

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

КОНОТОПСЬКИЙ ІНСТИТУТ

Факультет денної форми навчання

Кафедра електронних  
приладів і автоматики

## **Кваліфікаційна робота**

**Розробка електронного пристрою управління приводом скіпової підйомної  
установки шахти «Скіпова» об'єднання «Казцинк»**

Студент гр. ЕП-61к

В. М. Петруша

Науковий керівник  
к.т.н., доцент

М. П. Матвієнко

Конотоп 2020

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота присв'ячена розробці електронного пристрою управління приводом скіпової підйомної установки шахти «Скіпова» об'єднання «Казцинк».

Об'єктом розробки такого пристрою є привід скіпової установки для транспортування руди на поверхність шахти.

Метою роботи є розробка електронного пристрою управління приводом скіпової підйомної установки шахти «Скіпова» об'єднання «Казцинк»..

У процесі виконання кваліфікаційної роботи був проведений розрахунок тахограми руху скіпа для визначення швидкості розгону, рівномірного руху та гальмування, загальний час підйому. Був розрахований та підібраний електродвигун для реалізації виконання тахограми руху. Розроблений детальний алгоритм системи піднімання скіпа шахти. На основі алгоритму створена абстрактна та структурна математична модель роботи системи. По структурній математичній моделі на основі таблиць переходів і виходів отримані канонічні рівняння його роботи .

На основі отриманих канонічних рівнянь роботи системи був проведений аналіз існуючих контролерів і вибраний такий, що найбільше підходить для їх реалізації. Це контролер M90-TA2-CAN, для якого була розроблена програма реалізації канонічних рівнянь роботи системи на мові програмування U90 Ladder.

Робота викладена на 39 сторінках, у тому числі включає 9 рисунків, 5 таблиць, список цитованої літератури із 20 джерел та додаток А.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ЕЛЕКТРОННИЙ ПРИСТРІЙ, СКІПОВА УСТАНОВКА, ШАХТА «СКІПОВА», ОБ'ЄДНАННЯ «КАЗЦИНК», ЕЛЕКТРОДВИГУН, ЕЛЕКТРОПРИВОД, ТАХОГРАМА, ДИНАМІЧНЕ ГАЛЬМУВАННЯ, АЛГОРИТМ, АБСТРАКТНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, СТРУКТУРНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, КАНОНІЧНІ РІВНЯННЯ, ТАБЛИЦЯ ПЕРЕХОДІВ ТА ВИХОДІВ, КОНТРОЛЕР, МОВА ПРОГРАМУВАННЯ «U90 Ladder».

## ЗМІСТ

стор.

<b>ВСТУП</b> .....	4
<b>РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ НА ПІДЙОМНИХ УСТАНОВКАХ ШАХТ</b> .....	5
1.1. Основні вимоги до систем управління шахтними скіпами.....	5
1.2. Аналіз систем управління електроприводом постійного струму.....	6
1.3. Аналіз систем управління електроприводом змінного струму.....	7
1.4. Аналіз систем управління режимами гальмування на шахтних скіпових установках.....	10
<b>РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ І МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ СКІПА ШАХТИ</b> ....	12
2.1. Розрахунок тахограми руху скіпа шахти.....	12
2.2. Розрахунок параметрів силової частини керування скіпом та визначення потужності електродвигуна.....	15
2.3. Розробка алгоритму управління електроприводом скіпа шахти.....	18
2.4. Розробка абстрактної математичної моделі системи управління електроприводом скіпа шахти.....	21
2.5. Розробка структурної математичної моделі й отримання канонічних рівнянь роботи системи управління електроприводом скіпа шахти.....	25
<b>РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СКІПОВОЮ УСТАНОВКОЮ ШАХТИ</b> .....	31
3.1. Аналіз і вибір контролерів для системи керування скіповою установкою.....	31
3.2. Вибір ефективної мови програмування для реалізації системи управління електроприводом скіпа шахти.....	34
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	37
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	38
<b>ДОДАТОК А</b> .....	40

## ВСТУП

Піднімальні машини знаходять широке застосування у різних галузях народного господарства. До числа найпоширеніших різновидів механізмів вертикального транспортування корисних копалин варто віднести шахтні піднімальні машини. Піднімальні машини є механізмами вертикального транспортування і призначені як для транспортування пасажирів, так і корисних копалин. Ці установки виконуються з високим ступенем автоматизації. Вони відрізняються загальнодоступністю користування і безумовно - безпекою. Всі основні операції при пересуванні, уповільненні й точній зупинці здійснюються за допомогою електропривода. Тільки він може виконувати ті високі вимоги, яким повинні задовольняти сучасні піднімальні установки.

Незважаючи на велику різноманітність конструктивних варіантів піднімальних машин, основним устаткуванням для них є скіп, двигун, електромеханічний гальмовий пристрій і система управління.

Основні завдання, які виникають при проектуванні й виконанні систем управління, зводяться до того, що ці системи повинні бути простими в монтажі й експлуатації, дешевими, надійними в роботі; вони повинні чітко відпрацьовувати всі сигнали й накази. Крім того, для нормальної роботи механізму дуже важливі питання техніки безпеки. У першу чергу це визначається тим, що скіп є машиною, що рухається з відносно складним електроустаткуванням і тому розробка системи управління електроприводом скіпа, для доставки корисних копалин на поверхність шахти, є дуже актуальною.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ НА ПІДЙОМНИХ УСТАНОВКАХ ШАХТ

#### 1.1. Основні вимоги до систем управління шахтними скіпами

Електропривод і системи управління на вантажних підйомних установках повинні відповідати вимогам економічності, забезпечувати виконання тахограми підйому з необхідною точністю й забезпечувати надійність і безпеку роботи скіпа у всіх його режимах [1, 2].

Електропривод управління скіпом повинен забезпечувати [3, 4]:

- 1) невелику швидкість при знятті скіпа з кулаків або брусів (практично до 0,7-1 м/сек. );
- 2) задане прискорення при розгоні, що не перевищує по абсолютній величині граничних значень прискорення (до 0,8-1 м/сек<sup>2</sup>, швидкість виходу скіпа з розвантажувальних кривих не повинна перевищувати 1, 5 м/сек. ;
- 3) максимальну швидкість руху скіпа при рівномірному ході, незалежно від навантаження на валу двигуна й напрямку руху;

- 4) зниження швидкості скіпа при вповільненні від максимальної до швидкості  $0,6 \pm 0,3$  м/сек. . Повинна бути забезпечена плавність зниження швидкості й точність виконання діаграми підйому, незалежно від зміни навантаження;
- 5) рух скіпа зі швидкістю  $0,6 \pm 0,3$  м/сек. при дотягненні, у результаті чого повинна бути компенсована помилка роботи системи регулювання; при посадці нижнього скіпа на кулаки допускається короткочасне зниження швидкості нижче зазначеної межі;
- 6) відключення електропривода й включення робочого гальма машини при стопорінні з контролем положення скіпа при завантаженні й розвантаженні.

Для автоматичного виконання циклу підйому система керування скіповою установкою повинна передбачати [5, 6]:

- 1) контроль роботи завантажувально-розвантажувальних пристроїв;
- 2) систему регулювання ходу скіпа, що забезпечує програмне виконання необхідної тахограми, незалежно від зміни навантаження в заданих межах;

Всі скіпові підйоми повинні мати також ручне керування для здійснення ревізії стовбура й канатів, ремонту стовбурного господарства.

Піднімальна установка повинна мати захисти й блокування для контролю справності окремих елементів устаткування при порушенні нормального режиму роботи відповідно до вимог техніки безпеки, а також технологічних вимог.

## **1.2. Аналіз систем управління електроприводом постійного струму**

Автоматичне регулювання ходу скіпа із приводом постійного струму може бути здійснене в усі періоди піднімального циклу в зоні як позитивних, так і негативних моментів.

У теперішній час існують два види систем приводу постійного струму для піднімальних машин: з електромашинним перетворювальним агрегатом (система Г-Д) і з іонним перетворювальним агрегатом (система УРВ-Д).

Найбільше поширення у цей час отримали системи постійного струму з електромашинним перетворювальним агрегатом (Г-Д).

У підйомних двигунах постійного струму, як правило, застосовуються компенсовані двигуни з незалежним постійним збудженням. При безредукторному приводі номінальна швидкість двигунів становить 25-100 про/хв. При редукторному приводі застосовуються швидкохідні двигуни, номінальна швидкість яких дорівнює 350-750 про/хв. [7, 8, 9].

Генератори постійного струму мають незалежне регульоване порушення. Швидкість обертання перетворювальних агрегатів звичайно становить 500-750 про/хв.

Основним недоліком приводу постійного струму по системі Г-Д у порівнянні із приводами змінного струму й УРВ-Д є значне збільшення капітальних витрат на встаткування й будівництво будинку й фундаментів, тому що додається електромашинний агрегат, що складається із двигуна й генератора, потужність якого порівняна з потужністю піднімального двигуна.

Тому застосування приводу по системі Г-Д доцільно в основному для скіпів із двигунами великої потужності або при більших швидкостях підйому (понад 10 м/сек. ).

### **1.3. Аналіз систем управління електроприводом змінного струму.**

Система управління електроприводом змінного струму піднімальних установок одержала більше розповсюдження, чим система управління постійного струму завдяки простоті конструкції двигуна, меншій кількості електричних частин машин у порівнянні із приводом постійного струму, більш проста система управління, відносно високому к. п. д. і коефіцієнту потужності, можливості розміщення на меншій площі.

Регулювання швидкості двигуна в розглянутій системі здійснюється зміною величини опору, включеного в ланцюг ротора, чим більший опір уведений у ланцюг ротора, тим менше швидкість обертання при такому ж зовнішньому навантаженні й, навпаки, чим менше опір у ланцюзі ротора, тим більше його швидкість.

Розгін двигуна здійснюється шляхом поступового зменшення опору в ланцюзі ротора за допомогою включення контакторів прискорення (які своїми силовими контактами замикають на коротко окремі щаблі роторного опору). Через обмежене число цих контакторів двигун буде мати й відповідне число механічних характеристик, на яких він може працювати, рис.1.3.1.



