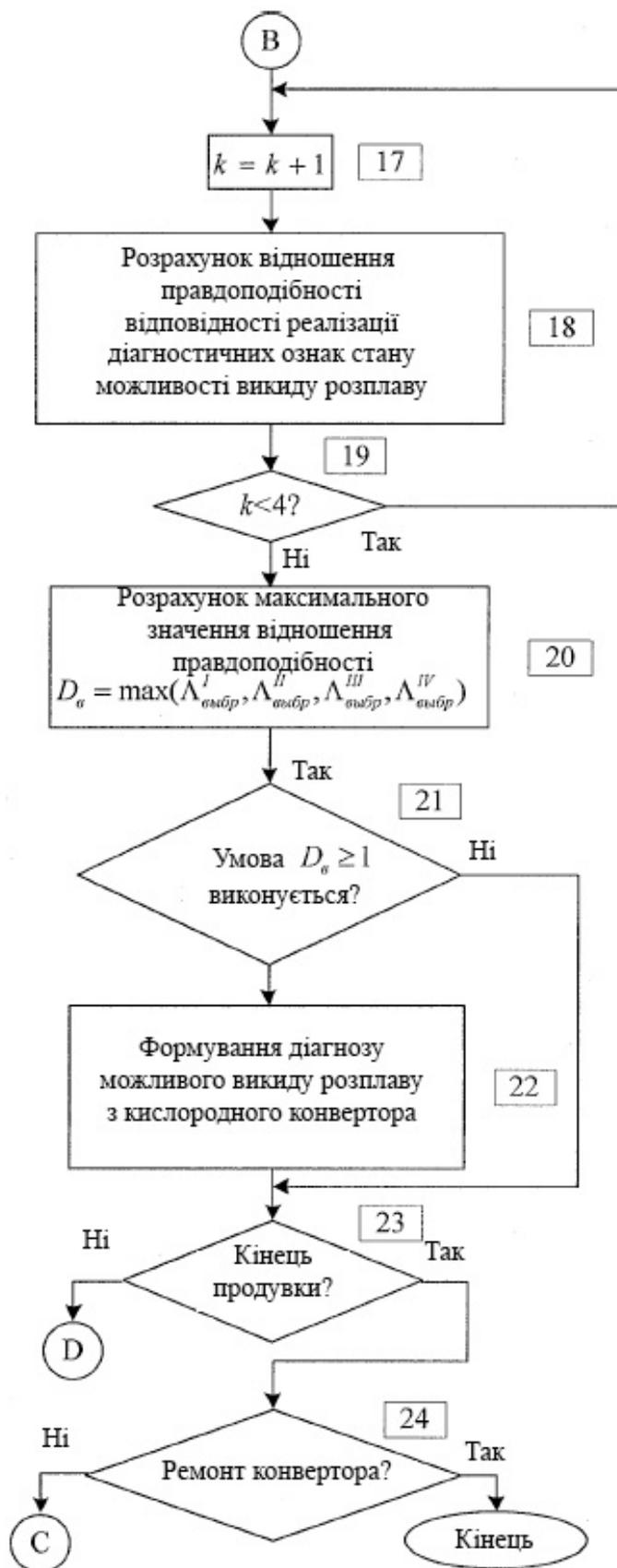


Рисунок 3.12 (закінчення) – Блок-схема алгоритму діагностування можливості викиду розплаву з кисневого конвертора

У блоці 5 виконується формування двовимірних зсувних масивів $A_{x,0...10}$, $A_{y,0...10}$, $A_{z,0...10}$ розміром 10 часових діаграм по 5120 спостережень кожна. У блоці 6 формуються зсувні масиви $M_1[A_{6...10}]_{(x,y,z)}$ і $M_2[A_{2...6}]_{(x,y,z)}$ по 2048 спостережень. За виразами (2.8–2.9) в блоці 7 здійснюється розрахунок значень ознаки випадкової імпульсної перешкоди $D_{ип(x,y,z)}$ для часових діаграм віброприскорення корпусу кисневого конвертора уздовж кожної його вісі. У блоці 8 здійснюється перевірка нерівності (2.11). Якщо вказана нерівність виконується (блок 9), то в блоці 10 в масивах $M[A_{6...10}]_{(x,y,z)}$ очищаються елементи в діапазоні [3072; 5120] і виробляється перехід до блоку 4. Якщо нерівність (2.11) не виконується, проводиться перехід до блоку 11. У блоці 11 проводиться розрахунок амплітудного спектра віброприскорення корпусу кисневого конвертора уздовж трьох вісей X , Y , Z за виразами (2.14–2.17). У блоці 12 розраховуються величини значущих компонентів амплітудного спектра віброприскорення корпусу кисневого конвертора відповідно до виразу (2.22) і таблицями 2.10–2.11. У блоці 13 за виразом 2.20 проводиться експоненціальне згладжування значущих компонентів амплітудного спектра віброприскорення корпусу кисневого конвертора. У блоці 14 проводиться розрахунок темпу зміни значущих компонентів амплітудного спектра віброприскорення $\Delta b_{i,j}^* / \Delta t$ за виразом 2.20.

Отримані величини значущих компонентів амплітудного спектра віброприскорення кисневого конвертора і темпу їх зміни групуються в блоці 15 в вектор діагностичних ознак G^k згідно з таблицею 2.15. Перевірка реалізацій діагностичних ознак здійснюється циклічно (блоки 16-19). У блоці 18 проводиться розрахунок взаємини правдоподібності відповідності реалізації діагностичних ознак області можливості викиду розплаву за виразами (2.20–2.20). У блоці 20 проводиться розрахунок максимального значення відношення правдоподібності D_v за виразом (2.20).

Якщо величина максимального значення відношення правдоподібності D_b задовольняє умові $D_b \geq 1$ (блок 21), то формується діагноз можливості викиду розплаву D_{bvr} (блок 22). Зазначений діагноз передається в систему автоматичного керування електроприводом кисневої фурми конвертора і виводиться на дисплей оператора продувки кисневого конвертора. Якщо величина максимального значення відношення правдоподібності D_b задовольняє умові $D_a \leq 0$, то діагноз можливості викиду розплаву відкидається і проводиться перехід до блоку 23. Якщо продування триває (перевірка в блоці 23), то відбувається перехід до блоку 2. При завданні режиму «Закінчення продування» (перевірка в блоці 23) відбувається перехід до блоку 24. Завершення роботи алгоритму відбувається при завданні режиму «Ремонт» (перевірка в блоці 24). У зазначеному режимі виконується повна зупинка кисневого конвертора для ремонту.

РОЗІДЛ 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Техніко-економічне обґрунтування

Одним із резервів підвищення продуктивності кисневого конвертора є скорочення часу простоїв і втрат металу, що виникають через викиди розплаву через горловину кисневого конвертора, одного з найпоширеніших інцидентів у ході продування розплаву в кисневому конверторі.

Розроблено методику та алгоритм діагностування можливості викиду розплаву з кисневого конвертора, на підставі яких створено програму діагностування. Кількість помилкових діагнозів у порівнянні зі штатною системою діагностування можливості викиду розплаву з кисневих конверторів знижено з 50 до 25 разів.

Розроблено функціональну схему системи керування електроприводом кисневої фурми, що забезпечує автоматичне запобігання викидам розплаву при продуванні кисневого конвертора. Розроблено алгоритм керування електроприводом кисневої фурми під час продування кисневого конвертора з урахуванням технологічних особливостей та параметрів киснево-конверторного виробництва сталі. Продуктивність кисневого конвертора в такому випадку збільшено на 10%.

4.2 Визначення витрат на модернізацію системи керування електроприводом агрегату для конверторного способу одержання сталі

Для модернізації системи керування електроприводом агрегату для конверторного способу одержання сталі закуплені комплектуючі, перелік яких зведений у таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Перелік необхідних комплектуючих

| Найменування | Од.виміру | К-ть | Ціна за одиницю грн. | Ціна грн. |
|--|-----------|------|----------------------|-----------|
| Модуль діагностування можливості викиду розплаву | шт. | 1 | 150000 | 150000 |
| Модуль керування електроприводом кисневої фурми конвертора | шт. | 1 | 150000 | 150000 |
| Всього: | | | | 300 000 |

Таким чином, витрати на придбання комплектуючих для модернізації системи керування електроприводом агрегату для конверторного способу одержання сталі дорівнюють:

$$Z_k = 300\,000 \text{ грн.}$$

Розрахунок заробітної платні з нарахуваннями.

Для встановлення системи необхідно виконати роботи по встановленню, монтажу системи керування, демонтажу старого обладнання, налагодці та пуску системи. Вказані роботи будуть проводити бригада з 5-х слюсарів 5-го розряду протягом 7 днів.

Витрати на заробітну плату з нарахуваннями визначимо за формулою:

$$S_{\text{ЗПМ}} = K_{\text{нз}} \cdot \lambda \cdot t \cdot \sum_{i=1}^m C_{ti} (1 + H); \quad (4.1)$$

де: $K_{\text{нз}}$ – коефіцієнт, який враховує накладні витрати на заробітну плату, $K_{\text{нз}} = 1,3$;

λ – коефіцієнт, який враховує премії, $\lambda = 1,25$;

t – час виконання робіт, год;

C_{ti} – часова тарифна ставка працівника i -го розряду.

H – норма нарахування на заробітну плату, $H = 0,22$;

m – кількість робочих, чол.

$$S_{\text{ЗПМ}} = 1,3 \cdot 1,25 \cdot 7 \cdot (37,87 \cdot 5) \cdot (1 + 0,22) = 21021,64 \text{ грн.}$$

Визначення загальної суми витрат.

