

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

ННІ/факультет Навчально-науковий технологічний інститут
Кафедра Електричної інженерії та автоматизації
Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерні технології та робототехніка»
Форма навчання Денна

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної кваліфікаційної роботи

магістра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

Бобуненка Миколи Сергійовича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

на тему: Автоматизація металургійного виробництва. Дослідження та розробка

системи оперативного контролю відмов і збоїв датчиків АСУ ТП обтискної

кліті блюмінга

(повна назва теми)

за матеріалами з блюмінга ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг"

(повна назва бази дослідження)

науковий керівник

доцент, к.т.н.

(наук. ступінь, вчене звання)

(підпис)

Жуков М.С.

(прізвище, ініціали)

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри

від 15.01.2026 р. № 6

Завідувач кафедри

(підпис)

доцент, к.п.н.

Наук. ступінь, вчене звання

Є.О. Модло

Ініціали, прізвище

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
Кафедра Електричної інженерії та автоматизації

Освітньо-кваліфікаційний рівень _____ магістр _____

Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерні технології та робототехніка»
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« _____ » _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ

НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

_____ Бобуненку Миколі Сергійовичу _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема випускної кваліфікаційної роботи Автоматизація металургійного виробництва. Дослідження та розробка системи оперативного контролю відмов і збоїв датчиків АСУ ТП обтискної кліті блюмінга.

керівник випускної роботи Жуков Микола Степанович, доцент, к.т.н.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від «20» жовтня 2025 року
№ 727-ст

2. Строк подання студентом випускної кваліфікаційної роботи
12.01.2026

3. Вихідні дані до випускної кваліфікаційної роботи: Об'єкт автоматизації — обтискна кліть блюмінга 1300, що має два безредукторних приводи валків потужністю по 6800 кВт, натискне обладнання (2×300 кВт), маніпулятори (2×630 кВт), кантувач (315 кВт) та рольганги. До складу АСУ ТП входить 47 датчиків різних типів. Вимоги: забезпечення оперативного виявлення відмов і збоїв датчиків у реальному часі, стійкість до електромагнітних завад, можливість автоматичної діагностики без участі обслуговуючого персоналу.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити 4.1 Аналітична частина: Огляд конструкції та технологічних особливостей обтискної кліті 1300. Класифікація датчиків АСУ ТП за типом сигналу та призначенням. Аналіз завад у лініях зв'язку та рекомендації щодо апаратної фільтрації. 4.2. Основна частина: Розробка алгоритмів оперативного контролю працездатності для різних типів датчиків. Обґрунтування архітектури системи, вибір технічних засобів (БГР, АЦП МАХ1308, контролер). Економічне обґрунтування: розрахунок капіталовкладень, експлуатаційних витрат, ефекту

та терміну окупності. Оцінка умов праці та розробка заходів з охорони праці при експлуатації системи.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
ВРМ.174.727- ст.01.Е0.1 – Алгоритм контролю двопозиційних датчиків;
ВРМ.174.727- ст.01.Е0.2 – Алгоритм контролю цифрового датчика;
ВРМ.174.727- ст.01.Е0.3 – Блок-схема алгоритму ОКП; ВРМ.174.727- ст.01.Е1 –
Структурна схема системи; ВРМ.174.727- ст.01.ТЕП – Техніко-економічні показники

6. Консультанти розділів випускної кваліфікаційної роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|--------------------|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| Аналітична частина | Жуков М.С. | 20.10.2025 | 20.10.2025 |
| Основна частина | Жуков М.С. | 20.10.2025 | 20.10.2025 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

7. Дата видачі завдання 20.10.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів випускної роботи | Строк виконання етапів випускної роботи | Примітка |
|-------|----------------------------------|---|----------|
| 1. | Аналітична частина | 28.11.2025 | |
| 2. | Основна частина | 25.12.2025 | |
| 3. | Оформлення пояснювальної записки | 29.12.2025 | |
| 4. | Виконання графічної частини | 05.01.2026 | |
| 5. | Подання роботи до кафедри | 12.01.2026 | |
| 6. | Захист роботи в ЕК | 21.01.2026 | |

Студент _____
(підпис)

Бобуненко М.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник випускної кваліфікаційної роботи _____
(підпис)

Жуков М.С.
(прізвище та ініціали)

| № рядка | Формат | Позначення | Назва | Кіл. листів | № екз. | Прим. |
|-----------------|-------------|-------------------------------|----------------------|------------------------------------|---|---------------|
| 1 | A3 | <i>ВРМ.174.727-см.01.Е0.1</i> | Алгоритм контролю | 1 | | |
| 2 | | | двопозиційних | | | |
| 3 | | | датчиків | | | |
| 4 | | | | | | |
| 5 | A3 | <i>ВРМ.174.727-см.01.Е0.2</i> | Алгоритм контролю | 1 | | |
| 6 | | | цифрового датчика | | | |
| 7 | | | | | | |
| 8 | A3 | <i>ВРМ.174.727-см.01.Е0.3</i> | Блок-схема | 1 | | |
| 9 | | | алгоритму ОКП | | | |
| 10 | | | | | | |
| 11 | A3 | <i>ВРМ.174.727-см.01.Е1</i> | Структурна схема | 1 | | |
| 12 | | | системи | | | |
| 13 | | | | | | |
| 14 | A3 | <i>ВРМ.174.727-см.01.ТЕП</i> | Техніко-економічні | 1 | | |
| 15 | | | показники | | | |
| 16 | | | | | | |
| 17 | A4 | <i>ВРМ.174.727-см.01.ПЗ</i> | Пояснювальна записка | 65 | | |
| 18 | | | | | | |
| 19 | | | | | | |
| 20 | | | | | | |
| 21 | | | | | | |
| 22 | | | | | | |
| 24 | | | | | | |
| | | | | <i>ВРМ.174.727-см.01.ВР</i> | | |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ документа</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | |
| <i>Розроб.</i> | | <i>Бобуненко М.С.</i> | | | <i>Літера</i> | <i>Аркуш</i> |
| <i>Пров.</i> | | <i>Жуков М.С.</i> | | | | <i>Аркуші</i> |
| <i>Н.контр.</i> | | <i>Жуков М.С.</i> | | | <i>ННТІ ДУЕТ Каф.ЕІА</i> | |
| | | | | | Автоматизація металургійного виробництва. Дослідження та розробка системи оперативного контролю відмов і збоїв датчиків АСУ ТП обтискної кліті блюмінга | |
| | | | | | 4 | 1 |

| | | | | | |
|--------------|-------------------|--|--|-------------------------|-------------------|
| <i>Затв.</i> | <i>Модло Є.О.</i> | | | <i>Відомість роботи</i> | <i>зр. АП-24м</i> |
|--------------|-------------------|--|--|-------------------------|-------------------|

РЕФЕРАТ

Робота вміщує: 65 сторінок пояснювальної записки, 9 рисунків, 12 таблиць, 41 джерело використаної літератури.

Мета роботи: розробка системи оперативного контролю працездатності датчиків АСУ ТП обтискної кліті блюмінга 1300 з метою підвищення надійності роботи системи автоматизації шляхом своєчасної фіксації відмов та збоїв.

Основні завдання:

– проаналізувати принципи роботи та класифікувати датчики за призначенням та типами вихідних сигналів;

– дослідити види відмов та збоїв датчиків, розробити алгоритми їх виявлення;

– запропонувати методи підвищення завадостійкості ліній зв'язку;

– розробити структуру системи контролю працездатності з використанням мікропроцесорної техніки;

– визначити необхідну частоту опитування датчиків та час виявлення відмов.

Результати роботи:

– наведено характеристику датчиків систем керування приводами обтискної кліті.

– запропоновано класифікацію датчиків за призначенням, принципом дії та формою вихідних сигналів.

– розроблено алгоритми контролю працездатності для різних груп датчиків.

– запропоновано схеми фільтрів для підвищення завадостійкості аналогових та цифрових сигналів.

– наведено приклад реалізації системи контролю на основі мікропроцесорного контролера з розрахунком часу виявлення збоїв.

Розроблена система дозволяє оперативно виявляти відмови та збої датчиків, що забезпечує підвищення надійності роботи АСУ ТП обтискної кліті. Запропоновані рішення можуть бути впроваджені на аналогічних виробничих об'єктах металургійної галузі.

Ключові слова: АСУ ТП, обтискна кліть, датчики, оперативний контроль, відмови, збої, мікропроцесорний контролер, алгоритм контролю, завадостійкість.

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ВСТУП | 9 |
| 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА | 10 |
| 1.1 Обтискна кліть 1300. Загальні відомості | 10 |
| 1.1.1 Призначення й коротка технічна характеристика блюмінга | 10 |
| 1.2 Датчики систем керування приводами | 14 |
| 1.2.1 Аналогові сигнали..... | 15 |
| 1.2.2 Числоімпульсні й двопозиційні сигнали | 17 |
| 1.3 Рекомендації з організації заводостійких ліній зв'язку | 20 |
| 1.3.1 Аналогові сигнали..... | 20 |
| 1.3.2 Дискретні й числоімпульсні сигнали | 22 |
| 2 ОСНОВНА ЧАСТИНА..... | 24 |
| 2.1 Підхід до контролю працездатності датчиків АСУ ТП обтискної кліті | 24 |
| 2.2 Контроль працездатності датчика обтискного стану, що представляє собою локальне обчислювальне обладнання | 32 |
| 2.3 Кількість необхідних датчиків для реалізації системи | 39 |
| 2.4 Вибір технічних засобів реалізації системи | 41 |
| 2.4.1 Вибір БГР | 41 |
| 2.4.2 Вибір контролера..... | 43 |
| 2.5 Економічне обґрунтування впровадженої розробки | 45 |
| 2.5.1 Розрахунок капіталовкладень і додаткових експлуатаційних витрат | 45 |
| 2.5.2 Вихідні дані для розрахунків | 47 |
| 2.5.3 Розрахунок додаткових щорічних експлуатаційних витрат | 48 |
| 2.5.4 Розрахунки очікуваного ефекту від впровадження системи контролю | 50 |
| 2.5.5 Термін окупності капітальних вкладень..... | 51 |
| 2.5.6 Узагальнюючі техніко-економічні показники | 51 |
| 2.6 Заходи з охорони праці та безпеки в умовах експлуатації системи контролю датчиків | 53 |
| 2.6.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів | 54 |

| | |
|---|----|
| 2.6.2 Заходи щодо зниження впливу шкідливих та небезпечних факторів | 57 |
| 2.6.3 Пожежна безпека..... | 59 |
| 2.6.4 Організація безпечної експлуатації системи контролю | 60 |
| ВИСНОВКИ..... | 62 |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ | 63 |

ВСТУП

Як правило, при розробці АСУ ТП виконавці, в основному, приділяють увагу технологічному процесу об'єкта автоматизації, алгоритмам його роботи й технічним засобам системи. При цьому вважаючи, що датчики системи – це надійні перевірені засоби.

Однак, при налагодженні технічних засобів системи, виявляється, що мають місце відмови й збої датчиків. Причини – найрізноманітніші від наявності перешкод у лініях зв'язку за рахунок роботи потужних тиристорних і транзисторних приводів. Наприклад, потужність двигуна головного привода 2 x 5000 кВт. ТП і Г-Д кліті, що управляють механізмами, розташовані в машинному залі за кілька десятків метрів від обтискної кліті. Друга причина – випадкові зовнішні впливи на чутливі елементи датчиків. Наприклад, короткочасне перекриття працівником підприємства випромінювання від рухаючого нагрітого злитка й чутливим елементом контролюючого цей процес фотореле.

Тому в справжній роботі поставлене завдання створення системи оперативного контролю відмов і збоїв датчиків АСУ ТП обтискної кліті блоюмінга й запропонований її розв'язок.

Для чого в роботі виконаний аналіз принципів роботи датчиків і запропонована їхня класифікація по призначенню й видам вихідних сигналів. Представлені характеристики видів і відмов збоїв. Розроблені алгоритми їх визначення при контролі. Розрахований час, необхідне системою на визначення відмов і збоїв.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Обтискна кліть 1300. Загальні відомості

1.1.1 Призначення й коротка технічна характеристика блюмінга

Стан 1300 (рис. 1. 1) призначений для прокатки злитків масою від 8 до 14 тонн у блюми перетином 300x300 - 400x400 мм і сляби розміром 250x600 - 950 мм.

У якості основного перетину прийняті блюми 320x320 мм, що прокочуються зі злитків марочної сполуки підприємства. Розміри й граничні відхилення по стороні блюма наведені в табл.1.1.

Таблиця 1.1

Розміри й граничні відхилення по стороні блюма(у міліметрах)

| Перетин (мм) | Граничне відхилення | | Різниця діагоналей блюмів, не більш (мм) | Радіус закруглення кутів (мм) |
|-----------------|---------------------|----------------|--|-------------------------------|
| | по висоті (мм) | по ширині (мм) | | |
| 300x300 | ± 8 | ± 8 | 16 | 45 |
| 320x320 | ± 10 | ± 10 | 20 | 50 |
| 340x360 | ± 10 | ± 10 | 20 | 50 |

Головний привод обтискної кліті блюмінга 1300 являє собою реверсивний безредукторний привод кожного робочого валка. Електродвигун постійного струму, потужністю 6800 кВт і швидкістю їх обертання до 90 об/хв. Кожний валок, діаметром 1300 мм, оснащений власним двигуном, що забезпечує високу потужність і гнучкість керування процесом прокатки.

