

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Д. О. Дьомін, П. С. Пензєв

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

Навчальний посібник
для магістрів денної та заочної форми навчання
за спеціальностями
131 «Прикладна механіка», 136 «Металургія»

затверджено
редакційно-видавничою
радою НТУ «ХПІ»
протокол № 2 від 28.06.2024

Харків, 2024

УДК 621.74:004.9
Д 30

Рецензенти:

О. В. Акімов, доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

О. І. Пономаренко, доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут».

Рекомендовано Вченою радою НТУ «ХПІ» як навчальний посібник для студентів і аспірантів закладів вищої освіти, протокол № 2 від 28.06.2024 р.

Автори: **Дьомін Дмитро Олександрович, Пензєв Павло Сергійович**

Д 30 Автоматизовані системи управління: навч. посіб. / Д. О. Дьомін, П. С. Пензєв. – Харків : ТОВ "ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ЦЕНТР ГРУП", 2024. – 130 с.

DOI: 10.62067/978-617-8242-09-1
ISBN 978-617-8242-09-1 (PDF)

Розглянута основна структура автоматизованих систем управління, їх класифікація, принципи побудови, технічні засоби, що входять до їх складу, а також функціональні схеми та технічні елементи таких систем на різних ділянках ливарного виробництва. Призначено для студентів першого та другого рівня вищої освіти за спеціальностями 131 «Прикладна механіка», 136 «Металургія» денної та заочної форм навчання при курсовому та дипломному проектуванні, а також може бути корисним аспірантам та студентам технічних спеціальностей.

Іл. 63. Табл. 7. Бібліогр. 10 назв.

ISBN 978-617-8242-09-1 (PDF)

УДК 621.74:004.9

Ця книга містить інформацію, отриману з достовірних і високоповажних джерел. Було докладено розумних зусиль для публікації достовірних даних та інформації, але автор і видавець не можуть взяти на себе відповідальність за достовірність усіх матеріалів або за наслідки їхнього використання. Автори та видавці намагалися відстежити власників авторських прав на всі матеріали, відтворені в цій публікації, і приносять вибачення власникам авторських прав, якщо дозвіл на публікацію в такому вигляді не був отриманий. Якщо якийсь матеріал не був визнаний захищеним авторським правом, будь ласка, напишіть нам і повідомте про це, щоб ми могли виправити це в будь-якому майбутньому перевиданні. Видавець, автори та редактори можуть з упевненістю стверджувати, що поради та інформація, наведені в цій книзі, є правдивими і точними на дату публікації. Ані видавець, ані автори, ані редактори не дають жодних гарантій, явних чи неявних, щодо матеріалів, які містяться в цій книзі, або за будь-які помилки чи упущення, які могли бути допущені.

Повідомлення про торгові марки: Назви продуктів або компаній можуть бути торговельними марками або зареєстрованими торговельними марками і використовуються лише для ідентифікації та пояснення без наміру порушити права на них.

ЗМІСТ

Передмова.....	1
Вступ.....	2
Розділ 1. Функціональні схеми автоматизації технологічних процесів ливарного виробництва	3
1.1. Схема автоматизації: загальне знайомство	3
1.2. Датчики	10
1.2.1. Термоперетворювачі	10
1.2.2. Витратоміри, рівнеміри, датчики положення	11
1.2.3. Датчики положення	16
1.3. Виконавчі механізми та регулюючі органи	22
1.4. Ланки систем автоматичного регулювання	33
1.5. Інженерні методи синтезу регуляторів.....	40
Розділ 2. Автоматизовані системи управління технологічними процесами плавки	46
2.1. Схема автоматизації плавки в вагранці	46
2.2. Схема автоматизації електродугової плавки.....	57
2.3. Схема автоматизації індукційної плавки	66
Розділ 3. Автоматизовані системи управління технологічними процесами виготовлення формувальної та стрижньової суміші	73
3.1. Автоматизація процесу підготовки піску	73
3.2. Автоматизація процесу переробки відпрацьованої формувальної суміші	75
3.3. Автоматизація процесу приготування глинисто-вугільної суспензії	76
3.4. Автоматизація процесу виготовлення суміші в змішувачах дискретної дії.....	78
3.5. Автоматизація процесу виготовлення суміші в змішувачах безперервної дії.....	81
3.6. Схема керування приводом змішувачів	83

Розділ 4. Автоматизовані системи управління технологічними процесами у формувально-заливальних відділеннях ливарних цехів.....	90
4.1. Автоматизація процесу виготовлення стрижнів	90
4.2. Автоматизація процесу виготовлення форм.....	94
4.3. Схема автоматизації процесу заливання форм	100
Розділ 5. Автоматизовані системи управління технологічними процесами вибивання очищення виливків	104
5.1. Автоматизована система очищення виливків	104
5.2. Система керування дробометним апаратом	106
Розділ 6. Синтез систем керування технологічними операціями ливарного виробництва на лініях	109
6.1. Принципи проектування систем керування ливарними машинами-автоматами	109
6.2. Приклад логічного синтезу системи керування формувальним автоматом	119
Список літератури	122

СПИСОК ТАБЛИЦЬ

1.1.	Умовні позначення елементів функціональних схем	6
1.2.	Характеристики термопар	10
1.3.	Рівняння кривих розгону для різних ланок САР	38
1.4.	Вибір типу регулятора	43
2.1.	Контрольовані параметри та технічні засоби автоматизації технологічного процесу плавки в вагранці	46
2.2.	Контрольовані параметри та технічні засоби автоматизації плавки в електродуговій печі	59
2.3.	Контрольовані параметри та технічні засоби автоматизації плавки в індукційній печі	67

СПИСОК РИСУНКІВ

1.1.	Функціональна схема управління процесом неперервної розливки сталі	8
1.2.	Схема автоматизації теплового режиму міксеру для витримки рідкого чавуну	9
1.3.	Приклад установки термопари в корпус плавильної печі	11
1.4.	Схема до звужувального пристрою	12
1.5.	Схема диференціального манометру	12
1.6.	Конструкція диференціального манометру	14
1.7.	Схема авторегулювання витрати матеріалів в процесі виготовлення суміші	15
1.8.	Схема вагового дозування сипучих матеріалів	16
1.9.	Двопозиційний розподільник з електрогідравлічним керуванням	18
1.10.	Приклад структури системи управління технологічними операціями, що використовує в якості датчиків перемикачі кінцеві	19
1.11.	Система гальмування з використанням перемикача шляхового	20
1.12.	Приклад конструкції реле часу	21
1.13.	Схема нульового захисту	23
1.14.	Схема захисту електродвигуна тепловими реле	25
1.15.	Приклад конструкції пневмоциліндра	27
1.16.	Конструкція позиційного пневматичне реле	28
1.17.	Схема принципова блоку попередження	30
1.18.	Класифікація основних типів ланок САР	34
1.19.	Крива розгону та її обробка для статичної ланки першого порядку	35
1.20.	Крива розгону та її обробка для ланки другого порядку	35
1.21.	Визначення параметрів ОУ за кривими розгону	41
1.22.	Графіки для перевірки	45
2.1.	Схема автоматизації плавки в вагранці	48
2.2.	Візуалізація температурного профілю вагранки за зонами завантаження	49

2.3. Спрощена схема управління процесом ваграночної плавки	50
2.4. Принцип розстановки датчиків відповідно до точок D-оптимального плану	52
2.5. Блок-схема частини системи управління завантаженням, що включає регулювання температурного режиму та продуктивності вагранки шляхом подачі робочої паливної та металевої колош	56
2.6. Елемент системи керування шиберами бункерних заслінок	57
2.7. Схема автоматизації плавки в електродуговій печі	58
2.8. Схема заливальної ділянки системи «електродугова піч – ливарний конвеєр»	60
2.9. Етапи плавки в електродуговій печі, по яких формується управління процесом	61
2.10. Схема автоматичного регулювання електричного режиму для однієї фази	63
2.11. Функціональна схема однієї фази регулятора потужності на тиристорах	64
2.12. Схема автоматизації подачі кисню в дугову сталеплавильну піч	65
2.13. Схема автоматизації індукційної плавки	66
2.14. Схема індукційної плавки чавуну та графіки потужності, що підводиться по етапах плавки	69
2.15. Схема регулювання температурного режиму індукційної плавки	70
3.1. Схема автоматизація процесу підготовки піску	74
3.2. Схема автоматизації цього процесу переробки відпрацьованої суміші мокрим способом	75
3.3. Схема автоматизації процесу приготування глинисто-вугільної суспензії	77
3.4. Схема автоматизації змішувача дискретної дії	79
3.5. Схема автоматизації змішувачів безперервної дії	81
3.6. Схема управління приводом змішувачів	85
3.7. Приклад схеми управління електромагнітами виконавчих механізмів з використанням КЕП та циклограми роботи електромагнітів	87

3.8.	Принципова схема командоапарату роторного типу на прикладі керування двома циліндрами	88
3.9.	Принципова схема крокового командоапарату та схема його включення на прикладі керування двома циліндрами	89
4.1.	Схема автоматизації процесу виготовлення стрижнів	90
4.2.	Система затримки	91
4.3.	Конструкція дроселю зі зворотнім клапаном	92
4.4.	Схеми дросельного регулювання	93
4.5.	Схема автоматизації пресової формувальної машини	94
4.6.	Багатoeлементна система управління процесом виготовлення форм на струшуючих машинах з підпресуванням	96
4.7.	Принципова схема одноелементної системи управління	98
4.8.	Схема автоматизації процесу заливання форм	101
4.9.	Схема дозування розплаву	103
5.1.	Схема автоматизації очищення лиття	105
5.2.	Схема автоматизації процесу зачистки виливків	106
5.3.	Схема керування приводом завантаження барабана	107
6.1.	Приклад блок-схеми системи керування	113
6.2.	Циклограма роботи формувального автомату	120
6.3.	Процедура синтезу системи керування	121

ПЕРЕДМОВА

Навчальний посібник призначений для студентів першого та другого рівня вищої освіти за спеціальностями 131 «Прикладна механіка», 136 «Металургія» денної та заочної форм навчання при вивченні дисциплін «Засоби автоматизації в ливарному виробництві», «Основи автоматичного управління», «Автоматизація металургійного виробництва», «Автоматизація ливарного виробництва», а також в рамках курсового та дипломного проектування.

Особливістю даного посібника є мінімум теоретичних даних та акцент на практичну інформацію, що потрібна для інженерів-технологів ливарного та металургійного виробництва. Відповідно до вимог таких виробництв, знання студентів мають стосуватися перш за все не розробки, побудови та створення автоматизованих систем управління на виробництві, а глибокого розуміння суті технологічних процесів, вхідних та вихідних параметрів цих процесів. Такі знання мають бути в нагоді при управлінні процесами ливарного та металургійного виробництва задля забезпечення перш за все вимог якості готової продукції, продуктивності та мінімізації ресурсо- та енерговитрат виробництва.

ВСТУП

Автоматизована система управління технологічними процесами (АСУ ТП) є замкнутою системою, що автоматизовано збирає та обробляє необхідну інформацію для оптимізації управління технологічним об'єктом за визначеними критеріями, а також здійснює керуючі впливи на цей об'єкт.

Залежно від рівня автоматизації АСУ ТП, об'єктами управління можуть бути окремі агрегати чи устаткування, групи верстатів, окремі виробничі ділянки або виробництва, що реалізують індивідуальні технологічні або виробничі процеси. Досягнення поставлених цілей автоматизованих систем управління технологічними процесами можна характеризувати за допомогою критеріїв управління, якими можуть бути якість готової продукції, продуктивність, ресурсовитрати, енергетичні витрати на реалізацію технологічних процесів. Особливо важливість якісного управління за цими критеріями актуальна для енерго- та ресурсоемних ливарного та металургійного виробництва, які є, до того ж, слабо формалізованими.

Важливим аспектом автоматизованих систем управління технологічними процесами є здатність до управління у реальному часі. Це означає, що інформація про стан технологічного процесу має передаватися та оброблятися з мінімальним затримкою, щоб на основі оперативного зворотного зв'язку виконувати функції керування чи приймати відповідні рішення щодо формування впливу на процес.

У системах реального часу вхідна інформація обробляється миттєво або за визначеною чергою пріоритетів. Кожному завданню відводиться конкретний обмежений проміжок часу для виконання. Черговість вирішення завдань управління визначається системою пріоритетів. Автоматичний розподіл обчислювального часу дозволяє використовувати комп'ютери для спілкування та обміну інформацією, користуючись доступом до широких знань та високої продуктивності обчислень.

РОЗДІЛ 1

ФУНКЦІОНАЛЬНІ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

***Мета розділу:** пояснити структуру функціональних схем автоматизації та ознайомити з елементами цих схем.*

Робочі питання:

- 1. Схема автоматизації: загальне знайомство та позначення елементів.*
- 2. Датчики основних параметрів технологічних процесів.*
- 3. Виконавчі механізми та регулюючі органи.*
- 4. Ланки систем автоматичного регулювання (САР).*
- 5. Інженерні методи синтезу регуляторів.*

1.1. Схема автоматизації: загальне знайомство

Функціональні схеми автоматизації є основними кресленнями, що визначають характер побудови системи автоматизації технологічного процесу. Систему автоматизації на цих схемах представляють у вигляді функціонально-блочних вузлів автоматичного контролю, управління та регулювання, що дають повне уявлення про оснащення об'єкта приладами та засобами автоматизації, у тому числі засобами телемеханіки та обчислювальної техніки.

При складанні функціональних схем насамперед слід розглянути такі питання:

- отримання первинної інформації про стан технологічного процесу та обладнання;
- безпосередній вплив на технологічний процес та управління ним;
- стабілізація технологічних параметрів процесу;
- контроль та реєстрація технологічних параметрів процесу та стану технологічного обладнання.

У процесі складання функціональних схем здійснюють:

- вибір методів виміру технологічних параметрів;

- вибір основних технічних засобів автоматизації, що найбільш повно відповідають пред'явленим вимогам та умовам роботи об'єкта;

- вибір приводів регулюючих та запірних органів технологічного обладнання, керованого автоматично чи дистанційно;

- розміщення засобів автоматизації на щитах, пультах, технологічному обладнанні та трубопроводах тощо та визначення способів подання інформації про стан технологічного процесу та обладнання.

Функціональну схему виконують у вигляді креслення, на якому схематично умовними зображеннями показують:

- технологічне обладнання;

- комунікації;

- органи управління та засоби автоматизації із зазначенням зв'язків між технологічним обладнанням та засобами автоматизації, а також зв'язків між окремими функціональними блоками та елементами автоматики.

Загалом АСУ ТП забезпечує:

- стеження за технологічними процесами, положенням та станом обладнання;

- автоматизований та централізований контроль та облік;

- видачу керуючих сигналів у локальні системи автоматичного керування;

- видачу поточної технологічної інформації оператором.

У табл. 1.1 наведено приклади умовних позначень елементів функціональних схем автоматизації.

Для прикладу може бути представлено АСУ ТП виплавки та безперервного розливання сталі у сталеплавильних виробництвах АСУ ТП цих виробництво складається з двох підсистем:

- управління процесом виплавки сталі;

- управління процесом безперервного розливання сталі.

Наприклад, основні функції АСУ ТП виплавки та безперервного розливання сталі в киснево-конвертерному цеху можуть бути сформульовані наступним чином:

1. Інформаційні та інформаційно-обчислювальні функції.

До цих функцій відносяться:

- 1.1. Контроль параметрів:

– вимірювання температури чавуну; контроль кількості сипких матеріалів; контроль за положенням конвертера; вимірювання витрати та контроль параметрів кисню; вимірювання витрати та контроль параметрів води на охолодження фурм; вимірювання температури металу у конвертері; визначення окиснення металу; визначення вмісту вуглецю в металі; фіксація часу продування з сигналізацією закінчення заданого часу; контроль складу та температури відхідних газів; вимірювання температури рідкої сталі в сталерозливному та проміжному ковшах;

– вимірювання маси сталі в сталерозливному ковші; вимірювання рівня металу у проміжному ковші; вимірювання рівня металу у кристалізаторі; визначення швидкості витягування зливка; вимірювання зусилля витягування зливка із кристалізатора; вимірювання витрати та параметрів води, що подається на кристалізатор; вимірювання витрати та параметрів води, що подається на вторинне охолодження; вимірювання температури поверхні зливка; вимірювання витрати технологічного мастила;

– вимірювання зусиль на опорні валки на ділянці правки зливка; визначення загальної та мірної довжини зливка; аварійна сигналізація основних технологічних параметрів.

1.2. Розрахункові функції:

– розрахунок металевої частини шихти та видача рекомендацій щодо витрати чавуну та лому; розрахунок витрати сипких матеріалів та видача рекомендацій; розрахунок витрати феросплавів та видача рекомендацій; розрахунок загальної кількості кисню на плавку; розрахунок швидкості вигорання вуглецю; розрахунок поточного вмісту вуглецю в металі; розрахунок основних параметрів режиму розливу (швидкості розливу, витрати мастила, витрат охолоджувальної води на кристалізатор і вторинне охолодження); розрахунок теплового стану та товщини скоринки зливка в зоні вторинного охолодження; розрахунок техніко-економічних показників.

2. Функції управління:

– витрата кисню на продування; положення продувної фурми; тиск газів на виході з конвертера (у конвертерах без дожигання); рівень металу у проміжному ковші; рівень металу у кристалізаторі; витрати води на кристалізатор; витрата води за секціями вторинного охолодження; витрата технологічного мастила;

– управління процесами: дозування та завантаження сипких матеріалів; продувки; дозування розплаву; пусковим режимом; режимом вторинного охолодження зливка; порізом зливка на мірні довжини; оптимальним розкромом зливка з метою зменшення відходів; витяжки зливка.

Таблиця 1.1 – Умовні позначення елементів функціональних схем

Позначення	Вимірювана величина		Функції, що виконуються приладом		
	Основне значення першої літери	Додаткове значення, яке уточнює значення першої літери	Відображення інформації	Формування вихідного сигналу	Додаткове значення
1	2	3	4	5	6
A	–	–	Сигналізація	–	–
B	Резервна буква	–	–	–	–
C	–	–	–	Регулювання, керування	–
D	Густина	Різниця, перепад	–	–	–
E	Будь-яка електрична величина	–	–	–	Чутливий елемент
F	Витрата	Співвідношення, частка, дріб	–	–	–
G	Розмір, положення, переміщення	–	–	–	–
H	Ручний вплив	–	–	–	Верхня межа вимірюваної величини

Продовження Таблиці 1.1					
1	2	3	4	5	6
I	–	–	Показан- ня	–	–
J	–	Автоматичне перемикання	–	–	–
K	Час, тим- часова програма	–	–	–	Станція керування
L	Рівень	–	–	–	Нижня межа ви- мірюваної величини
M	Вологість	–	–	–	–
O, N	Резервні букви	–	–	–	–
P	Тиск, вакуум	–	–	–	–
Q	Розмір, що харак- теризує якість: склад, концен- трація тощо	Інтегру- вання, підсумо- вування за часом	–	–	–
R	Радіоак- тивність	–	Реєстра- ція	–	–
S	Швид- кість, частота	–	–	Увімкнен- ня, відключення, перемикання, сиг- налізація	–
T	Темпера- тура	–	–	–	Дистан- ційна передача
U	Декілька різнорід- них вимі- рюваних величин	–	–	–	–

Продовження Таблиці 1.1

1	2	3	4	5	6
V	В'язкість	—	—	—	—
W	Маса	—	—	—	—
Y	—	—	Перетворення	—	—

На рис. 1.1 для прикладу представлена функціональна схема управління процесом неперервної розливки сталі, а на рис. 1.2 схема автоматизації теплового режиму міксеру для витримки рідкого чавуну.

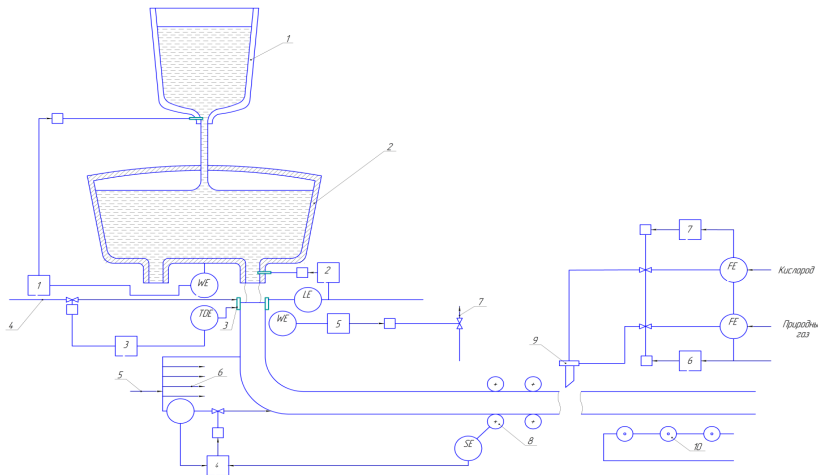


Рис. 1.1 – Функціональна схема управління процесом неперервної розливки сталі: 1 – сталерозливальний ківш; 2 – проміжний ківш; 3 – кристалізатор; 4 – вода на охолодження кристалізатора; 5 – вода на вторинне охолодження; 6 – вода на секції вторинного охолодження; 7 – технологічне мастило в кристалізаторі; 8 – тягнуча кліть; 9 – газорізка; 10 – рольганг

Газокисневі пальники для різання зливка на мірні довжини переміщуються зі швидкістю, що дорівнює швидкості руху зливка.

Точне дотримання мірної довжини забезпечується спеціальною апаратурою, що складається з датчика імпульсів, встановленого на валу редуктора тягнучої кліті, і лічильника імпульсів. По досягненні заданого значення довжини зливка видається сигнал на початок різання. В такий спосіб формуються готові злитки мірної довжини.

Автоматизація теплового режиму міксера передбачає контроль:

- витрати та тиску природного газу та повітря;
- температури рідкого чавуну, кожуха міксера та зводу міксера.

Регулюють лише задану витрату природного газу. Значення контрольованих та регульованих параметрів вказані на схемі.

Загалом автоматизація в міксерному відділенні цеху зводиться до наступного:

- автоматичного зважування та обліку чавуну, що надходить з доменного цеху і подається в мартенівську піч або конвертер;
- визначення складу чавуну, що зливається з міксера;
- вимірювання температури чавуну при зливі з міксера (для конвертерних цехів);
- автоматизації теплового режиму міксера.

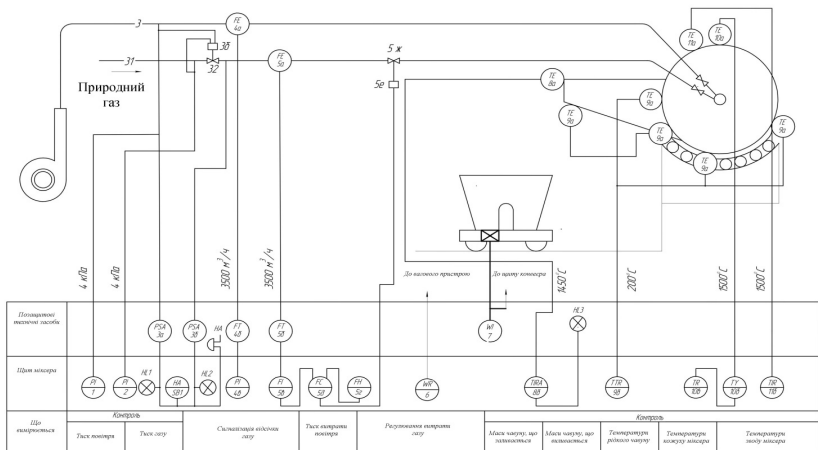


Рис. 1.2 – Схема автоматизації теплового режиму міксера для витримки рідкого чавуну

1.2. Датчики

1.2.1. Термоперетворювачі

Термоперетворювачі або датчики температури є первинною частиною пристрою, безперервно перетворює температуру в конкретне значення опору або термо-е.р.с., використовуване вторинним пристроєм для вимірювання, контролю або регулювання температури. У термоперетворювачах мідних (ТСМ) і платинових (ТСП) використовується залежність опору від температури, а в перетворювачах термоелектричних (ТХА, ТХК) – залежність термоелектрорушійної сили, що генерується (е.р.с.) від температури.

В табл. 1.2 наведені приклади характеристик термоелектричних термоперетворювачів (ТП).

Таблиця 1.2 – Характеристики термопар

Тип	Найменування	Робочий діапазон, °С	Позначення
ХК	Хромель-копель	–40...600	L
ЗК	Залізо-константан	–40...750	J(Fe-CuNi)
ХА	Хромель-алюмель	0...1200	K(NiCr-NiAl)
НН	Нікросил-нісил	0...1250	N(NiCrSi-NiSi)
ПП	Платинородій-платина	0...1300	S(Pt10Rh-Pt)
ПП	Платинородій-платина	0...1300	R(Pt13Rh-Pt)
ПР	Платинородій-платина	600..1600	B(Pt30Rh-Pt6Rh)

На рис. 1.3 наведено приклад установки термопари в корпус плавильної печі для вимірювання температури в робочому просторі.

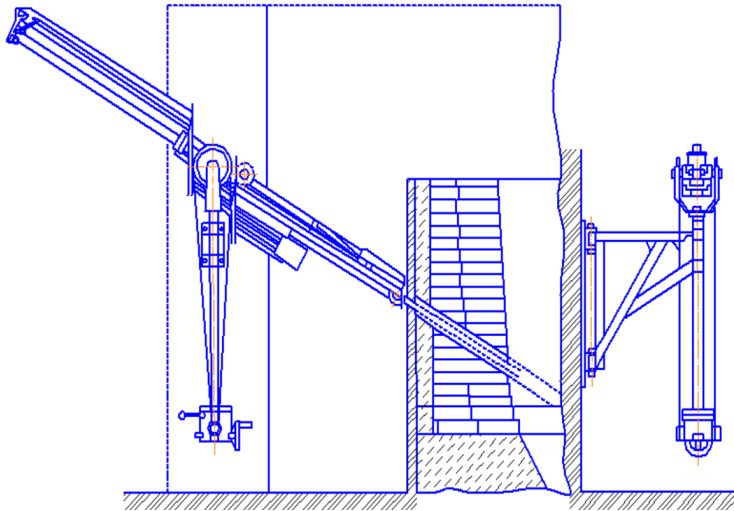


Рис. 1.3 – Приклад установки термопари в корпус плавильної печі

1.2.2. Витратоміри, рівнеміри, датчики положення

Витратоміри призначені для вимірювання та контролю потоку рідини та газів. Принцип роботи витратомірів заснований на вимірі різниці тисків до і після звужувального пристрою (рис. 1.4) в корпусі витратоміра. Різниця тисків прямо пропорційна значенню витрати.

Для вимірювання витрати речовини можуть використовуватися звужувальні пристрої: нормальна діафрагма (рис. 1.4 а), нормальне сопло Вентурі (рис. 1.4 б) та нормальна труба Вентурі (рис. 1.4 в). Найбільшу втрату тиску має діафрагма, найменшу – труба Вентурі.

Ідея витратомірів, заснована на методі змінного перепаду тисків, полягає в наступному: при проходженні рідини через звужуючий пристрій її швидкість збільшується. Потенційна енергія потоку перетворюється на кінетичну і, отже, тиск рідини перед звужуючим пристроєм, що звужує, виявляється більше, ніж у місці звуження струменя.

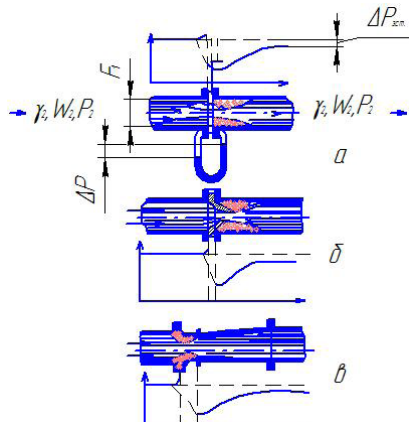


Рис. 1.4 – Схема до звужувального пристрою:
 а – нормальна діафрагма; б – нормальне сопло Вентурі;
 в – нормальна труба Вентурі

Перепад тисків на звужуючому пристрої вимірюється диференціальними манометрами найрізноманітніших конструкцій (U-образні, дзвонові, кільцеві, мембранні, сильфонні). Для демонстрації принципу вимірювання на рис. 1.5 приведено схему диференціального манометру.

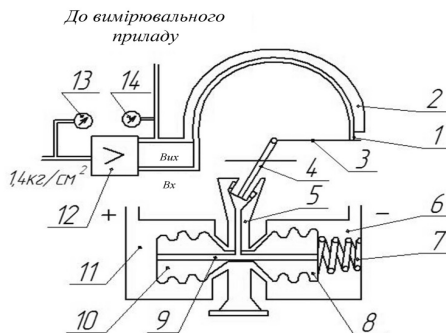


Рис. 1.5 – Схема диференціального манометру

Вимірювальні сифони 8 і 10 з'єднані між собою за допомогою штока 9, прикріпленого до донця. Внутрішні порожнини сифонів заповнені спеціальною рідиною і герметично ущільнені. У ліву порожнину подається більший тиск, під дією якого лівий сифон стискається, рідина перетікає у правий сифон. При цьому переміщується шток 9 і через важіль 5 закручує торсіонну трубку 4, вільний кінець якої повертає заслінку 3 пропорційно перепаду тисків в камерах диференціального манометра. При збільшенні перепаду тисків заслінка 3 наближається до пневматичного сопла 1, з якого безперервно виходить повітря. Зменшення зазору між соплом і заслінкою призводить до підвищення тиску в лінії сопла. Воно посилюється по потужності за допомогою підсилювача 12 і подається в трубку Бурдона, що охоплює канал сопла, і на вихід диференціального манометра, що підключається до вторинного приладу. Трубка Бурдона виконує роль жорсткого зворотного зв'язку, що забезпечує переміщення сопла на ту ж саму величину, що і заслінки.

Переміщується сопло внаслідок збільшення чи зменшення тиску у трубці Бурдона. Воно лінійно змінюється в залежності від величини переміщення заслінки, забезпечуючи лінійну залежність між перепадом тисків на диференціальному манометрі і вихідним тиском стисненого повітря. З виходу датчика витрати – діафрагми в комплекті з дифманометром – стиснене повітря подається на пневматичний регулятор. Варіант конструкційного рішення щодо диференціального манометру наведено на рис. 1.6.

Чутливим елементом приладу є сифон 1, поміщений усередині корпусу 6. Зусилля, створюване сифоном, внаслідок різниці тисків, врівноважується пружиною 2, натяг якої регулюється гвинтом. Переміщення дна сифона передається пов'язаному з ним плунжеру 5 індукційного датчика 4. Плунжер рухається всередині немагнітної трубки 3, ізолюючої порожнину датчика, що знаходиться під тиском, від зовнішніх його деталей.

Окрім диференціальних манометрів для вимірювання тиску та перепаду тиску використовуються мембранні та сифонні вимірювальні пристрої.

Мембранні вимірювальні пристрої застосовуються для вимірювання тисків, розріджень та різниці тисків неагресивних газів при температурі не вище 50 °С.