Витрати на модернізацію системи керування електроприводом агрегату для конверторного способу одержання сталі як суму витрат на купівлю комплектуючих та витрат на заробітну плату з нарахуваннями робітникам, які проводять модернізацію:

$$З_М = З_К + З_{ЗПМ}; \quad (4.2)$$

$$З_М = 300\,000 + 21021,64 = 321\,021,64 \text{ грн.}$$

4.3 Розрахунок річного фонду роботи конвертора

Розрахунок річного фонду часу роботи конвертора проведемо за формулою:

$$T_P = \frac{T_\Phi}{\frac{1}{t_{CM} \cdot K_{CM}} + D_P}; \quad (4.3)$$

де: T_Φ – річний фонд робочого часу, $T_\Phi = 365$ днів;

t_{CM} – тривалість зміни в машино-годинах, $t_{CM} = 8$;

K_{CM} – коефіцієнт змінності роботи устаткування, $K_{CM} = 3$;

D_P – простої в машино-днях у всіх видах технічного обслуговування і ремонту, який приходить на одну машино-годину, визначимо за формулою:

$$D_P = \frac{\sum_{i=1}^n d_{pi} \cdot a_i}{T_{Ц}}; \quad (4.4)$$

де: n – число різновидів технічних обслуговувань та ремонтів за міжремонтний період;

d_{pi} – тривалість перебування в i -му ремонті чи технічному обслуговуванні;

a_i – кількість i -х ремонтів чи технічних обслуговувань за міжремонтний період;

До та після модернізації час міжремонтного циклу складає 8760 годин. До модернізації САК проводилось 50 оглядів впродовж 1,0 години, а після 25 оглядів впродовж 1,0 години. Враховуючи наведене, розраховуємо простої в машино-днях при всіх видах технічного обслуговування до та після модернізації:

$$D_{p1} = \frac{1 \cdot 1 \cdot 50}{8760} = 0,0029 \frac{\text{маш.днів}}{\text{маш.год}}$$

$$D_{p1} = \frac{1 \cdot 1 \cdot 25}{8760} = 0,0014 \frac{\text{маш.днів}}{\text{маш.год}}$$

Тоді річний фонд часу роботи конвертора дорівнюватиме відповідно:

$$T_{p1} = \frac{365}{\frac{1}{8 \cdot 3} + 0,0029} = 8189,98 \text{ год.}$$

$$T_{p1} = \frac{365}{\frac{1}{8 \cdot 3} + 0,0014} = 8475,23 \text{ год.}$$

4.4 Розрахунок річної експлуатаційної продуктивності

Річна експлуатаційна продуктивність конвертора визначається за формулою:

$$B = B_{\text{Е.Г.П}} \cdot T_p \cdot K_{\text{ПР}}; \quad (4.5)$$

де: $B_{\text{Е.Г.П}}$ – годинна експлуатаційна продуктивність, (350 т/год),

$K_{\text{ПР}}$ – коефіцієнт, що враховує простій, не враховане в годинній експлуатаційній продуктивності.

Після модернізації системи керування електроприводом агрегату для конверторного способу одержання сталі збільшиться точність та надійність його роботи, а продуктивність збільшиться на 10%.

Таким чином до та після модернізації системи керування електроприводом агрегату для конверторного способу одержання сталі річна продуктивність складає:

$$B_1 = 350 \cdot 8189,98 \cdot 0,9 = 2727263,34 \text{ т/рік.}$$

Після модернізації:

$$B_2 = 350 \cdot 1,1 \cdot 8475,23 \cdot 0,9 = 3104476,75 \text{ т/рік.}$$

4.5 Розрахунок поточних річних витрат

Поточні річні експлуатаційні витрати визначаються для системи керування електроприводом агрегату для конверторного способу одержання сталі до та після модернізації.

За технологічним процесом спостерігає один робітник 6-го розряду, після удосконалення САК склад не зміниться.

Витрати на заробітну плату до та після модернізації складають:

$$S_{ЗП} = 1,3 \cdot 1,25 \cdot 8189,98 \cdot 40,22 \cdot 1 \cdot (1+0,22) = 653037,47 \text{ грн.}$$

$$S_{ЗП} = 1,3 \cdot 1,25 \cdot 8475,23 \cdot 40,22 \cdot 1 \cdot (1+0,22) = 675782,21 \text{ грн.}$$

Визначення витрат на технічне обслуговування та поточний ремонт системи керування електроприводом агрегату для конверторного способу одержання сталі.

Витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт системи керування електроприводом агрегату для конверторного способу одержання сталі визначимо за формулою:

$$S_{ТО} = S_{ТОЗ} + S_{ТОМ}; \quad (4.6)$$

де: $S_{ТОЗ}$ – витрати на заробітну плату ремонтників з нарахуваннями;

$S_{ТОМ}$ – витрати на матеріали та запасні частини.

Витрати на заробітну плату ремонтних робітників з нарахуваннями визначаються за формулою:

$$S_{\text{ТОЗ}} = \frac{T_P}{T_{\text{Ц}}} \cdot K_{\text{НЗ}} \cdot \lambda \cdot C_P \cdot \sum_{i=1}^m a_{pi} \cdot \varphi_{pi} \cdot (1 + H); \quad (4.7)$$

де: C_P – середня тарифна ставка ремонтного робітника, що обслуговують установку, грн/год;

a_{pi} – кількість техобслуговувань і поточних ремонтів без капітального ремонту;

φ_{pi} – трудємкість і-го технічного обслуговування та поточного ремонту, до і після – $\varphi_{pi} = 11,25$; $\varphi_{pi} = 10,2$.

Витрати на матеріали та запасні частини визначаються за формулою:

$$S_{\text{ТОМ}} = K_{\text{П}} \cdot \frac{S_{\text{ТОЗ}} \cdot (1 - H)}{K_{\text{НЗ}}} \cdot K_{\text{ЗР}}; \quad (4.8)$$

де: $K_{\text{П}}$ – норма накладних розходів за всіма видами витрат, крім заробітної плати, $K_{\text{П}} = 1,1$;

$K_{\text{ЗР}}$ – коефіцієнт переходу від витрат на заробітну плату до витрат на матеріали та запасні частини, $K_{\text{ЗР}} = 1,25$.

До модернізації для технічного огляду та поточного ремонту необхідно один слюсар КВПіА 5-го розряду. Після модернізації їх склад не змінився. Огляд проводиться 50 разів на рік до модернізації та 25 після.

$$S_{\text{ТОЗ1}} = \frac{8189,98}{8760} \cdot 1,3 \cdot 1,25 \cdot 1 \cdot 50 \cdot 11,25 \cdot 40,22 \cdot (1 + 0,22) = 83866,11 \text{ грн.}$$

$$S_{\text{ТОЗ2}} = \frac{8475,23}{8760} \cdot 1,3 \cdot 1,25 \cdot 1 \cdot 25 \cdot 10,2 \cdot 40,22 \cdot (1 + 0,22) = 39343,48 \text{ грн.}$$

Витрати на матеріали та запасні частини до модернізації складають:

$$S_{\text{ТОМ1}} = 1,1 \cdot \frac{83866,21 \cdot (1 - 0,22)}{1,3} \cdot 1,25 = 69189,54 \text{ грн.}$$

Витрати на матеріали та запасні частини після модернізації:

$$S_{\text{ТОМ2}} = 1,1 \cdot \frac{39343,48 \cdot (1 - 0,22)}{1,3} \cdot 1,25 = 32458,37 \text{ грн.}$$

Таким чином, витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт системи керування електроприводом агрегату для конверторного способу одержання сталі до модернізації склали:

$$S_{\text{ТО1}} = 83866,11 + 69189,54 = 153055,65 \text{ грн.}$$

після модернізації:

$$S_{\text{ТО2}} = 39343,48 + 32458,37 = 71801,85 \text{ грн.}$$

Величину витрат на електроенергію визначимо за формулою:

$$S_{\text{ЕЛ}} = K_{\text{ш}} \cdot W_{\text{ЕЛ}} \cdot V_{\text{ЕЛ}} \cdot T_{\text{р}}; \quad (4.9)$$

де: $V_{\text{ЕЛ}}$ – ціна 1 кВт/год електроенергії – 5,5 грн;

$W_{\text{ЕЛ}}$ – витрата за годину енергії, кВт/год.

Споживання електроенергії складало 75 кВт/год, після модернізації споживання електроенергії не змінилось.

Виходячи з цього витрати на електроенергію до модернізації склали:

$$S_{\text{ЕЛ1}} = 1,1 \cdot 75 \cdot 5,5 \cdot 8189,98 = 3716203,43 \text{ грн.}$$

після модернізації:

$$S_{\text{ЕЛ2}} = 1,1 \cdot 75 \cdot 5,5 \cdot 8475,23 = 3845635,85 \text{ грн.}$$

Розрахунок суми річних витрат на експлуатацію системи керування електроприводом агрегату для конверторного способу одержання сталі зведений у таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Сума річних витрат на експлуатацію

| Найменування статті витрат | Величина витрат | |
|----------------------------|---------------------------|------------------------------|
| | До впровадження САК, грн. | Після впровадження САК, грн. |
| Зарплата з нарахуваннями | 653037,47 | 675782,21 |
| ТО та поточний ремонт | 153055,65 | 71801,85 |
| Електроенергія | 3716203,43 | 3845635,61 |
| Разом | 4522296,55 | 4593219,67 |

4.6 Розрахунок вартості машино–години роботи конвертора

Розрахунок вартості машино–годин розраховуємо за формулою:

$$S_{\text{МГ}} = \frac{S}{T_p}. \quad (4.10)$$

До модернізації вартість однієї машино-години складала:

$$S_{\text{МГ1}} = \frac{4522296,55}{8189,98} = 552,17 \text{ грн. / год}$$

Після модернізації вартість однієї машино-години змінилась і складає:

$$S_{\text{МГ2}} = \frac{4593219,67}{8475,23} = 541,96 \text{ грн. / год}$$

4.7 Розрахунок вартості технологічної операції на одиницю продукції

Вартість технологічної операції визначається за формулою:

$$S_{\text{П}} = \frac{S}{B}. \quad (4.11)$$

До модернізації вартість складала:

$$S_{\text{П1}} = \frac{4522296,55}{2727263,34} = 1,66 \text{ грн. / т.}$$

Після модернізації вартість складає:

$$S_{\text{П2}} = \frac{4593219,67}{3104476,75} = 1,48 \text{ грн. / т.}$$

4.8 Розрахунок економічного ефекту від проведення модернізації

Річний економічний ефект від проведення модернізації визначається за формулою:

$$E = (S_{II1} - S_{II2}) \cdot B; \quad (4.12)$$

$$E = (1,66 - 1,48) \cdot 3104476,75 = 558805,82 \text{ грн / рік.}$$

Термін окупності витрат по модернізації розрахуємо за формулою:

$$T = \frac{Z_M}{E}; \quad (4.13)$$

$$T = \frac{321021,64}{558805,82} = 0,57 \text{ років} \approx 7 \text{ місяців.}$$

Отже, термін окупності приблизно 7 місяців.

Витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт електрообладнання зменшились на 53,09%.

Витрати на електроенергію збільшились на 3,48%.

Вартість машино-години роботи зменшились на 1,85%.

Вартість технічної операції для одиниці продукції після модернізації знизилась на 10,84%.

Економічна ефективність від проведеної модернізації склала 558805,82 грн.

Таблиця 4.3 – Техніко-економічні показники модернізації системи автоматичного керування електроприводом агрегату для конверторного способу одержання сталі

| Показники | Одиниці виміру | Значення | | |
|--|----------------|-----------------|--------------------|----------------------|
| | | до модернізації | після модернізації | абсолютне відхилення |
| 1. Капітальні витрати на модернізацію | грн. | x | 321021,64 | x |
| 2. Річний фонд часу роботи | год. | 8189,98 | 8475,23 | -285,25 |
| 3. Річна експлуатаційна продуктивність | пер | 2727263,34 | 3104476,75 | -377213,41 |
| 4. Річні експлуатаційні витрати, усього: | грн. | 4522296,55 | 4593219,67 | -70923,12 |
| у тому числі: витрати на оплату праці | грн. | 653037,47 | 675782,21 | -22744,74 |
| витрати на ТО та ТР | грн. | 153055,65 | 71801,85 | +81253,80 |
| витрати на електроенергію | грн. | 3716203,43 | 3845635,61 | -129432,18 |
| 5. Вартість однієї машино-години роботи | грн./год. | 552,17 | 541,96 | +10,21 |
| 6. Вартість технологічної операції | грн./ пер | 1,66 | 1,48 | +0,18 |
| 7. Річний економічний ефект | грн. | x | 558805,82 | x |
| 8. Строк окупності капітальних вкладень | місяців | x | 7 | x |

ВИСНОВКИ

Аналіз застосовуваних в даний час систем керування електроприводом кисневої фурми конвертора показав, що вони не дозволяють виконати в автоматичному режимі доцільне керування електроприводом кисневої фурми конвертора з метою запобігання одного з найпоширеніших і важких інцидентів при виплавці сталі в кисневому конверторі – викиду розплаву через горловину конвертора. Одним із резервів підвищення продуктивності кисневого конвертора є скорочення часу простоїв і втрат металу, що виникають через викиди розплаву через горловину кисневого конвертора, одного з найпоширеніших інцидентів у ході продування розплаву в кисневому конверторі.

Розроблено методику та алгоритм діагностування можливості викиду розплаву з кисневого конвертора, на підставі яких створено програму діагностування. Кількість помилкових діагнозів у порівнянні зі штатною системою діагностування можливості викиду розплаву з кисневих конверторів знижено з 50 до 25 разів.

Розроблено функціональну схему системи керування електроприводом кисневої фурми, що забезпечує автоматичне запобігання викидам розплаву при продуванні кисневого конвертора. Розроблено алгоритм керування електроприводом кисневої фурми під час продування кисневого конвертора з урахуванням технологічних особливостей та параметрів киснево-конверторного виробництва сталі. Продуктивність кисневого конвертора в такому випадку збільшено на 10%.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Баптизманский В.И. Дутьевые устройства кислородных конверторов / В.И. Баптизманский, А.Г. Величко, А.В. Шибко // Бюл. НТИ. Черная металлургия. – 1987. – № 6 – С. 2–15.
2. Бойченко Б.М., Охотський В.Б. Харлашин П.С. Конверторне виробництво сталі: теорія, технологія, конструкції агрегатів...: Підручник (укр. та рос. мовами).-Дніпропетровськ: РВА «Дніпро-Вал», 2006.-454 с
3. Дубровский С.А. Исследование динамики состояния конверторного процесса по текущему газовому анализу / С.А. Дубровский, А.Н. Нырклов // Вестник ЛГТУ - ЛЭГИ. - 2000.- №2. - С. 19-25.
4. Величко А.Г., Иващенко В.П., Верховская А.А., Головки В.И., Селегей А.Н. АСУТП в конверторном производстве: Учебник. – Днепропетровск: НМетАУ, 2016. - 245 с.
5. Верховская А.А. Принципы управления кислородно-конверторной плавкой с применением данных об отражательной способности шлака / Верховская А.А., Головки В.И., Рыбальченко М.А., Папанов Г.А. // Вісник Криворізького національного університету. – Вип. 38. – 2014. – с. 93 – 96.
6. Воронов В.Ф., Шахпазов Е.Х., Югов П.И. Миротая практика кислородно-конверторного производства стали // 60 лет кислородно конверторному способу производства стали в России. Сб. статей под ред. Д.Т.Н., проф. Е.Х.Шахпазова. -М.: Интерконтакт Наука, 2006. С. 282-291.
7. Волович М.И. Контроль и оценивание конверторной плавки по косвенным параметрам / М.И. Волович, В.И. Авдеев, Я.Г. Парпаров. - Кемерово: Кемеровское книжное издательство, 1989. - 124 с.
8. Зимин В. Ю., Огороков Б. Н., Нам В. В. Переходные функция скорости окисления углерода в конверторе // Известия высших учебных заведений. Чёрная металлургия. - 1982. - №9 - С. 148-149.
9. Галай М.В. Теорія автоматичного керування: неперервні та дискретні системи. Навч. пос-к. – Полтава, 2005. – 454 с.

10. Галай В.М. Теорія цифрових систем автоматичного керування: навчальний посібник. –Полтава: ПолтНТУ, 2009. – 131 с.
11. Глинков Г.М. / Контроль и автоматизация металлургических процессов // Глинков Г.М., Косырев А.И., Шевцов Е.К. – М.: Металлургия, 1989. – 352 с.
12. Гольдфарб Э. М., Горелов В. Ф. Исследование явления выбросов с использованием динамических параметров кислородно-конверторной плавки // Известия вузов. Чёрная металлургия. - 1978. - №9 - С. 41-44.
13. Элементы автоматизованого електропривода / Н.Г. Попович, В.А. Гаврилюк, О.В. Ковальчук, В.І. Теряєв. – К.: УМК ВО, 2019. – 260 с.
14. Кідиба В.П. Релейний захист електроенергетичних систем: Підручник. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2016. – 533 с.
15. Кислородная фурма для продувки конверторных плавок в условиях нестабильных параметров шихты и производства / А.В. Сущенко, В.И. Ганошенко, А.Б. Ковура и др. // Труды шестого конгресса сталеплавильщиков. – М.: АО «Черметинформация», 2001. – С. 104–107.
16. Конспект лекцій з дисципліни “Теорія електропривода” для студентів напряму 050702 - Електромеханіка (частина І) / укл.: Сохіна Ю.В. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2016. – 112 с.
17. Лукьянов С. И., Мещеряков А. Ю., Суспицын Е. С. Определение скорости обезуглероживания расплава по характеристикам вибрации корпуса кислородного конвертора // Электротехнические системы и комплексы: Межвузовский сб. науч. тр. - 2009. - Вып. 17. - С. 174-180.
18. Лукьянов С.И. Применение методов машинного обучения при анализе вибрации кислородного конвертора / С.И. Лукьянов, А.Ю. Мещеряков, Е.С. Суспицын и др. // «Материалы 67-й научно-технической конференции». Сб. докл. конф. - Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ». - 2009. - С. 108-110.

19. Окорочков Б.Н, Разработка адаптивного комплекса системного управления современным кислородно-конверторным производством / Б.Н. Окорочков, П.Ю. Шендриков // Известия высших учебных заведений. Чёрная металлургия. - 2004. - №5 - С. 20-25.
20. Пушкар М.С. Проектування систем автоматизації: навч. посібник / М.С. Пушкар С.М. Проценко – Д.: Національний гірничий університет, 2018. – 268 с.
21. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування. Підручник. – К: Либідь, 2007, – 656 с.
22. Сталеплавильне виробництво: /В.І. Баптизманський, Б.М. Бойченко, О.Г. Величко та ін.К.: ІЗМН, 1996. - 400 с.
23. Сущенко, А.А. Ларионов, В.В. Климанчук и др. // Труды IX-ого конгресса сталеплавильщиков. - Москва: ОАО «Черметинформация», 2007. – С.130–134.
24. Сущенко А.В. К вопросу об оптимизации дутьевых режимов и устройств кислородных конверторов / А.В. Сущенко // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2002. – № 3 – С. 21–26.
25. Сущенко А.В. Моделирование тепловой работы наконечников кислородных фурм для верхней продувки конверторов / А.В. Сущенко, А.П. Балаба // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2010. – № 3. – С. 53–58.
26. Чернятевич А.Г. О механизме образования выбросов из кислородного конвертора с верхней продувкой / А.Г. Чернятевич, Е.Я. Зарвин, Ю.Н. Борисов и др. // Известия высших учебных заведений. Чёрная металлургия. - 1976. - №10 - С. 54-59.
27. Чорний. О.П. Моделювання електромеханічних систем: підручник для ВНЗ/ О.П. Чорний, А.В. Луговий, Д.Й. Родькін, Г.Ю. Сисюк, О.В. Садовий. —Кременчук, 2001. — 376 с.
28. Яценко А.К. Методы оптимального управления сталеплавильными процессами / А.К. Яценко, В.С. Кочо - М.: Металлургия, 1990. - 215 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

SECTION 1 ANALYTICAL PART

1.1 Brief information about OJSC «Dnieper Metallurgical Plant»

The electric lance drive drives it along the vertical axis of the converter and is the main mechanism in the oxygen converter. The movement of the oxygen lance along the vertical axis of the converter is an integral part of the technological cycle of the oxygen converter, as the height of the lance above the melt surface determines the physico-chemical processes of steel smelting. The productivity of the oxygen converter, its trouble-free operation and the quality of the smelted steel directly depend on the accuracy and speed of operation of the electric lance drive.