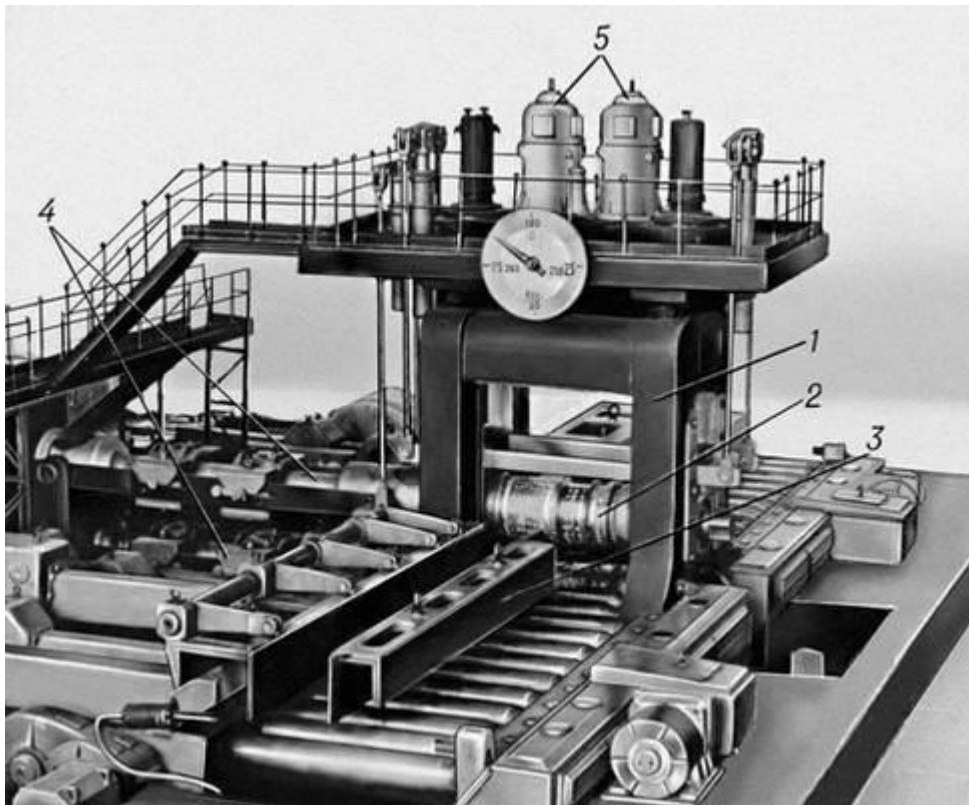


Рис. 1.1. Загальний вид обтискної кліті [1]

1 - робоча кліть; 2 - верхній валок; 3 - маніпулятор; 4 - універсальні шпинделі; 5 - електродвигуни натискного пристрою

Характеристики головного привода:

Тип привода: Індивідуальний привод кожного робочого валка, Г-Д;

Тип двигуна: Електродвигун постійного струму (марки МП-110-65).

Додаткова інформація про кліть:

Вали : Діаметр валків становить 1300 мм, а довжина бочки валків – 2800 мм.

Відмітні риси: Блюмінг 1300 відрізняється широким застосуванням зварених конструкцій і безредукторних приводів, що знижує загальну масу встаткування (див.рис.1.2).

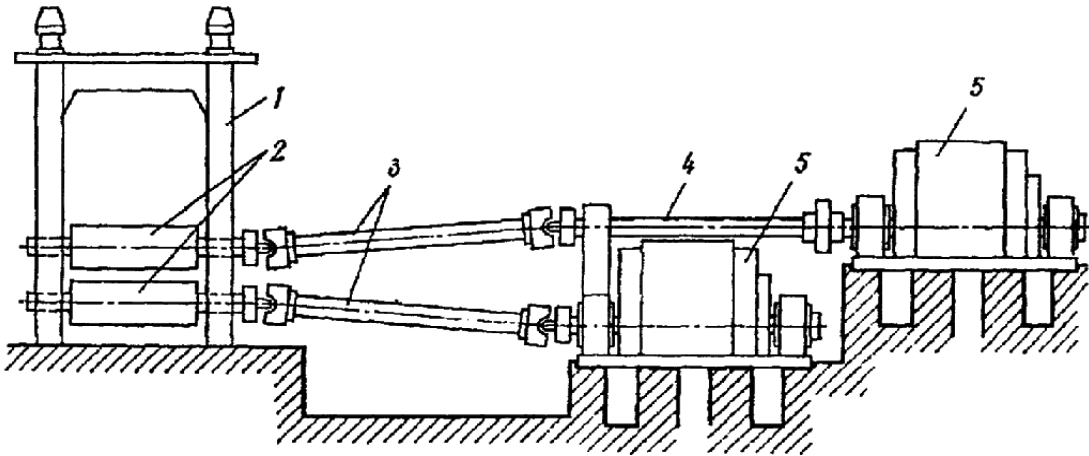


Рис. 1.2. Схема головної лінії прокатного стану [1]

1 - станина кліті; 2 - прокатні валки; 3 - універсальний шпindelь; 4 - проміжний вал; 5 - двигун

На рис. 1. 3 зображена схема калібрування валків. Найменування калібрів валків праворуч ліворуч – бочка, перший калібр, другий і третій. Прокатка злитка вагою 14 т виконується за 13 пропусків, з яких, 6 бочка, 4 перший калібр, 2 другий і 1 третій.

Особливості прокатки:

- метал, що прокочується, повинен захоплюватися валками на так званій швидкості захоплення, яка повинна бути близької до швидкості металу, тобто значно меншої 90 об/хв.,

- прокатка повинна виконуватися без буксувань валків.

Крім головного привода, обтискна кліть має наступні механізми:

- натискне обладнання, що переміщає верхній валок у вертикальній площині, швидкість переміщення 180 мм/сек, два двигуни, розташовані вертикально, по 300 кВт кожний, ТП-Д [2];

- лінійки маніпуляторів, переміщають прокат з калібру в калібр, кожна пара лінійок, що перебувають в одній площині, приводиться через рейкову передачу від електродвигуна типу: Ц2-630-204, 5-4КУЗ, 630 кВт, 32 об/хв, ПВ 100 %, 600 В, 2шт., тахогенератор: ПТ-32/1, виконання 2, 200 об/хв, 0,023 кВт, 230 В, шт.-2;

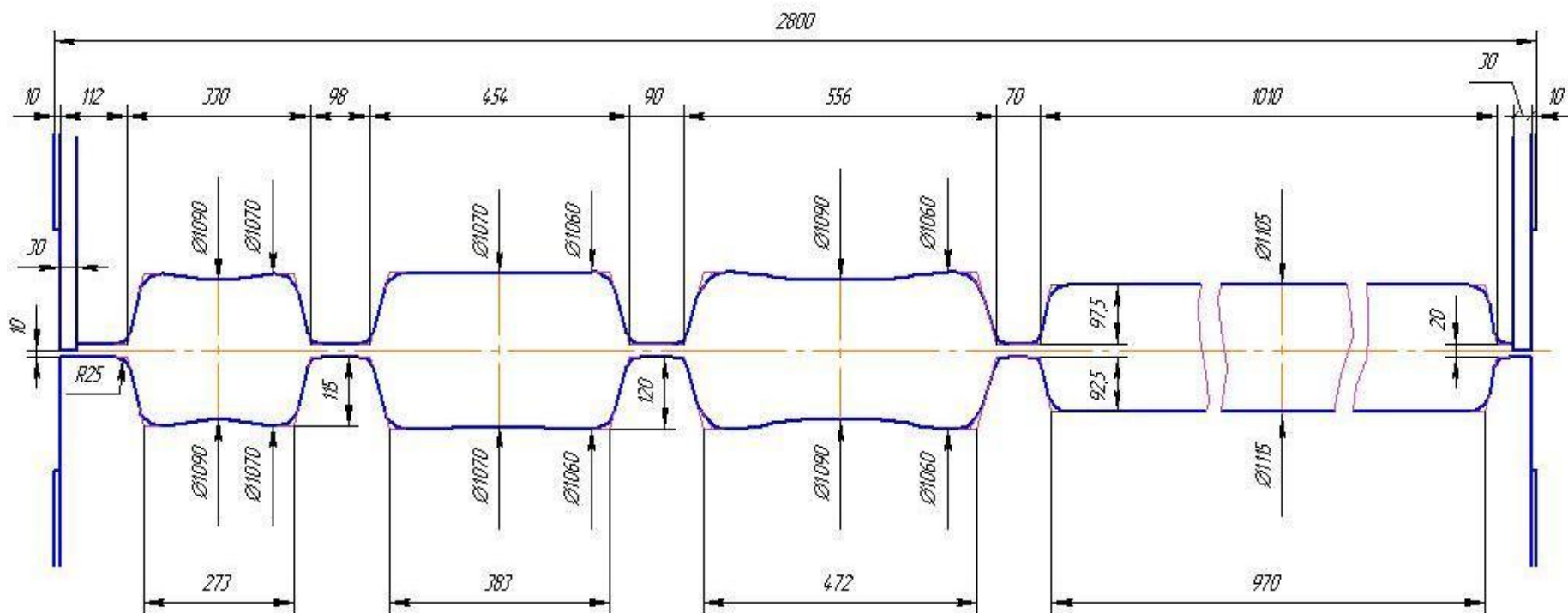


Рис. 1. 3. Монтажна схема калібрів стану 1300
(розроблена автором з використанням [1])

- кантувач виконує поворот металу, що прокочується, на 90 градусів перед його подачею в наступний калібр, установлений на лінійці маніпулятора.

Тип – гачковий, складається з вала з важелями й гаками, диференціального привода, шатуна, колінчатого вала, проміжної сполуки, привода, упорів, що й урівноважують обладнань, час підйому гаків 1,2 сек, середня швидкість переміщення гаків 1,3 м/с привод кантовача безредукторний від електродвигуна типу: П2-18/70-0,315В4, 315 кВт, 36 об/хв, 440 Вт, ПВ 100 %, в виконанні, що продувається. Використовується при напрузі 300 Вт, 200 кВт, 25 об/хв, шт.-1.

Тахогенератор: ПТ-32/1, виконання 2,0, 0,23 кВт, 200 об/хв, 230 Вт, шт.-1.

Рольганги перед кліттю двигуни ПС147- 4, 132 кВт, 490 об /хв.

1.2 Датчики систем керування приводами

Системи керування з перерахованих вище приводів ухвалюють і обробляють сигнали датчиків струму, напруги, швидкості й положення.

Нижче в табл. 1.2 дані характеристики їх вихідних сигналів.

Таблиця 1.2

Основні характеристики вхідних сигналів системи контролю

| Найменування сигналу | Форма подачі | Межі зміни | Похибка, % |
|---------------------------------------|-----------------------|--|------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Швидкість обертання двигуна механізму | Числоімпульсний (ДКП) | 200-420 об/хв | 0,1 |
| Струм якоря двигуна | Аналогова | Шунт 75 мВ – 3кА, струм до 5 кА, $di/dt= 3 \text{ кА/сек}$ | 0,5 |

Продовження табл.1.2

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|----------------|---|-----|
| Струм збудження | Аналогова | Шунт 75 мВ-15А струм до 20 А, $di/dt= 0,5$ кА/сек | 0,5 |
| Прихід механізму у фіксовану точку | Числоімпульсна | 0-24 В, $R_{вх} >$ 2 кОм | 0,1 |
| Завдання на зміну швидкості обертання двигуна | Аналогова | 0 - 10В, $R_{вх}$ $> 5,1$ кОм | 0,1 |
| Сигнал на включення виконавчого механізму | Двохпозиційна | Відкритий колектор, 0-30 В, 2 А | - |

1.2.1 Аналогові сигнали

Умовимося, сигнали датчиків струму якоря й збудження надходять в АЦП із наступними технічними даними:

- рівень вхідних сигналів: мінус 10 – плюс 10В;
- вхідний опір, кОм, не менш 51;
- розрядність, біт, 12;
- час перетворення, мксек, 10;
- похибка, %, 0,15.

Як видно з даних табл.1.2 і характеристик АЦП, для введення сигналу струму якоря потрібне проміжне обладнання, що забезпечує:

– посилення по напрузі сигналів із шунта з коефіцієнтом передачі, що дорівнює 67, який визначений з вираження:

$$K = 10000 / (1,2 \times 75 \times 5/3) = 67, \quad (1.1)$$

де: 10000 – максимально припустима вхідна напруга АЦП у мВ;

1,2 – коефіцієнт запасу, необхідний для виміру струмів, більших заданого;

75 – номінальна напруга шунта у мВ;

5 – задана максимальна величина струму якоря в кА;

3 – номінальний струм шунта в кА.

– смугу пропускання сигналів, кГц, не менш 3,0 (облік di/dt);

– гальванічну розв'язку з не менш, чим 3-х кратним потенціалом силових ланцюгів;

– похибка передачі сигналу, не більш, % 0,15.

Коефіцієнт передачі й інші параметри при виборі блоку нормалізації й гальванічних розв'язок для шунта обмотки збудження визначаються аналогічно (1.1).

Після вибору блоку нормалізації й гальванічного розв'язку слід вибрати параметри АЦП виходячи із заданої величини похибки перетворення й швидкодії контрольованого процесу. У нашому випадку під швидкодією мається на увазі di/dt струму якоря.

У табл.1.1 похибка δ с виміру струму не повинна перевищувати 0,5 %.

Величина цієї похибки повинна бути розкладена на три складові:

$$\delta c = \delta_{гр} + \delta_{ацп} + \delta_{обр}, \quad (1.2)$$

де $\delta_{гр}$, $\delta_{ацп}$, $\delta_{обр}$ – відповідно похибка блоку нормалізації, похибка АЦП, і похибка, обумовлена дискретністю роботи контролера.

Знайдемо чисельні значення величин δ ацп и δ обр

Задамося погрішністю δ ацп, також рівною 0,15 %. Отже, на погрішність δ обр «залишилося» 0,2 %. Виконаємо перевірку реальної абсолютної похибки δ обр1, яка визначається в такий спосіб:

$$\delta \text{ обр1} = 0,002 \times 2000 = 4 \text{ А}, \quad (1.3)$$

де 2000 – номінальний струм якоря в амперах.

Наступним етапом є вибір періоду Δt знімання сигналу із шунта при зміні струму якоря з di/dt , рівним 3 кА/сек.:

$$\Delta t = 1000 \times 4 / 3000 = 1,3 \text{ мсек.} \quad (1.4)$$

де 1000 – кількість мсек в одній секунді,

4 – погрішність із (1.3)

3000 – похідна струму (di/dt), А/сек.

1.2.2 Числоімпульсні й двопозиційні сигнали

У якості числоімпульсних сигналів у табл.1.1 представлені сигнали датчиків кута повороту ДКП, що виробляють фіксовану кількість імпульсів на один оберт контрольованого вала механізму. Тобто частота вихідних сигналів ДКП пропорційна швидкості обертання контрольованого вала. Тому можливі два способи реалізації цифрового виміру швидкості (n):

- перший це визначення часу між появою двох сусідніх імпульсів ДКП:

$$n = k / t, \quad (1.5)$$

де k – коефіцієнт зв'язку між кількістю оборотів у хвилину й інтервалом часу (t) між двома сусідніми імпульсами,

– другий це підрахунок кількості імпульсів ДКП за фіксований інтервал часу (T) при цьому швидкість механізму визначається з вираження:

$$n = \theta \times N, \quad (1.6)$$

де θ – коефіцієнт зв'язку між кількістю оборотів у хвилину й кількістю імпульсів N , які надійшли з ДКП за інтервал часу T .

Виходячи із заданої величини похибки виміру швидкості в табл.1.1, визначимо необхідний спосіб виміру швидкості й виберемо кількість імпульсів ДКП на один оберт вала.