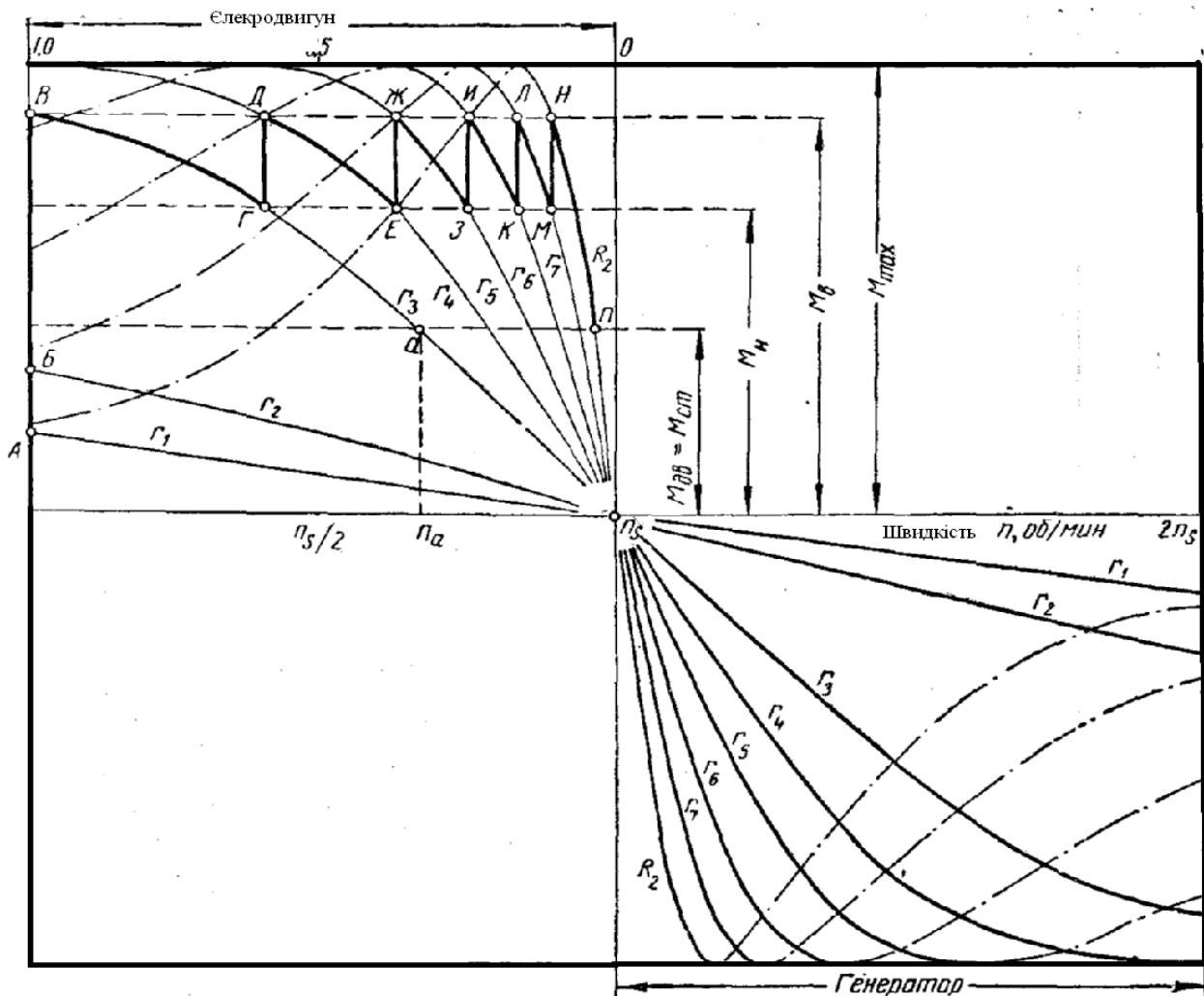


Рис.1.3.1 Діаграма управління електроприводом змінного струму

Перемикання контакторів прискорення виробляється таким чином, щоб момент, що розвиває двигуном, коливався біля середнього заданого моменту, що визначає середнє задане прискорення системи.

На початку пуску машиніст установлює рукоятку керування в перше положення, при цьому включається реверсний контактор. Двигун виявляється включеним у мережу при повністю уведеному в ланцюг ротора опорі, величина якого вибирається такою, щоб момент при нерухомому роторі двигуна дорівнював 30-40% статичного моменту системи. Отже, при першому положенні рукоятки керування піднімальна машина в рух не приводиться. Відбувається деякий натяг всіх вузлів

установки. При установці рукоятки керування в друге положення включається перший контактор прискорення, чим виводиться перший щабель опору в ланцюзі ротора. У цьому положенні рукоятки величина ротора, що залишається у ланцюзі опору така, що двигун розвиває момент, рівний 80-90% статичного моменту системи. Отже у другому положенні рукоятки підйомна машина в рух також не приводиться. Відбувається подальший натяг всіх вузлів установки. Перші два положення рукоятки управління називаються попередніми.

Переставляючи рукоятку в третє положення, машиніст виводить ще частину опору в ланцюзі ротора й двигун починає працювати на третій пусковій характеристиці, що відповідає величині опору  $r_3$ . Третя пускова характеристика забезпечує початок нормального руху системи підйому. Пусковий момент на цьому щаблі при нерухомому роторі дорівнює верхньому перемикаючому моменту  $M_v$  (крапка В), що більше статичного моменту системи  $M_{ст}$ .

У процесі руху швидкість обертання ротора збільшується й відповідно до цього зменшується крутячий момент і струм двигуна. Як би двигун працював на цій характеристиці тривалий час, то момент, що розвиває він, знижувався до статичного моменту системи підйому.

Для здійснення заданого режиму розгону машиніст повинен вчасною дією рукоятки керування виводити опір з ланцюга ротора так, щоб момент двигуна не знижувався нижче мінімальної величини моменту  $M_n$ . Таким чином, момент двигуна при розгоні міняється по східчастій кривій ВГДЕЖЗИКЛМН до виходу двигуна на природну характеристику в крапці Н при повністю виведеному опорі. Працюючи на природній характеристиці, двигун із крапки Н переходить на роботу в крапку Я, у якій момент, що розвиває двигуном  $M_{дв}$ , стає рівним статичному  $M_{ст}$  системи підйому. Після переходу двигуна на роботу в крапці П починається рух з рівномірною швидкістю [10, 11, 12].

#### **1.4. Аналіз систем управління режимами гальмування на шахтних скіпових установках**

Система генераторного гальмування застосовується тільки при спуску вантажу. При спуску вантажу швидкість обертання двигуна буде трохи вище синхронної за рахунок енергії вантажу, що спускається, і двигун буде працювати генератором, віддаючи струм у мережу. Якщо при руховому режимі обертаючий момент збігається з напрямком руху, то при генераторному режимі він спрямований проти руху, тобто є гальмовим моментом [13, 14].

Генераторне гальмування виробляється у такий спосіб: машиніст розгальмовує машину, переміщує рукоятку командоконтролера в положення, що відповідає обертанню піднімального двигуна в напрямку спуску, і машина під дією вантажу, що спускається, приходять в обертання. При пересуванні рукоятки командоконтролера необхідно стежити, щоб струм статора не перевищував величини, що він має при звичайній роботі двигуна, і щоб при синхронній швидкості ротор уже був замкнений накоротко.

У режимі генераторного гальмування двигун повинен працювати тільки із замкнутим накоротко ротором. Якщо при спуску вантажу в ланцюзі ротора буде уведений опір (рукоятка командоконтролера буде перебувати в проміжному положенні), то швидкість обертання збільшиться й значно перевищить синхронну швидкість. Такий режим роботи неприпустимий, тому що він може привести до аварії скіпа в результаті значної швидкості.

Генераторне гальмування при закороченому роторі забезпечує майже рівномірний спуск вантажу зі швидкістю, що мало відрізняється від максимальної, і досить економічно, тому що енергія віддається у мережу. У всіх випадках, де це

можливо, спуск вантажу з постійною максимальною швидкістю повинен здійснюватися при генераторному гальмуванні.

При гальмуванні проти включенням напрямком обертання магнітного поля статора протилежний напрямку обертання ротора піднімального двигуна, у результаті чого створюється гальмовий момент. Для здійснення гальмування проти включенням необхідно рукоятку керування командоконтролера перевести в положення, протилежне напрямку обертання піднімального двигуна [14, 15]..

У режимі проти включення можуть бути отримано зниження швидкості й створено робоче вповільнення при зупинці двигуна. Перехід у режим проти включення необхідно робити тільки при включеному в ланцюг ротора опорі.

Режим гальмування проти включенням має досить істотні недоліки й повинен застосовуватися тільки у виняткових випадках - при необхідності екстерного гальмування.

Динамічним гальмуванням асинхронного двигуна називається такий режим роботи, при якому ротор, замкнутий накоротко або на опір, обертається зовнішньою силою, а в обмотку статора включений постійний струм. Постійний струм, протікаючи по обмотці статора, створює нерухоме магнітне поле, що наводить в обертовій замкнутій обмотці ротора змінний струм. Взаємодія останнього з полем статора створює гальмовий момент.

Регулювання гальмового моменту при динамічному гальмуванні здійснюється зміною величини постійного струму, що надходить у статор і зміною опорю в ланцюзі ротора. Чим менший опір у ланцюзі ротора, тим менша швидкість підйому [ 8, 10].

## **РОЗДІЛ 2**

# РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ І МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ СКІПА ШАХТИ

## 2.1. Розрахунок тахограми руху скіпа шахти

Для розрахунку тахограми необхідно взяти технічні дані з паспорта вантажної піднімальної установки шахти «Скіпова» об'єднання «Казцинк», розріз якої приведений на рис.2.1.1.

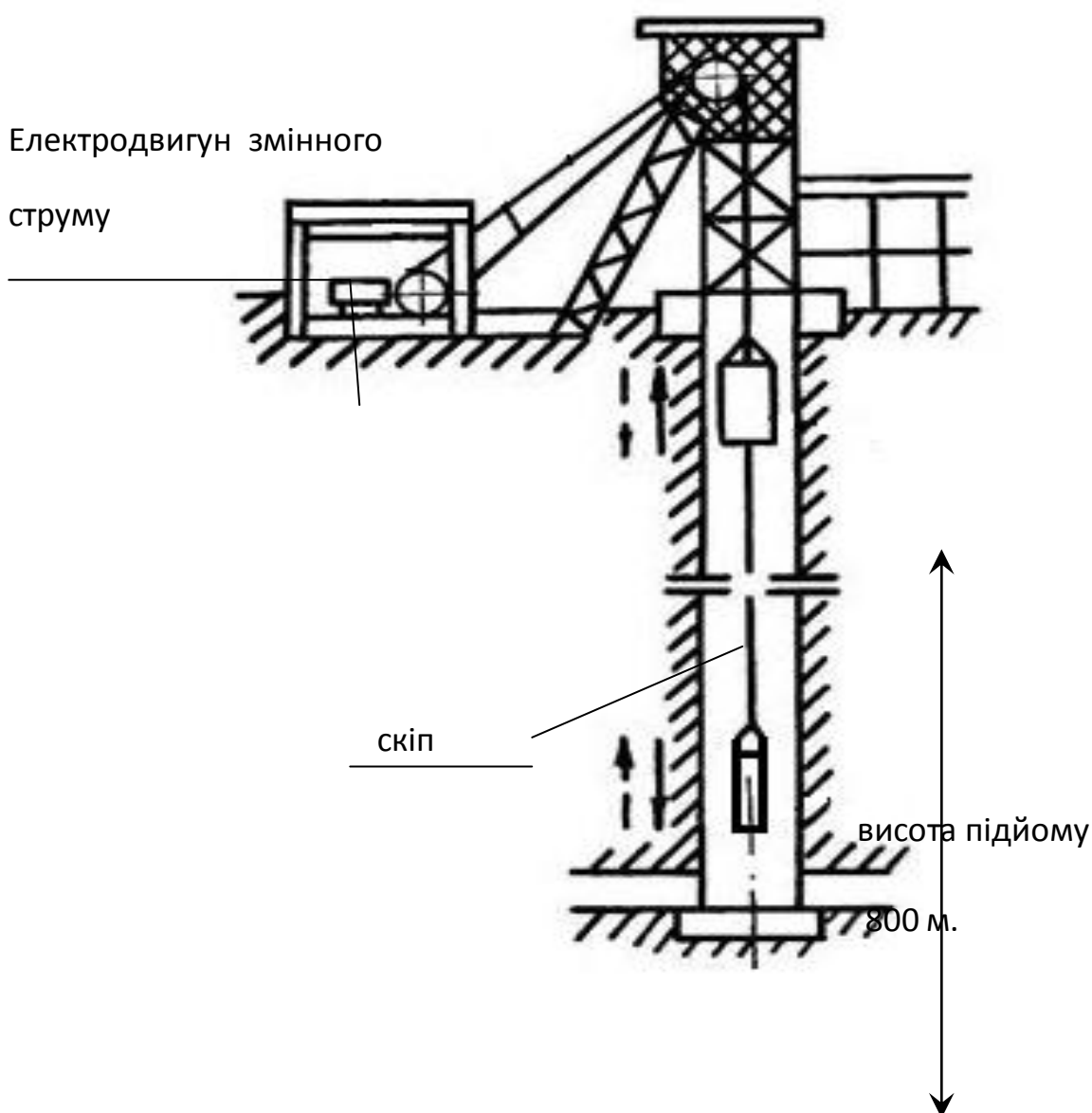


Рис. 2.1.1. Розріз підйомної скіпової установки шахти

- система підйому – одно скіпова із протывагою;
- висота підйому  $H$  - 800м;
- продуктивність за годину  $A$  - 87 т/ч;
- корисна вага вантажу  $Q$  - 7250кг.