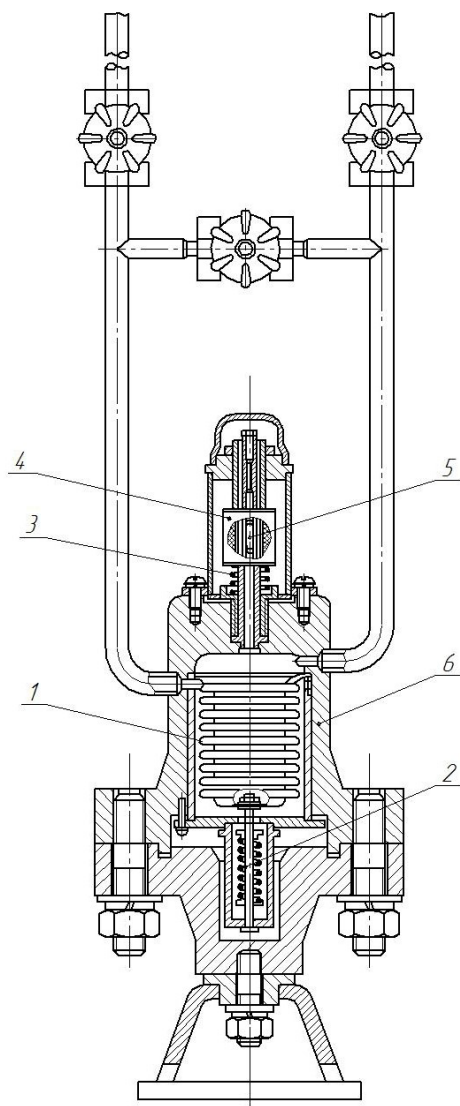


Рис. 1.6 – Конструкція диференціального манометру

Сильфонні вимірювальні пристрої – це пристрої, в яких чутливим елементом є гармонікова мембрана – сильфон. Сильфонні вимірювальні пристрої служать для вимірювання тисків або перепаду тисків з верхніми межами тиску $(0,5-125) \cdot 10^5$ Па, а по перепаду 400–1000 мм рт. ст.

Рівноміри – це прилади для промислового вимірювання або контролю рівня рідини та сипучих речовин у резервуарах, сховищах, технологічних апаратах тощо. Рівноміри також називають датчиками рівня, перетворювачами рівня. В практиці ливарного виробництва використовують ультразвукові рівноміри для безконтактного неперервного вимірювання, радіаційні рівноміри, мікрохвильові сигналізатори рівня. Принцип дії останніх заснований на ослабленні радіосигналу, що проходить від генератора до приймача крізь шар сипучого продукту.

На рис. 1.7 представлено приклад оформлення на схемах автоматизації витрати сипучих в процесі виготовлення формувальної чи стрижньової суміші.

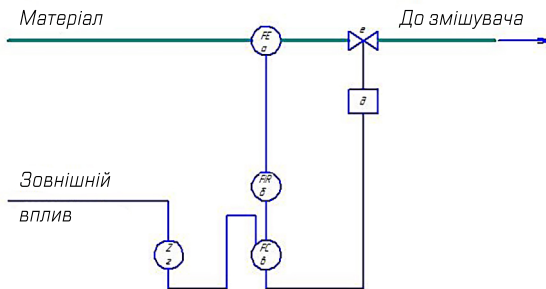


Рис. 1.7 – Схема авторегулювання витрати матеріалів в процесі виготовлення суміші

Визначення витрати сипучих матеріалів та автоматизація процесу завантаження їх у відповідне технологічне обладнання можливе також на основі вагового дозування (рис. 1.8).

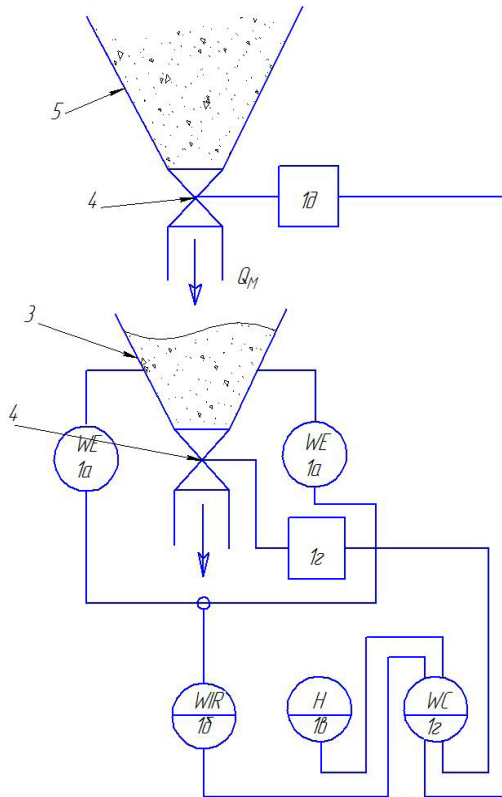


Рис. 1.8 – Схема вагового дозування сипучих матеріалів

1.2.3. Датчики положення

В практиці використовуються датчики положення безконтактного та контактного типів.

До датчиків безконтактного типу відносяться:

- ємнісні;
- індуктивні;
- оптичні.

Смнісні датчики використовують для контролю переміщення або наявності в конкретній зоні будь-якого матеріалу, у тому числі рідкого або сипучого.

Індуктивні датчики використовують для контролю положення об'єкту з металу і спрацьовують при його наближенні. Об'єктом може бути як металевий елемент конструкції, так і металева пластина, прикріплена до будь-якої частини устаткування, що рухається.

Оптичні датчики дозволяють визначати переміщення чи наявність об'єкту, а також контролювати розміри об'єктів з непрозорих матеріалів.

До датчиків положення контактного типу відносяться вимикачі і перемикачі кінцеві та шляхові. Це комутуючі пристрої, призначенням яких є контроль, обмеження, блокування, а також зміна напрямку переміщення виконавчого механізму. Такі датчики знайшли широке використання саме в ливарному виробництві. Електричний сигнал знімається з таких датчиків, що є за суттю електромеханічними перетворювачами, при механічній дії на кінцевий вимикач з боку рухомих частин обладнання, наприклад пневмоциліндрів. Цей сигнал поступає в систему керування, що формує відповідно до циклограми роботи машини сигнал керування на електромагніти розподільників. Таким чином, вихідний сигнал з приводу є входним сигналом для системи керування, а вихідний сигнал системи керування є входним сигналом для приводу. Отримавши сигнал, електромагніт розподільника переміщує золотник розподільника та перенаправляє стиснене повітря (в пневмоциліндрі) або рідину (в гідроциліндрі) в іншу порожнину. Приклад конструкції розподільника представлено на рис. 1.9.

Результатом цього є рух поршня зі штоком в зворотному напрямку. На рис. 1.10 представлено приклад структури системи управління умовним обладнанням, де операції здійснюються двома циліндрами – вертикальним та горизонтальним. Такий варіант може застосовуватися, наприклад в плавильних печах, де горизонтальний циліндр рушить звід печі, а вертикальний – здійснює нахил для зливу металу; стрижньова машина, де горизонтальний циліндр рушить стрижньовий ящик, а вертикальний – здійснює підйом робочого столу, і т.д.

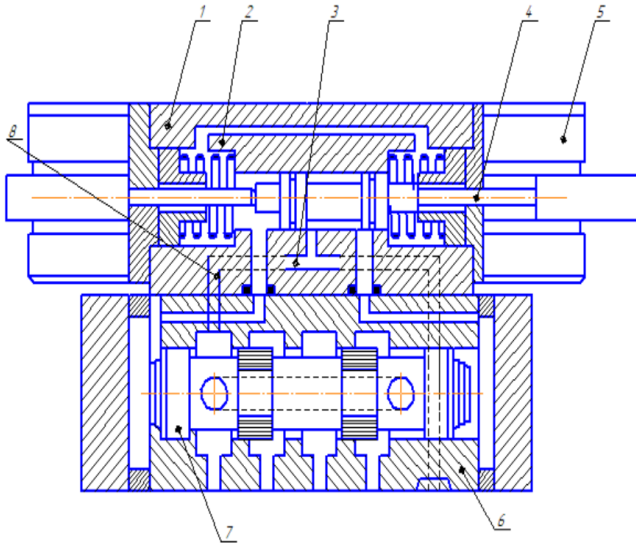


Рис. 1.9 – Двопозиційний розподільник з електрогідравлічним керуванням: 1 – розподільник з електричним керуванням; 2, 8 – канал; 3 – злотник допоміжний; 4 – штовхач; 5 – електромагніт; 6 – розподільник з гідравлічним керуванням; 7 – золотник головний

Такі системи включають в себе наступні елементи (рис. 1.10):

- циліндри I_i , що служать виконавчими механізмами;
- перемикачі кінцеві $K_i - K_{i+1}$, з яких знімаються вхідні сигнали X_i ;
- розподільники;
- логічні елементи АБО, які формують сигнал на електромагніти розподільників в залежності від того, звідки приходить вхідний сигнал – від системи автоматичного (з тригерів T_{pi}) чи ручного (Z_i) керування;
- тригери T_{pi} , як елементи пам'яті, функцією яких є запам'ятовування вхідного сигналу X_i в нефіксованих положеннях, тобто в проміжок часу, коли шток циліндру вже рушив, звільнивши ближчий кінцевий перемикач, але ще не дістався дальнього кінцевого перемикача.

Перемикачі шляхові можуть не лише використовуватися для формування сигналу на рух виконавчих механізмів, але й приймати участь в гальмуванні елементів обладнання. Приклад такого використання представлено на рис. 1.11.

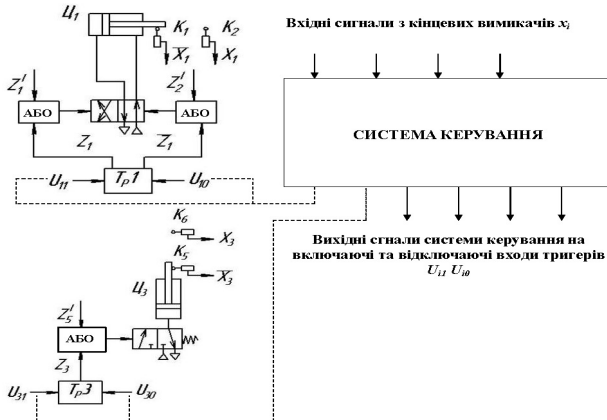


Рис. 1.10 – Приклад структури системи управління технологічними операціями, що використовує в якості датчиків перемикачі кінцеві

Система призначена для гальмування процесів переміщення опок штанговими штовхачами на ливарному конвеєрі або форм на автоматичних лініях. Це потребує, щоб інерційні сили об'єктів, що переміщуються, не перевищували сил тертя при їх русі по склизях. Відповідний режим гальмування можуть забезпечити лише спеціальні дроселі саме з шляховим керуванням (рис. 1.11). У штанговому транспортері штанга 2, пов'язана зі штоком поршня циліндра 1, переміщує кулачками 3 опоки 4. При підході до упору 5 профільний кулачок 6 тисне на ролик 7 дроселя і шток 8 поступово зменшує прохідний перетин і, отже, прохід рідини через проточку у робочу порожнину циліндра. Швидкість поршня зменшується.

Необхідний закон зміни прохідного перерізу дроселя з колійним керуванням можна здійснити відповідним профілюванням кулачка 6. Зворотний клапан 10, змонтований у корпусі дроселя,

призначений для вільного проходження рідини при поверненні поршня зі штангою у вихідне положення.

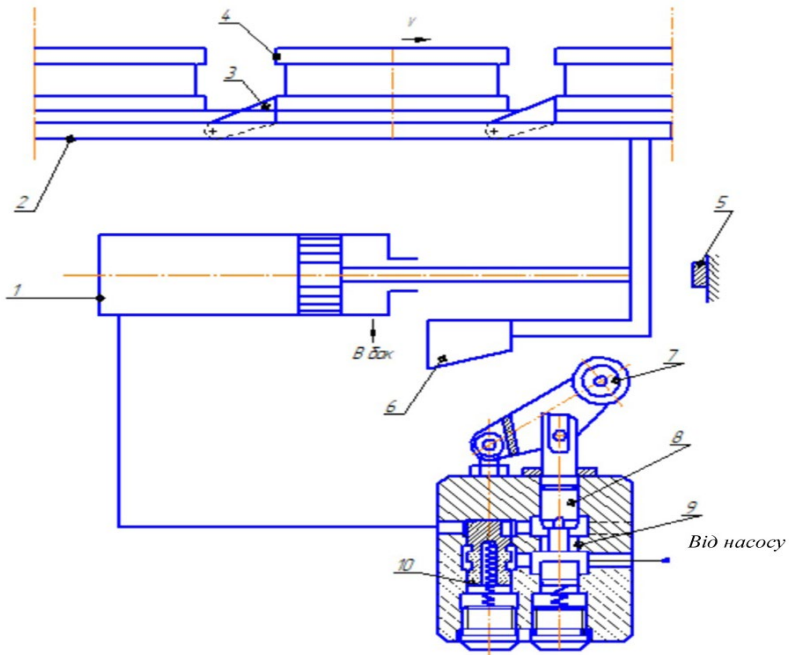


Рис. 1.11 – Система гальмування з використанням перемикача шляхового: 1 – циліндр; 2 – штанга; 3 – кулачок; 4 – опока; 5 – упор; 6 – кулачок профільний; 7 – ролик дроселя; 8 – шток

Описані системи, що використовують в якості датчиків положення датчики контактного типу, реалізують систему керування за шляхом. Але можливе керування і за часом, бо деякі технологічні операції потребують витримки чи затримки елементів обладнання протягом заданого проміжку часу. Для цього використовуються реле часу. Приклад одного з конструктивних рішень таких реле представлено на рис. 1.12.

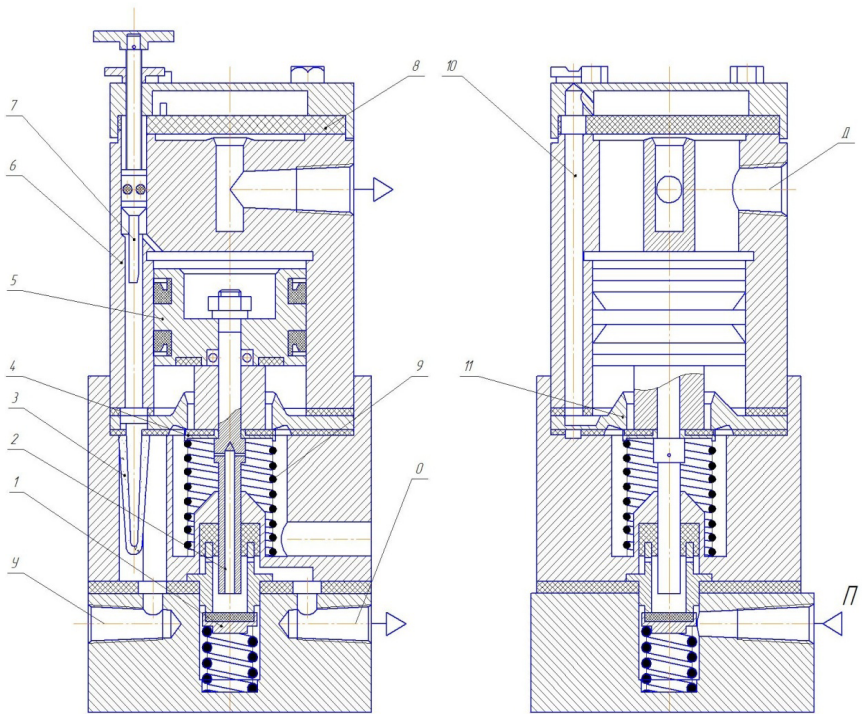


Рис. 1.12 – Приклад конструкції реле часу: 1 – клапан; 2 – товчак; 3 – металокерамічний фільтр; 4 – клапан; 5 – поршень; 6 – корпус; 7 – дросель; 8 – діафрагма; 9 – пружина; 10 – канали; 11 – сидло

Основне регулювання витримки часу здійснюється зміною прохідного перетину дроселя. Зі зменшенням цього перетину час спрацьовування реле збільшується. Витримка часу починається з подачі стисненого повітря в отвір У. повітря по ряду каналів 10 в корпусі 6 потрапляє в порожнину над діафрагмою 8 і притискає її до сидла корпусу 6, закриваючи вихід повітря в атмосферу. Через металокерамічний фільтр 3 і через дросель 7 повітря поступає у простір над поршнем 5. В початковий момент часу тиск під поршнем більше, ніж тиск над ним унаслідок малого прохідного

перетину в дроселі. В результаті клапан 4 притискається гумовим вкладишем до сідла 11. По досягненню визначеного тиску над поршнем останній переміщується вниз за рахунок різниці сил, зумовлених різницею активних площ поршня знизу і зверху. При відриві клапану 4 товкачем 2 від сідла 11 підпоршневий простір сполучається з атмосферою, тиск у ньому різко знижується, і поршень з товкачем 2 швидко переміщується вниз, відкриваючи клапан 1. Через відкритий клапан 1 стиснене повітря від отвору П проходить до отвору О і далі до пневматичного елемента, котрий має спрацювати.

Витримка часу закінчується в момент відкриття клапану 1. При знятті вхідного сигналу діафрагма 8 відходить від сідла корпусу 6 і з'єднує над поршневий простір з атмосферою. Пружиною 9 поршень 5 повертається в початкове положення. Тривалість витримки визначається налагодженням дроселю. Чим меншим буде пропускний перетин, тим більше витримка. Для збільшення витримки об'єм над поршневого простору збільшують підключенням до отвору Д додаткової ємності.

1.3. Виконавчі механізми та регулюючі органи

Виконавчі механізми є елементами систем автоматичного регулювання (САР), що призначені для приведення в дію регулюючих органів, які здійснюють безпосередній вплив на об'єкт з метою усунення неузгодження фактичного значення параметру, що контролюється, та заданого значення.

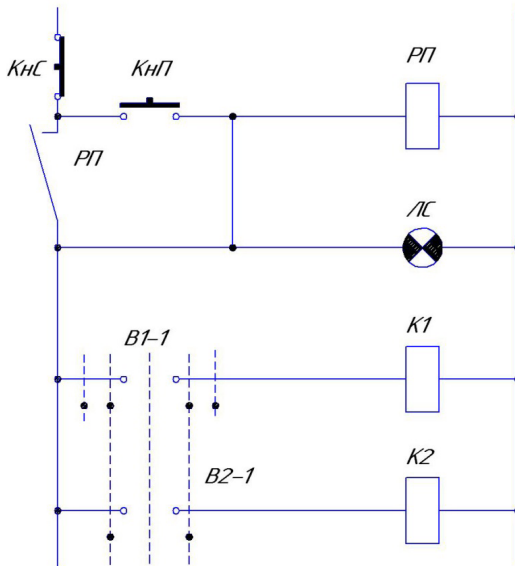
До виконавчих механізмів відносяться електропривод, пневмопривод, гідропривод.

За структурою електропривод можна поділити на силові елементи та пристрої (систему) керування. Основним силовим елементом електроприводу є електродвигун. З робочими органами машини електродвигуни з'єднуються безпосередньо чи через проміжні механізми за необхідності узгодження параметрів руху. Відповідно до заданих швидкісних і силових режимів роботи машини система управління електроприводом здійснює управління двигуном або проміжним механізмом, забезпечує необхідну послідовність роботи приводів окремих механізмів, захист двигунів, різні

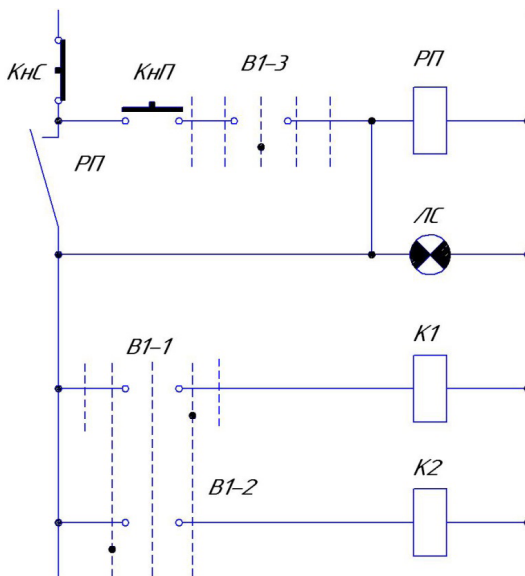
блокування і виконує інші допоміжні функції, наприклад, сигналізує про перебіг технологічного процесу.

Апаратура управління двигуном включає, відключає та реверсує двигун та формує його характеристики, максимально наближаючи їх до технологічно необхідних. У ливарних машинах електропривод використовується для виконання основних технологічних, транспортних та допоміжних операцій.

В якості силового елемента електроприводу в ливарному виробництві знайшли найбільш широке застосування асинхронні електродвигуни. Керування роботою двигуна здійснюється зазвичай релейно-контактними схемами. Зважаючи на характер виробничих процесів ливарного виробництва особливої уваги потребують елементи систем захисту електродвигунів. В сучасній практиці ливарного виробництва використовуються два варіанти захисту: схема нульового захисту (рис. 1.13) та схема захисту тепловими реле (рис. 1.14).



a



б

Рис. 1.13 – Схема нульового захисту: *а* – ланцюг підготовки пуску включає обмотку проміжного реле, кнопки підготовки пуску і контакту реле; *б* – включення ланцюгу підготовки пуску натисканням кнопки КнП можна тільки в тому випадку, якщо командоконтролер знаходиться у вихідному (нульовому) положенні

При зменшенні напруги живлення нижче певної межі проміжне реле повертається у вихідне положення, відключаючи ланцюги управління і розриваючи ланцюг саможивлення обмотки РП. При відновленні напруги мережі для відновлення роботи необхідно знову натиснути кнопку підготовки пуску КнП.

Найчастіше ланцюг підготовки пуску включають контакти апаратів управління, замкнені в їх вихідному (нульовому) положенні, що викликає початок роботи машини безпосередньо після подачі напруги до ланцюга управління. Наприклад, у схемі, показаній на рис. 1.13 б, включити ланцюг підготовки пуску натисканням кнопки КнП можна тільки в тому випадку, якщо командоконтролер знаходиться у вихідному (нульовому) положенні (тобто

ланцюг управління послідовно з обмоткою контактора *K1*. При розмиканні кожного з них двигун відключається від мережі.

Пневмопривод ливарної машини включає в себе наступні пристрої: виконавчі, розподільні та керуючі.

Виконавчий пристрій або пневмодвигун перетворює енергію стисненого повітря на механічну енергію руху робочих органів машини, що виконують задану технологічну операцію.

Розподільні пристрої з'єднують робочі порожнини пневматичних виконавчих пристроїв із мережею, а порожнину вихлопу – з атмосферою.

Керуючі пристрої призначені для забезпечення заданої послідовності переміщення робочих органів машини відповідно до необхідного їхнього руху. Вони перемикають розподільники, регулюють витрату повітря, контролюють роботу пневмоприводу.

Пневматичні виконавчі пристрої складають основу пневмоприводу. По виду руху виконавчі пристрої поділяються на дві групи: зі зворотно-поступальним та обертальним рухом. До виконавчих пристроїв з прямолінійним зворотно-поступальним рухом відносяться пневмоциліндри та діафрагмові камери, до пристроїв з обертальним рухом – моментні циліндри та пневмомотори. Найбільш поширеними в системах автоматизації є пневмоциліндри. Приклад конструкції пневмоциліндра представлений на рис. 1.15.

Якщо потрібно здійснювати привід регулюючого клапана великих діаметрів, то в процесі регулювання застосовуються пневматичне позиційні реле, які є додатковим підсилювачем.

Приклад одного з варіантів принципової конструкції позиційного пневматичного реле показана на рис. 1.16.

Реле працює в такий спосіб. На вхід підсилювача в порожнину над сильфоном *1* подається тиск повітря з виходу другого каскаду попереднього підсилювача. Наприклад, при зростанні його величини, денце сильфона *1* рухається вгору і, повертаючи за годинною стрілкою важіль *3* біля осі *7*, переставляє також вгору дросельний клапан *10*. При цьому збільшується переріз впускного отвору, через який подається повітря від живильної магістралі в робочу камеру і зменшується переріз випускного отвору, що з'єднує ту саму камеру з атмосферою.

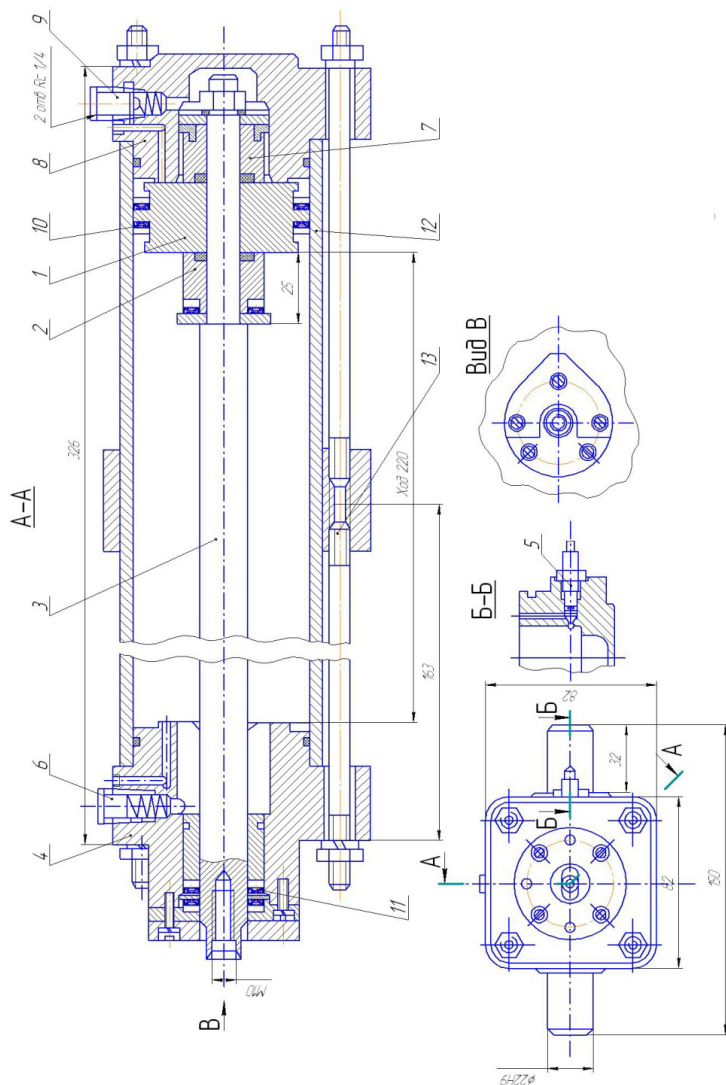


Рис. 1.15 – Приклад конструкції пневмоциліндра: 1 – поршень; 2, 7 – втулка; 3 – шток; 4 – кришка передня; 5 – штуцер; 6, 9 – отвори; 8 – кришка задня; 10, 11 – ущільнювач; 12 – гільза; 13 – стяжка

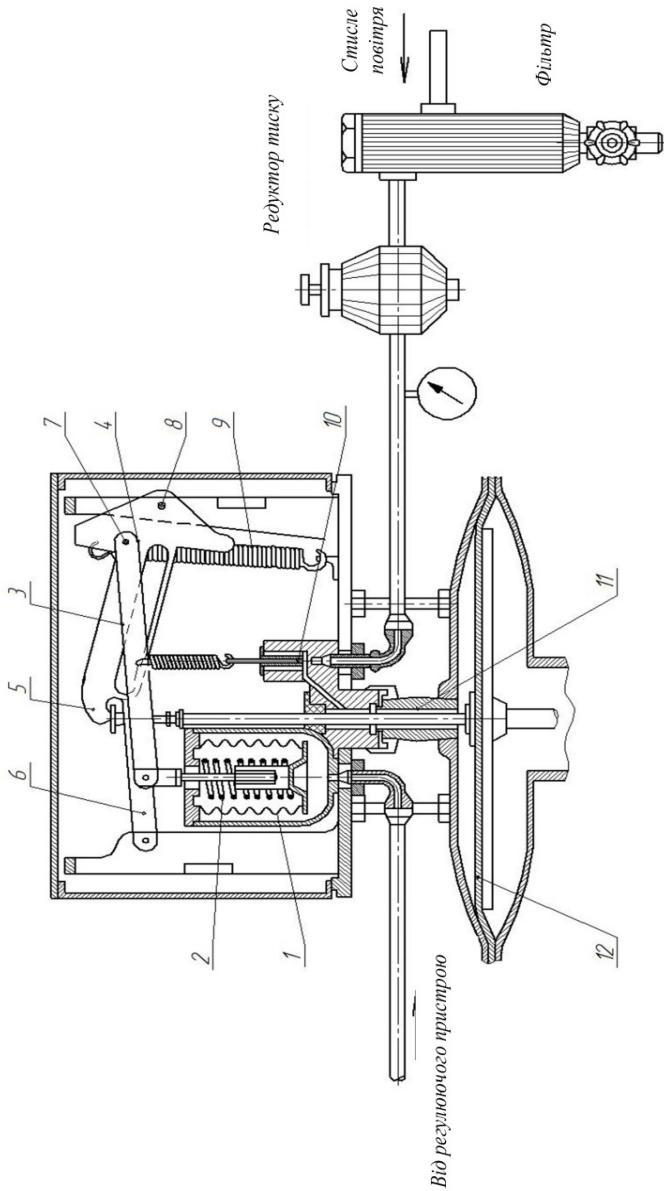


Рис. 1.16 – Конструкція позиційного пневматичне реле: 1 – сильфон; 2, 9 – пружина;
3, 5, 6 – важіль; 4 – опора; 7, 8 – вісь обергання; 10 – клапан дросельний;
11 – шток; 12 – мембрана

Тиск повітря в камері виконавчого механізму зростає і мембрана 12 рухається вниз, переміщуючи регулюючий орган. Шток жорсткого зворотного зв'язку підсилювача 11 при цьому рухається вниз. Важіль 5, притиснутий до штока пружиною 9, обертається біля осі 8 проти годинникової стрілки, переміщуючи вниз опору 4, важіль 6 і вісь обертання 7 важеля 3. Лівий кінець важеля 3 під дією сильфона 1 рухається вгору, а правий кінець під дією виконавчого механізму одночасно рухається вниз. Пружина 2 повертає сильфон у початкове положення. Зі зміною положення опори 4 на важелі 5 змінюється довжина робочого ходу виконавчого механізму – тим менше, чим ближче опора 4 до штока 11.

Іноді регулювання потребує на власне значення параметра, а швидкість його зміни. В такому випадку в ланцюг регулювання вводиться блок попередження. Дія блоку попередження ґрунтується на принципі компенсацій сил. Вхідні сигнали у вигляді тиску стисненого повітря (від регулятора або датчика регульованого параметра) діють на мембрани мембранного вузла елемента попередження, створюючи зусилля, які врівноважуються силами, що розвиваються тиском повітря, що діє на мембрани позитивної та негативної (основної та додаткової) зворотних зв'язків. Цей тиск подається на вихід блоку попередження і є його вихідним сигналом. Ефект попередження створюється дроселюванням (гольчастим клапаном) потоку повітря в камеру додаткового негативного зворотного зв'язку – камеру попередження.