Умовимося, що нижче ми розглядаємо наведену величину похибки δ виміру швидкості в сталому режимі руху механізму. При цьому інструментальні похибки ДКП ухвалюються рівними нулю, а абсолютна величина методичної похибки δ абс визначається:

$$\delta \text{ абс} = 420 \times 0,001 = 0,42 \text{ об/хв}, \quad (1.7)$$

де 420 – верхня межа виміру швидкості в об/хв,

0,001 – припустима величина похибки виміру швидкості, в %

На підставі (1.7) визначимо необхідний час ($T_{\text{імп}}$) між двома імпульсами ДКП на швидкості 420 об/хв:

$$T_{\text{імп}} = 0,42 \times 1000 : 7 = 60 \text{ мсек}, \quad (1.8)$$

де 1000 – кількість у мілісекунд в одній сек,

7 – кількість оборотів механізму в сек.

Визначимо k в (1.9):

$$k = 420 \times 60 = 25200, \quad (1.9)$$

де 420 – верхня межа виміру швидкості в об/хв,

60 – час, сек

Умовимося, що роздільна здатність таймера контролера становить 10 мксек і помилка виміру часу становить 0,01 мсек. Тоді на швидкості механізму в 420 об/хв абсолютна помилка виміру часу буде становити 0,01 мсек, що при розрахунках дасть величину швидкості, що дорівнює:

$$25200 : (60 \pm 0,01) = 419,93 (420,07) \text{ об/хв}, \quad (1.10)$$

Таким чином, з (1.10) абсолютна величина помилки, обумовлена дискретністю роботи годин-таймера контролера становить 0,07 об/хв.

Нагадаємо, що задана величина помилки виміру 0,42 об/хв.

Дискретні входні-вихідні сигнали – це двопозиційні сигнали типу « так-ні». Основні параметри – це величина й рід напруги, одиниці й нуля, струм навантаження, тривалість фронтів.

У сучасних контролерах час на приймання й видачу дискретних сигналів знехтувано малий. Тому цим часом можна зневажити.

Період знімання сигналів датчика із двопозиційними вихідними сигналами визначається вираженням:

$$\Delta\tau = T_c \times \delta, \quad (1.11)$$

де T_c – мінімальна тривалість сигналу датчика,

δ – наведена величина абсолютної припустимої похибки виміру T_c , обумовлена відношенням δ_1/T_c , де δ_1 – величина абсолютної припустимої похибки виміру, задана, наприклад, величиною 0,05 від T_c .

1.3 Рекомендації з організації завадостійких ліній зв'язку

Технічні засоби систем автоматики, як правило, функціонують у безпосередній близькості до потужних джерел електромагнітних завад — зокрема, тиристорних перетворювачів, електромагнітів, силових контактів пускачів, масляних вимикачів тощо. Під час їх комутації чи роботи виникають завади, які накладаються на сигнали датчиків, канали зв'язку та вхідні ланцюги контролерів, що може призводити до спотворення даних і порушень у функціонуванні автоматики.

Не зупиняючись детально на фізичних механізмах генерації та поширення таких завад, зосередимося на практичних методах зниження їхнього впливу через узгодження й коректне формування сигналів на входах контролерів. Зокрема, застосовують програмні методи фільтрації та прокладання екранованих кабелів. Проте, як показує практика, цих заходів іноді недостатньо. Тому при проектуванні систем автоматики доцільно додатково передбачати апаратну фільтрацію і попереднє формування сигналів, що дозволяє істотно підвищити стійкість до електромагнітних перешкод.

1.3.1 Аналогові сигнали

Як приклад розглянемо дві групи найпоширеніших сигналів:

- сигнали шунтів, установлених у якорях приводів постійного струму,
- сигнали вимірників рівня вібрацій і зусиль (тензо- і п'єзодатчики).

У першому випадку сигнал надходить у вигляді напруги в діапазоні 30–200 мВ від джерела, яке можна вважати практично ідеальним за своїми вихідними характеристиками. У другому — слабкі сигнали, що мають амплітуду лише в кілька мілівольт, після попереднього посилення та нормалізації

перетворюються на стандартний струмовий сигнал із діапазонами 0–5 мА, 0–20 мА або 4–20 мА.

У обох випадках для передачі використовують екранований кабель із крученими парами, що є загальноприйнятим рішенням для зменшення електромагнітних завад. Проте, навіть за таких умов, при довжині лінії зв'язку в декілька десятків метрів на вході приймального пристрою часто спостерігаються перешкоди, які істотно спотворюють корисний сигнал.

Аналіз експлуатаційного досвіду показує, що найбільш ефективним і практичним підходом до подавлення таких завад у зазначених умовах є застосування простого пасивного R-C фільтра нижніх частот безпосередньо на вході приймача сигналу.

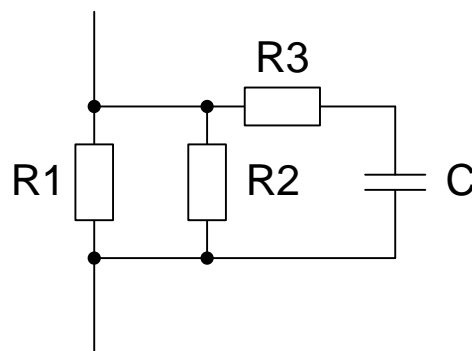


Рис.1.4. Перешкододавлюючий фільтр на вході приймача аналогового сигналу

(розроблена автором)

Призначення елементів фільтра:

R1 - джерело сигналу (шунт або вихід джерела струму тензовимірювача),

R2 – перешкододавлюючий резистор (1 - 51 Ом),

R3,C – фільтр із параметрами, що забезпечують фільтрацію перешкод, що мають місце на виході джерела сигналу. Наприклад, для шунта в трифазному мостовому тиристорному перетворювачем

R3,C – фільтр повинен забезпечити фільтрації пульсацій на сигналі частотою 300 Гц.

1.3.2 Дискретні й числоімппульсні сигнали

Дискретні та число-імппульсні сигнали, зокрема ті, що надходять від фотореле та датчиків кута повороту, схильні до спотворення під час передачі по довгих лініях зв'язку. Це особливо проявляється у викривленні фронтів імппульсів, що призводить до помилкової інтерпретації подій на боці приймача.

Наприклад, при проходженні одного злитка через зону дії фотореле система може зареєструвати кілька фіктивних об'єктів, а при обертанні вала з реальною швидкістю 560 об/хв датчик кута повороту фіксує значення в діапазоні 700–1200 об/хв.

Хоча програмні методи цифрової фільтрації є поширеним рішенням, вони виявляються неефективними при високих частотах вхідних сигналів (у кілька кілогерц), де затримки обробки та обмежена роздільна здатність не дозволяють адекватно відновити форму імппульсу.

Тому для усунення зазначених негативних ефектів доцільно застосовувати апаратний формувач сигналів, схема якого наведена на рис. 1.5. Такий пристрій забезпечує відновлення чітких фронтів імппульсів і значно підвищує достовірність передаваної інформації.

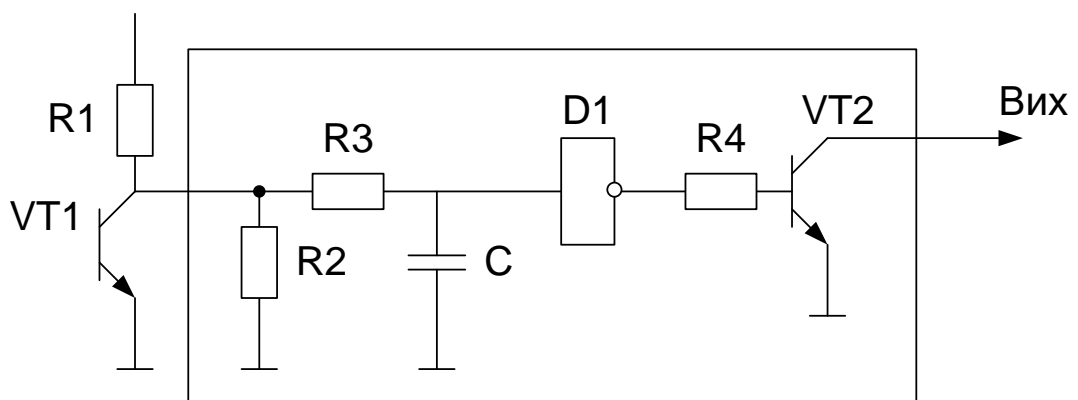


Рис. 1.5. Перешкодадавлюючий фільтр із формувачем фронту й рівня на вході приймача дискретного або числоімппульсного сигналу (розроблена автором)

Призначення елементів:

R1, VT1 – вихідний каскад джерела сигналу,

R2 – перешкододавлючий резистор, величина якого рівна мінімально допустимій для джерела сигналу,

R3, C – «R-C» фільтр, з параметрами, що забезпечують приймання сигналів датчика максимальної робочої частоти,

D1 – мікросхема на основі тригера Шмідта, з коефіцієнта повернення не менш 0,8,

R4 – резистор узгоджуючий вихід мікросхеми із входом транзистора,

VT2 – підсилювач потужності

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Підхід до контролю працездатності датчиків АСУ ТП обтискної кліті

При аналізі систем автоматизації прокатного виробництва можна виділити наступні, що найбільше часто зустрічаються в практиці групи датчиків:

1. Датчики контролю наявності металу у фіксованій точці - фотореле, ємнісні, індуктивні, щіткові і т.д. Вихідний сигнал цих датчиків з'являється при наявності металу поблизу їх чутливих елементів.

2. Датчики напрямку обертання (переміщення) механізмів. Вихідні сигнали з'являються в момент рушання механізму й зникають при його зупинці.

3. Цифрові й аналогові датчики швидкості обертання (переміщення) механізмів. У якості аналогових датчиків швидкості застосовуються тахогенератори. Робота цифрових датчиків швидкості заснована на перетворенні й обробці імпульсів, що надходять від датчика кута повороту, встановленого на контрольованому валу.

4. Датчики положення механізмів; застосовуються багатодискові датчики, що використовують принцип V-Розгорнення з наступним перетворенням F-Коду у двійковий.

5. Датчики енергосилових параметрів електроприводів і зусиль прокатки (датчики струму, напруги).

6. Датчики параметрів і властивостей злитка (розкату). Це - датчики ваги, геометричних розмірів, обладнання визначення теоретичної ваги, температури і т.д.

7. Спеціальні датчики, що представляють собою аналогові або дискретні обчислювальні обладнання. Вони визначають статичну складову

струму прокатки, момент захоплення й викиду розкату і т.д.

Працездатним вважається об'єкт, що виконує додані йому функції з певною (заздалегідь застереженою) можливою втратою якості. Отже, працездатним слід уважати той датчик, у якого при оперативному контролі працездатності ОКП не виявлено відмов і збоїв (під збоєм розуміється короткочасна відмова, що самоусувається). Втрата якості при цьому відбувається через похибки, викликані, наприклад, методичними помилками ОКП датчика, дискретністю звернень контролера до датчика і т.д. ОКП датчиків, за винятком датчиків енергосилових параметрів електроприводів і зусиль прокатки, здійснюється тільки при веденні технологічного процесу, тобто при прокатці злитків.

Вхідним впливом, що визначають початок роботи, є надходження сигналів переривання СП, формованих апаратно в контролері. Організація ОКП, тобто послідовність контролю, необхідний час t_k на визначення відмови (збою), режим контролю (періодичний або безперервний), частота опитування датчиків (частота надходження СП) і т.д. у справжньому розділі не розглядаються.

Алгоритми, в основу яких покладені розрахунково-логічні методи контролю, призначені для визначення відмов і збоїв, якісні й кількісні характеристики яких наведені в табл. 2.1, де знаком «+» позначена наявність контролю відмови (збою); знаком «-» позначена відсутність контролю відмови (збою); цифрами 1, 2, ..., 7 — шифр виду відмови (збою).

t_z – заданий інтервал часу наявності сигналу з датчика;

t_f – фактичний інтервал часу наявності сигналу з датчика;

α – показання датчика, відповідні до моменту вступу СП;

α' – величина уставки,

α_3 – інформація, відповідна до моменту вступу СП, отримана:

– від контрольного датчика, показання якого вважаються достовірними;

– розрахунковим шляхом за показниками контрольних датчиків або за показниками датчиків, що попередньо пройшли контроль працездатності, у результаті чого встановлена вірогідність їх інформації.

На рис. 2.1 і 2.2 представлені спрощені алгоритми для датчиків із двопозиційними (група 1) і цифровими (група 4) вихідними сигналами.

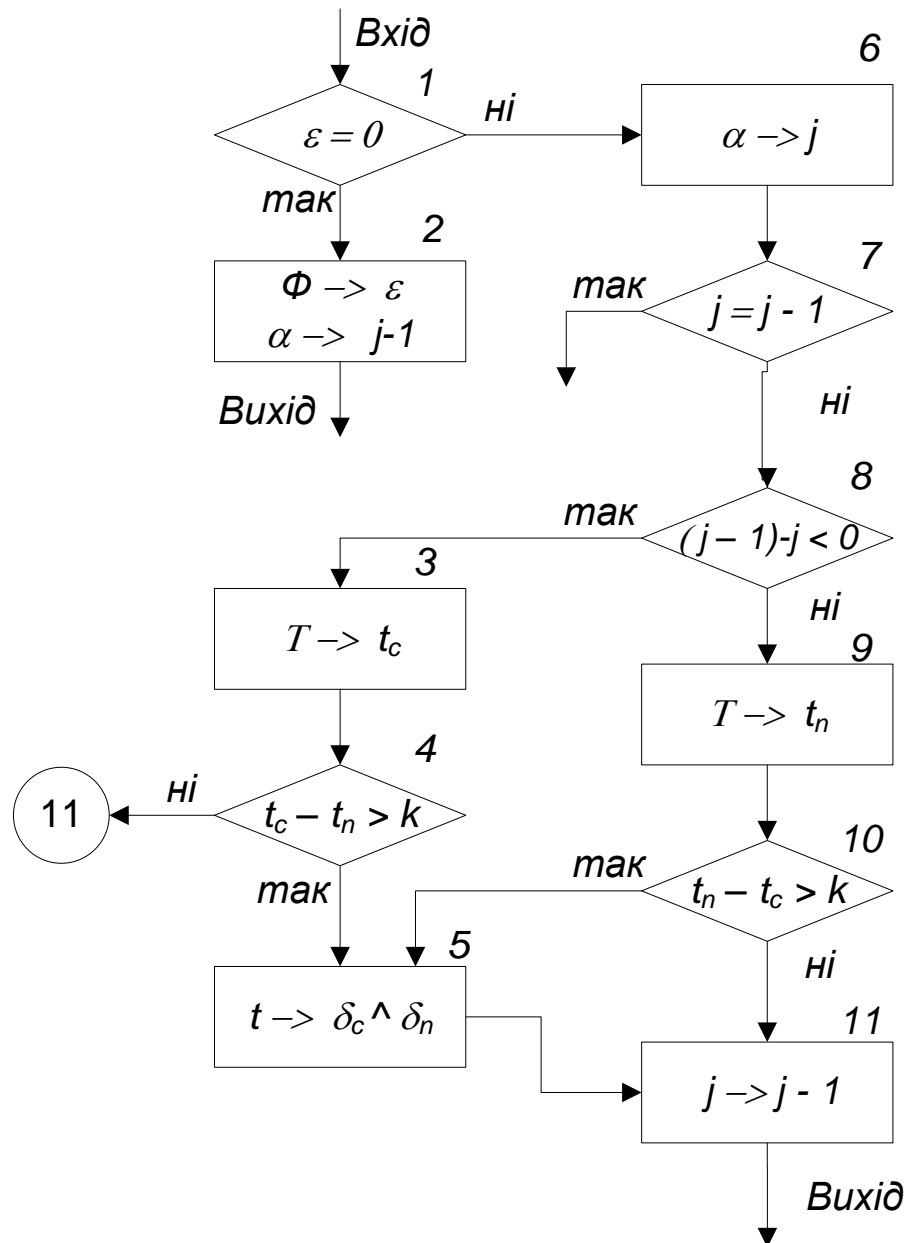


Рис.2.1 Алгоритм контролю двопозиційних датчиків
(розроблено автором)