One of the reserves to increase the productivity of the oxygen converter is to reduce downtime and metal losses due to emissions of the melt through the neck of the oxygen converter, one of the most common incidents during the purge of the melt in the oxygen converter.

Control of the course of blowing of metal in the converter is carried out by technological personnel in a manual mode for the purpose of regulation of process of smelting of steel of the set structure and prevention of emissions of melt. On most Ukrainian oxygen converters, the melting condition is monitored by visual observation of the converter neck. On a number of converters the estimation of a condition of melting is carried out on the basis of the analysis of the characteristics leaving the zone of reaction of gases and by means of systems of vibroacoustic control. In the oxygen-converter shop of JSC «Dnipro Metallurgical Plant» (JSC «DMK») diagnostics of the possibility of melt emissions is carried out by the vibration control system «Monitoring-K».

When the possibility of melt emission is detected, the technological personnel manually adjusts the purge mode by controlling the electric drive of the oxygen

lance, changing the intensity of oxygen supply and additives of slag-forming materials.

Analysis of data on the operation of the «Monitoring-K» system installed on oxygen converters №1-3 of JSC «DMK» showed the presence of a large number of erroneous diagnoses of the possibility of melt emissions. This is one of the reasons for the lack of oxygen converters on the oxygen converters of OJSC «DMK», capable of preventing the emission of melt through the neck of the oxygen converter, in which the system «Monitoring-K» would be used as a diagnostic unit.

Analysis of technological features of the oxygen-converter process of steel smelting, methods of diagnosing the possibility of melt emission through the neck of the oxygen converter and functionality of the system «Monitoring-K» will identify ways to further research to develop a system of automatic control based on reliable diagnosis of the possibility of emissions of the melt through the neck of the oxygen converter.

1.2 Analysis of technological features of oxygen-converter steel production

Oxygen-converter process of steel production is a set of technological operations for processing liquid cast iron and scrap metal into steel of a given brand by injecting into the melt technically pure oxygen, which removes carbon and impurities, increases the melt temperature.

In the practice of converter production, three schemes of oxygen injection are used: from above through the lowering lance; through located in the bottom purge blocks; combined purge. The most widespread in metallurgy is the scheme with the upper purge mode, in which oxygen with a flow rate of up to 1500 m / min is fed through lowering from above to the level of 2–3 m above the melt oxygen lance. The tip of such a lance has several special holes (nozzles) through which oxygen is injected into the melt at supersonic speed, thus creating favorable conditions for intensive mixing of the metal and chemical reactions.

A simplified typical scheme of an oxygen converter with an upper purge mode is presented in Figure 1.1.

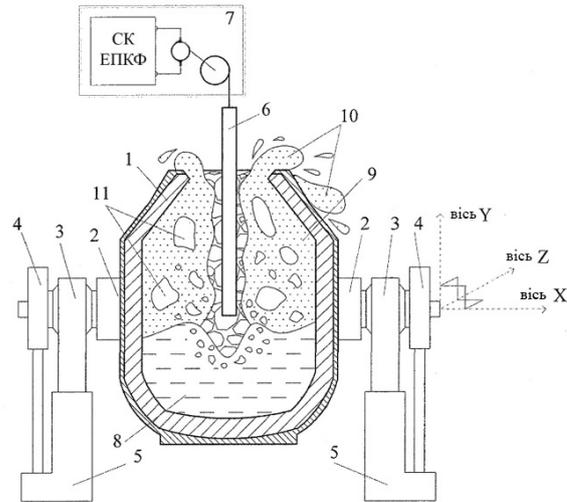


Figure 1.1 – Simplified scheme of the oxygen converter with the upper purge mode

1 – case with lining; 2 – the support ring of the converter; 3 – converter pins; 4 – the mechanism of rotation of the converter; 5 – beds; 6 – oxygen lance; 7 – electric oxygen lance drive; 8 – molten metal; 9 – gas-slag metal emulsion; 10 – melt emission; 11 – gas bubbles SK EPKF – control system for electric lance oxygen drive

The oxygen converter is an open top pear-shaped vessel and consists of a housing with a lining 1, a support ring of the converter 2, a converter pin 3, a rotation mechanism of the converter 4, a bed 5. Through the neck of the converter along the vertical axis Y descends the lance is carried out by means of an electric drive 7. To perform technological operations (cast iron, steel drain, etc.) the converter has the ability to rotate around the horizontal axis X, passing through the axis of the pin 3.

From the literature it is known that the technological cycle of the oxygen converter (Fig. 1.2) includes the following operations:

- 1) loading of scrap metal (4–5 minutes);
- 2) pouring cast iron (4–6 minutes);
- 3) purging the melt with oxygen (17–23 minutes);

- 4) draining the steel into the steel (4–8 minutes);
- 5) drain the slag into the slag box (3–6 minutes);
- 6) preparation for the next cycle of steel smelting (3–5 minutes).

Before the start of purging in the working space of the oxygen converter (Fig. 1.1) is filled with scrap metal (stage I, Fig. 1.2), then poured liquid cast iron (stage II, Fig. 1.2).

The main technological operation in the process of smelting steel in an oxygen converter is blowing the melt (stage III, Fig. 1.2). Oxygen lance 6 is lowered over the melt 7 along the Y axis, through which oxygen is supplied under high pressure. As a result of the interaction of the oxygen jet and the surface of the melt is the oxidation of carbon and impurities. A layer of gas-slag metal emulsion 9 is formed on the surface of the melt (Fig. 1.1). After oxygen purge, sampling is performed to analyze the chemical composition and temperature of the metal and, if the steel parameters meet the required values, the steel is drained into the steel, slag is drained and the converter is prepared for the next smelting (stages IV-VI, Fig. 1.2).

Thus, in the normal mode of operation of the oxygen converter, the duration of the technological cycle of steel smelting is 43 + 8 minutes (Fig. 1.2).

One of the main requirements for the process of oxygen-converter smelting of steel is the requirement to maintain the level of gas-slag metal emulsion in the bath of the converter in a given range throughout the melting.

Particularly critical increase in the level of slag metal emulsion above the norm, which leads to emissions of melt 10 through the neck of the converter (Fig. 1.1). Melt emissions are splashes of macrovolumes of gas-slag metal emulsion 9 through the neck of the converter due to the sharp foaming of the melt at the time of explosive release of gas bubbles 11. Melt emissions are an integral concomitant factor in steelmaking technology in the oxygen converter. The temperature of the emitting melt reaches 1500–1600 °C. Emissions of metal with emissions can reach 2% by weight of liquid steel in the converter.

One of the reserves to increase the productivity of the oxygen converter is the timely prevention of melt emissions. When the melt is emitted through the neck of

the oxygen converter, the purge for slag extraction is often interrupted, which leads to lengthening of the technological cycle by = 6–8 minutes (Fig. 1.3) and reducing the yield of suitable steel to 1.5%. In addition, when pouring metal on the path of the steel truck under the converter, the supply of steel to the steel drain is blocked, as a result of which the converter is additionally idle for 20–40 minutes due to road cleaning works. Thus, due to the emissions of the melt there is an increase in the cycle of steel smelting by = 6 ... 40 minutes

In the case of raising the slag-metal emulsion above the allowable level in order to prevent emissions of the melt requires immediate application of one or more corrective actions: lowering the oxygen lance 6 (Fig. 1.1); reducing the consumption of oxygen; additive of slag-forming materials.

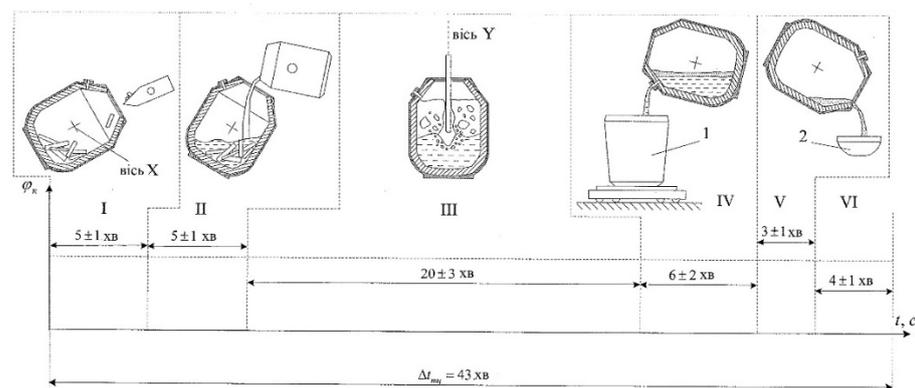


Figure 1.2 – Time diagram of the technological cycle of the oxygen converter in normal mode

1 – stalker; 2 – slag box

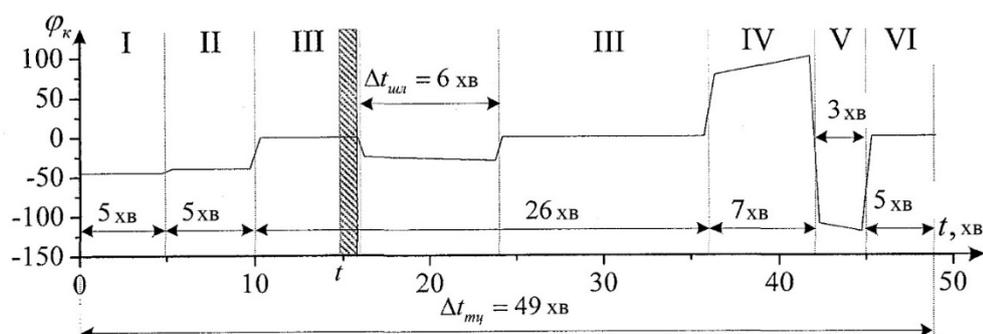


Figure 1.3 – Time diagram of the technological cycle of steel smelting in the oxygen converter during the emission of the melt

The main method used to prevent emissions of the melt is the lowering of the oxygen lance, as this does not reduce the productivity of the converter, there is no additional consumption of slag-forming materials. The position of the oxygen lance is regulated by the electric drive 7 (Fig. 1.1).