Розрахунок тахограми виконується по [2, 5].

Розраховуємо необхідне число підйомів у годину, що визначається по необхідній годинній продуктивності піднімальної установки:

$$n = \frac{A \cdot 1000}{Q} = \frac{87 \cdot 1000}{7250} = 12 \text{ (підйомів у годину)} \quad (2.1.1)$$

тривалість одного цикла підйому:

$$T_1 = \frac{3600}{2 \cdot n} = \frac{3600}{2 \cdot 12} = 150 \text{ сек.} \quad (2.1.2)$$

середню й максимальну швидкість підйому:

$$v_{cp} = \frac{H}{T_1} = \frac{800}{150} = 5,4 \text{ м/с} \quad (2.1.3)$$

$$v_{max} = a \cdot v_{cp} = 1,11 \cdot 5,4 = 6,11 \text{ м/с} \quad (2.1.4)$$

де  $a = 1,11-1,3$  - множник швидкості [2].

Прискорення при підйомі й спуску вантажу не повинно перевищувати

0,75 м/сек<sup>2</sup> [2, 5, ]. Приймаємо прискорення й сповільнення руху скіпа поза розвантажувальними кривими

$$a_1 = a_3 = 0,75 \text{ м/сек}^2;$$

прискорення на початку й уповільнення на прикінці підйому

$$a_0 = a_B = 0,3 \text{ м/сек}^2.$$

Розраховуємо швидкість сходу скіпа із кривих і швидкість входу скіпа в криві

$$v_0 = v_B = \sqrt{2a_0h_0} = \sqrt{2 \cdot 0,3 \cdot 3,5} = 1,449 \text{ м/сек.} \quad (2.1.5)$$

де  $h_0 = 3,5$  м - шлях руху скіпа в розвантажувальних кривих [1].

Час руху скіпа із прискоренням на початку  $a_0$  та уповільненням на кінці  $a_B$

$$t_0 = \frac{v_0}{a_0} = t_B = \frac{v_B}{a_B} = \frac{1,449}{0,3} = 4,83 \text{ сек.} \quad (2.1.6)$$

Час і шлях при русі скіпа із прискоренням  $a_1$  та уповільненням  $a_3$  :

$$t_1 = \frac{v_{\max} - v_0}{a_1} = t_3 = \frac{v_{\max} - v_B}{a_3} = \frac{6,11 - 1,449}{0,75} = 6,21 \text{ сек. ;} \quad (2.1.7)$$

$$x_1 = x_3 = \frac{v_{\max} + v_0}{2} t_1 = \frac{6,11 + 1,449}{2} 6,21 = 23,5 \text{ м.} \quad (2.1.8)$$

Час і шлях рівномірного руху скіпа:

$$t_2 = \frac{x_2}{v_{\max}} = \frac{746}{6,11} = 122 \text{ сек.,} \quad (2.1.9)$$

$$x_2 = H - x_1 - x_3 - 2h_0 = 800 - 23,5 - 23,5 - 2 \cdot 3,5 = 746 \text{ м.} \quad (2.1.10)$$

Тривалість руху скіпа

$$T = t_0 + t_1 + t_2 + t_3 + t_B = 4,83 + 6,21 + 122 + 6,21 + 4,83 = 144,08 \text{ сек.} \quad (2.1.11)$$

Виходячи з виконаного розрахунку тахограма руху скіпової підйомної установи шахти « Скіпова » об'єднання « Казцинк » має наступний вид, рис 2.1.2.

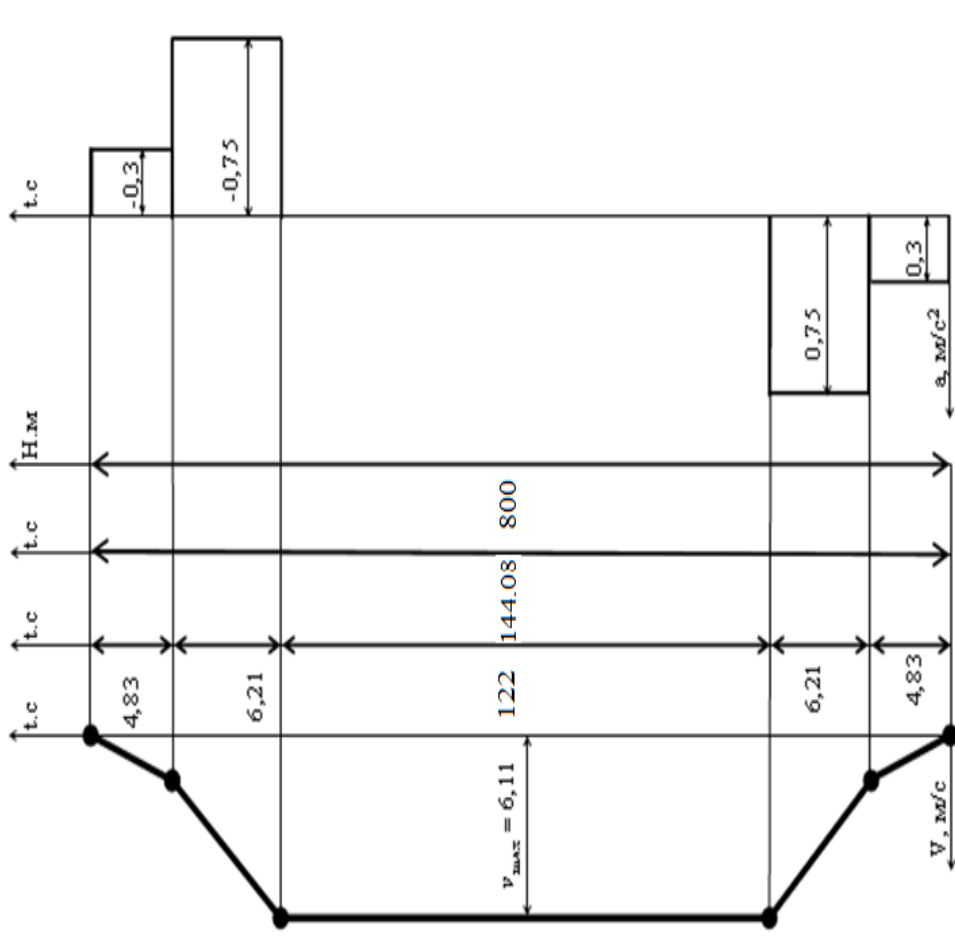


Рис.2.1.2. Тахограма швидкості руху скіпа

де - максимальна швидкість 6,11 м/с;

- час руху скіпа із прискоренням на початку 4,83 м/с<sup>2</sup>;

- час руху скіпа із уповільненням на прикінці 4,83 м/с<sup>2</sup>;

- час руху посудини із прискоренням 6,21 м/с<sup>2</sup>;



- час руху посудини з уповільненням 6,21 м/с<sup>2</sup>;
- час рівномірного руху 122 сек.;
- час повного руху скіпа 144,08 сек.

## 2.2. Розрахунок параметрів силової частини керування скіпом та визначення потужності електродвигуна

Підйомний електричний двигун повинен працювати з нормальним навантаженням, при якому протягом тривалого часу нагрівання обмоток і всіх деталей двигуна не перевищує норм, що допускають.

Навантаження піднімального двигуна протягом одного циклу підйому безупинно змінюється. Відповідно змінюється кількість тепла, яке виділяється у двигуні в різні періоди його руху. Завдання вибору потужності піднімального двигуна зводиться до визначення такого його еквівалентного навантаження, при якому кількість випромінюемого тепла за час, що відповідає одному циклу підйому, дорівнювала кількості тепла, випромінюемого в умовах розглянутого режиму роботи. Таке еквівалентне навантаження називається ефективним. Розрахунок зроблений по [2, 10]

Визначаємо орієнтовну ефективну потужність електродвигуна

$$N_{\text{эф}} = \frac{kQv_{\text{max}}}{102\eta\rho} \beta = \frac{1,15 \cdot 7250 \cdot 6,11}{102 \cdot 0,96} 1,2 = 596,7 \text{ кгс.} \quad (2.2.1)$$

Орієнтовно приймаємо по каталогу даних електродвигун

тип АК13-59-6 [1]; потужність  $P = 800$  кВт. Статор: напруга = 6000 В, струм = 91.0 А, ротор = 940В, струм = 525А, швидкість обертання  $n = 990$  про/хв. Роторна станція

керування на 7 щаблів. Тривалість розгону = 11.04 сек. Тривалість повного циклу підйому (включаючи паузу) = 144.08 с.

### Розрахунок роторних опорів

Номінальний опір ротора

$$R_H = \frac{U_p}{\sqrt{3} \cdot I_p} = \frac{940}{\sqrt{3} \cdot 746} = \frac{940}{909,3} = 1.04 \text{ Ом} \quad (2.2.2)$$

Відносна тривалість роботи опору

$$ПР\% = \frac{t_p}{T_u} 100\% = \frac{11,04}{144,08} 100 = 9,5\% \quad (2.2.3)$$

Відповідно до формуляра розрахунку роторних опорів на

7 ступенів визначаються величини опорів  $R$  по щаблях, середньо пускові струми  $I$  по щаблях і відносні тривалості роботи ПВ% відповідних щаблів.

Формуляри розрахунку роторних опорів для двигунів наведені в табл. 2.2.1.

Таблиця 2.2.1

#### Формуляр розрахунку роторних опорів

Кількість ступенів	Маркування ступенів	опір ступені, ом $R = kR_H, \text{ом}$	Середньо пусковий струм, а $I = kI_p, \text{а}$	Відносна тривалість роботи щаблів ПВ%=КПР%
--------------------	---------------------	---	--	---

Розрахунок для семи ступенів	$P_0 - P_1$	$1,5 * R_H$	$0,4 * I_P$	100%
	$P_1 - P_2$	$0,6 * R_H$	$0,9 * I_P$	0,9*
	$P_2 - P_3$	$0,3 * R_H$	$1,8 * I_P$	0,4*
	$P_3 - P_4$	$0,15 * R_H$	$1,8 * I_P$	0,7*
	$P_4 - P_5$	$0,08 * R_H$	$1,8 * I_P$	0,8*
	$P_5 - P_6$	$0,04 * R_H$	$1,8 * I_P$	0,85*
	$P_6 - P_7$	$0,02 * R_H$	$1,8 * I_P$	0,9*

У формулу розрахунку опорів підставляємо наші значення.

