

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
АЕРОКОСМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач випускової кафедри
_____ В.П. Захарченко
« ____ » _____ 2020 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТР

ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 151 «АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ»

Тема: «Система логічного керування електроприводом підйомної установки»

Виконавець студент групи АТ-216М Замай Владислав Олегович
(студент, група, прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник к.т.н., доцент Товкач Сергій Сергійович
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Консультант розділу «Охорона праці»: _____ С.М. Занько
(підпис) (ПІБ)

Консультант розділу «Охорона навколишнього середовища»: _____ В. Ф. Фролов
(підпис) (ПІБ)

Нормоконтролер: _____ С.С. Товкач
(підпис) (ПІБ)

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аерокосмічний

Кафедра автоматизації та енергоменеджменту

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

(шифр, найменування)

Освітньо-професійна програма «Автоматика та автоматизація на транспорті»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

В.П. Захарченко

«05» жовтня 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи (проекту)

Замая Владислава Олеговича

(П.І.Б. випускника)

1. Тема роботи (проекту) «Система логічного керування електроприводом підйомної установки» затверджена наказом ректора від «30» вересня 2020 р. №1835/ст.
2. Термін виконання роботи (проекту): з 05.10.2020р.по 27.12.2020р.
3. Вихідні дані до роботи (проекту): застосувати наукові, інженерно-технічні та енергоефективні підходи щодо побудови системи логічного керування електроприводом підйомної установки. Врахувати умови експлуатації електротехнічного комплексу підйомної установки, яка складається з блоку автоматичного формування точки початку уповільнення, і блоку керування динамічним струмом.
4. Зміст пояснювальної записки: Системи логічного керування підйомними установками. Математична модель електроприводу підйомної установки. Структура і алгоритми системи логічного керування. Структура програмного забезпечення. Розрахунок техніко-економічних показників системи. Охорона праці. Охорона навколишнього середовища
5. Перелік обов'язкового ілюстративного матеріалу: Функціональна структура автоматизованого електроприводу. Структурна схема електроприводу підйомної установки. Граф роботи системи автоматики і захистів. Граф формування тахограми руху. Взаємодія автоматів в системі логічного керування. Структура системи логічного керування. Діаграма станів модуля формування робочої тахограми з урахуванням роботи з проміжного горизонту .

6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін Виконання	Підпис керівника
1.	Аналіз та обґрунтування вибору інформаційних джерел	05.10 – 12.10.20	
2.	Визначити особливості побудови систем логічного керування та способи їх представлення	12.10 – 26.10.20	
3.	Дослідити математичну модель електроприводу підйомної установки та її графічний опис з використанням теорії графів	26.10 – 09.11.20	
4.	Розробити структуру і алгоритми системи логічного керування, структуру програмного забезпечення та розрахувати техніко-економічні показники СЛК	09.11 – 30.11.20	
5.	Розгляд питання охорони праці	Після отримання завдання	
6.	Розгляд питання охорони навколишнього середовища	Після отримання завдання	
7.	Робота над оформленням обов'язкового ілюстрованого матеріалу, оформлення пояснювальної записки	15.11 – 20.12.20	
8.	Перевірка роботи на доброчесність. Підготовка до захисту	Після передзахисту	

7. Консультанти з окремих розділів

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	С.М. Занько		
Охорона навколишнього середовища	В. Ф. Фролов		

8. Дата видачі завдання: «05» жовтня 2020 р.

Керівник дипломної роботи (проекту)

Товкач С.С.
 (підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання

Замай В.О.
 (підпис випускника) (П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Система логічного керування електроприводом підйомної установки»: 152 сторінок, 50 рисунків, 7 таблиць, 25 використаних джерел.

ЕЛЕКТРОПРИВІД, ПІДЙОМНА УСТАНОВКА, СИСТЕМА ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ, АВТОМАТИКА, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ДІАГРАМИ СТАНУ, ТАХОГРАМА, ГРАФ, ЕНЕГРОЕФЕКТИВНІСТЬ, РЕЗЕРВУВАННЯ, МОДЕРНІЗАЦІЯ, ЕКСПЛУАТАЦІЯ, ПЕРЕМІЩЕННЯ.

Об'єкт дослідження: процес переміщення підйомних мас в системах логічного керування електроприводом підйомної установки.

Предмет дослідження: структури та алгоритми функціонування автономних модулів для підвищення продуктивності підйомної установки та надійності її системи логічного керування.

Мета дипломної роботи: вдосконалення системи логічного керування підйомної установки за рахунок створення нових структур і алгоритмів функціонування, що дозволить підвищити надійність системи і збільшити продуктивність підйомної установки.

Методи дослідження:

- теорія автоматів, теорія автоматичного керування і релейно-контактних схем;
- методи об'єктно-орієнтованого програмування та чисельні методи розв'язку диференціальних і алгебраїчних систем рівнянь;
- комп'ютерне моделювання процесів в системі керування електроприводом підйомної машини.

Матеріали дипломної роботи можуть бути використані при розробці систем логічного керування і пристроїв захисту для різних електроприводів промислового комплексу.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 СИСТЕМИ ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ ПІДЙОМНИМИ УСТАНОВКАМИ.....	12
1.1. Особливості побудови систем логічного керування для електроприводів підйомних установок.....	12
1.2. Апарати керування і захисту підйомних установок.....	17
1.3. Способи представлення алгоритмів і математичного опису систем логічного керування.....	20
1.4. Шляхи підвищення продуктивності підйомної установки оптимізацією тахограми руху.....	24
1.5. Математичне моделювання як метод дослідження системи логічного керування в складі електромеханічної системи ПУ.....	28
1.6. Висновки до розділу 1.....	29
РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПІДЙОМНОЇ УСТАНОВКИ.....	31
2.1. Математична модель електромеханічної системи підйомної установки.....	31
2.2. Математична модель системи автоматичного регулювання швидкості.....	36
2.3. Математична модель захисту від перевищення швидкості.....	39
2.4. Представлення системи технологічної автоматики і захистів методами теорії графів.....	46
2.5. Графічний опис діаграм поведінки автоматних об'єктів.....	56
2.6. Висновки до розділу 2.....	62
РОЗДІЛ 3. СТРУКТУРА І АЛГОРИТМИ СИСТЕМИ ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ.....	63
3.1. Структура системи логічного керування.....	63
3.2. Модуль обчислення положення і швидкості мас.....	64
3.3. Алгоритми формування оптимальної за продуктивністю діаграми руху....	73

3.3.1. Алгоритм автоматичного формування точки початку уповільнення.....	74
3.3.2. Алгоритм керування динамічним струмом в режимі уповільнення підйомної машини.....	80
3.4. Модуль формування тахограми руху.....	86
3.5. Модуль керування станом.....	92
3.6. Модулі контролю стовбурових датчиків і перевірки їх справності.....	95
3.6.1. Відслідковування точної зупинки.....	96
3.6.2. Модуль контролю положення маси в кривих.....	98
3.6.3. Модуль захисту від пере підйому і контролю стану стовбурових датчиків.....	102
3.7. Модуль керування робочим гальмом.....	105
3.8. Модуль захисту від перевищення швидкості.....	108
3.9. Структура програмного забезпечення.....	112
3.10. Розрахунок техніко-економічних показників системи.....	114
3.10.1. Збільшення продуктивності через зменшення часу підйому.....	114
3.11. Висновки до розділу 3.....	116
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	118
4.1. Аналіз шкідливих і небезпечних факторів при експлуатації систем електроприводу підйомної установки.....	118
4.2. Вимоги безпеки перед початком роботи з електричним обладнанням.....	120
4.2.1 Вимоги до електробезпеки.....	122
4.3. Вимоги до пожежної безпеки.....	126
4.4. Інструкція до плану евакуації.....	130
4.5. Інструкція з охорони праці.....	131
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	134
5.1. Загальні відомості про електромагнітні поля.....	134
5.2. Класифікація електромагнітних полів.....	135
5.3. Вплив електромагнітних полів на біологічні об'єкти.....	136

5.4. Нормування припустимих значень інтенсивності ЕМП.....	137
5.5. Допустимі рівні напруженості електричних полів.....	138
5.6. Допустимі рівні напруженості магнітних полів.....	140
5.7. Заходи щодо захисту від ЕМП.....	141
5.8. Засоби індивідуального захисту від дії ЕМП.....	143
5.9. Розрахунок впливу електромагнітного поля на організм людини.....	144
ВИСНОВКИ.....	149
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	150

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АРМ – автоматизоване робоче місце;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

ЛСА – логічна система алгоритму;

МСА – матрична система алгоритму;

НВО – небезпечний виробничий об'єкт;

САД – система автоматики дозаторної;

СТА і 3 – система технологічної автоматики і захисту підйомної установки;

СЛК – система логічного керування;

ПСД – пристрій збору і первинної обробки даних з первинних перетворювачів;

ПСО – пристрій спряження з об'єктом;

ПТЗ – пристрій технологічних захистів;

ПРУ - перетворювально-розподільний пристрій;

ПМ – підйомна машина;

ПУ – підйомна установка.

ВСТУП

Актуальність роботи. В даний час експлуатуються значна кількість вертикальних підйомних установок (ПУ), використовуваних для видачі корисної копалини і транспортування людей і вантажів. Підйомна установка зазвичай визначає продуктивність об'єкта, при цьому технічний рівень підйомних машин і засобів їх автоматизації як правило не відповідає рівню розвитку сучасної техніки.

Огляд літератури по темі дослідження показує [9], що функціонуючі в даний час системи логічного керування (СЛК) в основному реалізують алгоритми роботи існуючих електромеханічних апаратів, а рішення задач підвищення продуктивності і безпеки підйому тільки шляхом розробки модулів і структур систем регулювання не дозволяє з максимальною ефективністю використовувати можливості підйому. В той же час проблемам створення систем технологічної автоматики і захисту, зокрема, дослідженню питання відповідності розробленого алгоритму функціонування системи логічного керування його програмній реалізації, уваги приділяється мало.

Розробка сучасних СЛК ускладнюється ще й тим, що теоретичні принципи побудови і алгоритми функціонування систем логічного керування, виконаних на сучасній апаратній базі, практично відсутні у відкритому друці, так як є комерційною таємницею підприємств виробників.

В умовах підвищення вимог до продуктивності і надійності підйомів, проблема створення сучасної системи технологічної автоматики і захисту, як невід'ємної частини автоматизованого електроприводу підйомної установки є актуальною.

Метою роботи є вдосконалення системи логічного керування підйомної установки за рахунок створення нових структур і алгоритмів функціонування, що дозволить підвищити надійність системи і збільшити продуктивність підйомної установки. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1) Скласти математичну модель електромеханічної системи підйомної установки для дослідження впливу параметрів електромеханічної системи і системи регулювання на формування тахограми руху.

2) Дослідити способи оптимізації роботи підйомної установки (ПУ) в перехідних режимах, для подальшого збільшення продуктивності.

3) Розробити структуру і алгоритми системи логічного керування підйомної установкою для забезпечення формування оптимальною по продуктивністю тахограми руху у всіх режимах роботи підйомної установки з урахуванням вимог, що пред'являються до систем захисту ПУ правилами безпеки.

4) Розробити комплекс програм, що дозволяє не тільки здійснювати контроль стану технологічного процесу, а й дослідити властивості СЛК по введеним в діалоговому режимі параметрам об'єкта керування.

Методи дослідження базуються на теорії автоматів, теорії автоматичного керування і релейно-контактних систем, методах об'єктно-орієнтованого програмування, аналітичних і чисельних методах розв'язку диференціальних і алгебраїчних систем рівнянь, комп'ютерному моделюванні процесів в системі керування електроприводом підйомної машини.

Наукова новизна роботи полягає в наступному:

1. Обґрунтовано структуру системи логічного керування в складі електротехнічного комплексу підйомної установки, яка містить блок автоматичного формування точки початку уповільнення і блок керування динамічним струмом в режимі уповільнення, що дозволяє скоротити час циклу підйому і збільшити продуктивність підйомної установки.

2. Розроблено алгоритм формування тахограми руху підйомної маси з автоматичним розрахунком точки початку уповільнення в функції швидкості і моменту на валу двигуна, що дозволяє скоротити час руху на ділянці підходу до розвантажувального пристрою.

3. Розроблено алгоритм керування динамічним струмом в режимі уповільнення підйомної машини в функції швидкості, моменту двигуна і положення підйомної маси, що дозволяє забезпечити інваріантність динамічного моменту по відношенню до параметрів електромеханічної системи.

4. Розроблено комп'ютерну модель та запропоновано методику синтезу системи логічного керування із застосуванням граф-схем.

Практична значимість і реалізація результатів дипломної роботи полягає у її використанні:

- при проектуванні цифрових систем логічного керування в складі електроприводів підйомних установок і при оцінці якості розроблених систем;
- при створенні випробувальних комплексів, призначених для дослідження промислових зразків систем логічного керування;
- в навчальному процесі при формуванні лекційного матеріалу і проведенні практичних і лабораторних робіт.

Запропонована в роботі система може бути адаптована до використання при розробці систем логічного керування і пристроїв захисту для різних електроприводів промислового комплексу.

РОЗДІЛ 1

СИСТЕМИ ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ ПІДЙОМНИМИ УСТАНОВКАМИ

1.1. Особливості побудови систем логічного керування для електроприводів підйомних установок

Підйомна установка визначеного типу є небезпечним виробничим об'єктом [9]. Технологічний процес її роботи характеризується складними умовами проходження підйомної маси по шляху із-за таких факторів, як: великі кінцеві навантаження, великі швидкості руху в режимі рівномірного ходу, необхідність плавного зниження швидкості і точного підходу до розвантажувальних кривих і точна зупинка під навантаженням. Структура уніфікованої системи керування підйомними установками, потоки інформації та керування в ній представлені на рис. 1.1 наступними функціональними елементами: робочий механізм, електропривід у складі перетворювача електричної енергії та двигуна [14].

У цій роботі під системою логічного керування (СЛК) розуміємо комплекс технічних засобів, що включає в себе засоби збору, обробки, передачі та зберігання інформації, алгоритми обробки отриманої інформації і алгоритми формування та видачі дискретних керуючих впливів, на основі яких об'єкт керування змінює свій стан, тобто функції, виконувані системами автоматики, захистів і сигналізації.

Згідно з концепцією побудови сучасних автоматичних систем технологічного комплексу система логічного керування є одним з модулів системи керування підйомною установкою, який виконує функції логічного керування. Таким чином, для АЕП ПУ визначаються такі функції [9]:

1. Керування технологічним процесом.

Функціонування технологічного комплексу – це виконання сукупності технологічних операцій, спрямованих на отримання необхідних від комплексу результатів, що здійснюються його установками, механізмами,

машинами та іншими технічними засобами. Установки комплексу можна розглядати як окремі об'єкти керування, частина з яких є дискретними.

Керуючі впливи таких об'єктів можуть бути представлені послідовністю двійкових сигналів або кодів, під дією і у відповідності до яких вихідна координата змінює свій рівень. Вхідні сигнали з пульта керування і датчиків мають аналогічне представлення. Дискретність вхідних і вихідних сигналів і логічний характер умов переходу до паралельного або послідовного виконання технологічних операцій або стадій зумовлюють логічний процес керування.

2. Захист електричного і механічного обладнання.

Стан дискретних датчиків пристроїв захистів і блокувань, сигналізації визначається станом електричного і механічного обладнання та заздалегідь заданими незмінними значеннями цих станів. Заборона виконання технологічного циклу, відключення електричного і зупинка механічного обладнання в порядку, по можливості виключаючи аварійну ситуацію, ініціюється дискретними, переважно двійковими сигналами.

3. Захист і контроль технологічного процесу.

Виявлення позаштатних і аварійних ситуацій технологічного процесу здійснюється порівнянням його дійсного стану з межами допустимих станів. Переклад процесу з гранично допустимого стану в робочий стан керуючими впливами небезпечний можливістю досягнення критичних станів, що супроводжуються аварією або неминуче до неї призводять. Переведення технологічного процесу з граничного стану у безаварійний в цьому випадку проводиться спеціальними пристроями, керування якими вимагає логічного перетворення інформації.

Особливості побудови СЛУ визначаються специфікою контрольованого технологічного об'єкта, такого як підйомна установка:

- точки збору інформації та додатки керуючих впливів можуть бути

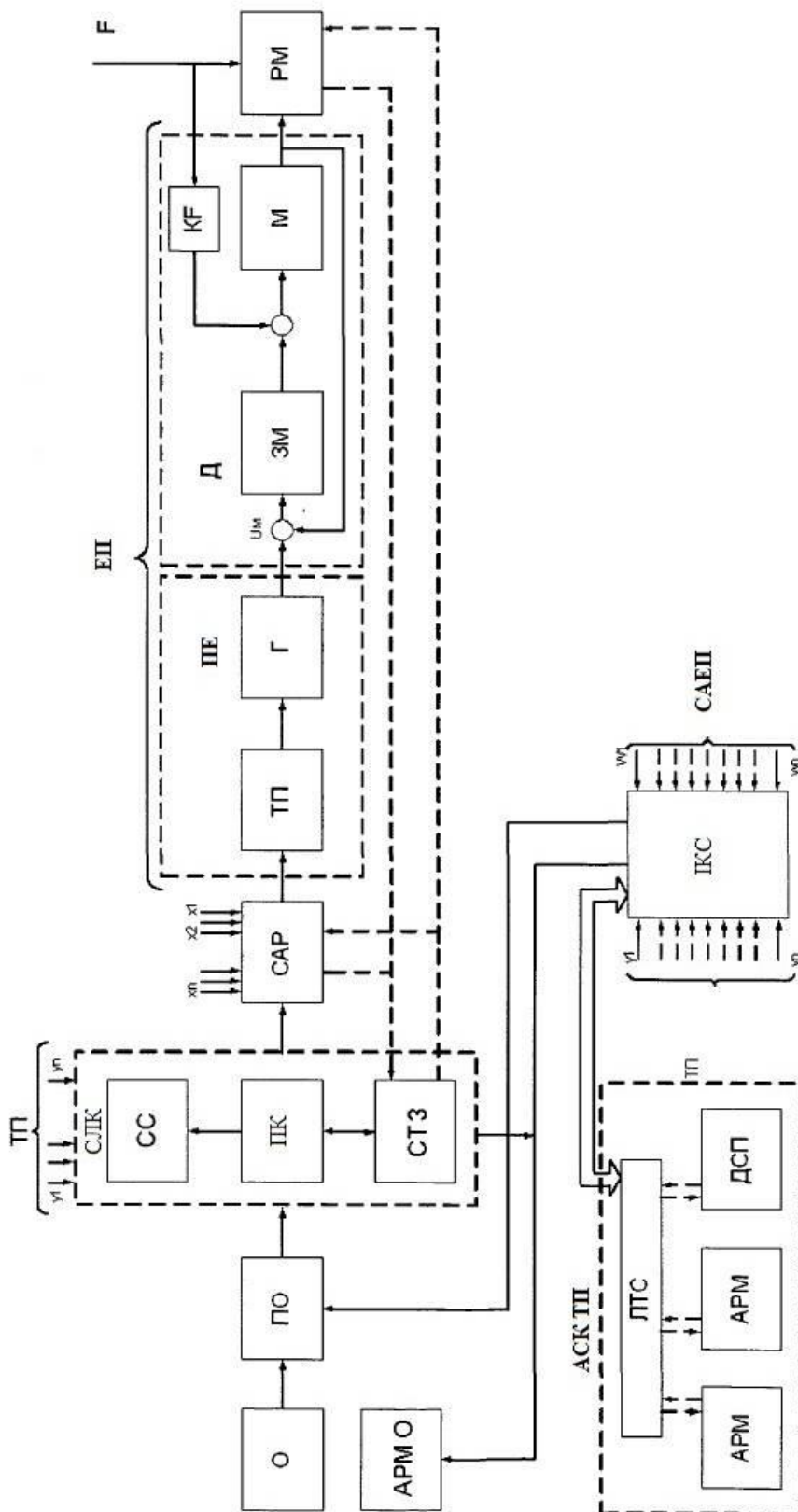


Рис. 1.1. Функціональна структура автоматизованого електроприводу розташовані на значних відстанях один від одного і від обчислювальних пристроїв;

- необхідність комплексного вимірювання кількох параметрів в одній точці, в той же час необхідно контролювати стан протяжних об'єктів;

- більшість об'єктів і параметрів контролю характеризуються тим, що значна частина сигналів вимагає високої частоти оновлення, і відповідно, створює значний потік даних, в той же час є невелика кількість джерел інформації зі значною інерційністю і низькочастотною зміною сигналу (температура, тиск і т. д.);

- через високу концентрацію електрообладнання в цехах заводів і машинних залах підйомних установок існують значні труднощі у використанні засобів, які функціонують на основі передачі радіосигналів, що зумовлює необхідність прокладки ліній передачі даних по існуючих кабельних трасах, які збігаються з силовою кабельною мережею.

Слід зазначити, що з причин, наведених вище, одержувані дані мають ряд особливостей, які необхідно враховувати при розробці системи, так як вони роблять значний вплив на достовірність інформації, і на формування керуючих впливів.

Перше, це наявність короткочасних розривів або сплесків в неперервних сигналах одержуваних системою. Серед основних причин виникнення подібних відхилень від норми можна виділити наступні:

- обриви ліній живлення і сигнальних ліній між датчиками і контролером, в основному під впливом людського фактора;

- шуми, викликані наведеннями напруг промислової частоти, на сигнали постійного струму;

- причиною різких сплесків можуть бути різноманітні перешкоди і наведення, як по лінії живлення, так і по сигнальним лініям.

Друге, дискретні сигнали, одержувані системою також схильні до різних спотворень. Серед основних причин можна виділити:

- перешкоди і наведення на протяжних сигнальних лініях через їх близькість до силових ланцюгів;

- обриви сигнальних ліній;

- брязкіт контактів, з яких знімається дискретний сигнал, поганий стан сигнальної лінії (скручування, погано протягнуті клемники).

Наявність навіть кількох зашумлених сигналів може привести цифрову систему в стан практичної непрацездатності через хибні спрацьовування захистів, і крім того створює на неї значні навантаження. По перше, через те, що доводиться використовувати більш складні алгоритми фільтрації сигналів доводиться збільшувати обчислювальну потужність системи, що призводить до зростання вартості системи. По-друге, при використанні пристроїв віддаленого збору даних, завантажується канал передачі даних від мережі датчиків до головного контролера системи. При цьому може виникнути ситуація, коли потік даних стане більше пропускну здатності ліній зв'язку, що може привести до втрати інформації і аварійного останову системи.

Таким чином, при розробці СЛК необхідно розробити алгоритми попередньої обробки аналогових і дискретних сигналів.

Одним з найважливіших умов при побудові систем керування небезпечними виробничими об'єктами (НВО) є самоконтроль технічного стану, що є необхідністю для забезпечення працездатності СЛК і достовірності даних, які використовуються в подальшому аналізі різних параметрів технологічного процесу і прийнятті рішень про видачу відповідних керуючих впливів.

Контроль технічного стану елементів системи можна розділити на апаратний і програмний. Апаратний контроль передбачає здійснення функцій самодіагностики елементів і включає контроль:

- первинних перетворювачів;
- пристроїв сполучення з об'єктом (ПСО);
- ліній зв'язку;
- пристроїв електроживлення.

Правильна робота функцій апаратного контролю є гарантією працездатності елементів системи.

Справність елементів є необхідною, але не достатньою умовою для здійснення функцій контролю і керування об'єктом. Це пов'язане з тим, що часто обслуговуючий персонал не в змозі визначити неправильну роботу зовні справно функціонуючого пристрою, і людський фактор часто є основною причиною прихованої несправності. Як приклад, можна привести неправильне підключення ліній зв'язку або неправильне налаштування первинних перетворювачів. Крім того, сигнали СЛК, що передаються від первинних перетворювачів до керуючого контролера, можуть піддаватися спотворенню, причиною якого є, як правило, стан ліній передачі даних.

Можна виділити наступні аварійні технічні стани елементів:

- обрив лінії зв'язку між ПСО і головним контролером;
- обрив сигнальної лінії від датчика до ПСО;
- обрив лінії живлення від джерела живлення до датчика або контролера;
- коротке замикання в ланцюзі джерела живлення;
- несправність датчика або ПСО;
- дрейф нуля датчика.

Для обліку цих чинників повинен здійснюватися програмний контроль.

1.2. Апарати керування і захисту підйомних установок

Для виконання заданої діаграми швидкості система керування електроприводом підйомної машини повинна неперервно отримувати інформацію про фактичну швидкість і положення підйомної маси. Для систем керування у функції шляху інформація повинна бути неперервною, для параметричних систем досить отримувати дані з окремих точок шляху. Практично всі використовувані в даний час пристрої ґрунтуються на непрямій інформації про стан підйомних мас, що отримується від обертання валу підйомної машини, так як інші способи ідентифікації положення маси в каналі, такі як магнітні мітки на канаті, вимір положення маси радарними методами і т. д. не знайшли з різних причин широкого застосування.

Використовувані в даний час в складі СТА і 3 шляхові апарати виконують такі функції:

1. Здійснюють індикацію положення маси в каналі.
2. Видають керуючі сигнали в окремих точках шляху руху підйомної маси для здійснення необхідних переключень в схемі керування машиною;
3. Здійснюють захист від перепідйому;
4. Проводять коригування елементів апарату відповідно до положення підйомних мас у каналі при прослизанні або переповзанні канатів щодо ведучого шківів багатоканатних підйомних машин, при перестановці барабанів двобарабанних підйомних машин, а також виробляють компенсацію помилки при витяжці каната або зносу футерування;
5. Здійснюють контроль цілісності кінематичних ланцюгів, що передають обертання від підйомної машини і своїх власних.
6. Здійснюють контроль фактичної швидкості в періоди розгону, рівномірного ходу і уповільнення.

Використовувані в даний час на підйомних установках системи автоматики і захисту і апарати задання ходу підйомних установок можна умовно розділити на чотири покоління.

1. Для систем першого покоління характерне використання щодо стандартизованих релейно-контактних схем і механічних апаратів. До першого покоління відносяться механічні регулятори підйому, апарати керування АКЛ-1, електромеханічний апарат АЗК-1.

2. Системи другого покоління будуються на пристроях жорсткої логіки, мікросхемах, які реалізують найпростіші логічні елементи «І», «АБО», «НЕ», на основі найпростіших мікроконтролерів або програмованих користувачем вентиляльних матриць (ПКВМ або FPGA). До таких систем можна віднести мікропроцесорні вимірювачі-регулятори (90-х ХХ ст.), які дозволяли формувати до восьми дискретних вихідних сигналів в залежності від сигналу з датчика положення.

3. Для систем третього покоління характерне використання єдиного програмованого логічного контролера, безпосередньо до якого підключаються всі джерела інформації про стан об'єкта і всі органи керування об'єктом [9]. Вони призначені для модернізації систем технологічної автоматики і захистів і задання ходу підйомних машин введених в експлуатацію 20-25 років тому. Дані пристрої це трирівневі системи, в яких перший рівень представлений засобами відбору інформації, другий рівень – технічними засобами обробки інформації, які працюють в режимі реального часу, а третій рівень – мережею АРМ оперативного та керівного персоналу, їх можна віднести до третього покоління систем.

4. Системи четвертого покоління будуються на основі окремих систем віддаленого збору даних, що представляють собою, програмовані контролери малої потужності, які мають зв'язок з центральним контролером і не мають зв'язку між собою. При цьому центральний контролер є «ведучим», контролери – «веденими», а метод зв'язку відповідає моделі «ведучий/ведений». Сюди можна віднести комплексні системи керування і захистів підйомними установками. Такі системи за своєю структурою є чотирирівневими системами, в якій перший рівень представлений засобами відбору інформації, другий рівень – технічними засобами обробки інформації, які працюють в режимі реального часу, третій рівень – керуючими контролерами, які проводять обробку даних і видачу керуючих сигналів, а четвертий рівень – автоматизовані робочі місця (АРМ) оперативного і керівного персоналу.

Незважаючи на поступальний розвиток систем логічного керування підйомними установками основна увага приділена створенню зручних АРМ, в підвищення кількості доступної для оператора і фахівців підприємства інформації. При цьому дані пристрої все також реалізують алгоритми електромеханічних апаратів.

1.3. Способи представлення алгоритмів і математичного опису

систем логічного керування

В даний час в практиці проектування і моделювання застосовується безліч моделей і мов, що описують поведінку дискретних систем: булеві функції, таблиці істинності і таблиці рішень, булеві формули і їх системи, часові діаграми і циклограми, логічні схеми алгоритмів, матричні схеми алгоритмів, кінцеві автомати, паралельні граф-схеми і логічні схеми алгоритмів, операторні схеми паралельних алгоритмів з пам'яттю, біологічні та структурні графи, системи взаємопов'язаних графів, мережі Петрі і їх модифікації, розпливчасті і детерміновані гіперграфах, семантичні і навантажені мережі, спеціалізовані діалекти мов, призначені для опису автоматних структур такі як: SWITCH-технологія, мова «Рефлекс», мови SDL і UML. Однак, для опису СЛК ПМ найбільш доцільно використовувати автоматний підхід.

Залежно від наявності пам'яті, необхідної для реалізації заданого алгоритму, автомати можуть бути розділені на комбінаційні (автомати без пам'яті) і послідовні (автомати з пам'яттю) [14].

Комбінаційний автомат (КА) – автомат, значення виходів (y) якого залежать тільки від значень входів (x) в поточний момент і не залежать від вхідних впливів в попередні моменти. КА можна уявити математичною моделлю виду:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Спроба представити окремі елементи системи автоматизації і захистів підйомної установки у вигляді сукупності булевих формул (1.1), функцій часу (1.2) і пам'яті (1.3) були проведені в роботах [20]:

$$\left. \begin{aligned} Y_1 &= \wedge \vee f(x_1 \dots x_m, \tau_1 \dots \tau_k) \\ &\dots \\ Y_n &= \wedge \vee f(x_1 \dots x_m, \tau_1 \dots \tau_k) \end{aligned} \right\}, \quad (1.1)$$

Функція часу:

$$\tau_z^s = \begin{cases} 0, & \text{при } t \geq \theta_z^t \\ 1, & \text{при } t < \theta_z^t \end{cases} \quad t = \begin{cases} t + T_0, & \text{при } \bigwedge Z_{sh}^t = 1 \\ 0, & \text{при } \bigvee Z_{sh}^t = 0 \end{cases} \quad (1.2)$$

де $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ – множина дискретних вихідних сигналів;
 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$, – множина вхідних дискретних сигналів; $\tau_1 \dots \tau_k$ – часові затримки, присутні в системі.

Функція пам'яті:

$$P_i = (x_{i1} + P_{i0})\bar{x}_{i0} = (Z_i + P_{i0})\bar{Z}_i \quad (1.3)$$

Однак, опис складних систем булевими формулами для подальшої програмної реалізації нераціонально, так як система технологічної автоматики практично являє собою автомат з пам'яттю, представлення якого системою булевих формул не дозволить надалі ізоморфно перейти до програмної реалізації системи.

Відомо, що будь-яка логічна система з входами $x_1 \dots x_m$, виходами $y_1 \dots y_n$, і k елементами затримки може бути представлена кінцевим автоматом, вхідний алфавіт якого складається з 2^m двійкових наборів довжини m , а вихідний алфавіт із 2^n наборів довжини n , множина станів з 2^k наборів довжини k [14]. Таким чином, для раціонального опису подібних систем можна застосувати методи теорії автоматів і їх окремі додатки [14], із яких найбільшого поширення набули автомати Мілі і Мура, проте в системі логічного керування частина вихідних сигналів системи керування залежить тільки від стану (відповідає сигналам вироблюваним автоматом Мура), частина сигналів формується в момент зміни стану і залежить від вхідного сигналу (сигнали автомата Мілі), що викликав перехід. Таким чином, ПУ має властивості автоматів обох типів, і для її опису є доцільним застосування суміщеної моделі автомата (С-автомата), що дозволить використовувати переваги кожної з цих моделей.

С-автомат, визначається множиною, з восьми елементів:

$$Q = \{A, X, Y, Z, \sigma, \lambda_1, \lambda_2, a_1\} \quad (1.4)$$

де $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ – множина станів автомату,

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ – множина вхідних сигналів (вхідний алфавіт),

$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ – множина вихідних сигналів, залежних від стану,

$Z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ – множина вихідних сигналів, залежних від вхідних сигналів,

σ – функція переходів автомату,

λ_1 – функція виходів автомату, що задає відображення $(A \times X) \rightarrow Z$,

λ_2 – функція виходів автомата, що задає відображення $A \rightarrow Y$,

a_1 – початковий стан автомату.

Закон функціонування С-автомата задається наступною системою рівнянь:

$$\begin{cases} a(t+1) = \delta(a(t), x(t)) \\ z(t) = \lambda_1(a(t), x(t)), t = 0, 1, 2, \dots \\ y(t) = \lambda_2(a(t)), t = 0, 1, 2, \dots \end{cases} \quad (1.5)$$

Відповідна системі рівнянь (1.5) структурна схема наведена на рис. 1.2.