Based on the above, we can draw the following conclusions:

- emission of melt from the oxygen converter is a typical incident for the technology of oxygen-converter steel production;
- emission of melt from the converter leads to metal losses of up to 2% and increase the duration of the technological cycle of steel smelting by 11 ... 78%;
- the main way to prevent emissions of the melt from the converter is to adjust the position of the oxygen lance.

Currently, in the oxygen-converter shop of JSC «DMK» there are three oxygen converters with a capacity of 370 tons with the upper method of blowing the melt [24-25]. The melt is blown through an oxygen lance with an intensity of up to 2000 m³ / min. The oxygen lance is moved by an electric drive with a working stroke of 20.6 m along the vertical axis of the converter at a speed of 0.05 – 0.9 m / s. At the end of the purge with the help of a measuring lance is measured the temperature of the steel and sampling of metal. Converters №1–3 of JSC «DMK» are typical for the main technical characteristics and features of steel smelting technology. Similar converters have been installed at OJSC Azovstal in Ukraine and abroad by OJSC West Siberian Metallurgical Plant, OJSC Severstal, OJSC Novolipetsk Metallurgical Plant in Russia, Weirton Steel in the USA, Nippon Steel in Japan, etc. [1–3].

The control of the main mechanisms of oxygen converters at JSC «DMK» is carried out by manual and software control of automated electric drives of the mechanisms of the units. The melt purge is controlled by the technological personnel in manual mode.

The basis of automation of the melt purge process is ASK TP «Plavka». Its functions include the collection and visualization of data on the state of the process, the installation of tasks of the control system of the electric lance, the consumption

of oxygen and the loading of slag-forming materials. ASK TP «Melting» can change the task of the height of the oxygen lance in the program mode according to the template established by the technological personnel based on the experience of previous melting.

During the purge of the melt is carried out manual or software adjustment of the height of the oxygen lance above the melt, the flow of oxygen blowing and the supply of slag-forming materials. The software change of the position of the oxygen lance is carried out without taking into account the current state of the melt in the converter and the possibility of its emission. During the purge, the technological personnel evaluates the possibility of melt emission on the basis of data on the chemical composition of exhaust gases, readings of the system for diagnosing the possibility of melt emission «Monitoring-K» and visual observation by the converter neck operator.

In case of deviations from the normal course of melt foaming, the technological staff manually lowers the oxygen lance 0.15 – 0.2 m below the position recommended by the technological instructions, reduces oxygen consumption to 500 ... 600 m / min., Adds lime in portions from 0, 5 to 2.0 t. After preventing the release of the melt is a smooth transition to normal purge mode [5].

The used manual control method has a number of significant disadvantages. The readings of gas analyzers reflect the course of the process, which proceeds with a significant delay = 8–12s. Since the time interval of the transition of the melting process to the emission of the melt through the neck of the oxygen converter is 6–18 s [21], most often the data of gas analyzers are received by the operator's panel after the emission of the melt. Therefore, the technological staff determines the possibility of emission of the melt mainly visually. According to [20], the time of the subjective reaction of the operator to changes in the parameters of the purge process is = 5–10 s, which leads to a delay of control effects. In addition, the speed of movement of the oxygen lance to a level that prevents the release of the melt, is limited by the dynamics of the electric drive of the oxygen lance.

The analysis of the consequences of melt emissions on the converters №1-3 of JSC «DMK» for the period from September 1, 2010 to November 1, 2010. During this period, melt emissions were recorded at 152 melts out of 2374. As a result emissions of melt on the path of the steel truck was carried out work on clearing the tracks, while the total downtime of the converters was 7 hours. At 32 smelters, the purge was interrupted to drain the slag due to emissions of the melt, which led to the lengthening of the technological cycle of each smelter by 6-8 minutes (Fig. 1.4) [3].

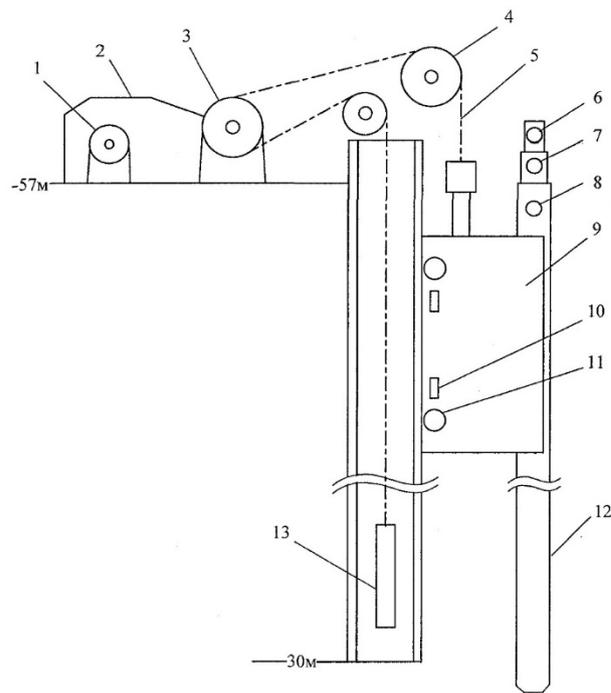


Figure 1.4 – Simplified kinematic scheme of the oxygen lance electric drive

- 1 – electric motor; 2 – reducer; 3 – winch; 4 – support roller;
 5 – cable; 6 – supply of cooling water; 7 – supply of oxygen blast; 8 –
 drainage of cooling water; 9 – carriage; 10 – clamping rollers; 11 – guide rollers;
 12 – oxygen lance; 13 – counterweight

Thus, when manually controlling the purge of the oxygen converter, the delay of corrective actions from the moment of detection of the possibility of emission is from 13 to 22 seconds. Time-adjusted working out of the task by the electric drive of an oxygen lance its movement to necessary level is carried out with even bigger delay. As a result, melt emissions cannot be prevented during more than 6% of steel purges in the converter.

1.3 Characteristics of the oxygen lance electric drive and the technological requirements imposed on it

The oxygen supply mechanism (MPC) in the converter includes an oxygen lance, a backup lance and devices for moving them. On the converters №1-3 of JSC «DMK» the mechanism of oxygen supply produced by JSC «Pivdenuralmash» is used [5]. The parameters of the oxygen supply mechanism are typical for Ukrainian converters and are presented in Table 1.1.

Table 1.1– The main parameters of the oxygen supply mechanism

| The name of the parameter | Value |
|---|----------|
| Working course of oxygen lance, m | 20,45 |
| The speed of movement of the oxygen lance, m / s: | |
| nominal | 0,76 |
| minimal | 0,05 |
| maximum | 0,9 |
| Oxygen consumption, m ³ / min | 800–2000 |

A simplified kinematic scheme of the oxygen lance electric drive is presented in Figure 1.4. The movement of the oxygen lance 12 is carried out by an electric motor 1 mounted on a special platform above the converter.

The main technological requirement for the IPC is to ensure the required intensity of oxygen supply to the melt.

On most oxygen converters in Ukraine, the electric lance drive is made according to the TP-D system with subordinate coordinate adjustment with the outer contour of the oxygen lance position adjustment [26]. The functional diagram of a typical electric drive of oxygen lance converters №1-3 JSC «DMK» is presented in Figure 1.5.

Table 1.2 – Parameters of the electric motor D812

| Parameter | U_H, B | I_H, A | P_n, kW | ω_H, rpm | ω_{max}, rpm | $M_{max}, N \cdot m$ |
|-----------|----------|----------|-----------|-----------------|---------------------|----------------------|
| Value | 220 | 380 | 75 | 515 | 1900 | 4000 |

The control system of the oxygen lancer of the converters №1–3 of OJSC «DMK» (Fig. 1.6) implements two modes of movement speed: normal mode and emergency mode (P2). In the emergency mode, the movement of the oxygen lance is carried out at a speed of 0.9 m / s, in the normal mode, the movement of the oxygen lance is carried out at a speed of up to 0.76 m / s.

The following basic technological requirements concern the electric drive of oxygen lance:

1. The range of changes in the speed of movement of the oxygen lance: 0 – 0.9 m / s.
2. Smooth start and braking: acceleration no more than 2 m / s.
3. Automatic stop of the lance at a given height above the level of a quiet bath with an accuracy of 10 cm.

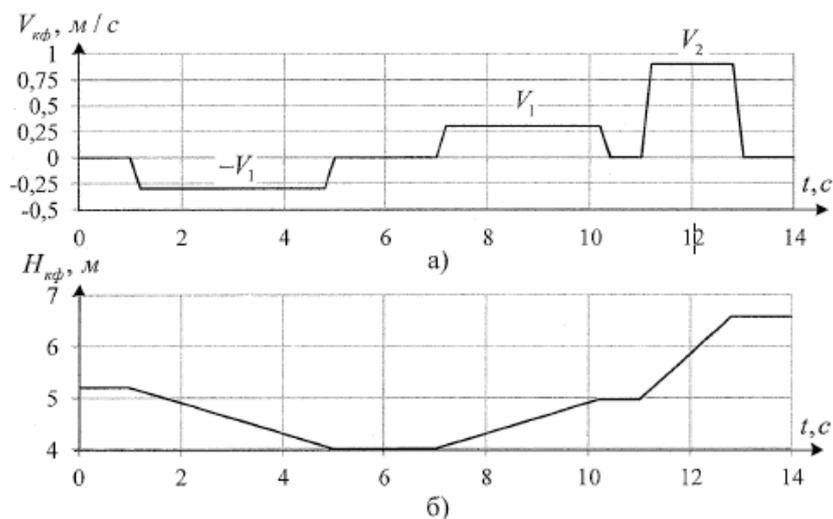


Figure 1.6 – Time diagrams of changes in the linear velocity of the oxygen lance V_{kf} (a) and its height above the level of the quiet melt H_{kf} (b)

From the analysis of technological requirements for the electric lance drive and the functionality of the existing systems of automated electric lance drives converters №1-3 JSC «DMK» follows:

1. The applied control systems of the electric drive of oxygen lance of converters provide observance of only obligatory technological requirements. Correction of the position of the oxygen lance when detecting the possibility of emission of melt from the converter is carried out manually.