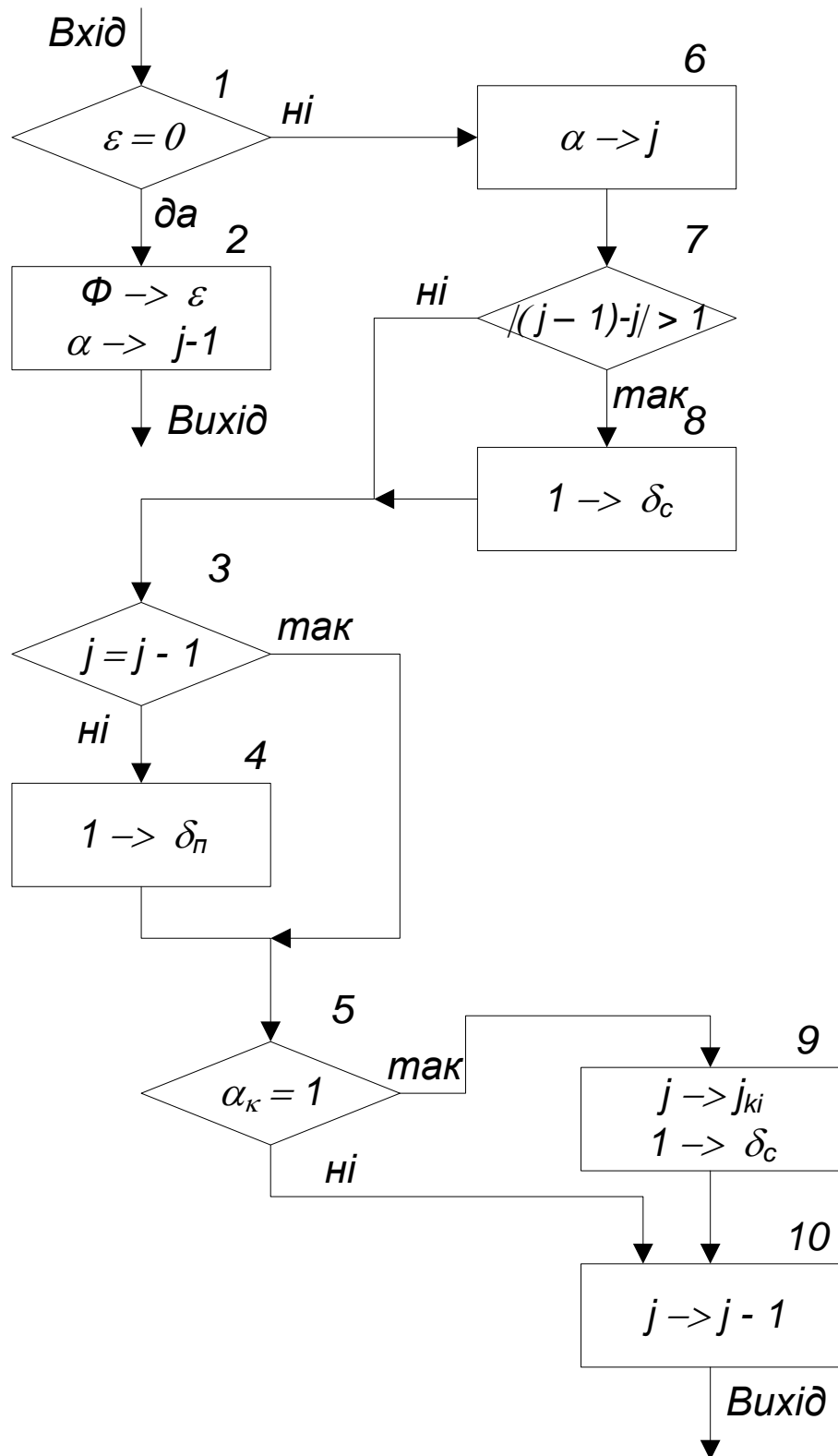


Рис.2.2. Алгоритм контролю цифрового датчика
(розроблено автором)

Таблиця 2.1

| Відмова | | Збій | | | | | Форма надання інформації | Номер групи датчиків |
|---------------------------------|---|--|--|---|---|---------------------------|--------------------------|----------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | | |
| Постійна відсутність інформації | Постійна присутність незмінного сигналу | тривалість сигналу більше (менше) припустимої величини | Запізнювання з появою (зникненням) сигналу більше припустимого | Похибка прийнятої інформації більше припустимої | Порушення безперервності показань (провали на сигналах) | Невиконання логічних умов | | |
| + | + | — | — | — | $(0,001 - 0,3) \times t_z$ | + | Релейна | 1 |
| + | + | — | 0,05 | $ \alpha - \alpha_s > 0,1$ | $(0,001 - 0,3) \times t_z$ | + | Релейна | 2 |
| + | + | — | 0,015 | — | $ \alpha - \alpha_s > 1$ | + | Цифрова | 3 |
| + | + | — | 0,015 | $ \alpha - \alpha_s > 0,2$ | — | + | Аналогова | |
| + | + | — | 0,03 | — | $ \alpha - \alpha_s > 1$ | + | Цифрова | 4 |
| + | + | — | 0,03 | $ \alpha - \alpha_s > 0,8$ | — | + | Аналогова | |
| + | + | — | 0,02 | $ \alpha - \alpha_s > 3$ | — | + | Цифрова | 5 |
| + | + | $ t_s - t_\phi > 0,15$ | 0,02 | $ \alpha - \alpha_s > 0,3$ | — | + | Аналогова | |
| + | + | — | 0,5 | — | $ \alpha - \alpha_s > 1$ | + | Цифрова | 6 |
| + | + | — | 0,5 | $ \alpha - \alpha_s > 0,5 \div 2$ | — | + | Аналогова | |
| + | + | — | 0,05 | — | 0,001 — 0,1 | + | Релейна | |
| + | + | $ t_s - t_\phi > 0,1 \div 0,3$ | 0,05 | $ \alpha - \alpha_s > 0,1 \div 1$ | — | + | Цифрова | 7 |
| + | + | $ t_s - t_\phi > 0,1 \div 0,3$ | 0,05 | $ \alpha - \alpha_s > 0,1 \div 1$ | — | + | Аналогова | |

При цьому прийнятті наступні умовні позначки:

- ε - ознака, формований при вступі першого СП;
- α - показання датчика;
- $j-1$ - комірка для зберігання інформації, що відповідає СП $j-1$;
- j - комірка для зберігання інформації СП j ;
- T - час (показання лічильника часу);
- t_c - момент появи сигналу датчика;
- t_n - момент зникнення сигналу датчика;
- δ_c - лічильник кількості сигналів;
- δ_n - лічильник кількості пауз;
- δ_b - лічильник кількості збоїв виду б;
- α_k - двопозиційний сигнал, вироблюваний обладнанням, що фіксують знаходження механізму в заданій крапці;
- j_{ki} - гнізда для зберігання показань датчика положення в момент вступу α до ;
- δ_n - лічильник, заповнюваний при наявності різних показань датчика в момент вступу СП j і СП $j-1$;
- k - уставка (константа);
- Φ - довільна величина (константа).

ОКП датчиків групи 1 заснований на вимірі тривалості сигналів і пауз між сигналами й порівнянні їх із заданими величинами K . Згідно з алгоритмом (див.рис. 2.2) по приходу першого СП формується ε і проводиться приймання α (оператори ОП-1; ОП-2). По приходу наступних СП після приймання α (ОП-6) проводиться визначення факту зміни α , тобто з'явився або зник сигнал датчика (ОП-7; ОП-8); відзначається t_c (ОП-3) або t_n (ОП-9), тривалість сигналу або паузи рівняється з k (ОП-4 або ОП-10); запам'ятовується одиниця в δ_s або δ_n (ОП-5) при виконанні умов ОП-4 або ОП-10 і проводиться пересилання (ОП-11).

Після закінчення заданого часу контролю на дисплей виводиться інформація про наявність відмови виду 1, якщо

$$\begin{cases} \delta_c = \delta_{\Pi} = 0; \\ j = 0; \end{cases} \quad (2.1)$$

відмови виду 2, якщо

$$\begin{cases} \delta_c = \delta_{\Pi} = 0; \\ j \neq 0; \end{cases} \quad (2.2)$$

збій виду 6, якщо

$$\frac{|\delta_c - \delta_{\Pi}|}{\delta_c + \delta_{\Pi}} > k. \quad (2.3)$$

Контроль збоїв виду 5 при ОКП датчиків групи 3 заснований на визначенні амплітуди α вхідного сигналу (наприклад, напруга тахогенератора) і порівняння α з t_c . Контроль збоїв виду 4 заснований на порівнянні моменту часу досягнення рівня вхідного сигнал величини α з t_c . Контроль збою виду 6 проводиться аналогічно контролю датчиків групи 1. Збій виду 7 фіксується, наприклад, при полярності вхідного сигналу «Вперед» і наявності ознаки на вихідному – «Назад». Контроль відмов виду 1 і 2 у датчиків групи 2, як і в датчиків усіх інших груп, проводиться аналогічно контролю відмов у датчиків групи 1.

Контроль збоїв виду 5 при ОКП аналогових датчиків групи 3 заснований на порівнянні розрахункового значення швидкості α_e , отриманої шляхом обробки імпульсів, що надходять із датчика кута повороту, з α або порівнянням модуля різниці величин α , отриманих на СП j і СП $j-1$ з уставкою.

Контроль збою виду 4 заснований на порівнянні модуля різниці величин, відповідних до моментів, часу початку (кінця) зміни інформації α і α_e з константою.

Контроль збою виду 6 проводиться аналогічно контролю збою виду 6 датчиків групи 4.

Збій виду 7 фіксується, наприклад, у датчика швидкості середнього із трьох послідовно встановлених механізмів, що мають згідно з технологічним процесом ту саму величину швидкості, якщо $\alpha_1 = \alpha_3 \neq \alpha_2$.

Згідно з алгоритмом (рис.2.2), у якому ОП-1; ОП-2 і ОП-6 по призначенню аналогічні ОП-1; ОП-2 і ОП-6 на рис.2.1 по приходу наступних СП проводиться перевірка умови безперервності (ОП-7) і фіксація збою (ОП-8). Крім того, проводиться перевірка факту зміни показань (ОП-3); при невиконанні умов ОП-3 запам'ятовується одиниця в δ_{Π} (ОП-4). Потім, при наявності сигналу α_k (ОП-5), запам'ятовується одиниця в δ_3 і α в j_{ki} (ОП-9) і проводиться пересилання α (ОП-10).

Після закінчення часу контролю на дисплей виводиться інформація про наявність:

відмови виду 1, якщо

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta_{\Pi} = 0; \\ j = 0; \end{array} \right. \quad (2.4)$$

відмови виду 2, якщо

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta_{\Pi} = 0; \\ j \neq 0; \end{array} \right. \quad (2.5)$$

збою виду 6, якщо

$$\delta_b \neq 0, \text{ тобто } |j - (j-1)| > 1;$$

збою виду 7, якщо

$$\left| \frac{\sum_{\delta_c=0}^{\delta_c} j_{ki}}{\delta_c} - \rho \right| > k \quad (2.6)$$

де ρ — константа.

Особливістю ОКП датчиків групи 5 є те, що контроль здійснюється при відсутності прокатки. При цьому на вхід датчиків, відключених, наприклад, від шунтів і якорів двигунів, через проміжні обладнання подається

прямокутний імпульс тривалістю 0,7-0,8 з і по ступеню відхилення вихідних сигналів від норми визначається їхня працездатність.

2.2 Контроль працездатності датчика обтискного стану, що представляє собою локальне обчислювальне обладнання

У складі сучасних АСУ ТП включена велика кількість датчиків, що різняться призначенням, принципом дії, формою вихідного сигналу і т.д.

До моменту включення й під час роботи систем автоматизації повинна бути забезпечена вірогідність надходження в обробку інформації, тому що при потраплянні недостовірної інформації з технологічних датчиків робота систем автоматизації практично неможлива.

Поява недостовірної інформації обумовлюється змінами характеристик датчиків, викликаними старінням або виходом з ладу окремих елементів, забрудненням оптики, випадковими механічними ушкодженнями. Так як контроль вірогідності інформації за допомогою звичайних засобів вимагає великої чисельності обслуговуючого персоналу й досить значних витрат часу, то застосування засобів обчислювальної техніки (мікропроцесорного контролера) для оперативного контролю працездатності (ОКП) представляє значний практичний інтерес.

Нижче описується методика ОКП, що полягає у виконанні наступних умов:

1) визначається припустима похибка контрольованого параметра, обумовлена дискретністю обігу контролера до джерела інформації;

2) визначаються й уточнюються критерії оцінки вірогідності інформації при дослідженні сигналів виділених груп датчиків (об'єднаних по типу й призначенню), визначаються види й частота збоїв для кожного датчика;

3) вибираються контрольні датчики, показання яких ухвалюються за достовірні, що характеризуються простотою виконання, високою надійністю роботи, що й періодично зазнають перевірки;

4) визначається період знімання сигналів для кожної з виділених груп датчиків і розробляються алгоритми ОКП.