Таким чином, математичну модель системи логічного керування ПУ можна представити у вигляді сукупності кінцевих автоматів з визначеним набором станів, входів і виходів, що працює в дискретному часі $t = 0, 1, 2, \dots$

У момент часу t система знаходиться в стані a_t із кінцевої множини певних станів, в момент $t = 0$ – знаходиться у визначеному початковому стані. Перебуваючи в стані a_t , і формуючи на своїх виходах значення y_t

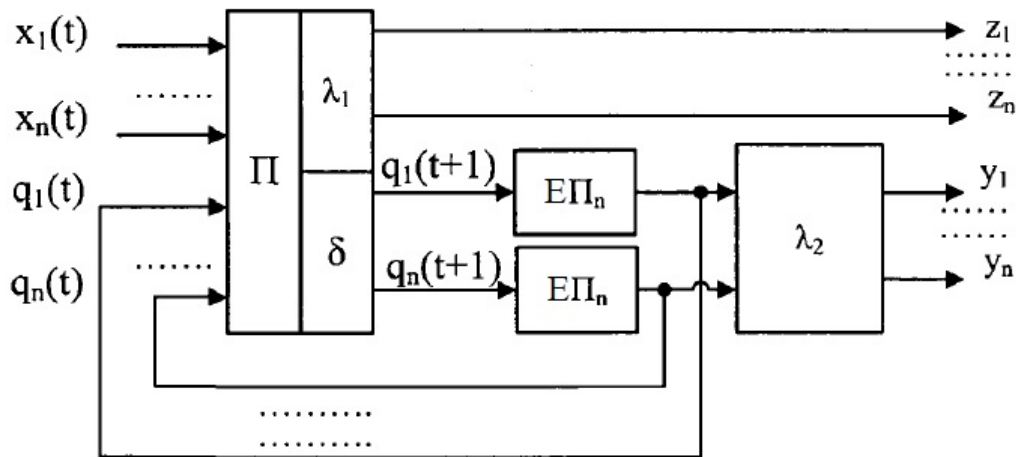


Рис. 1.2. Структурна схема С-автомата

автомат приймає дозволений для даного стану сигнал $x(t)$, при цьому автомат переходить в наступний, дозволений для нього стан:

$$a(t + 1) = \delta(a(t), x(t)), \quad (1.6)$$

з формуванням в момент переходу сигналу:

$$z(t) = \lambda_1(a(t), x(t)), \quad (1.7)$$

перейшовши в стан $a(t + 1)$, автомат буде формувати вихід:

$$y(t + 1) = \lambda_2(a(t + 1)) = \lambda_2(\delta(a(t), x(t))) \quad (1.8)$$

При цьому логіка роботи системи може бути представлена у вигляді сукупності кінцевих автоматів, кожен з яких складається з найпростіших елементів (логічних операцій і елементів пам'яті). Кожній незалежній функції, ставиться у відповідність окремий автомат, який оперує своїми вхідними та вихідними даними і діючий незалежно.

Тоді результуючий стан СЛК для функції (1.4) набуде вигляду:

$$Q_0\{A, Y, Z\} = \wedge \vee f(Q_1\{A_1, Y_1, Z_1\}, Q_1\{A_2, Y_2, Z_2\}, \dots, Q_n\{A_n, Y_n, Z_n\}), \quad (1.9)$$

тобто, результат роботи всієї системи логічного керування є функція вихідних результатів, складаючись з її автоматів.

Для роботи зі значеннями неперервних сигналів, такими як струм, швидкість, напруга ($i_1(t) \dots i_l(t)$), їх значення повинні бути приведені через

порогові змінні до визначених логічних внутрішніх змінних ($v_1 \dots v_l$), на які вони впливають.

$$v_1 = \begin{cases} 1, \text{при } i_1(t) \geq i_1' \\ 0, \text{при } i_1(t) < i_1' \end{cases} \quad (1.10)$$

$$v_l = \begin{cases} 1, \text{при } i_l(t) < i_l' \\ 0, \text{при } i_l(t) \geq i_l' \end{cases} \quad (1.11)$$

де $i_1 \dots i_l$ – множина неперервних вхідних сигналів, контроль за якими повинна здійснювати система; $i_1' \dots i_l'$ – множина граничних значень параметрів, що визначають досягнення неперервним сигналом певного значення.

1.4. Шляхи підвищення продуктивності підйомної установки оптимізацією тахограми руху

Річна продуктивність скіпової підйомної установки із завантажувального пристрою скіпів складе:

$$A_{\text{рiч}} = \frac{n_{\text{зм}} t_{\text{зм}} n_{\text{рd}} Q_c n_n}{k_n}, \quad (1.12)$$

де $n_{\text{зм}}$ – число змін на добу;

$t_{\text{зм}}$ – години роботи за зміну;

$n_{\text{рd}}$ – кількість робочих днів у році;

Q_c – маса корисного вантажу, що піднімається за раз;

k_n – коефіцієнт нерівномірності роботи підйому;

n_n – число підйомів на годину, що визначається за формулою:

$$n_n = \frac{3600}{T_{\text{ц}}} \quad (1.13)$$

де 3600 – секунд в годині;

$T_{\text{ц}}$ – час одного циклу підйому, с.

При цьому час циклу підйому визначається як:

$$T_u = t_n + \sum_{i=1}^n t_i \quad (1.14)$$

де t_i – час i -го етапу;

t_n – технологічна пауза (час завантаження між підйомами).

Тобто, час циклу підйомної установки практично залежить від середньої швидкості на всіх ділянках шляху:

$$T_u = t_n + \frac{H_n}{v_{uu}} \quad (1.15)$$

де v_{uu} – швидкість підйомної маси;

H_n – глибина підйому.

З виразу (1.12) випливає, що підвищення продуктивності підйомної установки при незмінній кількості робочих змін і їх тривалості можливо провести за рахунок збільшення маси вантажу, що піднімається або зниження часу циклу T_u , яке складається з часу підйому маси t_c і часу пауз t_n між циклами підйому. Час t_n необхідно для стабілізації підйомної маси на вантажному майданчику, відкриття і закриття затворів дозаторів, завантаження і розвантаження скіпів.

Збільшення маси вантажу для підвищення продуктивності підйомної машини неприпустимо через обмеження пов'язаних з запасом міцності канату.

Збільшення тривалості змін і їх кількості часто вже не представляється можливим, так як необхідно враховувати час на огляд канатів, мас, стану кріплення і армування каналу і розташованих в ньому труб і кабелів, технічне обслуговування та проведення профілактичних заходів на підйомному комплексі. Середньодобові витрати часу на ці операції жорстко задані нормами проектування, визначаються як [18]:

$$T_{зч} = A + B \cdot H_k 10^{-3}, \quad (1.16)$$

де H_k – глибина каналу, м;

A, B – табличні коефіцієнти.

Середньодобові витрати часу ($T_{зч}$) для головних підйомів складають від чотирьох до шести годин на добу.

Час циклу $T_{ц}$ є функцією взаємозалежних змінних $v_{ш}$ і $n_{д}$

$$v_{ш} = \pi D_{\delta} \omega_{\delta} i_p = \frac{\pi D_{\delta} n_{д} i_p}{60} \quad (1.17)$$

де $v_{ш}$ – лінійна швидкість підйомної маси, м/с;

D_{δ} – діаметр барабана з урахуванням обичайки, м;

$n_{д}$ – швидкість двигуна, об/хв;

ω_{δ} – швидкість двигуна, рад/с;

i_p – коефіцієнт передачі редуктора.

При цьому необхідно враховувати, що як швидкість обертання двигуна, так і швидкість руху підйомної маси по напрямних мають свої обмеження. Тому такі способи збільшення продуктивності підйомної установки як збільшення маси корисного вантажу або значне збільшення швидкості підйомної машини, застосувати не представляється можливим через неприпустиме збільшення кінцевого навантаження на корінну частину машини, або через обмеження пов'язані з вимогами по запасу механічної міцності канату [18]. Збільшення швидкості неможливо як за механічними, так і за електричними причинами [11], такими як: незадовільний стан провідників, знос підшипників корінної частини машини і збільшені зазори, старіння обмоток машин. Тому дані способи збільшення продуктивності підйомної установки не представляється можливим застосувати без перегляду технологічного процесу. Можливістю підвищення продуктивності в даних умовах залишається автоматичне формування тахограми руху підйомних мас. Автоматичне формування при цьому має бути обмежено певними межами: з одного боку – вимогою плавного запуску машини з місця і безаварійного виходу мас від блоку навантаження, з іншого боку – захисною діаграмою швидкості, що забезпечує безпечний підхід мас до розвантажувального майданчика.

Для вирішення питання про те, на якій ділянці можливо за рахунок формування діаграми отримати економію часу циклу був проведений аналіз робочих діаграм швидкості підйомних установок [9] (рис. 1.3).

Час виходу з кривих можна зменшити тільки за рахунок збільшення швидкості виходу, що не представляється можливим, збільшення швидкості рівномірного ходу v_{\max} неможливо з причин, описаних раніше, а відмова від

ділянок $0 - A$ і $D - E$ призведе до збільшення навантажень на двигун і канати. Представляється можливим зменшити час циклу за рахунок автоматичного формування точки уповільнення D , і скорочення ділянки руху на повзучій швидкості $G - Z$.

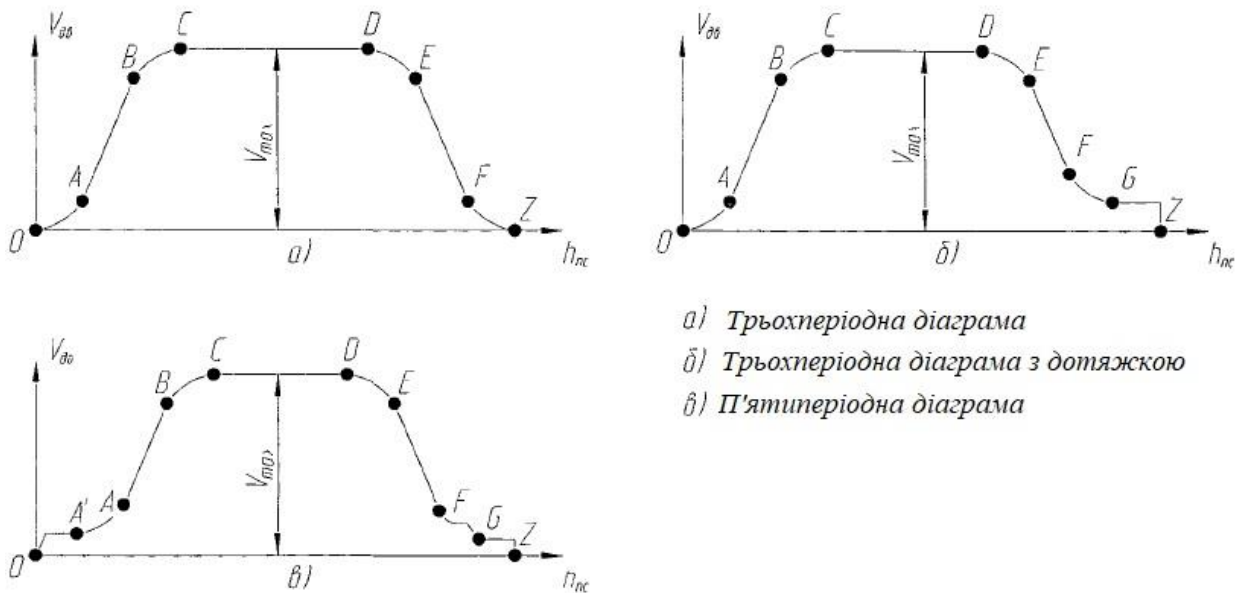


Рис. 1.3. Тахограми швидкості підйомних установок

Наведений аналіз основних резервів підвищення продуктивності, а також особливостей режимів роботи підйомних установок показує, що підвищення продуктивності ПУ може бути досягнуто шляхом розробки алгоритмів, які дозволять автоматично формувати точку початку уповільнення і підтримувати необхідну тахограму руху в період уповільнення, не порушуючи при цьому обмежень, що накладаються на технологічний процес.

1.5. Математичне моделювання як метод дослідження системи логічного керування в складі електромеханічної системи ПУ

У зв'язку з різним завантаженням підйомної маси і мінливими від циклу до циклу параметрами електричних машин гарантувати цілеспрямоване багаторазове відтворення тахограми руху практично неможливо. Крім того, випробування в аварійних режимах є вкрай небезпечними для вузлів підйомної машини. У цих умовах велике значення набувають методи математичного моделювання та дослідження системи на моделі із застосуванням обчислювальної техніки.

Метод математичного моделювання при дослідженні, налагодженні та введення в роботу підйомних установок знайшов своє відображення в роботах [18].

Досить докладно розглянута розробка САРС електроприводу і вимоги до неї. Однак всі рекомендації носять загальний характер і відносяться до налаштувань і вибору структури системи автоматичного регулювання електроприводом, і не зачіпають системи автоматики і захистів. Виняток складають заходи по підвищенню продуктивності та надійності роботи ПУ технологічного характеру, але й вони дані в зв'язку з системою автоматичного регулювання та також не зачіпають систему автоматики і захистів.

Якщо врахувати, що основною метою досліджень є створення більш раціональної системи керування, оптимальний режим роботи підйомної машини, то основну увагу слід звернути на адекватність процесів в моделі і реальної системи керування, а також на можливість уточнення її моделі в процесі досліджень. Моделі САР і механічної системи повинна відображати лише основні чинники, що впливають на точність роботи системи керування і позиціонування підйомних мас. При цьому повинен враховуватися досвід досліджень приводів підйомних машин [9], де показана доцільність багатьох припущень в залежності від поставленої мети дослідження. Застосування

більш складних моделей виправдане лише після того, як на спрощеній моделі отримані основні результати і потрібне їх уточнення.

Найбільш ефективною є перевірка результатів на діючому об'єкті, а також порівняння проміжних даних при моделюванні з експериментальними даними. Наприклад, використовуючи осцилограми роботи підйомної установки в різних режимах, можна уточнити необхідні параметри і доцільність прийнятих припущень.

Такий підхід є найбільш раціональним, так як в цьому випадку з'являється можливість більше приділяти уваги основній меті дослідження.

Таким чином, для дослідження системи логічного керування достатньо використовувати просту модель електроприводу підйомної машини, яка б відтворювала лише основні закономірності, притаманні процесу підйому, але при цьому дозволяє детально вивчити взаємозв'язки і поведінку координат системи логічного керування.

1.6. Висновки до розділу 1

Представлені в даний час на ринку системи і апарати задання, не дивлячись на використання сучасної мікропроцесорної бази, реалізують алгоритми електромеханічних апаратів. Таким чином, потрібно подальше вивчення і розвиток, як систем логічного керування підйомними установками, так і алгоритмів їх функціонування.

Проведений аналіз способів оптимізації роботи підйомної установки в перехідних режимах показав, що якісний стрибок у розвитку систем логічного керування електроприводом підйому і підвищення продуктивності ПУ може бути досягнутий шляхом розробки нових алгоритмів, які дозволять автоматично формувати тахограми руху, не порушуючи при цьому обмежень, що накладаються на технологічний процес.

Проведені дослідження дозволили визначити завдання і показали актуальність розробки нових алгоритмів і систем логічного керування для електроприводів підйомних установок.

На підставі викладеного сформулюємо основну задачу дослідження, яка полягає в створенні системи логічного керування і алгоритмів її функціонування, для чого необхідно:

1. Скласти математичну модель електромеханічної системи підйомної установки для дослідження впливу параметрів електромеханічної системи і системи регулювання на формування тахограми руху.

2. Дослідити способи оптимізації роботи підйомної установки (ПУ) в перехідних режимах, для подальшого збільшення продуктивності.

3. Розробити структуру і алгоритми системи логічного керування підйомною установкою для забезпечення формування оптимальної за продуктивністю тахограми руху у всіх режимах роботи підйомної установки з урахуванням вимог, що пред'являються до систем захисту ПУ правилами безпеки.

РОЗДІЛ 2

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПІДЙОМНОЇ УСТАНОВКИ

Як було визначено у попередньому розділі, електропривід підйомної установки включає в себе наступні складові частини:

- електромеханічну систему (ЕМС), що включає підйомну машину з гальмівною системою і підйомний двигун;
- систему автоматичного регулювання швидкості;
- систему логічного керування, що включає системи: автоматики, сигналізації і захистів.

2.1. Математична модель електромеханічної системи підйомної установки

Кінематична схема двокінцевої підйомної установки постійного струму з безредукторним приводом наведена на рис. 2.1

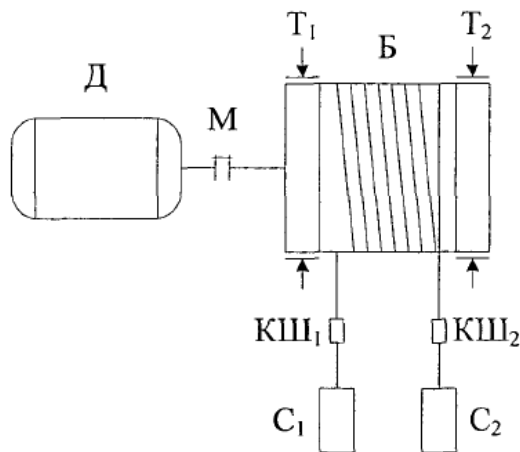


Рис. 2.1. Кінематична схема підйомної установки.

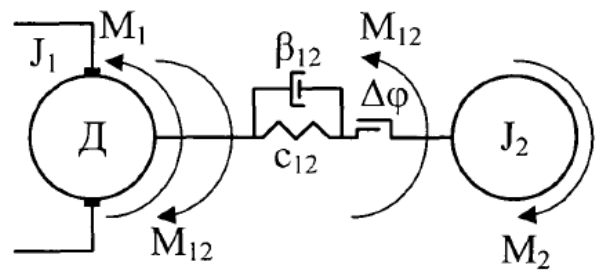


Рис.2.2. Розрахункова схема підйому

Двигун D через муфту M приводить в обертання барабан B з механічним гальмами T_1 і T_2 , барабан B через канати K_1 і K_2 пропущені через копрові шківів $KШ_1$ і $KШ_2$ надає руху підйомні маси C_1 і C_2 .

Виходячи з рис. 2.1, підйомну установку можна представити як двомасову систему, в якій перша маса – двигун, друга – обертові елементи (муфта, барабан, копрові шківів) і підйомні маси.

На обід барабану діє змінна сила, що змінюється для неврівноваженої установки, з висотою підйому, при цьому пружні властивості канату не враховуються (рис. 2.2).

Рівняння рівноваг моментів для двомасової системи на рис. 2.2 можна записати у вигляді:

$$\begin{cases} J_1 \frac{d\omega_1}{dt} = M_1 - M_{12} - M_\delta \\ J_2 \frac{d\omega_2}{dt} = M_{12} + M_\delta - M_2 \end{cases}, \quad (2.1)$$

де J_1 – момент інерції підйомного двигуна;

J_2 – момент інерції барабану з приведеними до нього масами і копровими шківів;

M_1, M_2 – моменти на валу підйомного двигуна і на барабані (M_2 – приймається як сума статичного моменту гальма і статичного моменту утвореного вантажем і некомпенсованою частиною канату $M_2 = M_{CT} + M_T$);

M_{12} – пружний момент;

M_δ – демпфуючий момент при дисипації в силовій передачі;

ω_1, ω_2 – швидкості двигуна і барабана відповідно.

Пружний момент можна знайти як:

$$M_{12} = c_{12} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) + \beta_{12} \cdot (\omega_1 - \omega_2), \quad (2.2)$$

де c_{12} – еквівалентна жорсткість елементів системи;

β_{12} – коефіцієнт в'язкого тертя елементів системи;

$\varphi_1 - \varphi_2 = \Delta\varphi$, – величина відносного переміщення мас;

$\omega_1 - \omega_2 = \Delta\omega$ – різниця швидкостей.

Для моніторингу зазору введемо у вираз розрахунку пружного моменту величину $\Delta\omega_3$

$$\begin{cases} M_{12} = c_{12}(\varphi_1 - \varphi_2 \pm \frac{\Delta\varphi}{2}) + \beta_{12}p(\varphi_1 - \varphi_2 \pm \frac{\Delta\varphi}{2}), \text{ при } |\varphi_1 - \varphi_2| > \frac{\Delta\varphi_3}{2} \\ M_{12} = 0, \text{ при } |\varphi_1 - \varphi_2| < \frac{\Delta\varphi_3}{2} \end{cases} \quad (2.3)$$

Електрична частина системи Г–Д може бути представлена наступними залежностями [18]:

$$\begin{cases} k_{mn} \cdot u_{pn} = R_g \cdot i_g + L_g \frac{di_g}{dt} \\ k_z \cdot i_g = R_{\text{я}} \cdot i_{\text{я}} + L_{\text{я}} \frac{di_{\text{я}}}{dt} + k\Phi \cdot \omega_1 \\ M_1 = k\Phi \cdot i_{\text{я}} \end{cases} \quad (2.4)$$

Тоді, з урахуванням опису електричної частини, двомасових систему з зазором можна наступною системою рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} k_{mn} \cdot u_{pn} &= R_g \cdot i_g + L_g \frac{di_g}{dt}; \\ k_z \cdot i_g &= R_{\text{я}} \cdot i_{\text{я}} + L_{\text{я}} \frac{di_{\text{я}}}{dt} + k\Phi \cdot \omega_1; \\ M_1 &= k\Phi \cdot i_{\text{я}}; \\ M_2 &= M_m + M_{cm}; \\ \frac{d\varphi_1}{dt} &= \omega_1; \\ \frac{d\varphi_2}{dt} &= \omega_2; \\ J_1 \frac{d\omega_1}{dt} &= M_1 - M_{12}; \\ J_2 \frac{d\omega_2}{dt} &= M_{12} - M_2; \\ M_{12} &= \begin{cases} c_{12}(\varphi_1 - \varphi_2 \pm \frac{\Delta\varphi_3}{2}) + \beta_{12}p(\varphi_1 - \varphi_2 \pm \frac{\Delta\varphi_3}{2}), \text{ при } |\varphi_1 - \varphi_2| > \frac{\Delta\varphi_3}{2}; \\ 0, \text{ при } |\varphi_1 - \varphi_2| < \frac{\Delta\varphi_3}{2}. \end{cases} \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

Гальмівну характеристику можна представити у вигляді аперіодичної ланки першого порядку [14], а наростання гальмівного сили описати виразом:

$$F_r = F_{r\max} (1 - e^{-\frac{t}{T_r}}) \quad (2.6)$$

або урахуванням часу холостого ходу гальма $t_{xx} ::$

$$F_r = F_{r\max} (1 - e^{-\frac{t-t_{xx}}{T_r}}), \quad (2.7)$$

де F_r – поточна статична сила створювана гальмом, Н;

$F_{r\max}$ – статична сила створювана гальмом, Н;

t_{xx} – час холостого ходу гальма (не більше 0,3)

T_r – постійна часу гальма з урахуванням часу холостого ходу, може бути визначена з виразу [14]:

$$T_r = -\frac{t_{cz} - t_{xx}}{\ln 0,667}, \quad (2.8)$$

де t_{xx} – час холостого ходу гальма (не більше 0,3 с);

t_{cz} – час спрацьовування гальма (не більше 0,8 с).

Тоді підставляючи в (2.8) отримаємо для гальмівної системи ЦР6х3,2/0,75:

- для робочого гальма $t_{cz} = 0,5$ с, $t_{xx} = 0,3$ с, то $T_{rГ} = 0,49$ с.
- для запобіжного гальма $t_{cz} = 0,8$ с, $t_{xx} = 0,3$ с, то $T_{rГ} = 1,23$ с.

Графіки наростання гальмівної сили при робочому і запобіжному гальмуванні представлені на рис. 2.3.

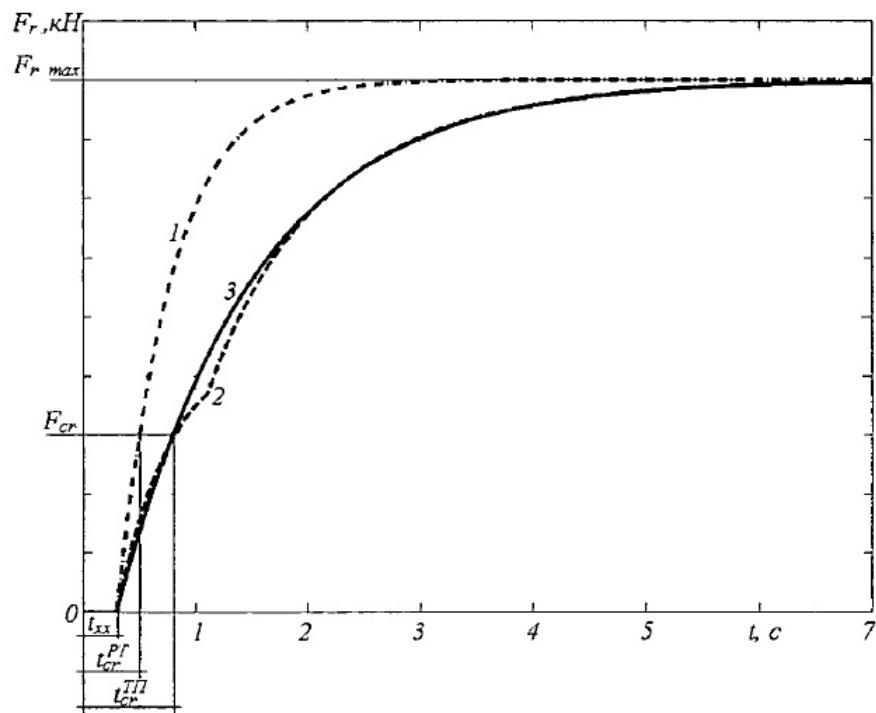


Рис. 2.3. Графіки наростання гальмівної сили при робочому і запобіжному гальмуванні

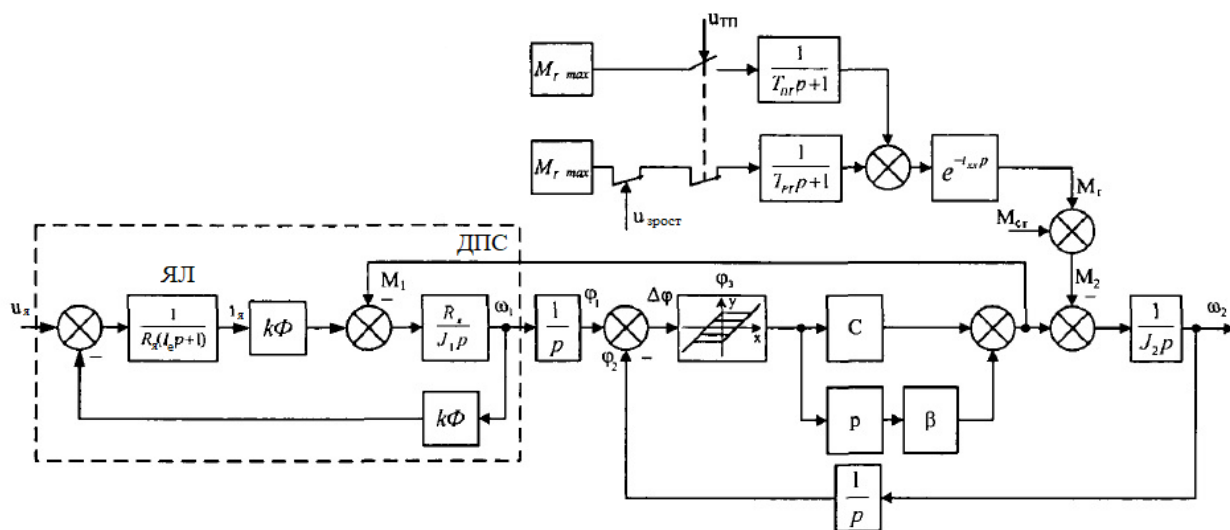


Рис. 2.4. Структурна схема двомасової системи підйомної установки
 Структурна схема ЕМС підйомної установки з урахуванням гальмівної системи, що включає запобіжне і робоче гальмо, складена на підставі виразів (2.5), (2.7), (2.8) представлена на рис. 2.4.

2.2. Математична модель системи автоматичного регулювання швидкості

Як показано в роботах [9] для того щоб отримати нульові статичні помилки за керуючим і збурюючим впливам в електроприводі ПМ доцільне використання двоконтурної САРС з ПІ-регулятором швидкості. При цьому враховуючи, що в електроприводі розглянутої підйомної машини відсутнє ослаблення поля, вважаючи, що перетворювач має лінійні характеристики, і нехтуючи відносно невеликим падінням напруги в якірному ланцюга, можна вважати, що система автоматичного регулювання ЕРС є системою автоматичного регулювання швидкості двигуна. Систему регулювання можна описати виразом 2.10.

Для обмеження струму якоря при розгоні використовується задаючий пристрій з функцією, що залежить від режиму його роботи:

$$W_{zi}(p) = \begin{cases} \frac{u_p}{T_{zi} p}, & \text{при } u_{zi} \neq u_z, \\ u_z, & \text{при } u_{zi} = u_z \end{cases}, \quad (2.9)$$

де T_{zi} – постійна інтегрування; u_p – обмеження релейного елемента.

Відношення $\frac{u_p}{T_{zi}}$ визначає швидкість наростання вихідного сигналу на виході задаючого пристрою.

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{du_{zi}^*}{dt} &= \frac{u_p}{T_{zi}}; \\
 \frac{du_{pe}}{dt} &= \frac{k_{pe}T_1}{T_u} \left(\frac{du_{zi}}{dt} - \frac{dE}{dt} \right) + \frac{1}{T_u} (k_{pe}u_{zi} - E); \\
 \frac{du_{pu}}{dt} &= \frac{k_{pu}T_2}{T_{pu}} \left(\frac{du_{pe}}{dt} - \frac{du_{я}}{dt} \right) + \frac{1}{T_{pu}} (k_{pu}u_{pe} - u_{я}); \\
 \frac{di_e}{dt} &= \frac{1}{T_{zn}} (k_{pu}u_{pu} - i_e); \\
 \frac{du_{я}}{dt} &= \frac{1}{T_2} (k_2 i_e - u_{я}); \\
 \frac{di_{я}}{dt} &= \frac{1}{T_e} \left(\frac{1}{R_{я}} (u_{я} - k\Phi \cdot \omega) - i_{я} \right); \\
 \frac{d\omega_1}{dt} &= \frac{1}{(J_1 + J_2)} ((i_{я} k\Phi - M_{12})); \\
 u_{zi} &= \begin{cases} u_{zi}^*, & \text{при } u_{zu} \neq u_3; \\ u_3, & \text{при } u_{zu} = u_3. \end{cases}
 \end{aligned} \right\} \quad (2.10)$$

Структурна схема двоконтурної системи автоматичного регулювання ЕРС відповідної виразу (2.10) наведена на рис. 2.5

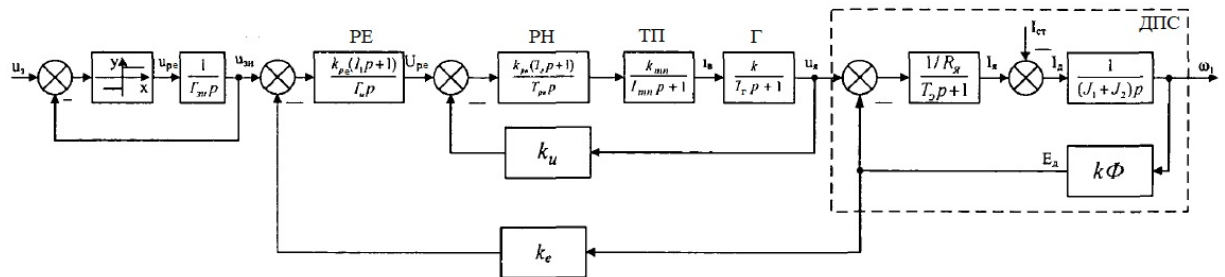


Рис. 2.5. Структурна схема двоконтурної системи автоматичного регулювання ЕРС (швидкості)

$$W_{pкн}(p) = W_{pu}(p) \cdot \frac{k_{mn}}{T_{mn}p + 1} \cdot \frac{k_2}{T_2p + 1} \cdot k_u. \quad (2.11)$$

Бажана передавальна функція контуру напруги при налаштуванні на модульний оптимум виглядає:

$$W_{pкн}^{mo}(p) = \frac{1}{2T_{\mu}p(T_{\mu}p + 1)}. \quad (2.12)$$

Прирівнюючи бажану і дійсну функції і приймаючи в якості некомпенсованої малої постійної часу T_μ постійну часу T_{III} тиристорного перетворювача, так як $T_r (1,6 \text{ с}) \gg T_{III} (0,01 \text{ с})$ отримаємо:

$$W_{pn}(p) \frac{k_{mn}}{T_{mn}p+1} \cdot \frac{k_z}{T_zp+1} \cdot k_u = \frac{1}{2T_\mu p(T_\mu p+1)}. \quad (2.13)$$

Тоді передавальна функція регулятора напруги:

$$W_{pn}(p) = \frac{T_zp+1}{2T_\mu p k_{mn} k_z k_u} = \frac{T_zp+1}{T_{pn}p}. \quad (2.14)$$

Отже, передавальна функція замкнутого контуру напруги:

$$W_{\kappa u}(p) = \frac{1}{k_u} \cdot \frac{1}{2T_\mu^2 p^2 + 2T_\mu p + 1}. \quad (2.15)$$

Нехтуючи членом з квадратом малої постійної часу T_μ^2 отримаємо:

$$W_{\kappa u}(p) = \frac{1/k_u}{2T_\mu p + 1}, \quad (2.16)$$

де k_u – коефіцієнт ЗВЗ за напругою;

a_u – коефіцієнт контуру напруги ($a_u = 2$);

T_μ – мала некомпенсована постійна часу (постійна часу тиристорного перетворювача).