2. The control system of the electric lance of converters does not provide the technical possibility of automatic control of the position of the oxygen lance in order to prevent emissions of the melt when blowing the oxygen converter.

3. There is no scientifically substantiated method of calculating the allowable values of time intervals of the electric lance drive from the standpoint of automatic prevention of melt emissions when blowing oxygen converter.

4. Technological requirements for the electric drive of the oxygen lance in terms of prevention in the automatic mode of emissions of the melt when blowing the oxygen converter and algorithms for implementing these requirements are not defined.

1.4 Analysis of methods for diagnosing the possibility of melt emissions from the oxygen converter

Intensive foaming of the melt, which in some cases leads to its emissions from the converter, is an integral part of steel smelting technology. The main technological causes of this phenomenon are: the occurrence of high-amplitude oscillations of the melt surface; a sharp acceleration of the rate of oxidation of carbon in the melt and in the slag-metal emulsion, accompanied by the formation of large bubbles in the volume of the melt [6].

In order to prevent emissions of the melt from the oxygen converter in practice, systems are used to diagnose the possibility of the emission of the melt from the converter. Direct measurement of the parameters of the melting process,

such as the height of the slag metal emulsion and its foaming rate, is impossible [12]. Therefore, these diagnostic systems are based on the principle of analysis of indirect parameters of the melting process.

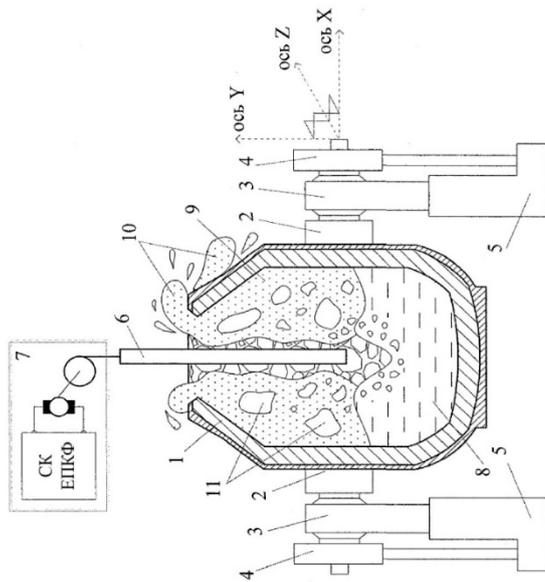
Domestic and foreign converters use systems for diagnosing the state of melting, based on the analysis of changes in the following parameters: the characteristics of the exhaust gases, the vibration of the converter and the purge noise [9]. The method of diagnosing the possibility of melt emissions based on the analysis of exhaust gases is used in most enterprises. The main difficulties in using this method of diagnosis in systems management is the need to create a reliable and durable system of gas sampling and preparation. As noted above, the process of measuring the concentration of exhaust gases from the oxygen converter is characterized by a significant delay due to the inertia of the gas analyzers and their distance from the reaction zone. These factors reduce the effectiveness of control influences used by technological personnel. The most promising ways to indirectly control the process of converter purge are acoustic, vibrating and their combination. Vibroacoustic method for diagnosing the possibility of melt emissions is based on the measurement of acoustic oscillations, vibration of the converter housing and vibration of the oxygen lance.

The vibration of the converter housing is determined by the hydrodynamics of the process and the mixing power of the converter bath by gas bubbles. The main sources of vibration are pop-up gas bubbles and bursts of gas-slag metal emulsion. The level of vibration of the converter housing, in addition to technological factors, is also affected by reducing the thickness of the lining, changing the percentage of cast iron and scrap metal, overgrowth of the converter neck and vibration of the surrounding unit.

Nippon Steel Corporation and SIEMENS VAI have developed systems for the technical diagnosis of melt emissions and the prevention of melt emissions by automatically introducing slag-forming materials and adjusting the position of the oxygen lance. However, indicators of the effectiveness of such systems are not given in the literature, and the structure and algorithms of their work is a trade secret.

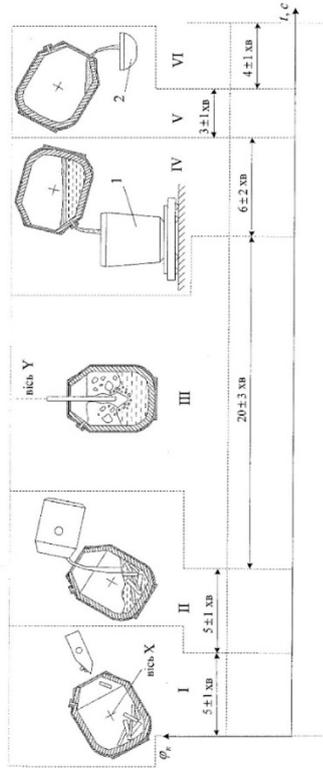
Додаток Б

Аналіз технологічних особливостей киснево-конверторного виробництва сталі

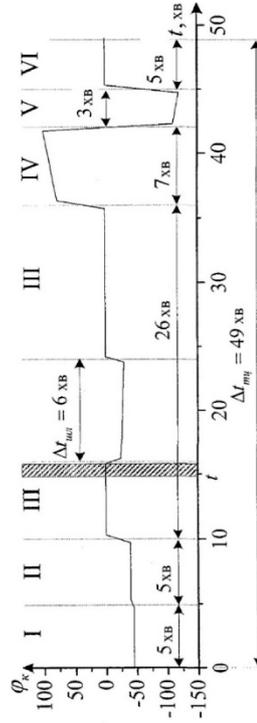


Спрощена схема кисневого конвертера з верхнім режимом продувки

- 1 – корпус з футеровкою; 2 – опорне кільце конвертера;
- 3 – цапфи конвертера; 4 – механізм повороту конвертера;
- 5 – станини; 6 – киснева фурма; 7 – електропривод кисневої фурми; 8 – розплав металу; 9 – газо-шлакометалева емульсія; 10 – викид розплаву; 11 – бульбашки газів



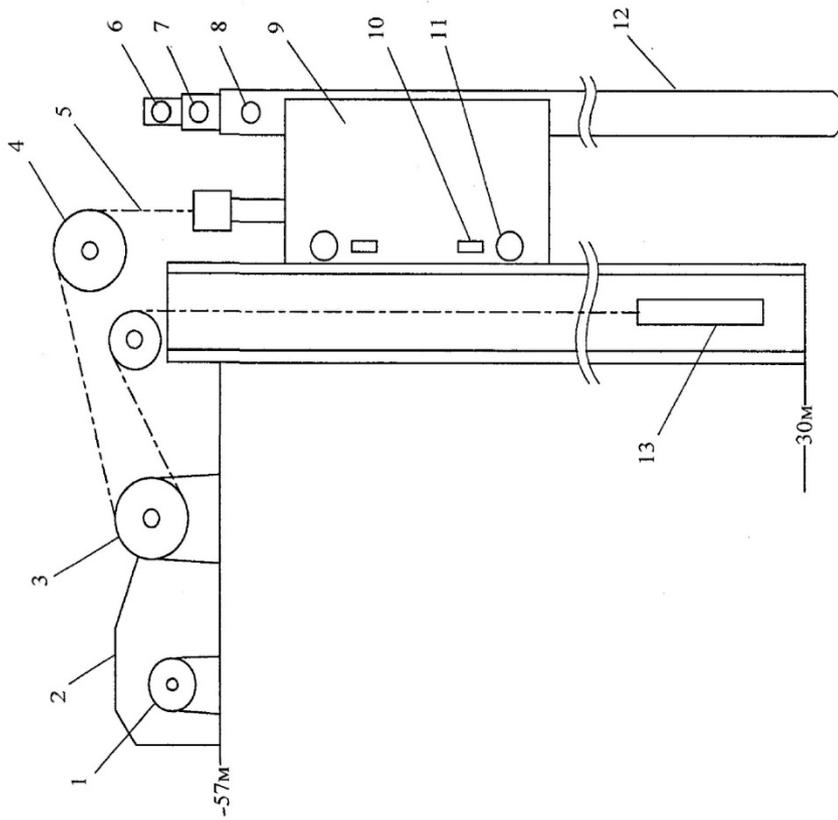
Часова діаграма технологічного циклу роботи кисневого конвертера в нормальному режимі
1 – стальковш; 2 – шлаковнища



Часова діаграма технологічного циклу виплавки сталі в кисневому конверторі при викиді розплаву