Номер ящика розраховується по технічних характеристиках ящиків

опорів [2, 5].

Таблиця 2.2.2

Формуляр розрахунку роторних опорів

Ступень	опір ступені  , Ом  $R = kR_H$ , Ом	Середньо пусковий струм  $I = kI_P$ , а	Відносна тривалість роботи щаблів ПВ%=кПР%		Номер ящика
			Розраху нкова	Прий нята	

$P_0 - P_1$	$1,5 * 1,04 = 1,56$	$0,4 * 746 = 210$	100%	100%	5
$P_1 - P_2$	$0,6 * 1,04 = 0,624$	$0,9 * 746 = 472$	$0,9 * 9,5 = 8,55$	12,5	7
$P_2 - P_3$	$0,3 * 1,04 = 0,312$	$1,8 * 746 = 945$	$0,4 * 9,5 = 3,8$	6	5
$P_3 - P_4$	$0,15 * 1,04 = 0,156$	$1,8 * 746 = 945$	$0,7 * 9,5 = 6,62$	6	5
$P_4 - P_5$	$0,08 * 1,04 = 0,083$	$1,8 * 746 = 945$	$0,8 * 9,5 = 7,6$	12,5	5
$P_5 - P_6$	$0,04 * 1,04 = 0,041$	$1,8 * 746 = 945$	$0,85 * 9,5 = 8,07$	12,5	5
$P_6 - P_7$	$0,02 * 1,04 = 0,021$	$1,8 * 746 = 945$	$0,9 * 9,5 = 8,55$	12,5	5

Розрахуємо технічні дані ящиків опору по величині середньо пускового струму  $I$  й відносної тривалості роботи щабля ПВ% [2, 5, 11, 12].

Формуляр розрахунку роторних опорів

Номер ящика	Число елементів у ящику	Опір одного елемента, ом	Опір всього ящика, ом	Припустимий тривалий струм, а	Кількість щаблів й опір щабля	Опір елемента, ом
5	20	0,005	0,10	215	5*0,0192	0,077
7	20	0,007	0,14	181	5*0,0255	0,102

Таблиця 2.2.3

Розраховуємо витримку часу при виведенні роторних опорів табл. 2.2.4 [2,5,12]

Таблиця 2.2.4

Витримка часу при схемі пуску підйомного двигуна

$P_1$	0,75	0,75
$P_2$	0,9	0,9
$P_3$	$0,74 \cdot v_{\max}$	4,52

$P_4$	$0,37 \cdot v_{\max}$	2,26
$P_5$	$0,19 \cdot v_{\max}$	1,16
$P_6$	$0,10 \cdot v_{\max}$	0,61
$P_7$	$0,06 \cdot v_{\max}$	0,36

### 2.3. Розробка алгоритму управління електроприводом скіпа шахти

Алгоритм роботи скіпової установки при управлінні скіпа виконується в наступній послідовності:

1. У вихідному стані змінна напруга на двигун скіпа не подається, і він перебуває в загальмованому стані;
2. Перед пуском скіпа необхідно вибрати напрямок його руху вниз (вгору), розгальмувати двигун;
3. Пуск скіпа виробляється натисканням кнопки "Пуск", після чого за допомогою масляного вимикача подається змінна трифазна напруга  $6000\text{ В}$  в статор двигуна й одночасно включається в роботу таймер  $t_1$ , що відраховує час через який відбудеться закорочення першого роторного опору  $R_1$ ;

4. Через час  $t_1$  по сигналу  $D_{i_1}$  або при наявності сигналу від датчика струму  $D_{i_1}$ , відбудеться виключення з ланцюга ротора двигуна опору  $R_1$  шляхом його закорочення. У наслідку цього, струм у роторі зросте й зросте момент на валу двигуна, що приведе до вибору люфтів механічної частини скіпової установки. Одночасно з виключенням (закороченням) роторного опору  $R_1$  включиться таймер  $t_2$ , що відраховує час, через який відбудеться виключення роторного опору  $R_2$ ;

5. Під дією сигналу  $D_{i_2}$  або при наявності сигналу від датчика струму  $D_{i_2}$  відбудеться закорочення роторного опору  $R_2$ . Це приведе до збільшення роторного струму, внаслідок чого момент на валу двигуна ще більше зросте, що приведе до натягу канатів скіпа. Одночасно із закороченням роторного опору  $R_2$  включиться таймер  $t_3$ , що відраховує час, через який необхідно виключити роторний опір  $R_3$ .

6. Під дією сигналу  $D_{i_3}$  або при наявності сигналу від датчика струму  $D_{i_3}$  закорочується й роторний опір  $R_3$ , що приводить до ще більшого збільшення роторного струму і, як наслідок, моменту на валу двигуна. Скіп починає рух у розгрузочних кривих тахограми. У цей час відбувається включення таймера  $t_4$ , що відраховує час, через який необхідно вивести роторний ланцюг опору  $R_4$ .

7. Під дією сигналу  $D_{i_4}$  або при наявності сигналу від датчика струму  $D_{i_4}$  виводиться з роторного ланцюга опір  $R_4$ , що приводить до ще більшого збільшення роторного струму, а отже й моменту на валу двигуна. Двигун збільшує швидкість скіпа. У цей час включається й таймер  $t_5$ , що відраховує час виводу з роторного ланцюга опору  $R_5$ .

8. Під дією сигналу  $D_{i_5}$  або при наявності сигналу від датчика струму  $D_{i_5}$ , виключається з роторного ланцюга пусковий опір  $R_5$ , що приводить до ще більшого збільшення роторного струму й моменту на валу двигуна. Двигун збільшує

швидкість скіпа. У цей час включається й таймер  $t_6$ , що відраховує час виводу роторного опору  $R_6$ .

9. Під дією сигналу  $D_{i_6}$  або при наявності сигналу від датчика струму  $D_{1_6}$ , з роторного ланцюга виключається опір  $R_6$ , що приводить до ще більшого збільшення роторного струму й, як наслідок, моменту на валу двигуна. Двигун ще збільшує швидкість скіпа. У цей час включається таймер  $t_7$ , що відраховує час виводу роторного опору  $R_7$ .

10. Під дією сигналу  $D_{t_7}$  або при наявності сигналу від датчика струму  $D_{1_7}$ , з роторного ланцюга виключається опір  $R_7$ , що приводить до ще більшого збільшення роторного струму й, як наслідок, моменту на валу двигуна. Двигун збільшує швидкість скіпа й на цій збільшеній швидкості йде рух скіпа вдоль стовбура. Це ділянка рівномірного ходу скіпа по тахограмі.

11. При впливу на скіп сигналу (датчика) уповільнення вимикається масляний вимикач, що відключає змінну трифазну напругу 6000 В зі статора двигуна. По сигналу відключення масляного вимикача  $\overline{D_{ms}}$  на статор двигуна включається постійна напруга, під дією якої виробляється динамічне гальмування. У статор двигуна подається постійна напруга, пропорційна швидкості руху скіпа. Чим більше швидкість, тим більшої величини надходить напруга в статор скіпа, тим більший момент опору буде мати ротор під дією магнітного поля. Швидкість скіпа зменшиться.

12. При впливі на скіп датчика дотягнення  $D_{om}$ , відключається від статора двигуна постійна напруга й через час ( $\approx 2c$ )

включається, що подає змінну трифазну напругу 6000 В в статор двигуна. У роторі двигуна залишаються закорочені тільки опори  $R_1$  й  $R_2$ . Двигун, увійшовши в розвантажувальні криві по тахограмі, починає дотяжку скіпа до стопорних кулаків.



13. При наїзді скіпа на датчик стопоріння  $D_{cm}$ , виробляється відключення високовольтної напруги 6000 В від статора двигуна й накладання гальма.
14. При перевантаженні скіпа під час пуску або при короткому замиканні двигуна скіпова установка виконує аварійне гальмування із вказівкою причини.
15. При перевищенні швидкості руху скіпа, під час рівномірного ходу й при вповільненні й дотягувані, скіпова установка повинна вийти на аварійну зупинку із вказівкою її причини.
16. При відключенні високовольтної напруги зі статора двигуна під час рівномірного ходу, уповільнення й дотягування, скіпова установка виходить на аварію (накладається аварійне гальмо).
17. Під час рівномірного ходу, динамічного гальмування й дотягування за допомогою спеціальної команди скіпова установка може вийти на аварію .
18. Зняття аварії відбувається після усунення її причини по спеціальній команді.

#### **2.4. Розробка абстрактної математичної моделі системи управління електроприводом скіпа шахти**

Для використання ЕОМ при вирішенні прикладних завдань, перш за все прикладне завдання має бути перекладене формальною математичною мовою, тобто для реального об'єкту, процесу або системи має бути побудована його математична модель. Виходячи із цього і, використовуючи описаний вище алгоритм, його параметри, внутрішні і зовнішні зв'язки, абстрактна математична модель згідно [16, 17, 18] матиме вигляд, приведений на рис. 2.4.1.