Передавальна функція розімкнутого контуру ЕРС з урахуванням об'єкта регулювання і припущень для об'єкта з $T_M > 4T$ має вигляд:

$$W_{p\kappa e}(p) = \frac{1/k_u}{(2T_\mu p + 1)(T_M T_E p^2 + T_M p + 1)} \cdot k_e = \frac{1/k_u}{(2T_\mu p + 1)(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)} \cdot k_e, \quad (2.17)$$

де $T_1 = \frac{(T_M + T_M \sqrt{1 - 4T_E/T_M})}{2}$; $T_2 = \frac{(T_M - T_M \sqrt{1 - 4T_E/T_M})}{2}$.

Тоді для компенсації більшої із інерційностей об'єкта регулювання, регулятор ЕРС повинен мати передавальну функцію виду

$$W_{pe}(p) = \frac{(T_1 p + 1)k_u}{k_e 2T_\mu p} = k_{pe} \frac{T_1 p + 1}{T_u p}, \quad (2.18)$$

де $k_{pe} = T_1 k_u / (2T_\mu k_e)$ – передавальний коефіцієнт ланцюга зворотного зв'язку за ЕРС двигуна, може бути прийнятий $k_e = k_u$.

Система регулювання з ПІ-регулятором ЕРС є астатическою за збурюючим і керуючим впливами в сталому режимі, однак, підставляючи розрахункові значення у вираз (2.18) отримаємо, що для цього необхідно реалізувати коефіцієнт підсилення ПІ-регулятора рівним 22.

Такий коефіцієнт підсилення реалізувати в реальній системі неможливо, так як при коефіцієнті більше 1,5 система стає нестійкою. Використання малого коефіцієнта підсилення визначає наявність помилки стеження за дійсною швидкістю за заданням в динамічних режимах (при розгоні і уповільненні) на величину, яка залежить від T_M , при цьому величина швидкісної помилки для підйомної установки з $T_M = 0,56c$ досягає 18%. Це призводить до впливу змін параметрів електроприводу на швидкість і величину швидкісної помилки, що необхідно враховувати при автоматичному формуванні точки початку уповільнення.

2.3. Математична модель захисту від перевищення швидкості

В даний час більшість підйомних установок в якості апарату захисту від перевищення швидкості, використовують апарат ЕОС-3.

Вихідна функція ЕОС-3, може бути представлена у вигляді:

$$y_{EOC} = \begin{cases} 0, & \text{при } u'_{EOC} \geq u'_3 \\ 1, & \text{при } u'_{EOC} < u'_3 \end{cases} \quad (2.19)$$

де y_{EOC} – стан вихідного реле в ланцюзі ТП (1 – робота, 0 – аварія); u'_3 – напруга пропорційне швидкості захисної тахограми;

При цьому захисна діаграма швидкості представляє складну криву, яка визначається виразом [9]:

$$u'_3 = u_3^{\min} + u'_3 \quad u'_3 = \begin{cases} u_3^{\max}, & \text{при } z'_{zh} = 1 \\ u_{3c}, & \text{при } z'_{zh} = 2 \\ 0, & \text{при } z'_{zh} = 3 \end{cases} \quad (2.20)$$

де u_3^{\min} – напруга, яка відповідає мінімальній обмежувальній швидкості; u_3' – приріст напруги пропорційний швидкості захисної тахограми, який визначається поточним періодом руху; z_{zh}' – стан перемикача АЗК-1, відповідного певного періоду руху.

При цьому робота кожного блоку перемикачів АЗК-1 може бути визначена виразом:

$$z_{zh}^i = \begin{cases} 1, & \text{при } h' > h_u' \\ 0, & \text{при } h' \leq h_u' \end{cases} \quad (2.21)$$

де h_u' – значення положення маси, на яку налаштовується вимикач;

i – номер вимикача.

В якості пристрою формування захисної діаграми швидкості на ділянці уповільнення в ЕОС-3 використовуються сельсини, вихідна напруга на затискачах яких визначається, як:

$$u_c = u_{y\max} \sin \varphi_c, \quad (2.22)$$

де u_y^{\max} – напруга відповідна максимальній допустимій швидкості рівномірного руху; φ_c – кут повороту сельсину.

При цьому коефіцієнтом передачі редуктора підбирається таким чином, щоб за шлях уповільнення кут φ_c змінювався в діапазоні $[0; 3\pi/8]$.

$$u_c = u_{y\max} \sin\left(\frac{h_c}{H_3} \cdot \varphi_3\right) \quad (2.23)$$

де H_3 – шлях уповільнення, м;

φ_3 – кут, відповідний H_3 , на який встановлюється сельсин.

При цьому на ділянці підходу закон зміни заданої напруги в функції шляху $u_c(\varphi)$ апроксимується ламаною кривою з 3-х ділянок, кожна з яких описується виразом [13]:з

$$u_{EOC} = m u_m \sqrt{\frac{\arcsin \frac{u_c}{u_{y\max}}}{\varphi_3}}, \quad (2.24)$$

де m – масштабний коефіцієнт; u_m – максимальна напруга.

Тоді обмеження, що накладаються на тахограми підйомної установки пристроєм обмеження швидкості (ЕОС-3), описуються виразом:

$$u_{з0} = \begin{cases} \alpha \cdot u_{\max}, \text{ при } h_c > h_{nc} \\ m u_m \sqrt{\frac{\arcsin \frac{u_c}{u_{y\max}}}{\varphi_3}}, \text{ при } h_{\text{дом}} \geq h_c > h_{nc}, \\ u_n, \text{ при } h_c \leq h_{\text{дом}} \end{cases} \quad (2.25)$$

де m – масштабний коефіцієнт приведення напруги на виході сельсина до рівнями напруги в ЕОС-3; u_m – напруга, що відповідає максимальній швидкості руху підйомної маси, В; h_c – поточний стан підйомного маси, м; h_{nc} – точка початку сповільнення, м; $h_{\text{дом}}$ – точка початку підходу до розвантажувального пристрою, м; φ_3 – кут повороту сельсина на ділянці сповільнення, радий; u_c – напруга на виході сельсина, В; $u_{y\max}$ – напруга, відповідна максимальній швидкості рівномірного ходу, В.

У режимі ревізії ($P_{\text{реж}} = 0$) обмежуюча напруга розраховується як $u_3 = 1,15 \cdot u_3^{\min}$.

На основі виразів 2.9, 2.10, 2.21, 2.25 складена математична модель електроприводу підйомної установки (вираз 2.26), структурна схема, складена на основі цього виразу, наведена на рис. 2.6

$$\left.
\begin{aligned}
\frac{du_{zi}^*}{dt} &= \frac{u_p}{T_{zi}}; \\
\frac{du_{pe}}{dt} &= \frac{k_{pe}T_1}{T_u} \left(\frac{du_{zi}}{dt} - \frac{dE}{dt} \right) + \frac{1}{T_u} (k_{pe}u_{zi} - E); \\
\frac{du_{ph}}{dt} &= \frac{k_{ph}T_2}{T_{ph}} \left(\frac{du_{pe}}{dt} - \frac{du_{я}}{dt} \right) + \frac{1}{T_{ph}} (k_{ph}u_{pe} - u_{я}); \\
\frac{di_{\epsilon}}{dt} &= \frac{1}{T_{zn}} (k_{ph}u_{ph} - i_{\epsilon}); \\
\frac{du_{я}}{dt} &= \frac{1}{T_2} (k_2 i_{\epsilon} - u_{я}); \\
\frac{di_{я}}{dt} &= \frac{1}{T_e} \left(\frac{1}{R_{я}} (u_{я} - k\Phi \cdot \omega) - i_{я} \right); \\
\frac{d\omega_1}{dt} &= \frac{1}{J_1} (i_{я} k\Phi - M_{12}); \\
\frac{d\omega_2}{dt} &= \frac{1}{J_2} (M_{12} - M_2); \\
\frac{d\varphi_1}{dt} &= \omega_1; \\
\frac{d\varphi_2}{dt} &= \omega_2; \\
M_{12} &= \begin{cases} c_{12}(\varphi_1 - \varphi_2 \pm \frac{\Delta\varphi_3}{2}) + \beta_{12}P(\varphi_1 - \varphi_2 \pm \frac{\Delta\varphi_3}{2}), & \text{при } |\varphi_1 - \varphi_2| > \frac{\Delta\varphi_3}{2}; \\ 0, & \text{при } |\varphi_1 - \varphi_2| < \frac{\Delta\varphi_3}{2}. \end{cases} \\
u_{zi} &= \begin{cases} u_{zi}^*, & \text{при } u_{zu} \neq u_3; \\ u_3, & \text{при } u_{zu} = u_3. \end{cases}
\end{aligned}
\right\} \quad (2.26)$$

де J_1 – момент інерції підйомного двигуна; J_2 – момент інерції барабана з приведеними до нього масами і копровими шківками; M_1, M_2 – моменти підйомного двигуна і момент на барабані; M_{12} – пружний момент; M_{δ} – демпфуючий момент при дисипації в силовій передачі; ω_1, ω_2 – швидкості двигуна і барабана відповідно; c_{12} – еквівалентна жорсткість елементів системи; β_{12} – коефіцієнт в'язкого тертя елементів системи; $\varphi_1 - \varphi_2 = \Delta\varphi$ – величина відносного переміщення мас; $\omega_1 - \omega_2 = \Delta\omega$ – різниця швидкостей; T_{zn} – постійна інтегрування задаючого пристрою; u_p – обмеження релейного елемента задаючого пристрою, $\Delta\varphi_3$ – величина зазору.

На рис. 2.7 наведені осцилограми, отримані в результаті моделювання структурної схеми, зображеної на рис. 2.6, та осцилограми, зняті на діючій підйомній установці.

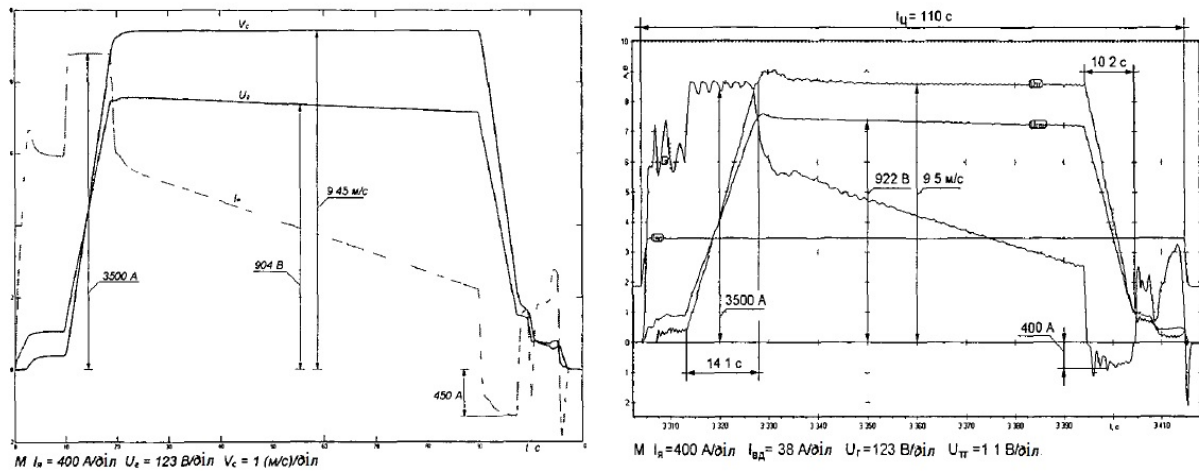
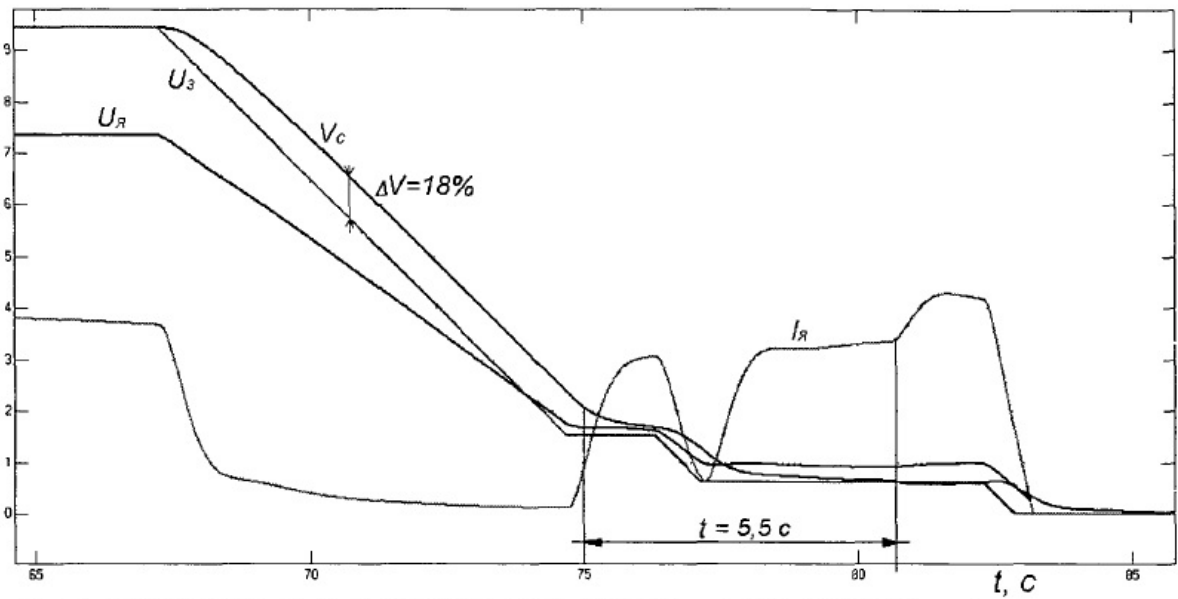


Рис. 2.7. Осцилограми, отримані шляхом моделювання (зліва) та зняті на діючій підйомній установці (справа)

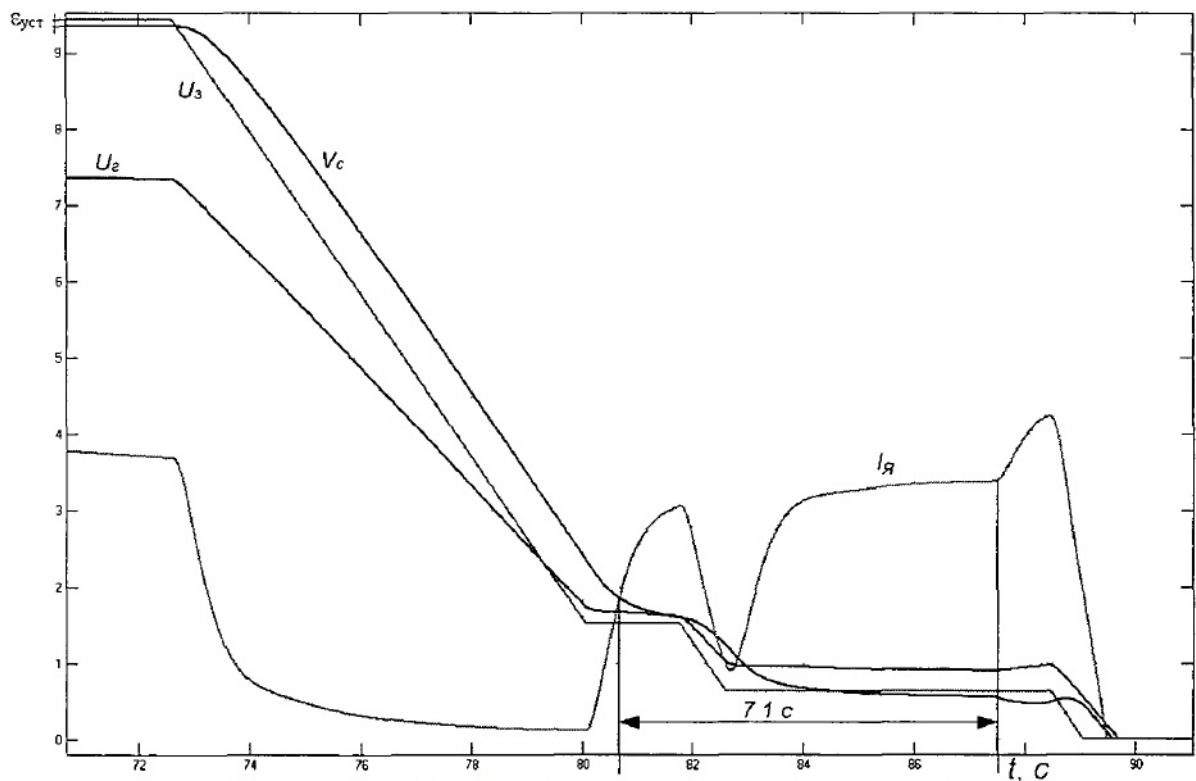
Порівняльний аналіз осцилограм, показує, що нехтуючи коливаннями, викликаними еліпсністю обичайки барабана, перехідні процеси, одержуваних при моделюванні за виразом (1) адекватні осцилограмми, отриманим на реальній підйомній установці. Запропонована математична модель описує процеси, що протікають в електроприводі підйомної машини, з точністю, достатньою для дослідження системи логічного керування, тому вона в подальшому використовується при розробці комп'ютерної моделі підйомної установки, призначеної для дослідження алгоритмів і процесів в розробленій системі логічного керування.

На рис. 2.8 показані осцилограми, отримані в результаті моделювання отриманої структури схеми, для уповільнення з номінальними параметрами, а на рис. 2.9 при зміні опору якорного ланцюга на 2%.



$M I_{Я} = 400 \text{ A/діл}$, $U_{Я} = 123 \text{ В/діл}$, $V_c = 1 \text{ (м/с)/діл}$, $U_3 = 1 \text{ (м/с)/діл}$

Рис. 2.8. Уповільнення при параметрах ЕМС відповідних розрахунковим



$M I_{Я} = 400 \text{ A/діл}$, $U_{Я} = 123 \text{ В/діл}$, $V_c = 1 \text{ (м/с)/діл}$, $U_3 = 1 \text{ (м/с)/діл}$

Рис. 2.9. Уповільнення при збільшенні опору якірного ланцюга на 2%

З отриманих осцилограм видно, що при зміні параметрів якірного ланцюга електроприводу з'являється статична і зростає швидкісна помилка, збільшується час знаходження на ділянці руху в розвантажувальних кривих.

2.4. Представлення системи технологічної автоматики і захистів методами теорії графів

Проведений вище аналіз зачіпає електромеханічну систему і модулі технологічної автоматики, що впливають на неї – апарат АЗК-1 і обмежувач ЕОС-3. Так як кількість вхідних сигналів в систему логічного керування може досягати 100, то аналіз систем логічного керування з використанням алгоритмічних структур дуже складний у зв'язку з великою кількістю входів виходів і логічних операцій. Тому, побудовою алгоритмічної структури в такій системі можливо тільки для невеликого числа функціональних елементів і модулів.

Як показано в першому розділі, для математичного моделювання та подальшої програмної реалізації алгоритмів системи логічного керування підйомною установкою доцільно використовувати структурно-топологічне представлення системи, що дозволить з використанням елементів теорії автоматів перейти до автоматної реалізації системи.

Завдання керування технологічним процесом підйом може бути сформульована і визначена певним кінцевим числом станів системи.

$$Q = \{A, X, \tau\}, \quad (2.27)$$

де $A = \{a_0, a_1, \dots, a_n\}$ – множина станів системи;

$X = \{x_0, x_1, \dots, x_n\}$ – множина вхідних сигналів (вхідний алфавіт);

$\tau = \{\tau_0, \tau_1, \dots, \tau_k\}$ – множина змінних часу.

На основі аналізу перемикачів в системі автоматики під час технологічного процесу підйому були визначені вхідні сигнали і змінні часу, що використовуються в технологічному циклі підйому, алфавіт і опису вхідних змінних і змінних часу наведені в таблицях 2.1 і 2.2.

Таблиця 2.1. Алфавіт і опису вхідних змінних СТА

Алфавіт	Опис змінної	Алфавіт	Опис змінної
x_0	Стан запобіжного гальма (зняте – 1, накладене – 0)	x_{10}	Горизонт "+50"
x_1	Стан робочого гальма (зняте – 1, накладене – 0)	x_{11}	Швидкість в нормі (перевищення - 0)
x_2	Сигнал на пуск машини	x_{12}	Затвор відкритий
x_3	Дозвіл роботи САРС	x_{13}	Дозатор порожній
x_4	Дозвіл розгальмовування підйомної машини	x_{14}	Затвор закритий
x_5	Точна зупинка підйомної Машини	x_{15}	Прискорення
x_6	Режим роботи «Ревізія»	x_{16}	Уповільнення
x_7	Режим роботи «Ручне»	x_{17}	Рух в кривих
x_8	Режим роботи «Автоматика»	x_{18}	Уповільнення на проміжний горизонт
x_9	Режим «Перевірка»	x_{19}	Прискорення з проміжного горизонту
		x_{20}	Точна зупинка

Таблиця 2.2. Алфавіт і опису змінних часу СТА

Алфавіт	Опис змінної	Алфавіт	Опис змінної
τ_0	Час стоянки загальмованого двигуна під струмом	τ_3	Час розгону приводу до $0,8 \cdot v_{\max}$
τ_1	Час наростання струму якоря	τ_4	Контроль часу завантаження
τ_2	Час розгальмовування		

Беручи за вузли можливі стану системи автоматки в процесі виконання технологічного процесу підйому, а за дуги – умови зміни стану, складений граф технологічної роботи системи автоматки і захистів при виконанні

Таблиця 2.3. Алфавіт і зведена таблиця станів СТА

Алфавіт	Опис змінної	Алфавіт	Опис змінної
a_0	Аварія	a_{12}	Зупинка
a_1	Робота	a_{13}	Розвантаження скіпа
a_2	Ревізія	a_{14}	Уповільнення на проміжний горизонт
a_3	Перевірка	a_{15}	Рух на малій швидкості на проміжний горизонт
a_4	Включення САРС	a_{16}	Розгін з проміжного горизонту
a_5	Розгальмовування	a_{17}	Відкриття дозаторів
a_6	Вихід від розвантаження	a_{18}	Завантаження
a_7	Прискорення	a_{19}	Очікування відправки
a_8	Рівномірний хід	a_{20}	Відкриття дозаторів
a_9	Уповільнення	a_{21}	Завантаження
a_{10}	Підхід до розвантаження	a_{22}	Закриття дозаторів
a_{11}	Рух в кривих		

На основі аналізу побудованого графа виявлено, що в системі технологічної автоматики є велика кількість внутрішніх станів, які призводять до перемикань в системі і змін її внутрішнього стану, але не мають прямого впливу на формування вихідних керуючих сигналів. Крім того, в даному графі змішані операції різних типів: що відносяться до процесу керування підйомною машиною – операції з формування робочої і захисної тахограми, технологічні операції – розгальмовування, і накладення гальма, завантаження скіпа і стану системи автоматики – аварія, готовність, робота.

Видно, що при безпосередньому побудові графа за описом технологічного процесу отриманий граф великої зв'язності, тому безпосередньо реалізація системи за отриманим графом ускладнена. Отже, необхідно провести розбиття графа роботи системи автоматики і захистів на окремі підграфи,

кожен з яких відповідає певній технологічній операції або захисту. Розбиваючи граф на окремі підграфи для подальшої реалізації у вигляді автоматів необхідно враховувати, що граф переходів кінцевого автомата повинен бути зв'язним, тобто для будь-якої пари різних станів повинен існувати шлях, переходу з одного стану в інший. Тому деякі з отриманих графів повинні бути доповнені станами або дугами для забезпечення вище озвученої вимоги.

Таким чином, проводячи аналіз отриманого графа можна виділити такі підграфи, які можна поставити у відповідність окремим модулям:

1. Стану системи автоматички і захистів;
2. Режиму роботи системи автоматички і захистів;
3. Граф формування тахограми руху;
4. Граф керування робочим гальмом;
5. Керування дозаторами.

Граф стану системи автоматички визначає наступні стани:

1. «Аварія». Розібране запобіжне гальмо через аварійне відхилення одного з параметрів, що контролюються або неготовності машини після включення (a_0);
2. «Готовий». Система готова до роботи, можливе здійснення циклу підйому, як у ручному, так і автоматичному режимах роботи (a_1);
3. «Робота». Всі параметри в допустимих діапазонах, йде цикл підйому (a_2).

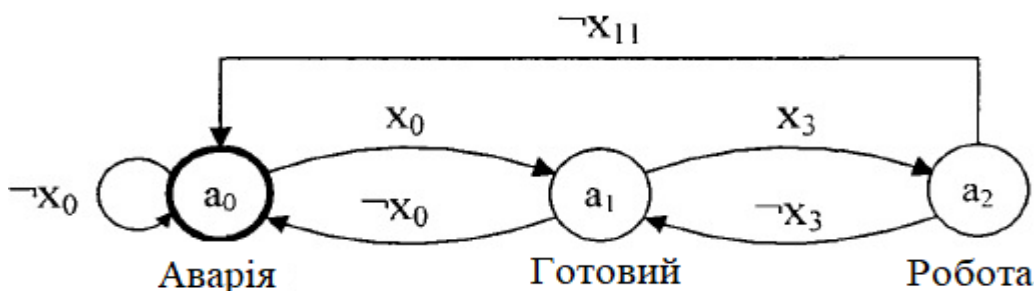


Рис. 2.11. Граф станів системи автоматички і захистів

Граф вибору режиму роботи, має такі стани:

1. Режим роботи «Ревізія»;
2. Режим роботи «Автоматика»;
3. Режим роботи «Ручний».

Граф переходів наведено на рисунку 2.10

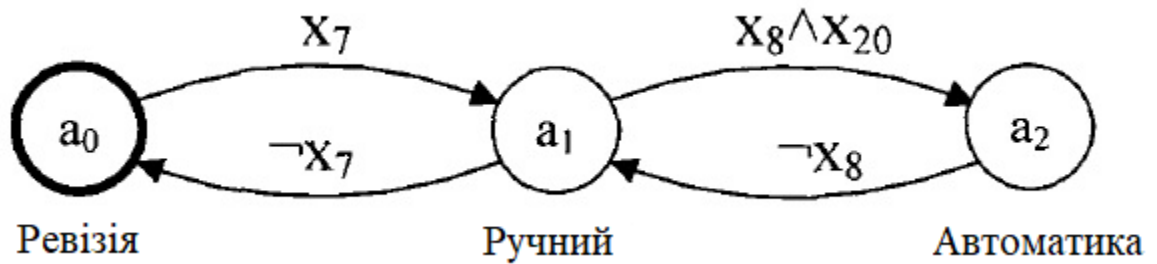


Рис. 2.12. Граф вибору режиму роботи системи автоматика і захистів

З графа роботи системи (рисунок 2.10) автоматика можна виділити наступні стану роботи системи завантаження:

1. Відкриття дозатора;
2. Розвантаження;
3. Закриття дозатора;

Однак виділяючи в даний граф в окремий модуль необхідно забезпечити його зв'язність, для чого доповнити граф станами очікування підходу скіпа під завантаження і очікування його відправки, тоді з урахуванням сказаного повний граф переходу буде складатися з п'яти станів:

1. Очікування скіпа;
2. Відкриття дозатора;
3. Розвантаження;
4. Закриття дозатора;
5. Очікування відправки.

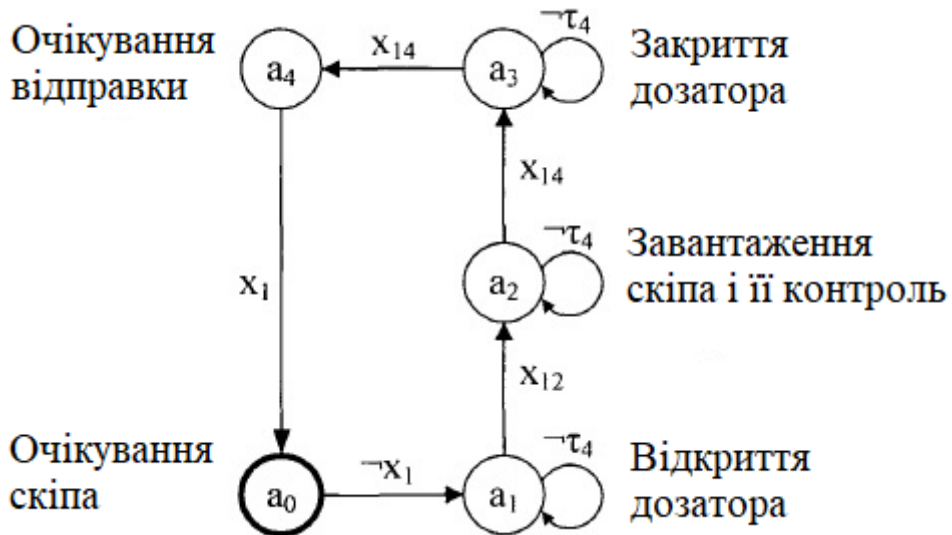


Рис. 2.13. Граф роботи системи завантаження

За аналогією з графом роботи системи завантаження, виділимо в окремий граф систему керування робочим гальмуванням, додавши в нього стани, які забезпечують зв'язність даного графа, тоді повний граф переходу буде складатися з п'яти станів:

1. Гальмо загальмоване;
2. Очікування наростання струму розгальмування для створення номінального моменту;
3. Зняття гальма і контроль розгальмування;
4. Гальмо розгальмоване;
5. Накладення гальма.

Граф керування робочим гальмом представлений на рис. 2.14.

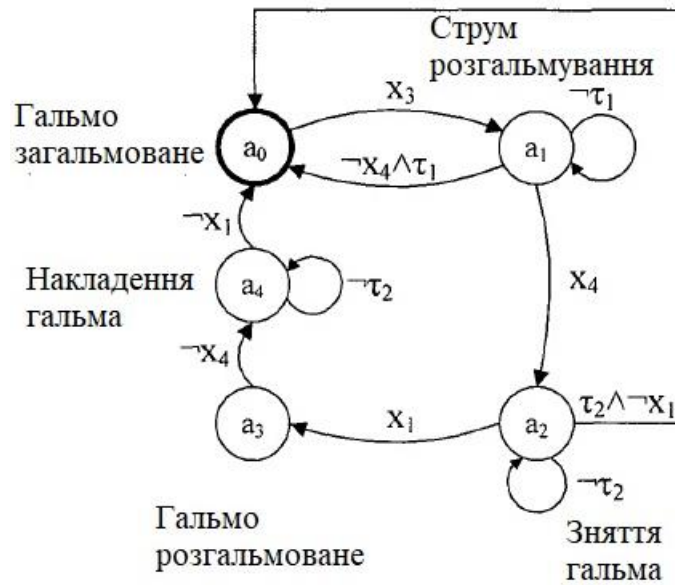


Рис. 2.14. Граф керування робочим гальмом

Діаграму руху підйомної маси можна представити у вигляді окремих етапів в залежності від його положення:

1. Вихід з кривих. Характеризується наростанням швидкості від нуля до швидкості виходу скіпа з кривих, очікування сигналу виходу з кривих.
2. Прискорення. На даному етапі відбувається плавне збільшення швидкості зі швидкості виходу з кривих до робочої швидкості.