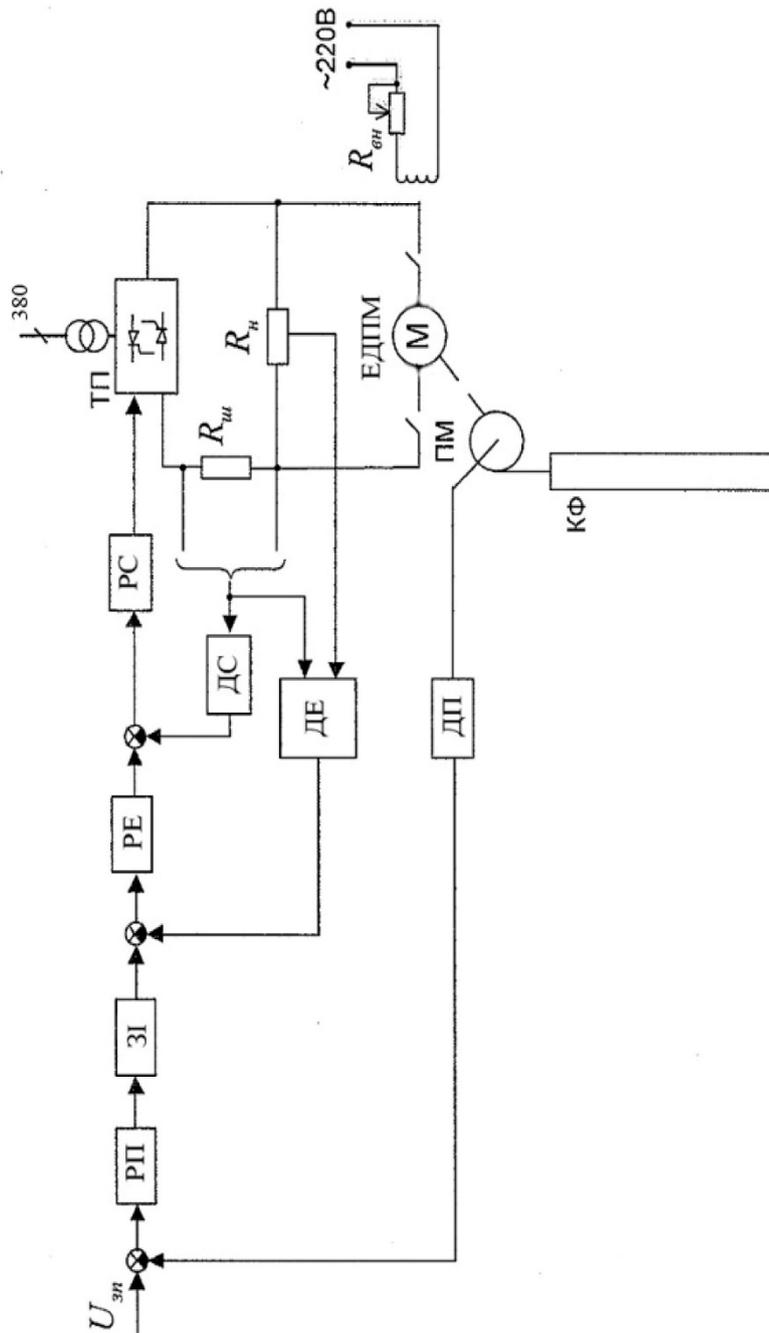
Додаток В

Кінематична схема електроприводу кисневої фурми



- 1 – електродвигун; 2 – редуктор; 3 – левідка; 4 – опорний ролик; 5 – трос; 6 – підведення охолоджуючої води;
 7 – підведення кисню дугтя; 8 – відведення охолоджуючої води; 9 – каретка; 10 – притискні ролики; 11 – напрямні ролики; 12 – киснева фурма; 13 – противага

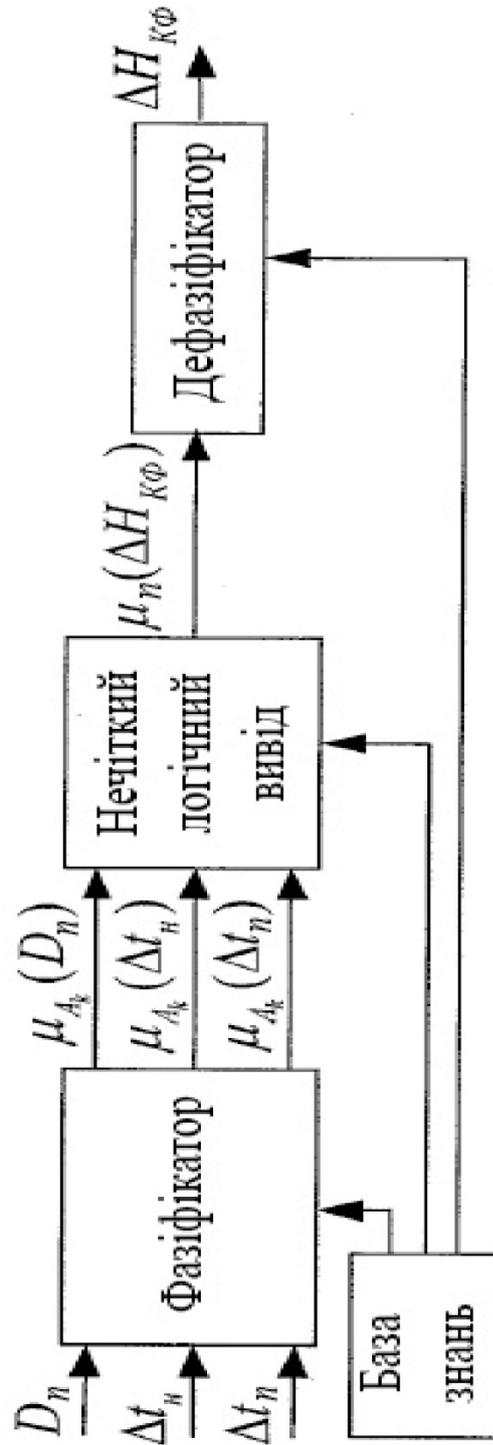
Додаток Г

Існуюча функціональна схема керування електроприводом кисневої фурми
конвертора

ТП – тиристорний перетворювач; ЗІ – задавач інтенсивності; РС – регулятор струму; ДС – датчик струму; ДЕ – датчик ЕРС; РЕ – регулятор ЕРС; РП – регулятор положення; ДП – датчик положення; ЕД – електродвигун кисневої фурми; Л – лебідка; КФ – киснева фурма

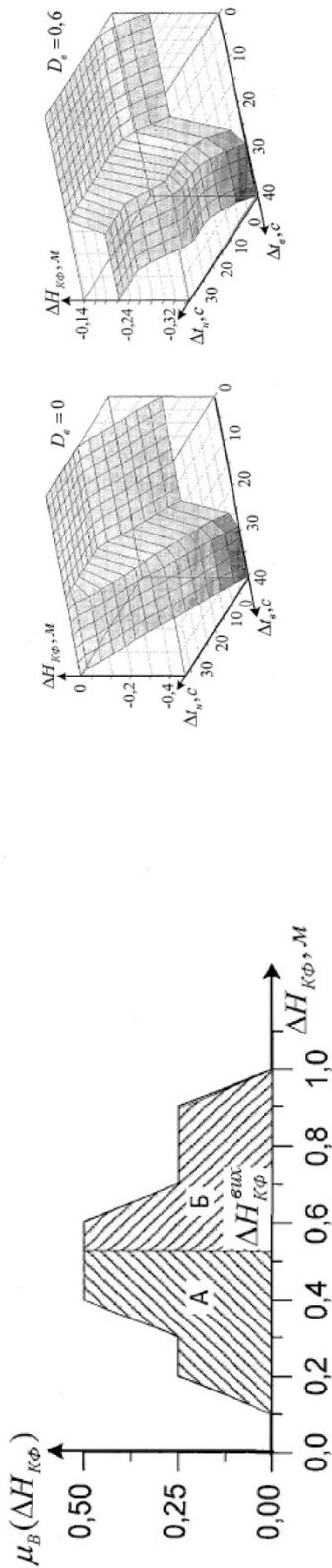
Додаток Г

Структурна схема нечіткої моделі формування величини коригуючого переміщення кисневої фурми



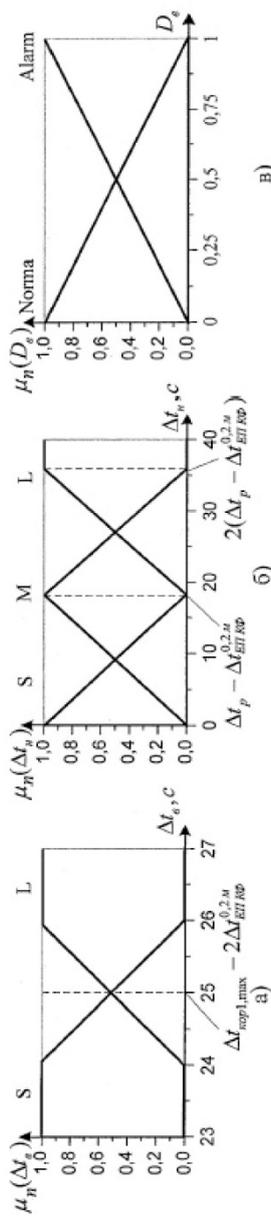
Додаток Д

Функції приналежності лінгвістичних змінних нечіткої моделі формування величини коригувального переміщення кисневої фурми



Графік функції приналежності $\mu_B(\Delta H_{КФ})$ величини коригуючого переміщення кисневої фурми