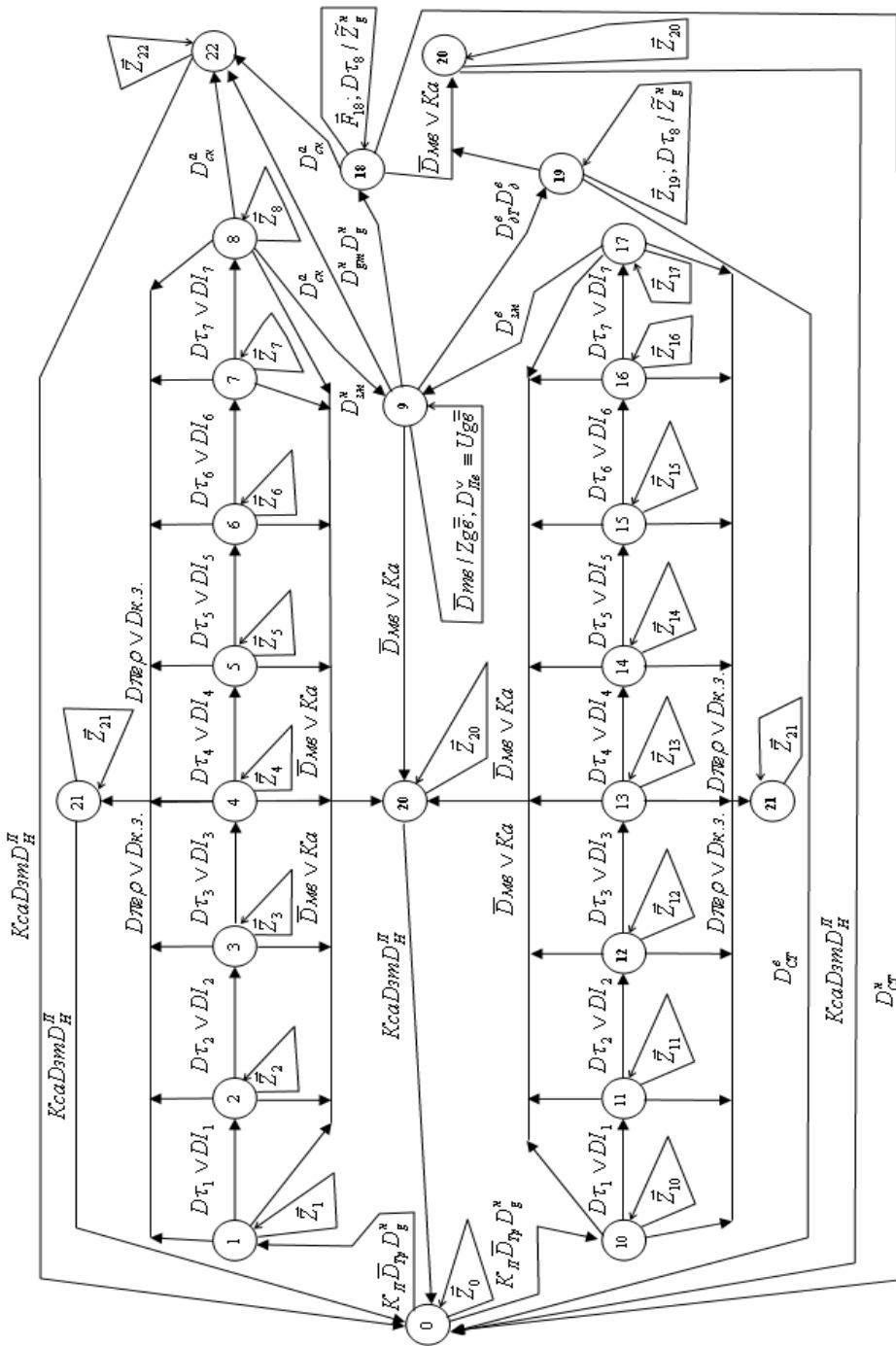


Рис.2.4.1 Абстрактна математична модель системи управління скіпом

Для побудови абстрактної математичної моделі системи управління скіпом використані наступні векторні вихідні сигнали :

0.  $\vec{Z}_0 = Z_{Tp}$
1.  $\vec{Z}_1 = \tilde{Z}_g^h Z \tau_1$
2.  $\vec{Z}_2 = \tilde{Z}_g^h Z_{R1} Z \tau_2$
3.  $\vec{Z}_3 = \tilde{Z}_g^h Z_{R1} Z_{R2} Z \tau_3$
4.  $\vec{Z}_4 = \tilde{Z}_g^h Z_{R1} Z_{R2} Z_{R3} Z \tau_4$
5.  $\vec{Z}_5 = \tilde{Z}_g^h Z_{R1} Z_{R2} Z_{R3} Z_{R4} Z \tau_5$
6.  $\vec{Z}_6 = \tilde{Z}_g^h Z_{R1} Z_{R2} Z_{R3} Z_{R4} Z_{R5} Z \tau_6$
7.  $\vec{Z}_7 = \tilde{Z}_g^h Z_{R1} Z_{R2} Z_{R3} Z_{R4} Z_{R5} Z_{R6} Z \tau_7$
8.  $\vec{Z}_8 = \tilde{Z}_g^h Z_{R1} Z_{R2} Z_{R3} Z_{R4} Z_{R5} Z_{R6} Z_{R7} Z \tau_8$
9.  $\vec{Z}_{10} = \tilde{Z}_g^6 Z \tau_1$
10.  $\vec{Z}_{11} = \tilde{Z}_g^6 Z_{R1} Z \tau_2$
11.  $\vec{Z}_{12} = \tilde{Z}_g^6 Z_{R1} Z_{R2} Z \tau_3$
12.  $\vec{Z}_{13} = \tilde{Z}_g^6 Z_{R1} Z_{R2} Z_{R3} Z \tau_4$
13.  $\vec{Z}_{14} = \tilde{Z}_g^6 Z_{R1} Z_{R2} Z_{R3} Z_{R4} Z \tau_5$
14.  $\vec{Z}_{15} = \tilde{Z}_g^6 Z_{R1} Z_{R2} Z_{R3} Z_{R4} Z_{R5} Z \tau_6$
15.  $\vec{Z}_{16} = \tilde{Z}_g^6 Z_{R1} Z_{R2} Z_{R3} Z_{R4} Z_{R5} Z_{R6} Z \tau_7$
16.  $\vec{Z}_{17} = \tilde{Z}_g^6 Z_{R1} Z_{R2} Z_{R3} Z_{R4} Z_{R5} Z_{R6} Z_{R7}$
17.  $\vec{Z}_{18} = Z \tau_8; Z_{R1} Z_{R2};$

$$18. \vec{Z}_{19} = Z_{\tau_8}; Z_{R1} Z_{R2};$$

$$19. \vec{Z}_{20} = Z_{Tp}^a \vee K_a$$

$$20. \vec{Z}_{21} = Z_{Tp}^a; Z_{np}$$

$$21. \vec{Z}_{22} = Z_{Tp}^a; Z_v^a$$

3

### Найменування датчиків і кнопок управління:

$K_{II}$  – кнопка пуску двигуна скіпа;

$K_a$  – кнопка аварійної зупинки скіпа;

$K_{ca}$  - кнопка зняття аварії ;

$D_{Tp}$  - датчик “загальмовано”, (або рукоятка гальма в положенні “загальмовано”);

$D_g^H$  - датчик ( рукоятка командоконтролера при пуску скіпа вниз);

$D_g^e$  - датчик (рукоятка командоконтролера при пуску скіпа вверх)

$D_{\tau_1} \dots D_{\tau_7}$  - сигнали з таймерів про затримку часу при виключенні (шунтуванні) роторних опорів  $R_1 \dots R_7$  відповідно;

$D_1 \dots DI_7$  - сигнал від датчиків струму при пуску двигуна;

$D_{3M}^H$  - датчик (сигнал) гальмування руху підйомного скіпа при руху вниз;

$D_{3M}^e$  - датчик (сигнал) гальмування руху підйомного скіпа при руху вверх;

$D_{gm}^H$  - датчик (сигнал) дотягування підйомного скіпа при його руху вниз;

$D_{gm}^e$  - датчик (сигнал) дотягування підйомного скіпа при його руху вверх;

$D_{cm}^n$  - датчик (сигнал) на зупинку підйомного скіпа при його руху вниз;

$D_{cm}^e$  - датчик (сигнал) на зупинку підйомного скіпа при його руху вверх;

$D_{мв}$  - датчик (сигнал) включення масляного вимикача;

$D\tau_8, D\tau_9$  - сигнали з таймерів на затримку подачі аварійної напруги на двигун скіпа при його руху вниз і вверх;

$D_{пер}$  - датчик (сигнал) перегрузу скіпа;

$D_{к.з}$  - датчик (сигнал) короткого замикання двигуна скіпа;

$D_{зм}$  - датчик (сигнал) загальмованості двигуна скіпа;

$D_H^II$  - датчик (рукоятка командоконтролера у нульовому положенні);

$D_{не}$  - датчик контролю за рівнем перевищення швидкості дійсної від заданої при динамічному гальмуванні;

### **Найменування вихідних сигналів управління**

$\tilde{Z}_g^n$  - сигнал на включення 3-х фазної напруги на двигун скіпа при руху вниз;

$\tilde{Z}_g^e$  - сигнал на включення 3-х фазної напруги на двигун скіпа при руху вверх;

$Z\tau_{1...7}$  - сигнали на включення таймерів ( $t_{1...7}$ ) для одержання витримки часу виключенні роторних опорів  $R_{1...7}$  відповідно;

$Z_{R1...R7}$  - сигнали на відключення (шунтування) роторних опорів  $R_{1...7}$  відповідно;

$Z_{np}$  - сигнал індикації аварійної ситуації (включення застережного гальма);

$Z_{mp}$  - сигнал на накладання робочого гальма;

$Z_{\tau_8}$  - сигнал на включення таймера  $t_8$  для одержання затримки часу між виключенням постійної напруги із статора двигуна і ввімкненням на нього 3-х фазної напруги при руху скіпа вниз;

$Z_{\tau_9}$  - сигнал на включення таймера  $t_9$  для одержання затримки часу між виключенням постійної напруги із статора двигуна і ввімкненням на нього 3-х фазної напруги при руху скіпа вверху;

$Z_{ms}$  - сигнал індикації спрацювання (відключення) масляного вимикача;

$Z_{gs}$  - сигнал на підключення до статора двигуна скіпа постійної напруги при динамічному гальмуванні;

$U_{gs}$  - сигнал подачі напруги на статор двигуна скіпа, який по величині повинен бути пропорціональний сигналу перевищенню швидкості дійсної від заданої скіпа при його динамічному гальмуванні;

## **2.5. Розробка структурної математичної моделі й отримання канонічних рівнянь роботи системи управління електроприводом скіпа шахти**

Для розробки структурної математичної моделі системи необхідно згідно [17, 18] стани абстрактної математичної моделі закодувати слідуєчим двійковим нормальним кодом: 0→00000; 1→00001; 2→00010; 3→00011; 4→00100; 5→00101; 6→00110; 7→00111; 8→01000; 9→01000; 10→01001; 11→01010; 12→01011; 13→01100 14→01101; 15→01110; 16→01111; 17→10000; 18→10001; 19→10010; 20→10011; 21→10100; 22→10101; 23→10110. Таблиця переходів і виходів структурної математичної моделі системи управління електроприводом скіпа шахти «Скіпова» об'єднання «Казцинк», приведена в табл.2.5.1

Таблиця переходів і виходів структурної моделі системи управління Табл.2.5.1

Вхідні Змінні	Стани структурної моделі	00000	00001	00010	00011	00100	00101	00110	00111	01000	01001	
$K_{II} \bar{D}_{II} D_{II}^*$		00001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	01001
$D_{I_1} \vee DI_1$		-	00010	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$D_{I_2} \vee DI_2$		-	-	00011	-	-	-	-	-	-	-	-
$D_{I_3} \vee DI_3$		-	-	-	00100	-	-	-	-	-	-	-
$D_{I_4} \vee DI_4$		-	-	-	-	00101	-	-	-	-	-	-
$D_{I_5} \vee DI_5$		-	-	-	-	-	00110	-	-	-	-	-
$D_{I_6} \vee DI_6$		-	-	-	-	-	-	00111	-	-	-	-
$D_{I_7} \vee DI_7$		-	-	-	-	-	-	-	01000	-	-	-
$D_{III}^*$		-	-	-	-	-	-	-	-	01001	-	-
$K_{II} \bar{D}_{II} D_{II}^*$		01010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$D_{II}^* D_{II}^*$		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10010
$D_{II}^* D_{II}^*$		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10011
$D_{II}^*$		-	-	-	-	-	-	-	-	10110	10110	10110
$KcaD_{III} D_{II}^*$		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$D_{II}^*$		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$D_{II}^*$		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$\bar{D}_{III} \vee D_{III}$		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	01001
$D_{I_8}$		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$D_{I_9}$		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$D_{III} \rho \vee D_{III} \cdot 3$		-	10101	10101	10101	10101	10101	10101	10101	10101	10101	-
$\bar{D}_{III} \vee Ka$		-	10100	10100	10100	10100	10100	10100	10100	10100	10100	10100