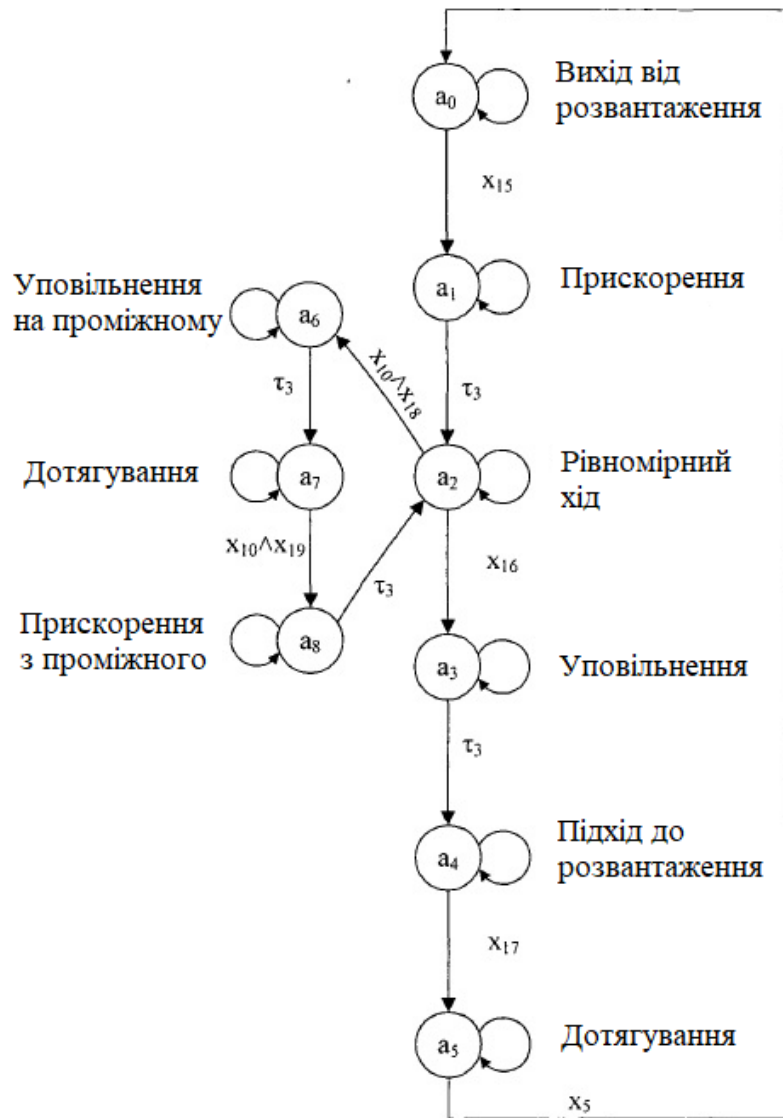


Рис. 2.15. Граф формування тахограми руху

3. Рівномірний рух. У період рівномірного руху скіпа формується задання на швидкість для системи регулювання швидкості. Пристрій контролю тахограми здійснює стеження за порушенням максимальної швидкості рівномірного руху.

4. Уповільнення. Подача імпульсу початку уповільнення здійснюється поперховими вимикачами апарату завдання і контролю ходу при підході до крайніх положень скіпа, і проводиться завжди автоматично незалежно від машиніста і режиму роботи підйому.

5. Підхід до розвантажувального пристрою.

6. Рух в розвантажувальному пристрої і зупинка. Рух підйомної маси на постійній швидкості 0,3 м/с до моменту спрацьовування датчика точної зупинки, який встановлюється за кілька сантиметрів до точки стопорення. Після спрацьовування датчика точної зупинки знімається сигнал задання швидкості і вимикається контактор робочого гальма.

7. Уповільнення на проміжному горизонті.

8. Прискорення на проміжному горизонті.

9. Рух на малій швидкості до дозатора на проміжному горизонті.

Залежно від стану змінної x_{10} (вибір горизонту), буде формуватися або діаграма для роботи з основного (рис. 2.16 (зліва)) або з проміжного (рис. 2.16 (б)) горизонту.

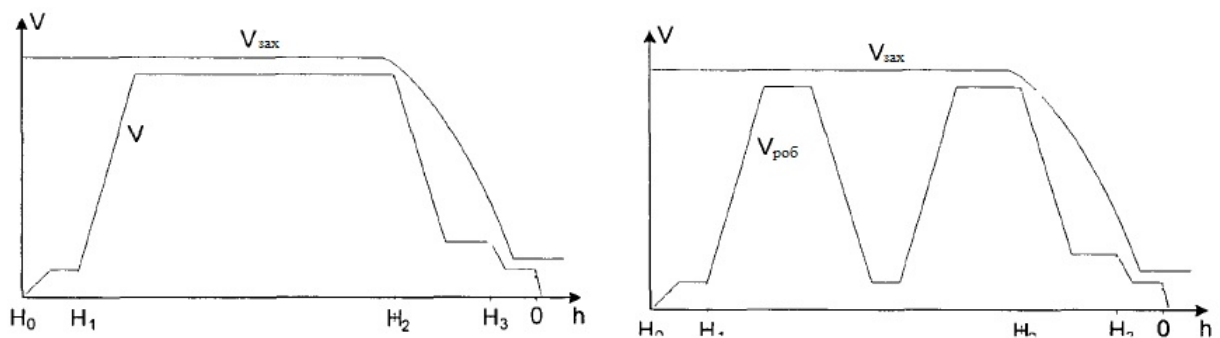


Рис. 2.16. Діаграми, при роботі з основного (зліва) і проміжного (справа) горизонтів

Таким чином, система логічного керування підйомної установки може бути представлена у вигляді сукупності автоматів, при цьому кожен автомат може містити і інші вкладені в нього автомати

Автомати можуть працювати як асинхронно, коли викликаючий автомат продовжує виконання, не чекаючи закінчення роботи викликаного, так і синхронно, коли подальші дії викликаючого автомату, залежать від підсумкового стану викликаного. Наприклад, на рис. 2.17 автомат А2, викликаючи автомат А4, зі своїх станів a_0 і a_7 очікує сигналу про завершення його роботи і тільки після цього продовжує виконання.

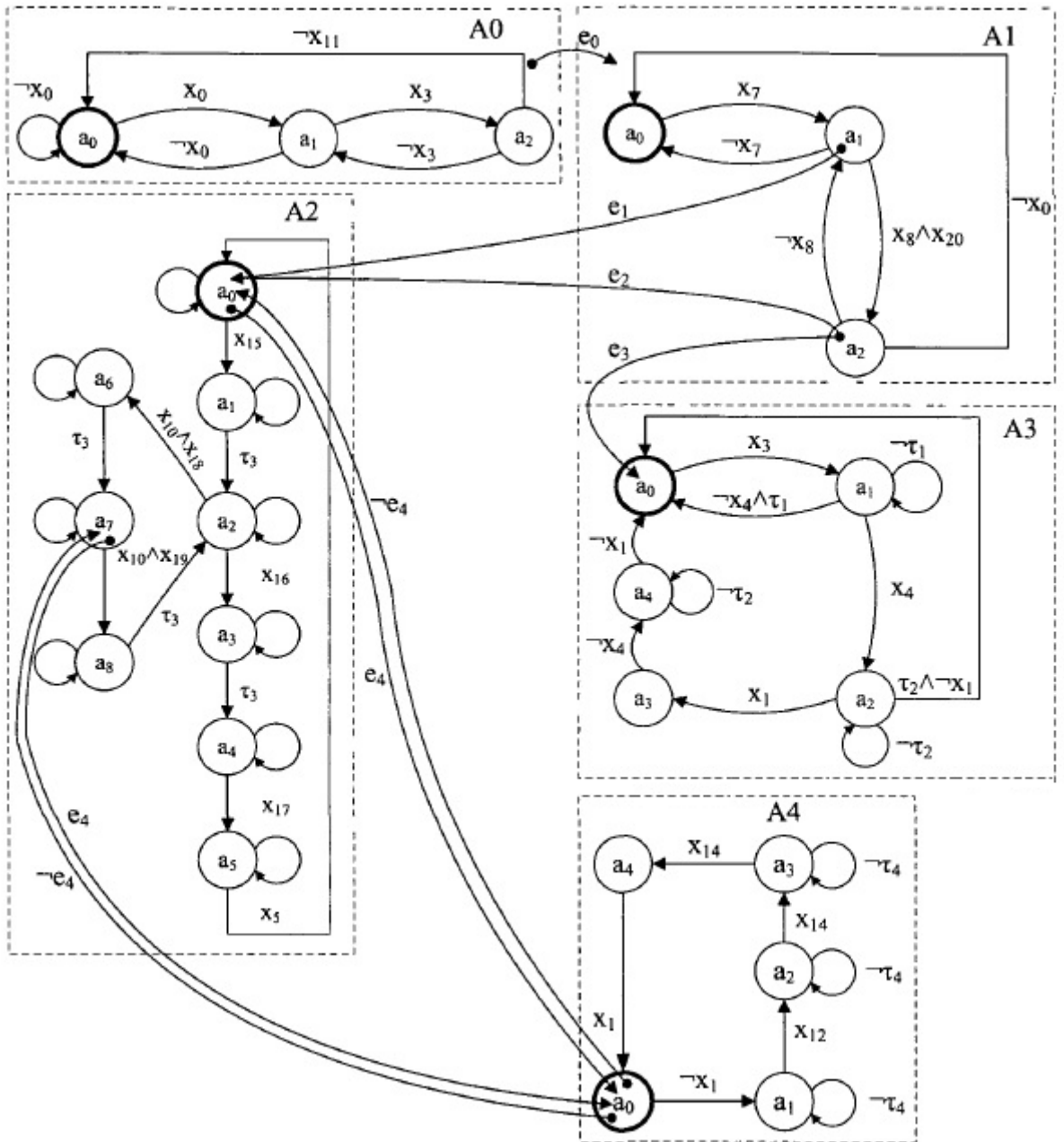


Рис. 2.17. Взаємодія автоматів в системі логічного керування

2.5. Графічний опис діаграм поведінки автоматних об'єктів

При проектуванні автоматних об'єктів в даній роботі пропонується використовувати графи переходів, які є розширеною версією графів, використовуваних в SWITCH-технології [6], доповнених для позначення дій виконуваних при вході в стан і циклічно при знаходженні в стані.

Основні елементи використовуваного графічного представлення, наведені на рис. 2.18.



Рис. 2.18. Основні елементи пропонованого уявлення

Основні елементи пропонованого опису:

1. Стан, зображується у вигляді закругленого прямокутника, початковий стан виділяється жирною рамкою.

2. Номер стану.

3. Ім'я стану.

4. Номери автоматів, що викликаються з даного стану.

5. Дії в стані, прийняті наступні позначення:

en (enter) – дія виконується одноразово при вході в стан;

cy (cyclic) – дія виконується циклічно при знаходженні в даному стані, в дужках вказується час в мілісекундах;

ex (exit) – дія виконується одноразово при виході зі стану, незалежно від умови виходу;

st (state) – дія безперервно виконується при знаходженні в стані.

6. Перехід – зображується у вигляді спрямованої дуги.

7. Специфікація переходу.

8. Таблиця описів.

9. Група станів.

Таблиця описів містить два стовпці. У першому стовпці записується скорочення, у другому – розшифровка. У графі переходів використовуються позначення з першого стовпчика таблиці.

Перехід зображується у вигляді спрямованої дуги. Поруч з дугою розташовується специфікація переходу. Зміна станів відбувається якщо:

- автомат знаходиться в стані, з якого веде дуга переходу;
- стан системи задовольняє специфікації переходу.

Безпосередньо перед зміною станів виконуються дії, зазначені в специфікації переходу. В процесі зміни стану автомат переходить в стан, в який веде дуга переходу.

Специфікація переходу повинна задаватися у вигляді $A: P / V$, де A – умова переходу; P – пріоритет переходу (чим менше значення, тим пріоритетніше перехід); V – дія на переході.

Рамка дозволяє об'єднувати стану в групи, показуючи, що при спрацьовуванні умови переходу (A), перехід, в кінцеву точку, здійснюється при знаходженні в будь-якому з згрупованих станів.

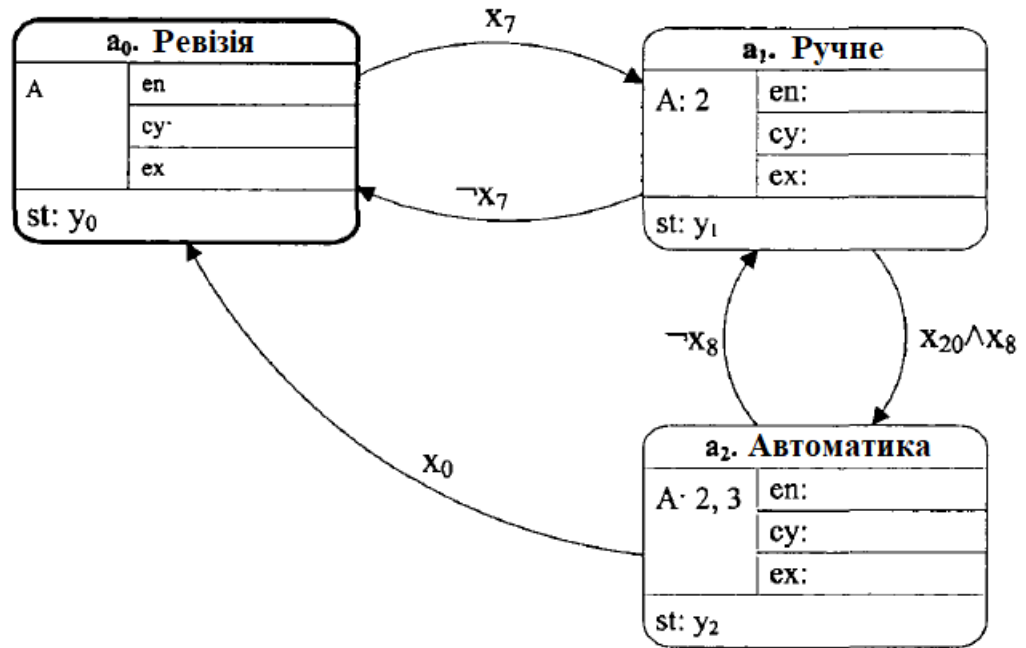


Рис. 2.19. Приклад відображення автомата вибору режиму роботи в пропонованому графічному поданні.

Аналіз, проведений в першому розділі, показав, що при описі системи логічного керування підйомною установкою доцільно використовувати суміщений (Милі і Мура) С-автомат, оскільки система містить як дискретні сигнали першого роду – генеровані в момент переходу з стану в стан, так і сигнали другого роду – генеруючі весь час який система знаходиться в певному стані. С-автомат може бути реалізований на мові С функцією такого вигляду:

```

void automat(state &st)
{
state st_old = st;
switch(st){
{
    case 0:
    break;
    ...
    ...
    case n:
    break;
    default:

    break;
}
if(st!=st_old)
{
    switch(st_old){
    case 0:

    break;
    ...
    ...
    case n:

    break;}

if(st!=st_old)
{
    switch(st){
    case 0:
    break;
    ...
    ...
    case n:
    break;}
}
return;
}

```

При кожному вході в функцію, що реалізує автомат, визначається:

- Чи потрібно змінити стан.
- Застосувати нові параметри, якщо стан змінився.
- Чи застосовувати при виході з функції дії відповідальні за перехід.

На підставі наведеного аналізу можна зробити висновок, що безпосереднє програмування контролера за наявними схемами, на мові релейно-контактних схем (РКС або LD – ladder diagrams згідно МЕК 61131-3) або шляхом перетворення їх в булеві формули, призводить до тих ж проблем,

що і робота безпосередньо з релейними схемами. Зрозуміти алгоритм функціонування і надалі розширити подібну програму важко, перевірка ж правильності виконання програми часто неможлива.

Використання ж для аналізу систем, теорії графів, що включає в себе побудова загального графа процесу і подальше його розбиття на окремі підграфи і їх ортогоналізації, дозволяє, минаючи аналіз старих релейно-контактних схем, і побудова систем булевих формул для них безпосередньо отримати працездатний алгоритм, який в подальшому може бути реалізований програмно.

Таким чином, на підставі проведених досліджень діючої системи запропонована методика аналізу системи автоматики і захистів, що містить наступні етапи:

1. Проводиться аналіз технологічного процесу і технічних засобів, виявляються можливі проблеми в реалізації алгоритмів функціонування цих технічних засобів.

2. На основі аналізу технологічного процесу складається узагальнена діаграма станів (граф переходів) функціонування системи;

3. Проводиться функціональний аналіз системи логічного керування, метою якого є виділення окремих підсистем і функціонально автономних блоків в підсистемі;

4. Складається детальний граф роботи (для кожного автономного блоку) кожної з підсистем, що характеризує переходи підсистем з одного стану в інший і сигнали подій, що передаються від однієї підсистемі іншій;

5. Проводиться аналіз, спрямований на спрощення, якщо це можливо, отриманих графів або подальше їх розбиття.

6. На основі отриманих графів, вимог і правил обраної мови програмування складається схема алгоритму для подальшої його реалізації.

2.6. Висновки до розділу 2

1. Встановлено взаємозв'язок між показниками якості системи керування (швидкісна помилка і точність відтворення тахограми) автоматичного регулювання швидкості та параметрами тахограми руху підйомної машини, такими як час циклу, помилка підходу до точки точного зупину.

2. На основі положень теорії автоматичного керування, теорії автоматів і теорії графів запропоновано методику аналізу, яка може бути застосована для всіх типів систем логічного керування, як на базі релейно-контактних схем, так і схем на жорсткій логіці і програмованих контролерах.

3. Показано, що найбільш підходящим типом автомата для представлення процесів в системі логічного керування підйомної машини, як з точки зору відображення процесів в системі, так і з точки зору застосовності для подальшого програмного уявлення, є суміщений (Милі і Мура) С-автомат.

4. Проведено дослідження діючої системи керування підйомної машини, що включає систему автоматички і захистів.

5. Розроблено математичну модель системи керування підйомною машиною з урахуванням зазору в лінії електрична машина – барабан, що дозволяє використовувати її в подальших дослідженнях або цифровому моделюванні і враховувати величину зазору при її дослідженні.

6. В результаті аналізу роботи системи релейного автоматички і захистів отримано опис перемикачів і графі станів роботи окремих підсистем підйомної машини.

7. Показано, що найбільш перспективним напрямком при проектуванні систем керування, що містять комбінацію функціональних і логічних елементів, є підхід з позицій теорії графів.

РОЗДІЛ 3

СТРУКТУРА І АЛГОРИТМИ СИСТЕМИ ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ

3.1. Структура системи логічного керування

Розробка структури та алгоритмів системи логічного керування ґрунтується на структурній декомпозиції і виділення окремих автономних програмних модулів. Принцип декомпозиції передбачає, що кожна функція, виконувана системою логічного керування, полягає в окремий модуль, який має свої вхідні та вихідні параметри і діючий незалежно, спираючись тільки на значення вхідних параметрів.

Подібний підхід дозволяє модифікувати структуру системи, шляхом зміни складу її модулів, не впливаючи на не потребуючі модифікації частини, так як кожен модуль оперує тільки своїми вхідними та вихідними змінними.

Як показав аналіз роботи діючої системи автоматичної підйомної установки, в розроблюваній СЛК можна виділити два типи модулів: основні модулі, що формують вплив, необхідні для виконання циклу підйому і модулі, які накладають обмеження на технологічний процес. До основних модулів, незалежних від типу підйомної машини, відносяться наступні модулі необхідні для формування тахограми і виконання циклу підйому:

- Модуль обробки дискретних сигналів, що забезпечує зчитування і фільтрацію вхідних дискретних сигналів;
- Модуль обробки аналогових сигналів, що забезпечує зчитування і фільтрацію вхідних аналогових сигналів;
- Модуль визначення швидкості і положення підйомних мас;
- Модуль керування станом системи;
- Модуль перевірки цілісності каналів вимірювання положення і швидкості;
- Модуль формування тахограми руху;

- Модуль захисту від перевищення швидкості, який розраховує захисну діаграму швидкості і контролюючий її порушення;
- Модуль керування робочим гальмом
- Релейний модуль, який формує вихідні сигнали.

Структура системи логічного керування, що містить зазначені вище модулі наведена на рис. 3.1.

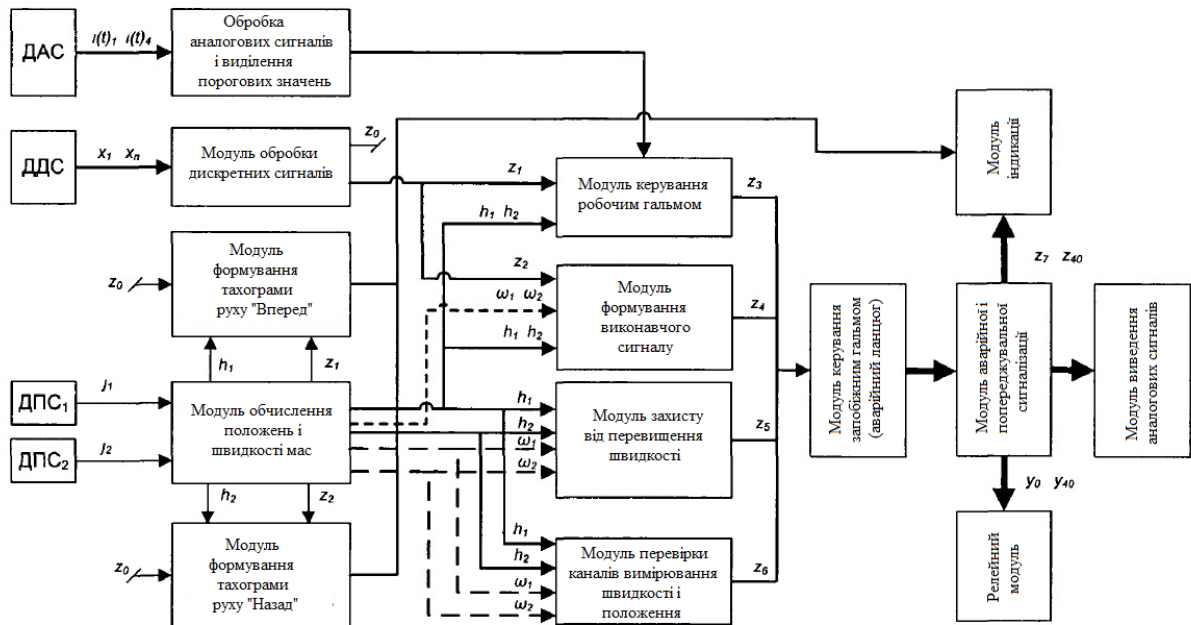


Рис. 3.1. Структура системи логічного керування.

3.2. Модуль обчислення положення і швидкості мас

Як зазначено в [2] сумарна статична похибка вимірювання швидкості на будь-яких ділянках шляху у всіх робочих режимах не повинна перевищувати 5%, крім того, має забезпечуватися спрацьовування захисту від перевищення швидкості, при перевищенні швидкості рівномірного ходу на 15%. При цьому необхідно забезпечити роботу захисту на малій швидкості при підході маси до верхньої і нижньої прийомним ділянкам і до жорстких провідників зі швидкістю не більше 1 м/с при спуску-підйомі людей і не більше 1,5 м/с при спуску-підйомі вантажу.

Необхідно враховувати, що діапазон регулювання швидкості підйомної установки з приводом постійного струму може становити від 30 до 50

(швидкості до 16 м/с), таким чином, датчик швидкості повинен при роботі в нижньому діапазоні швидкості на швидкості рівній 0,15 - 0,3 від номінальної швидкості забезпечувати допустиму точність при часу встановлення вимірювання не перевищуючи 0,1 с.

В даний час найчастіше використовуються два методи вимірювання швидкості обертання, а точніше, частоти надходжених імпульсів, кратною частоті обертання валу. Перший спосіб полягає у вимірюванні числа імпульсів за період часу, що можна описати виразом:

$$\omega_{\phi} = \frac{2\pi \cdot N_t}{N_d \cdot T} \quad (3.1)$$

де ω_{ϕ} – швидкість обертання барабана, об/сек;

$T = t_n - t_{n-1}$ – період дискретизації, с;

$N_t = N_n - N_{n-1}$ – число імпульсів за період дискретизації;

N_n – кількість підрахованих імпульсів в момент вибірки n ;

N_d – дозвіл інкрементного шифратора, імп/об;

n – номер вибірки;

$n-1$ – попередня вибірка.

Другий спосіб – вимір інтервалів між імпульсами шляхом його заповнення еталонною частотою з подальшим підрахунком числа імпульсів, що описується виразом:

$$\omega_{\phi} = \frac{\varphi}{t_c} = \frac{2\pi}{N_d \cdot N_c T_c} \quad (3.2)$$

де N_c – число імпульсів з періодом T_c , відрахованих за інтервал часу між двома імпульсами датчика швидкості.

Перехід з першого способу вимірювання швидкості на другий необхідно здійснювати за однакової кількості помилки при обчисленні швидкості за виразами 3.1 і 3.2.

Абсолютна похибка при непрямому вимірі визначається як сума частинних диференціалів за значущими компонентам з подальшою заміною

диференціалів на відповідні абсолютні похибки і вибором знаків таким чином, щоб отримувана помилка була максимальною [17]:

$$\Delta\omega_{\delta} = \sqrt{\left(\frac{\partial\omega_{\delta}}{\partial N_t}\right)^2 \Delta N_t^2 + \left(\frac{\partial\omega_{\delta}}{\partial T}\right)^2 \Delta T^2} \quad (3.3)$$

$$\Delta\omega_{\delta} = \sqrt{\left(\frac{2\pi}{N_d \cdot T}\right)^2 \Delta N_t^2 + \left(\frac{2\pi}{N_d \cdot N_t T^2}\right)^2 \Delta T^2} \quad (3.4)$$

Стабільність тактового генератора, який забезпечує відліки часу складає близько $\Delta T = 1 \cdot 10^{-7} \text{ с}$, тому можна прийняти, що абсолютна похибка вимірювання швидкості залежить тільки від кількості порахованих імпульсів за вказаний інтервал часу, який виражається першим членом (3.4):

$$\Delta\omega_{\delta} = \frac{2\pi}{N_d \cdot T} \Delta N_t \quad (3.5)$$

Звідки, відносна помилка за умови відхилення вимірювання $\Delta N_t = 1$:

$$\varepsilon_{\omega} = \frac{\Delta\omega}{\omega} = \frac{2\pi}{N_d \cdot T \cdot \omega} \quad (3.6)$$

З (3.6) видно, що зі зменшенням швидкості відносна помилка (ε_{ω}), зростає. Залежність ε_{ω} для різних N_d при $\omega = 0,04 - 3,67 \text{ рад/с}$ приведена на рис. 3.2.

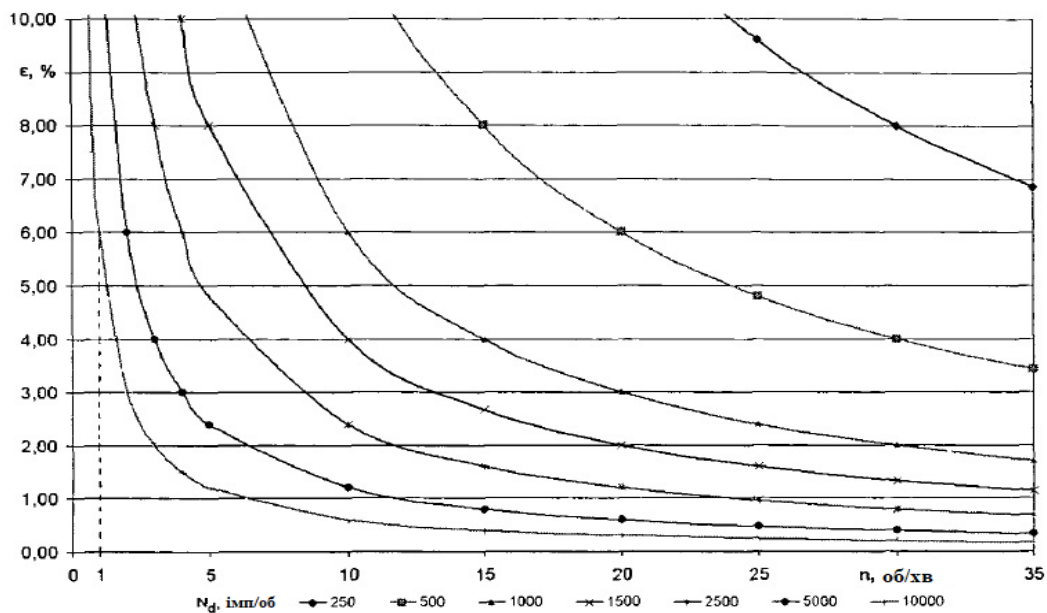


Рис. 3.2. Залежність відносної похибки від швидкості.

При обчисленні швидкості за виразом (3.2), абсолютна помилка може бути знайдена як:

$$\Delta\omega_{\delta} = \sqrt{\left(\frac{2\pi}{N_d \cdot T_c N_c^2}\right)^2 \Delta N_c^2 + \left(\frac{2\pi}{N_d \cdot T_c^2 N_c}\right)^2 \Delta T^2} \quad (3.7)$$

Беручи, як і в (3.4) і нехтуючи другим членом:

$$\Delta\omega_{\delta} = \frac{2\pi}{N_d \cdot T} \Delta N_t \quad (3.8)$$

Виражаючи N_c з (3.2), отримаємо:

$$N_c = \frac{2\pi}{N_d T_c \omega_{\delta}} \quad (3.9)$$

Підставляючи (3.9) в (3.8), отримаємо:

$$\Delta\omega_{\delta} = \frac{N_d T_c \omega^2}{2\pi} \Delta N \quad (3.10)$$

Звідки, відносна помилка за умови відхилення вимірювання $\Delta N_t = 1$:

$$\varepsilon_{\omega} = \frac{\Delta\omega}{\omega} = \frac{N_d T_c \omega}{2\pi} \quad (3.11)$$

З (3.11) видно, що, на відміну від (3.6), відносна помилка (ε_{ω}) лінійно зростає зі збільшенням швидкості. Залежність ε_{ω} для різних N_d при $\omega = 0,0 - 3,67$ рад/с (0 – 35 об/хв) приведена на рис. 3.3.

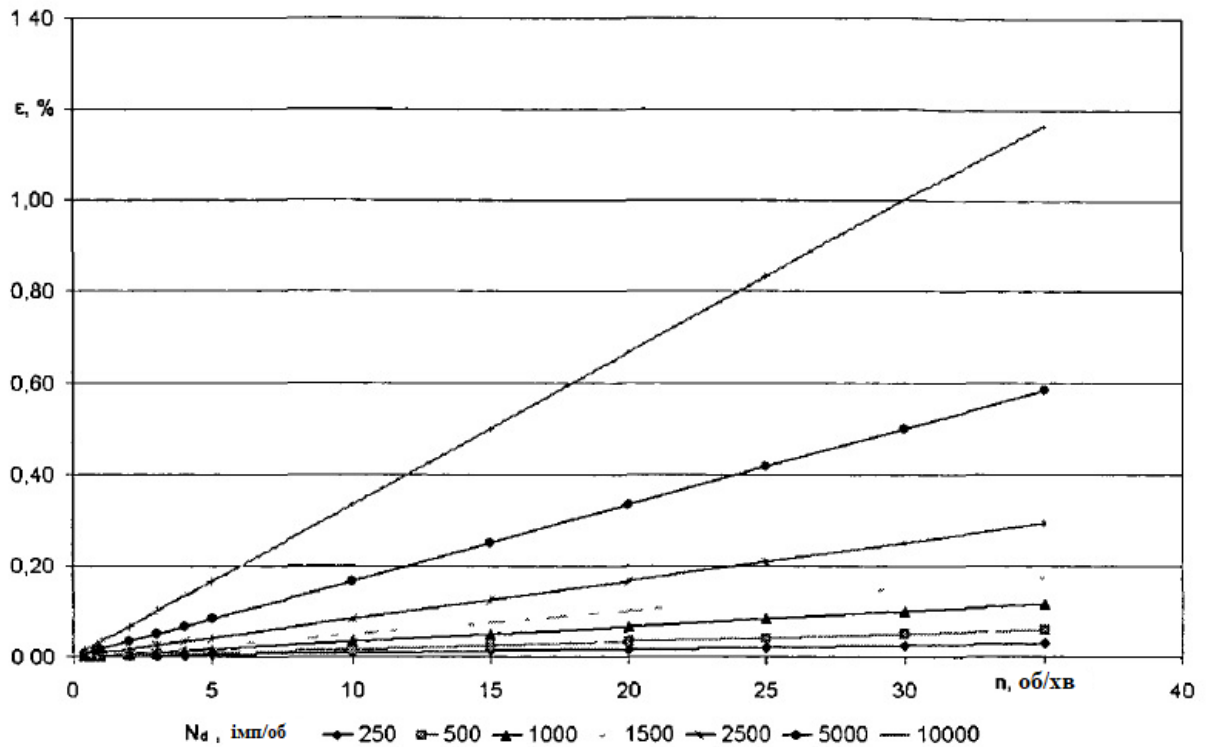


Рис. 3.3. Залежність відносної похибки від швидкості.

Для того щоб знайти момент, коли помилки будуть рівні, порівнюємо праві частини (3.5) і (3.8)

$$\frac{2\pi}{N_d \cdot T} = \frac{2\pi}{N_d \cdot T_c \cdot N_c^2}, \quad (3.12)$$

звідки отримаємо, що перехід з (3.1) на (3.2) повинен здійснюватися в той момент, коли лічильник таймера, підраховуючого імпульси, містить число N_c , визначається виразом:

$$N_c = \sqrt{\frac{T}{T_c}} \quad (3.13)$$

або переходячи до швидкості, коли швидкість більше величини визначається, як:

$$\omega_p = \frac{2\pi}{N_d} \frac{1}{\sqrt{T \cdot T_c}} \quad (3.14)$$

Лінійну швидкість підйомного маси v_c , з урахуванням діаметра барабана, можна визначити, як:

$$v_c = \frac{\omega_{\delta} \cdot D_{\delta}}{2} \quad (3.15)$$

де D_{δ} – діаметр барабана підйомної машини з урахуванням обичайки, м.