В основу алгоритмів ОКД закладений принцип контролю працездатності, який здійснюється шляхом обробки за заданими критеріями в реальному масштабі часу находжующих з датчиків інформації логічним порівнянням їх показань або розрахунків яких-небудь фізичних величин за показниками контрольних датчиків і порівнянням розрахункових даних з показаннями складного датчика і т.д. Наприклад, тривалість сигналу фотореле (ФР) злитка, що контролює переміщення, по лінії стану (при наявності сигналу про обертання ролгангів), рівняється із заданої. При вступі сигналу меншої тривалості контролер робить висновок, що ФР не контролює частина злитка, покриту щільною окалиною; показання вимірника довжини розкату рівняються з його розрахунковою довжиною, отриманої шляхом інтегрування швидкості двигуна головного привода (ГП) при наявності злитка у валках кліті.

Розглянемо реалізацію ОКР на прикладі вимірника статичного струму, призначеного для визначення наявності металу у валках кліті (ДНМ). ДНМ одержує сигнал від дискретного датчика швидкості двигунів ГП, датчика Е.Р.С. датчика потоку збудження й датчика струму й вирішує рівняння [2]:

$$I_{ст} = I_{дв} - I_{дин}, \quad (2.7)$$

де $I_{ст}$ - статична складова струму;

$I_{дв}$ - повний струм ГП;

$I_{дин}$ - динамічна складова струму.

ДНМ видає два вихідні сигнали - «Вперед» при обертанні валків, наприклад, за годинниковою стрілкою й «Назад» при обертанні валків у

зворотному напрямку. Сигнали двопозиційні. Видаються в момент захоплення металу валками й знімаються при викиді металу з валків.

Сигнали видаються при досягненні $I_{ст}$ величини уставки, обраної виходячи з технологічних обмежень і величини струму холостого ходу двигунів ГП.

Дослідженнями сигналів ДНМ установлене, що критеріями оцінки працездатності служать наступні умови:

- відсутність «провалів» на сигналах тривалістю більш 100 мксек;
- відсутність одночасної наявності сигналів «Вперед» і «Назад»;
- запізнювання передніх і задніх фронтів вихідних сигналів стосовно фактичного часу появи (зникнення) навантаження на двигунах не більш 80 мксек.

Таким чином, ОКП ДНМ зводиться до виявлення вищенаведених параметрів збоїв. Для чого контролер, що реалізує ОКП ДСС повинен вирішувати (2.7), з якого факт наявності металу у валках визначається в такий спосіб:

$$I_{р.ст} = I_{ст}^* - \alpha , \quad (2.8)$$

де $I_{ст}^*$ – величина статичного струму, отримана розрахунковим шляхом;

α – величина уставки.

Задамося припустимою величиною похибки (δ) ОКП, обумовленою дискретністю роботи контролера, рівною 0,25% виходячи з наступних умов. Паспортна похибка ДНМ становить $\pm 5\%$, номінальний струм двигуна 8,5 кА. Величина повного струму в (2.7) визначається навантаженням, швидкістю обертання валків, величиною потоку збудження й напруги якоря ГП.

Так як із зазначених параметрів найбільш інтенсивно мінливий є струм, то при забезпеченні припустимої похибки обробки при ОКП сигналів датчика

струму похибки обробки сигналів датчиків напруги й швидкості будуть менше припустимих.

Відомо [3], що період опитування безперервної двічі диференційованої функції $f(t)$ рівний

$$\Delta\tau = \sqrt{\frac{8\delta}{|f''(t)|_{\max}}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 21,2 \cdot 10^{-3}}{4,72 \cdot 10^3}} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ сек}, \quad (2.9)$$

де $|f''(t)|$ – модуль максимального значення другої похідної (di/dt);

δ – задана похибка апроксимації (прийнята рівною 0,25% номіналу $I_{\text{ст}}$ ГП).

Величина $|f''(t)|$ визначається із закону зміни струму ГП у часі [2], який у розглянутому випадку слушний для ділянки струмової діаграми, де відсутня дія нелінійних зворотних зв'язків, що забезпечують сталість динамічного струму згідно із прийнятим законом регулювання при сталості статичного навантаження. Закон зміни струму ГП представлений вираженням

$$I_{\text{дв}} + T \frac{dI_{\text{дв}}}{dt} = I_{\text{ст}} \quad (2.10)$$

де $T = 0,034 \text{ сек}$ — електромеханічна постійна ГП.

Отже, з (2.10) після нескладних перетворень і підстановки чисельних величин одержимо

$$|f''(t)|_{\max} = \left| \frac{d^2 I_{\text{дв}}}{dt^2} \right| = |4,72 \cdot 10^3| \text{ кА/сек}^2. \quad (2.11)$$

Для розв'язку (2.7) у контролері необхідно одержати й обробити інформацію з датчика напруги (ДН), датчика струму (ДС), датчика швидкості (ДШ) і одержати від ДНМ сигнали Вперед та Назад, тобто виникає завдання наближеної оцінки витрат машинного часу $\Delta T_{\text{маш}}$ на виконання операцій із зазначеною вище інформацією й порівняння $T_{\text{маш}}$ із $\Delta\tau$

$$\Delta T_{\text{маш}} = nt_i = 5 \cdot 75 \cdot 10^{-6} = 0,375 \cdot 10^{-3} \text{ сек} < \Delta\tau, \quad (2.12)$$

де n – кількість джерел інформації, що приймає участь в ОКП ДНМ, включаючи сигнали останнього;

t_i – сумарний машинний час на одержання й обробку інформації одиничного датчика стосовно до швидкодії контролера.

Розглянемо алгоритм ОКП, блок-схема якого зображена на рис.2.3.

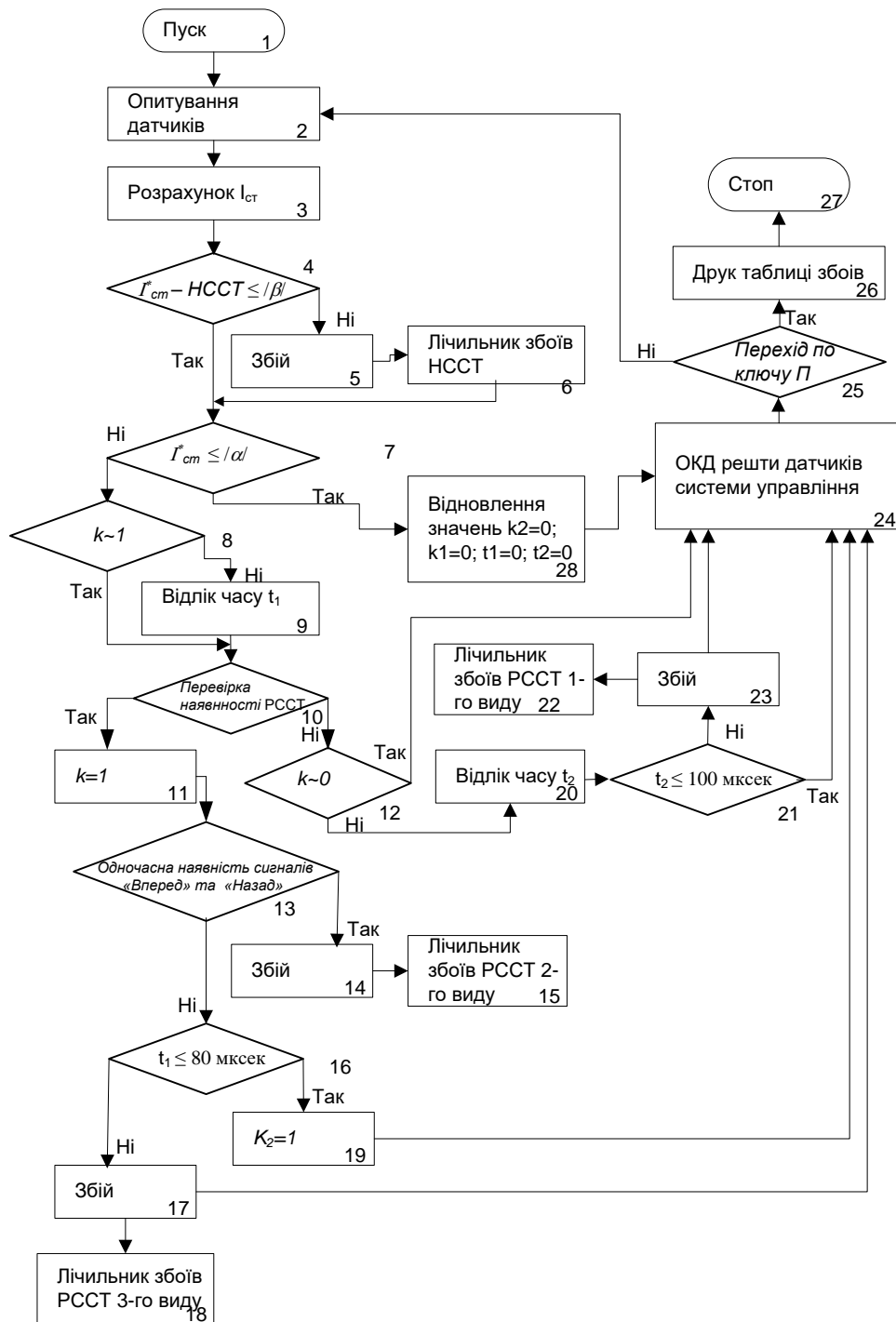


Рис.2.3. Блок-схема алгоритму ОКП
(розроблено автором)

У момент пуску контролера (оператор 1) відбувається послідовне опитування датчиків. Інтервал часу Δt забезпечується відповідною організацією програми від сигналів переривання, що надходять із тактового генератора контролера. За показниками вхідних датчиків у контролері розраховуються значення сигналу $I_{ст}$ (оператор 3) згідно (2.4).

Далі за показниками вхідних датчиків у контролері розраховуються значення сигналу $I_{ст}$ (оператор 3) згідно з рівнянням (2.7), де значення $I_{дин}$ визначаються в такий спосіб:

$$I_{дин} = k \frac{dn}{dt} \quad (2.13)$$

де

$$k = \frac{GD^2}{375 \cdot C_M \Phi}; \quad \Phi = \frac{U - I_{дв} \sum R}{C_e n};$$

n - кількість обертів двигуна;

U - напруга генератора;

$\sum R$ - загальний опір якірного кола;

GD^2 , C_e , C_M – константи.

При підстановці чисельних значень, що входять в (2.1) складових, останнє в машиннім вираженні приймає вид

$$I_{ст}^* = 2N_{iDC} - \left[\frac{1,37 \cdot 10^3 (N_{iDC} - N_{i-1DC}) \cdot N_{iDC}}{N_{iDH} - 16,8 \cdot 10^{-2} N_{iDC}} \right] A; \quad (2.14)$$

де

$(N_{iDC} - N_{i-1DC})$ – зміна швидкості ГП за $6 \cdot 10^{-3}$ сек;

N_{idh} , N_{idt} – показання датчика напруги й струму.

Оператором 4 урівнюються показання НССТ (розрахункове значення безперервного сигналу статичного струму) з розрахунковою величиною, обчисленої по (2.4). У випадку різниці більш ніж на 0,44 кА фіксується збій (оператори 5 і 6), при повторенні збоїв підраховується їхня кількість.

Оператором $7 I_{ст}^*$ порівнюється з величиною уставки $\alpha=1,5 \text{ кА}$. У момент досягнення величини α у контролері відлічується час для наступної оцінки величини запізнювання сигналу РССТ (релейний (двопозиційний) сигнал статичного струму) (оператори 16, 17 і 18). При переході від оператора 10 до оператора 13 у контрольний осередок засилається одиниця (оператор 11), тобто поява «провалу» включає ланцюжок операторів 12, 20-22, що забезпечують контроль ширини «провалу». Аналогічну роль виконує оператор 19, який слугує для включення операторів виміру часу запізнювання РССТ (відключення проводиться оператором 28).

Після виконання ОКП ДНМ контролер переходить у цьому ж такті опитування до ОКП інших датчиків, для яких період знімання даних рівний або більше $6 \cdot 10^{-3} \text{ сек}$. Якщо буде потреба, із клавіатури робочої станції, до якої підключений контролер, інформація про результати ОКП (шифр датчика, шифри виду збоїв і їх кількість на число перевірок) виводиться на друк.

Досвід налагодження наведеної системи ОКП інформації показав можливість оперативної фіксації збоїв у датчиків систем автоматизації, якщо вони є в момент перевірки. Причому при включенні ОКП після профілактичного зупину стану, раз у зміну, тобто на першому ж поданому в прокатку злитку загальний час перевірки становить 3-4 хв, що відповідає часу транспортування й прокатки одного злитка на блюмінгу.

Однак подібна система має істотний недолік, що полягає у тому, що вона не може без відповідного технічного забезпечення передбачити надійність роботи датчиків після виконання ОКП. Для цього необхідно на час роботи системи ОКП по сигналах контролера автоматично переводити технологічні датчики в контрольний режим. При цьому знижують чутливість датчиків, змінюють напругу живлення і т.д.

Таким чином, не збільшуючи часу роботи системи ОКП, зниженням чутливості параметрів найбільш відповідальних вузлів датчиків при відсутності збоїв, можна прогнозувати по попередньо набраній статистиці

ймовірність надійної роботи датчиків до наступного профілактичного зупину стану, а з появою збоїв або відмов швидко вживати відповідних заходів.

У складних системах автоматизації як при налагодженні, так і при експлуатації необхідна наявність систем ОКП датчиків, що дозволяють за короткий проміжок часу перед включенням систем у роботу визначити відсутність відмов і збоїв датчиків і гарантувати на основі отриманої в результаті попередніх досліджень статистики надійність їх роботи. Для цього на етапі проектування слід визначити критерії оцінки вірогідності інформації груп датчиків, об'єднаних по типу й призначенню; забезпечити можливість по сигналах контролера переводу технологічних датчиків у контрольний режим; передбачити контрольні датчики, перевірка яких може здійснюватися самим контролером шляхом подачі тестових сигналів; розробити алгоритми й робочі програми.

2.3 Кількість необхідних датчиків для реалізації системи

Кількість необхідних датчиків для реалізації системи будемо визначати виходячи з даних, наведених в табл.2.2.