До основних елементів блоку попередження відносяться:

- елемент попередження, що включає вузол мембран та голчастий дросель;
- керуючий пристрій типу «сопло-заслінка»;
- підсилювальний пристрій.

Приклад конструкції блок попередження представлений на рис. 1.17.

Блок попередження виконаний у вигляді циліндра, що представляє собою набір відокремлених один від одного гнучкими мембранами з прогумованого полотна і стягнутих разом різьбовими шпильками та гайками.

З зовнішнього боку знаходиться головка налаштування часу попередження.

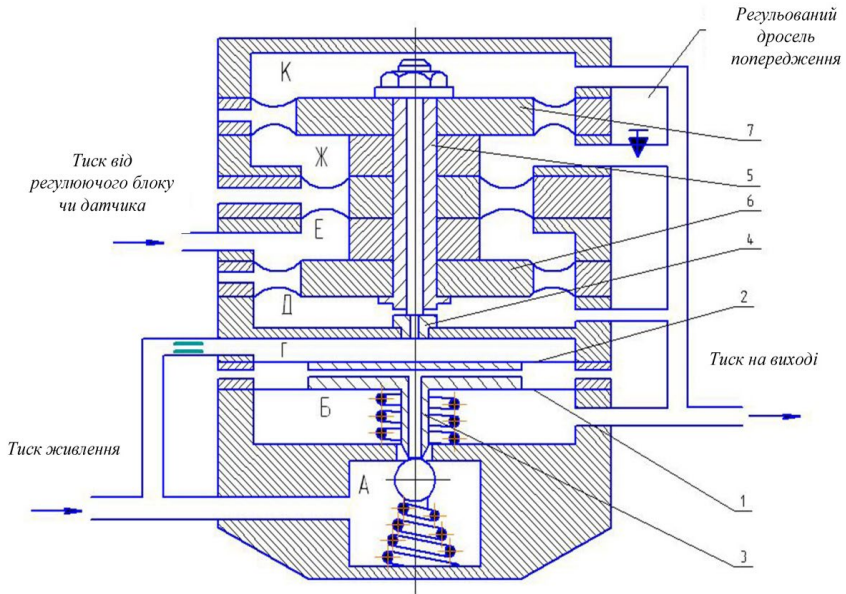


Рис. 1.17 – Схема принципова блоку попередження:
1, 2, 6, 7 – мембрани; 3 – стрижень; 4 – заслінка сопла;
5 – стрижень загальний

Принцип дії блоку полягає в наступному.

З лінії живлення стиснене повітря надходить у камеру А і через постійний дросель в камеру Г. З камери А стиснене повітря через відкритий кульковий клапан проходить в камеру Б, а звідти на вихід і в лінію зворотних зв'язків (позитивної та негативної). Безпосередньо над камерою Г підсилювального пристрою розміщена камера Д негативного зворотного зв'язку, відокремлена від камери Г жорсткою стінкою. У камеру Д стиснене повітря надходить з лінії зворотних зв'язків, і в ту ж камеру відбувається витік повітря з сопла 4.

Над камерою Д послідовно розташовані одна над одною камери Е, Ж і К, кожна з яких відділена від наступної гнучкими мембранами. Всі мембрани з'єднані загальним стрижнем 5, нижня частина якого служить заслінкою сопла 4. Камера Е служить вимірюваль-

ною камерою. У цю камеру надходить сигнал у вигляді тиску стисненого повітря від регулятора чи датчика регульованої величини. Камери *Ж* і *К* є відповідно камерами додаткового негативного зворотного зв'язку та позитивного зворотного зв'язку.

У камеру *Ж* повітря з лінії зворотних зв'язків надходить через дросель налаштування часу попередження.

Якщо тиск, що надходить у вимірювальну камеру *Е*, не змінюється, то блок знаходиться в рівновазі, і тиски в камерах *Б*, *Д*, *Е*, *Ж* і *К*, скріплених стрижнем 5, будуть рівні внаслідок рівності ефективних площ верхніх, середніх та нижніх мембран (кожної пари окремо). Тобто тиск у вихідній лінії блоку дорівнюватиме тиску на його вході.

Якщо, скажімо, вхідний тиск починає збільшуватися з постійною швидкістю, то рівновага блоку порушується і на мембранах виникає зусилля, яке спрямоване вниз, внаслідок того, що ефективна площа нижньої мембрани камери *Е* більша за ефективну площу верхньої мембрани тієї ж камери.

Під дією цього зусилля мембрани прогинаються вниз, і застінка стрижня 5 прикриває сопло 4, збільшуючи тиск в камері *Г* і переміщуючи вниз мембрани 1 і 2 підсилювального реле і порожнистого стрижня 3. Стрижень 3 натискає на кульковий клапан і відкриває його, в результаті чого тиск у камері *Б* та вихідній лінії блоку збільшується. Цей тиск надходить безпосередньо в камери *Д* і *К* негативного і позитивного зворотного зв'язку і через регульований дросель попередження в камеру *Ж*.

Так як ефективна площа мембрани 6 підбирається так, що вона трохи перевищує площу мембрани 7, то тиски в камерах *Д* і *К* майже врівноважують один одного, і, отже, величина зворотного зв'язку визначається в основному ступенем відкриття голчастого клапана дроселя попередження і швидкістю зміни тиску (пневматичного сигналу) на вході приладу. Завдяки цьому зміна тиску на виході блоку буде на певну величину випереджати тиск, що подається на його вхід.

Величина випередження буде тим більшою, чим більша швидкість зміни тиску на вході блоку, що дорівнює швидкості зміни параметра, і чим менше відкритий голковий клапан дроселя попередження.

Зі зменшенням швидкості зміни тиску на вході величина випередження зменшується і повністю зникає, коли тиск на вході не змінюється. При цьому тиски у камерах *Ж, Е, Д, Б і К* будуть однаковими.

Налаштування величини випередження, вираженої в одиницях часу або часу попередження, здійснюється обертанням головки регульованого дроселя попередження. Діапазон налаштування часу попередження відповідає 0,05–10 хв.

Що стосується гідроприводу, то він знайшов широке застосування в автоматизації ливарних процесів завдяки таким своїм особливостям: можливістю створення великих зусиль порівняно невеликими за габаритними розмірами силовими пристроями, безступінчастим регулюванням швидкості в широкому діапазоні, плавним ходом механізмів, а також можливістю керування режимами роботи приводу під час їх руху, простотою автоматизації при використанні стандартних вузлів та механізмів, безшумністю роботи.

Структура гідроприводу схожа на структуру пневмоприводу з урахуванням тієї різниці, що використовується інше робоче тіло – замість стислого повітря використовується рідина (масло). Конструкція гідроциліндрів також схожа на конструкцію пневмоциліндрів з однією суттєвою різницею – відношенням діаметру штоку до діаметру поршня. Якщо в пневмоциліндрах зазвичай воно становить 1:4, то в гідроциліндрах 1:2.

Регулюючий орган – це пристрій, яким у процесі регулювання регулятор кількісно змінює регулюючу величину.

Кожен регулюючий орган контактує в об'єкті з деякою фізичною величиною, на яку він повинен впливати. Ця частина регулюючого органу має конструкцію, яка в основному визначається видом і властивостями регулюючої величини, потужністю змінюваного потоку і характеристиками об'єкта регулювання.

На переміщення регулюючого органу витрачається деяка енергія, яка підводиться до регулюючого органу виконавчим механізмом. Останній з'єднується з регулюючим органом спеціальним механізмом, який називається зчленуванням. Основне призначення зчленування полягає у передачі потужності від виконавчого механізму до регулюючого органу.

Регулюючий орган у системі автоматичного регулювання схильний до більшого зносу, ніж при ручному регулюванні, так як

він майже безперервно знаходиться в русі. Тому в конструкціях регулюючих органів збільшена міцність частин, що труться, зменшено тертя введенням мастильних пристроїв підшипників кочення і т. д.

Різновидами дросельних регулюючих органів є крани та заслінки.

Крани є одним із найпростіших дросельних регулюючих органів, що застосовуються при регулюванні витрати потоків у трубопроводах невеликого перерізу прямокутної та круглої форми. Установка кранів допустима при низьких швидкостях та тисках, бо кут повороту рухомий частини, необхідний для повного закриття крана, дуже малий. При швидкому закритті або відкритті крана на потоці, що рухається з великою швидкістю, виникає гідравлічний удар, який може викликати руйнування в об'єкті регулювання.

Заслінки зазвичай застосовуються для регулювання газових потоків, що протікають у трубопроводах круглого та прямокутного перерізу. Значно рідше вони встановлюються регулювання витрати рідини.

1.4. Ланки систем автоматичного регулювання

Системою автоматичного регулювання (САР) називається замкнута динамічна система, що складається з об'єкта регулювання та встановленого на ньому автоматичного регулятора. Головне призначення САР полягає в підтриманні значення параметру на заданому рівні. САР може мати два різні за дією контури: замкнутий, що реалізує зворотний зв'язок, та розімкнутий, коли вплив може поширюватись лише в одному напрямку.

САР складається з чутливого елемента, регулятора, виконавчого механізму та регулюючого органу.

Чутливий елемент – це пристрій, що призначений для вимірювання регульованої величини. Він може бути як вбудованим в корпус регулятора, так і знаходитися за його межами або виноситься з нього. Як правило це малоінерційні пристрої, які мають швидко реагувати на зміну регульованої величини.

Регулятор – це пристрій, який встановлюється на об'єкті, що регулюється, та власне здійснює процес регулювання. Якість

регулювання визначається заданими вимогами, регулятори можуть реалізовувати різні закони, наприклад: І, П, ПІ, ПІД. Відповідно вони називаються І-регулятор, П-регулятор, ПІ-регулятор, ПІД-регулятор.

Розгляд перехідних процесів, які у САР, зазвичай починається з деякого встановленого режиму, у якому регулятор і об'єкт перебувають у стані спокою.

До виконавчих механізмів відносяться: електропривод, пневмопривод, гідропривод.

Регулюючий орган – це пристрій, який приводиться в дію виконавчим механізмом та здійснює безпосередню дію на об'єкт регулювання.

Формалізація САР здійснюється представленням її окремими ланками, кожна з яких може бути описана певним рівнянням, що пов'язує вхідні та вихідні змінні (сигнали). Класифікація основних типів ланок САР представлена на рис. 1.18.

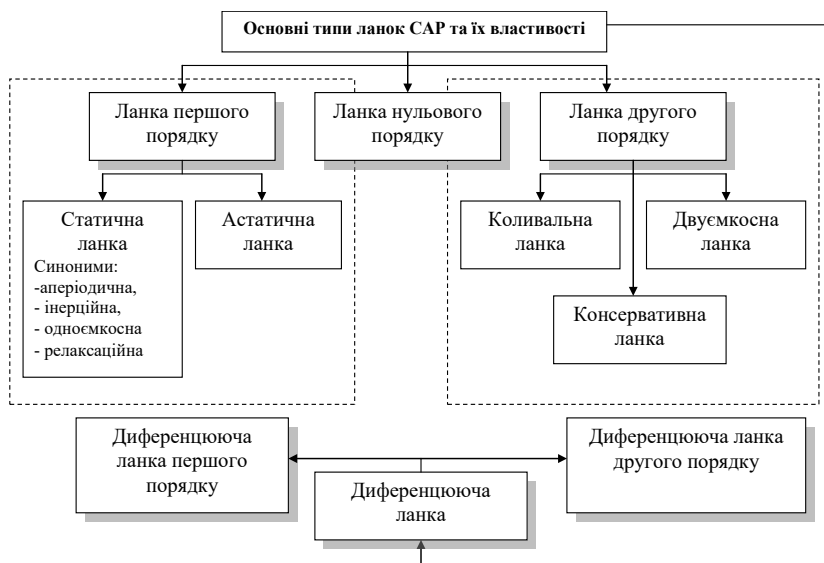


Рис. 1.18 – Класифікація основних типів ланок САР

Під час дослідження САР необхідно знати динамічні властивості всіх її елементів. Аналітичні методи визначення динамічних властивостей елементів САР складні, потребують високої кваліфікації та набули обмеженого поширення. Методи експериментального визначення динамічних властивостей елементів САР досі є достовірнішими і доступними для експлуатаційних працівників промислових підприємств. Диференціальні рівняння елементів САР можна отримати за імпульсними характеристиками або кривими розгону.

Кривий розгону називається характеристика зміни вихідної величини елемента САР у часі при стрибкоподібній зміні вхідної (рис. 1.19, 1.20).

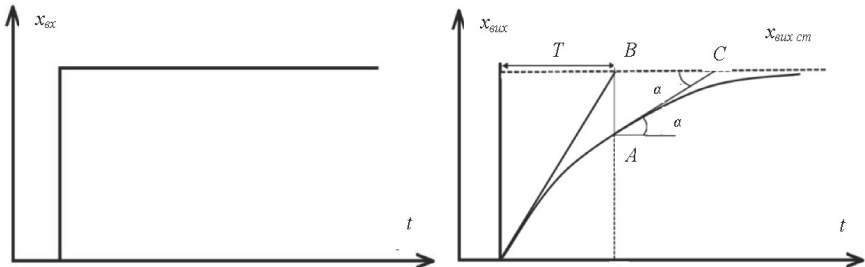


Рис. 1.19 – Крива розгону та її обробка для статичної ланки першого порядку: $x_{вх}$ – вхідна величина елемента САР; $x_{вих}$ – вихідна величина елемента САР; $x_{вих ст}$ – стає значення вихідної величини елемента САР

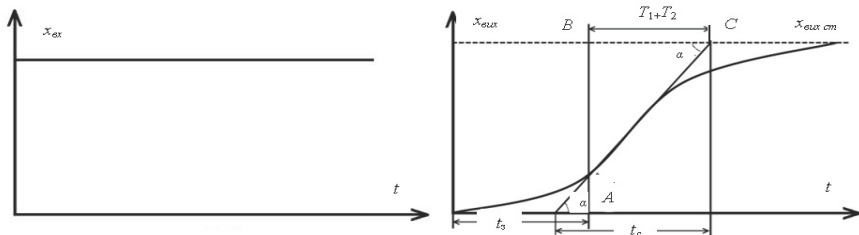


Рис. 1.20 – Крива розгону та її обробка для ланки другого порядку

Значення необхідних параметрів отримують обробкою кривих розгону. Для цього через довільну точку A експоненціальної кривої проводиться дотична до перетину з прямою $X = x_{вих.ст}$ (точка C). Далі з точки A проводиться перпендикуляр на пряму $x_{вих} = x_{вих.ст}$ (точка B) та продовжується він до перетину з віссю часу.

З $\triangle ABC$ видно, що $|BC| = \frac{|BA|}{tg\alpha}$, але

$$|BA| = |BD| - |AD| = k_1 x_{вх} - k_1 x_{вх} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) = k_1 x_{вх} e^{-\frac{t}{T}},$$

$$tg\alpha = \frac{dx_{вих}}{dt} - \frac{k_1 x_{вх} e^{-\frac{t}{T}}}{T}.$$

Тоді

$$|BC| = \frac{k_1 x_{вх} e^{-\frac{t}{T}}}{\frac{k_1 x_{вх} e^{-\frac{t}{T}}}{T}} = T,$$

тобто для довільної точки експоненти $|BC| = T$.

T називається постійною часу ланки і чисельно дорівнює проекції дотичної в будь-якій точці експоненти безпосередньо $x_{вих} = x_{вих.ст}$, що відраховується від точки перетину дотичної до прямої $x_{вих.ст}$ до основи перпендикуляру, опущеного з цієї точки на пряму $x_{вих.ст}$.

T виражається в секундах та показує, через який час вихідна величина досягла б свого встановленого значення при стрибкоподібному обуренні на вході, якби швидкість зміни вихідної величини була постійною і рівної швидкості в початковий момент зміни.

Для визначення графічним методом постійних часу T_1 та T_2 необхідно по кривій знайти точку перегину, тобто точку, в якій похідна $dx_{вих}/dt$ має максимальне значення. В середній, частині кривої, де $x_{вих}$ змінюється найшвидше, береться декілька координат: $x(t_i) = X_i$, $i = 1, 2, 3...$ зазвичай не більше 6: $\Delta X_i = X_i - X_{i-1}$, $i = 1, 2, ..., i-1$.

Далі знаходять максимальну величину ΔX_i , та відповідне їй значення часу $t_k = t_i - 0,5\Delta t$ та, нарешті, ординату точки перегину X_k .

Через точку перегину проводять дотичну до кривої хвих та пряму, паралельну осі ординат та визначають T_1 та T_2 .

Існує кілька методів апроксимації кривої розгону диференціальним рівнянням. Наприклад, динамічні властивості деяких датчиків можна з достатньою точністю описати неоднорідними лінійними диференціальними рівняннями з постійними коефіцієнтами 1-го чи 2-го порядку виду:

$$T \frac{dx_{\text{вих}}}{dt} + x_{\text{вих}} = k_1 x_{\text{вх}}, \quad (1.1)$$

$$T_1 T_2 \frac{d^2 x_{\text{вих}}}{dt^2} + (T_1 + T_2) \frac{dx_{\text{вих}}}{dt} + x_{\text{вих}} = k_2 x_{\text{вх}}, \quad (1.2)$$

де $x_{\text{вих}}$ – функція зміни вихідної величини ланки (датчика) в часі; $x_{\text{вх}}$ – функція зміни вхідної величини ланки (датчика) в часі; k_1, k_2 – коефіцієнти передачі ланок; T_1, T_2 – сталі часу ланок.

Рішення диференціального рівняння, отримане для ступінчастого вхідного збурення, називається перехідною функцією ланки. Зокрема, перехідна функція ланки, що описується диференціальним рівнянням (1.1), має вигляд:

$$x_{\text{вих}} = k_1 x_{\text{вх}} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right), \quad (1.3)$$

відповідно рівняння (1.2) має вигляд:

$$x_{\text{вих}} = k_2 x_{\text{вх}} \left(1 + \frac{T_1}{T_2 - T_1} e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_2}{T_2 - T_1} e^{-\frac{t}{T_2}} \right). \quad (1.4)$$

Якщо відомі величини коефіцієнтів передачі та постійні часу, то, підставляючи у виразі значення часу, можна побудувати криві розгону.

В таблиці 1.3 представлено рівняння кривих розгону для різних ланок САР.

Таблиця 1.3 – Рівняння кривих розгону для різних ланок САР

Ланка	Диференціальне рівняння	Рівняння кривої розгону
Нульового порядку	—	$x_{\text{вих}} = kx_{\text{вх}}$
Першого порядку		
Статична	$T \frac{dx_{\text{вих}}}{dt} + x_{\text{вих}} = kx_{\text{вх}}$	$x_{\text{вих}} = k \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right)$
Астатична	$T \frac{dx_{\text{вих}}}{dt} = kx_{\text{вх}}$	$x_{\text{вих}} = k \int_0^t x_{\text{вх}} dt$ якщо $x_{\text{вх}} = 1$, то $x_{\text{вих}} = kt$
Другого порядку		
Коливальна	$T^2 \frac{d^2 x_{\text{вих}}}{dt^2} + 2\eta T \frac{dx_{\text{вих}}}{dt} + x_{\text{вих}} = kx_{\text{вх}}$	$x_{\text{вих}} = k \left(1 - e^{-h_k t} \cos \omega_k t - e^{-h_k t} \frac{h_k}{\omega_k} \sin \omega_k t \right)$ h_k та ω_k – дійсна та мніма частина спряжених комплексних коренів $r_{1,2} = h_{k \pm j} \omega_k$ характеристичного рівняння $T^2 r^2 + 2\eta T r + 1 = 0$

Двуєм- косна	$T^2 \frac{d^2 x_{\text{вух}}}{dt^2} + 2\eta T \frac{dx_{\text{вух}}}{dt} + x_{\text{вух}} = kx_{\text{вх}}$	$\eta > 1$ $x_{\text{вух}} = k +$ $+ k \left(1 + \frac{-\eta - \sqrt{1 - \eta^2}}{2\sqrt{1 - \eta^2}} e^{\frac{-\eta + \sqrt{1 - \eta^2}}{T} t} \right) -$ $- k \left(-\frac{-\eta + \sqrt{1 - \eta^2}}{2\sqrt{1 - \eta^2}} e^{\frac{-\eta - \sqrt{1 - \eta^2}}{T} t} \right)$
Консерва- тивна	$T^2 \frac{d^2 x_{\text{вух}}}{dt^2} + x_{\text{вух}} = kx_{\text{вх}}$	$x_{\text{вух}} = k \left(1 - \cos \frac{t}{T} \right)$
Диферен- ціююча	$x_{\text{вух}} = k \frac{dx_{\text{вх}}}{dt}$	$-$
	$x_{\text{вух}} = k \left(\tau^2 \frac{d^2 x_{\text{вх}}}{dt^2} + 2\zeta\tau \frac{dx_{\text{вх}}}{dt} + x_{\text{вх}} \right)$	
Першого порядку	$-$	$x_{\text{вух}} = k \left([1] + \tau h(t) \right)$ [1] – одиничний стрибок у вигляді ступені; h(t) – імпульсна функція
Другого порядку	$-$	$x_{\text{вух}} = k \left([1] + 2\zeta\tau h(t) + \right.$ $\left. + \tau^2 \frac{dh(t)}{dt} \right)$

1.5. Інженерні методи синтезу регуляторів

Розрахунок автоматичних систем регулювання ґрунтується на статичних та динамічних характеристиках об'єкта управління (ОУ). При проектуванні статичні та динамічні характеристики знаходять за довідковими таблицями або визначають експериментально.

Статичною характеристикою ОУ називають залежність регульованої (керованої) вихідної величини об'єкта управління $x_{вих}$ від вхідної величини $x_{вх}$ в усталеному стані.

Вхідною величиною є положення регулюючого органу, якщо регулюючий орган включений в об'єкт, або величина, що характеризує навантаження ОУ, наприклад, витрата енергії, палива, води, пари і т.д., якщо регулюючий орган не включений в ОУ.

Статичні характеристики можуть бути лінійними чи нелінійними, останні можуть мати екстремум.

За експериментальною статичною характеристикою ОУ підбирають межі зміни регульованої величини та відповідні характеристики регулюючого органу, а також визначають можливість застосування екстремального управління та знаходять коефіцієнт передачі об'єкта $k_{об}$ для робочого значення навантаження ОУ:

$$k_{об} = \frac{\Delta x_{вих}}{\Delta x_{вх}}, \quad (1.5)$$

де $x_{вих}$ – регульована вихідна величина, од. регульованої величини; $x_{вх}$ – вхідна величина, од. вхідної величини.

Металургійні об'єкти та устаткування ливарного виробництва з погляду ОУ є об'єктами з розподіленими параметрами. Однак за певних умов вони можуть бути представлені у вигляді ОУ із зосередженими параметрами. Тимчасовими динамічними характеристиками таких ОУ називають зміну вихідної величини у часі за деяких типових змін вхідної величини ОУ.

Як типові вхідні дії застосовують ступінчасту і імпульсну функції.

Для металургійних об'єктів і об'єктів ливарного виробництва зокрема найбільш поширеною і легко одержуваною

експериментально динамічною характеристикою можна вважати криву розгону, що представляє собою зміну в часі $x_{вих}(t)$ після ступінчастої зміни вхідної величини на $\Delta x_{вх}$.

За експериментальною або взятою із довідника кривою розгону визначають передаточну функцію об'єкта. При цьому можливе подання ОУ у вигляді найпростішого астатичного об'єкта із запізненням:

$$W_{об}(p) = k_{об} e^{-\tau_{об} p} / p, \quad (1.6)$$

або найпростішого статичного об'єкта із запізненням:

$$W_{об}(p) = k_{об} e^{-\tau_{об} p} / (T_{об} p + 1), \quad (1.7)$$

де $T_{об}$ – постійна часу об'єкта; $\tau_{об}$ – час запізнення.

Для отримання характеристик $k_{об}$, $T_{об}$ та $\tau_{об}$ криві розгону обробляють за схемою, представленою на рис. 1.21.

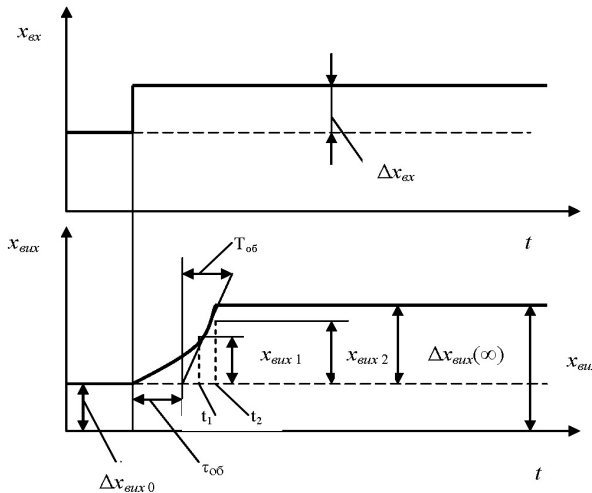


Рис. 1.21 – Визначення параметрів ОУ за кривими розгону

Величини $T_{об}$ та $\tau_{об}$ визначаються за формулами:

$$\tau_{об} = \frac{t_2 \lg(1 - x_{вих1}) - t_1 \lg(1 - x_{вих2})}{\lg(1 - x_{вих1}) - \lg(1 - x_{вих2})}, \quad (1.8)$$

$$T_{об} = \left| \frac{t_1 - \tau_{об}}{2,303 \lg(1 - x_{вих1})} \right| = \left| \frac{t_2 - \tau_{об}}{2,303 \lg(1 - x_{вих2})} \right|, \quad (1.9)$$

де t_1 – час, що відповідає перегину кривої розгону, у разі відсутності перегину приймають $x_{вих}(t_1) = 0,1 - 0,15 \Delta x_{вих}(\infty)$; t_2 – час, що відповідає $x_{вих}(t_2) = 0,8 - 0,9 \Delta x_{вих}(\infty)$.

Після визначення кривої розгону та розрахунку величин $k_{об}$, $T_{об}$ та $\tau_{об}$ необхідно вибрати підходящий регулятор.

Якщо прийняти в процесі регулювання задане значення вихідної величини об'єкта (регульованої величини) за початок відліку, $x_0 = 0$, то значення регульованої величини x чисельно дорівнює, але із зворотним знаком, відхиленню регульованої величини від заданого значення $\epsilon = x_0 - x$.

Для характеристики перехідних процесів в автоматичних системах керування застосовують показники якості:

1. Динамічне відхилення x_1 од. регульованої величини.
2. Час регулювання t_p , с.
3. Статичну помилку, тобто залишкове відхилення в усталеному стані, $x_{ст}$, од. регульованої величини.
4. Перерегулювання, $\eta = x_2/x_1$.
5. Ступінь коливальності, $m = \alpha/\omega$, де α і ω – дійсна та уявна частини коренів характеристичного рівняння замкнутої системи, найбільш близько розташованих до уявної осі.
6. Показник коливальності M , що характеризує максимум амплітудної частотної характеристики.

7. Квадратичний інтегральний критерій якості $I = \int_0^{\infty} x^2 dt$, що характеризує сумарну площу, обмежену кривою перехідного процесу.

Залежно від технологічних вимог і характеру збурень найкращими можуть бути різні перехідні процеси. Зазвичай можна вибрати один із типових процесів регулювання, наведених нижче.

1. Аперіодичний процес. Він застосовується в тих випадках, коли перерегулювання не допускається і потрібний мінімальний час регулювання, а динамічне відхилення x_1 може бути досить великим.

2. Процес з 20 % перерегулюванням – доцільний, коли допускається перерегулювання, але пред'являють більш жорсткі вимоги до динамічного відхилення регульованої величини.

3. Процес з *min* квадратичного інтегрального критерію якості – характеризується найбільшим перерегулюванням (40–45 %) та часом регулювання, але найменшою величиною динамічного відхилення.

Для вибору регулятора потрібно знати параметри, що наведені нижче.

- параметри ОУ – $k_{об}$, $T_{об}$ та $\tau_{об}$. При цьому ОУ обов'язково апроксимується найпростішим статичним або астатичним об'єктом із запізненням. Параметри визначаються кривою розгону. Якщо коефіцієнт передачі об'єкта змінюється не більше звичайних експлуатаційних режимів, слід вибирати найбільше значення $k_{об}$ за статичною характеристикою;

- максимальне допустиме динамічне відхилення x_1^D , од. регульованої величини;

- допустиме або бажане перерегулювання для вибраного типового перехідного процесу;

- допустиме залишкове відхилення x_{cm}^D , од. регульованої величини;

- допустимий час регулювання t_p^D ;

- максимально можливі значення обурення Δu % ходу регулюючого органу.

Допустимі значення параметрів визначаються технологічним процесом і з деяким наближенням можуть бути взяті за даними довідкової літератури.

Тип регулятора вибирається за величиною відношення $\tau_{об}/T_{об}$ (табл. 1.4).

Таблиця 1.4 – Вибір типу регулятора

$\tau_{об}/T_{об}$	<0,2	<1,0	>1,0
Тип регулятора	Релейний	Неперервний	Імпульсний або неперервний

Ідеальні регулятори неперервної дії мають такі передавальні функції та налаштування:

П-регулятор

$$W_{\Pi}(p) = k_p. \quad (1.10)$$

І-регулятор

$$W_{\text{И}}(p) = k_{p_1} / p. \quad (1.11)$$

ПІ-регулятор

$$W_{\text{ПИ}}(p) = k_{p_1} \left(1 + \frac{1}{T_{up}} \right). \quad (1.12)$$

ПІД-регулятор

$$W_{\text{ПИД}}(p) = k_{p_1} \left(1 + \frac{1}{T_{up}} + T_d p \right). \quad (1.13)$$

Для отримання допустимих значень відхилень при регуляторах неперервної дії необхідно вибрати закон керування, використовуючи таку методику.

1. Розраховують динамічний коефіцієнт регулювання:

– для статичних об'єктів

$$R_d = x_1^d / k_{об} \Delta y; \quad (1.14)$$

– для астатичних об'єктів

$$R_d = x_1^d T_{об} / \tau_{об} \Delta y. \quad (1.15)$$

Будується графік (рис. 1.22) визначення динамічних коефіцієнтів і вибирається найпростіший регулятор.

Перевіряється, чи вибраний регулятор забезпечує допустимий час регулювання t_p , і якщо не забезпечує, вибирають більш складний закон керування.

Статичну помилку, якщо обраний П-регулятор, знаходять за відповідним графіком, і якщо вона більша за допустиму, то замість П-регулятора вибирають ПІ-регулятор.