Продовження таблиці переходів і виходів структурної моделі системи управління

Стани структурної моделі	01010	01011	01100	01101	01110	01111	10000	10001	10010	10011	10100	10101	10110
Вхідні Змінні	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$K_{\Pi} \bar{D}_{\Pi} D_{\Sigma}^{\Sigma}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$D\tau_1 \vee DI_1$	01011	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$D\tau_2 \vee DI_2$	-	01100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$D\tau_3 \vee DI_3$	-	-	01101	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$D\tau_4 \vee DI_4$	-	-	-	01110	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$D\tau_5 \vee DI_5$	-	-	-	-	01111	-	-	-	-	-	-	-	-
$D\tau_6 \vee DI_6$	-	-	-	-	-	10000	-	-	-	-	-	-	-
$D\tau_7 \vee DI_7$	-	-	-	-	-	-	10001	-	-	-	-	-	-
$D_{\Sigma K}^{\Sigma}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$K_{\Pi} \bar{D}_{\Pi} D_{\Sigma}^{\Sigma}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$D_{\Sigma K}^{\Sigma}$	-	-	-	-	-	-	-	01001	-	-	-	-	-
$D_{\Sigma K}^{\Sigma}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$K_{\Sigma a} D_{\Sigma m} D_{\Sigma H}^{\Sigma}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	00000	00000	00000
$D_{\Sigma T}^{\Sigma}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	00000	-	-	-
$D_{\Sigma T}^{\Sigma}$	-	-	-	-	-	-	-	-	00000	-	-	-	-
$D\tau_8$	-	-	-	-	-	-	-	-	10010	-	-	-	-
$D\tau_9$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10011	-	-	-
$D_{\Sigma \rho} \vee D_{\Sigma \lambda}$	10101	10101	10101	10101	10101	10101	10101	10101	-	-	-	-	-
$\bar{D}_{\Sigma m} \vee K_{\Sigma a}$	10100	10100	10100	10100	10100	10100	10100	10100	10100	10100	-	-	-



Виходячи, з таблиці переходів і виходів структурної математичної моделі системи управління, канонічні рівняння роботи системи мають вид:

$$\begin{aligned}
 y_1^1 = & K_{II} \bar{D}_{Tp} D_g'' \cdot \bar{y}_5 \bar{y}_4 \bar{y}_3 \bar{y}_2 \vee (D\tau_2 \vee DI_2) \bar{y}_5 \bar{y}_4 \bar{y}_3 y_2 \vee (Dпер \vee Dк.з.) \bar{y}_4 \vee \\
 & \vee (D\tau_4 \vee DI_4) \bar{y}_5 \bar{y}_4 y_3 \bar{y}_2 \vee (Dпер \vee Dк.з.) \bar{y}_4 y_3 \bar{y}_2 \vee (D\tau_6 \vee DI_6) \bar{y}_5 \bar{y}_4 y_3 y_2 \vee \\
 & \vee (Dпер \vee Dк.з.) \bar{y}_4 y_3 \vee D_{зм}'' \bar{y}_5 y_4 \bar{y}_3 \bar{y}_2 \vee (Dпер \vee Dк.з.) \bar{y}_2 \vee (D\tau_1 \vee DI_1) \bar{y}_5 y_4 \bar{y}_3 y_2 \vee \\
 & \vee (Dпер \vee Dк.з.) \vee (D\tau_3 \vee DI_3) \bar{y}_5 y_4 y_3 \bar{y}_2 \vee (Dпер \vee Dк.з.) y_3 \bar{y}_2 \vee (D\tau_5 \vee DI_5) \bar{y}_5 y_4 y_3 y_2 \vee \\
 & \vee (Dпер \vee Dк.з.) y_3 \vee (D\tau_7 \vee DI_7) y_5 \bar{y}_4 \bar{y}_3 \bar{y}_2 \vee (Dпер \vee Dк.з.) y_5 \bar{y}_4 \bar{y}_2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y_1^0 = & (D\tau_1 \vee DI_1) \bar{y}_5 \bar{y}_4 \bar{y}_3 \vee (\bar{D}мв \vee Ка.) \bar{y}_4 \bar{y}_2 \vee (D\tau_3 \vee DI_3) \bar{y}_5 \bar{y}_4 \vee \\
 & \vee (\bar{D}мв \vee Ка.) \bar{y}_4 \vee (D\tau_5 \vee DI_5) \bar{y}_5 \bar{y}_4 y_3 \vee (\bar{D}мв \vee Ка.) \bar{y}_4 y_3 \bar{y}_2 \vee (D\tau_7 \vee DI_7) \bar{y}_5 \vee \\
 & \vee (\bar{D}мв \vee Ка.) \bar{y}_4 y_3 \vee (D_{гТ}'' D_g'') \bar{y}_3 \vee (D_{ск}^a) \vee (\bar{D}мв \vee Ка.) \bar{y}_2 \vee (D\tau_2 \vee DI_2) \bar{y}_5 y_4 \vee (\bar{D}мв \vee Ка.) \vee \\
 & \vee (D\tau_4 \vee DI_4) \bar{y}_5 y_4 y_3 \vee (\bar{D}мв \vee Ка.) y_3 \bar{y}_2 \vee (D\tau_6 \vee DI_6) \vee (\bar{D}мв \vee Ка.) y_3 \vee \\
 & \vee (\bar{D}мв \vee Ка.) \bar{y}_4 \bar{y}_2 \vee (D_{сТ}^e) \bar{y}_4 \bar{y}_3 \vee (\bar{D}мв \vee Ка.) y_5 \bar{y}_4 \vee (Кса D зт D_H'') \bar{y}_4 \bar{y}_2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y_2^1 = & K_{II} \bar{D}_{Tp} D_g^e \cdot \bar{y}_5 \bar{y}_3 \bar{y}_1 \vee (D\tau_1 \vee DI_1) \bar{y}_5 \bar{y}_4 \bar{y}_3 \vee (D\tau_5 \vee DI_5) \bar{y}_5 \bar{y}_4 y_3 \vee (D_{ск}^a) \bar{y}_1 \vee (D_{гТ}'' D_g'') \bar{y}_3 \vee \\
 & \vee (D_{гТ}^e D_g^e) \bar{y}_3 y_1 \vee (D_{ск}^a) \vee (D\tau_4 \vee DI_4) \bar{y}_5 y_4 y_3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y_2^0 = & (Dпер \vee Dк.з.) \bar{y}_4 \vee (\bar{D}мв \vee Ка.) \bar{y}_4 \bar{y}_1 \vee (D\tau_3 \vee DI_3) \bar{y}_5 \bar{y}_4 \vee (Dпер \vee Dк.з.) \bar{y}_4 y_1 \vee \\
 & \vee (\bar{D}мв \vee Ка.) \bar{y}_4 \vee (Dпер \vee Dк.з.) \bar{y}_4 y_3 \vee (\bar{D}мв \vee Ка.) \bar{y}_4 y_3 \bar{y}_1 \vee (D\tau_7 \vee DI_7) \bar{y}_5 \vee \\
 & \vee (Dпер \vee Dк.з.) \bar{y}_4 y_3 y_1 \vee (\bar{D}мв \vee Ка.) \bar{y}_4 y_3 \vee (Dпер \vee Dк.з.) \vee (\bar{D}мв \vee Ка.) \bar{y}_1 \vee \\
 & \vee (D\tau_2 \vee DI_2) \bar{y}_5 y_4 \vee (Dпер \vee Dк.з.) y_1 \vee (\bar{D}мв \vee Ка.) \vee (Dпер \vee Dк.з.) y_3 \vee (\bar{D}мв \vee Ка.) y_3 \bar{y}_1 \vee \\
 & \vee (D\tau_6 \vee DI_6) \vee (Dпер \vee Dк.з.) y_3 \bar{y}_1 \vee (\bar{D}мв \vee Ка.) y_3 \vee (D_{сТ}^H) \bar{y}_4 \bar{y}_3 \bar{y}_1 \vee (\bar{D}мв \vee Ка.) y_5 \bar{y}_4 \bar{y}_1 \vee \\
 & \vee (D_{сТ}^e) \bar{y}_4 \bar{y}_3 \vee (\bar{D}мв \vee Ка.) y_5 \bar{y}_4 \vee (Кса D зт D_H'') \bar{y}_4 \bar{y}_1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y_3^1 = & (Dпер \vee Dк.з.) \bar{y}_4 \bar{y}_2 y_1 \vee (\bar{D}мв \vee Ка.) \bar{y}_4 \bar{y}_2 \vee (Dпер \vee Dк.з.) \bar{y}_4 \vee (\bar{D}мв \vee Ка.) \bar{y}_4 \bar{y}_1 \vee \\
 & \vee (D\tau_3 \vee DI_3) \bar{y}_5 \bar{y}_4 \vee (Dпер \vee Dк.з.) \bar{y}_4 y_1 \vee (\bar{D}мв \vee Ка.) \bar{y}_4 \vee (D_{ск}^a) \bar{y}_1 \vee (Dпер \vee Dк.з.) \bar{y}_2 \vee \\
 & \vee (\bar{D}мв \vee Ка.) \bar{y}_2 \bar{y}_1 \vee (D_{ск}^a) \vee (\bar{D}мв \vee Ка.) \bar{y}_2 \vee (Dпер \vee Dк.з.) \vee (\bar{D}мв \vee Ка.) \bar{y}_1 \vee \\
 & \vee (D\tau_2 \vee DI_2) \bar{y}_5 y_4 \vee (Dпер \vee Dк.з.) y_1 \vee (\bar{D}мв \vee Ка.) \vee (Dпер \vee Dк.з.) y_5 \bar{y}_4 \bar{y}_2 \vee \\
 & \vee (\bar{D}мв \vee Ка.) y_5 \bar{y}_4 \bar{y}_2 \bar{y}_1 \vee (Dпер \vee Dк.з.) y_5 \bar{y}_4 \bar{y}_2 y_1 \vee (\bar{D}мв \vee Ка.) y_5 \bar{y}_4 \bar{y}_2 \vee \\
 & \vee (\bar{D}мв \vee Ка.) y_5 \bar{y}_4 \bar{y}_1 \vee (\bar{D}мв \vee Ка.) y_5 \bar{y}_4
 \end{aligned}$$

$$y_3^0 = (D\tau_7 \vee DI_7)\bar{y}_5 \vee (D\tau_6 \vee DI_6) \vee (KcaD_3mD_H^{\Pi})\bar{y}_4\bar{y}_2\bar{y}_1 \vee (KcaD_3mD_H^{\Pi})\bar{y}_4\bar{y}_2 \vee (KcaD_3mD_H^{\Pi})\bar{y}_4\bar{y}_1$$

$$y_4^1 = (K_{\Pi}\bar{D}_{Tp}D_g^e)\bar{y}_5\bar{y}_3\bar{y}_1 \vee (D\tau_7 \vee DI_7)\bar{y}_5 \vee (D_{3m}^e)\bar{y}_3\bar{y}_2y_1$$