Тоді, з урахуванням виразу (3.10), вирази (3.4) і (3.8) перетворені до лінійної швидкості підйомної маси отримують вид – на високій швидкості:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D_{\delta} (N_n - N_{n-1})}{N_d \cdot T}, \quad (3.16)$$

на малій швидкості:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D_{\delta}}{N_d \cdot N_c T_c} \quad (3.17)$$

де v_c – лінійна швидкість руху підйомної маси, м/сек.

Як видно з залежностей на рис. 3.5 і 3.6 для вимірювання швидкості на високій швидкості необхідно використовувати метод вимірювання шляхом підрахунку імпульсів за період часу, а на малій - метод вимірювання шляхом заповнення тактовою частотою, що дозволить вимірювати з точністю понад 1% у всьому діапазоні роботи підйомної установки, при цьому використовуються датчики швидкості з невеликою роздільною здатністю 1000 – 2500 імп/оборот.

При використанні інкрементного шифратора, положення підйомних мас обчислюється відповідно до виразу:

$$h_c = \frac{\pi \cdot D_{\delta} \cdot N_{\delta}}{k \cdot N_d} \quad (3.18)$$

де D_{δ} – діаметр барабана підйомної машини, м;

h_c – поточний стан підйомної маси, м;

k – коефіцієнт передачі редуктора між барабаном і валом шифратора;

N_{δ} – число порохованих імпульсів;

N_d – число імпульсів на один оборот шифратора.

Модуль обчислення положення і швидкості підйомних мас містить два роздільних канали вимірювання ФІД₁ і ФІД₂. Вхідним сигналом кожного каналу є кут повороту валу машини, вихідним - положення підйомних мас (h_1

h_2), напрямом руху підйомної машини вперед (VD_Frw) або назад (VD_Bkw) і величина швидкості, обчислена за першим та другим каналах (V_1, V_2). Алгоритмічна структура модуля обчислення положення і швидкості підйомних мас приведена на рис. 3.4.

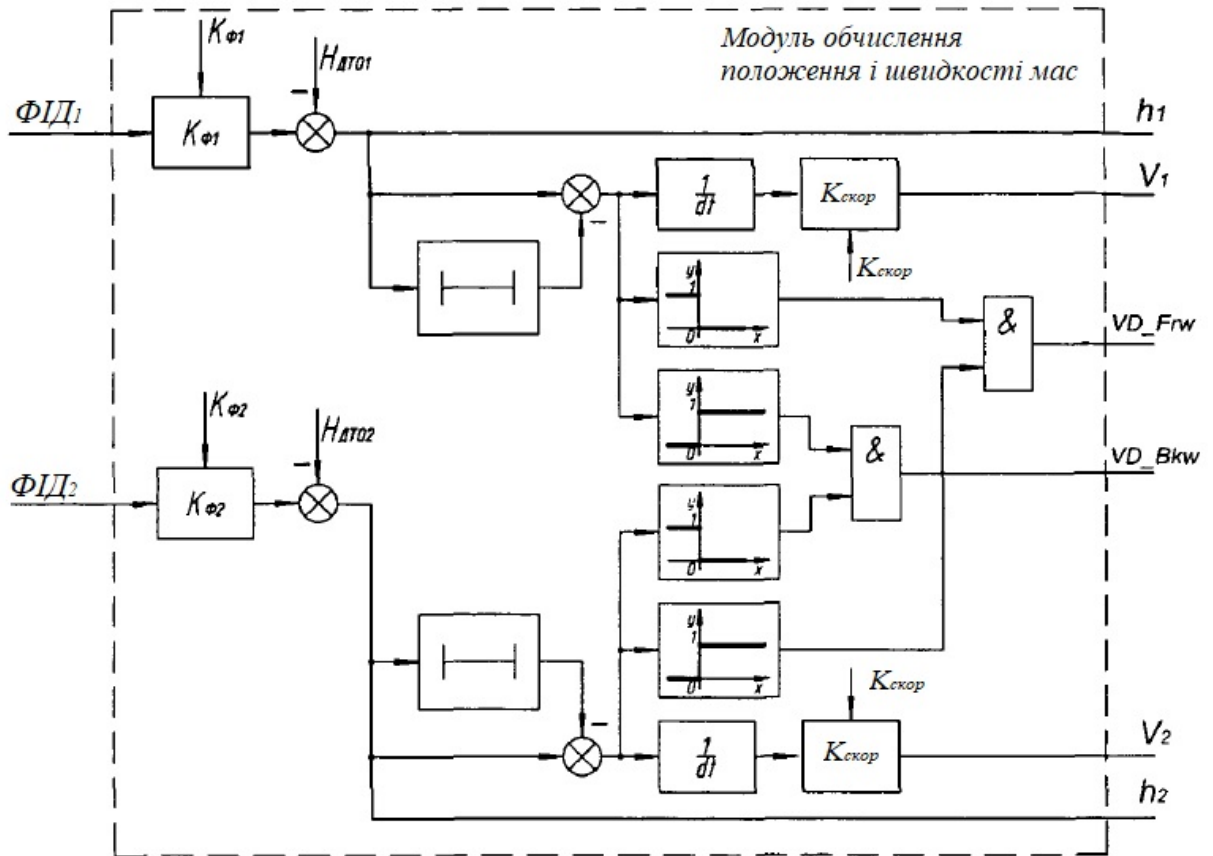


Рис. 3.4. Алгоритмічна структура модуля обчислення положення і швидкості

Для забезпечення вимог правил безпеки [10] положення підйомної маси має вимірюватися з точністю Δh не менше 0,1 м.

Перетворюючи (3.18), можна визначити необхідну роздільну здатність інкрементного шифратора або роздільну здатність на один оборот для абсолютного багатооборотного шифратора N_i імп/об.

$$N_i > \frac{\pi \cdot D_6}{k_i \cdot \Delta h}, \quad (3.19)$$

де D_6 – діаметр барабана підйомної машини, м;

Δh – необхідна точність вимірювання положення, м;

k_i – коефіцієнт передачі редуктора від барабана до валу шифратора;

N_i – необхідне число імпульсів на один оборот шифратора.

Необхідну кількість обертів для багатооборотного шифратора можна знайти як:

$$N_0 > \frac{H_{cm} \cdot k_t}{\pi \cdot D_{\delta}}, \quad (3.20)$$

де H_{cm} – глибина ствола, м

N_0 – необхідне число обертів шифратора;

Алгоритм цифрової фільтрації сигналу швидкості. Як показано вище для вимірювання швидкості на низьких швидкостях необхідно використовувати метод вимірювання заповненням стандартною частотою, проте цей метод більш чутливий до наявності до помилкових імпульсів і провалів, які можуть з'являтися через люфти в механічних передачах, що може призводити до помилкового значення швидкості.

Усунення аномальних викидів і виділення $y(t)$ з достатньою для практики надійністю і точністю може бути здійснено застосуванням фільтра релейно-експоненціального згладжування з функцією «зрізання» виду:

$$y_i(t) = \begin{cases} \Delta, & \text{якщо } \delta \geq \Delta \\ y_{i-1}(t) + \alpha \cdot (q_i - y_{i-1}), & \text{якщо } -\Delta < \delta < \Delta, \\ -\Delta, & \text{якщо } \delta \leq -\Delta \end{cases} \quad (3.21)$$

або його модифікації, в якій для розрахунку дискретних значень сигналу використовується метод трапецій:

$$y_i(t) = \begin{cases} \Delta, & \text{якщо } \delta \geq \Delta \\ y_{i-1}(t) + \alpha \cdot \left(\frac{q_i - q_{i-1}}{2} - y_{i-1} \right), & \text{якщо } -\Delta < \delta < \Delta, \\ -\Delta, & \text{якщо } \delta \leq -\Delta \end{cases} \quad (3.22)$$

де q_i – вимірне значення сигналу;

Δ – величина порога, яку не повинен перевищувати відфільтрований сигнал $y(t)$::

$$\Delta = (2 - 3) \cdot \sigma_y + \Delta^*,$$

де Δ^* – максимально можливе збільшення корисного сигналу $x(t)$;

σ_y – середньоквадратичне відхилення $y(t)$ без урахування грубих викидів:

$$\delta_i = \frac{q_i - q_{i-1}}{2} - y_{i-1}$$

α – коефіцієнт фільтрації, що розраховується за формулою:

$$\alpha = \frac{T_u}{T_\phi},$$

де T_ϕ – постійна часу фільтра;

T_u – проміжок часу між тактами обробки сигналу.

Значення α рекомендується вибирати в межах від 0,1 до 0,8.

З виразів впливають умови, на основі якого проводиться виділення і фіксація викидів: виміряне значення $y(t)$ контрольованого сигналу належить до викидів, якщо $[y_i(t) - y_{i-1}(t)] > \sigma_y$.

На рис. 3.5 наведені порівняльні графіки відпрацювання фільтрами $y_{pe}(t)$ і $y_{mp}(t)$ викидів за значеннями в лічильнику швидкості.

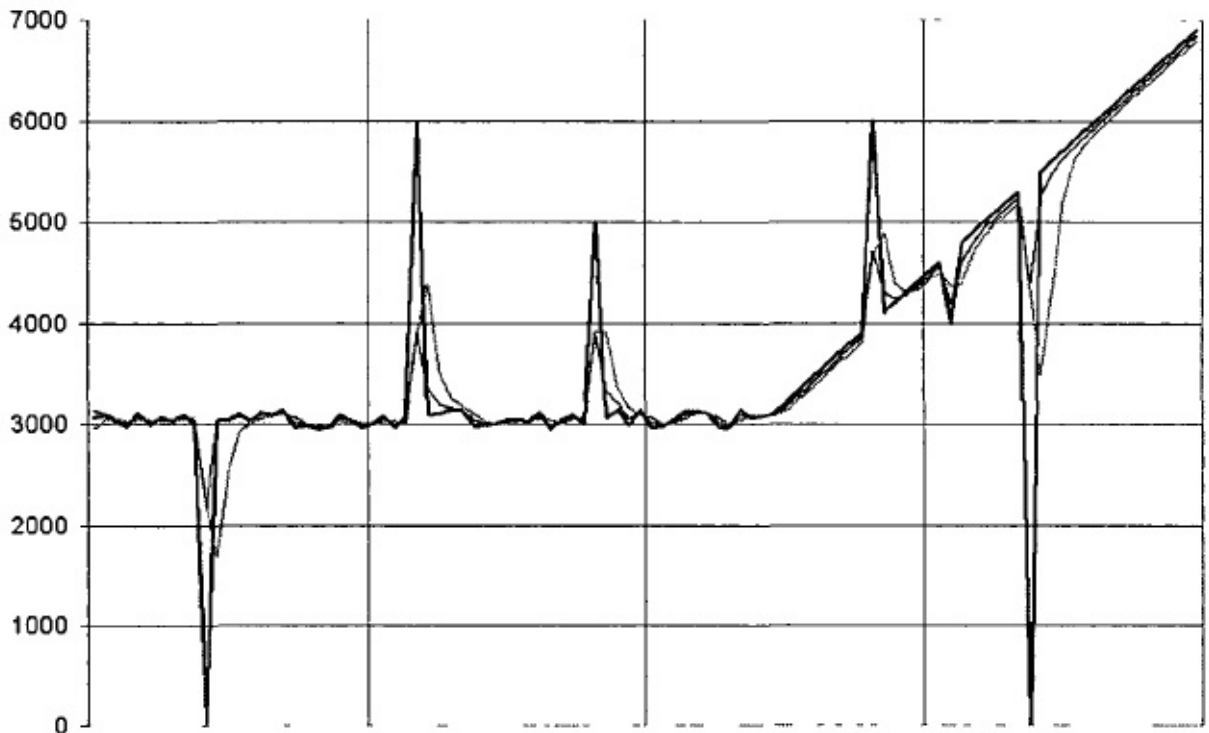


Рис. 3.5. Порівняння релейно-експоненційних фільтрів різних типів

Як видно з рис. 3.5 фільтр (3.22) забезпечує більш плавну фільтрацію сигналу при меншій його зрізці, при цьому відстаючи від фільтра (3.21). Оскільки основним при обчисленні положення і швидкості є саме відкидання помилкових значень сигналу, то в основу алгоритму виділення дійсного значення швидкості покладено фільтр релейно-експоненціального згладжування описуваний виразом (3.21).

3.3 Алгоритми формування оптимальної за продуктивністю діаграми руху

Як було показано у другому розділі, для формування оптимальної за продуктивністю тахограми необхідно автоматично вибирати точку початку уповільнення підйомної маси h_{IV} . При цьому синтезований блок керування повинен забезпечувати мінімальний час циклу (максимальну продуктивність) за умови того, що не буде порушуватися захисна тахограма швидкості на будь-якій з ділянок руху підйомної маси $(\Delta h_1, \Delta h_2, \dots, \Delta h_n)$, а також спрацьовувати захист від перепідйому. Таким чином, при реалізації алгоритму керування необхідно забезпечити наступні показники:

$$t_u = \int_0^H \frac{v}{h} dh \rightarrow \min$$

$$\Delta h = \int_0^t \Delta v dt \rightarrow \min,$$
(3.23)

при $v_c(\Delta h_1, \Delta h_2, \dots, \Delta h_n) < v_3(\Delta h_1, \Delta h_2, \dots, \Delta h_n)$

де Δh – помилка за шляхом уповільнення; Δv – середня встановлена помилка за швидкістю підйомної маси; t_u – час циклу; v_c – швидкість підйомної маси; H – глибина підйому.

При цьому уповільнення підйомної машини повинно знаходитися в межах регламентованих ПБ і ОНТП не перевищуючи значення 1,0 м/с.

Для вирішення поставленої задачі блок керування повинен реалізовувати наступні функції:

1. Перемикання на уповільнення згідно швидкості $h_{ny} = f(v_c)$;
2. Впливати на задаючий пристрій для забезпечення мінімальної помилки за шляхом уповільнення $\Delta h, \Delta u_k = f(h_c, v_c)$;
3. Забезпечувати усунення аварії перепідйому, і помилкового спрацьовування аварії перепідйому при переході з порожнього скіпа на навантажений, або при роботі одним скіпом, для чого враховувати вплив статичного подовження каната при підході до точки точної зупинки.

3.3.1 Алгоритм автоматичного формування точки початку уповільнення

Принцип автоматичного формування точки початку уповільнення показаний на рис. 3.6, звідки видно, що для забезпечення мінімального часу циклу точка початку уповільнення повинна лежати на прямій А, тобто змінюватися в залежності від швидкості, а при переході на етап дотягування і в залежності від завантаження підйомної маси.

Таким чином, початок уповільнення необхідно формувати в функції швидкості і струму з урахуванням обмежень, що накладаються системою регулювання і точністю вимірювання швидкості і положення:

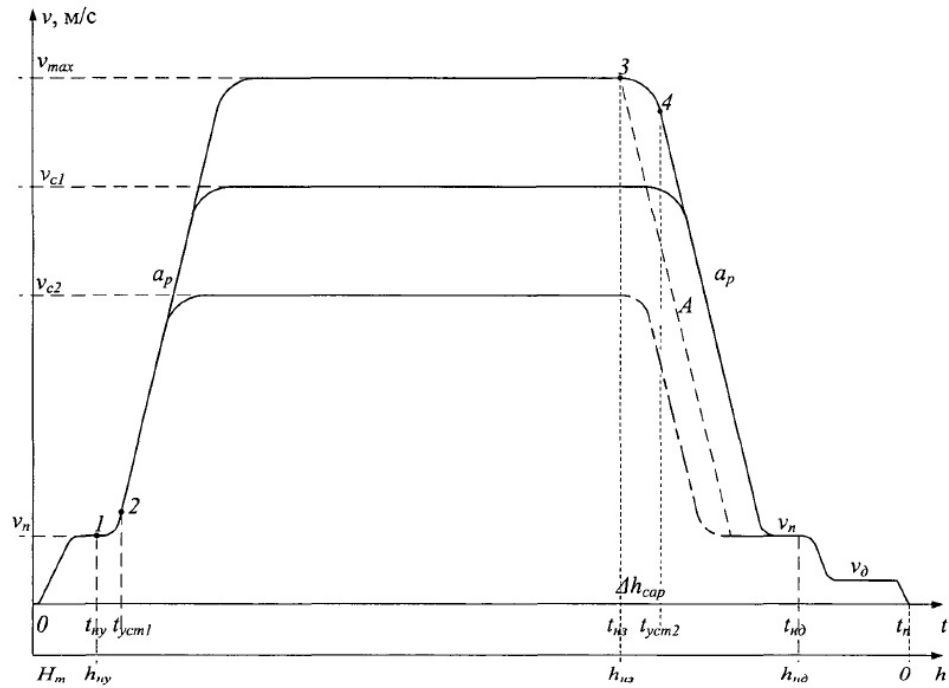


Рис. 3.6. Принцип автоматичного формування точки початку уповільнення

При цьому фактично ідеальною кривою уповільнення може вважатися розрахункова захисна діаграма швидкості, яка визначається за виразом:

$$v_3(h) = \sqrt{2a_3(h_3 - h_{\text{дом}}) + v_{\text{дом}}^2}, \quad (3.24)$$

де a_3 – уповільнення підйомної маси, яке визначається як:

$$a_3 = \frac{1,15^2 v_{\text{max}}^2 - v_n^2}{v_{\text{max}}^2 - v_{\text{д}}^2}; \quad (3.25)$$

$h_{\text{дом}}$ – точка початку кривих;

h_c – поточний стан підйомної посудини;

$v_{\text{дом}}$ – швидкість руху в кривих;

v_n – швидкість підходу до кривих.

Однак, використовувати її як траєкторію по якій повинна проходити підйомна маса неможливо, так як поряд з нею є заборонена зона при русі в якій розкид параметрів системи керування і зовнішніх (дублюючих) обмежувачів швидкості може привести до перетину захисної тахограми і запобіжного гальмування.

Можна виділити наступні обмеження, що визначають ширину забороненої зони, що не дозволяють нам наблизитися впритул до захисної тахограми:

- швидкісна помилка системи регулювання;
- помилка вимірювання швидкості при уповільненні;
- помилка вимірювання положення підйомної маси.

В [7] показано, що помилки вимірювання положення і швидкості при використанні шифраторів складають менше 1%, тому при використанні в якості дублюючого обмежувача швидкості цифрового апарату побудованого за пропонованою в даній роботі методикою дозволяє її виключити. У цьому випадку помилка буде визначатися тільки САРС, як було показано в розділі 2.

В роботі [9] показано, що траєкторію швидкості на ділянці уповільнення

можна визначити співвідношенням:

$$v_c = \begin{cases} v_s, & \text{при } v_1 < v_s < v_{\max} \\ v_{\max}, & \text{при } v_s \geq v_{\max} \end{cases}, \quad (3.26)$$

де $v_s(h)$ визначається за виразом:

$$v_s(h) = -v_0 + \sqrt{2a_0(h_n - h_{\text{дом}} - h_0) + v_0^2} \quad (3.27)$$

Момент переходу на швидкість дотягування при автоматичному формуванні точки початку уповільнення, без урахування внесених САРС похибок можна ідентифікувати функцією перемикання виду:

$$v_{\text{nep}}(h) = -v_{\text{nep1}} + \sqrt{2a_{m2}(h_c - h_{\text{дом}}) + v_{\text{nep0}}^2}, \quad (3.28)$$

де $v_{\text{nep0}}, v_{\text{nep1}}, v_{\text{nep2}}$ – вторинні параметри тахограми;

$$v_{\text{nep0}} = v_{\text{nep1}} + v_{\text{nep2}};$$

$$v_{\text{nep1}} = \frac{a_{m1}^2}{2\rho_{m1}},$$

$$v_{\text{nep2}} = \frac{a_{m2}^2}{2\rho_{m2}}.$$

Таким чином, перетворюючи (3.28) і враховуючи швидкість руху в розвантажувальних кривих, отримаємо:

$$h_{нз}(v_c) = \frac{v_c^2 - v_n^2 - \frac{a_{m2}^2}{2\rho_{m2}}}{2a_3} + \Delta h_{cap} + h_o, \quad (3.29)$$

де v_c – поточна швидкість маси, м/с;

v_n – швидкість підходу до кривих, м/с;

$h_{ом}$ – точка входу в криві;

Δh_{cap} – відставання дійсної діаграми швидкості від заданої, внесене системою регулювання.

Відставання дійсної діаграми швидкості від заданої, що вноситься системою регулювання з ПІ регулятором ЕРС, є швидкісна помилка системи:

$$\varepsilon_{cm}^{шв} = \frac{k_u T_u}{k_e k_{pe}} a_3 \quad (3.30)$$

Місцезнаходження мас на основі інформації про поворот робочого органу може бути обчислено, як:

$$h_c = R_o \cdot \varphi_o, \quad (3.31)$$

де φ – кут повороту барабану, рад;

R_o – радіус барабана.

Обчислюючи поточне значення $h_{нз}$ для дійсної швидкості під час кожного циклу підйому, незалежно від швидкості буде забезпечений підхід до тієї ж кінцевої точки шляху, як і при роботі на максимальній швидкості.

Точку переходу від швидкості підходу до швидкості руху в кривих необхідно формувати з урахуванням впливу статичного подовження каната.

Статичне подовження Δh_{cn} вертикально висячого канату довжиною L , навантаженого кінцевим навантаженням P від маси підйомної маси і навантаженням P_k від маси струни каната, може бути знайдено з виразу:

$$\Delta h_{cn} = \frac{(P_c + 0,5 \cdot P_k)L}{\bar{e}Ed^2Q_c}, \quad (3.32)$$

де P_K – маса погонного метру каната, кг/м;

\bar{e} – коефіцієнт, що враховує зменшення граничної жорсткості каната в порівнянні з суцільним сталевим стрижнем, площа якого дорівнює сумарній площі всіх дротів канату.

E – модуль пружності сталі, $E = 2,06 \cdot 10^5 \text{ Н / мм}^2$;

d – діаметр головного канату;

Q_c – розрахунковий параметр, що враховує заповнення металом площі поперечного перерізу каната $Q_c = 0,389$.

Тоді з урахуванням (3.32):

$$h_{н\delta} = \frac{v_c^2 - v_{\delta\delta om}^2}{2a_3} - \frac{(P_c + 0,5 \cdot P_K)h_{н\delta}}{\bar{e}Ed^2\bar{Q}_c} \quad (3.33)$$

Відомо, що для двигуна постійного струму зв'язок між моментом і струмом визначається як [12]:

$$M_{\delta} = k\Phi \cdot I_{я} \quad (3.34)$$

Зв'язок між вагою вантажу, що піднімається і зусиллям на барабані підйомної машини визначається співвідношенням:

$$P_{ep} = \frac{M_{ep}}{R_{\delta}g} \quad (3.35)$$

Тоді, враховуючи (3.33) і (3.35) отримаємо:

$$h_{н\delta} = \frac{(v_c^2 - v_{\delta\delta om}^2) \cdot \bar{e}Ed^2\bar{Q}_c}{2a_3 \left(\frac{M_{ep}}{R_{\delta}g} + 0,5 \cdot P_K + \bar{e}Ed^2\bar{Q}_c \right)} \quad (3.36)$$

Таким чином, функції перемикання для блоку керування визначаються як:

$$\left. \begin{aligned} h_{нз}(v_c) &= \frac{v_c^2 - v_{\delta\delta om}^2 - \frac{a_{m2}^2}{2\rho_{m2}}}{2a_3} + \Delta h_{cap} + h_{\delta} \\ h_{н\delta}(v_c, I_{я}) &= \frac{(v_c^2 - v_{\delta\delta om}^2) \cdot \bar{e}Ed^2\bar{Q}_c}{2a_3 \left(\frac{M_{ep}}{R_{\delta}g} + 0,5 \cdot P_K + \bar{e}Ed^2\bar{Q}_c \right)} \end{aligned} \right\} \quad (3.37)$$

Статичний момент на валу двигуна для неврівноваженої підйомної установки визначається двома складовими:

$$M_{cm}(h) = M_{cm.зр} + M_{cm.кан}(h),$$

де $M_{cm}(h)$ – повний статичний момент;

$M_{cm.зр}$ – статичний момент, який визначається корисним вантажем;

$M_{cm.кан}(h)$ – статичний момент, який спричиненої масою канату;

Алгоритм визначення маси вантажу в трьох точках наступний:

1. Після спрацьовування сигналу «початок прискорення» починається циклічне відстеження руху скіпів з виконанням на початку кожного циклу послідовності основних операцій і подальшим контролем швидкості. Якщо по завершенні чергового циклу буде з'ясовано, що швидкість стабілізувалася (середнє прискорення, отримане в останніх 10 циклах не перевищує величину 0,01 м/с), встановлюється прапор закінчення розгону.

2. Вимірюється повний статичний момент двигуна при знаходженні маси на глибині h_c ;

3. Статичне зусилля, що вноситься канатом, визначається з основного рівняння динаміки підйому М.М. Федорова як $M_K = R_o[\rho_K(H_{II} - 2h_c)]g$;

4. Визначається момент створюваний корисним вантажем $M_{cm.зр} = M_{cm} - M_K$.

5. Подібні вимірювання проводяться ще два рази причому один з них при $h_c = 1/2H_{II}$, тобто в середині стовбура, коли маса головних канатів і мас повинна компенсуватися;

6. Обчислюється середнє $M_{зр.см} = \frac{\sum_{i=1}^n M_{зр.см}[i]}{n}$ (3.38)

Послідовність роботи алгоритму самоналаштування і визначення Δh_{cap} наступна:

1. У режимі «налаштування» при перегоні порожньої маси (необхідно для того щоб розгін відбувався не на струмообмеженні) фіксується час надходження сигналу «початок прискорення» (точка 1 на рис. 3.6).

2. Починається відстеження виходу машини на постійне прискорення (точка 2 на рис. 3.6). Якщо по завершенні чергового циклу буде з'ясовано, що прискорення стабілізувалося (зміна прискорення, отриманого в останніх 10 циклах, не перевищує величину $0,025 \text{ м/сек}^2$), то розраховується час t_{cap} і шлях Δh_{cap} , прохідний підйомною масою. Дані параметри використовуються при формуванні сигналу «початок уповільнення».

4. При отриманні сигналу «початок уповільнення» фіксується час надходження сигналу (точка 3 рис. 3.6).

5. Починається відстеження виходу машини на постійне уповільнення (точка 4 на рис. 3.6). Якщо після завершення чергового циклу буде з'ясовано, що уповільнення стабілізувалось (зміна прискорення, отриманого в останніх 10 циклах, не перевищує величину $0,025 \text{ м/сек}$), то розраховується час t_{cap} і шлях Δh_{cap} , прохідний підйомною масою.

6. Отримані в п.5 значення використовуються в подальшій роботі системи, і коригується кожен цикл.

3.3.2 Алгоритм керування динамічним струмом в режимі уповільнення підйомної машини

Автоматичне формування точки початку уповільнення дозволяє скорегувати і забезпечити однаковий підхід до розвантажувальних кривих в незалежності від сталої швидкості, проте, вираз (3.37) не враховує те, що робоче уповільнення може змінюватися, через зміни параметрів електромеханічної системи ПМ. Таким чином, при уповільненні необхідно підтримувати постійне значення динамічного струму, тобто перебувати на кривій швидкості, що забезпечує оптимальне наближення до точки зупинки

незалежно від завантаження підйомної маси. Це можна забезпечити, змінюючи значення уповільнення, впливом на задаючий пристрій.

Як впливає з виразу (2.10), в процесі уповільнення підйомної машини після формування сигналу «початок уповільнення» сигнал заданої швидкості буде лінійно змінюватися відповідно до виразу:

$$u_{zi}(t) = u_{zi\max} - \frac{u_p}{T_{zi}} t, \quad (3.39)$$

де T_{zi} – постійна інтегрування задаючого пристрою;

u_p – обмеження релейного елемента.

При цьому відношення $\frac{u_p}{T_{zi}}$ визначає швидкість зміни вихідного сигналу. Таким чином, змінюючи обмеження релейного елемента, можна змінювати швидкість наростання (спадання) сигналу.

Залежність швидкості від положення підйомної маси описується виразом:

$$v_3(h) = -v_{nep}(h) + \sqrt{2a_m(h_c - h_0) + v_n^2}, \quad (3.40)$$

$$\text{де } v_{nep}(h) = \frac{a_m^2}{2\rho_m},$$

тоді помилку за швидкістю можна знайти, як:

$$\varepsilon_v = \frac{v_3(h) - v_c(h)}{v_3(h)} \cdot 100\% \quad (3.41)$$

Для реалізації описаних правил, як функцій приналежності обрані наступні функції: трапецеїдальна (μ_{mp}), трикутна (μ_{mf}), Z-лінійна (μ_z) і S-лінійні (μ_s) функції, які визначаються виразами:

$$\mu_{mp}(\varepsilon_v) = \begin{cases} 0, & \text{при } \varepsilon_v \leq a \\ \frac{\varepsilon_v - a}{b - a}, & \text{при } a \leq \varepsilon_v \leq b \\ 1, & \text{при } b \leq \varepsilon_v \leq c \\ \frac{d - \varepsilon_v}{d - c}, & \text{при } c \leq \varepsilon_v \leq d \\ 0, & \text{при } d \leq \varepsilon_v \end{cases}, \quad (3.42) \quad \mu_{mf}(\varepsilon_v) = \begin{cases} 0, & \text{при } \Delta\varepsilon_v \leq a \\ \frac{\Delta\varepsilon_v - a}{b - a}, & \text{при } a \leq \Delta\varepsilon_v \leq b \\ 1, & \text{при } b \leq \Delta\varepsilon_v \leq c \\ \frac{d - \Delta\varepsilon_v}{d - b}, & \text{при } c \leq \Delta\varepsilon_v \leq d \\ 0, & \text{при } d \leq \Delta\varepsilon_v \end{cases}, \quad (3.43)$$

$$\mu_Z(\varepsilon_v) = \begin{cases} 1, & \text{при } -\infty < \Delta\varepsilon_v \leq c \\ \frac{d - \varepsilon_v}{b - c}, & \text{при } c \leq \varepsilon_v \leq d, \\ 0, & \text{при } \varepsilon_v > d \end{cases} \quad (3.44) \quad \mu_S(\varepsilon_v) = \begin{cases} 0, & \text{при } \varepsilon_v \leq a \\ \frac{\varepsilon_v - a}{b - a}, & \text{при } c \leq \varepsilon_v \leq b, \\ 1, & \text{при } \varepsilon_v > b \end{cases} \quad (3.45)$$

де a – точка, до якої значення функції приналежності дорівнює 0, а після починає зростати;

b – точка, в якій значення функції приналежності рівне 1;

c – точка, до якої значення функції приналежності дорівнює 1, а після якої починає зменшуватися;

d – точка, в якій значення функції приналежності рівне 0.

При цьому функції приналежності крайніх умов (S- і Z-лінійні функції) обрані так, щоб їх ступені приналежності на межах інтервалів були рівні одиниці. Ширина основи функції приналежності швидкісної помилки вибиралася виходячи з того, що фатальна помилка вимірювання швидкості, може досягати одного відсотка і її наявність не повинна викликати постійних переключень задаючого пристрою.

Ширина основи для трикутних функцій приналежності швидкості зміни помилки приймалася рівній подвоєній зміні прискорення при зміні релейного елемента на один крок.

Функції приналежності показані на рис. 3.7 (умовні позначення: ДШЗ – «дуже швидко зменшується», ШЗ – «швидко зменшується», ПЗ – «повільно зменшується», Н – «норма», ПЗр – «повільно зростає», ШЗр – «швидко зростає», ДШЗр – «дуже швидко зростає»).

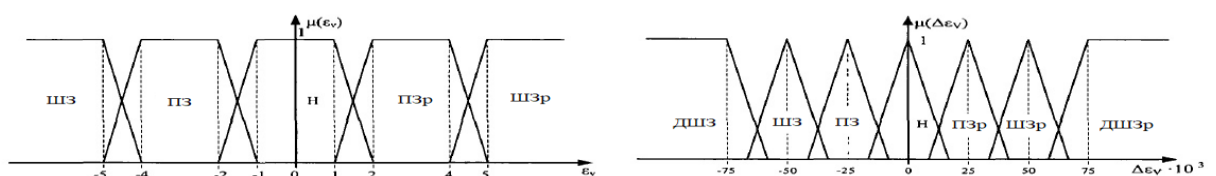


Рис. 3.7. Функція приналежності швидкісної помилки (зліва) та функція приналежності швидкості зміни помилки (справа).

Множина термів лінгвістичної змінної швидкості зміни помилки $T_{\Delta\varepsilon}$, як:

$$T_{\Delta\varepsilon} = \{\text{"ДШЗ"}, \text{"ШЗ"}, \text{"ПЗ"}, \text{"Н"}, \text{"ПЗр"}, \text{"ШЗр"}, \text{"ДШЗр"}\} \quad (3.46)$$

Множина термів лінгвістичної змінної, швидкісний помилки T_ε визначається як:

$$T_\varepsilon = \{\text{"ШЗ"}, \text{"ПЗ"}, \text{"Н"}, \text{"ПЗр"}, \text{"ШЗр"}\} \quad (3.47)$$

Число кроків, на яке зменшується обмеження релейного елемента задаючого пристрою також представлено у вигляді лінгвістичної змінної, множина термів T_{OPE} якої визначається, як:

$$T_{OPE} = \{-6, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 6\} \quad (3.48)$$

Вихідна значення OPE визначається як логічний висновок на основі застосування бази правил R :

$$OPE = R(\varepsilon_v, \Delta\varepsilon_v), \quad (3.49)$$

де R – база правил; ε_v – швидкісна помилка; $\Delta\varepsilon_v$ – швидкість зміни швидкісний помилки.