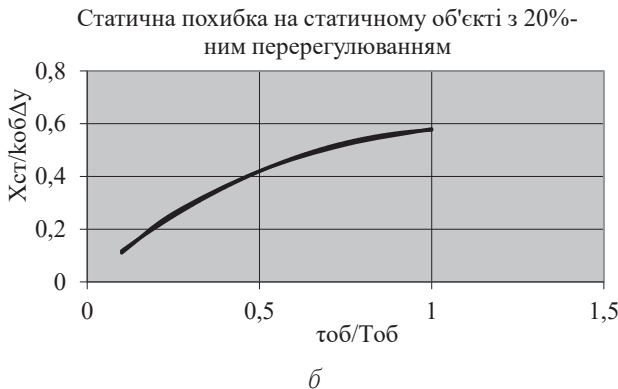
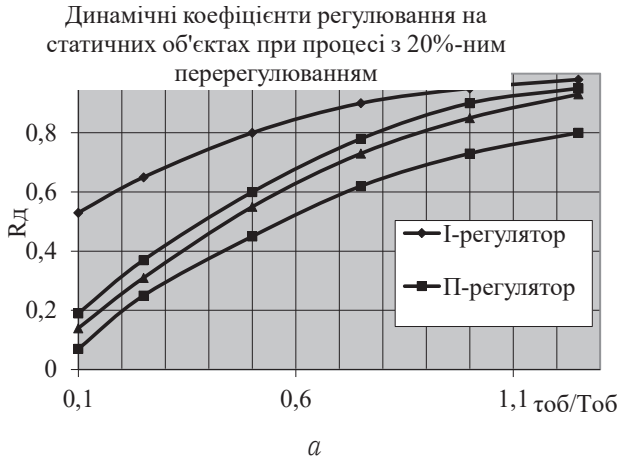


Рис. 1.22 – Графіки для перевірки: a – динамічних коефіцієнтів регулювання; b – статичної помилки

РОЗДІЛ 2

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ ПЛАВКИ

Мета розділу: надати загальні відомості про АСУ ТП плавки.

Робочі питання:

1. Схема автоматизації плавки в вагранці.
2. Схема автоматизації електродугової плавки.
3. Схема автоматизації подачі кисню в дугову сталеплавильну піч.
4. Схема автоматизації індукційної плавки.

2.1. Схема автоматизації плавки в вагранці

Схема автоматизації плавки в вагранці наведена на рис. 2.1, параметри, що контролюються, та засоби автоматизації наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Контрольовані параметри та технічні засоби автоматизації технологічного процесу плавки в вагранці

Параметри, що контролюються	Розмірність	Засоби автоматизації
Рівень завантаження шихти	м	Радіоізотопний сигналізатор рівня типу гама-реле, проміжний перетворювач сигналу, вторинний прилад
Температура футеровки	°С	Термопари, електронний потенціометр
Температура чавуну на випуску	°С	Термопари або пірометр випромінювання, вторинний прилад
Витрати повітряного дуття, кисню та природного газу відповідно	м ³	Діафрагми, дифманометри, вторинні прилади

Температура гарячого дуття	°C	Термопар, електронний потенціометр
Вологість дуття	%	Психрометр, вторинний прилад
Температура охолоджуючої води в контурі охолодження футеровки	°C	Термопар, електронний потенціометр
Вміст CO і CO ₂ в газах, що відходять	%	Оптико-акустичні газоаналізатори або автоматичний хроматограф
Маса чавуну в копильнику	кг	Тензодатчик, вторинний прилад
Продуктивність агрегату	т/год	Диференціатор, вторинний прилад
Хімічний склад розплаву	%	Лабораторне обладнання

Особливість управління процесами плавки в вагранці є складність контролю деяких параметрів плавки або взагалі їх неконтрольованість. Прикладом може бути контроль температури в робочому просторі вагранки.

На рис. 2.2 наведена візуалізація температурного профілю вагранки по зонах завантаження.

Прийнято такі позначення:

H – рівень горизонту по висоті вагранки;

h – поточна координата по висоті вагранки;

h_{sh} – горизонт по висоті вагранки, що відповідає положенню верхнього рівня холостої колоши;

$h_{sh\ max}$ – максимальний горизонт по висоті вагранки, що відповідає максимальному положенню верхнього рівня холостої колоши;

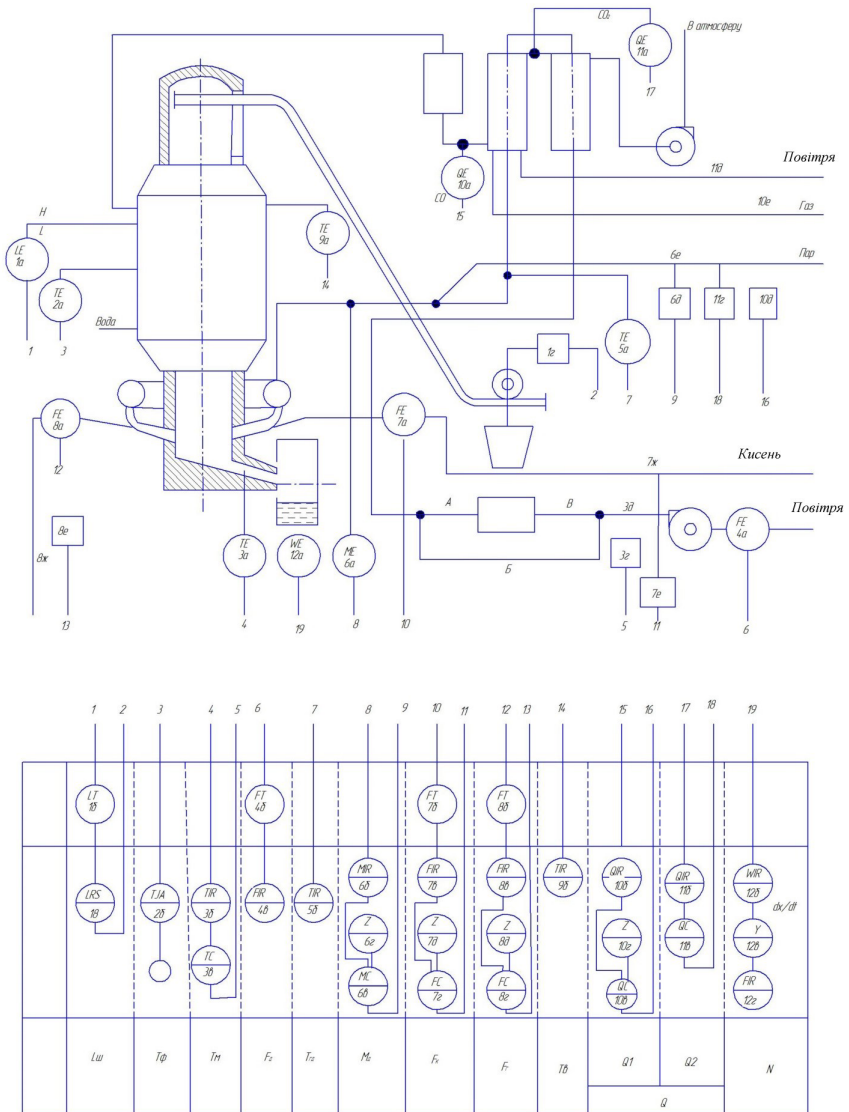
$h_{sh\ min}$ – мінімальний горизонт по висоті вагранки, що відповідає мініимальному положенню верхнього рівня холостої колоши;

Δh^+ – позитивне відхилення верхнього рівня холостої колоши по горизонту;

Δh^- – негативне відхилення верхнього рівня холостої колоши по горизонту;

T – температура в вагранці;

T_{iron} – температура чавуна при випуску з вагранки.



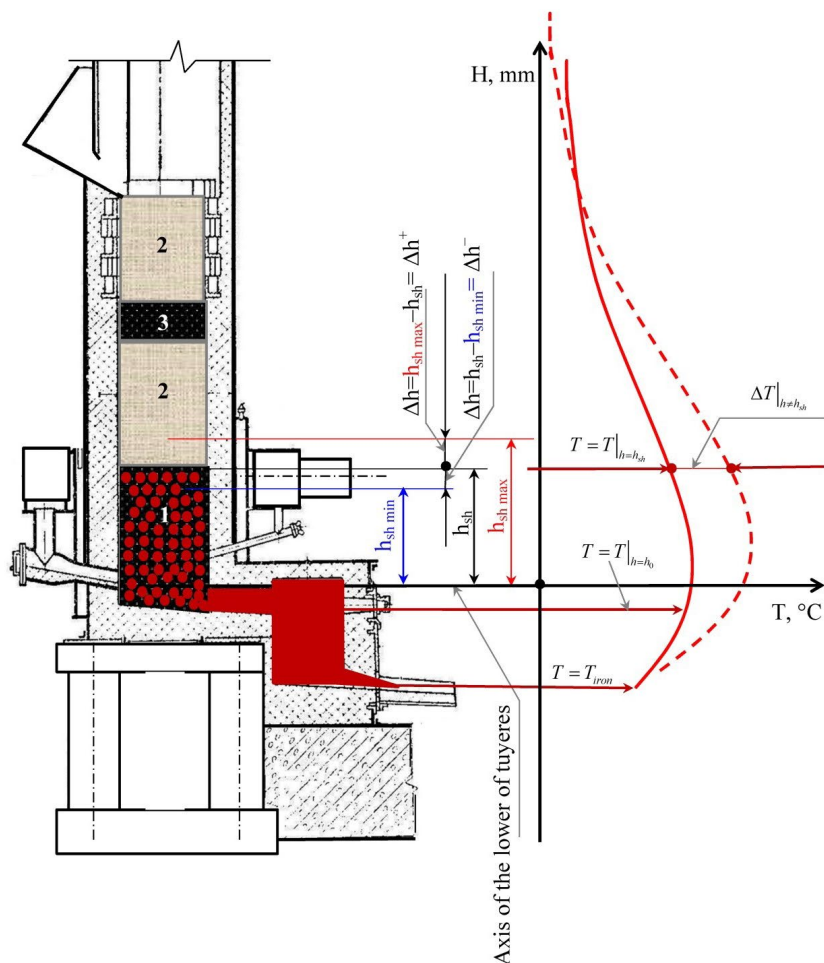


Рис. 2.2 – Візуалізація температурного профілю вагранки за зонами завантаження: 1 – холоста колоша; 2 – металева колоша; 3 – паливна колоша

Температурний профіль у зоні горіння та плавлення має вигляд параболи. Відповідно вид параболи має і температурний

профіль по висоті холостої колоши. Якщо верхній рівень холостої колоши падає до $h_{sh\ min}$ чи підіймається до $h_{sh\ max}$, то це призводить до зміщення температурного профілю. Утворюється різниця тем-

ператур $\Delta T|_{h \neq h_{sh}}$ на тому горизонті вагранки, який відповідав номі-

нальному положенню верхнього рівня холостої колоши (на рис. 2.2 ця різниця, так само як і положення зміщеного температурного профілю, показано умовно). Вибране управління має повернути температурний профіль до заданого положення шляхом комбінованого впливу та температурний режим: зміною кількості коксу холостої колоши (V_c) і зміною витрати повітря, що вдувається (Q).

Як перший керуючий вплив (u_1) обирається керування завантаженням паливної калюші. Як другий керуючий вплив (u_2) обирається керування положенням заслінки на трубопроводі, що подає повітря в фурменну коробку (рис. 2.3).

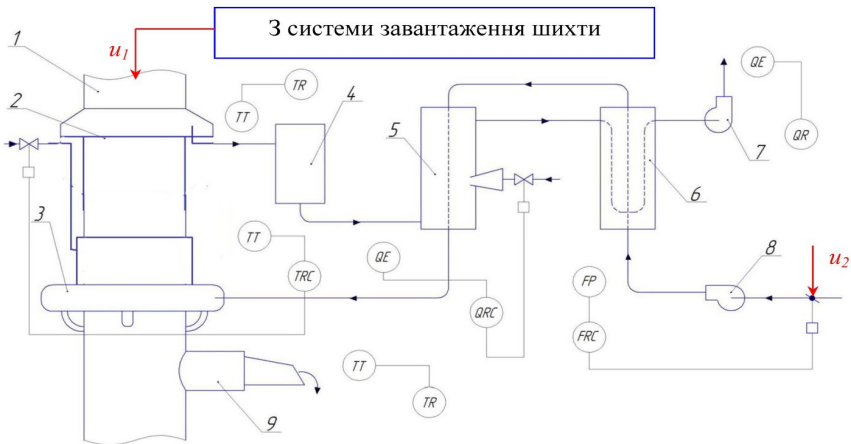


Рис. 2.3 – Спрощена схема управління процесом ваграночної плавки: 1 – вагранка; 2 – іскрогасник; 3 – фурменний пояс; 4 – мокрий очисник; 5 – рекуператор радіаційний; 6 – рекуператор конвективний; 7 – димосос; 8 – вентилятор; 9 – копильник

Залежність температури чавуну від об'єму холостої колоши і від об'єму повітря, що вдується, має нелінійний вигляд. Це зумовлено тим, що підвищення температури за рахунок збільшення об'єму повітря, що вдується, лімітовано як фізико-хімічними процесами в зоні горіння, так і аеродинамічний опором, зокрема з боку стовпа шихти у вагранці.

Якщо як інформативний параметр використовувати температуру чавуну на жолобі при видачі з вагранки, то факт зміни положення верхнього рівня холостої колоши визначається з наступної умови (рис. 2.2):

$$\begin{aligned} \text{якщо } T_{iron} \Big|_{t=t_i} < [T_{iron}] \text{ та } P \Big|_{t=t_i} > [P] \text{ тоді } \Delta h = h_{sh} - h_{sh \min} = \Delta h^-, \\ \text{якщо } T_{iron} \Big|_{t=t_i} > [T_{iron}] \text{ та } P \Big|_{t=t_i} < [P] \text{ тоді } \Delta h = h_{sh \max} - h_{sh} = \Delta h^+, \end{aligned} \quad (2.1)$$

де T_{iron} – фактична температура чавуну, що визначається для заданого положення верхнього рівня холостий колоши; P – фактична продуктивність вагранки, що визначається для заданого положення верхнього рівня холостої калоші; Δh – відхилення положення верхнього рівня холостої калоші (рис. 2.2).

Враховуючи, що температура чавуну залежить від температури коксу в холостій колоші, умова (2.1) може бути використана для визначення положення верхнього рівня холостої колоши на основі вимірювання температури у робочому просторі вагранки, зокрема по висоті холостої колоши. У цьому випадку інформативним параметром про фактичне положення верхнього рівня холостої колоши є значення температури на горизонті $h = h_{sh}$. Відхилення за температурою ΔT на цьому горизонті сигналізує про необхідність завантаження паливної калоші необхідного об'єму. Відповідна умова має вигляд:

$$\text{якщо } \Delta T \Big|_{h \neq h_{sh}} \neq 0 \text{ та } P \neq [P] \text{ тоді } \Delta h \neq 0. \quad (2.2)$$

Для реалізації умови (2.2) необхідно забезпечити максимальну точність вимірювання температури на горизонтах вагранки.

Для цього може бути використаний принцип вимірювання, заснований на розстановці датчиків температури відповідно до D-оптимальних планів на відрізку, які дозволяють з максимальною точністю оцінити значення вихідних змінних. Вихідною змінною є температура в точці контакту футерування, коксу та розплаву чавуну, що стікає через пори між шматками коксу. Принцип розміщення датчиків відповідно до точок D-оптимального плану представлений на рис. 2.4.

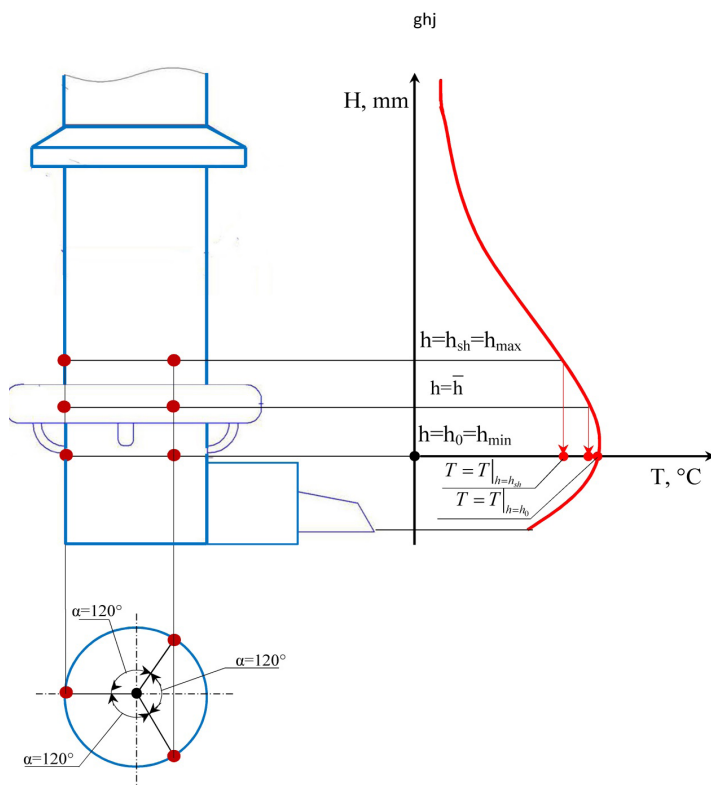


Рис. 2.4 – Принцип розстановки датчиків відповідно до точок D-оптимального плану: ● – точка установки датчика

Враховуючи, що в зоні холостої колоши розподіл температури по висоті може бути представлений у вигляді параболи, достатньо встановити датчики на трьох рівнях по висоті і в трьох точках за відповідним рівнем горизонту. В цьому випадку кут між датчиками становить 120° (рис. 2.4). Таким чином, вхідною змінною для реалізації D-оптимального плану за висотою є змінна h , а для реалізації D-оптимального плану внутрішнього контуру вагранки – змінна α . Обидві змінні наводяться до нормованого вигляду

$$x_i = \frac{x_{in} - \bar{x}_i}{I_i}, \quad (2.3)$$

де x_i – нормоване значення вхідних змінних; i – індекси, що ідентифікують вхідні змінні: $i = 1$ для h , $i = 2$ для α ; $\bar{x}_i$ – натуральне значення вхідних змінних; x_{in} – середнє значення вхідних змінних; I_i – інтервали варіювання вхідних змінних:

$$I_i = x_{in}^{\max} - \bar{x}_i = \bar{x}_i - x_{in}^{\min}. \quad (2.4)$$

Операція (2.3) переводить натуральні значення вхідних змінних в нормований діапазон $[-1; +1]$. Побудова D-оптимального плану здійснюється в точках нормованого діапазона:

– за висотою: $x_{1min} = -1$, $x_{1max} = +1$, $\bar{x}_1 = 0$,

– за кутом: $x_{2min} = -1$, $x_{2max} = +1$, $\bar{x}_2 = 0$.

Рівняння, що описує температурний профіль по висоті в функції нормованої вхідної змінної, має вигляд:

$$T = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_1 x_1^2, \quad (2.5)$$

де β_i – коефіцієнти, що мають бути визначені за результатами промислових експериментів.

В натуральному вигляді рівняння (2.5) представляється в наступний спосіб:

$$T = \beta_0 + \beta_1 \frac{x_1 - \overline{x_1}}{I_1} + \beta_1 \left(\frac{x_1 - \overline{x_1}}{I_1} \right)^2. \quad (2.6)$$

Рівняння, що описує температурний профіль внутрішнього контуру вагранки, має аналогічну структуру.

Коефіцієнти рівняння (2.6) розраховуються за матричним рівнянням:

$$B = \frac{1}{3} D F^T Y, \quad (2.7)$$

де B – матриця коефіцієнтів; Y – вектор-стовпчик значень вихідної змінної (температури); D – нормована дисперсійна матриця D -оптимального плану:

$$D = \begin{pmatrix} 3 & 0 & -3 \\ 0 & 1.5 & 0 \\ -3 & 0 & 4.5 \end{pmatrix};$$

F – матриця D -оптимального плану:

$$F = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix};$$

F^T – транспонована матриця D -оптимального плану:

$$F^T = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Дисперсія оцінки вихідної змінної визначається за формулою:

$$s_T^2(x) = f^T(x) (F^T F)^{-1} f(x) s^2, \quad (2.8)$$

$$\text{де } f(x) = \begin{pmatrix} 1 \\ x_i \\ x_i^2 \end{pmatrix}; f^T(x) = (1 \ x_i \ x_i^2);$$

s^2 – оцінка дисперсії:

$$s^2 = \frac{1}{(nv - n)} \sum_{j=1}^n \left((T^{calc})_j - (T^{ex})_j \right)^2, \quad (2.9)$$

де $n = 3$ – число точок D-оптимального плану; n – число паралельних вимірювань в кожній точці D-оптимального плану; T^{calc} – значення вихідної змінної, розраховане за рівнянням (2.5); T^{ex} – експериментальне значення вихідної змінної, що знімаються з датчиків.

Отримане рівняння (2.5) дозволяє розрахувати температуру у системі «футеровка – кокс – розплав» у точці установки датчика з максимальною точністю. Оцінка дисперсії визначення температури в такому разі визначається з (2.8).

Умови (2.1) та (2.2) дозволяють регулювати температурний режим та продуктивність вагранки шляхом керування завантаженням паливної та металевої колош. Відповідні схемні рішення представлені на рис. 2.5, 2.6.

На рис. 2.5 прийняті наступні позначення:

Q – поточна продуктивність вагранки вагранки;

Q_{sh} – задана продуктивність вагранки, т/ч;

$u_{11}^{(a)}$ – вмикаючий сигнал привода шиберу бункера с коксом, що надходить з системи автоматизованого управління;

$u_{21}^{(a)}$ – вмикаючий сигнал привода шиберу бункера с металевою шихтою, що надходить з системи автоматизованого управління (рис. 2.6).

На рис. 2.6 прийняті наступні позначення:

K_1, K_2 – кінцеві вимикачі ближній та дальній, відповідно;

$f_1^{(h)}, f_2^{(h)}$ – сигнали керування, що надходять на електромагніти розподільників з системи ручного управління;

$f_i^{(a)}, f_i^{(a)}$ – сигнали керування, що надходять на електромагніти розподільників з тригера з системи автоматизованого управління;

$u_{i1}^{(a)}, u_{i0}^{(a)}$ – сигнали керування, що надходять з системи автоматизованого управління на вмикаючий та вимикаючий входи тригера.

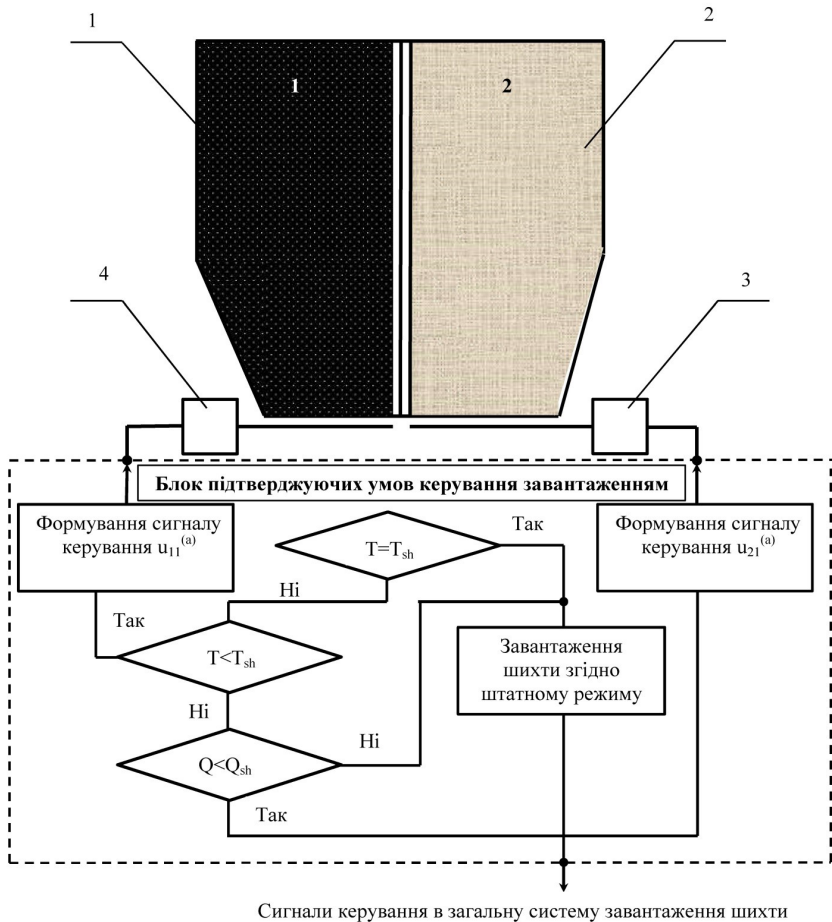


Рис. 2.5 – Блок-схема частини системи управління завантаженням, що включає регулювання температурного режиму та продуктивності вагранки шляхом подачі робочої паливної та металеві колош: 1 – бункер із коксом; 2 – бункер із металеві шихтою; 3 – виконавчий механізм системи завантаження металеві калаші; 4 – виконавчий механізм системи завантаження робочі паливної калаші

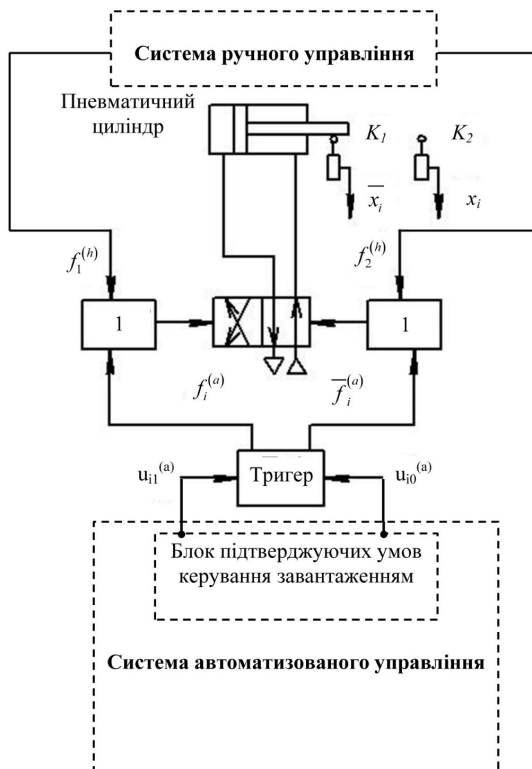


Рис. 2.6 – Елемент системи керування шиберами бункерних заслінок

2.2. Схема автоматизації електродугової плавки

Схема автоматизації плавки в електродуговій печі наведена на рис. 2.7, параметри, що контролюються, та засоби автоматизації наведені в табл. 2.2.

На рис. 2.7 прийняті наступні позначення:

E – параметри електричного режиму (струму, напруги, потужності, кількості витраченої енергії);

T_ϕ – температура футеровки;

G – положення електродів;
 T_m – температура металу;
 O – параметри системи водяного охолодження;
 Q – склад відхідних газів;
 $F_{p.m.}$ – витрата рафінуючих матеріалів.

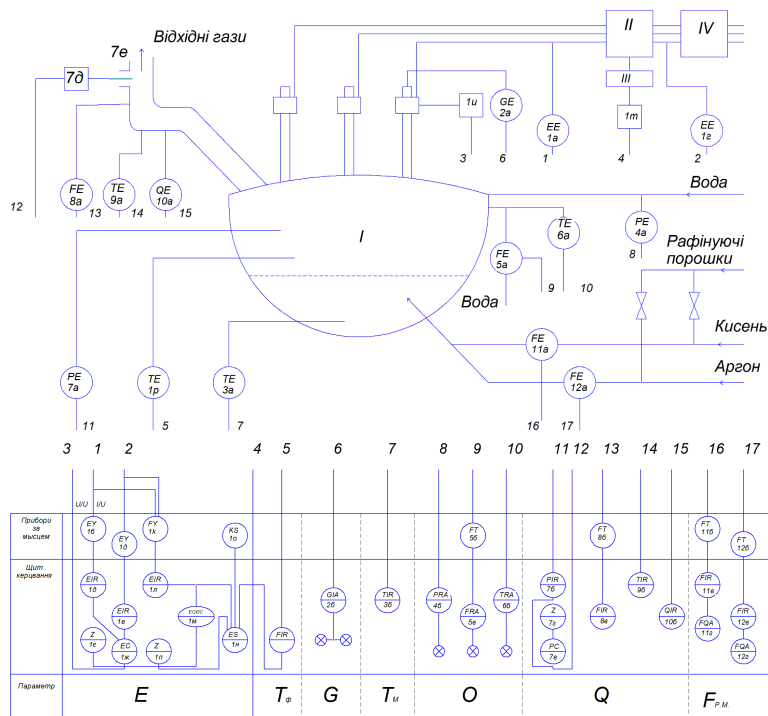


Рис. 2.7 – Схема автоматизації плавки в електродуговій печі

Управління процесом плавки здійснюється потужністю, що підводиться до печі від трансформатора (рис. 2.8), шляхом вибору ступеня напруги, а також регулюванням довжини електричної дуги між торцем електроду та металевою шихтою чи поверхнею ванни після розплавлення шихти та формування розплаву (рис. 2.9).

Таблиця 2.2 – Контрольовані параметри та технічні засоби автоматизації плавки в електродуговій печі

Параметри, що контролюються	Засоби автоматизації	Межі вимірювання
Температура футеровки	Радіаційний пірометр	1100–1900 °С
Температура метала	Термопара занурення або термопара безперервного виміру	1500–1750 °С
Тиск в робочому просторі	Діфманометр	До 50 Па
Склад газової фази в робочому просторі (CO ₂ , CO, O ₂)	Автоматичний газоаналізатор	До 10 % CO ₂ , 15 % CO, 10 % O ₂
Витрата кисню для продувки ванни	Діафрагма в трубопроводі, діфманометри	В залежності від розміру печі
Параметри електропостачання (напруги, струми фаз, активна потужність, кількість електроенергії)	Електровимірювальні прилади	Також

Для регулювання електричної потужності електродугової печі застосовуються диференціальні регулятори потужності, які підтримують сталість відносини напруги до сили струму, тобто опір фази. Параметр регулювання даної системи може бути записаний таким чином:

$$A = aI - bU = bI(r_0 - r), \quad (2.10)$$

де I – сила струму; U – напруга; a і b – коефіцієнти, що залежать від коефіцієнтів трансформаторів струму та напруги та необхідного співвідношення струму та напруги; $r_0 = a/b$; r – задане та поточне значення повного опору печі.