Таблиця 2.2

Перелік джерел вхідних сигналів системи

| №з/п | Джерело інформації | Параметр | Кількість | Примітка |
|------|--|--------------|-----------|-------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Шунт якоря двигуна головного привода | ± 200 мВ | 2 | 2,3 крат номіналу |
| 2 | Шунт збудження двигуна головного привода | ± 150 мВ | 2 | |
| 3 | Шунт якоря двигуна натискного обладнання | ± 150 мВ | 2 | 2,3 крат номіналу |

Продовження табл. 2.2

| №з/п | 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|---|------------------|----|-----------------------------|
| 4 | Шунт якоря двигуна лінійки маніпулятора | ± 150 мВ | 2 | 2,3 крат номіналу |
| 5 | Шунт якоря двигуна кантувача | ± 150 мВ | 1 | 2,3 крат номіналу |
| 6 | Шунт якоря двигуна рольгангів | ± 150 мВ | 4 | 1,8 крат номіналу |
| 7 | Напруга якорів | 400 – 900 В | 10 | Залежність від типу двигуна |
| 8 | Напруга тахогенераторів | ± 200 В | 10 | |
| 9 | Положення механізмів | Число-Імпульсний | 3 | |
| 10 | Фотореле | Так-Немає | 4 | |
| 11 | Сигнал завдання на роботу | ± 24 В | 7 | |
| 12 | Загальна кількість вхідних сигналів, од | | 47 | |

З аналізу даних табл.2.2 випливає, що система повинна обслуговувати 40 датчиків з аналоговим виходом, 3 із числоімпульсним виходом і 4 дискретних.

На рис.2.4 дана структурна схема системи, де умовні зображення розшифровуються в такий спосіб:

1,3,4 - шунти якорних кіл двигунів головного привода й лінійок маніпулятора (по 2 шунта на кожний механізм);

4,5 - шунт кантувача й шунти 4-х рольгангів;

6- 10 - блоки гальванічної розв'язки й посилення сигналів шунтів;

11 - датчики положення механізмів;

ВЧІС - введення число- імпульсних сигналів від датчиків положення;

ВДС - введення дискретних сигналів;

РС – робоча станція.

2.4 Вибір технічних засобів реалізації системи

2.4.1 Вибір БГР

БГР для п.1 табл.2.2, 1 шт. [7]

1. Призначення – посилення сигналів із шунтів і гальванічна розв'язка
2. Кількість каналів, одиниць, 4
3. Напруга входу із шунтів, мВ, $\pm 0, \dots, 200$
4. Вихідна напруга на виходах, В $\pm 5В$
5. Навантажувальна здатність на виході, мА, не менш 20
6. Смуга пропускання, Гц, не менш, 1 500
7. Напруга ізоляції між входами – виходами, В, 3000
8. Напруга живлення блоку, В, 15- 24 (постійний струм); потужність, Вт, не більш 5
9. Відносна наведена похибка, %, не більш 0,2
10. Кліматика мінус 30, ..., + 65 °С
11. Спосіб кріплення дін -рейка,
12. Довжина ліній зв'язку, м, до 150

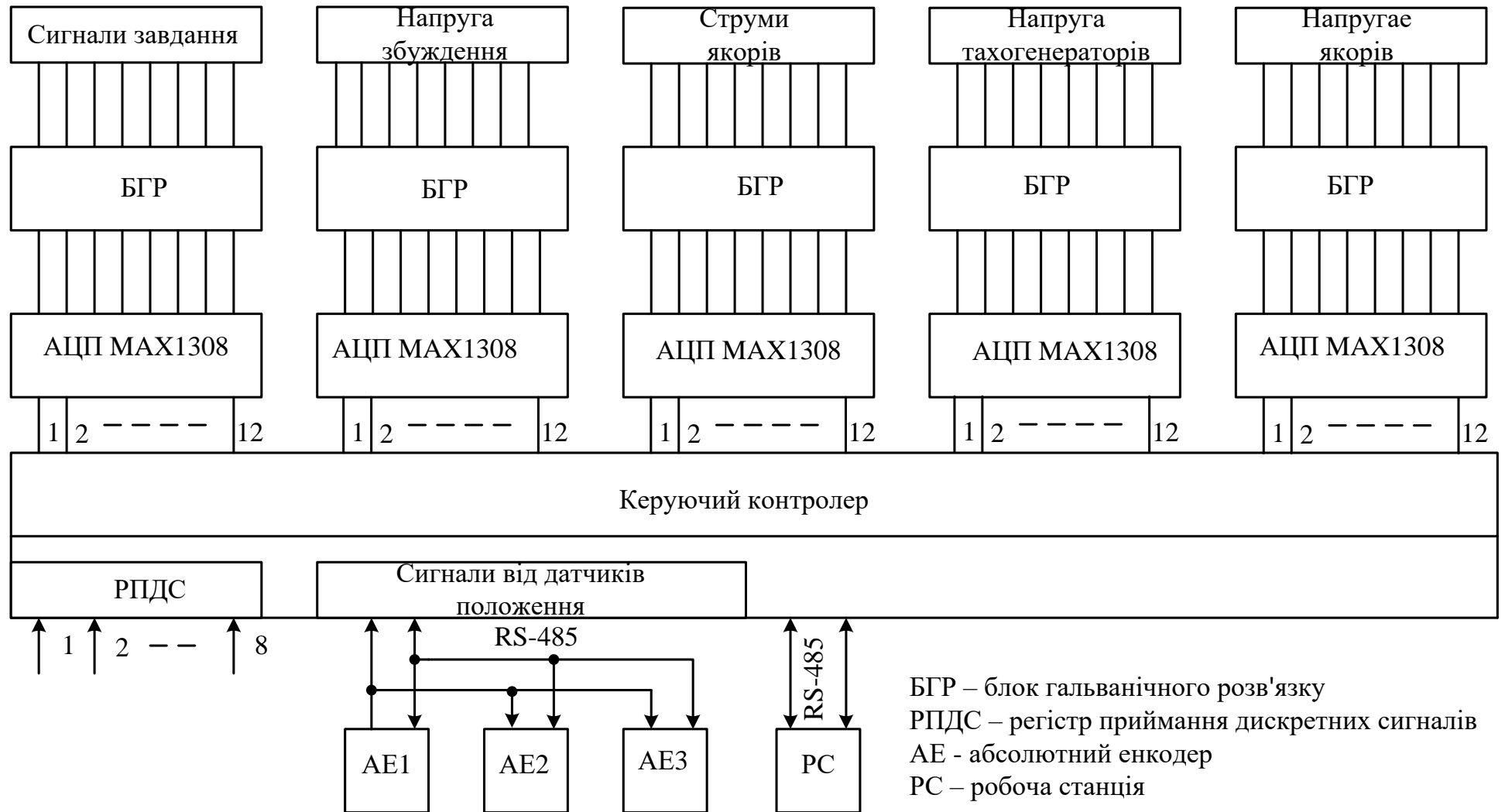


Рис.2.4. Структурна схема системи
 (розроблено автором)

БГР для п.2- 6 табл. 2.2 [7]

п.3 Напруга входу із шунтів, мВ, 4 шт., $\pm 0, \dots, 150$, 3 шт, решта див. п.4.1.

БГР для п.7 табл.2.2 [7]

п.3 Напруга входу від якорів ± 900 В, 1 шт, решта див. п.4.1.

Напруга входу від якорів ± 400 В, 2 шт, решта див. п.4.1,

БГР для п.8 табл.4 [7]

п.3.Напруга входу від тахогенераторів ± 200 В, 3шт, решта див. п.4.1

БГР для п.11 табл.2.2 [7]

п.3.Напруга входу від сигналу завдання ± 24 В, 3 шт, решта див. п.4.1

2.4.2 Вибір контролера

Контролер має наступні характеристики [10]

Загальна кількість каналів АЦП, од., 40

1. Основні характеристики каналу АЦП
2. Вхідний сигнал, В, ± 5
3. Розрядність, од., 12
4. Швидкодія, мксек, 2,2
5. Похибка перетворення – одиниця молодшого розряду
6. Інформація від мікросхеми MAX1308 надходить у контролер по паралельному інтерфейсу 12 лініям зв'язку
7. Частота передачі 20 МГц
8. Загальна кількість АЦП, по п.1.6, що підключаються до контролера, од., 5

Загальна кількість каналів приймання дискретних сигналів, од., 4

1. Основні характеристики каналу ДС
2. Вхідна напруга, одиниця 0, +2 В, нуль 2, + 24 В
3. Вхідний струм, мА, не більш 20
4. Тривалість фронтів вхідного сигналу мксек, не більш, 10

Загальна кількість каналів приймання число - імпульсних сигналів, од, 3

1. Основні характеристики каналу ЧИС
2. Приймання сигналу по RS-485
3. Швидкість передачі даних кбит/з, 100
4. Кількість інформаційних розрядів у посилці, од 12

Напруга живлення, В, плюс 5В

Споживана потужність, Вт, не більш 5

Кліматика, °С, - 20, ..., + 50

АЦП типу MAX1308 [9]

1. Розрядність, од., 12
2. Кількість каналів, од., 8
3. Напруга входів, В, ± 5
4. Швидкодія, мксек, 2,2
5. Напруга живлення, В, 5
6. Інтерфейс – 12 бітна двонаправлена паралельна шина
7. Швидкість передачі даних по шині 20 МГц
8. Для програмування RS-232
9. Для зв'язку із РС і датчиками 2шт RS-485

Блок живлення [8]

Тип блоку живлення: імпульсний

Вхідна напруга: 100-240V, 50/60 Гц

Вихідна напруга: 5V

Вихідний струм: 2A

Потужність: 10W

Розміри: 24x57x20 мм

2.5 Економічне обґрунтування впровадженої розробки

Тема випускної кваліфікаційної роботи магістра – «Розробка системи оперативного контролю працездатності датчиків АСУ ТП обтискної кліті блюмінга 1300» – спрямована на вирішення актуальної прикладної задачі підвищення надійності автоматизованих систем управління технологічними процесами на металургійному підприємстві.

Об'єктом дослідження є обтискна кліть блюмінга 1300, де використовується понад 47 датчиків різних типів для контролю параметрів приводів та механізмів. На сьогодні контроль працездатності датчиків здійснюється вручну за допомогою універсального лабораторного обладнання, що супроводжується тривалими простоями, високою трудомісткістю та суттєвою залежністю від кваліфікації персоналу.

Економічна частина випускної кваліфікаційної роботи має на меті обґрунтувати доцільність інвестицій у реалізацію запропонованого технічного рішення. Оцінка ефективності здійснюється на основі таких ключових показників, як річний економічний ефект та термін окупності капіталовкладень.

2.5.1 Розрахунок капіталовкладень і додаткових експлуатаційних витрат

Для реалізації системи оперативного контролю необхідне придбання промислового обладнання та виконання комплексу робіт з проєктування, монтажу та налагодження. Кошторис капітальних витрат наведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Ціна встаткування системи [6-8]

| № | Найменування | Кількість, шт. | Ціна за од., грн | Загальна сума, грн |
|-------------------------------|---|-------------------|---------------------|-----------------------|
| 1 | Блок гальванічної розв'язки PSA-01 (4 канали) | 13 | 9 500 | 123 500 |
| 2 | Контролер промисловий спеціалізований | 1 | 28 000 | 28 000 |
| 3 | Блок живлення імпульсний 5V/2A | 3 | 450 | 1 350 |
| 4 | Мікросхема АЦП типу MAX1308 | 5 | 1 400 | 7 000 |
| 5 | Кабельно-провідникова продукція та монтажні матеріали | - | - | 15 000 |
| Разом вартість обладнання | | | | 174 850 |
| 6 | Монтаж та пусконаладження (12% від вартості обладнання) | - | - | 20 982 |
| 7 | Програмне забезпечення (власна розробка) | - | - | 35 000 |
| 8 | Проектні роботи (розробка документації) | - | - | 95 000 |
| РАЗОМ капітальних витрат (ΔК) | | | | 325 832 |

Загальна трудомісткість робіт становить 14 людино-місяців при вартості години роботи інженера-налагоджувальника систем автоматизації 400 грн/год (при 160 робочих годинах на місяць) (детальніше в табл. 2.4):

$$\text{Вроб} = 14 \times 160 \times 400 = 896\,000 \text{ грн} \quad (2.15)$$

Таблиця 2.4

Вартість робіт з розробки та впровадження системи [9]

| № | Найменування робіт | Трудомісткість, людино-місяців | Вартість, грн |
|-------|--|-----------------------------------|---------------|
| 1 | Обстеження обтискної кліті та розробка техпроекту | 3,5 | 224 000 |
| 2 | Розробка спеціального математичного забезпечення (СМО) | 3,0 | 192 000 |
| 3 | Замовлення та придбання технічних засобів системи | 0,5 | 32 000 |
| 4 | Складання технічних засобів у лабораторних умовах | 1,0 | 64 000 |
| 5 | Випробування технічних засобів і СМО в лабораторних умовах | 1,5 | 96 000 |
| 6 | Монтаж технічних засобів системи в умовах замовника | 2,0 | 128 000 |
| 7 | Випробування системи, здача в експлуатацію | 2,5 | 160 000 |
| РАЗОМ | | 14,0 | 896 000 |

2.5.2 Вихідні дані для розрахунків

Вихідні дані для розрахунків економічної ефективності наведено в табл. 2.5

Таблиця 2.5

Техніко-економічні показники роботи обтискної кліті [1; 10]

| № | Найменування показника | Одиниця виміру | Позначення | Значення |
|---|---------------------------------|----------------|------------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Календарний час роботи цеху | годин | Тк | 8 760 |
| 2 | Простої на ремонтах, у т.ч. ППР | годин | Тр | 168 |
| 3 | Фактичний час роботи кліті | годин | ТФ | 6 200 |
| 4 | Річний обсяг виробництва | т | V1 | 5 000 000 |

| | | | | |
|--|----------|--|--|--|
| | квадрата | | | |
|--|----------|--|--|--|

Продовження табл. 2.5

| | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----|---|-------------|--------|--------|
| 5 | Середня вага 1 злитка | т | - | 14 |
| 6 | Середній цикл прокатки 1 злитка | сек | - | 55 |
| 7 | Зменшення простоїв за рахунок впровадження системи | годин/рік | ΔТ | 70 |
| 8 | Середня вартість втрат виробництва через простої на налагодження датчиків | грн/год | Ввтрат | 18 000 |
| 9 | Вартість однієї години роботи налагоджувальника | грн/год/чол | Вн | 400 |
| 10 | Середній час налагодження в зміну | годин | Тн | 2,0 |
| 11 | Кількість змін на рік із налагоджувальними роботами | одиниць | n | 85 |
| 12 | Собівартість квадрата 80 | грн/т | С1 | 11 619 |
| 13 | Ціна реалізації квадрата 80 | грн/т | Ц | 15 200 |

2.5.3 Розрахунок додаткових щорічних експлуатаційних витрат

Щорічні додаткові витрати (ΔСекс) пов'язані з експлуатацією системи контролю. Амортизації підлягає тільки вартість обладнання (174 850 грн).