В якості способу логічного виведення використовується min-max виведення, при якому імплікація інтерпретується як операція мінімуму, а агрегація виходів правил як операція максимуму.

Таблиця 3.1. База правил блоку керування динамічним струмом

$\Delta\varepsilon_v$ \ ε_v	ДШЗ	ШЗ	ПЗ	Н	ПЗр	ШЗр	ДШЗр
ШЗ	-6	-4	-3	-2	-1	0	+1
ПЗ	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2
Н	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
ПЗр	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4
ШЗр	-1	0	+1	+2	+3	+4	+6

При зміні обмеження релейного елемента задаючого пристрою, необхідно враховувати, що для забезпечення безпечної роботи підйому, необхідно контролювати знаходження прискорення в допустимих межах від 0,5 до 1,0 м/с². Тоді правила, які визначають роботу блоку керування динамічним струмом формулюються наступним чином:

R_1 : Якщо помилка за швидкістю ШЗ і приріст помилки ДШЗ, і прискорення менше 1,0 м/с², то зменшити обмеження релейного елемента на 6 кроків;

.....

R_9 : Якщо помилка за швидкістю ПЗ і приріст помилки ШЗ, і прискорення менше 1,0 м/с², то зменшити обмеження релейного елемента на 3 кроки;

.....

R_{32} : Якщо помилка за швидкістю ШЗр і приріст помилки Н, і прискорення більше 0,5 м/с², то збільшити обмеження релейного елемента на 2 кроки.

При цьому, крок зміни обмеження релейного елемента прийнятий таким, щоб зменшення або збільшення РЕ на 1 змінювало прискорення на 0,025 м/с².

Дефазифікація здійснюється методом центра ваги:

$$y^* = \frac{\sum y_i B(y_i)}{\sum B(y_i)} \quad (3.50)$$

При цьому враховується, що система може змінювати крок тільки дискретно, тому отримане значення, округляється до найближчого цілого, яка наявне в множині термів лінгвістичної змінної.

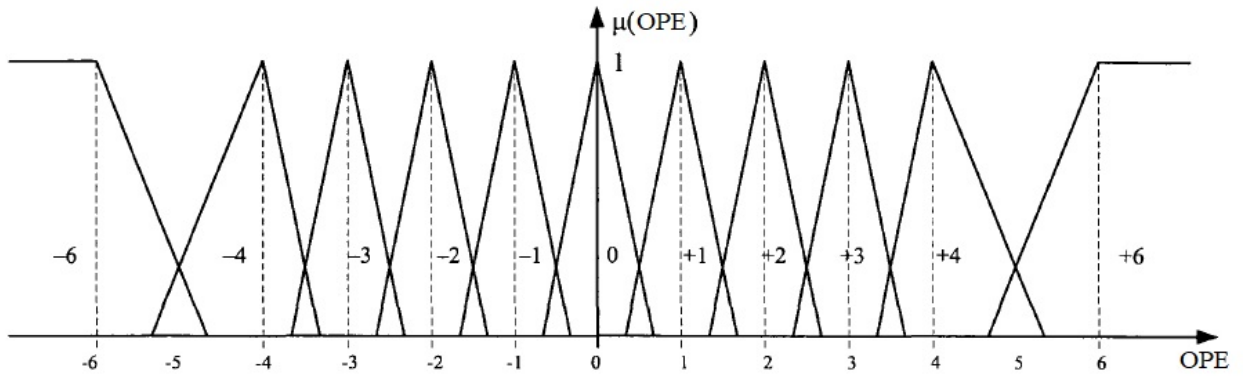


Рис. 3.8. Функція приналежності зміни обмеження релейного елемента

На рис. 3.9 представлена структура системи керування з блоком автоматично формуючим точку початку уповільнення (БК1) і блоком керування динамічним струмом, що компенсує відхилення від заданої швидкості (БК2) в процесі уповільнення.

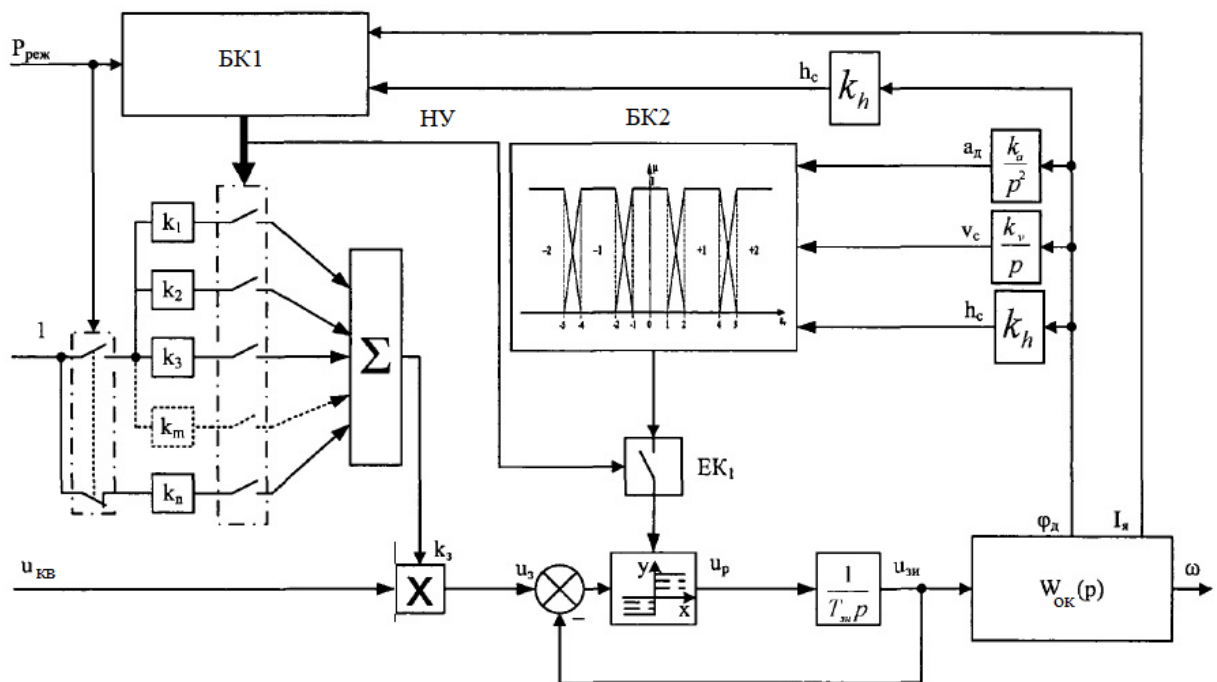


Рис. 3.9. Структура системи керування з блоком керування динамічним струмом

3.4 Модуль формування тахограми руху

Умови переходу з етапу на етап в стані можуть бути представлені виразами (3.51)–(3.54), (3.57) при роботі з основного горизонту, і виразами (3.56), (3.57), (3.58) при роботі з проміжного горизонту.

$$x_4 = \begin{cases} 1, \text{ при } h \leq h_u \\ 0, \text{ при } h > h_u \end{cases} \quad (3.51)$$

$$x_5 = \begin{cases} 1, \text{ при } v \geq 0,9 \cdot v_r \\ 0, \text{ при } v < 0,9 \cdot v_r \end{cases} \quad (3.52)$$

$$x_6 = \begin{cases} 1, \text{ при } h \leq h_z \\ 0, \text{ при } h > h_z \end{cases} \quad (3.53)$$

$$x_7 = \begin{cases} 1, \text{ при } v \leq v_d \\ 0, \text{ при } v > v_d \end{cases} \quad (3.54)$$

$$x_8 = \begin{cases} 1, \text{ при } h \leq h_d \\ 0, \text{ при } h > h_d \end{cases} \quad (3.55)$$

$$x_9 = \begin{cases} 1, \text{ при } (h < h_{zp}) \wedge x_3 \\ 0, \text{ при } (h < h_{zp}) \wedge x_3 \end{cases} \quad (3.56)$$

$$x_{10} = \begin{cases} 1, \text{ при } v < v_p \\ 0, \text{ при } v \geq v_p \end{cases} \quad (3.57)$$

$$x_{11} = \begin{cases} 1, \text{ при } h \leq h_{up} \\ 0, \text{ при } h > h_{up} \end{cases} \quad (3.58)$$

де h – поточне положення підйомної маси;

h_{nz} – початок уповільнення на основному горизонті;

h_d – точка входу в розвантажувальні криві;

h_{zp} – уповільнення на проміжний горизонт;

h_{up} – прискорення з проміжного горизонту;

v_r – проектна швидкість рівномірного ходу маси;

v_p – проектна швидкість підходу маси.

Додавання додаткової точки формування керуючого сигналу відбувається відповідно виразу:

$$x_m^t = \begin{cases} 1, \text{ при } h \geq h_m; \\ 0, \text{ при } h < h_m, \end{cases} \quad (3.59)$$

де h – порогове значення положення підйомної маси, на яку налаштовується апарат.

Таким чином, в залежності від значення змінної – перемикача формуватимуться точки початку уповільнення і руху в кривих, або на жорстко на налаштованій глибині, або динамічно, формуючи оптимальну тахограму.

Модуль формування шляхових сигналів на основі даних про стан підйомних мас (h), та інформації про режими роботи (ID_Revs , ID_Auto , ID_SubA) формує комбінацію логічних сигналів, для керування блоком задання рівня швидкості. При включенні режиму автоматичного формування точки початку уповільнення (ID_AuSp) точка $H_{нз}$ вимкнута сигнал $P_{нз}$ розраховується за виразом (3.32). Комбінація сигналів ($P_{ну}$, $P_{нз}$, $P_{нд}$) подається на вхід датчика інтенсивності системи автоматичного регулювання швидкості електроприводу. Алгоритмічна структура модуля формування шляхових сигналів, побудована на підставі виразів (3.51–3.58) приведена на рис. 3.10.

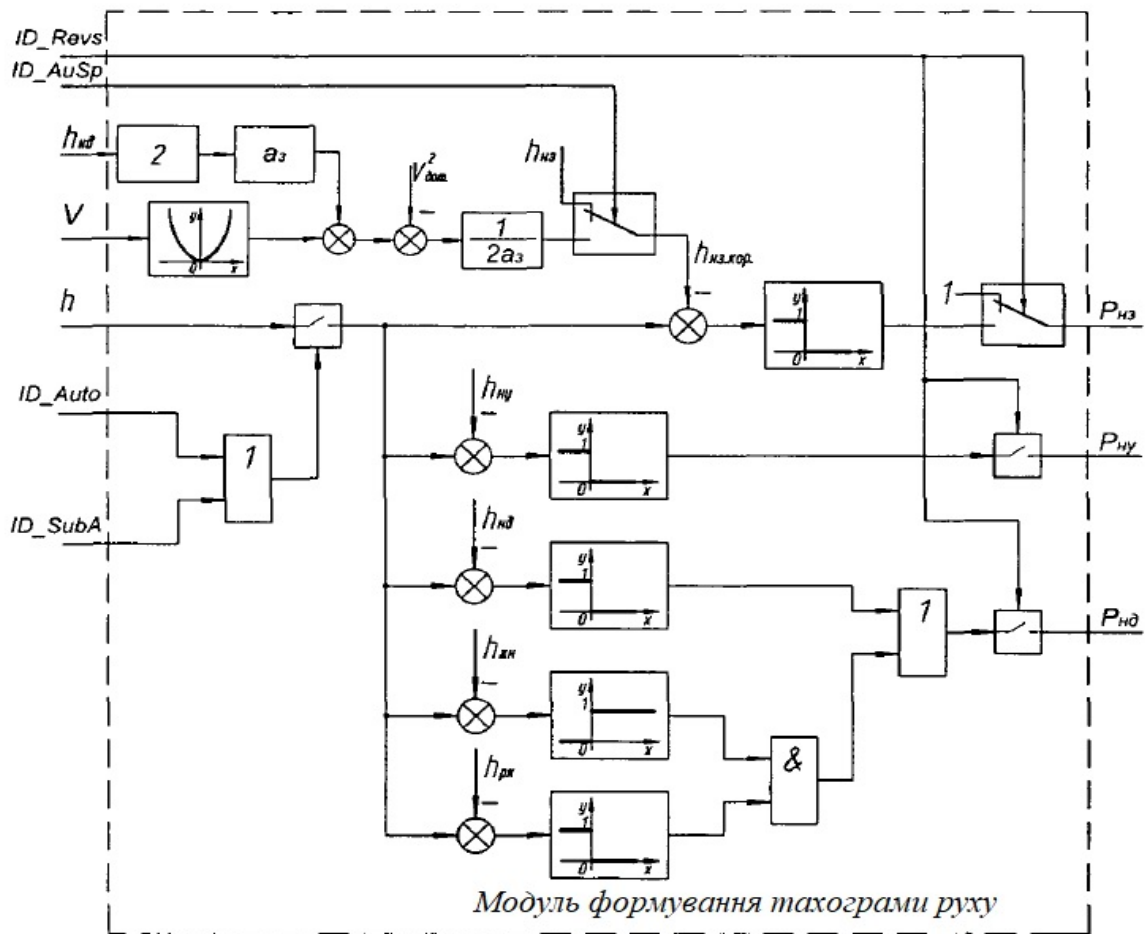


Рис. 3.10. Алгоритмічна структура модуля формування тахограми руху

На основі поданої, на рис. 3.8 алгоритмічної структури побудуємо діаграму станів даного модуля. Граф роботи представлений на рис. 3.11, а використовуваний алфавіт наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2. Алфавіт і опису змінних автомату (А3) етапів руху підйомної маси

Алфавіт	Опис змінної	Алфавіт	Опис змінної
a_0	«Вихід із кривих»	a_5	«Рух в кривих»
a_1	«Прискорення маси»	a_6	«Уповільнення на проміжний горизонт»
a_2	«Рівномірний хід»	a_7	«Підхід до проміжного горизонту»
a_3	«Уповільнення»	a_8	«Прискорення з проміжного горизонту»
a_4	«Підхід до кривих»	a_9	«Режим роботи не вибраний»
z_0	Включення сигналу		

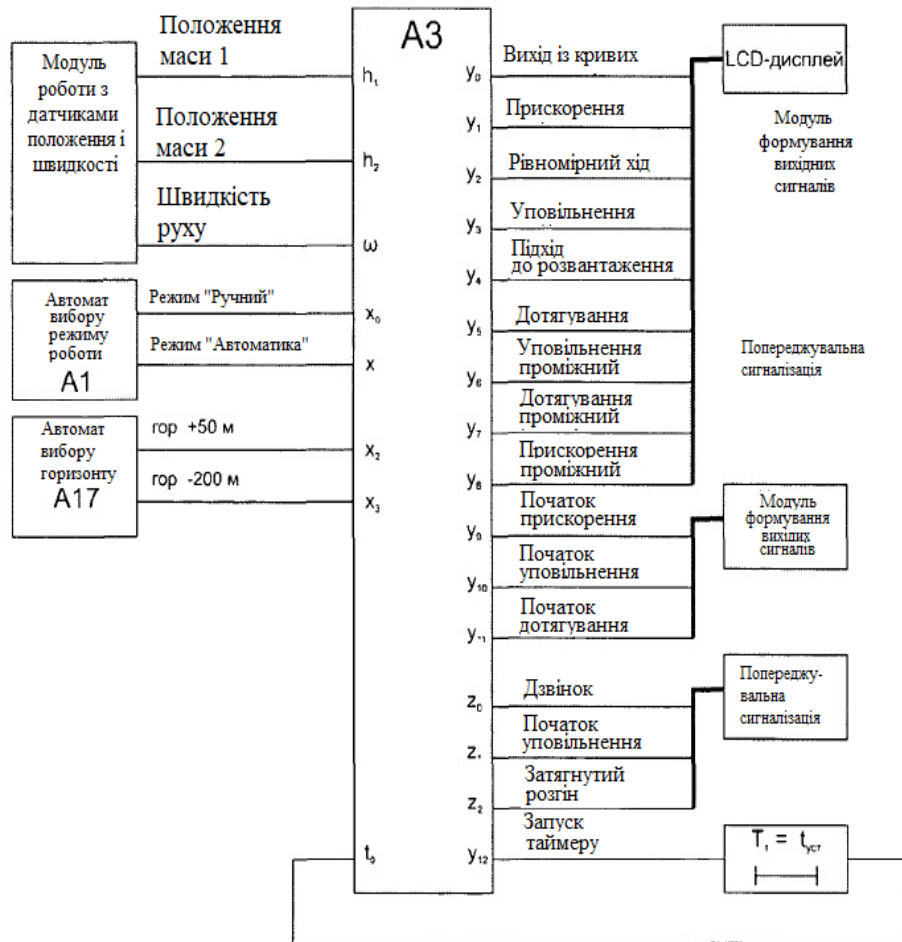


Рис. 3.11. Схема зв'язків модуля формування робочої тахограми руху

Як видно з рис. 3.11 автомат містить тринадцять вихідних змінних другого типу і три вихідні змінні першого типу.

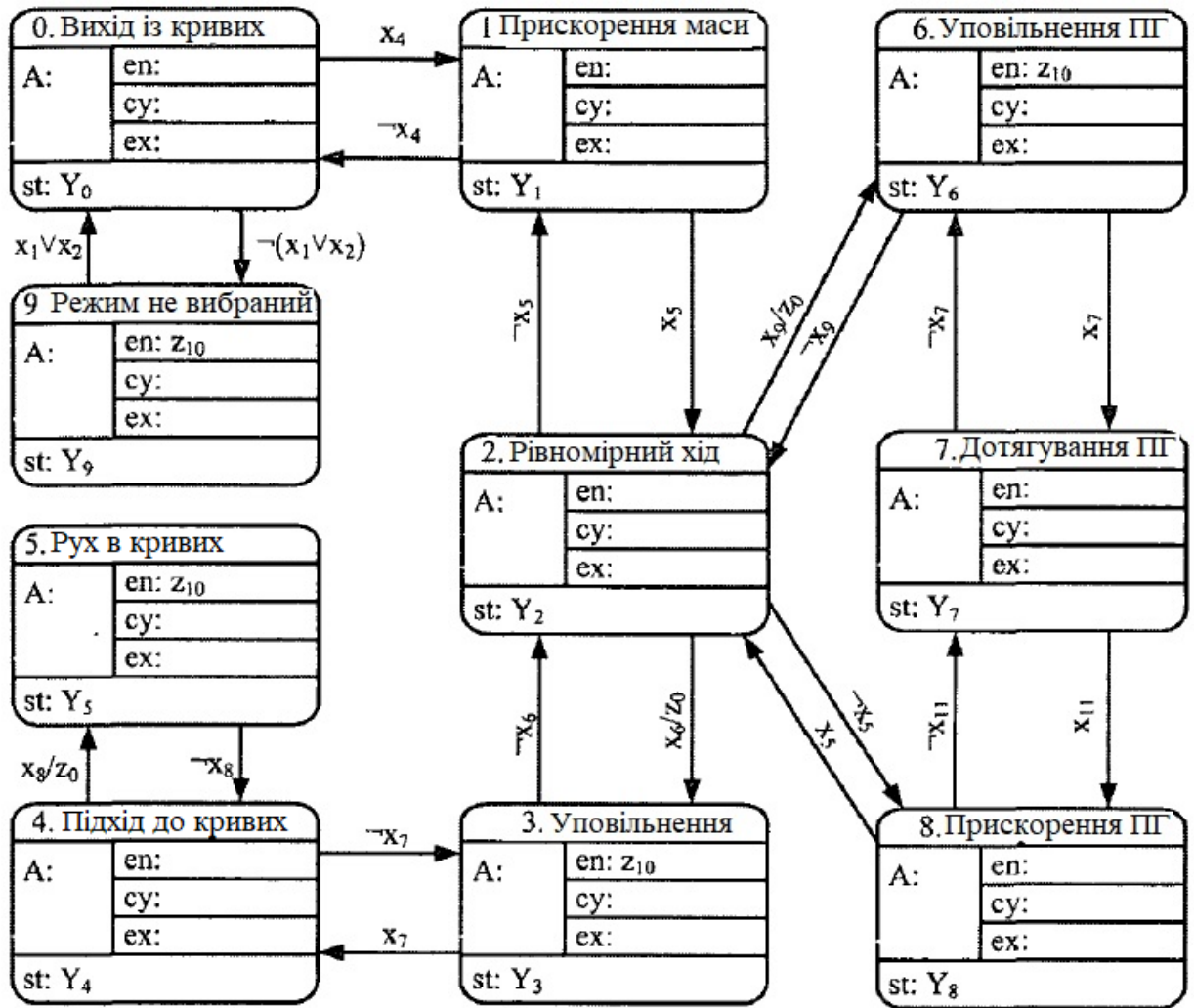


Рис. 3.12. Діаграма станів модуля формування робочої тахограми з урахуванням роботи з проміжного горизонту

Функції виходів:

$$Y_n = \{y_0 \dots y_m\}$$

$$Y_0 = \{100000000111\}; Y_1 = \{0100000001110\}; Y_2 = \{0010000001110\}; Y_3 = \{0001000001010\};$$

$$Y_4 = \{0000100001010\}; Y_5 = \{0000010001000\}; Y_6 = \{0000001000110\}; Y_7 = \{0000000010110\};$$

$$Y_8 = \{0000000011111\}; Y_9 = \{1000000000110\};$$

Як видно з діаграми станів на рис. 3.9 робота з основного (найглибше закладеного) горизонту проходить по основному контуру графа, робота з

проміжним горизонтом викликає перехід на праве відгалуження графа при наявності декількох проміжних горизонтів стан a_2 буде мати кілька петель подібних $a_6 - a_8$, кожна зі своїми умовами переходу в них. Крім того, необхідно враховувати, що для двокінцевих підйомних машин, графи для першого і другого мас однакові, при цьому для завантаженої (піднімаючої) маси, обхід графа буде здійснюватися за годинниковою стрілкою, а для порожньої (спускаючої) проти годинникової стрілки.

На основі діаграми станів на малюнку 3.12 ізоморфно будується функція, що реалізує даний автомат. Спрощений код функції на мові C представлений нижче:

```

short FormTaho (const short &h, const short &Husk, const short
&Hzmd,
                const short &Hdot, const short &HzmdP, const short &h1,
const short &V, const short &x1, const short &x2,
const short &x3, const short &x4, const short &Vravn,
const short &Vdot)
x4 = (h <= Husk);
x5 = (V >= Vravn);
x6 = (h <= Hzmdl);
x7 = (V <= Vdot);
x8 = (h <= Hdot);
x9 = ((h <= HzmdlP) && x2);
x11 = (V <= -Vdot);
switch(et)
{
    case 0:          if (x4)          {et = 1;} if (! (x1||x2))          et = 9;
    break
    case 1:          if (x5)          {et = 2;} if (! x4)          {et = 0;} break;
    case 2:          if (x6)          {et = 3;} if (x9)          {et = 6;}
                    if (!x5)          {et = 6; z0(1);} if (t0)          z0(2); break;
    case 3:          if (x7)          {et = 4;} if (! x6)          {et = 2;} break;
    case 4:          if (x8)          {et = 5;} if (! x7)          {et = 3;} break;
    case 5:          if (! x8)          {et = 4;} break;
    case 6:          if (x7)          {et = 7;} if (! x9)          {et = 2;} break;
    case 7:          if (x11)          {et = 8;} if (! x7)          {et = 6;} break;
    case 8:          if (x5)          {et = 2;} if (! x11)          {et = 7;}
    if (t0) { (z2(1);) } break;
    case 9:          if (x1| |x2)      {et = 0;} break;
}

switch (et)
{
    case 0: OD_Taho = CR_VyhO; break;
    case 1: OD_Taho = CR_UskrO; break;
}

```

```

case 2: OD_Taho = CR_Ravn; break;
case 3: OD_Taho = CR_ZmdlO; break;
case 4: OD_Taho = CR_PodhO; break;
case 5: OD_Taho = CR_DotkO; break;
case 6: OD_Taho = CR_ZmdlP; break;
case 7: OD_Taho = CR_PodhP; break;
case 8: OD_Taho = CR_UskrP; break;
case 9: OD_Taho = CR_DotkO; break;
}

return OD_Tacho;
}

```

3.5. Модуль керування станом

Як показано в п. 2.4 діаграма станів системи технологічної автоматики і захистів на основі релейно-контактних схем може бути відображена графом з трьома станами: «Аварія», «Готовий», «Робота».

Однак при реалізації системи логічного керування на програмованому контролері необхідно враховувати стан, при якому контролер, а точніше датчики стану не ініціалізовані. В даному стані можливий рух підйомної установки в режимі «Ревізія» на мінімальній швидкості з обмеженням 0,3 м/с.

Крім того, для розширення функціоналу системи автоматики вводиться передаварійний стан «Аварійне блокування», при переході в який аварійна зупинка запобіжним гальмуванням не здійснюється, але за приходом підйомних мас на точку точної зупинки машина блокується і робота наступного циклу в автоматичному і ручному режимах не допускається.

Схема зв'язків автомата керування станом системи приведена н рис. 3.13.

В автоматі А0 виділені 5 станів роботи аварійної т попереджувальної сигналізації: a_0 – «Не готовий»; a_1 – «Готовий», a_2 – «Робочий режим». Всі параметри в допустимих діапазонах, йде цикл підйому; a_3 – «Аварійний захист». Аварійне відхилення одного з контрольованих параметрів. Проводиться зупинка машини накладенням запобіжного гальма. a_4 –

«Аварійне блокування». Якщо відбувається аварійне відхилення контрольованих параметрів, що дозволяє завершити розпочатий цикл. Знаходження в станах a_{43} і a_{44} не дозволяє починати наступний цикл до втручання оператора. Граф автомату наведено на рис. 3.14.

Отриманий граф функціонування автомата відображає правила переходу з одного стану автомата в інше і формування автоматом вихідних впливів в залежності від вхідної інформації і поточного стану автомата. Граф-схема алгоритму програми дозволяє вибрати найкращу побудову логіки програми і гарантує однозначність програмної реалізації та логіки автомата.

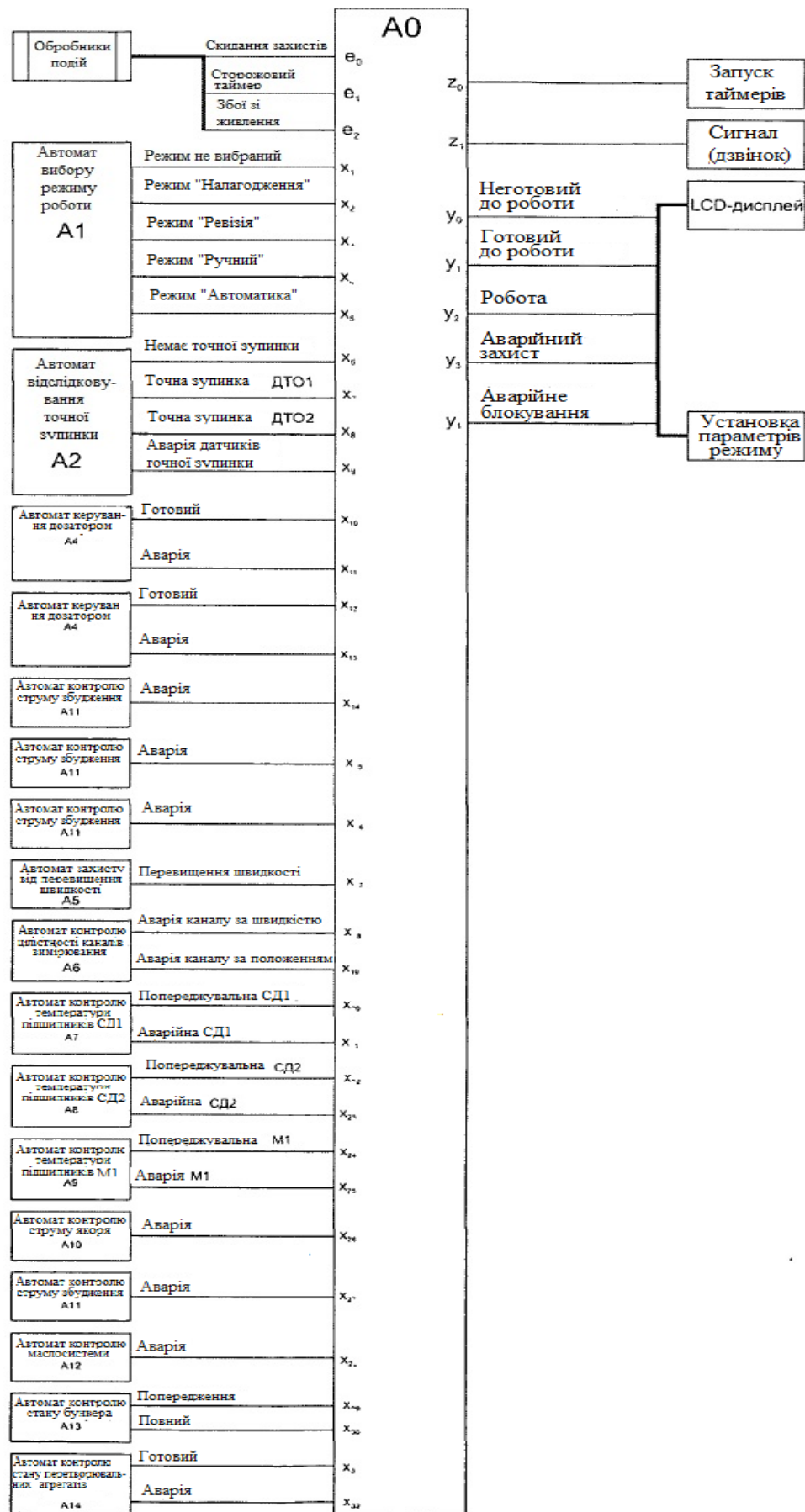


Рис. 3.13. Схема зв'язків автомату керування станом системи

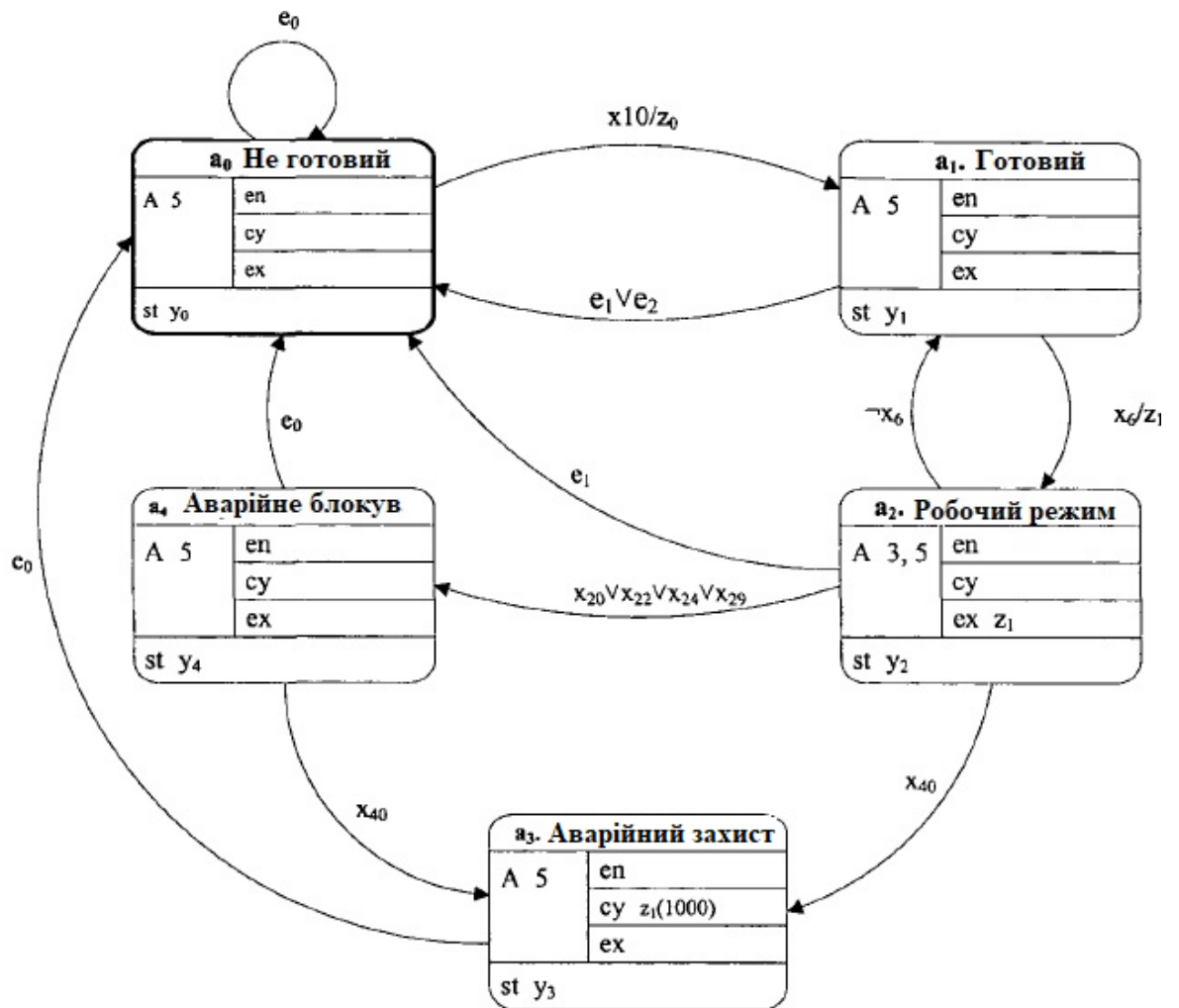


Рис. 3.14. Граф-переходів автомату керування станом системи

Також вводиться проміжна змінна x_{40} , що визначається як:

$$x_{40} = e_2 \vee x_9 \vee x_{11} \vee x_{13} \vee x_{25} \vee x_{16} \vee x_{17} \vee x_{18} \vee x_{19} \vee x_{21} \vee x_{23} \vee x_{25} \vee x_{26} \vee x_{27} \vee x_{28} \vee x_{32}$$

3.6. Модулі контролю стовбурових датчиків і перевірки їх справності

До цієї групи підпрограм входять модулі, що відповідають за відстеження станів стовбурових датчиків і контроль їх справності.