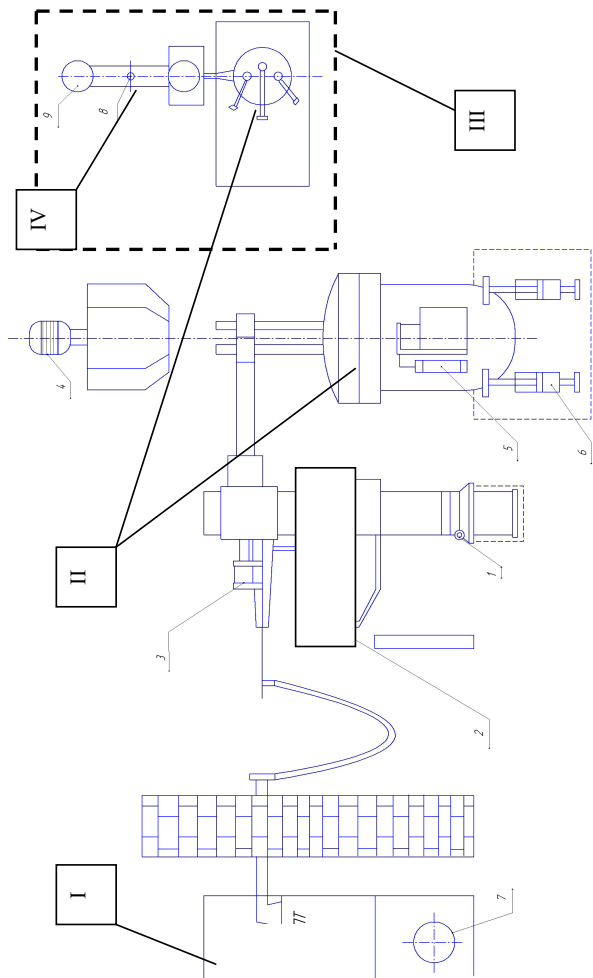
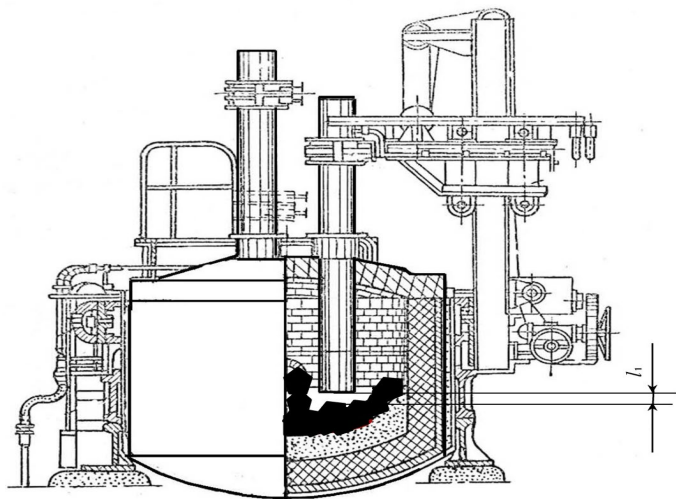
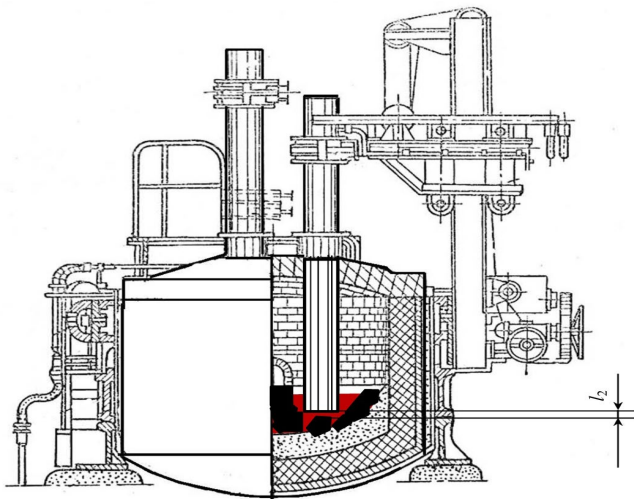


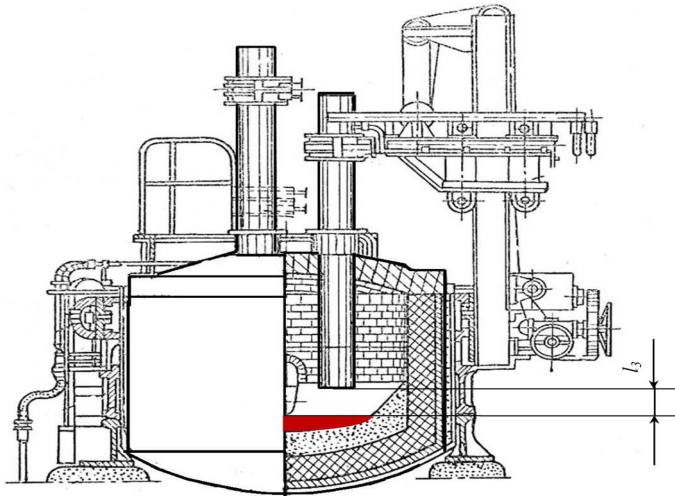
Рис. 2.8 – Схема заливальної ділянки системи «електродугова піч – ливарний конвеєр»:
 I – електропічний трансформатор; II – електроріч; III – заливальна ділянка системи «піч – ливарний конвеєр»; IV – двопозиційний заливальний автомат; 1 – гідроциліндр повороту зводу печі; 2 – електродпривод механізму вертикального переміщення електродів; 3 – гідроциліндр відведення електродотримачів; 4 – електропривод затвора бункера з шихтовими матеріалами; 5 – гідроциліндр переміщення робочих дверей; 6 – гідроциліндри нахилу печі; 7 – електропривід механізму переключення ступенів напруги трансформатора; 8 – електропривод повороту заливального двопозиційного автомата; 9 – гідроциліндр повороту заливального ковша



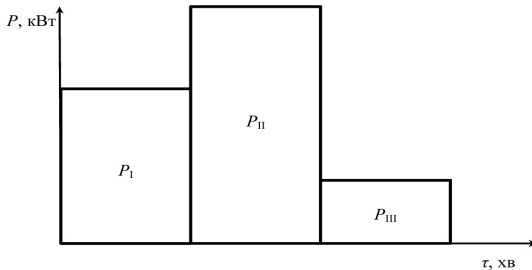
a



б



б



г

Рис. 2.9 – Етапи плавки в електродуговій печі, по яких формується управління процесом: а – початковий етап плавки, довжина дуги формується в проміжку l_1 , потужність, що підводиться, P_I ; б – етап плавки, коли в шихті прорізани колодязі і дуга закрита з усіх боків шихтою, довжина дуги формується в проміжку l_2 потужність, що підводиться, P_{II} максимальна; в – етап плавки, коли вся шихта розплавлена і дуга знов відкрита, довжина дуги формується в проміжку l_3 потужність, що підводиться, P_{III} мінімальна; г – графік потужності

Схема автоматичного регулювання наведена на рис. 2.10.

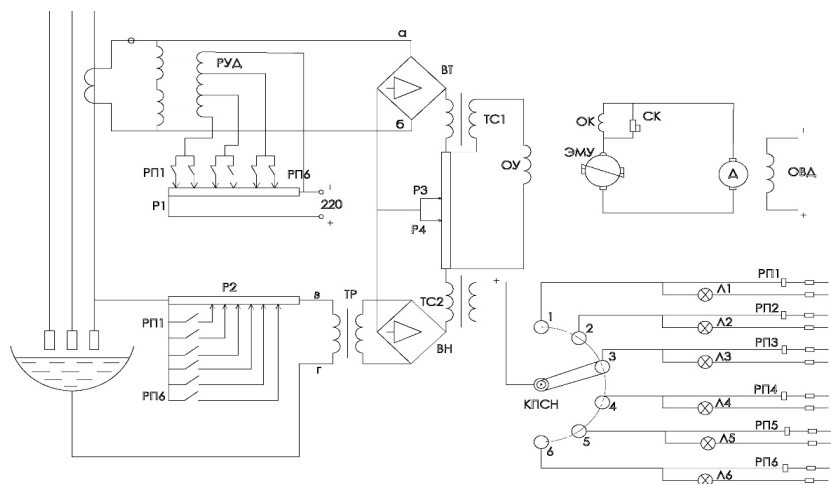


Рис. 2.10 – Схема автоматичного регулювання електричного режиму для однієї фази

Управління здійснюється перемиканням ступеня напруги *КПСН* з централізованого пункту. При цьому подається напруга на котушки реле проміжних *РП1–РП6*. Одне з реле при включенні відповідного ступеня напруги замикає контакти на опорі *P2* вимірювального ланцюга напруги регуляторів електродів та на опорі обмотки *P1* управління дроселя насичення. При рівності напруги U_T і U_H відповідно між точками *а–б* обмотки змінного струму дроселя і точками *в–г* роздільного трансформатора на обмотку електромагнітного підсилювача *ОУ* сигнал не надходить і механізм переміщення електродів нерухомий. В іншому випадку, виконавчий механізм включає переміщення електрода. Для налаштування нормального режиму робота електромагнітного підсилювача *ЕМУ* служить компенсаційний опір, підключений паралельно до компенсаційної обмотки *ОК*.

На рис. 2.11 наведена схема регулювання потужності, що базується на використанні тиристорів.

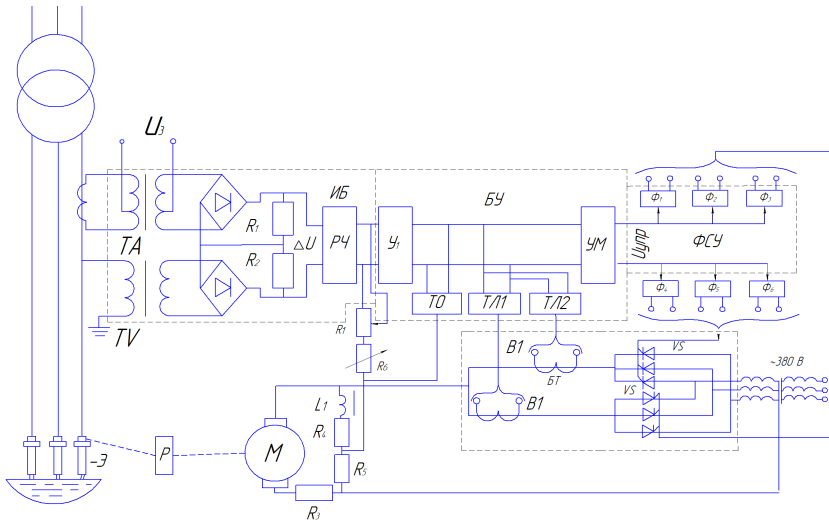


Рис. 2.11 – Функціональна схема однієї фази регулятора потужності на тиристорах

Регулятор складається з наступних блоків: вимірювального ИБ, управління БУ, фазозміщуючого пристрою, тиристорів БТ.

Переміщення електродів E , здійснюється за допомогою двигуна постійного струму з редуктором P . Сигнал, пропорційний силі струму дуги, надходить на дросель підмагнічування TA , сигнал, пропорційний напрузі, – на узгоджувальний трансформатор TV . На іншу обмотку дроселя подається напруга U_3 , пропорційне заданій силі струму. Після випрямлення і порівняння на резисторах R_1 і R_2 різниця напруги надходить на вхід пристрою регулювання чутливості РЧ, де встановлюються величини зони нечутливості і швидкодії системи. Далі сигнал надходить в блок управління БУ, де він посилюється підсилювачами $У_1$ і $УМ$ та розділяється залежно від знаку розбалансу на два канали управління.

Блок ФСУ призначений для керування трифазним нульовим реверсивним тиристорним перетворювачем і складається з шести однотипних плат Φ , об'єднаних по три катодних (Φ_1, Φ_2, Φ_3) і анодних (Φ_4, Φ_5, Φ_6) групи.

Блок тиристорів БТ являє собою підсилювач потужності і містить шість керованих клапанів VS (дві групи – анодний і катодний) і два датчика струму B_1 і B_2 . До виходу тиристорного перетворювача підключається тахометричних міст, що складається з резисторів R_3 – R_4 і дроселя L . Напруга, пропорційна частоті обертання двигуна, подається в вузол струмового обмеження $ТО$ і через регульовані резистори R_6 і R_7 – на вихід підсилювача $У_1$, що реалізує зворотний зв'язок по частоті обертання двигуна.

При виплавці сталі задля інтенсифікації процесу плавки здійснюється додаткова подача у ванну кисню. На рис. 2.12 показано функціональну схему автоматизації подачі кисню в електродугову піч.

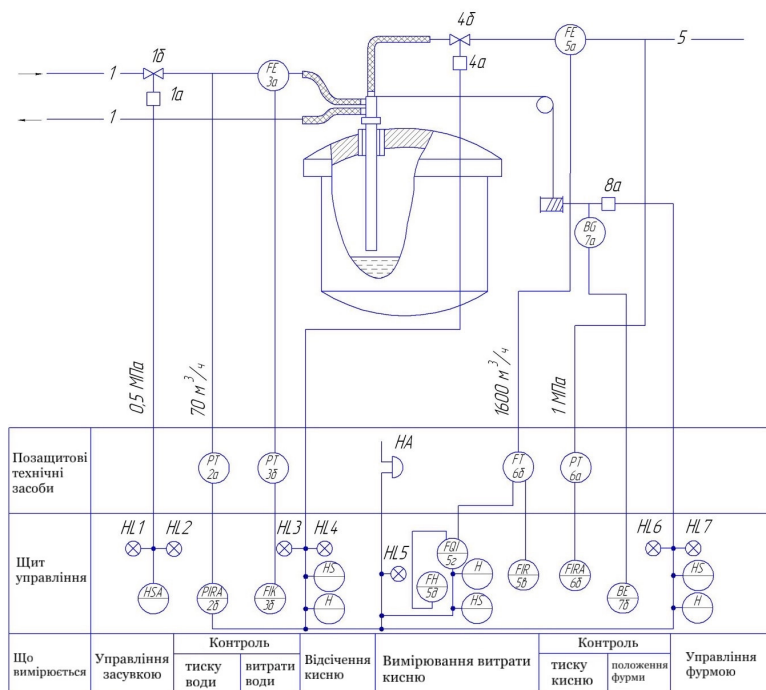


Рис. 2.12 – Схема автоматизації подачі кисню в дугову сталеплавильну піч

Задля забезпечення чистоти розплаву по домішкам може також використовуватися продувка ванни інертними газами, в цьому разі основа функціональної схеми автоматизації даного процесу аналогічна до наведеної на рис. 2.12.

2.3. Схема автоматизації індукційної плавки

Схема автоматизації індукційної наведена на рис. 2.13, параметри, що контролюються, та засоби автоматизації наведені в табл. 2.3.

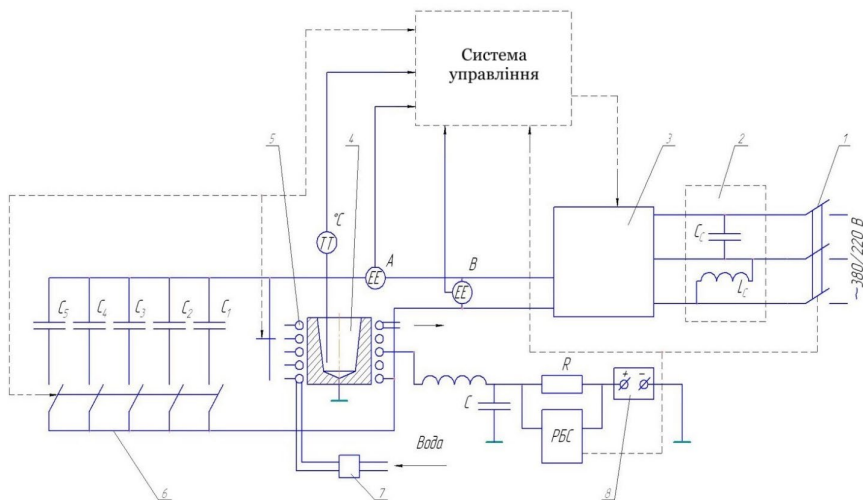


Рис. 2.13. Схема автоматизації індукційної плавки

Ступені напруги пічного трансформатора перемикаються за програмою, що передбачає корекцію за температурою металу в тиглі за часом. Оптимальне регулювання коефіцієнта потужності плавильних індукційних установок досягається компенсацією реактивної потужності індуктора шляхом паралельного підключення до нього ємностей C_1 – C_5 (рис. 2.13) зі складу компенсаційної батареї. Тому при використанні всього п'яти конденсаторів

забезпечується 32 ступені зміни ємності, що компенсується. Введенням відповідного значення ємності, що змінюється протягом плавлення шихти, досягається коефіцієнт потужності на рівні 0,98–1,0.

Таблиця 2.3 – Контрольовані параметри та технічні засоби автоматизації плавки в індукційній печі

Параметри, що контролюються	Розмірність	Засоби автоматизації
Напруга на індукторі	В	Вольтметр, трансформатор напруги
Струм індуктора	А	Амперметр, трансформатор струму
Активна потужність трифазного струму	кВт	Ваттметр
Коефіцієнт потужності пічної плавильної установки	–	Фазометр
Стан футерування тигля та ізоляції індуктора	–	Спеціальна схема
Температура води, що охолоджує, на виході з індуктора	°С	Термобатарея, електронний потенціометр
Температура металу в тиглі	°С	Термопара занурення в комплекті з електронним потенціометром або пірометром спектрального відношення
Співвідношення між масами «болота» та шихти	–	Сельсін
Хімічний склад металу та шлаку з ходу плавки	%	Квантометр

Основними параметрами, які визначають як сам процес плавки, так і безпеку його, є температура розплаву в тиглі, температура футеровки, температура охолоджуючої рідини, стан футерування

індукційної печі та ізоляція індуктора, а також значення електричних сигналів у вигляді сили струму та напруги на індукторі. Плавка в індукційній печі є досить економічною з погляду витрат електроенергії, оскільки є керованою за рахунок можливості оптимізації її електричних режимів. Крім цього, по ходу плавки контролюють такі параметри електричних режимів: напруга, отже і потужність, на вторинній обмотці пічного трансформатора; струм індуктора; коефіцієнт потужності пічної установки.

Для прикладу на рис. 2.14 представлена схема індукційної плавки чавуну та графіки потужності, що підводиться по етапах плавки. Характерною особливістю індукційної плавки є ведення процесу на «болоті», тобто залишку рідкого металу в печі на рівні 25–50 %, в який підвантажується тверда шихта. Такий режим забезпечує економію технологічної електроенергії та підвищує продуктивність процесу.

Контроль стану тигля та ізоляції індуктора є ще однією характерною особливістю індукційної плавки. Пробій футеровки, що може призвести до витоку розплаву та травмування працівників, може бути спричинений не лише механічними пошкодженнями чи з причини відмов електричної частини печі, але й внаслідок фізико-хімічних процесів, що протікають на поверхні розділу «метал–футеровка» (рис. 2.14). Так, внаслідок «тігельної реакції» $2[C] + \langle SiO_2 \rangle \rightleftharpoons [Si] + 2\{CO\}$ розплав вступає во взаємодію з кислою футеровкою, що призводить до її хімічного зносу. Тому задля запобігання пробою використовують спеціальну схему (рис. 2.13, табл. 2.3) контролю стану тигля та ізоляції індуктора. Для цього використовується джерело постійного струму, підключене до одного з витків індуктора. У ланцюг джерела включений фільтр LC для придушення змінної складової струму від індуктора та резистор R , якого підключено реле блокування і сигналізації РБС. Зі зменшенням товщини футеровки тигля до критичного значення або при пошкодженні ізоляції тигля реле спрацьовує, відключаючи електроживлення пічної установки та приводячи в дію систему аварійної сигналізації. При цьому проводяться також відсікання подачі води до індуктора та включення продування її стисненим повітрям.

Схема принципова регулювання температурного режиму плавки наведена на рис. 2.15.

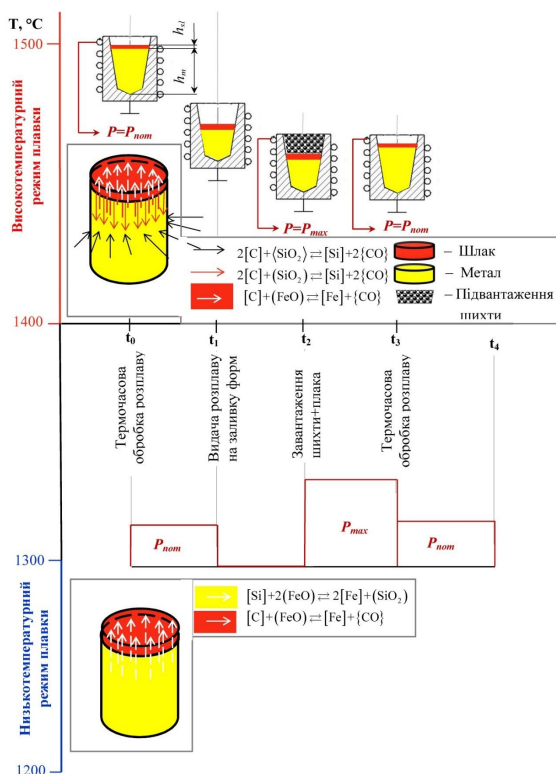


Рис. 2.14 – Схема індукційної плавки чавуну та графіки потужності, що підводиться по етапах плавки

В основу режиму з температурною корекцією покладено періодичний контроль температури металу та безперервний контроль температури футеровки. Регулятор теплового режиму 1 пов'язаний з датчиками температури металу 5 і температури футеровки 6 і впливає на блок завдання уставки регулятора електричного режиму 2. Перед плавкою в блоки 2 і 1 вводяться директивні графіки електричного (u_1) і температурного (u_2) режимів плавки, а також

програма вимірювань температури металу (за часом або у зв'язку з технологічними операціями) та гранично допустимі температури футеровки (u_3).

За сигналом різниці дійсної та заданої температури металу обчислювальним блоком 2 розраховуються параметри електричного режиму, які автоматично встановлюються і підтримуються регулятором електричного режиму 3. При досягненні критичних температур футеровки печі блок 2 зменшує потужність, що підводиться до печі. Температура вимірюється приладом 4.

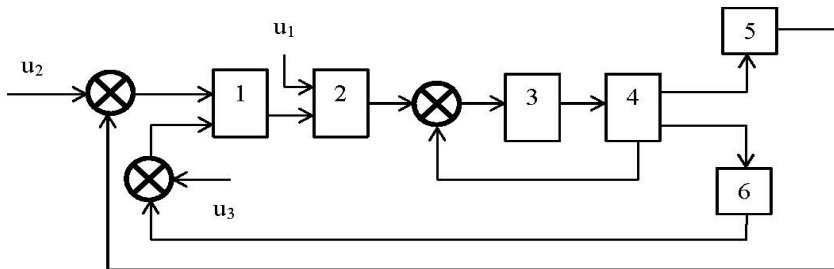


Рис. 2.15 – Схема регулювання температурного режиму індукційної плавки: 1 – регулятор теплового режиму; 2 – блок завдання уставки регулятора електричного режиму; 3 – регулятор електричного режиму; 4 – прилад вимірювання температури; 5 – датчик температури металу; 6 – датчик температури футерування; u_1 – завдання директивного графіка електричного режиму плавки; u_2 – завдання директивного графіка температурного режиму плавки; u_3 – завдання гранично допустимі температури футеровки

РОЗДІЛ 3

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ ВИГОТОВЛЕННЯ ФОРМУВАЛЬНОЇ ТА СТРИЖНЬОВОЇ СУМІШІ

***Мета розділу:** надати загальні відомості про АСУ ТП виготовлення формувальної та стрижньової суміші.*

Робочі питання:

- 1. Автоматизація процесу підготовки піску.*
- 2. Автоматизація процесу переробки відпрацьованої формувальної суміші.*
- 3. Автоматизація процесу приготування глинисто-вугільної суспензії.*
- 4. Автоматизація процесу виготовлення суміші в змішувачах дискретної дії.*
- 5. Автоматизація процесу виготовлення суміші в змішувачах безперервної дії.*
- 6. Схема керування приводом змішувачів.*

3.1. Автоматизація процесу підготовки піску

У сумішопідготовчому відділенні відбувається підготовка матеріалів для виготовлення форм і стрижнів із піщаних сумішей. Воно включає:

- ділянку підготовки піску;
- ділянку переробки відпрацьованої формувальної суміші;
- ділянку підготовки рідких складових.

Пісок є основною складовою більшості формувальних сумішей, призначених для виготовлення разових піщаних ливарних форм. Зважаючи на те, що пісок на виробництво надходить забрудненим сторонніми домішками, а також сирим, він не може бути матеріалом, придатним для безпосереднього використання його у виробничому процесі. Тому пісок, що надійшов на виробництво, піддають переробці. Схема автоматизації процесу підготовки піску представлена на рис. 3.1.

Технологічне обладнання складається з стрічкового конвеєра 1, що подає пісок у бункер (на вібраційне сито) 2, з якого він після просіювання надходить у внутрішню порожнину 3. У сушарці пісок безперервно перемішується, омивається топковими газами і прямує в охолоджувач 4, а з нього стрічковим конвеєром 5 подається в бункери.

У структурі автоматизованої системи управління передбачені такі засоби автоматизації. Для рівномірного заповнення піском бункера використовується двопозиційне реле сигналізації рівня. Первинні перетворювачі (датчики рівня) встановлені на крайньому нижньому та крайньому верхньому допустимих значеннях рівня (відповідно *LL* та *LH*).

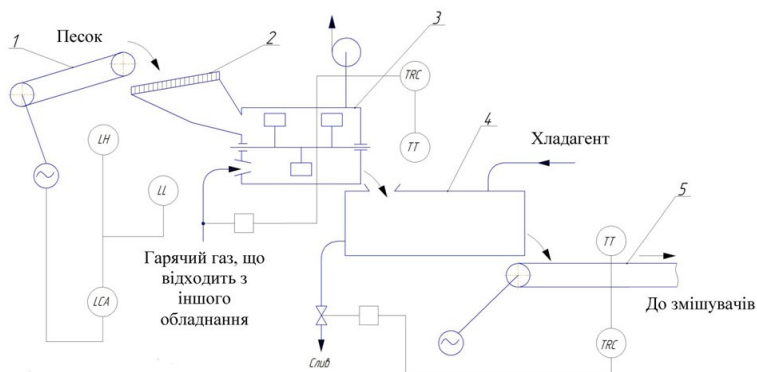


Рис. 3.1 – Схема автоматизація процесу підготовки піску

При кожному переповненні бункера 2 піском перетворювач *LH* подає сигнал на релейний блок (*LCA*) для припинення роботи двигуна стрічкового конвеєра 1. При зниженні рівня нижче за допустимий релейний блок отримує сигнал від перетворювача *LL* на включення в роботу стрічкового конвеєра 1.

Для покращення якості сушіння піску передбачено регулятор температури. Первинний перетворювач регулятора (*TT*), встановлений в потоці просушеного піску, сприймає величину температури, дистанційно передає сигнал релейному блоку *TRC*. Блок пе-

редає сигнал на виконавчий механізм, який змінює подачу газів у внутрішню порожнину сушила. Засобом візуального контролю стану температури є сигнальні реєструвальні пристрої. Для регулювання температури охолодження піску, що виходить з охолоджувача 4, передбачено регулятор охолодження. Первинний перетворювач регулятора (TT) сприймає значення температури, передає її дистанційно релейному блоку TRC , який, своєю чергою, передає сигнал виконавчому механізму. Виконавчий механізм приводить у дію регулюючий орган, у результаті регулювання температури охолодження піску.

3.2. Автоматизація процесу переробки відпрацьованої формувальної суміші

В даний час розроблено та експлуатується кілька варіантів технологічних процесів переробки суміші, що була у використанні, мокрим способом. Схема автоматизації цього процесу представлена на рис. 3.2.

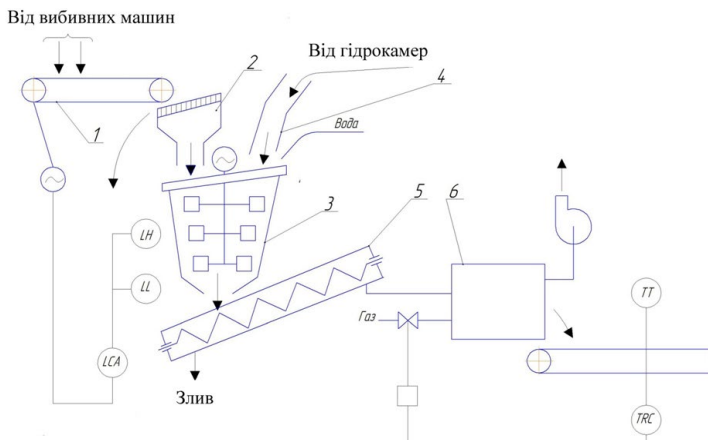


Рис. 3.2 – Схема автоматизації цього процесу переробки відпрацьованої суміші мокрим способом

Технологічний процес складається з наступних операцій. Суміші з різних ділянок її накопичення (з-під вибивних решіток, гідравлічних камер і т. і.) кількома потоками надходять у відділення мокрої регенерації. З-під вибивних решіток суміш подається стрічковим конвеєром 1, проходить вібраційне сито, що постійно працює, і з нього транспортується в бункер 2 і далі поступає в конічний класифікатор 3. Суміш від гідрокамер подається трубопроводом 4 і надходить до того ж класифікатора 3. Тут суміш промивається безперервним потоком води та розпушується лопатками. В результаті дрібні її складові відносяться зливом води, а великі передаються на шнековий класифікатор 5, яким очищена горіла суміш у зволоженому стані направляється в сушило 6, а з неї конвеєром для споживання.

Зважаючи на те, що основною ланкою, що забезпечує безперервність переробки суміші, є постійне рівномірне завантаження конічного класифікатора 3, структура схеми передбачає наявність наступних засобів автоматизації. Для підтримки рівня в класифікаторі передбачені два первинні радіоактивні перетворювачі *LL* і *LH*; один з них встановлений на верхньому гранично допустимому значенні рівня, інший на нижньому. Сигнал від перетворювача передається релейному блоку *LGA*, що має електричний контактний і сигнальний пристрій. При отриманні сигналів від перетворювачів контактний пристрій *LGA* припиняє або включає роботу стрічкового конвеєра 1. Цим підтримується рівень суміші на заданому значенні. Сигнальний пристрій служить контролю роботи системи завантаження. Для регулювання процесу сушіння очищеної суміші передбачено регулятор температури. Сигнал від первинного перетворювача температури *TT* по імпульсній лінії передається вимірювальному, який показує, що прилад *TRC* впливає на виконавчий пристрій, який змінює подачу топкового газу в сушильне пристрій. У такий спосіб підтримується температурний режим роботи сушила на необхідне значення.

3.3. Автоматизація процесу приготування глинисто-вугільної суспензії

В'яжуче є одним з основних компонентів формувальної та стрижньової суміші. Найбільшого поширення традиційно набула

глинисто-вугільна суспензія, яка є необхідною складовою у більшості формувальних сумішей. Сировиною для її отримання є мелене вугілля, глина та вода. Схема автоматизація процесу приготування глинисто-вугільної суспензії представлена на рис. 3.3.