$$y_4^0 = (D_{ck}^a)\bar{y}_1 \vee (D\pi\rho \vee D\kappa.3.)\bar{y}_2 \vee (\bar{D}m\vee Ka.)\bar{y}_2\bar{y}_1 \vee (D_{gT}^H D_g^H)\bar{y}_3 \vee (D_{gT}^e D_g^e)\bar{y}_3y_1 \vee (D_{ck}^a) \vee (\bar{D}m\vee Ka.)\bar{y}_2 \vee (D\pi\rho \vee D\kappa.3.) \vee (\bar{D}m\vee Ka.)\bar{y}_1 \vee (D\pi\rho \vee D\kappa.3.)\bar{y}_1 \vee (\bar{D}m\vee Ka.) \vee (D\pi\rho \vee D\kappa.3.)y_3\bar{y}_2 \vee (\bar{D}m\vee Ka.)y_3\bar{y}_2\bar{y}_1 \vee (D\pi\rho \vee D\kappa.3.)y_3\bar{y}_2y_1 \vee (\bar{D}m\vee Ka.)y_3\bar{y}_2 \vee (D\pi\rho \vee D\kappa.3.)y_3 \vee (\bar{D}m\vee Ka.)y_3\bar{y}_1 \vee (D\tau_6 \vee DI_6) \vee (D\pi\rho \vee D\kappa.3.)y_3y_1 \vee (\bar{D}m\vee Ka.)y_3$$

$$y_5^1 = (D\pi\rho \vee D\kappa.3.)\bar{y}_4\bar{y}_2y_1 \vee (\bar{D}m\vee Ka.)\bar{y}_4\bar{y}_2 \vee (D\pi\rho \vee D\kappa.3.)\bar{y}_4 \vee (\bar{D}m\vee Ka.)\bar{y}_4\bar{y}_1 \vee (D\pi\rho \vee D\kappa.3.)\bar{y}_4y_1 \vee (\bar{D}m\vee Ka.)\bar{y}_4 \vee (D\pi\rho \vee D\kappa.3.)\bar{y}_4y_3\bar{y}_2 \vee (\bar{D}m\vee Ka.)\bar{y}_4y_3\bar{y}_2\bar{y}_1 \vee (D\pi\rho \vee D\kappa.3.)\bar{y}_4y_3\bar{y}_2y_1 \vee (\bar{D}m\vee Ka.)\bar{y}_4y_3\bar{y}_2 \vee (D\pi\rho \vee D\kappa.3.)\bar{y}_4y_3 \vee (\bar{D}m\vee Ka.)\bar{y}_4y_3\bar{y}_1 \vee (D\pi\rho \vee D\kappa.3.)\bar{y}_4y_3y_1 \vee (\bar{D}m\vee Ka.)\bar{y}_4y_3 \vee (D_{ck}^a)\bar{y}_1 \vee (D\pi\rho \vee D\kappa.3.)\bar{y}_2 \vee (\bar{D}m\vee Ka.)\bar{y}_2\bar{y}_1 \vee (D_{gT}^H D_g^H)\bar{y}_3 \vee (D_{gT}^e D_g^e)\bar{y}_3y_1 \vee (D_{ck}^a) \vee (\bar{D}m\vee Ka.)\bar{y}_2 \vee (D\pi\rho \vee D\kappa.3.) \vee (\bar{D}m\vee Ka.)\bar{y}_1 \vee (D\pi\rho \vee D\kappa.3.)y_1 \vee (\bar{D}m\vee Ka.) \vee (D\pi\rho \vee D\kappa.3.)y_3\bar{y}_2 \vee (\bar{D}m\vee Ka.)y_3\bar{y}_2\bar{y}_1 \vee (D\pi\rho \vee D\kappa.3.)y_3\bar{y}_2y_1 \vee (\bar{D}m\vee Ka.)y_3\bar{y}_2 \vee (D\pi\rho \vee D\kappa.3.)y_3 \vee (\bar{D}m\vee Ka.)y_3\bar{y}_1 \vee (D\tau_6 \vee DI_6) (D\pi\rho \vee D\kappa.3.)y_3y_1 \vee (\bar{D}m\vee Ka.)y_3$$

$$y_5^0 = (D_{3m}^e)\bar{y}_3\bar{y}_2y_1 \vee (D_{CT}^H)\bar{y}_4\bar{y}_3\bar{y}_1 \vee (D_{CT}^e)\bar{y}_4\bar{y}_3 \vee (KcaD_3mD_H^{\Pi})\bar{y}_4\bar{y}_2\bar{y}_1 \vee (KcaD_3mD_H^{\Pi})\bar{y}_4\bar{y}_2 \vee (KcaD_3mD_H^{\Pi})\bar{y}_4\bar{y}_1$$

$$\tilde{Z}_g^H = D\tau_8 : y_5\bar{y}_4\bar{y}_3y_2\bar{y}_1$$

$$\tilde{Z}_g^e = D\tau_9 : y_5\bar{y}_4\bar{y}_3y_2y_1$$

$$\bar{D}_{.m\bar{e}} = Z_{g\bar{e}} : \bar{y}_5y_4\bar{y}_3\bar{y}_2y_1$$

$$D_{\Pi\bar{e}}^{\vee} \equiv U_{g\bar{e}} : \bar{y}_5y_4\bar{y}_3\bar{y}_2y_1$$

$$Z_{Tp} = \bar{y}_5\bar{y}_4\bar{y}_3\bar{y}_2\bar{y}_1$$

$$\tilde{Z}_g^h = Z\tau_1 = \bar{y}_5\bar{y}_4\bar{y}_3\bar{y}_2y_1$$

$$\tilde{Z}_g^h = Z_{R1} = Z\tau_2 = \bar{y}_5\bar{y}_4\bar{y}_3y_2\bar{y}_1$$

$$\tilde{Z}_g^h = Z_{R1} = Z_{R2} = Z\tau_3 = \bar{y}_5\bar{y}_4\bar{y}_3y_2y_1$$

$$\tilde{Z}_g^h = Z_{R1} = Z_{R2} = Z_{R3} = Z\tau_4 = \bar{y}_5\bar{y}_4y_3\bar{y}_2\bar{y}_1$$

$$\tilde{Z}_g^h = Z_{R1} = Z_{R2} = Z_{R3} = Z_{R4} = Z\tau_5 = \bar{y}_5\bar{y}_4y_3\bar{y}_2y_1$$

$$\tilde{Z}_g^h = Z_{R1} = Z_{R2} = Z_{R3} = Z_{R4} = Z_{R5} = Z\tau_6 = \bar{y}_5\bar{y}_4y_3y_2\bar{y}_1$$

$$\tilde{Z}_g^h = Z_{R1} = Z_{R2} = Z_{R3} = Z_{R4} = Z_{R5} = Z_{R6} = Z\tau_7 = \bar{y}_5\bar{y}_4y_3y_2y_1$$

$$\tilde{Z}_g^h = Z_{R1} = Z_{R2} = Z_{R3} = Z_{R4} = Z_{R5} = Z_{R6} = Z_{R7} = Z\tau_8 = \bar{y}_5y_4\bar{y}_3\bar{y}_2\bar{y}_1$$

$$\overline{D}\mathcal{M}g/Z_{g6} = D_{II6}^\vee \equiv U_{g6} = \bar{y}_5y_4\bar{y}_3\bar{y}_2y_1$$

$$\tilde{Z}_g^6 = Z\tau_1 = \bar{y}_5y_4\bar{y}_3\bar{y}_2y_1$$

$$\tilde{Z}_g^6 = Z_{R1} = Z\tau_2 = \bar{y}_5y_4\bar{y}_3y_2y_1$$

$$\tilde{Z}_g^6 = Z_{R1} = Z_{R2} = Z\tau_3 = \bar{y}_5y_4y_3\bar{y}_2\bar{y}_1$$

$$\tilde{Z}_g^6 = Z_{R1} = Z_{R2} = Z_{R3} = Z\tau_4 = \bar{y}_5y_4y_3\bar{y}_2y_1$$

$$\tilde{Z}_g^6 = Z_{R1} = Z_{R2} = Z_{R3} = Z_{R4} = Z\tau_5 = \bar{y}_5y_4y_3y_2\bar{y}_1$$

$$\tilde{Z}_g^6 = Z_{R1} = Z_{R2} = Z_{R3} = Z_{R4} = Z_{R5} = Z\tau_6 = \bar{y}_5y_4y_3y_2y_1$$

$$\tilde{Z}_g^6 = Z_{R1} = Z_{R2} = Z_{R3} = Z_{R4} = Z_{R5} = Z_{R6} = Z\tau_7 = y_5\bar{y}_4\bar{y}_3\bar{y}_2\bar{y}_1$$

$$\tilde{Z}_g^6 = Z_{R1} = Z_{R2} = Z_{R3} = Z_{R4} = Z_{R5} = Z_{R6} = Z_{R7} = y_5\bar{y}_4\bar{y}_3\bar{y}_2y_1$$

$$Z\tau_8 = Z_{R1} = Z_{R2} = y_5\bar{y}_4\bar{y}_3y_2\bar{y}_1$$

$$Z\tau_9 = Z_{R1} = Z_{R2} = y_5\bar{y}_4\bar{y}_3y_2y_1$$

$$Z_{Tp}^a = K_a = y_5 \bar{y}_4 y_3 \bar{y}_2 \bar{y}_1$$

$$Z_{Tp}^a = Z_{np} = y_5 \bar{y}_4 y_3 \bar{y}_2 y_1$$

$$Z_{Tp}^a = Z_v^a = y_5 \bar{y}_4 y_3 y_2 \bar{y}_1$$

де:  $y_1^1, y_2^1, y_3^1, y_{4,5}^1$  - сигнали на включення елементів пам'яті із «0» в «1»

$y_1^0, y_2^0, y_3^0, y_{4,5}^0$  - сигнали на вимкнення елементів пам'яті із «1» в «0».

## РОЗДІЛ 3

### РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СКІПОВОЮ УСТАНОВКОЮ ШАХТИ

#### 3.1. Аналіз і вибір контролерів для системи керування скіповою установкою, що реалізують канонічні рівняння її роботи

Програмовані логічні контролери фірми OMRON, рис.3.1.1:

Високе технічне виконання у сукупності з невеликими розмірами<sup>37</sup> забезпечують контролерам широке застосування у пакувальних машинах, конвеєрах, багатофункціональних технологічних агрегатах малого й середнього класу.



Рис.3.1.1 Контролер OMRON

Програмовані контролери серії "ЕС" й "MICRO EH", рис.3.1.2, мають компактне, моноблочне виконання. Призначені для керування невеликими й середніми системами автоматизації й найпростішим устаткуванням. У межах однієї серії контролери можуть підключатися каскадно [19].

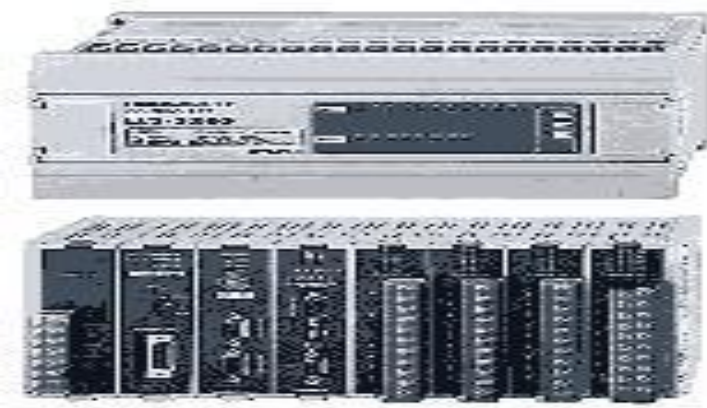


Рис.3.1.2. Програмовані контролери серій "ЕС", "EH" фірми HITACHI

Компанія Unitronics, рис.3.1.3, у новій серії малогабаритних програмувальних логічних контролерів з інтегрованою панеллю оператора пропонує широкий спектр контролерів для об'єктів різної складності [20].