В якості стовбурових датчиків контролю положення маси застосовуються датчики контролю положення уніфіковані ДКПУ-22, призначені для експлуатації в умовах безпечних щодо вибуху пилу і газу. Особливістю даних датчиків є те, що при відсутності напруги живлення або сигналу з первинного перетворювача ПП-2 на виконавчий блок БИ-2, блок

БІ-2 відпускає контрольне реле, замикаючи його контакт. Таким чином, можна контролювати працездатність стовбурових датчиків, відстежуючи появу взаємовимикаючого стану – одночасного спрацьовування датчиків відразу на двох підйомних масах.

3.6.1 Відслідковування точної зупинки

Даний модуль відстежує положення підйомних мас (h_1, h_2), контролюючи датчики знаходження на точці точної зупинки (входи x_0, x_1).

Аналіз роботи захисту від зависання скіпа в кривих показав, що можна виділити чотири стани, в яких може знаходитися автомат, який реалізує захист:

1. «Норма» – початковий стан автомату, відсутність будь-яких порушень в цілісності датчиків і аварійних сигналів.
2. «Точна зупинка лівого» – спрацював сигнал з датчика точної зупинки лівого скіпа, зафіксувалася наявність маси в кривих.
3. «Точна зупинка правого» – спрацював сигнал з датчика точної зупинки правого скіпа, зафіксувалася наявність маси в кривих.
4. «Аварія» – одночасне спрацьовування обох датчиків.

Схема зв'язків та діаграма станів наведена на рис. 3.15.

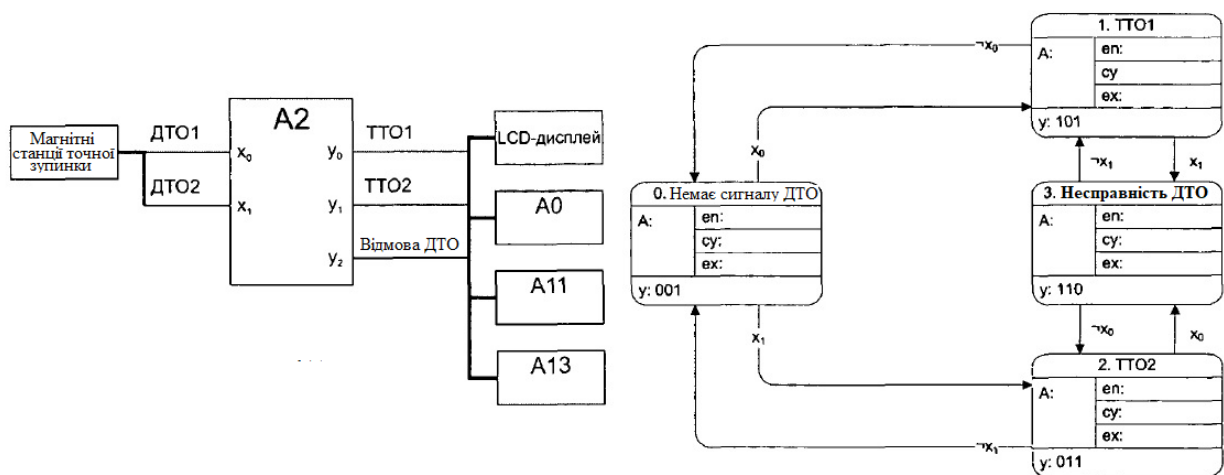


Рис. 3.15. Схема зв'язків автомата А2 (зліва) та діаграма станів автомата А2 (справа)

Код функції на мові C, що реалізує цей автомат, представлений нижче:

```
int IsDTO(int inp, state &st)
{
state st_old = st;
short IsDTOo;
switch(st)
case 0:
    if(TT01 & inp)
        st = 1;
    if(TT02 &inp)
        st = 2;
break;
case 1:
    if(!inp)
        st = 0;
    if(TT02&inp)
        sf=3;
break;
case 2:
    if(!inp)
        st = 0;
    if(TT01&inp)
        st = 3;
break;
case 3:
    if (!(TT01 & inp))
        st = 2;
    if(!(TT02 & inp))
        st = 1;
break;
default: st = 3; break;
}
if(st_old!=st)
{
switch(st)
{
    case 0: isDTOo = 0x01; break;
    case 1: isDTOo = 0x11, break;
    case 2: isDTOo = 0x21, break;
    case 3: isDTOo = 0x30, break;
}
}
return IsDTOo;
}
```

3.6.2 Модуль контролю положення маси в кривих

Даний модуль на підставі положення підйомних посудин (h_1, h_2), сигналів з датчиків знаходження в кривих (входи x_3, x_4), датчиків точної зупинки (входи x_1, x_2), а також режимів роботи і стану обхідних перемикачів контролює знаходження підйомної маси в кривих і забезпечує захист від зависання підйомної маси.

Функціональна схема модуля, введена на малюнку 3.16.

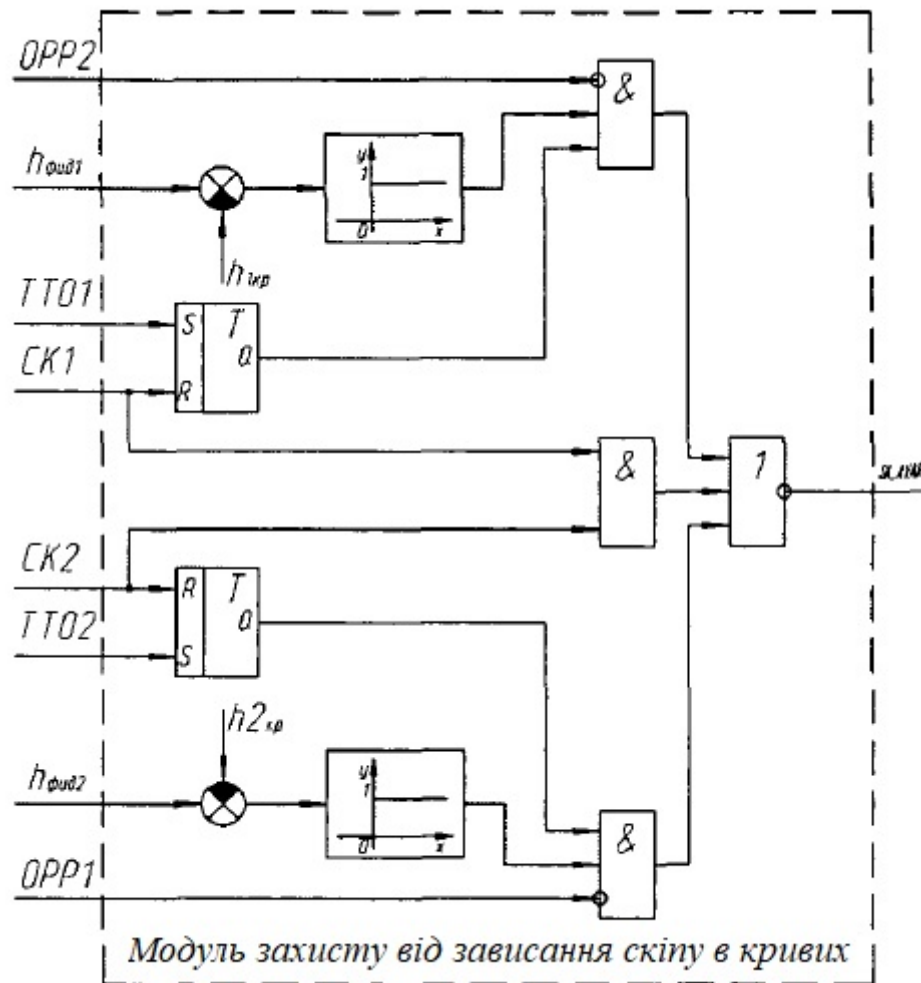


Рис.3.16. Реалізація модуля захисту від зависання

Як видно з функціональної схеми, даний модуль містить пристрій з пам'яттю – тригери. Його реалізація безпосередньо булевими функціями може бути ускладнена. Тому на основі аналізу роботи захисту від зависання скіпа в кривих виділимо вісім станів, в яких може перебувати автомат:

1. «Норма» – початковий стан автомату, відсутність будь-яких порушень в цілісності датчиків і аварійних сигналів.
2. «Скіп в кривих лівий» – спрацював сигнал з датчика точної зупинки лівого скіпа, зафіксувалася наявність маси в кривих.
3. «Скіп в кривих правий» – спрацював сигнал з датчика точної зупинки правого скіпа, зафіксувалася наявність маси в кривих.
4. «Аварія» – одночасне спрацювання обох датчиків.
5. «Зависання лівого» – згідно датчикам положення скіп повинен вийти з кривих, але спрацювання датчика виходу не було.
6. «Зависання правого» – згідно датчикам положення скіп повинен вийти з кривих, але спрацювання датчика виходу не було.
7. «Обхідний перепідйому лівого» – перебуває в режимі «ревізія», перемикач обходу в положенні «обхідний лівого».
8. «Обхідний перепідйому правого» – перебуває в режимі «ревізія», перемикач обходу в положенні «обхідний правого».

На основі опису, можна скласти наступну схему зв'язків модуля для його автоматної реалізації.

Таблиця 3.3. Алфавіт і опис змінних автомату контролю зависання скіпа в кривих і перевірки цілісності датчиків

Алфавіт	Опис змінної	Алфавіт	Опис змінної
x_1	Спрацювання датчика точної зупинки 1	h_1	Сигнал ТП
x_2	Спрацювання датчика точної зупинки 2	h_2	Зняття ТР
x_3	Спрацювання датчика маса в кривих 1	y_0	Сигнал «Скіп 1 в кривих»
x_4	Спрацювання датчика маса в кривих 2	y_1	Сигнал «Скіп 2 в кривих»
x_5	Перемикач в положенні «Налагодження»	z_2	Відмова датчиків положення скіпа в кривих
x_6	Перемикач в положенні «Ревізія»	z_3	Сигнал «Зависання ПС1»
x_7	Перемикач в положенні «Обхідний 1-го»	z_4	Сигнал «Зависання ПС2»
x_8	Перемикач в положенні «Обхідний 2-го»	z_5	Сигнал «Аварія»

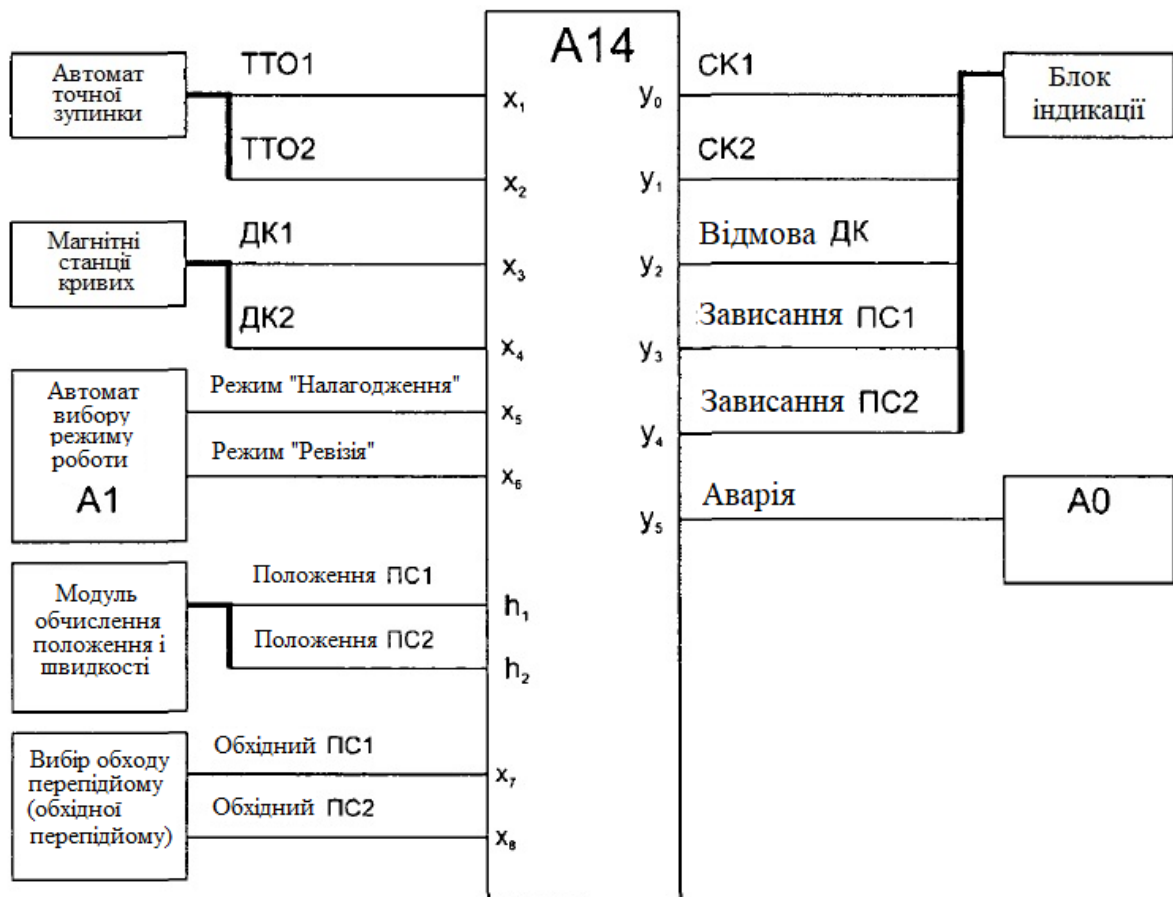


Рис.3.17. Схема зв'язків автомата контролю зависання скіпа в кривих і перевірки цілісності датчиків

Діаграма станів автомата, відповідна опису і схемою зв'язків рис. 3.17, наведена на рис 3.18.

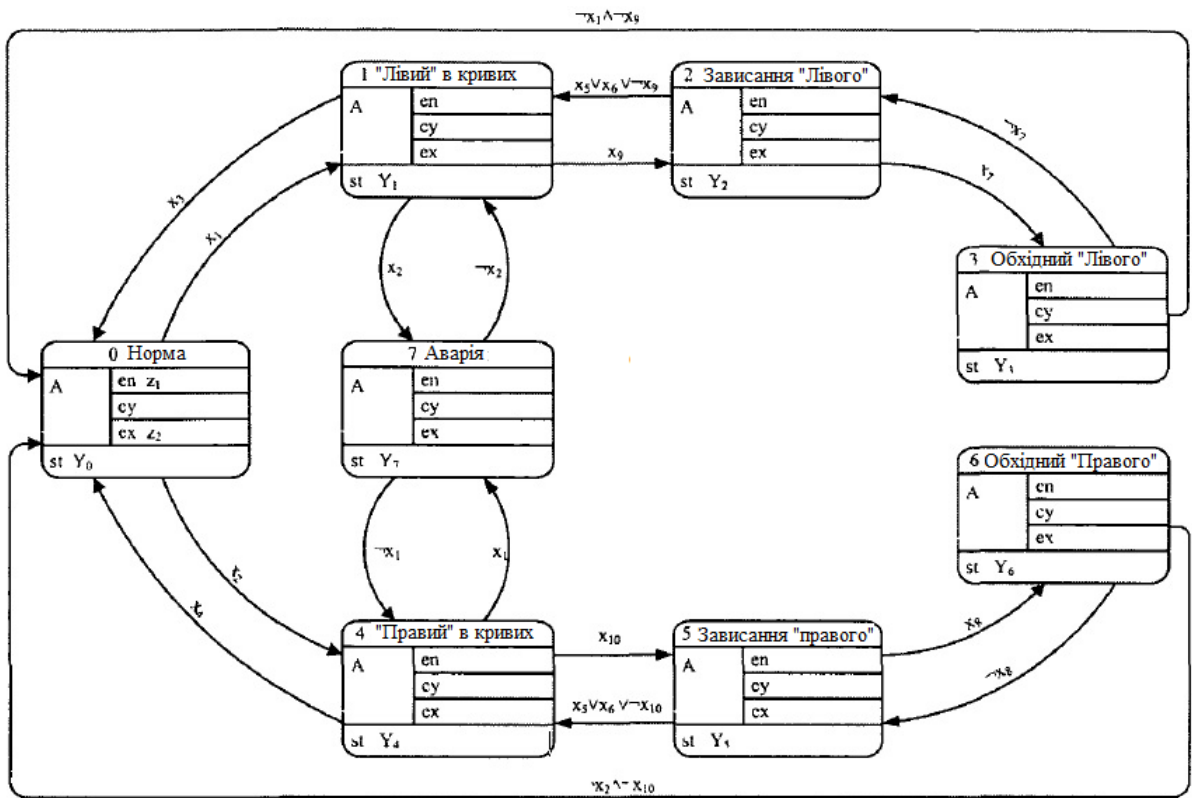


Рис.3.18. Діаграма станів для автомату контролю зависання скіпа в кривих і перевірки цілісності датчиків

Функції виходів:

$$Y_0 = \{000001\}; Y_1 = \{100001\}; Y_2 = \{100100\}; Y_3 = \{010001\};$$

$$Y_4 = \{010010\}; Y_5 = \{111000\}.$$

При реалізації автомату задіюються проміжні змінні x_9 і x_{10} , які описуються виразами:

$$x_9 = \begin{cases} 1, & \text{при } h_1 \leq h_{1\text{ск}} \\ 0, & \text{при } h_1 > h_{1\text{ск}} \end{cases} \quad (3.60)$$

$$x_{10} = \begin{cases} 1, & \text{при } h_2 \leq h_{2\text{ск}} \\ 0, & \text{при } h_2 > h_{2\text{ск}} \end{cases} \quad (3.61)$$

3.6.3 Модуль захисту від перепідйому і контролю стану стовбурових датчиків

Модуль відстежує стан підйомних мас (h_1, h_2), контролюючи датчики перепідйому (входи x_0, x_1) і положення підйомних мас, використовуючи інформацію з датчиків положення. Функціональна схема модуля, приведена на рис. 3.19.

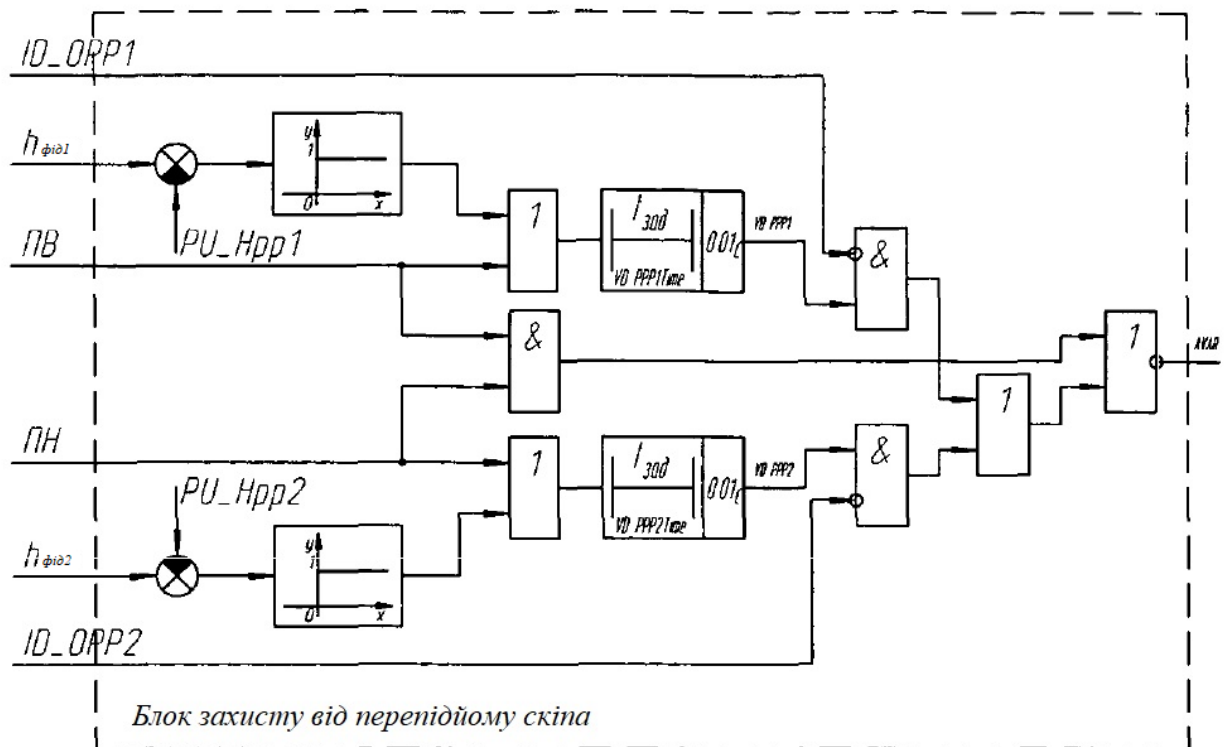


Рис.3.19. Функціональна схема модуля контролю перепідйому і цілісності датчиків

На основі функціональної схеми можна скласти наступну схему зв'язків модуля для його автоматної реалізації.

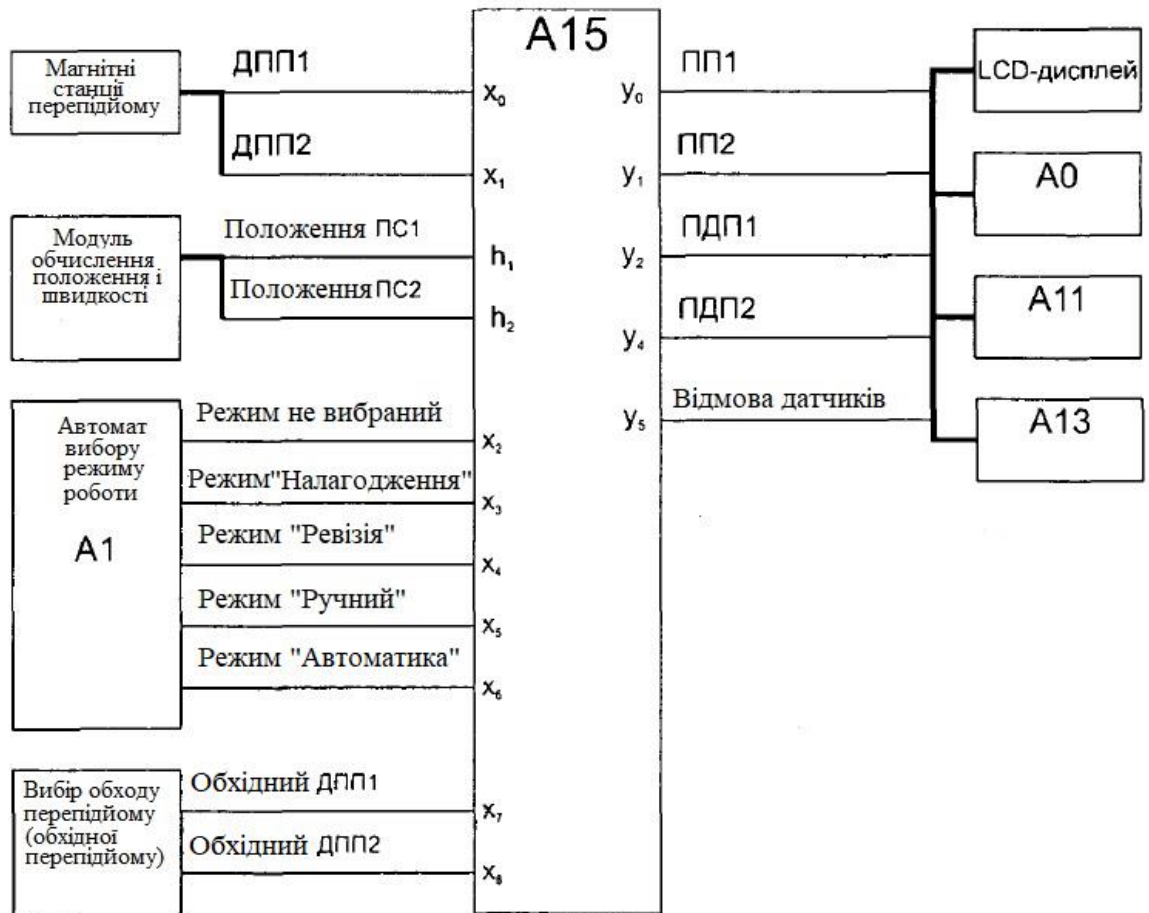


Рис.3.20. Схема зв'язків автомату контролю зависання скіпа в кривих і перевірки цілісності датчиків

Аналіз роботи захисту від перепадів показав, що можна виділити шість станів, в яких може перебувати автомат, що її реалізує:

1. «Норма», початковий стан автомата, відсутність будь-яких порушень в цілісності датчиків і аварійних сигналів.
2. «Перепадом лівого» – наявність сигналу перепадів лівої маси з датчика ДКПУ-22 або з датчика положення ($h_1 \leq h_{1\text{ мн}}$).
3. «Перепадом правого» – наявність сигналу перепадів правої маси з датчика ДКПУ-22 або з датчика положення ($h_2 \leq h_{2\text{ мн}}$).
4. «Аварія» – одночасне спрацювання обох датчиків.
5. «Обхідний перепадів лівого» – перебуває в режимі «ревізія», перемикач обходу в положенні «обхідний лівого».

6. «Обхідний перепідйому правого» – перебуває в режимі «ревізія», перемикач обходу в положенні «обхідний правого».

Діаграма станів автомата відповідає даному опису і функціональній схемі рис. 3.19, наведена на рис. 3.21.

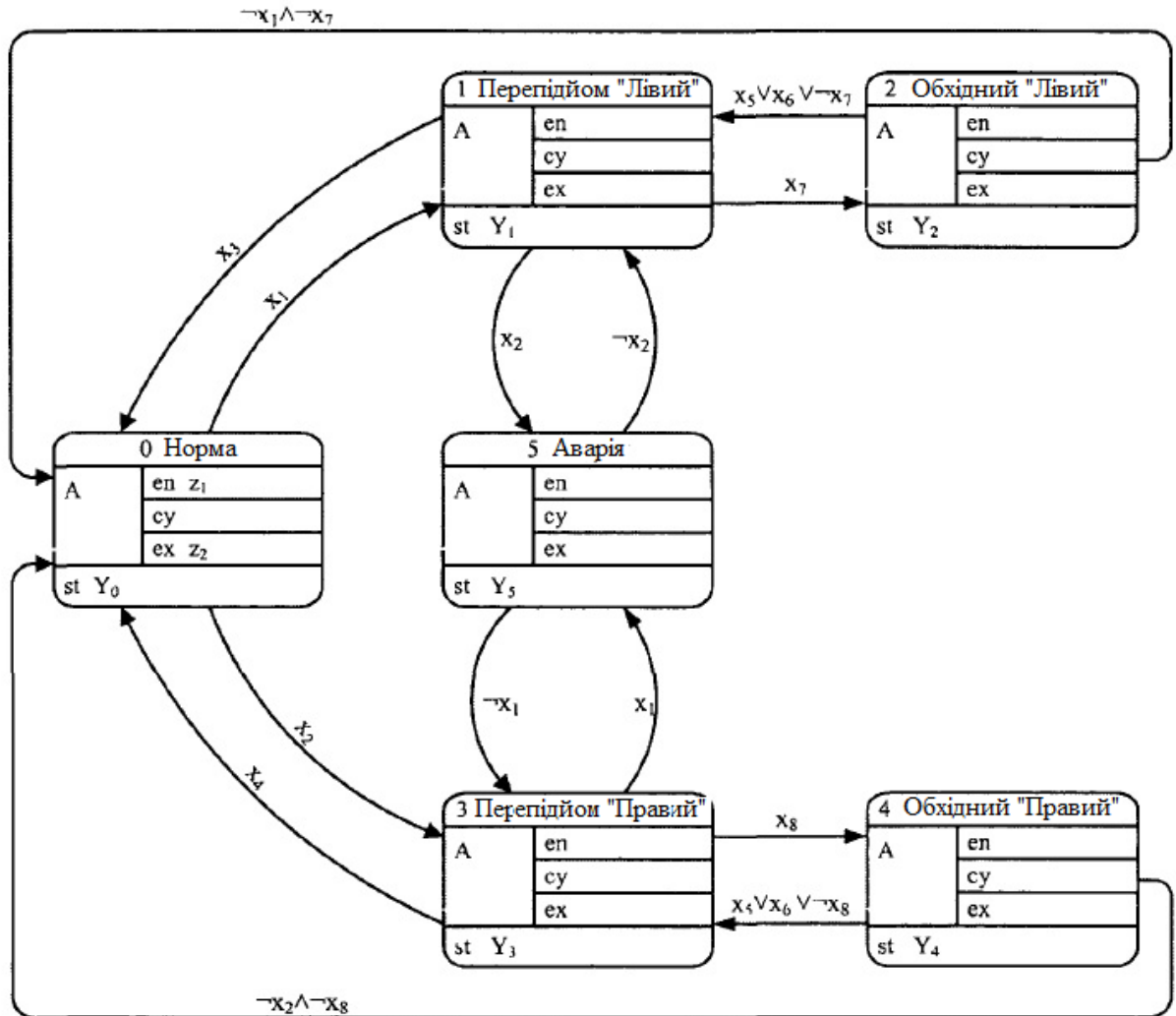


Рис.3.21. Діаграма станів автомату контролю перепідйому і перевірки цілісності датчиків ПП

Функції виходів:

$$Y_0 = \{10011\}; Y_1 = \{10011\}; Y_2 = \{10011\}; Y_3 = \{01111\};$$

$$Y_4 = \{01011\}; Y_5 = \{11000\}.$$

3.7 Модуль керування робочим гальмом

Даний модуль служить для керування робочим гальмом на весь період підйому. Функціональна схема, відповідна рівнянням, наведена на рис. 3.22, а схема зв'язків автомату на рис. 3.23.