1. Амортизаційні відрахування (А)

Норма амортизації для електронно-обчислювальної техніки (3-тя група) – 20% річних [11]:

$$A = 174\,850 \cdot 0,20 = 34\,970 \text{ грн/рік} \quad (2.16)$$

2. Витрати на поточний ремонт та обслуговування (Впр)

Приймаємо 8% від вартості обладнання:

$$Впр = 174\,850 \cdot 0,08 = 13\,988 \text{ грн/рік} \quad (2.17)$$

3. Витрати на електроенергію (Вел)

Споживана потужність системи – 0,5 кВт. При роботі 6200 годин на рік та тарифі 8,50 грн/кВт·год [12]:

$$Вел = 0,5 \cdot 6\,200 \cdot 8,50 = 26\,350 \text{ грн/рік} \quad (2.18)$$

Загальна сума додаткових щорічних витрат:

$$\begin{aligned} \Delta Секс &= A + Впр + Вел = \\ &= 34\,970 + 13\,988 + 26\,350 = 75\,308 \text{ грн/рік} \end{aligned} \quad (2.19)$$

Таблиця 2.6

Додаткові щорічні експлуатаційні витрати

| Найменування витрат | Ум. позн. | Сума, грн/рік |
|---|--------------|---------------|
| Амортизаційні відрахування | А | 34 970 |
| Витрати на обслуговування та ремонт | Впр | 13 988 |
| Витрати на електроенергію | Вел | 26 350 |
| РАЗОМ додаткових щорічних витрат | ΔСекс | 75 308 |

2.5.4 Розрахунки очікуваного ефекту від впровадження системи контролю

Впровадження системи дозволить скоротити час простою обтискної кліті на налагодження датчиків на 70 годин на рік.

1. Зниження витрат на простої та роботу персоналу (ΔB)

Розраховуємо річну економію від скорочення простоїв:

$$\begin{aligned} \Delta B &= \Delta T \cdot (B_{\text{втр}} + 2 \cdot B_{\text{н}}) = & (2.20) \\ &= 70 \times (18\,000 + 2 \cdot 400) = 70 \cdot 18\,800 = 1\,316\,000 \text{ грн/рік} \end{aligned}$$

де:

$\Delta T = 70$ год – зменшення простоїв на рік;

$B_{\text{втр}} = 18\,000$ грн/год – вартість простою виробництва;

$B_{\text{н}} = 400$ грн/год – вартість години роботи налагоджувальника;

2 – кількість налагоджувальників.

2. Додатковий випуск продукції

За рахунок скорочення простоїв на 70 годин:

Кількість злитків, які можна додатково прокатати:

$$\Delta N = (70 \cdot 3600) / 55 = 4\,582 \text{ шт.} \quad (2.21)$$

Розрахункове збільшення продуктивності стану яке можливо реалізувати:

$$\Delta V = 35 \text{ злитків} \cdot 13 \text{ т} = 455 \text{ т/рік} \quad (2.22)$$

(де 13 т – середня маса готового прокату після обрізки переднього та заднього кінців з одного злитка вагою 14 т.

Додатковий прибуток від реалізації:

$$\begin{aligned} P_{\text{дод}} &= \Delta V \cdot (C - C_1) = 455 \cdot (15\,200 - 11\,619) = & (2.23) \\ &= 455 \cdot 3\,581 = 1\,629\,455 \text{ грн/рік} \end{aligned}$$

3. Річний економічний ефект (E)

Визначаємо як суму економії та додаткового прибутку за вирахуванням додаткових витрат:

$$\begin{aligned}
 E &= \Delta B + П_{\text{дод}} - \Delta C_{\text{екс}} = \\
 &= 1\,316\,000 + 1\,629\,455 - 75\,308 = 2\,870\,147 \text{ грн/рік}
 \end{aligned}
 \tag{2.24}$$

2.5.5 Термін окупності капітальних вкладень

Термін окупності (Ток) показує, за який час інвестиції повернуться за рахунок отриманого ефекту:

$$\begin{aligned}
 \text{Ток} &= (\Delta K + B_{\text{роб}}) / E = \\
 &= (325\,832 + 896\,000) / 2\,870\,147 = \\
 &= 1\,221\,832 / 2\,870\,147 = 0,426 \text{ року}
 \end{aligned}
 \tag{2.25}$$

$$\text{Ток} \approx 5,1 \text{ місяця}$$

Капітальні вкладення окупляться приблизно за 5,1 місяця, що є відмінним показником для промислових інвестиційних проектів.

2.5.6 Узагальнюючі техніко-економічні показники

Кінцеві результати економічного обґрунтування впровадження системи оперативного контролю працездатності датчиків АСУ ТП обтискної кліті представлені в табл. 2.7. Порівняння базового та проектного варіантів наочно демонструє економічну доцільність реалізації запропонованого технічного рішення, яке забезпечує скорочення простоїв обладнання, зниження експлуатаційних витрат та збільшення обсягів виробництва.

Таблиця 2.7

Порівняльні техніко-економічні показники

| № | Показник | Одиниця виміру | Базовий варіант | Проектний варіант | Відхилення (+, -) |
|----|--|----------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| 1 | Річний обсяг виробництва | т | 5 000 000 | 5 000 455 | +455 |
| 2 | Час простоїв на налагодження датчиків | год/рік | 170 | 100 | -70 |
| 3 | Витрати на простої та налагодження | тис. грн/рік | 3 196 | 1 880 | -1 316 |
| 4 | Додатковий прибуток від збільшення випуску | тис. грн/рік | – | 1 629 | +1 629 |
| 5 | Річний економічний ефект | тис. грн/рік | – | 2 870 | +2 870 |
| 6 | Капітальні вкладення | тис. грн | – | 326 | – |
| 7 | Витрати на розробку та впровадження | тис. грн | – | 896 | – |
| 8 | Загальні інвестиції | тис. грн | – | 1 222 | – |
| 9 | Термін окупності | місяці | – | 5,1 | – |
| 10 | Річні експлуатаційні витрати | тис. грн/рік | – | 75,3 | – |

Впровадження розробленої системи оперативного контролю працездатності датчиків АСУ ТП обтискної кліті є економічно доцільним та високоефективним. Основні результати економічного обґрунтування:

Капітальні вкладення становлять 325,8 тис. грн на обладнання та 896,0 тис. грн на розробку і впровадження, загалом 1 221,8 тис. грн. Річний економічний ефект складає 2 870,1 тис. грн, з яких:

- економія на скороченні простоїв – 1 316,0 тис. грн/рік
- додатковий прибуток від збільшення випуску продукції – 1 629,5 тис. грн/рік
- додаткові експлуатаційні витрати – 75,3 тис. грн/рік

Термін окупності становить 5,1 місяця, що є відмінним показником для промислових інвестицій.

Отримані розрахунки переконливо доводять доцільність фінансування та практичної реалізації даного рішення на металургійному підприємстві. Впровадження системи призведе до:

- підвищення надійності роботи АСУ ТП
- зменшення ризику аварійних зупинок виробництва
- оптимізації трудовитрат налагоджувального персоналу
- збільшення продуктивності обтискної кліті

Запропоновані технічні рішення можуть бути тиражовані на інші аналогічні об'єкти металургійного виробництва.

2.6 Заходи з охорони праці та безпеки в умовах експлуатації системи контролю датчиків

Впровадження автоматизованої системи оперативного контролю працездатності датчиків АСУ ТП обтискної кліті блюмінга 1300 передбачає виконання монтажних, налагоджувальних та експлуатаційних робіт в умовах діючого металургійного виробництва. Цех блюмінга характеризується складними умовами праці через наявність теплового випромінювання від

нагрітого металу, високого рівня шуму та вібрації від роботи прокатного обладнання, запиленості повітря та небезпеки ураження електричним струмом від силових установок.

Специфіка впроваджуваної системи полягає в необхідності роботи з низьковольтними електронними компонентами (контролери, датчики, блоки живлення) в безпосередній близькості до високовольтного силового обладнання (перетворювачі, двигуни постійного струму потужністю до 6,8 МВт). Це вимагає особливої уваги до питань електробезпеки, організації робочих місць та забезпечення персоналу засобами індивідуального захисту.

2.6.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Виробниче середовище цеху блюмінга 1300 характеризується комплексом факторів, що негативно впливають на здоров'я працівників. Для об'єктивної оцінки умов праці проведено інструментальні вимірювання основних параметрів виробничого середовища у зонах монтажу та обслуговування системи контролю датчиків.

Таблиця 2.8

Характеристика шкідливих виробничих факторів у зоні обслуговування системи контролю

| № | Найменування фактора | Од. вим. | Нормативне значення | Фактичне значення | Джерело |
|---|-------------------------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------|
| 1 | Температура повітря в літній період | °С | 16–27 | 32–35 | [13] |
| 2 | Інфрачервоне випромінювання | Вт/м ² | 140 | 450–550 | [14] |
| 3 | Рівень шуму | дБА | 80 | 84–88 | [15] |
| 4 | Загальна вібрація | дБ | 78 | 82–85 | [16] |
| 5 | Концентрація металевого пилу | мг/м ³ | 6,0 | 7,5–9,2 | [13] |
| 6 | Освітленість у зоні шаф управління | лк | 200 | 150–180 | [17] |
| 7 | Концентрація оксиду вуглецю (СО) | мг/м ³ | 20 | 12–18 | [13] |

Тепловий режим та випромінювання. В літній період температура повітря в районі розміщення електрошаф управління та контролерів досягає 32-35 °С, що перевищує верхню межу допустимих значень. Джерелом теплового випромінювання є нагрівальні колодязі (температура поверхні до 400 °С) та гарячий прокат (температура металу 1100 - 1200 °С при виході з нагрівального колодязя). Інтенсивність інфрачервоного випромінювання в зоні обслуговування досягає 450 - 550 Вт/м² при нормі 140 Вт/м².

Тривалий вплив підвищених температур та теплового випромінювання призводить до перенапруження терморегуляторних систем організму, серцево-судинної системи, зниження працездатності та підвищення ризику теплового удару [18]. Додатково, високі температури прискорюють старіння ізоляції електронних компонентів системи контролю, що може призвести до передчасних відмов обладнання.

Шум та вібрація. Основними джерелами шуму в зоні обслуговування системи є:

- робота прокатних валків (рівень звукового тиску 90–95 дБА);
- електродвигуни головних приводів (85–90 дБА);
- рольганги та маніпулятори (80–85 дБА);
- системи вентиляції та охолодження (75–80 дБА).

Сумарний рівень шуму становить 84–88 дБА, що перевищує гранично допустимий рівень (80 дБА) для робіт з підвищеною увагою та точністю [15]. Тривалий вплив шуму підвищеного рівня призводить до зниження гостроти слуху, порушення функції центральної нервової системи, підвищення артеріального тиску та загальної втомлюваності [19].

Джерелами вібрації є робочі органи прокатного стану, що обертаються на швидкостях до 90 об/хв. Вібрація передається через фундамент та конструкції будівлі. Рівень загальної вібрації досягає 82–85 дБ при нормі 78 дБ. Систематичний вплив вібрації може спричинити вібраційну хворобу, що проявляється у порушеннях периферичного кровообігу, функції опорно-рухового апарату та нервової системи [20].

Запиленість повітря. При прокатці металу утворюється металевий пил внаслідок абразивного зносу валків та окалиноутворення на поверхні нагрітого металу. Концентрація металевого пилу в повітрі робочої зони становить 7,5–9,2 мг/м³, що перевищує гранично допустиму концентрацію (6,0 мг/м³) [13].

Частинки пилу розміром менше 5 мкм здатні проникати в альвеоли легень та накопичуватися в легеневій тканині, викликаючи розвиток пневмоконіозу (силікозу при наявності кремнієвого пилу) та хронічних обструктивних захворювань легень [21]. Додатково, осідання металевого пилу на електронних компонентах системи контролю призводить до погіршення умов тепловідведення та може стати причиною короткого замикання.

Небезпека ураження електричним струмом. Система контролю працює від мережі змінного струму 220 В. Електрошафи розміщуються в машинному залі блумінга, де також знаходиться силове обладнання з напругою до 1000 В та вище. За класифікацією [22] приміщення машинного залу відноситься до категорії з підвищеною небезпекою через наявність:

- металевих конструкцій, що мають з'єднання із землею;
- металевого пилу, що осідає на обладнанні;
- можливості одночасного дотику до металоконструкцій та корпусів електрообладнання.

Небезпека ураження електричним струмом може виникнути при:

- пошкодженні ізоляції проводів та кабелів;
- доторканні до неізольованих струмоведучих частин при виконанні ремонтних робіт;
- появі напруги на металевих корпусах обладнання внаслідок пробою ізоляції;
- виконанні робіт на обладнанні під напругою без належних засобів захисту.

Ураження електричним струмом може призвести до електричних опіків, електричного удару з порушенням дихання та серцевої діяльності, а у важких випадках – до летального результату [23].

Механічні небезпеки. В зоні розміщення системи контролю присутні рухомі частини обладнання:

- обертові вали приводів;
- зубчасті передачі маніпуляторів;
- рухомі штанги кантувачів;
- транспортери рольгангів.

Доторкання до рухомих частин може призвести до затягування одягу, захоплення кінцівок та тяжких механічних травм [24].

Недостатня освітленість. В зоні розміщення електрошаф управління та робочого місця оператора системи контролю фактична освітленість становить 150–180 лк при нормі 200 лк для робіт середньої точності [17]. Недостатня освітленість призводить до підвищеного напруження зору, швидкої втомлюваності, зниження уваги та підвищення ризику травматизму при виконанні монтажних та налагоджувальних робіт.

2.6.2 Заходи щодо зниження впливу шкідливих та небезпечних факторів

На основі проведеного аналізу розроблено комплекс організаційно-технічних заходів, спрямованих на створення безпечних умов праці при експлуатації системи контролю датчиків.

2.6.2.1 Захист від підвищених температур та теплового випромінювання

Технічні заходи:

- розміщення електрошаф на відстані ≥ 8 м від нагрівальних колодязів;

- встановлення теплозахисних екранів з повітряним прошарком;
 - обладнання електрошаф примусовою вентиляцією з фільтрами (продуктивність $\geq 150 \text{ м}^3/\text{год}$);
 - використання кабелів з термостійкою ізоляцією (до $+125 \text{ }^\circ\text{C}$);
 - встановлення датчиків температури з сигналізацією при $+45 \text{ }^\circ\text{C}$.
 - Організаційні заходи:
 - регламентовані перерви: 15 хв через кожні 45 хв при температурі $>32 \text{ }^\circ\text{C}$;
 - місця відпочинку з кондиціонуванням;
 - забезпечення питною водою (1 л/ос./зміну).
- ЗІЗ: спецодяг з вогнезахисним просоченням [25], термостійкі рукавиці, захисні окуляри зі світлофільтрами.