### Рис.3.1.3. Контролери Unitronics

ПЛК Unitronics відрізняються гнучкими комунікаційними можливостями:

- Забезпечення зв'язку із пристроями з послідовним інтерфейсом (ваги, лічильники), підтримка протоколів послідовного зв'язку (Modbus й CANbus)
- Підтримка технологій Ethernet й Internet
- Підтримка SMS, GPRS, 3G й WLAN

Програмування й візуалізація ПЛК Unitronics на персональному комп'ютері робиться за допомогою зручного у використанні програмного забезпечення – забезпечується можливість обміну даними між різними моделями.

Контролер Unitronics M90 - це контролер розміром 96 x 96 x 64 мм що має 16 - розрядний дисплей і клавіатуру введення з 15 клавішами. Клавіатура забезпечує налаштування системи і зміну значень внутрішніх змінних. Повідомлення на дисплеї може вільно програмуватися, що забезпечує виведення системної інформації і аварійних повідомлень.

Серія M90 має 7 різних модифікацій, що розрізняються по входам і виходам. Є цифрові входи і виходи, а також лічильники і релейні виходи.

Корпус M90 розрахований на панельний монтаж відповідно до норм DIN. Функція промислової шини забезпечує з'єднання до 64 контролерів M90 через CAN-шину. Ця мережа управляється комп'ютером через інтерфейс RS-232. Для цього є DDE-сервер обміну даних. Ці якості "M90" забезпечують йому гнучкість для контролю за часом і станом навколишнього середовища, в якому відбуваються технологічні процеси.

Програмне забезпечення, що поставляється з контролером, забезпечує програмування M90 і інтерфейсу "людина-машина" в програмному середовищі U90 Ladder.

Кожен контролер M90 (окрім M90 - B1A) оснащений портом розширення, до якого можна під'єднувати до 8 модулів розширення ,рис 3.1.4. Вони забезпечують збільшення кількості входів та виходів контролера.



Рис. 3.1.4. Модуль розширення

Із наведених контролерів найбільше підходить для системи керування скіповою установкою, що реалізують канонічні рівняння її роботи контролер M90-TA2-CAN, зовнішній вигляд якого наведений на рис. 3.1.5 [19, 20].



Рис.3.1.5. Контролер M90-TA2-CAN

### 3.2. Вибір ефективної мови програмування для реалізації системи керування скіповою установкою шахти

Контролер Unitronics M90 і програмні застосування HMI-інтерфейса створюється на персональному комп'ютері, використовуючи для цього програмне забезпечення U90 Ladder , що працює в операційній системі Windows 95, 98 або NT 4.0. M90 програмується за допомогою Ladder Logic.

Програмне застосування контролера Unitronics M90 - це програма, яка виконується в M90. Вона дозволяє M90 реалізувати свої функції управління.

Програмне застосування HMI-інтерфейса настроює параметри роботи інтерфейсу оператора M90. Використовується для:

- налаштування функцій за допомогою клавішної панелі M90;
- створення і виводи на ЖК-дисплей M90 повідомлень.

Після підготовки своєї програми, вона завантажується в контролер Unitronics M90.

Редактор U90 Ladder використовується для створення мереж багатоланкової схеми, які формують основу додатку (програми).

Мережі багатоланкової схеми складені з різних типів елементів:

- контактів (стан або умова);
- котушок (результат або вираз логічної операції.);
- функціональних блоків(математичні функції, функції порівняння, логічні функції, функції часу).

Блок функції Indirect Year пов'язаний з двома послідовними MI або SI. Значення в ці MI і SI вводяться користувачем через допоміжну клавіатуру. Якщо системний час контролера знаходиться в заданому інтервалі



часу то струм тектиме через функціональний блок. Якщо системний час контролера не потрапляє в цей інтервал то струм не тектиме через функціональний блок.

System Bits - біти операційної системи. Біти системи зарезервовані операційною системою для певних функцій. Деякі System Bit пов'язані з клавішами M90 допоміжної клавіатури(SB40 - SB53).

Є 256 System Bits (адреси SB 0 - SB 255).

Приклад:

- SB 80: активізує лінеаризацію;
- SB 200 -SB 215: M90 мережевий операнд.

Memory Integers - цей тип операндів може використовуватися програмістом для написання програми.

Є 256 Memory Integers (адреси MI0 - MI255).

У Memory Integers можна записати цілочисельне значення від -32768 до +32767.

Memory Bits –цей тип операндів може використовуватися програмістом для написання програми.

Є 256 Memory Bits (адреси MB0 - MB255) .

Memory Bits можуть набувати значення 0 або 1.

Timers - цей тип операндів може використовуватися програмістом для написання програми без обмежень.

U90 Ladder підтримує до 64 таймерів затримки(T0 - T63).

Input - цей тип операндів використовуються для створення програми.

Число Input змінюється залежно від моделі M90.

Output - цей тип операндів використовуються для створення програми.

Число Output змінюється залежно від моделі M90.

Лістинг програми системи приведено у додатку А.

Інформаційний режим контролера Unitronics M90

Інформаційний режим дозволяє відображати і редагувати деякі системні дані, і виконувати деякі заздалегідь встановлені дії. У цьому режимі системні дані відображаються на екрані M90 і можуть редагуватися через M90 клавіатуру.

У інформаційний режим можна перейти у будь-який час. Перегляд і редагування системних даних не зачіпає програму в M90.

Щоб перейти в інформаційний режим, натисніть на клавішу "I" протягом декількох секунд. Список нижче показує категорії інформації, до яких є доступ.

Використовуючи інформаційний режим, можна подивитися:

- стан вводу-виводу;
- аналогові вхідні сигнали (робочий діапазон і поточне значення);
- значення лічильника;
- стан MB і SB;
- поточні значення MI і SI;
- таймери: поточне значення таймера, заздалегідь встановлене значення і стан таймера;
- ID номер M90;
- RS232 параметри;

- час і дата;
- інформація про систему.

У цьому режимі можна зупинити роботу програми, перезапустити її або скинути МВ і МІ.

Сервери вводу/виводу для контролерів Unitronics M90

Збір сигналів з промислової апаратури зазвичай здійснюється таким чином: датчики і виконавчі механізми підключаються до промислових контролерів, а ті, у свою чергу, до персональних комп'ютерів.

Фізично зв'язок комп'ютера і контролера може здійснюватися різними шляхами - наприклад через RS-232, 422, RS-485 порти, CAN, Ethernet, Devicenet або по радіо і базуватися на різних протоколах обміну інформацією - Modbus, Bitbus, і так далі .

Найчастіше протокол обміну (програма) з контролером розробляється фірмою - виробником контролера і не доступний користувачам. Така програма зв'язку, контролера і ПК, називається "сервером" або "драйвером вводу-виводу". Саме вона, знаючи протокол обміну з контролером, дозволяє діставати до нього доступ (керувати контролером, читати значення внутрішніх змінних і записувати нові значення) із зовнішніх програм.

## **ВИСНОВКИ**

У кваліфікаційній роботі було поставлене завдання розробити систему управління електроприводом скіпа шахти «Скіпова» об'єднання «Казцинк». У процесі розв'язання поставленої у кваліфікаційній роботі задачі було проаналізовано різні системи управління електроприводами постійного та змінного струму, керування режимами гальмування шахтних підйомних машин.

На підставі зробленого аналізу було вибрано систему управління електроприводом змінного струму із динамічним режимом гальмування. Це проста і надійна система управління, економічна по окупності капітальних витрат, простоті конструкції двигуна, меншій кількості електричних частин у порівнянні із приводом постійного струму.

Проведений розрахунок тахограми руху скіпа для визначення швидкості розгону, рівномірного руху та гальмування, загальний час підйому. Був розрахований та підібраний електродвигун для реалізації виконання тахограми руху. Розроблений детальний алгоритм системи піднімання скіпа шахти. На основі алгоритму створена абстрактна та структурна математична модель роботи системи. По структурній математичній моделі отримані канонічні рівняння роботи системи управління.

На основі отриманих канонічних рівнянь роботи системи був проведений аналіз існуючих контролерів і вибраний такий

що найбільше підходить для їх реалізації. Це контролер M90-TA2-CAN, на якому була розроблена програма реалізації канонічних рівнянь роботи системи на мові програмування U90 Ladder.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гершиков И. Я., Димашко А. Д., Кревневич А. А. Шахтные электрические лебедки и подъемные машины. Справочник, Москва 1983, 302с.
2. Калиш С.И., Чебаненко К.И. Справочник машиниста шахтной подъемной машины Москва 1992, 221с.
3. Браун И. В. Монтаж стационарных установок. Госгортехиздат, 1990,154с.
4. Василевский М. Н.Привод подъемных машин. Госгортехиздат, 1990, 276с.
5. ВешеневскийС. Н. Расчет характеристик и сопротивлений для электродвигателей. Госэнергоиздат, 1984, 456с.
6. Временная инструкция по ревизии, наладке и испытанию шахтных подъемных установок с асинхронным двигателем. Углетехиздат, 1986, 127с.
7. Гемке Р. Г. Неисправности электрических машин. Госэнергоиздат, 1980, 230 с.
8. Гершиков И. Я., Глинский А. К., ДимашкоА. Д., Кревневич А. А. этрические лебедки и подъемные машины. Справочник, Углетехиздат, 1988, 318 с.

9. Давыдов Б. Л. Неполадки шахтных подъемных установок, их предупреждение и устранение. Углетехиздат, 1988, 271с.
10. Давыдов Б. Л. Расчет и конструирование шахтных подъемных машин. Углетехиздат, 1949, 428с.
11. Киселев Н. Н., Кужель М. Г., Димашко А. Д., Ильин П. П. Шахтные подъемные машины. Атлас конструкций. Углетехиздат, 1985, 348с.
12. Мальчев С. М. Машинист подъемной установки. Углетехиздат, 1996, 219с.
13. Найденко И. С. Ревизия, наладка и испытание тормозных устройств шахтных подъемных машин. Госгортехиздат, 1990, 341 с.
14. Объем и нормы испытаний электрооборудования. Госэнергоиздат, 1997, 215 с.
15. Полевой В. В., Оборудование шахтного подъема. Углетехиздат, 1999, 437 с.
16. Матвієнко М. П. Пристрої цифрової електроніки К: «Ліра-К», 2015 - 392с.
17. Матвієнко М.П. Проектування цифрових пристроїв, Київ: Видавництво «Ліра-К», 2018 - 364с.
18. Матвієнко М.П. Комп'ютерна логіка , Київ: Видавництво «Ліра-К», 2012 - 364с.
19. Матвієнко М.П. Промислова електроніка, Київ: Видавництво «Ліра-К», 2019 - 424с.
20. WWW. klinkmann. com