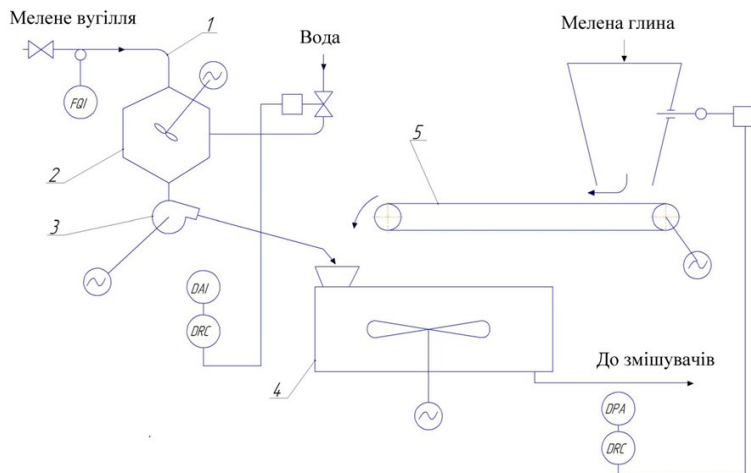


Рис. 3.3 – Схема автоматизації процесу приготування глинисто-вугільної суспензії

Пилоподібне мелене вугілля трубопроводом 1 безперервним потоком надходить концентратор 2, який одночасно подається водопровідна вода. Мішалкою суміш води та вугільного пилу перетворюється на вугільну емульсію, яка насосом 3 спрямовується в концентратор 4. Одночасно туди конвеєром 5 безперервно подається мелена глина. Мішалкою в концентраторі вугільна емульсія та мелена глина перемішуються та утворюють глинисто-вугільну суспензію, яка трубопроводом подається до дозуючих пристроїв.

Технологічний процес оснащений такими засобами автоматизації:

1. Для контролю надходження меленого вугілля концентратор 2 передбачений інтегруючий витратомір *FQI*, встановлений на трубопроводі. Змінюючи ступінь відкриття вентилі, можна задавати

витраті вугільного пилу різних значень. Для приготування вугільної емульсії необхідної концентрації передбачено регулятор густини. Первинний перетворювач *DA* регулятора встановлений у трубопроводі після насосу. Сигнал від нього надходить на регулюючий щільномір *DRC*. Вимірювана у приладі величина щільності реєструється, але в регульовальному пристрої фактичне її значення безперервно порівнюється із заданим. За наявності неузгодженості виробляється регулюючий сигнал, який передається виконавчому устрою. Останнє, увімкнувшись, змінює положення регулюючого органу, який регулює подачу води, підтримуючи щільність на заданому значенні.

2. Для регулювання густини готової глинисто-вугільної суспензії передбачений такий же вимірювальний і регулюючий логометр, але первинним є перетворювач, встановлений у трубопроводі готової суспензії. Останній сприймає значення щільності глинисто-вугільної суспензії, перетворює її на електричну величину, яка по сполучній лінії передається приладу *DRC*. Тут сигнал реєструється, порівнюється із заданим значенням, і виробляється регулююча дія, яка по імпульсній лінії передається виконавчому пристрою, що змінює подачу меленої глини на конвеєрі 5, підтримує якісні показники готової суспензії на заданому значенні.

3.4. Автоматизація процесу виготовлення суміші в змішувачах дискретної дії

У типовій схемі автоматизації змішувача дискретної дії сипучий матеріал зі складу формувальних матеріалів подається по транспортеру I, обладнаному плужковим скидувачем II над бункером III. З бункера матеріал живильником IV завантажується у вирву V вагового дозатора, звідки після набору заданої дози видається у змішувач VI. Рідка композиція по трубопроводу X з витратного бака (на схемі не показано), подається до того ж змішувача за допомогою шестеренного насосу IX, забезпеченого байпасним клапаном VIII для встановлення необхідного діапазону продуктивності насоса та компенсації гідравлічних ударів. На зливному кінці трубопроводу над змішувачем встановлений пружинний клапан VII відсікання прямої дії. Останній закриває канал трубопроводу після зупинки

насоса (падіння тиску рідини) і запобігає її витoku в змішувач. Схема автоматизації змішувача дискретної дії показана на рис. 3.4.

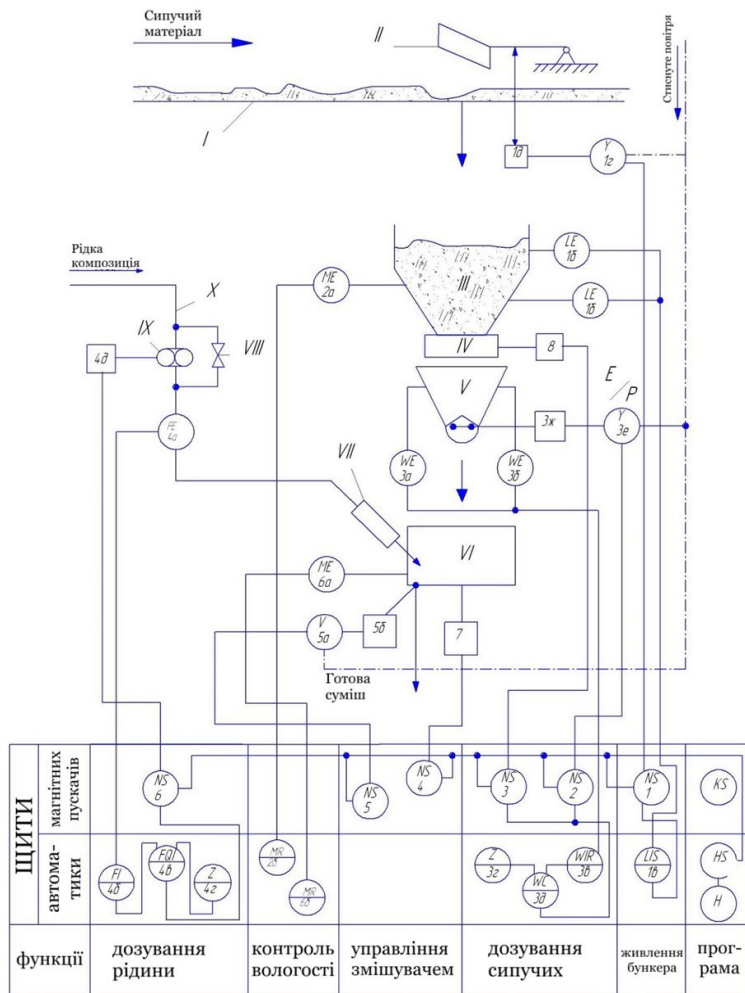


Рис. 3.4 – Схема автоматизації змішувача дискретної дії

У бункері встановлені радіоізотопні датчики *1а*, *1б* рівня (відповідно верхнього та нижнього), підключені до сигналізатора *1в*. При досягненні нижнього допустимого рівня сигналізатор через магнітний пускач *1* включає електропневматичний клапан *1г* пневмоциліндра *1д* плужкового скидача, і відбувається наповнення бункера сипучим матеріалом.

З досягненням верхнього допустимого рівня сигналізатор *1в* видає команду на припинення живлення бункера матеріалом.

Передбачено автоматичний контроль вологості матеріалу у бункері. Для цього в ньому встановлено нейтронний датчик *2а*, підключений до вологоміру *2б*. Система автоматичного управління власне процесом суміші приготування працює наступним чином. На початку технологічного циклу за допомогою універсального перемикача *HS* встановлюється потрібний режим роботи. Тоді відповідно до прийнятої програми здійснюється цикл операцій у часі. Включенням магнітного пускача *4* надають руху робочий орган (катки) змішувача, обертається двигуном *7*; через магнітний пускач *3* включається *8* привід живильника. Маса матеріалу, що надходить з бункера у вагову вирву дозатора, вимірюється за допомогою тензодатчиків *3а*, *3б* з передачею електричного сигналу на вторинний прилад *3в*.

Задана маса дози сипучого матеріалу встановлюється за датчику *3г*. При досягненні заданої маси дози регулятор *3д* зупиняє живильник, після чого магнітним пускачем *2* за допомогою електропневматичного клапана *3е* і пневмоциліндру *3ж* відкривається затвор дозатора, і сипкий матеріал надходить змішувач. Починається операція «сухого» перемішування до досягнення заданої витримки часу.

Потім провадиться дозування рідкої композиції. Магнітний пускач *6* включає електропривод *4д* насоса шестеренного подачі рідини, витрата якої вимірюється за допомогою датчика *4а* індукційного витратоміра. Сигнал датчика передається на вимірювальний блок *4б* та інтегрується за часом інтегратором *4в*. Задане значення дози рідини встановлюється задатчику *4г*. З відліком заданої дози інтегратор вимикає привід насоса. Протягом заданого інтервалу часу відбувається мокре перемішування.

Після завершення програми циклу суміші приготування включається магнітний пускач *5*, спрацьовує електропневматичний

клапан 5а, і пневмоциліндр 5б відкриває розвантажувальний люк змішувача для видачі приготовленої порції суміші на ділянку формоутворення. Система управління готова до повторення технологічних циклів суміші приготування будь-яку необхідну кількість разів.

3.5. Автоматизація процесу виготовлення суміші в змішувачах безперервної дії

Пристрій змішувачів безперервної дії істотно відрізняється від змішувачів періодичної дії. Схема автоматизації процесу виготовлення суміші в змішувачах безперервної дії представлена на рис. 3.5.

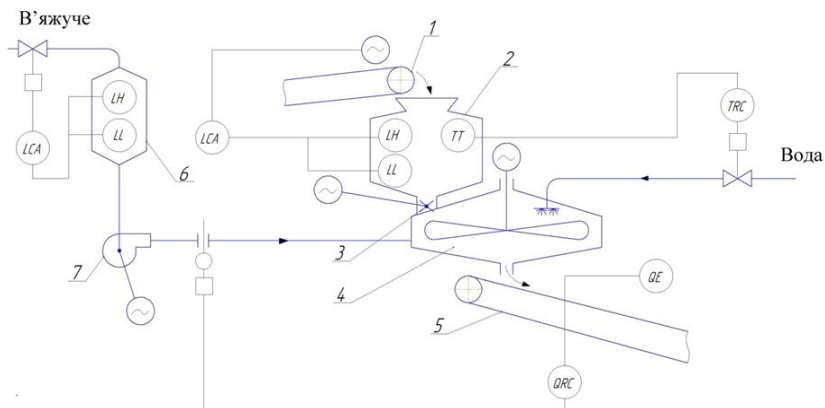


Рис. 3.5 – Схема автоматизації змішувачів безперервної дії

Технологічна схема процесу виготовлення суміші в змішувачах безперервної дії включає стрічковий конвеєр 1, що подає перероблену суміш, яка була у вживанні, в бункер-накопичувач 2, з якого вона живильником 3 передається в бункер-розпушувач 4, одночасно є охолоджувачем суміші. Конвеєром 5 суміш прямує до змішувачів. Бункер 6 та насос 7 служать для подачі бентонітової глини в бункер 4.

Безперервна робота змішувача забезпечується такими засобами автоматизації. Для підтримки рівня в бункері 2 передбачена система позиційного регулювання. Комплект регулятора складається з первинних перетворювачів *LL* і *LH* та релейного блоку *LCA*. Перетворювачі встановлені на верхньому та нижньому гранично допустимих значеннях рівня. Ліній зв'язку перетворювачі пов'язані з релейним блоком. Останній за допомогою своєї контактної системи керує роботою двигуна стрічкового конвеєра 1, який зупиняє або продовжує поповнення бункера сумішшю. При досягненні нижнього значення рівня перетворювач *LL* подає сигнал включення стрічкового конвеєра 1, і бункер заповнюється. У момент дотику суміші з перетворювачем *LH* контактний пристрій релейного блоку призупинить заповнення. Так, циклічно впливаючи на роботу конвеєра, рівень у бункері 2 автоматично підтримується у заданих межах.

Зважаючи на те, що суміш, що надходить з-під вибивних решіток та була у вжитку, має високу температуру, в технологічному обладнанні передбачена система її охолодження водою. Для підтримки температури суміші, наближеної до номінального значення, передбачений регулятор охолодження. Комплект складається з первинного перетворювача температури *TT*, встановленого в бункері, реєструючого вимірювального приладу *TRC* і виконавчого пристрою.

Сигнал від первинного перетворювача по сполучній лінії передається приладу і одночасно до регулюючого пристрою, в якому порівнюється зі встановленим на задавачі значенням. В результаті виробляється регулююча дія, яка керує виконавчим пристроєм, що подає охолоджуючу воду в бункер-змішувач, підтримуючи таким способом температуру в ньому на заданому значенні. Для контролю якості готової суміші передбачений регулятор, що є приладом з контактним позиційним і сигнальним пристроями, який видає ряд дискретних сигналів, що характеризують показники якості формувальної суміші. Комплект регулятора складається з первинного перетворювача *QE*, індикаторного вимірювального приладу *QRC* і виконавчого пристрою. Первинний перетворювач безперервно відбирає пробу готової суміші і передає її в вимірювальну систему. Через суміш пропускається світловий потік індикаторного пристрою, який виробляє сигнал, що керує виконавчим пристроєм.

Останній регулює подачу бентоніту в бункер-змішувач, підтримуючи її якісні показники формування на заданому значенні.

Для регулювання рівня в бункері-накопичувачі бентоніту 6 передбачено позиційний регулятор рівня, що складається з комплекту приладів *LL*, *LH*, *LCA* та виконавчого механізму, аналогічних бункеру 2. Робота системи регулювання здійснюється за раніше описаним принципом.

3.6. Схема керування приводом змішувачів

Як привод змішувачів може використовуватися асинхронний двигун з фазовим ротором. Схема керування приводом змішувача показана на рис. 3.6.

Робота починається з вмикання кнопки *Kn3* ланцюгу підготовки керування. При цьому спрацьовує реле напруги *РН* блокуючи своїм контактом *РН* кнопку *Kn3* і підключаючи двома іншими контактами напругу до ланцюгів керування. У ланцюг підготовки керування (нульового захисту) включений контакт *КЕП-2*, замкнутий у вихідному положенні командоапарату, що унеможливорює пуск двигуна без обмеження пускових струмів. У цей ланцюг включені нормально закриті контакти реле максимального струму *РМ1*, *РМ2*, *РМ3* (максимального захисту двигуна).

Командоапарат *КЕП* починає працювати після замикання ланцюга його електромагніту *КЕП-Ем* кнопкою *KnП* (електромагніт *КЕП-Ем* включає контакт *КЕП-1* ланцюга двигуна *КЕП-М*). Якщо командоапарат не був у вихідному положенні, наприклад, після спрацювання нульового або максимального захисту, то ланцюг підготовки пуску не замкнеться (контакт *КЕП-2* розімкнено), а *КЕП* почне працювати, перемикаючи свої контакти згідно з циклограмою. Закінчивши цикл і прийшовши у вихідне положення, двигун *КЕП-М* відключиться, оскільки розімкнеться контакт *КЕП-1*. Замикання та розмикання контактів *КЕП* у разі не призводить до спрацювання інших апаратів, оскільки напруга до них не підводиться.

Після включення ланцюгів підготовки пуску та початку роботи *КЕП* замикається контакт *КЕП-5*, включаючи обмотку реле проміжного *РП2*. Через контакт реле *РП2* включаються обмотки

контакторів *K1* та *KT*. Контактми контактора *K1* статор двигуна підключається до мережі, а контактами контактора *KT* закорочуються опору проти включення ланцюга ротора весь час включення двигуна. Розпочинається розгін двигуна за штучною характеристикою з повністю включеними в ланцюг ротора пусковими опорами.

Потім замикається контакт *КЕП-6*, включаючи проміжне реле *РПЗ*. Один його нормально відкритий контакт включає контактор прискорення *KУ1*, що шунтує перший ступінь пускового реостату, а другий готує ланцюг включення обмотки наступного реле проміжного *РП4*. Двигун переходить на наступну штучну механічну характеристику. Аналогічно шунтується решта чотирьох ступенів пускових опорів в ланцюзі ротора після замикання контактів *КЕП-7–КЕП-10* і включення контакторів прискорення *KУ2–KУ5*. Двигун виходить на природну механічну характеристику.

Для обмеження струму при шунтуванні пускових опорів у схемі передбачено триобмоточне реле контролю струму *РКТ*, включене через трансформатори струму *ТрТ1* та *ТрТ2*. При неприпустимій величині пускового струму реле *РКТ* розірве свій нормально закритий контакт *РКТ* в ланцюзі живлення двигуна *КЕП-М* і відключить його, тобто припинить шунтування опорів пускових, поки струм не зменшиться до допустимої величини.

За допомогою перемикача швидкостей *B1* можна послідовно відключити реле проміжні *РП4–РП7*. При цьому розгін двигуна буде закінчуватися па відповідної реостатної характеристики, а двигун працюватиме з опорами в ланцюзі ротора, тобто зі зниженою швидкістю.

Після закінчення встановленого часу роботи двигуна контакти *КЕП-5–КЕП-10* розмикаються. Обмотки контакторів *K1* та *KT* відключаються. Статор двигуна відключається від мережі, а в ланцюг ротора вводяться всі опори, у тому числі опори противмикання. Майже одночасно з розмиканням контакту *КЕП-5* замикається контакт *КЕП-4*, що включає реле проміжне *РП1*. Своїм нормально відкритим контактом воно замикає ланцюг живлення контактора *K2* завдяки чому двигун підключається до мережі на гальмування противмиканням. Тривалість противмикання визначається часом замикання контакту *КЕП-4* і має бути відрегульованою при налагодженні. Після закінчення гальмування розмикається контакт *КЕП-1* і двигун *КЕП-М* вимикається. Цикл роботи закінчено.

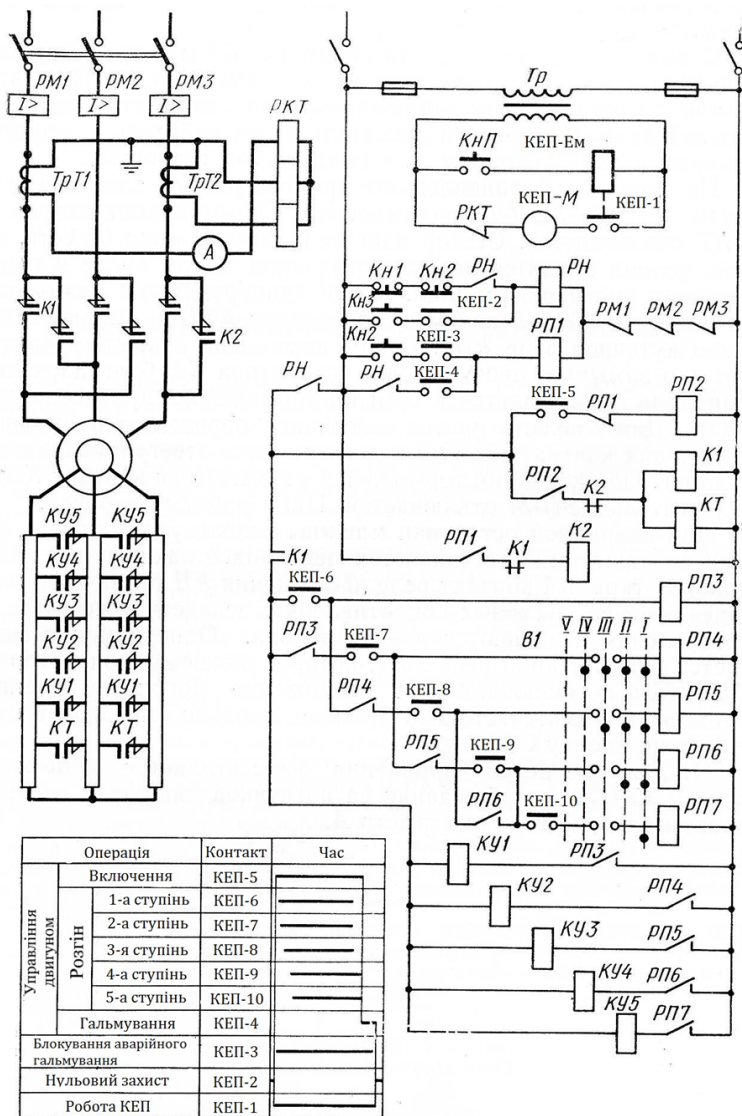


Рис. 3.6 – Схема управління приводом змішувачів

Для аварійного зупинення машини використовується кнопка *Kn2*. При її натисканні знеструмлюється ланцюг підготовки пуску. Нормально відкритий контакт реле напруги *РН* відключає схему перемикання пускових опорів, внаслідок чого всі опори включаються до ланцюга ротора. Одночасно замикається ланцюг живлення реле *РП1*, яке включає контактор *К2*. Двигун перемикається на гальмування увімкненням. Гальмування триває стільки часу, скільки оператор впливає на кнопку *Kn2*.

Вимкнення ланцюгів керування здійснюється за допомогою кнопки *Kn1*. Для спостереження за навантаженням двигуна під час роботи використовується амперметр *A*.

КЕП являє собою пристрій, в якому вал синхронного електродвигуна через редуктор з регульованим передавальним ставленням з'єднаний з валом, на якому закріплені і можуть представлятися кулачки, що включають і відключають контакти *КЕП*. Контакти *КЕП* мають механізми миттєвої дії, а один із них має додатковий привід, який використовується для керування роботою *КЕП*. Цей контакт включається на початку циклу електромагнітом і відключається наприкінці циклу кулачком, встановленим на валу *КЕП*. Час циклу, яким керує *КЕП*, дорівнює часу одного обороту кулачкового валу та регулюється зміною передатного відношення редуктора. Початок і закінчення операцій всередині циклу регулюється перестановкою вмикаючого і вимикаючого кулачків.

Приклад схеми управління електромагнітами виконавчих механізмів з використанням *КЕП* та циклограми роботи електромагнітів показано на рис. 3.7.

У схемі передбачено три режими роботи:

- налагоджувальний (положення I перемикача режимів *B1*);
- напівавтоматичний (становище II);
- автоматичний (становище III).

В автоматичному режимі при натисканні кнопки *KnП1* у ланцюзі підготовки пуску двигун командоапарату *КЕП-М* підключається до мережі блокувальним контактом *РП3* проміжного реле (рис. 3.7 *а*). Відповідно до циклограми (рис. 3.7 *б*) замикаються і розмикаються контакти *КЕП-1*, *КЕП-2*, включаючи та відключаючи проміжні реле *РП1* та *РП2*. Останні включають та відключають електромагніти *Ем1* та *Ем2*.

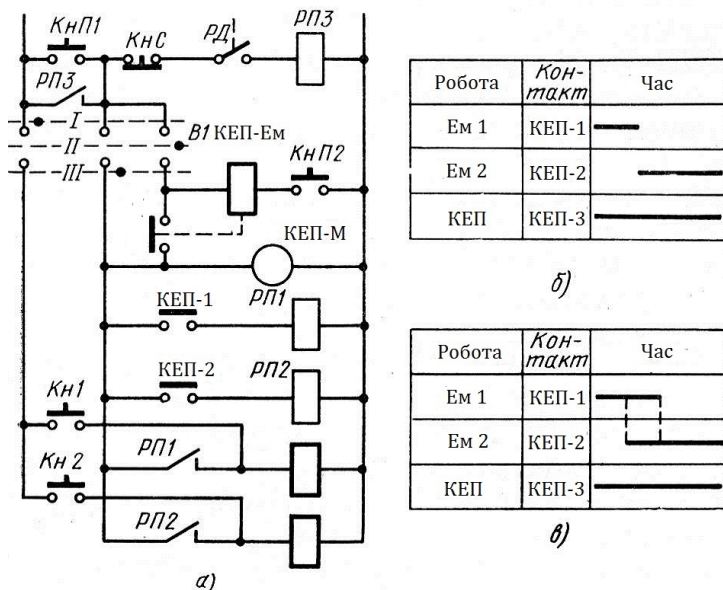


Рис. 3.7 – Приклад схеми управління електромагнітами виконавчих механізмів з використанням КЭП та циклограми роботи електромагнітів

Працюючи в напівавтоматичному режимі після включення ланцюга підготовки пуску двигун командоапарату $КЭП-М$ включитися неспроможна, оскільки контакт $КЭП-3$ розімкнеть. При натисканні на кнопку пуску $КНП2$ у напівавтоматичному режимі спрацює електромагніт $КЭП-Ем$, підключаючи контактом $КЭП-3$ двигун $КЭП-М$ до мережі. Слід зазначити, що відключення електромагніту $КЭП-Ем$ у разі відпускання кнопки $КНП2$ не викликає розмикання контакту $КЭП-3$. Після закінчення циклу контакт $КЭП-3$ буде розімкнено і двигун $КЭП-М$ відключиться від мережі. Для початку наступного циклу необхідно знову натиснути кнопку $КНП2$. Такий режим часто необхідний для зупинки машини після завершення останньої операції. Для цього під час роботи машини в автоматичному режимі достатньо перемикач режимів $В1$ поставити в положення, що відповідає напівавтоматичному режиму роботи.

При налагоджувальному режимі роботи кожен електромагніт може бути увімкненим натисканням кнопки $Kn1$ та $Kn2$.

У схемі електромагніти $Em1$ і $Em2$ підключаються до мережі контактами проміжних реле, а не безпосередньо контактами $KEП-1$ і $KEП-2$, хоча допустимий струм останніх більше робочого струму електромагнітів. Це необхідно для виключення одночасного аварійного спрацьовування обох електромагнітів при режимі налагодження роботи у разі послідовності їх спрацьовування, заданої циклограмою (рис. 3.7 в).

Якщо електромагніти $Em1$ та $Em2$ керують пневматичними або гідравлічними розподільниками, то введений у ланцюг нульового захисту (ланцюг підготовки пуску) контакт PD тиску захищають машину від включення за відсутності тиску в мережі стиснутого повітря або гідросистеми.

При автоматизації технологічних процесів можуть бути командоапарати роторного типу та крокові командоапарати.

Принципова схема командоапарату роторного типу на прикладі керування двома циліндрами показана на рис. 3.8, а принцип її дії описано вище.

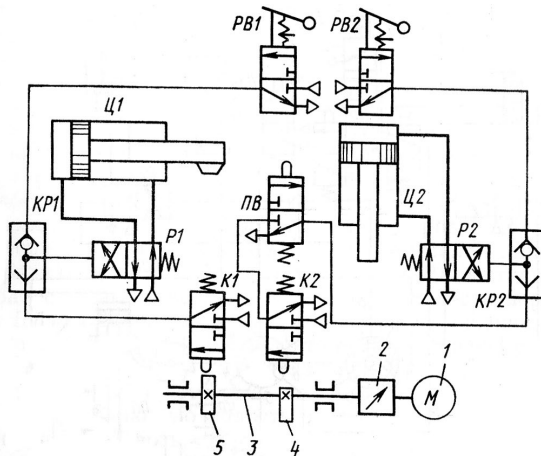


Рис. 3.8 – Принципова схема командоапарату роторного типу на прикладі керування двома циліндрами

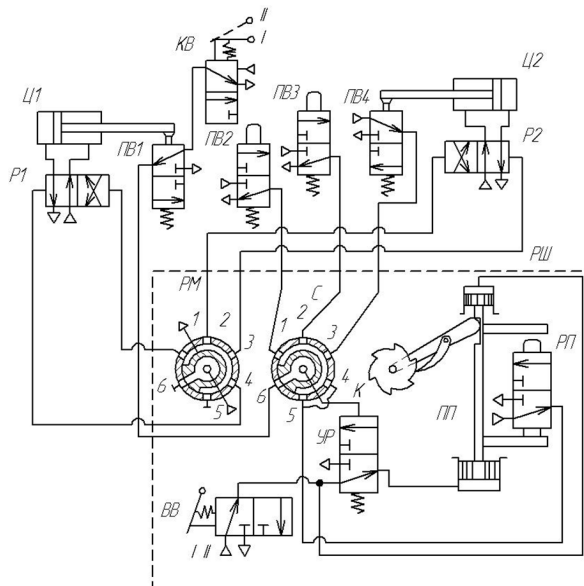


Рис. 3.9 – Принципова схема крокового командоапарату та схема його включення на прикладі керування двома циліндрами

РОЗДІЛ 4

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ У ФОРМУВАЛЬНО- ЗАЛИВАЛЬНИХ ВІДДІЛЕННЯХ ЛИВАРНИХ ЦЕХІВ

Мета розділу: надати загальні відомості про АСУ ТП виготовлення форм, стрижнів та заливання форм.

Робочі питання:

1. Автоматизація процесу підготовки виготовлення форм та стрижнів.
2. Автоматизація процесу заливання форм.

4.1. Автоматизація процесу виготовлення стрижнів

Схема автоматизації процесу виготовлення стрижнів наведена на рис. 4.1.

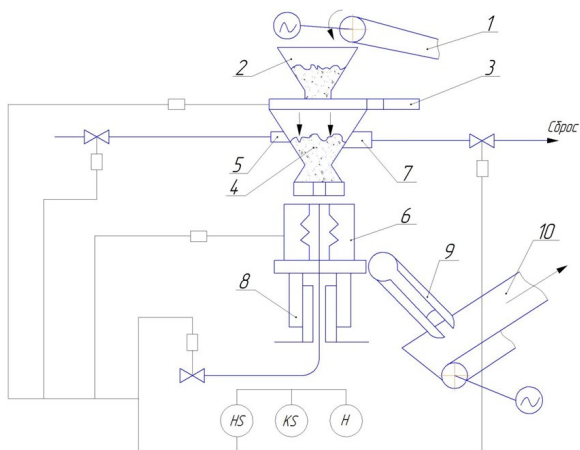


Рис. 4.1 – Схема автоматизації процесу виготовлення стрижнів

В системах дросельне регулювання задля регулювання витрати повітря в одному напрямку й вільному пропуску його в іншому часто застосовуються дроселі зі зворотним клапаном (суміщені позиції 2 та 6 на рис. 4.2). Конструкція цього елемента пневматичних систем наведено на рис. 4.3.

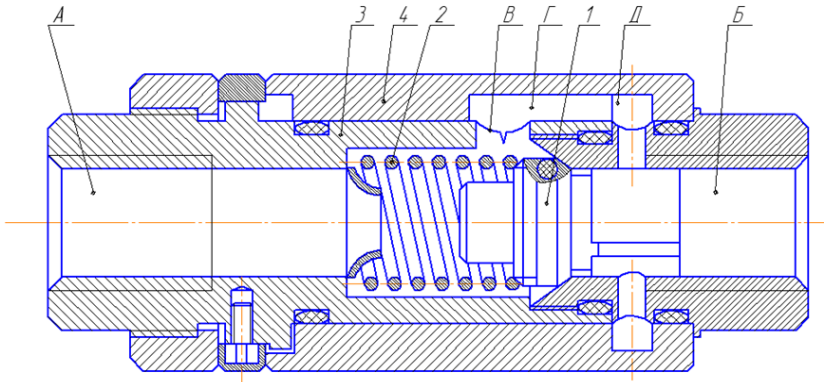


Рис. 4.3 – Конструкція дроселю зі зворотнім клапаном

При підведенні стисненого повітря до отвору *Б* клапан *1* відсувається, переборюючи невеликий опір пружини *2*. Через кільцеву щілину, що утворилася, повітря практично вільно проходить до отвору *А*. При зміні напрямку потоку повітря, тобто коли він поступає до отвору *А*, клапан *1* щільно притискається до сидла і повітря через проточку *В* у корпусі втулки *3* проходить в ексцентричну проточку *Г* обойми *4* і, далі, через отвір *Д* – до отвору *Б*. Витрату повітря регулюють поворотом обойми *4* щодо втулки – при цьому змінюється прохідний перетин ексцентричної проточки.