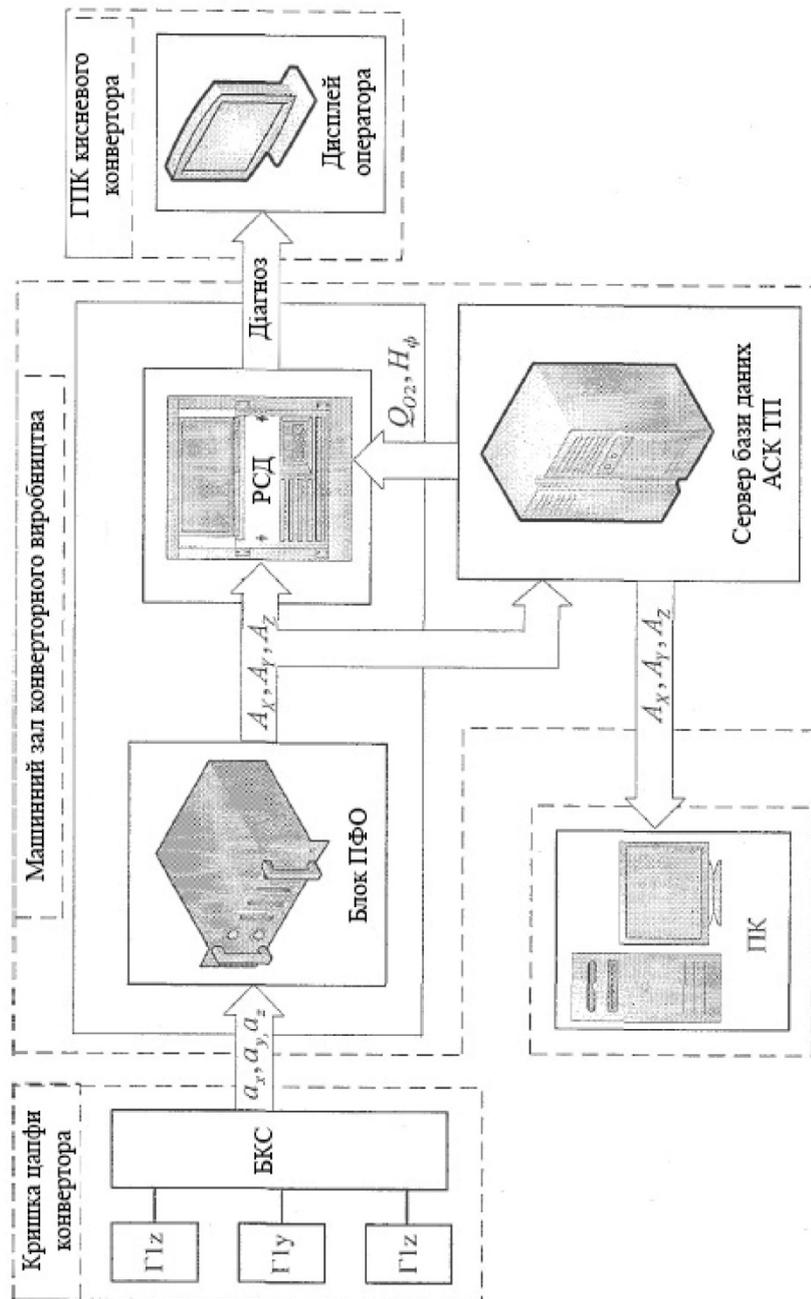
Графіки функції відгуку нечіткої моделі формування величини коригуючого переміщення кисневої фурми при переході в нормальний режим продувки



Графіки функцій приналежності вхідних лінгвістичних змінних нечіткої моделі формування величини коригуючого переміщення кисневої фурми

Додаток Е

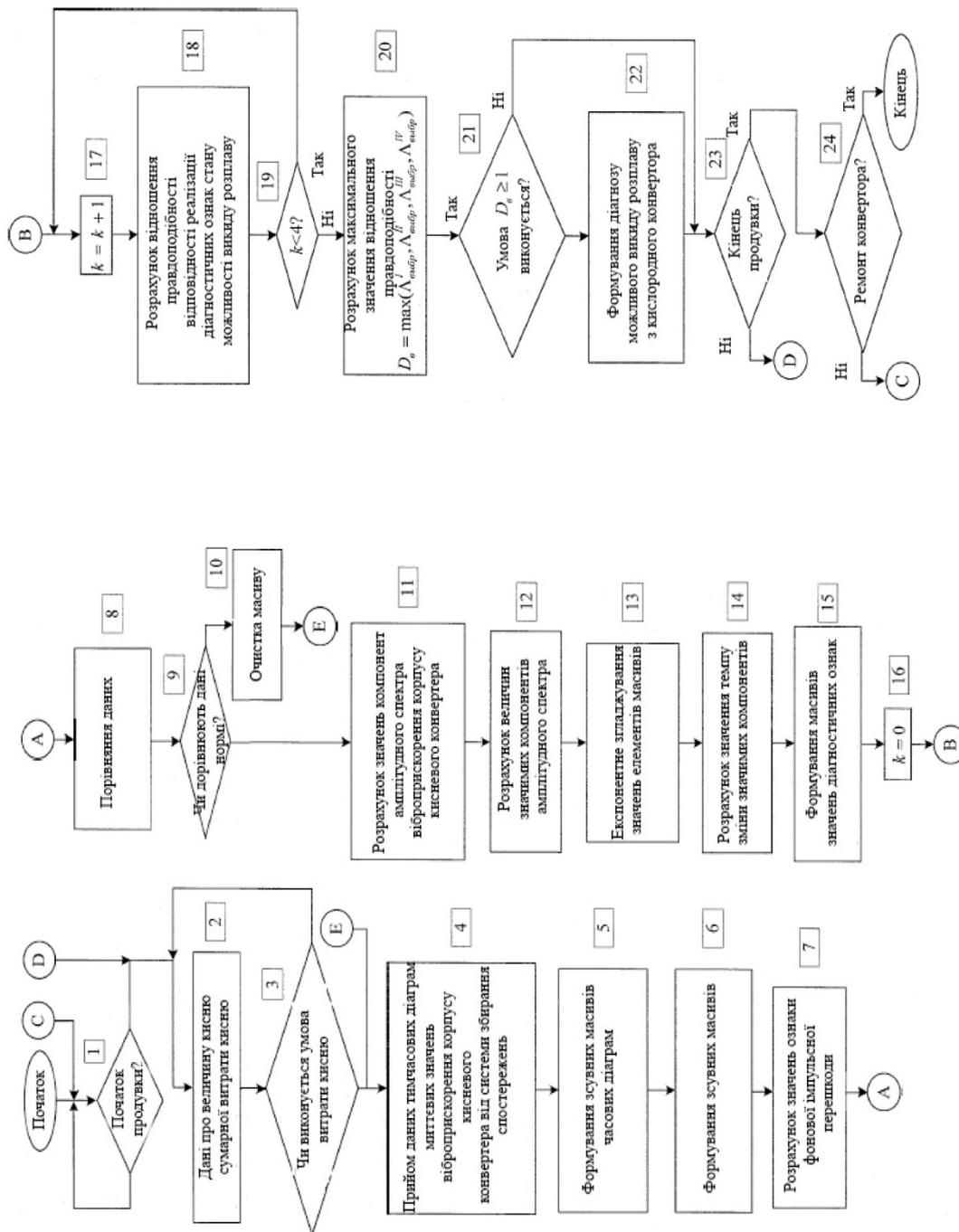
Розроблена функціональна схема керування електроприводом кисневої
 фурми конвертора



ПФО – блок посилення, фільтрації та обробки сигналів віброприскорення корпусу кисневого конвертора; РСД – робоча станція діагностики; ПК – персональний комп'ютер; БКС – блок керування співвідношенням

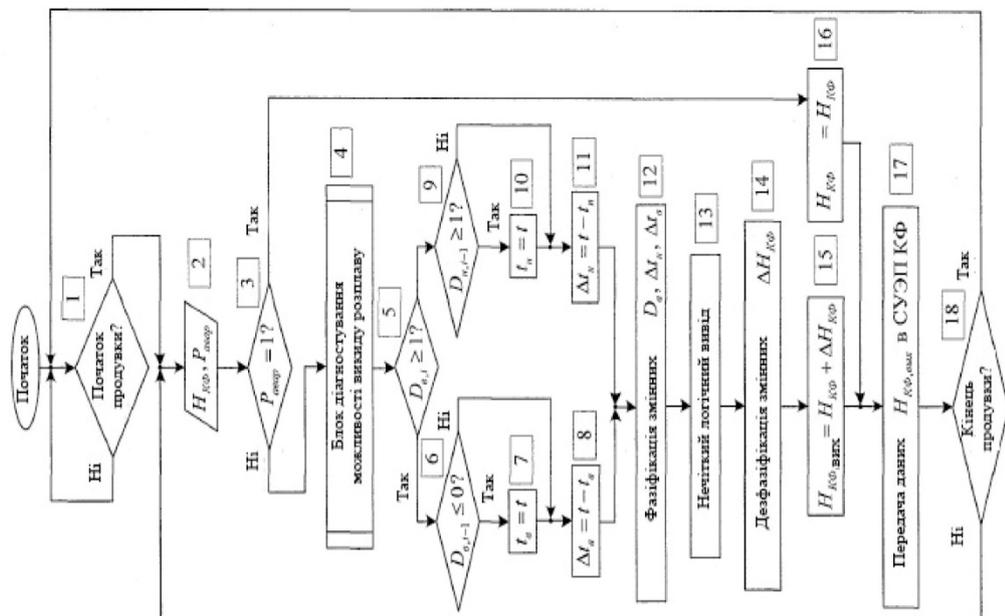
Додаток Ж

Функціональна схема системи діагностування можливості викиду розплаву з кисневого конвертора



Додаток 3

Блок-схема алгоритму діагностування можливості викиду розплаву з кисневого конвертора



И

Таблиця техніко-економічних показників

| Показники | Одиниці виміру | Значення | | |
|--|----------------|-----------------|--------------------|----------------------|
| | | до модернізації | після модернізації | абсолютне відхилення |
| 1. Капітальні витрати на модернізацію | грн. | х | 321021,64 | х |
| 2. Річний фонд часу роботи | год. | 8189,98 | 8475,23 | -285,25 |
| 3. Річна експлуатаційна продуктивність | пер | 2727263,34 | 3104476,75 | -377213,41 |
| 4. Річні експлуатаційні витрати, усього: | грн. | 4522296,55 | 4593219,67 | -70923,12 |
| у тому числі: | | | | |
| витрати на оплату праці | грн. | 653037,47 | 675782,21 | -22744,74 |
| витрати на ТО та ТР | грн. | 153055,65 | 71801,85 | +81253,80 |
| витрати на електроенергію | грн. | 3716203,43 | 3845635,61 | -129432,18 |
| 5. Вартість однієї машино-години роботи | грн./год. | 552,17 | 541,96 | +10,21 |
| 6. Вартість технологічної операції | грн./ пер | 1,66 | 1,48 | +0,18 |
| 7. Річний економічний ефект | грн. | х | 558805,82 | х |
| 8. Строк окупності капітальних вкладень | місяців | х | 7 | х |