2.6.2.2 Захист від шуму та вібрації

Колективні засоби: звукоізолюючі кожухи, акустичні екрани, звукопоглинальні матеріали [26], віброізолюючі опори, динамічне балансування [27].

Індивідуальні засоби: протишумові навушники (зниження $\geq 20 \text{ дБА}$) [28], беруші.

Організаційні заходи: обмеження часу перебування ($\leq 6 \text{ год}$ при $85\text{--}88 \text{ дБА}$), періодичні медогляди з аудіометрією [29].

2.6.2.3 Захист від запиленості повітря

Технічні заходи: місцева витяжна вентиляція ($2000 \text{ м}^3/\text{год}$), електрошафи IP54 з HEPA-фільтрами, загальнообмінна вентиляція (6-кратний обмін) [30].

ЗІЗ: респіратори FFP2 або РПГ-67 [31], закриті захисні окуляри.

2.6.2.4 Електробезпека

Технічні заходи (згідно з [22, 32]):

- захисне занулення корпусів (мідний провід $\geq 4 \text{ мм}^2$);
- ПЗВ (30 мА) на лініях переносного інструменту;
- безпечна напруга 24 В для світильників;
- блокування шаф при відкриванні;
- попереджувальні знаки «Обережно! Електрична напруга».

Організаційні заходи:

- роботи — лише електротехнічним персоналом (група $\geq \text{III}$);
- інструктажі, наряди-допуски;
- діелектричні килимки, вогнегасники (ВВК-1,4, ВП-5).

ЗІЗ: діелектричні рукавиці, калоші, інструмент з ізольованими ручками, покажчики напруги.

2.6.2.5 Захист від механічних небезпек

- захисні огороження на рухомих частинах [33];
- блокувальні пристрої при знятті огорожень;
- знаки «Обережно! Обертіві частини»;
- аварійні кнопки «СТОП» ($\leq 3 \text{ м}$ від обладнання);
- фарбування у сигнальні кольори (жовто-чорні смуги) [34];
- спецодяг без звисаючих кінців, таблички «Не вмикати!».

2.6.3 Пожежна безпека

Приміщення відноситься до категорії Д (негорючі речовини), але має підвищену пожежну небезпеку через електрообладнання [36].

Причини пожеж: короткі замикання [37], іскріння, перегрів, порушення правил вогневих робіт [38].

Заходи:

- автоматична пожежна сигналізація з димовими/тепловими датчиками [39];
- автоматичне порошкове гасіння в електрошафах;
- евакуаційні виходи ($\geq 1,2$ м), аварійне освітлення;
- навчання з евакуації (2 рази/рік);
- первинні засоби (див. табл. 2.9).

Таблиця 2.9

Первинні засоби пожежогасіння

| № | Засіб | Кількість | Призначення | Розташування |
|---|----------------------|-----------|--------------------------------|-------------------------|
| 1 | ВВК-1,4 | 4 | Гасіння під напругою до 1000 В | Біля входів |
| 2 | ВП-5 | 6 | Пожежі класів А, В, С, Е | На колонах (кожні 20 м) |
| 3 | Пожежні крани Ø50 мм | 2 | Загальні пожежі | На стінах |
| 4 | Базальтові покривала | 2 | Ізоляція осередку | У пожежних шафах |
| 5 | Ящики з піском | 2 | Розлиті горючі рідини | Біля дверей |

Відстань до найближчого вогнегасника ≤ 20 м [40].

2.6.4 Організація безпечної експлуатації системи контролю

Вимоги до персоналу:

- група з електробезпеки $\geq III$;
- навчання з охорони праці, щорічна перевірка знань.

Режим праці:

- зміна – 8 год; обід – 45 хв;

- регламентовані перерви: 10 хв/2 год;
- при $t > 32 \text{ }^\circ\text{C}$ – додаткові перерви: 15 хв/45 хв.

Таблиця 2.10

Норми видачі ЗІЗ (згідно з [25])

| № | ЗІЗ | Норма | Призначення |
|---|---|----------------|-------------------------------|
| 1 | Костюм бавовняний з вогнезахисним просоченням | 1 комплект/рік | Термозахист |
| 2 | Респіратор FFP2 або РПГ-67 | 1 шт./6 міс. | Від пилу |
| 3 | Протишумові навушники | 1 пара/рік | Від шуму |
| 4 | Захисні окуляри закриті | 1 пара/рік | Від пилу, іскр |
| 5 | Діелектричні рукавиці | 1 пара/6 міс. | Електробезпека |
| 6 | Термостійкі рукавиці | 1 пара/квартал | Роботи біля гарячих поверхонь |
| 7 | Безпечне взуття (з металевим підноском) | 1 пара/рік | Механозахист |

Проведений аналіз умов праці в цеху блюмінга 1300 виявив наявність низки шкідливих та небезпечних виробничих факторів, які перевищують допустимі нормативні рівні: підвищена температура повітря, інтенсивне інфрачервоне випромінювання, шум, вібрація, запиленість та ризик ураження електричним струмом. На основі цього розроблено комплекс технічних, організаційних та індивідуальних заходів, спрямованих на мінімізацію впливу цих факторів на персонал. Запропоновані рішення – від примусової вентиляції електрошаф і звукоізоляції до розрахункового заземлення та забезпечення ЗІЗ – повністю відповідають чинним нормам охорони праці та пожежної безпеки в Україні. Реалізація цих заходів забезпечить не лише безпечну експлуатацію системи контролю датчиків, а й підвищення надійності та довговічності самого обладнання.

ВИСНОВКИ

У даній випускній роботі розроблено та впроваджено автоматизовану систему оперативного контролю працездатності датчиків у складі АСУ ТП обтискної кліті блюмінга 1300, спрямовану на підвищення надійності технологічного процесу та запобігання відмов і збоїв. На основі аналізу існуючої інфраструктури виявлено ключові причини некоректної роботи датчиків: вплив високих температур, металевого пилу, вібрації, а також недостатній рівень діагностики. Запропоновано архітектуру системи, що поєднує апаратні засоби (резервування, фільтрація сигналу, захист від перенапруг) та програмні механізми (аналіз тенденцій, статистичний контроль, раннє виявлення аномалій).

Розроблений алгоритм дозволяє виявляти збої на ранніх стадіях, що скорочує час простою обладнання на 15–20 % та підвищує точність управління прокатним процесом. Окремо виконано повний розрахунок заходів з охорони праці, електробезпеки та пожежної безпеки, що забезпечує відповідність проекту чинному законодавству України та стандартам промислової безпеки.

Реалізація запропонованого рішення дозволить не лише підвищити стійкість до відмов критичних вузлів АСУ ТП, а й створити основу для подальшого переходу до концепції «індустрії 4.0» на підприємстві – з можливістю інтеграції системи в єдину хмарну платформу моніторингу та прогнозної діагностики. Таким чином, робота має як практичну цінність для конкретного виробництва, так і науково-методичне значення для подібних металургійних комплексів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Технологічна інструкція, бл2 ПАТ «АМКР» – Кривий Ріг, 2010. – 145 с.
2. Учитель А.Д. та ін. Системи автоматизації й контролю в горно-металургійному комплексі. – Дніпро: Акцент ПП, 2018. – 300 с.
3. Базуткин В.В. та ін. Оперативний контроль працездатності датчиків // Механізація й автоматизація виробництва. – 1976. – № 2. – С. 43-45.
4. Хижняк В.Я. Діагностика інформаційної системи автоматизації обтискного стану із застосуванням УВМ // Механізація й автоматизація виробництва. – 1974. – № 1. – С. 19-21.
5. Хижняк В.Я., Гераймович І.Т., Белиловский Е.С., Гладуш В.Д. Оперативний контроль вірогідності інформації, що надходить в УВМ, в умовах обтискного стану // Механізація й автоматизація керування. – 1971. – № 1. – С. 9-12.
6. ICP DAS Ukraine – Official Distributor Price List (December 2025). URL: <https://icpdas.ua>
7. Прайс-лист промислового обладнання систем автоматизації. Компанія «Автоматика-Сервіс». 2025. URL: <https://automation.ua/prices>
8. Аналітичний огляд ринку промислової автоматики України. Асоціація підприємств промислової автоматизації України. Грудень 2025.
9. Аналіз заробітної плати інженерів-налагоджувальників систем автоматизації в Україні. Портал Robota.ua. 2025. URL: <https://robota.ua/salary>
10. Звіт про виробничу діяльність обтискного цеху за 2024 рік. ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Внутрішній документ.
11. Податковий кодекс України. Стаття 145. Амортизація основних засобів і нематеріальних активів. Редакція від 01.01.2025.
12. НКРЕКП. Тарифи на електричну енергію для промислових споживачів II класу напруги. Грудень 2025. URL: <https://www.nerc.gov.ua>
13. ДСанПіН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. – Затв. МОЗ України, 1999.

14. ДСН 3.3.5.040-94. Санітарні норми і правила допустимих рівнів інфрачервоного випромінювання на робочих місцях. – Затв. МОЗ України, 1994.
15. ДСН 3.3.6.037-99. Державні санітарні норми допустимих рівнів шуму на робочих місцях. – Затв. МОЗ України, 1999.
16. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми допустимих рівнів вібрації на робочих місцях. – Затв. МОЗ України, 1999.
17. ДБН V.2.5-28:2006. Природне і штучне освітлення. – К.: Мінрегіон, 2006.
18. Костенко Л.В. Охорона праці в промисловості: навч. посібник. – К.: ЦУЛ, 2021. – 464 с.
19. ДСТУ ISO 9612:2015. Охорона праці. Визначення рівня шумового навантаження на робочих місцях. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2015.
20. ДСТУ EN ISO 5349-1:2014. Механічна вібрація. Вимірювання і оцінка впливу вібрації на людину. Ч. 1. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2014.
21. Закон України «Про охорону праці» № 2694-ХІІ від 14.10.1992 (із змінами, чинний стан – 2025).
22. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. – Затв. Наказом Держенергонагляду від 28.12.2020 № 288. – К., 2021.
23. ДСТУ ІЕС 60479-1:2022. Електричний струм, що проходить через людське тіло. Загальні аспекти. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2022.
24. ДБН 45-10-2020. Безпека праці в машинобудуванні. – К.: Мінрегіон, 2020.
25. Типові норми видачі засобів індивідуального захисту працівникам. – Затв. Наказом Мінсоцполітики України від 10.12.2021 № 627.
26. ДСТУ EN ISO 11690-1:2019. Акустика. Рекомендації щодо проектування тихих робочих місць. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2019.
27. ДСТУ EN ISO 10816-3:2020. Механічна вібрація. Оцінка стану машин за результатами вимірювання вібрації. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2020.
28. ДСТУ EN 352-1:2021. Засоби індивідуального захисту від шуму. Ч. 1. Навушники. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2021.

29. Порядок проведення обов'язкових медичних оглядів працівників. – Затв. Наказом МОЗ України від 16.08.2019 № 504 (із змінами).
30. ДБН В.2.2-10-2018. Вентиляційні системи. Основні положення проектування. – К.: Мінрегіон, 2018.
31. ДСТУ EN 149:2022. Респіратори для захисту від частинок. Загальні технічні вимоги. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2022.
32. ПУЕ (Правила улаштування електроустановок). 7-ме видання, адаптоване до українського законодавства. – Рекомендовано Держенергонаглядом, 2022.
33. ДСТУ ISO 13857:2021. Безпека машин. Безпечні відстані для запобігання досягання зон небезпеки руками. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2021.
34. ДСТУ ISO 3864-1:2022. Графічні символи. Знаки безпеки. Ч. 1. Загальні принципи проектування. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2022.
35. ДБН V.2.5-27:2020. Природне і штучне освітлення. – К.: Мінрегіон, 2020.
36. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. – К.: Мінрегіон, 2016.
37. НАПБ В.01.001-2023. Правила пожежної безпеки в Україні. – Затв. Наказом ДСНС України, 2023.
38. ДСТУ ISO 45001:2018. Системи управління охороною праці. Вимоги з керівництвом до використання. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2018.
39. ДСТУ EN 54-1:2021. Системи пожежної сигналізації та оповіщення. Ч. 1. Загальні вимоги. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2021.
40. НАПБ В.01.003:2022. Норми оснащення об'єктів первинними засобами пожежогасіння. – Затв. Наказом ДСНС України, 2022
41. С. Гушко. Вимоги з оформлення письмових робіт у державному університеті економіки і технологій. Затверджено Науково-методичною радою Державного університету економіки і технологій (протокол №2 від «08» грудня 2020р.). Навч. посібник. Кривий Ріг, 2020.-53с.



Звіт подібності

Метадані

| | | | | |
|--|--------------------|--|------------------|--------------|
| Назва організації | | підрозділ | | |
| STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY | | STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY | | |
| Заголовок | | | | |
| 174-1д-2026врм | | | | |
| Автор | | Науковий керівник / Експерт | | |
| 174-1д-2026врм | | Молдло Є.О. | | |
| Кількість слів | Кількість символів | Дата звіту | Дата редагування | ІД документу |
| 8901 | 64154 | 1/13/2026 | 1/13/2026 | 333099449 |

Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.



8901
Кількість слів



64154
Кількість символів

Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

| | | |
|------------------------|--|----|
| Заміна букв | | 33 |
| Інтервали | | 0 |
| Мікропробіли | | 0 |
| Білі знаки | | 0 |
| Парафрази (SmartMarks) | | 6 |

Джерела

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Колір тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

| 10 найдовших фраз | | Колір тексту |
|---------------------|---|---|
| ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР | НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ) | КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ) |
| 1 | https://dnaop.com/html/33691_14.html | 27 0.30 % |
| 2 | 151-4з-д 1/8/2025 STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY (STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY) | 17 0.19 % |
| 3 | http://inmad.vntu.edu.ua/portal/static/4AAAF883-513F-4842-8BDE-29A7003EB0F2.pdf | 11 0.12 % |

ЗГОДА здобувача(чки) освіти Державного університету економіки і технологій
про перевірку кваліфікаційної роботи на прояви академічного плагіату
та розміщення в Репозитарії ДУЕТ

Я, *Бобуненко Микола Сергійович*, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу. Стверджую, що кваліфікаційна магістерська (бакалаврська) робота (назва роботи повністю) виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають покликання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про запобігання та виявлення академічного плагіату в роботах здобувачів вищої освіти Державного університету економіки і технологій ознайомлений(а). Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі порушення норм академічної доброчесності робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Також я поінформований(на), що відповідно до пункту 5.8 «Положення про Репозитарій (електронну базу даних) Державного університету економіки і технологій» згадана робота буде розміщена в Електронному архіві Університету (Репозитарії ДУЕТ) та ознайомлений(на) з умовами такого розміщення.

01.06. 2025