Способи установки дроселів вибирають залежно від конструкції циліндрів і вимог до якості регулювання швидкості. Можливі схеми дросельного регулювання наведені на рис. 4.4.

В разі установка дроселів як показано на рис. 4.4 *а*, стиснене повітря від розподільника проходить через зворотний клапан *OK2* і далі через дросель *Д1* у робочу порожнину циліндра *Ц* піднімального

механізму. Таким чином, при підйомі поршня його швидкість регулюється дроселем $\Delta 1$. При опусканні поршня під дією ваги повітря з нештокової порожнини виходить через зворотний клапан $OK1$, а його витрата регулюється дроселем $\Delta 2$. Якщо в схемі був би встановлений тільки один дросель без зворотного клапана, то пропускний перетин труби був би однаковим для прямого й зворотного ходів. Два дроселі зі зворотними клапанами дозволяють здійснювати незалежне регулювання швидкості поршня в обох напрямках. Прикладом технічного використання такої схеми є схема регулювання швидкості поршня одnobічного циліндра механізму підйому.

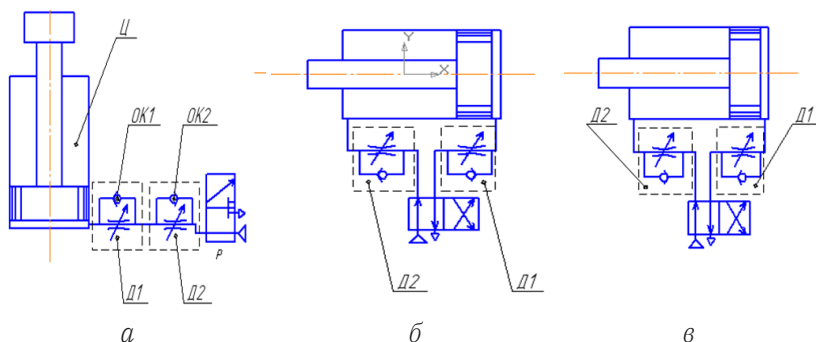


Рис. 4.4 – Схеми дросельного регулювання: *а* – установка дроселів, що забезпечує незалежне регулювання швидкості поршня в обох напрямках; *б* – установка дроселів, що забезпечує одночасний впуск повітря в робочу порожнину й випуск його із протилежної; *в* – схема установки дроселю на виході

В разі установка дроселів як показано на рис. 4.4. *б*, при подачі стисненого повітря розподільником у нештокову порожнину витрата повітря й швидкість поршня регулюються дроселем $\Delta 1$, а повітря зі штокової порожнини вільно виходить в атмосферу через зворотний клапан дроселя $\Delta 2$. У випадку зміни напрямку руху повітря подача його в штокову порожнину регулюється дроселем $\Delta 2$, установленим на вході. Прикладом технічного використання такої схеми є схема регулювання швидкості поршня пневмоциліндра двосторонньої дії.

В разі установка дроселів як показано на рис. 4.4 в, повітря вільно проходить через зворотний клапан дроселя Д2 у штокову порожнину, а з нештокової буде витіснятися через дросель Д1. Швидкість поршня визначається витратою повітря через дросель Д1. Цей метод забезпечує більшу плавність руху поршня, тому що високий тиск у порожнині спорознювання не дозволяє, наприклад при стрибкоподібному зменшенні навантаження, різко підвищити швидкість. При регулюванні швидкості із дроселем на вході порожнина спорознювання вільно з'єднана з атмосферою й знижений тиск у ній не може істотно впливати на зміну швидкості поршня. Така схема установка дроселя на виході реалізує найпоширеніший метод регулювання швидкості у пневмоприводах ливарних машин.

4.2. Автоматизація процесу виготовлення форм

Схема автоматизації однопозиційної формувальної пресової машини представлена на рис. 4.5.

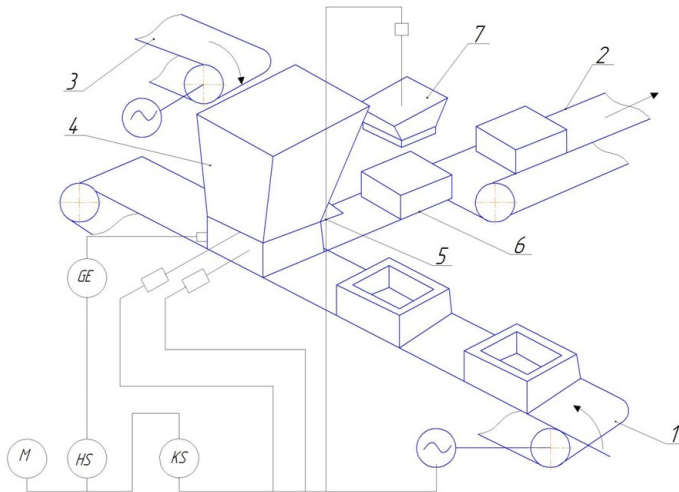


Рис. 4.5 – Схема автоматизації пресової формувальної машини

Опоки до машини подаються циклічно діючим стрічковим конвеєром 1, формувальну суміш засипають, а готові напівформи передають на потокову лінію відповідно стрічковими конвеєрами 2 і 3.

Для управління циклічною дією машини передбачено командно-електричний прилад *KS*, контактна система якого налаштовується для кожного виду моделі, що формується. Система дозволяє переходити з автоматичного керування на ручне. Для вибору режиму передбачено універсальний перемикач та кнопка управління *HS*.

Дія машини при автоматичному режимі відбувається у наступній послідовності.

При включеному в роботу стрічковому конвеєрі 1 опоки будуть подаватися під дозувальний шибер 5. При досягненні опокою свого фіксованого положення на столі машини вона підійде впритул до штовхача кінцевого вимикача *GE* і включить нею контактну систему. Останній включить у роботу командний прилад *KS*, контактна система прийде в дію. Першою його командою буде зупинка на короткий час двигуна конвеєра 1 (на період операцій з опокою на столі). Спрацюванням наступної контактної групи приладу буде включення виконавчого пристрою, яке на короткий час висуне заслінку 5 з-під бункера 4 і поверне її до попереднього стану. За цей час порожня опока заповниться формувальною сумішшю з бункера 4. Наступна контактна система командоапарату включить виконавчий пристрій, який, спрацювавши, перемістить заповнену сумішшю опоку столу 6 і поставить її під пресову плиту 7. Якщо під пресовою плитою в цей час знаходилася б інша, вже готова форма, то формою, що надійшла, вона буде зсунута на конвеєр 2 потокової формувальної лінії. Наступною командою апарату *KS* буде спрацювання виконавчого пристрою, який виконає дію на формувальну суміш, що надійшла з опокою, опустивши пресову плиту 7. Завдяки цьому здійсниться ущільнення суміші, після чого плита підніметься вгору. До цього часу вже буде заповнена сумішшю нова опока, яка після закінчення роботи пресової плити на ущільнення суміші стане на її місце, буде рушити на конвеєр 2.

Крім системи автоматичного управління роботою формувальної машини, передбачена система позиційного регулювання рівня суміші в бункері 4, автоматичний контроль вологості суміші у формах (дві останні системи на схемі не представлені).

У формувальних машинах, заснованих на ущільненні струшуванням і струшуванні з підпресовкою, застосовують багатоелементну та одноелементну системи управління. Автоматизація процесів зводиться до жорсткого виконання послідовності технологічних операцій.

Багатоелементна система управління на прикладі виготовлення форм на струшуючих машинах з підпресуванням представлена на рис. 4.6.

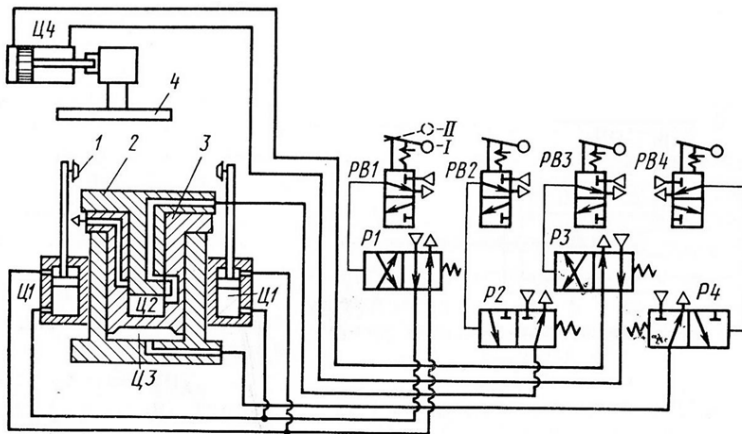


Рис. 4.6 – Багатоелементна система управління процесом виготовлення форм на струшуючих машинах з підпресуванням

Рольганг 1 прийому опок приводиться в дію пневмоциліндром Ц1, а пресова плита 4 – циліндром Ц4. Усі робочі циліндри машини управляються відповідними головними розподільниками P1, P2, P3 і P4, які, своєю чергою, керуються від відповідних допоміжних розподільників PB1, PB2, PB3 та PB4. Оператор визначає моменти включення механізмів, що включає їх за допомогою допоміжних розподільників, що мають ручне управління.

Цикл роботи починається з опускання рольгангу 1 з порожнім опокою та встановлення її на модельну плиту. Для цього оператор

переводить рукоятку розподільника *PB1* в положення *II*, повітря, надходячи в порожнину управління розподільника *P1*, перемикає його. Останній спрямовує стиснене повітря в штокові порожнини циліндрів *ЦI*, рольганг *1* з опкою опускається. Після заповнення опки сумішшю оператор переводить розподільник *PB2* положення *II*, який подає повітря в керуючу порожнину головного розподільника *P2*. Потік стиснутого повітря направляється в циліндр *Ц2* струшуючого столу *2*. Для припинення струшування необхідно перевести допоміжний розподільник *PB2* у вихідне положення *I*. При цьому подача стисненого повітря в порожнину керуючого розподільника *P2* припиняється, і він, повертаючись у вихідне положення, перекриває подачу повітря у струшуючий механізм.

Для підпресування необхідно перевести розподільник *PB3* положення *II*. Повітря надійде в керуючу порожнину головного розподільника *P3*, який з'єднає нештокову порожнину *Ц4* циліндра з мережею, а штокову з атмосферою. Пресову плиту *4* встановлюють над столом *2*. Пресування починається після переведення розподільника *PB4* положення *II* і перемикання розподільника *P4*. Повітря з мережі потраплятиме в порожнину пресового циліндра *Ц3*, в поршень *3* якого вбудований струшуючий механізм. При поверненні розподільника *PB4* у вихідне положення *I* розподільник *P4* також повертається у вихідне положення. Порожнина циліндра *Ц3* з'єднується з атмосферою і *2* стіл опускається.

Відведення траверси з пресовою плитою *4* відбувається після перемикання розподільника *PB3* в положення *I*. Розподільник *P3* повертається у вихідне положення і з'єднує штокову порожнину *Ц4* циліндра з мережею, а нештокову з атмосферою. Для витяжки моделей необхідно перевести розподільник *PB1* у положення *I*, внаслідок чого розподільник *P1* повернеться у вихідне положення, з'єднуючи штокову порожнину циліндра *ЦI* з атмосферою, а нештокову з мережею. Рольганги піднімаються та знімають готову напівформу з модельної плити.

Під час роботи оператор повинен визначати не лише моменти включення розподільників *PB*, а й їхню черговість. Це ускладнює процес керування; крім того, можливий випадок, коли оператор помилиться та переключить не той розподільник. Порушення в послідовності включення може спричинити аварію або нещасний випадок.

При одноелементному управлінні процесом виготовлення форм оператор протягом циклу кілька разів натискає на єдину кнопку або важіль управління, і щоразу вмикається саме операція, яка повинна йти за технологією. Момент включення визначає оператор, а послідовність – система управління. Послідовність заздалегідь визначена та закладена в систему. З циклу до циклу ця черговість повторюється і порушити її практично неможливо. Наявність однієї кнопки управління при великій кількості операцій спрощує процес управління та виключає можливість помилкового спрацювання. Ця перевага одноелементної системи управління сприяє її широкому застосуванню в ливарних машинах і особливо у формувальних.

Принципова схема одноелементної системи управління показана на рис. 4.7.

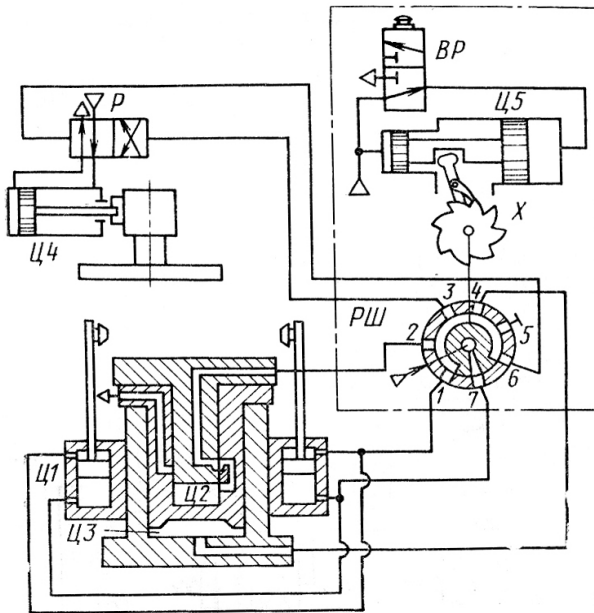


Рис. 4.7 – Принципова схема одноелементної системи управління

Оснoву однoелементної системи управління складає командo-апарат крокової дії (рис. 3.9).

Центральний канал розподільника з'єднаний із мережею, а сім вихідних каналів – з робочими циліндрами машини та порожнинами керування допоміжних розподільників.

Для опускання кромочного рольгангу (початок циклу) необхідно натиснути кнопку допоміжного розподільника *BP*. У вихідному положенні обидві порожнини *Ц5* циліндра повідомляються з мережею, і внаслідок різниці діаметрів шток знаходиться в крайньому лівому положенні. При включенні розподільника *BP* права порожнина циліндра *Ц5* з'єднується з атмосферою і поршень переміщається вправо. Одночасно собачка повертає храпове колесо *X* та розподільник *PIII* на один крок. При підключенні каналу *I* розподільника *PIII* до мережі стиснене повітря надходить у штокову порожнину циліндрів *ЦI* і кромкові рольганги опускаються. Після звільнення кнопки розподільника *BP* стиснене повітря знову починає надходити в праву порожнину циліндра *Ц5*, та його поршень повертається у вихідне положення. Для повороту храпового колеса на один крок досить короткочасного натискання на кнопку розподільника *BP*.

Для включення струшуючого циліндру знову необхідно натиснути на кнопку розподільника *BP*. Відбудеться черговий поворот розподільника *PIII* на наступну позицію, і стиснене повітря з мережі надійде через канал *2* до струшуючого механізму. Для підведення траверси з пресою колодкою необхідно знову натиснути кнопку розподільника *BP* і кроковий механізм переведе багатопозиційний розподільник *PIII* в третє положення. У цьому положенні механізм струшування відключається, а повітря через канал *3* надходить в праву порожнину керуючого розподільника *P*, який перемикається і подає стиснене повітря в нештокову порожнину циліндра *Ц4*. Шток циліндра *Ц4* встановлює пресову плиту над формувальним столом. Потім оператор натискає на кнопку розподільника *BP*. Розподільник *PIII* перетворюється на четверте положення і подає стиснене повітря через канал *4* в пресовий циліндр. Відбувається операція пресування.

Для забезпечення тиску в нештоковій порожнині *Ц4* в момент пресування необхідна установка додаткового розподільника *P* з двостороннім управлінням. Якщо цю порожнину підключити

безпосередньо до 3 каналу розподільника *РІІІ*, то при переході крокового розподільника в четверте положення канал 3 з'єднується з атмосферою, і в нештоковій порожнини тиск знизиться. Це може призвести до відходу траверси від упору і, отже, порушення співвісності пресової плити і опоки. При з'єднанні правої порожнини розподільника з атмосферою його робочий орган залишається в колишньому положенні до тих пір, поки не буде подано повітря в ліву порожнину, що управляє, що відбудеться тільки після чергового натискання на кнопку управління. При цьому через 4 канал розподільника повітря виходить з пресового циліндра. Наступним натисканням кнопки розподільника *РІІІ* оператор з'єднує ліву порожнину розподільника *Р* через канал 6 з стиснутою мережею повітря. Розподільник *Р* спрацює та подасть повітря в штокову порожнину циліндра *Ц4*. Шток під час назад відведе траверсу з колодкою із зони над пресовим столом.

Додаткові розподільники із запам'ятовуванням положення застосовують у випадках, коли необхідно подавати стиснене повітря до виконавчих пристроїв за проміжних тактів крокового розподільника. Цього можна уникнути при встановленні спеціального розподільного органу зі складною системою каналів.

Завершальний етап роботи машини – витяжка моделей – слідує після сьомого натискання на кнопку керування, в результаті розподільник *РІІІ* перейде в положення 7 і подасть стиснене повітря в нештокові порожнини циліндрів *ЦІІІ* кромкових рольангів.

4.3. Схема автоматизації процесу заливання форм

Схема автоматизації процесу заливання форм однопозиційної формувальної пресової машини представлена на рис. 4.8.

Робота лінії в автоматичному режимі відбувається у такому порядку. Циклічно, в кроковому режимі, форми 3, готові під заливку, переміщуються на конвеєрній лінії на ділянки, на яких встановлені тензометричні силові елементи. Останні сприймають масу не заповненої металом форми і передають сигнал вимірювальному приладу, що має пропорційну систему автоматичного регулювання. Остання перетворює сигнал, що надійшов, в електричний

регулюючий вплив, який передається виконавчому пристрою, з'єднаному тягою з ковшем. Включившись у роботу, пристрій нахилить ківш у бік вирви до того моменту, поки метал не почне з нього надходити в литникову систему форми. Заповнення останньої буде проводитися доти, доки у випорі форми не з'явиться світлове випромінювання, яке уловлюється фотоелементом.

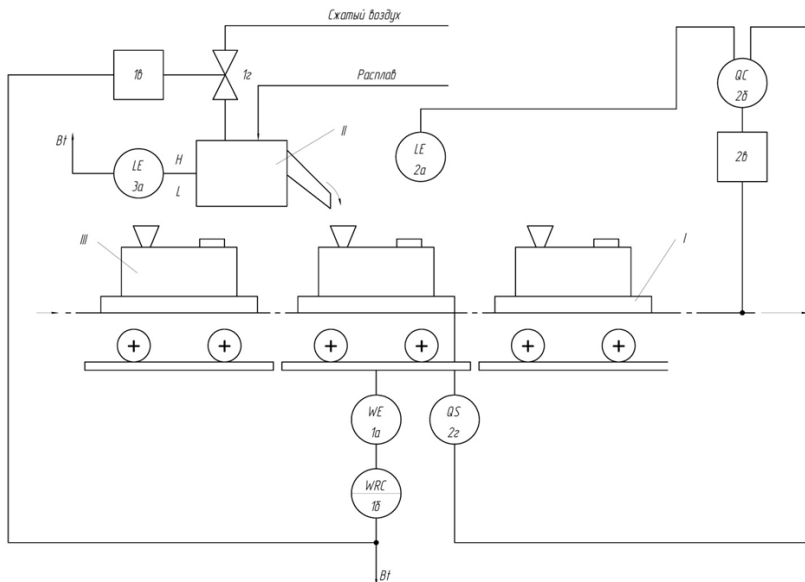


Рис. 4.8 Схема автоматизації процесу заливання форм

Останній, вловивши його, подасть сигнал релейному перетворювачу, який однією контактною системою подасть команду припинення дії виконавчого механізму, тобто. на закінчення розливу, а другий контактною групою включить двигун, який перемістить конвеєрну лінію на один крок. В результаті залита форма вийде з-під ковшу, а на її місце стане підготовлена. Операція заливання нової форми проводитиметься в описаній послідовності. Для контролю наявності в ковші металу на підвісній траверсі ковшу

встановлений первинний тензометричний перетворювач, з'єднаний з реєструючим приладом. При витраті з ковшу металу приладом подається сигнал про необхідність заміни ковшів.

Найбільш повно відповідає вимогам технологічного процесу автоматичне керування установкою заливки в залежності від ваги металу, що виливається з ковшу. Цей спосіб управління процесом заливки може бути здійснено трьома способами:

- керуванням з використанням ковшу, металоємність якого розрахована на заливання однієї форми;
- керуванням за вагою розплаву в ковші;
- керування по різниці ваги ливарної форми на початку та в кінці заливки.

В системах заливки використовують також дозатори розплаву, інтегровані в конвеєрну лінію. Залежно від типу заливального конвеєра застосовують:

- стаціонарні дозатори розплавів – для пульсуючих конвеєрів, які призупиняють рух на час заливання форми;
- пересувні дозатори – для конвеєрів з безперервним рухом форм.

В останньому випадку дозатор рухається зі швидкістю конвеєра у процесі заливання форми. Зазвичай це досягається включенням механічного зв'язку візка, на якому встановлено власне дозатор, з конвеєром.

Робота дозатора автоматично узгоджується з роботою конвеєра заливки.

Для того, щоб розпізнати, чи досягла форма заданого положення щодо дозатора, можна використовувати металеві прапорці, що закріплюються на формах. При вході прапорця в активну зону безконтактного колійного перемикача формується команда початку процесу заливки форми. Для цієї ж мети можна використовувати фотореле.

Схема дозування показана на рис. 4.9.

Схема працює наступним чином. Впускний та випускний канали представляють собою рідкі затвори, завдяки чому зменшується шлакоутворення в печі та стає можливим роздача рідкого чавуну під тиском газу через стопорний пристрій. Конструкція печі змонтована на візку, що забезпечує переміщення по двох координатах.

Під тиском повітря чи інертного газу рідкий метал витискується в стопорний пристрій. При досягненні заданого рівню металу тиск підтримується постійним. Рівень дзеркала чавуну вимірюється спеціальним щупом. По сигналу від блоку управління стопор гідравлічним механізмом підіймається на висоту, що регулюється, та через випускний отвір стакану видається задана порція чавуну. На протязі всього часу заливки ковшів початковий рівень металу в ванні стопорного пристрою підтримується постійним за допомогою регулятора тиску, що зв'язаний із щупом, – це забезпечує постійну витрату металу.

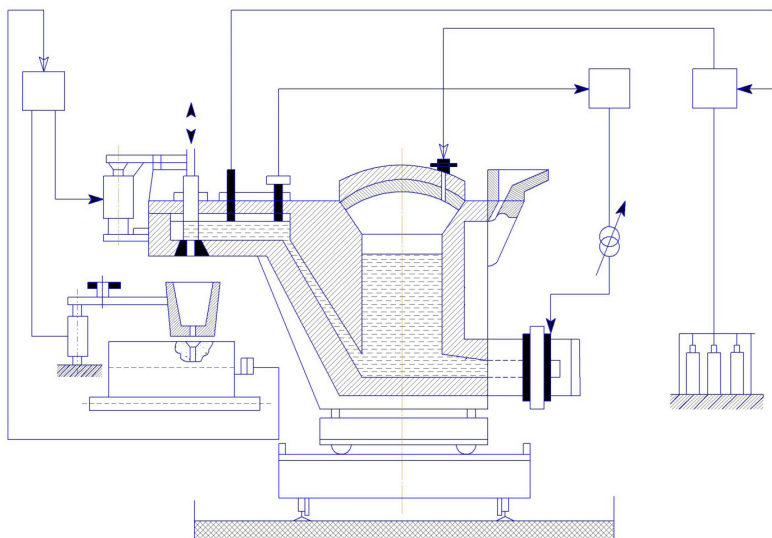


Рис. 4.9 – Схема дозування розплаву

РОЗДІЛ 5

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ ВИБИВАННЯ ОЧИЩЕННЯ ВИЛИВКІВ

Мета розділу: надати загальні відомості про АСУ ТП очищення виливків.

Робочі питання:

1. Автоматизована система очищення та зачищення виливків.
2. Система керування дробометним апаратом.

5.1. Автоматизована система очищення виливків

На рис. 5.1 наведено варіант схеми автоматизації для одного потоку дрібних виливків.

Очищення виливків від пригарів формувальної і стрижневої суміші, що залишилися на їх поверхнях, виконують на потокових лініях, оснащених відповідними засобами автоматизації.

Виливки від вибивної машини по стрічковому конвеєру 1 надходять у галтувальний барабан безперервно обертається 2, який закритий зверху захисним кожухом. Усередині барабана з його стінках зроблені жорсткі ребра, але в периферійної поверхні отвори. Через отвори на стрічковий конвеєр 3, що рухається, прокидається відстаюча суміш. Зверху барабан охолоджується водою. За час знаходження виливків у барабані, що обертається, вони очищаються від пристала до них суміші і одночасно охолоджуються. З барабана виливки конвеєром 4 завантажуються в дробометний барабан 5, з якого стрічковим конвеєром 6 передаються на операцію зачистки.

Для забезпечення рівномірного завантаження барабана передбачено регулятор завантаження. Комплект складається з тензометричного перетворювача *WE*, встановленого під стрічкою конвеєра, реєструючого вимірювального приладу *WRC* з електричним

контактним позиційним пристроєм. Тиск маси виливків, що знаходяться на стрічці конвеєра, сприймається тензометричним перетворювачем і у вигляді електричного сигналу передається приладу *WRC*. В останньому значення сигналу реєструється, а контактний пристрій, впливаючи на систему управління двигуном, змінює швидкість руху стрічкового конвеєра, підтримуючи постійне значення завантаження барабана. Для регулювання температури охолодження виливків в барабані передбачений регулятор температури прямої дії *ТС*. Первинний перетворювач регулятора встановлений в потоці повітря, що відсмоктується перед вентилятором, сприймає температуру відхідних газів і в залежності від її значення змінює подачу охолоджувальної води, підтримуючи температуру охолодження в межах заданого значення.

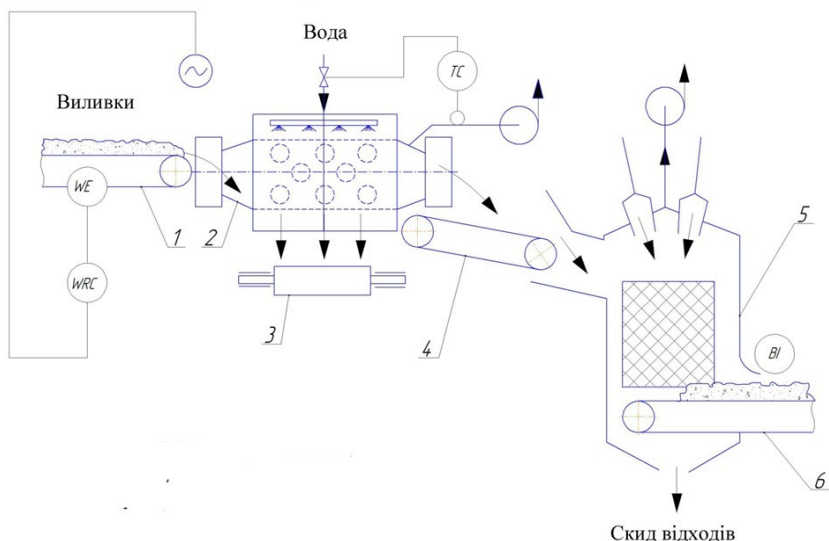


Рис. 5.1 – Схема автоматизації очищення лиття

Для контролю якості очищення виливків передбачений вимірювальний фотоелектричний прилад *ВІ*, що сприймає величину

відображення спрямованого на виливки світлового потоку. Показник відбиття є функцією чистоти обробки поверхні.

Схема автоматизації процесу зачистки виливків представлена на рис. 5.2.

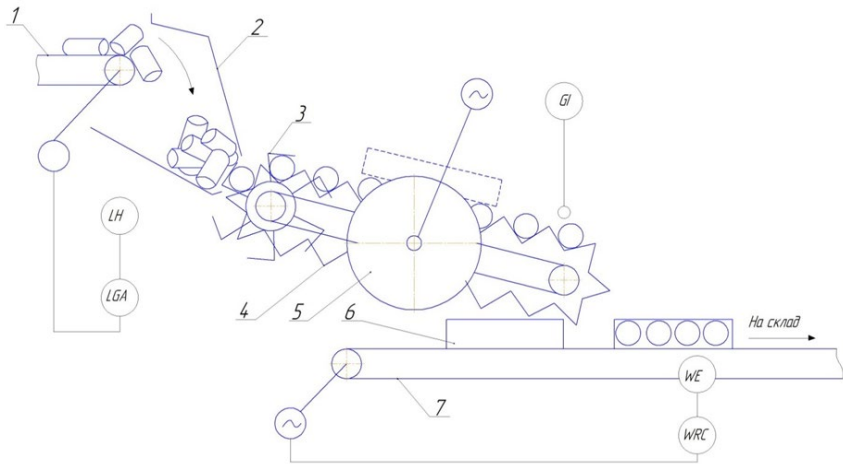


Рис. 5.2 – Схема автоматизації процесу зачистки виливків

5.2. Система керування дробометним апаратом

Процес очищення виливків у дробометних барабанах має бути узгоджений із системою завантажувального пристрою. Саме відповідно до цих елементів системи і має вирішуватися завдання автоматизації процесу.

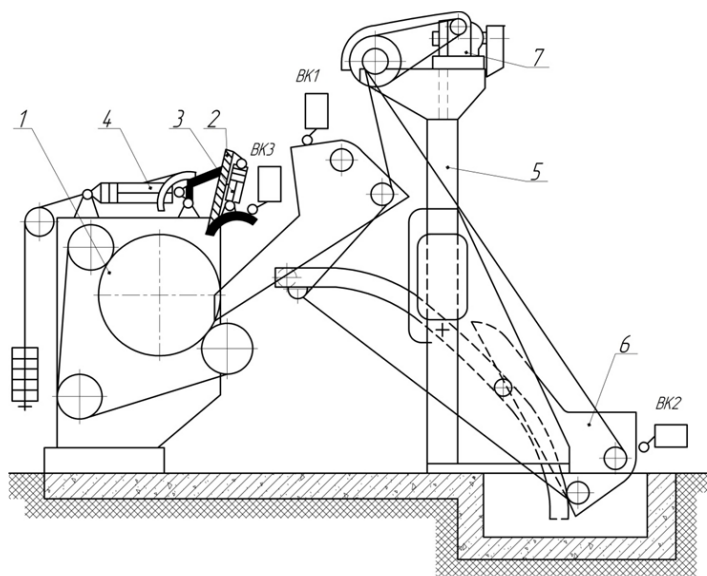
Електрична схема управління підйомником, частина загальної електричної схеми барабана, забезпечує налагоджувальний та автоматичний режим роботи підйомника. У налагоджувальному режимі роботи (перемикач режимів *В* у положенні *Н*) керування підйомником здійснюється за допомогою кнопок *КнП1* («Підйом»), *КнП2* («Опускання») та *КнС* («Загальний стоп»).

При відкритих дверях барабана (нормально відкриті контакти колійного перемикача *ВКЗ* замкнуті) натисканням кнопки *КнПІ* вмикається на саможивлення обмотка контактора *К1*. Одночасно з двигуном включається обмотка 9 електромеханічного гальма, короб починає рух вгору.

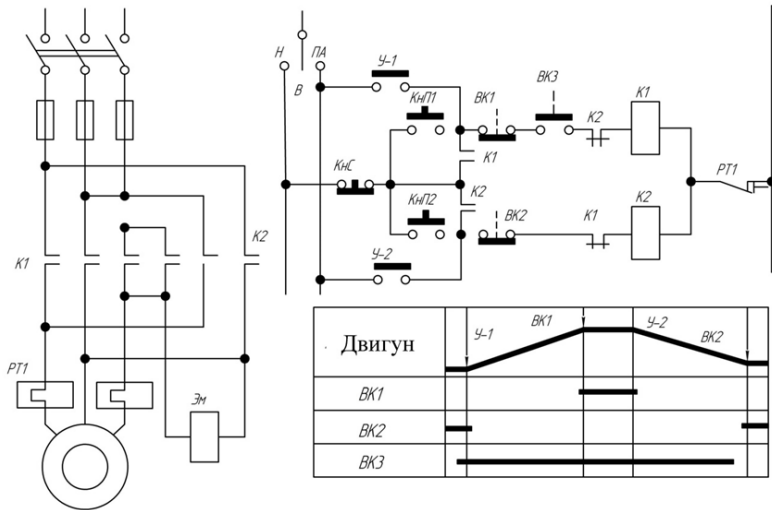
У крайньому верхньому положенні він діє кінцевий вимикач *ВК1*, розриваючи ланцюг живлення обмотки контактора *К1*. Двигун автоматично відключається від мережі, а короб утримується у верхньому положенні електромеханічним гальмом. Опускається короб після натискання кнопки *КнП2*.

У крайньому нижньому положенні коробка двигун автоматично відключається кінцевим вимикачем *ВК2*. За допомогою кнопки *КнС* короб може бути зупинений у будь-якому проміжному положенні як під час вгору, так і вниз.

Схема керування приводом завантаження барабана показана на рис. 5.4.



а



б

Рис. 5.4 – Схема керування приводом завантаження барабана:
а – схема дробометного апарату; б – схема керування приводом завантаження барабана

При напівавтоматичному режимі роботи барабана (перемикач $У$ у положенні $ПА$) команда початку завантаження подається яким-небудь іншим апаратом управління, замикаючим свій нормально відкритий контакт $У-1$. Після того, як короб підніметься у верхнє положення, він повинен затримуватися на деякий час, щоб виливки встигли висипатися. Якби ця вимога не ставилася, то другий керуючий контакт $У-2$ у схемі можна було б замінити нормально відкритим контактом кінцевого вимикача $ВК1$, шунтувавши його нормально відкритим контактом контактора $К2$. У верхньому положенні коробка двигун цим контактом був автоматично переключений на реверс. Цикл роботи підйомника закінчився б у нижньому положенні коробка відключенням двигуна кінцевим вимикачем $ВК2$.

Затримку короба у верхньому положенні можна зробити, наприклад, за допомогою реле часу.

РОЗДІЛ 6

СИНТЕЗ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ОПЕРАЦІЯМИ ЛИВАРНОГО ВИРБНИЦТВА НА ЛІНІЯХ

***Мета розділу:** ознайомитися з принципами логічного синтезу систем керування ливарними машинами-автоматами, що використовуються на лініях.*

Робочі питання:

1. Принципи проектування систем керування ливарними машинами-автоматами.
2. Приклад логічного синтезу системи керування формувальним автоматом.

6.1. Принципи проектування систем керування ливарними машинами-автоматами

Машина-автомат, яка виконує комплекс технологічних операцій, складається з механічної частини (привод) та системи керування. До приводу відносяться електричні, гідравлічні та пневматичні двигуни, які через передавальні пристрої переміщують робочі органи, а також датчики, які контролюють положення цих робочих органів. Система керування приводом – це пристрій релейної дії, який здійснює у моменти часу перемикання елементів приводу і цим забезпечує виконання машиною-автоматом заданої послідовності технологічних операцій.

Система керування має бути надійною, економічною та зручною в експлуатації. Це означає, що вона повинна:

- безвідмовно працювати у заданому режимі протягом певного періоду часу;
- надійно і правильно функціонувати в аварійних режимах, наприклад, при зникненні живлення (напруги), не допускаючи при цьому розвитку аварії як у самій схемі, так і в керованому об'єкті (машині-автоматі);

- містити мінімально можливу кількість елементів і мати якнайменшу довжину сполучних ліній;
- бути гранично простою, що вимагає мінімуму витрат праці та часу при її обслуговуванні;
- забезпечувати можливість простого та швидкого вибору необхідного режиму, переходу від автоматичного керування на ручне та назад, зняття та введення блокувальних зв'язків тощо;
- забезпечувати можливість проведення ремонтних та налагоджувальних робіт із дотриманням необхідних заходів безпеки.

У процесі проектування має бути забезпечене виконання цих вимог.

Синтез системи керування ведеться на основі методів математичної логіки. Це дає можливість ввести в процес проектування ряд формальних прийомів, які дозволяють досить швидко знайти оптимальний за критеріями економічності та надійності варіант схеми.

Проектування системи керування незалежно від того, який метод синтезу буде обрано, зазвичай ведеться в порядку, визначеному нижче:

1. Постановка завдання та розробка завдання на проектування.
2. Вивчення та уточнення технічного завдання на проектування.
3. Визначення вхідних та вихідних впливів (змінних) та складання блок-схеми пристрою управління.
4. Уточнення та чітке формулювання умов роботи окремих структурних елементів блок-схеми.
5. Складання та перетворення логічних формул, що відображають необхідний закон функціонування структурних елементів блок-схеми.
6. Складання та оформлення принципових схем із запровадженням необхідних блокувань захисту.

Основний зміст роботи на етапах, що передують синтезу системи управління з використанням методів математичної логіки, зводиться до наступного:

1. Постановка завдання

Технічне завдання є вихідним матеріалом для синтезу системи керування. У ньому наводиться опис технологічного процесу, а також машин та механізмів, які в ньому використовуються.

2. Вивчення та уточнення технічного завдання.

У завданні формулюються, як правило, у загальному вигляді умови автоматизації:

- послідовність роботи механізмів;
- перелік блокувань;
- роль оператора тощо.

Тому необхідно додатково вивчити технологічний процес з погляду завершеності робіт з його механізації та підготовленості установки до автоматизації. Розглядається кожна технологічна операція, обладнання, що застосовується, уточнюється послідовність операцій і необхідні затримки. Встановлюються параметри, що підлягають контролю, та вибираються засоби автоматичного контролю та захисту. Повинні бути ретельно проаналізовані умови появи сигналів від датчиків та засобів захисту при всіх можливих робочих та аварійних режимах роботи установки, а також виявлено невикористовувані та нейтральні стани схеми керування.

Аварійні стани мають бути повністю усунені, а аналіз можливих невикористовуваних та нейтральних станів допомагає спростити схеми.

Передбачається місцеве управління у зв'язку з необхідністю включення окремих механізмів під час ремонтно-налагоджувальних робіт, настановних операцій тощо. При місцевому управлінні не повинні діяти блокування між схемами окремих механізмів та пристроїв. Дистанційне керування передбачається у випадках, коли намічається централізований контроль технологічного процесу з пульта керування.

При первинному розгляді завдання слід пам'ятати, що безконтактні схеми забезпечують вищу надійність роботи системи управління, що обумовлено відсутністю контактів та наявністю додаткових блокувань, запровадження яких у схему поліпшує її якість та не вимагає додаткових витрат.

Підсумком докладного вивчення технологічного процесу та технічного завдання на автоматизацію є складання структурної технологічної схеми автоматизації процесу, і відповідно до цієї технологічної схемою автоматизації складається опис технологічного процесу, опис устаткування, механізмів, приводов, обраних виконавчих механізмів, датчиків тощо.

У технологічній схемі та в описі має бути вичерпна інформація для формулювання умов роботи проектованої системи управління.

3. Визначення вхідних та вихідних змінних та складання блок-схеми пристрою.

З аналізу технологічного процесу загалом, і навіть функцій, виконуваних окремими агрегатами і механізмами, складається блок-схема системи автоматики. При цьому вказуються функції, що виконуються окремими блоками, а також вхідні та вихідні сигнали та взаємні зв'язки між окремими блоками. Якщо окремі елементи блок-схеми все ж таки виходять досить складними, то їх слід розділити на дрібніші вузли, що містять не більше 3–5 виконавчих механізмів.

При визначенні вхідних та вихідних змінних окремих блоків та вузлів схеми управління слід мати на увазі, що привод та його система керування працюють спільно. Тому як вхідні змінні релейного пристрою приймають вихідні змінні приводу і, навпаки, як вихідні змінні релейного пристрою – вхідні змінні приводу. В якості вхідних змінних приводу зазвичай приймають стан ланцюгів керування (стан керуючих золотників, керуючих клапанів, що сприймають реле і т. д.), а в якості вихідних змінних приводу – стан кінцевих вимикачів, що фіксують положення робочих органів.

Складена блок-схема може уточнюватися в процесі синтезу, можлива поява нових додаткових зв'язків між структурними елементами та виділення нових структурних блоків.

Остаточний вигляд блок-схеми отримує в кінці проектування. Приклад такої блок-схеми показано на рис. 6.1.

4. Уточнення та чітке формулювання умов роботи окремих структурних елементів блок-схеми.

Структурний блок або елемент блок-схеми можна розглядати як окрему схему зі своїми вхідними та вихідними сигналами та самостійною структурою. На цьому етапі проектування необхідно із загальних вимог до пристрою в цілому виділити ті, що стосуються цієї схеми. Ці основні вимоги можуть бути доповнені та конкретизовані.

Остаточні сформульовані умови роботи блоку, крім словесної форми, може бути записані як таблиць станів, діаграм, в аналітичній формі тощо.

Записані у тому чи іншому вигляді умови роботи даного структурного блоку повинні містити однозначні та несутеречливі

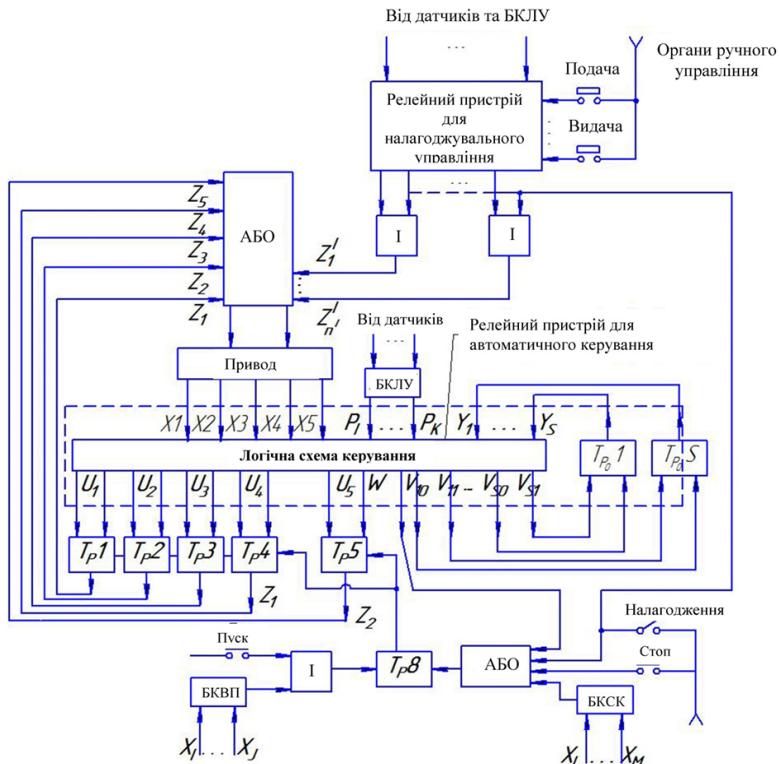


Рис. 6.1 – Приклад блок-схеми системи керування

З можливих комбінацій вхідних та вихідних сигналів або їх послідовностей слід виділити комбінації, що забезпечують нормальне функціонування схеми, комбінації заборонені, нейтральні або не використовуються при нормальній роботі, аварійні та випадкові.

Комбінації заборонені, нейтральні, що не використовуються, аварійні та випадкові розглядаються для того, щоб спростити в подальшому структуру схеми, вжити спеціальних заходів щодо запобігання появі сигналів, що призводять до аварійних ситуацій, і ввести в схему додаткові ланцюги, що виключають порушення автоматичної роботи при випадкових.

Підсумком розгляду та підготовки завдання на етапах, що передують синтезу схеми, є вибір методу синтезу. При цьому потрібно мати на увазі, що існуючі методи синтезу схем при великій кількості вхідних та вихідних змінних (більше 5–6) призводять до складних та громіздких викладок. Це створює певні практичні проблеми для проектування.

5. Перетворення логічних формул та побудова структурних схем.

Перетворення логічних формул та побудова на їх основі структурних схем елементів блок-схеми проводиться виходячи з основних рівнозначностей перетворення релейно-контактних структур або способів мінімізації функцій перемикачів.

6. Визначення вхідних та вихідних змінних та складання блок-схеми пристрою управління.

При складанні блок-схеми необхідно враховувати вимоги до сучасних машин-автоматів. Основою системи керування є багато-тактний релейний пристрій – логічна схема. Вихідні сигнали логічної схеми впливають на вхід приводу, здійснюючи перемикачів розподільників та переміщення робочих органів. Контроль крайніх положень робочих органів здійснюється кінцевими перемикачами, які подають сигнали на вхідні канали релейного пристрою. Крім них, на вхідні канали релейного пристрою повинні надходити сигнали від спеціальних схем, що здійснюють перевірку дозволяючих та підтверджуючих логічних умов, зазначених у циклограмі роботи приводу.

Межі тактів для приводу, що збігаються з початком руху або зміною швидкості робочих органів, визначаються моментами зміни значень сигналів у каналах розподільників. У той самий час межі тактів для релейного пристрою пов'язані зі станом кінцевих вимикачів. На початку будь-якого такту приводу кожен із робочих органів натискає певний кінцевий вимикач, тобто. його положення фіксується цим вимикачем. Відповідне значення основного входу

релейного пристрою називають фіксованим. Потім у процесі руху робочого органу жоден із кінцевих вимикачів не натиснутий – орган займає нефіксоване положення, і відповідне значення входу релейного пристрою називають нефіксованим. У процесі роботи приводу фіксовані значення основного входу релейного пристрою чергуються із нефіксованими. Проте за нефіксованих значеннях робочі органи приводу мають продовжити рух, тобто. ніяких змін на вході приводу не повинно відбутися – вихід релейного пристрою повинен зберігати постійне попереднє значення, що відповідає фіксованому значенню основного входу. Ця вимога певною мірою визначає структуру логічної схеми релейного пристрою і має обов'язково враховуватись при його синтезі. Однак можливий і інший підхід – прийняти таку модель релейного пристрою системи керування, яка наперед враховує зазначену особливість приводу.

Перед вхідними каналами приводу встановлюються тригери з роздільними входами, що управляються сигналами від логічної схеми.

Виділення тригерів дозволяє скоротити кількість елементів логічної схеми релейного пристрою, спростити запис та процедуру синтезу системи управління, оскільки вводяться функції U_{ij} , які можуть бути рівними нулю при нефіксованих значеннях основного входу релейного пристрою. Скорочення оригінальної частини логічної схеми і виділення блоків тригерів, що однаково працюють, полегшує налагодження системи, її обслуговування та контроль (зокрема, визначення місця пошкодження при несправностях).

Введення в схему логічних елементів, «АБО», що стоять безпосередньо перед розподільниками, дозволяє мати окремі пристрої для автоматичного керування та налагоджувального управління. Сигнали U_{ij} надходять від логічної схеми пристрою автоматичного керування, сигнали Z_{ij} – від релейного пристрою налагоджувального управління.

Приклади елементів такого компонування показано на рис. 2.10.

Системи керування повинні враховувати низку додаткових вимог, зумовлених, зокрема, міркуваннями надійності.

Нижче надається перелік таких вимог, сформульованих в результаті аналізу типових причин збоїв у роботі систем керування приводом:

1. Необхідно враховувати проміжні значення основного входу релейного пристрою через конкуренцію робочих органів приводу. Проміжні значення основного входу, що з'являються при цьому, можуть збігатися з іншими значеннями основного входу. Щоб уникнути перемикання розподільників приводу при проміжних значеннях основного входу релейного пристрою відповідні значення повного стану повинні відрізнятися від будь-якого іншого, що враховується в процесі синтезу.

2. Повинні бути відсутніми критичні змагання елементів пам'яті релейного пристрою через відмінність їх часу спрацювання. Щоб уникнути цього, побудова релейного пристрою ведуть таким чином, щоб при будь-якій зміні внутрішнього стану перемикався лише один елемент пам'яті.

3. Має бути забезпечений нульовий захист системи керування, тобто. якщо живлення зникає та раптом знов з'являється, то не має відбуватися мимовільне продовження роботи. Запуск машини має відбуватися лише після того, як оператор натисне на кнопку пуску.

4. Автоматичний режим може бути увімкнений лише при вихідному положенні всіх робочих органів приводу. Недотримання цієї вимоги може спричинити помилкові спрацювання та аварію.

5. Якщо в процесі роботи машини якийсь із кінцевих вимикачів не повернувся у вихідне положення (западе), то привід повинен бути зупинений.

6. Коли машина працює в автоматичному режимі, вплив на органи ручного керування (кнопки, тумблери) не повинен викликати жодних перемикань. З іншого боку, переведення машини в режим налагодження виключає послідовність переміщень робочих органів, передбачену автоматичним режимом.

При описі роботи елементарних приводів за допомогою логічних змінних слід виходити з наступного. Якщо елементарний привід забезпечений двома кінцевими вимикачами, що фіксують крайнє положення робочого органу, причому його переміщення не обумовлено підтверджуючими логічними умовами, для характеристики цього приводу використовується одна змінна. Вона набуває нульового значення, коли шток циліндра перебуває у прибраному положенні або висувається, і одиничне, коли шток висунутий чи засувається. Коли число перемикачів елементарного приводу

більше двох або двох кінцевих вимикачах в процесі руху перевіряється підтверджуюча логічна умова, що число вихідних змінних елементарного приводу відповідає кількості кінцевих вимикачів. Змінна дорівнює нулю, якщо відповідний кінцевий вимикач не натиснутий і одиниці, коли він натиснутий.

Кількість тригерів пам'яті логічної схеми автоматичного управління, що формують сигнали U_{ij} , і навіть сигнали керування тригерами пам'яті, визначаються процесі синтезу релейного пристрою.

7. Синтез логічної схеми пристрою управління таблиці включень.

Метод синтезу таблиці включень передбачає завдання умов роботи приводу у формі циклограми. При побудові таблиці здійснюють таку послідовність операцій:

1. Записуються незалежні вхідні змінні релейного пристрою X_i .

2. Складається таблиця включень сигналів. Для цього кожній змінній відводиться рядок і в ній проводиться горизонтальна лінія в інтервалах циклограми, де сигнал набуває одиничного значення. Змінним X_i у порядку прямуювання рядків зверху вниз надають ваги $2^0, 2^1, \dots, 2^{n-1}$. Далі з урахуванням сигналів в каналах визначаються інтервали тактів релейного пристрою. За початок такту приймається будь-яка зміна значень сигналів.

4. Якщо таблиця включень нереалізована, послідовно вводять елементи пам'яті таким чином, щоб такти, збіг яких неприпустимий, розрізнялися за рахунок значення. Такт, на якому вмикається або вимикається Y_i , розбивається на два такти. Кожному елементу пам'яті Y_i у таблиці включень відводиться рядок, у якому горизонтальною лінією відзначають значення $Y_i = 1$ (елемент увімкнено), за відсутності лінії – значення $Y_i = 0$ (елемент вимкнено). Канали пам'яті Y_i вводять таким чином, щоб при переході до будь-якого такту змінювалося значення (включалося або вимикалося) тільки одного сигналу, що виключає критичне змагання елементів пам'яті. Елементу пам'яті присвоюється вага 2^{n-1+i} , після чого для усіх тактів релейного пристрою визначається значення повного стану – сума добутоків ваг каналів на значення сигналів у них. Якщо значення повного стану для усіх введених у розгляд тактів релейного пристрою різні, то таблицю включень можна реалізувати.

5. Визначаються моменти перемикання всіх тригерів, встановлених на виході релейного пристрою, і тригерів, що виконують

функцію пам'яті. Кожному тригеру відводиться горизонтальна графа з двома рядками, верхня з яких відповідає вмикаючому входу тригера, а нижня – вимикаючому. Для кожного тригера виділяються періоди включення та відключення відповідно до циклограми роботи виконавчих механізмів. Початок періоду включення відзначається міткою у верхньому рядку проти функції, а кінець періоду включення, що збігається з початком періоду відключення, – міткою у нижньому рядку проти функцій U_{ij} .

Якщо реалізація системи відбувається на елементах універсальної промислової пневмоавтоматики, для правильного функціонування тригерів необхідно виконати умови:

а) сигнал на вмикаючому вході кожного тригера повинен дорівнювати нулю протягом періоду включення;

б) сигнал на вмикаючому вході може бути в періоді відключення тригера лише тоді, коли одночасно з ним є сигнал на вимикаючому вході; сигнал на вмикаючому вході повинен бути знятий принаймні на такт раніше, ніж на вимикаючому.

Дотримання цих умов виключає помилкові спрацьовування тригерів.

6. Для кожного тригера складається вмикаюча та вимикаюча функції. За ці функції приймають логічний добуток тих змінних з X_i , які змінюються на межі тактів, відзначених міткою. Відповідна змінна береться без рисочки нагорі, якщо вона змінюється з 0 на 1, і з рисочкою нагорі, якщо змінюється з 1 на 0. Тривалість цих сигналів, тобто число тактів, коли ці функції дорівнюють одиниці, показують у цьому рядку горизонтальною лінією, а поруч у дужках записують позначення цього сигналу. Далі для вмикаючого входу перевіряють умову «а», а для вимикаючого – умова «б» п. 5. Якщо умови не виконуються, то до записаного сигналу за допомогою логічної операції «І» додають один або більше інших сигналів з числа X_i так, щоб умови «а» і «б» п. 5 були виконані. Змінні, які дописані до початкових, входять до нього без дужок. Якщо в рядку кілька міток, яким відповідають різні вирази, то за вмикаючу або вимикаючу функцію приймають логічну суму функцій, записаних у даному рядку.

7. У функції вмикання та вимикання тригерів вводяться логічні змінні, що враховують логічні умови. Для цього у складені на попередньому етапі вирази за допомогою логічної операції «І»

дописуються сигнали P_i для всіх міток, над якими стоять відповідні логічні умови. При цьому відповідні тригери перемикаються лише при виконанні умови P_i і не перемикаються в іншому випадку.

8. Перетворення логічних формул та побудова на їх основі структурних схем елементів блок-схеми.

Прийнятий метод синтезу таблиці включень дає можливість отримати логічні рівняння, які потребують мінімізації.

Деякі функції перемикавання однакові або містять однакові члени. Це можна використовувати для зменшення кількості елементів керування. Однакові функції доцільно реалізувати одним блоком замість двох однакових, а однакові члени різних перемикальних функцій – також одним блоком.

На елементах універсальної промислової пневмоавтоматики диз'юнкція логічних змінних може бути реалізована двома способами – на пневмореле або на шаровому клапані; кон'юнкція та заперечення – тільки на пневмореле. Елементи універсальної промислової пневмоавтоматики мають тільки два входи, тому для реалізації перемикаючих функцій, що містять 3 і більше змінних, використовується відповідна кількість елементів.

Технічна реалізація логічних функцій можлива на електричних логічних елементах, на елементах універсальної промислової пневмоавтоматики, на механічних елементах або на напівпровідникових елементах (транзисторах) відповідно до розробленої загальної блок-схеми системи.

6.2. Приклад логічного синтезу системи керування формувальним автоматом

На рис. 6.2 представлено схему формувального автомату для виготовлення разових піщаних форм та циклограму його роботи. Циклограма містить вихідні дані для синтезу системи керування.

На рис. 6.3 представлено процедуру синтезу системи керування відповідно до п. 7 «Синтез логічної схеми пристрою управління таблиці включень».

На основі отриманих формул включення для вихідних каналі тригерів виконується технічна реалізація системи керування.

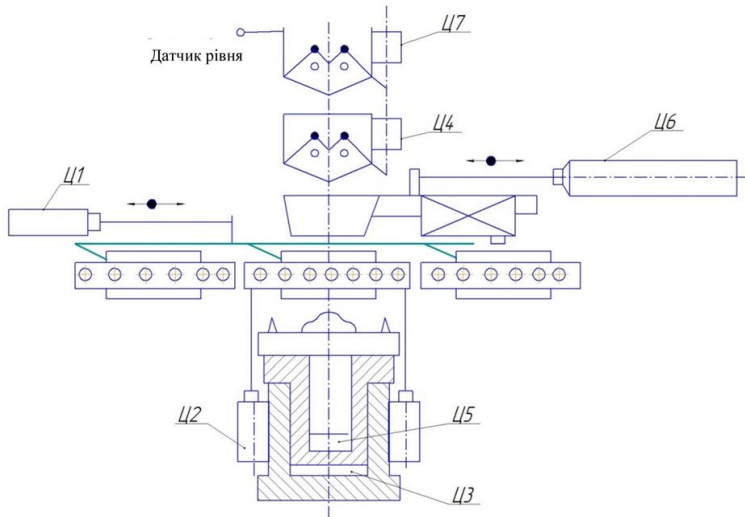


Рис. 6.2 – Циклограма роботи формувального автомату

Розділ 6. Синтез систем керування технологічними операціями ливарного виробництва на лініях

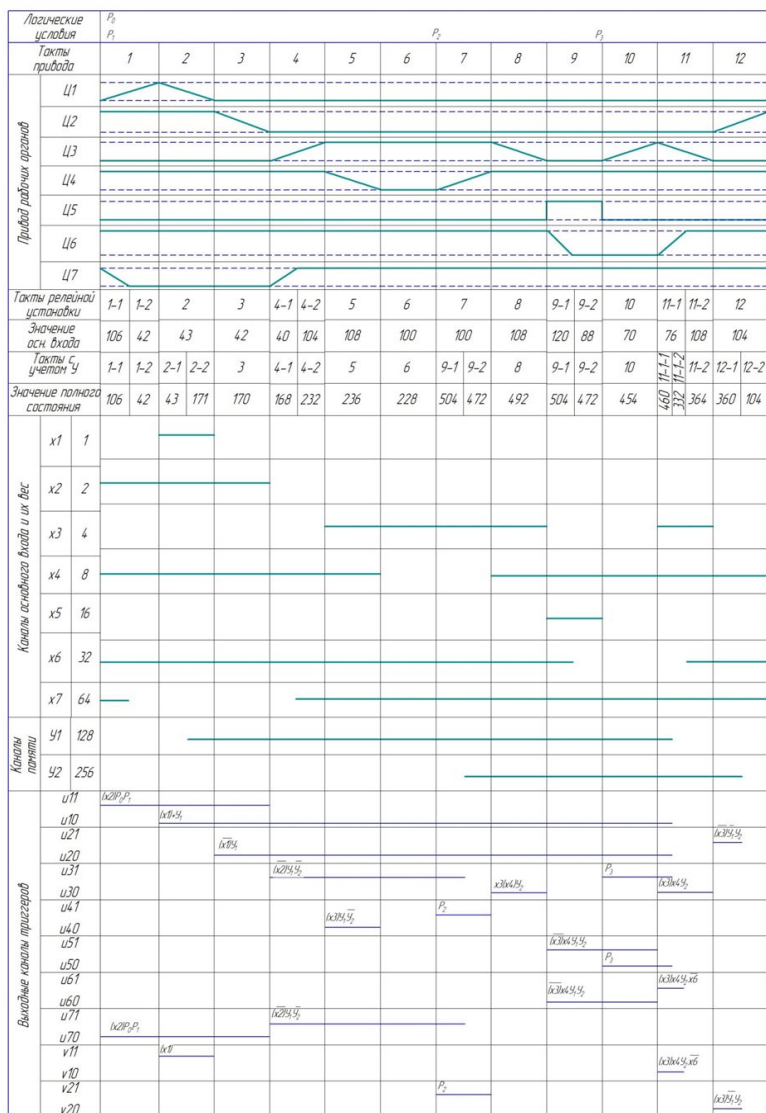


Рис. 6.3 – Процедура синтезу системи керування

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Dembovskii V. V. Avtomatizatsiia liteinykh protsessov: spravochnik. Mashinostroenie, 1989. 264 p.
2. Demin D. Experimental and industrial method of synthesis of optimal control of the temperature region of cupola melting // EUREKA: Physics and Engineering. 2023. Issue 2. P. 68–82. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2023.002804>
3. Demin D. Development of «whole» evaluation algorithm of the control quality of «cupola – mixer» melting duplex process // Technology Audit and Production Reserves. 2019. Vol. 3, Issue 1 (47). P. 4–24. doi: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2019.174449>
4. Demin D. Constructing the parametric failure function of the temperature control system of induction crucible furnaces // EUREKA: Physics and Engineering. 2020. Issue 6. P. 19–32. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001489>
5. Classification rule for determining the temperature regime of induction gray cast iron / Stanovska I., Duhanets V., Prokopovych L., Yakhin S. // EUREKA: Physics and Engineering. 2021. Issue 1. P. 11–17. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001604>
6. Demin D. A. Synthesis process control elektrodugovoy smelting iron // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2012. Vol. 2, Issue 10 (56). P. 4–9. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2012.3881>
7. Proektirovanie sistem kontrolya i avtomaticheskogo regulirovaniia metallurgicheskikh protsessov / Glinkov G. M., Makovskii V. A., Lotman S. L., Shapirovskii R. M. Metallurgiya, 1986. 352 p.
8. Belikov O. A., Kashirtcev L. P. Privody liteinykh mashin / pod red. Balandina G. F. Mashinostroenie, 1971. 311 p.
9. Integrated approach to the development of the effectiveness function of quality control of metal products / Dymko I., Muradian A., Leheza Y., Manzhula A., Rudkovskiy O. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 6, Issue 3 (90). P. 26–34. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.119500>

10. Demin D. A. Mathematical description typification in the problems of synthesis of optimal controller of foundry technological parameters // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2014. Vol. 1, Issue 4 (67). P. 43–56. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.119500>

Навчальне видання

ДЬОМІН Дмитро Олександрович
ПЕНЗЄВ Павло Сергійович

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

Навчальний посібник
для бакалаврів та магістрів
денної та заочної форми навчання
за спеціальностями
131 «Прикладна механіка», 136 «Металургія»

Відповідальний за випуск проф. Пономаренко О.І.
Роботу до видання рекомендував проф. Акімов О.В.

ТОВ «ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ЦЕНТР ГРУП»
вул. Шатилова дача, 4, м. Харків, Україна, 61165
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
No. 7582 від 01.02.2022
Електронна версія