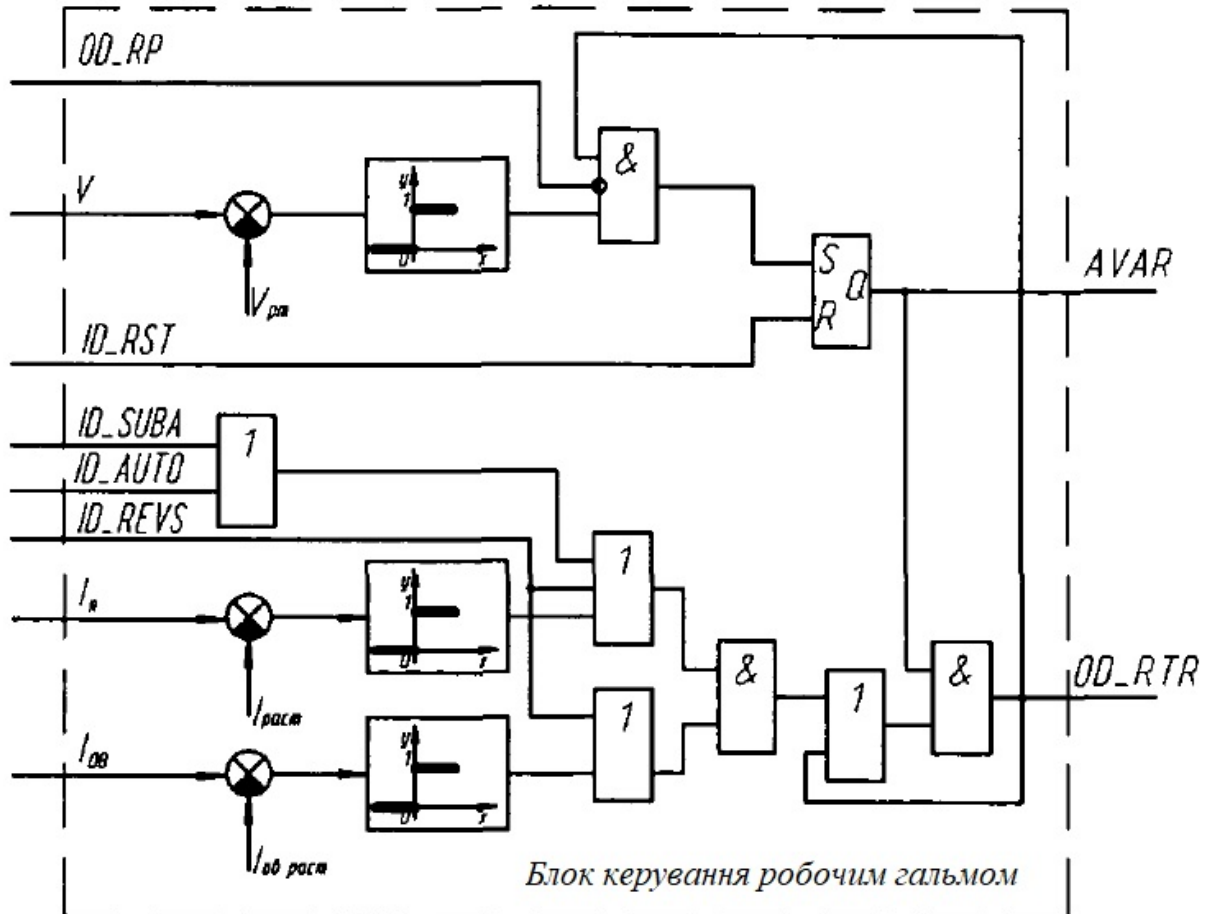


Рис.3.22. Функціональна схема блоку керування робочим гальмом

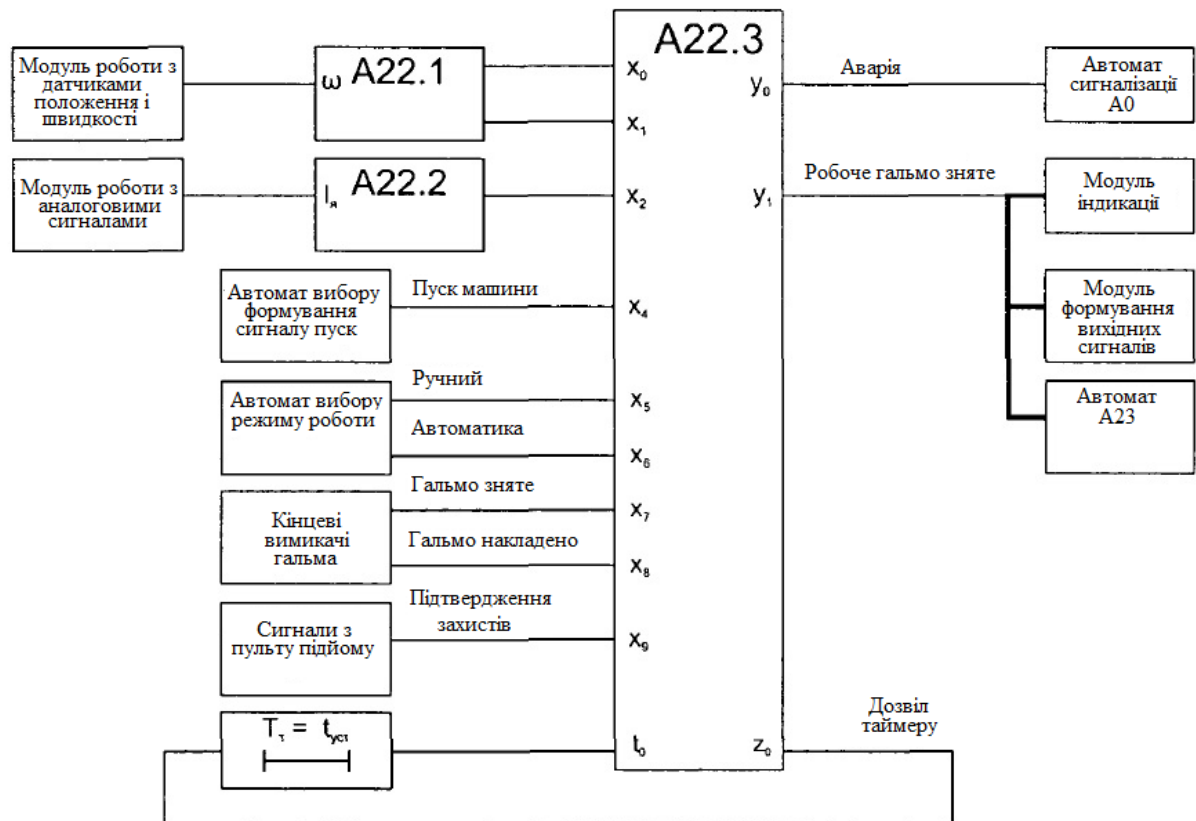


Рис.3.23. Схема зв'язків автомата керування робочим гальмом

Діаграма станів автомату керування робочим гальмом містить такі

стани:

- Загальмовано (a_0) – гальмо накладено, є сигнал з кінцевого вимикача про накладення гальма.
- Розгальмовування (a_1) – є сигнал на пуск машини, очікування наростання струму збудження і струму якоря до значень розгальмовування.
- Зняття гальма (a_2) – сигнал на зняття гальма, очікування спрацювання кінцевого вимикача повного розгальмовування машини.
- Розгальмовано (a_3) – є сигнал про повне розгальмовування.
- Накладення гальма (a_4) – сигнал на накладення гальма, очікування спрацювання кінцевого вимикача про загальмовування машини.
- Аварія (a_4) – у всіх станах зняття накладення гальма проводиться контроль часу перебування в стані, якщо час $t_c > t_{cm}$, то здійснюється перехід в стан аварії.

Діаграма станів автомату, яка відповідає наведеному опису, приведена на малюнку 3.24.

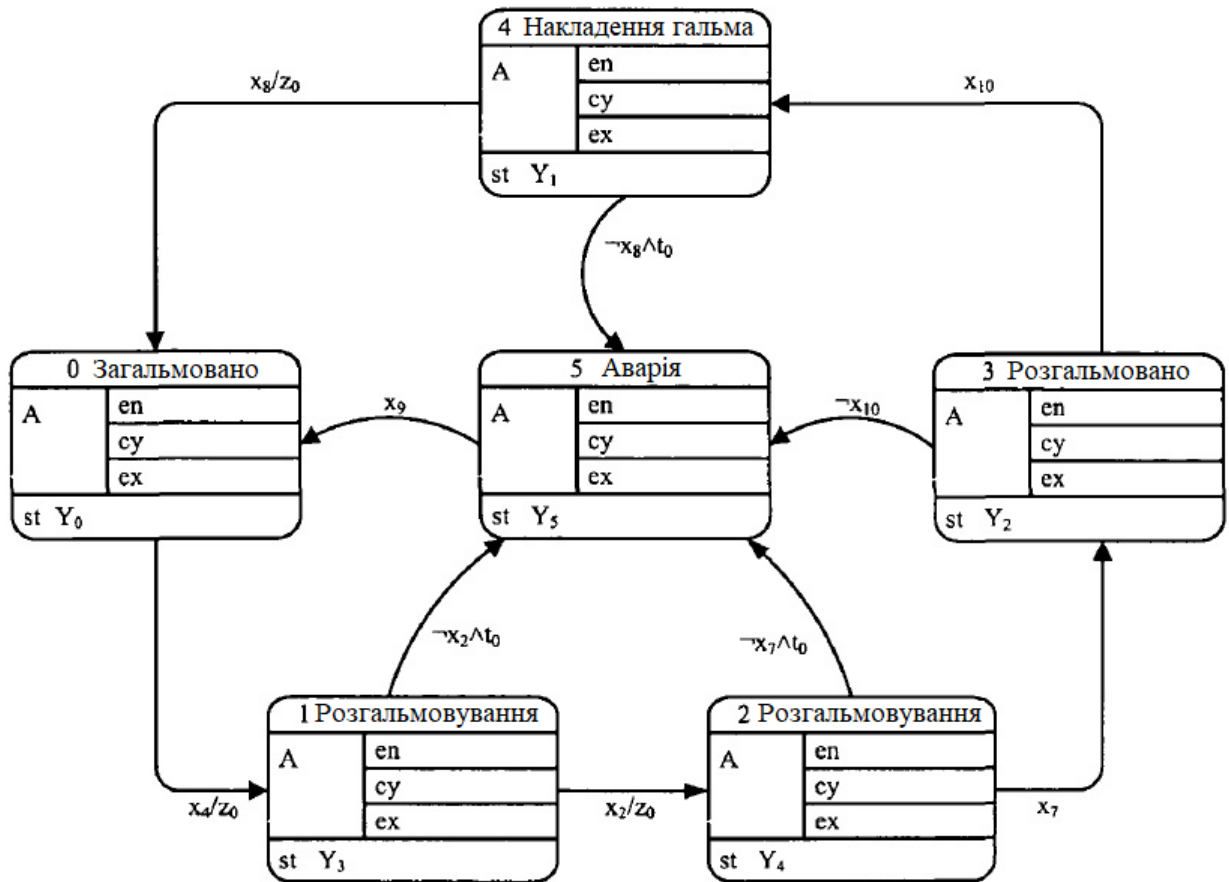


Рис.3.24. Діаграма станів автомату керування робочим гальмом

Функції виходів:

$$Y_0 = \{10\}; Y_1 = \{10\}; Y_2 = \{10\}; Y_3 = \{11\};$$

$$Y_4 = \{11\}; Y_5 = \{00\}.$$

Також вводиться проміжна змінна x_{10} , яка визначається виразом:

$$x_{10} = \neg \wedge x_4 \neg ((x_1 \wedge x_5) \vee (x_0 \wedge x_6)) \quad (3.62)$$

3.8 Модуль захисту від перевищення швидкості

Даний автомат використовується для захисту від перевищення швидкості підйомної установки, він визначає і виконує індикацію наступних ситуацій:

- Швидкість в нормі – швидкість знаходиться в допустимих межах;
- Аварійне перевищення швидкості – контрольована швидкість на даній ділянці руху підйомної маси вище уставки V_3 .

Відстеження захисної діаграми здійснюється на всьому шляху уповільнення відповідно до виразу:

$$V_3 = \begin{cases} V_M, \text{ при } h_C > H_{нз} \\ \sqrt{2a_3(h_C - H_{н\delta}) + V_d^2}, \text{ при } H_{н\delta} < h_C \leq H_{нз} \\ 1,15 \cdot V_d, \text{ при } h_C \leq H_{н\delta} \end{cases} \quad (3.63)$$

де h_C – поточний стан підйомної маси, м; H_d – точка входу в криві, м; a_3 – уповільнення захисної діаграми, м/с²; V_3 – швидкість захисної діаграми, м/с; V_M – швидкість рівномірного ходу підйомної маси, м/с; V_d – швидкість підходу, м/с.

Модуль захисту від перевищення швидкості на основі даних про глибину занурення скіпів (h_1, h_2), їх швидкості (V_1, V_2), напрямку руху підйомної установки (VD_Bkw) і режиму роботи (ID_Revs) розраховує захисну діаграму швидкості і реєструє перевищення швидкості шляхом порівняння розрахункової тахограми і дійсної. Сигнал про перевищення швидкості (VD_OvrS) надходить в модуль захистів.

Алгоритмічна структура модуля захисту від перевищення швидкості, представлена на рис. 3.25, алфавіт і опис змінних автомату захисту від перевищення швидкості представлені в таблиці 3.4.

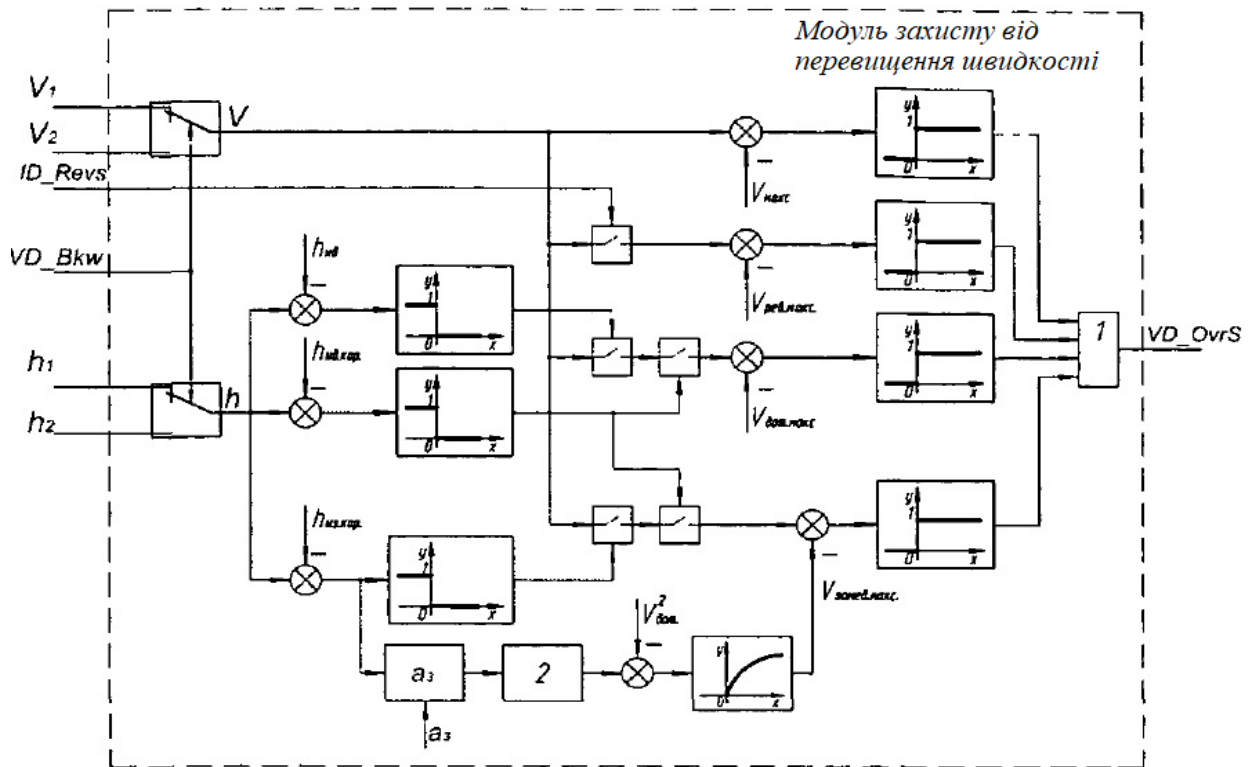


Рис.3.25. Алгоритмічна структура модуля захисту від перевищення швидкості

Таблиця 3.4. Алфавіт і опис змінних автомату захисту від перевищення швидкості

Алфавіт	Опис змінної	Алфавіт	Опис змінної
x600	Перевищення поточної швидкістю уставки максимальної швидкості по каналу 1	x601	Перевищення поточної швидкістю уставки максимальної швидкості по каналу 2
z300_0	Відключити сигналізацію про перевищення швидкістю уставки захисної швидкості ($V \geq V_z$)	z300_2	Відключити сигналізацію про перевищення швидкістю уставки захисної швидкості ($V \geq V_z$)
z300_1	Включити сигналізацію про перевищення швидкістю уставки захисної швидкості ($V \geq V_z$)	z300_3	Включити сигналізацію про перевищення швидкістю уставки захисної швидкості ($V \geq V_z$)

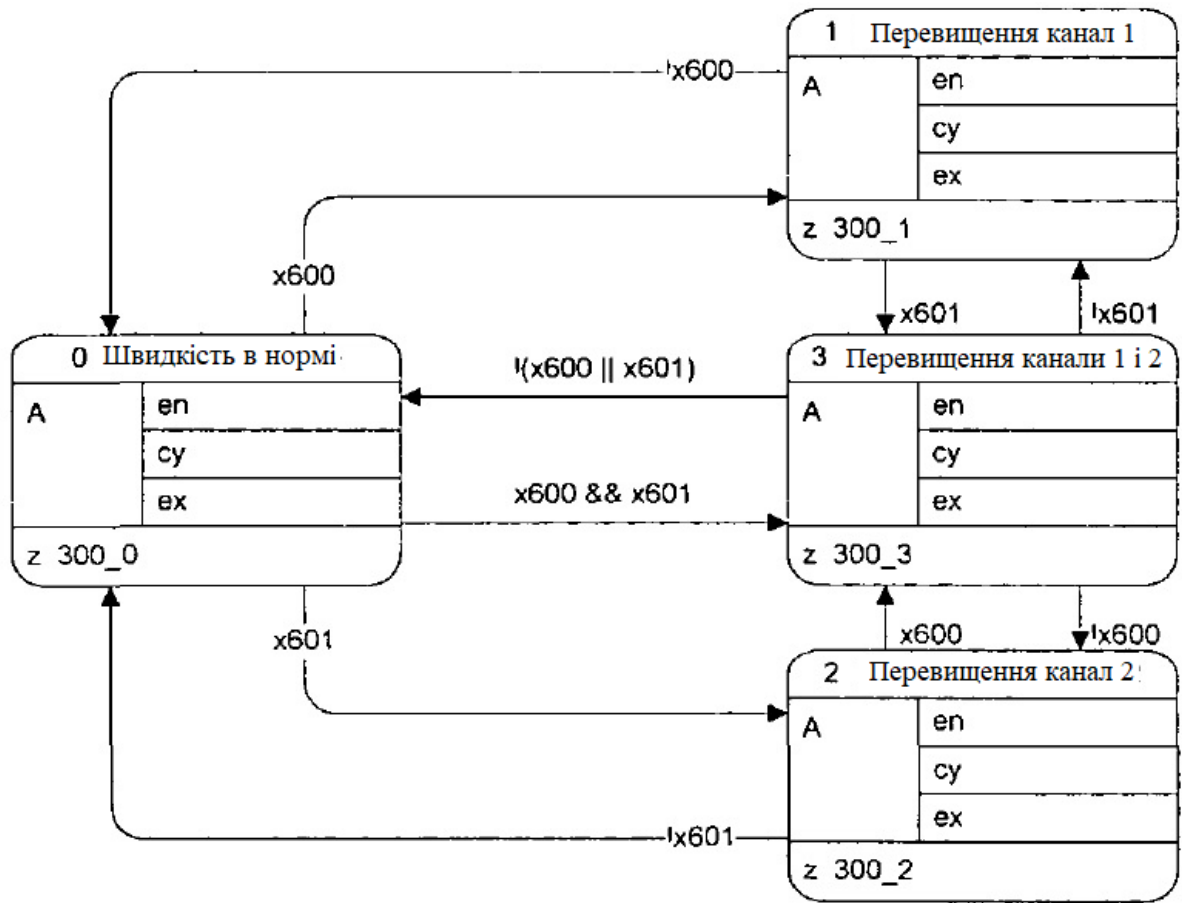


Рис.3.26. Граф модуля захисту від перевищення швидкості

Проведений вище синтез дозволяє представити структуру системи логічного керування підйомною установкою з урахуванням додаткових модулів наступним чином, як показано на рис. 3.27.

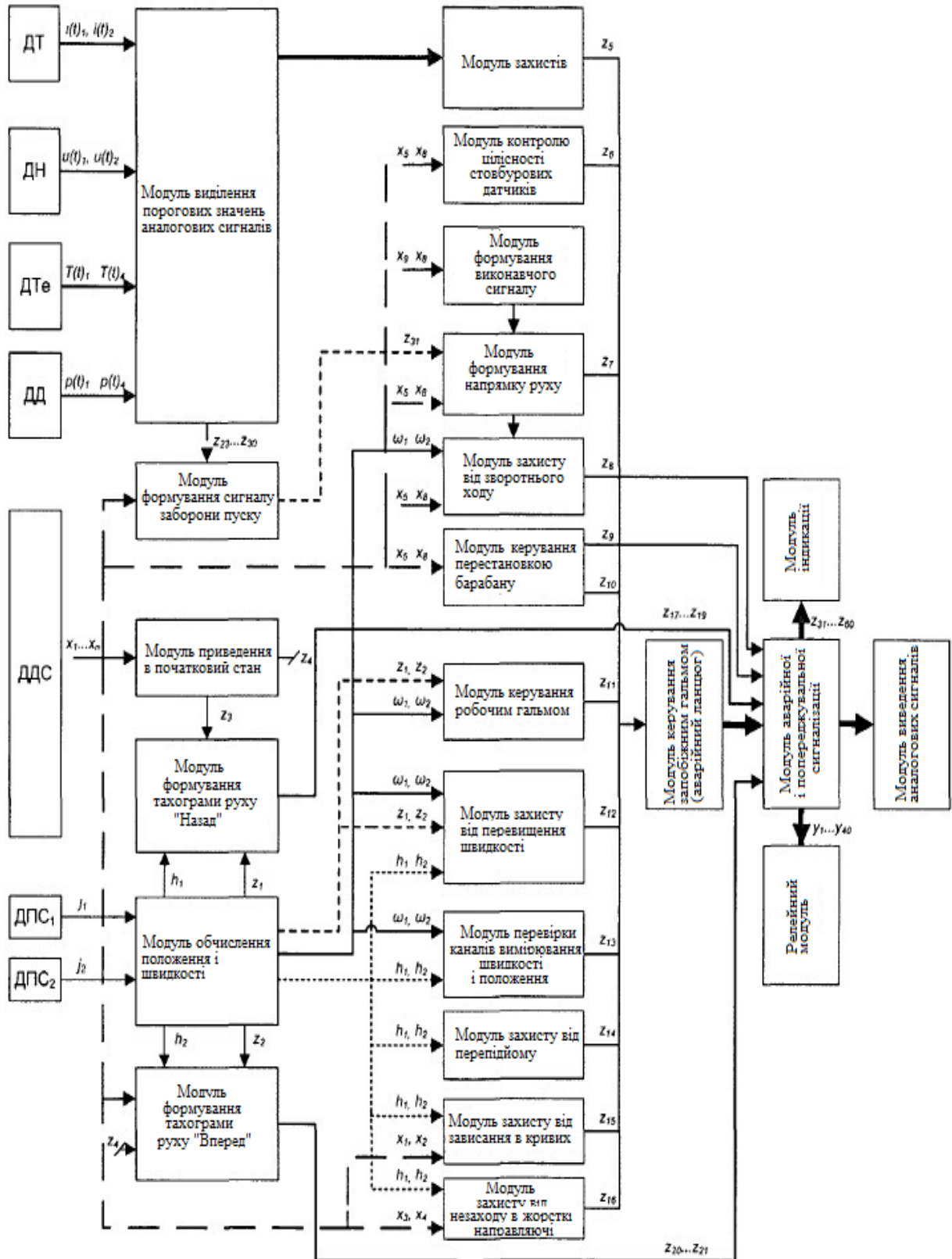


Рис.3.27. Система логічного керування підйомної установки

Таким чином, методику синтезу систем логічного керування можна представити таким чином:

1. Проводиться функціональний аналіз об'єкта і системи керування виділяються модулі, що мають ознаку автономності, тобто модулі, для яких можна виділити такі вхідні і вихідні набори параметрів, щоб модуль міг діяти незалежно від інших модулів, спираючись тільки на значення вхідних параметрів.

2. На основі функціонального аналізу розробляється алгоритмічна структура модуля, який необхідно побудувати.

3. Проводиться аналіз алгоритмічної структури модуля автомату, який необхідно побудувати, визначаються його вхідні і вихідні змінні і кількість вихідних змінних першого і другого роду.

4. Визначається кількість станів об'єкта керування і умови переходу між ними.

5. Будується граф переходів.

6. Граф аналізується на предмет простоти і відсутності заборонених станів.

7. На підставі графа будується програмне забезпечення.

3.9 Структура програмного забезпечення

Структура програмного забезпечення системи логічного керування приведена на рис. 3.28. Як було зазначено вище система логічного керування та її програмна частина розроблені виходячи з принципу модульності. Для прив'язки до часу виконання програма розділена на три частини: обробники апаратних переривань, основний цикл програми та викликані функції різного рівня пріоритету. Подібна прив'язка до таймера дає можливість нормувати час виконання циклу і таким чином поліпшити метрологічні характеристики системи.

При запуску системи одноразово викликається підпрограма ініціалізації, в якій виробляється ініціалізація процесора, перевірка наявності

модулів в шасі, налаштування параметрів пристроїв дискретного і аналогового введення виведення, запуск сторожових таймерів і таймерів переривань, після чого керування передається в основний цикл. Частота основного циклу становить 10 кГц.

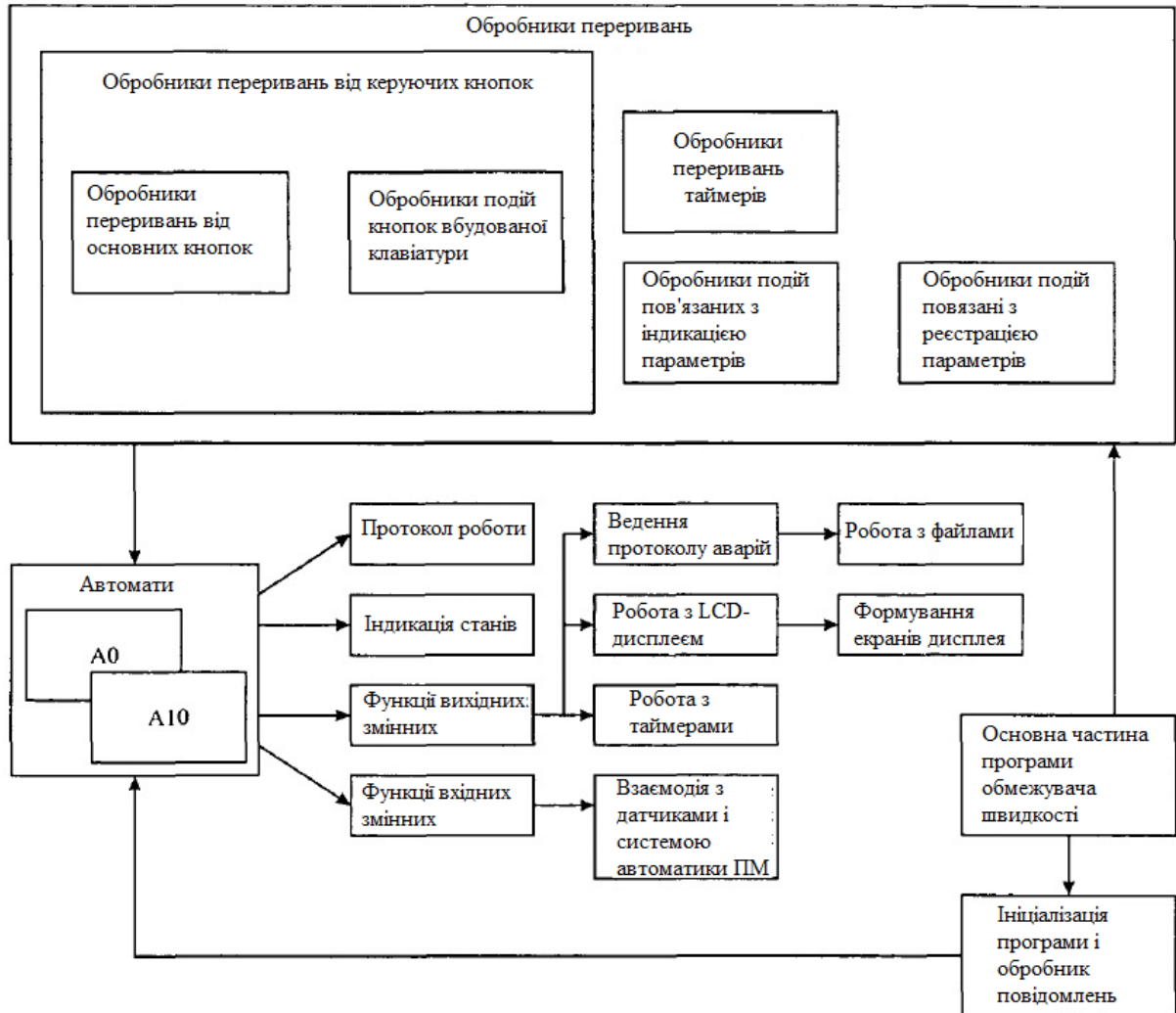


Рис.3.28. Структура програмного забезпечення системи логічного керування

Залежно від пріоритету з основного циклу викликаються автомати, які реалізують різні функції, наприклад, опитування дискретних сигналів, які не що відносяться до аварійних, відбувається 250 разів на секунду. Для функцій не вимагаючих суворого часового нормування, таких як робота з клавіатурою в режимі зміни налаштувань, робота з ЖК-дисплеєм, частота виклику встановлено 100 раз в секунду.

В окрему групу виділено обробники переривань, які також розділені за пріоритетом. Найвищий пріоритет мають обробники дискретних і аналогових вхідних сигналів, які відносяться до аварійної групи, таких як, наприклад, «Стоп зі стовбура», «Аварійна зупинка», а також модуль обробки сигналів з датчиків положення і швидкості. До середнього пріоритету відносяться переривання, що обслуговують модулі осцилографування і реєстрації параметрів технологічного процесу, керування станом технологічного процесу і системи. До низькопріоритетних відносяться переривання з мережевих модулів і окремі завдання технологічного процесу, які вимагають фіксованого часу виконання.

3.10 Розрахунок техніко-економічних показників системи

При автоматичному формуванні тахограми руху скорочується час підйому за рахунок зменшення часу руху на малій швидкості, що призводить до підвищення годинної продуктивності підйомної установки, а також до зниження споживання енергії на один підйом і відповідно до підвищення ККД установки в цілому.

3.10.1 Збільшення продуктивності через зменшення часу підйому

Річний приріст продуктивності через зменшення часу підйому можна визначити як:

$$A_{piv}^+ = \left(\frac{3600}{t_{y2} + t_n} - \frac{3600}{t_{y1} + t_n} \right) \cdot \frac{n_{CM} \cdot t_{CM} \cdot n_{po} \cdot Q_C}{k_n}, \quad (3.64)$$

де 3600 – кількість секунд в годині;

t_{y1} і t_{y2} – час підйому до модернізації і після, с;

t_n – час технологічної паузи на розвантаження і завантаження судини, з (приймається 10 с);

n_{po} – робочих днів у році (приймається 305);

n_{CM} – число змін у добі;

t_{CM} – тривалість зміни, год.;

k_n – коефіцієнт нерівномірності (приймається 1,25 [21]);

Q_c – маса, яка піднімається за один підйом, т;

$$A_{pic}^+ = \left(\frac{3600}{88} - \frac{3600}{98} \right) \cdot \frac{3 \cdot 6 \cdot 305 \cdot 12,5}{1,25} = 229174 m,$$

тоді прибуток за рахунок збільшення продуктивності можна розрахувати як:

$$P_n = A_{pic}^+ \cdot C_m, \quad (3.65)$$

де C_T – вартість однієї тонни руди, ум. од.;

$$P_n = 229174 \cdot 3300 = 756,3 \text{ млн. ум.од.},$$

Таким чином, впровадження системи логічного керування і скорочення часу підйому в середньому на 10 секунд дозволяють збільшити продуктивність установки на 229,2 тис. тонн в рік, що дає економічний ефект 756,3 млн. ум.од..

Друга частина економічного ефекту виходить за рахунок зменшення часу руху на малій швидкості на етапах підходу кривих при неточному до них наближенні. Час дотягування може досягати п'яти-десяти секунд, тобто доходити до 10% від часу підйому.

Для розрахунку економії енергії в циклі підйому за рахунок скорочення часу знаходження на етапі руху в кривих проведемо розрахунок фактичних витрат електроенергії з мережі витрачених на підйом одного скіпа (кВт·г) можна визначити як:

$$W_\phi = \frac{\omega_{\max} \sum M_t}{1000 \cdot 3600 \eta_i \eta_{os}}, \quad (3.66)$$

враховуючи, що $M = k\Phi \cdot I_\alpha$ і $v_{\max} = \omega_{\max} \cdot R_\sigma$, а також беручи до уваги ККД елементів системи Г-Д отримаємо:

$$W_\phi = \frac{k\Phi \cdot v_{\max} \sum I_t}{1000 \cdot 3600 R_\sigma \eta_i \eta_{os} \eta_{cd} \eta_z \eta_{mn}}, \quad (3.67)$$

де R_σ – радіус барабану, м;

v_{\max} – номінальна швидкість підйому;

$\eta_{об}$ – ККД підйомного двигуна (для ПБК 380/80 $\eta_{об} = 0,905$);

$\eta_{сд}$ – ККД синхронного двигуна системи Г-Д ($\eta_{сд} = 0,945$);

η_{mn} – ККД тиристорних перетворювачів (приймається 0,96);

η_i – ККД редуктора (при відсутності приймається за 1);

η_z – ККД генератора системи Г-Д ($\eta_z = 0,92$);

$\sum I_i$ – розраховується за осцилограмою струму.

Отримаємо роботу на АЗК-1 без автоматичного формування точки уповільнення:

$$W_{\phi_1} = \frac{9,42 \cdot 147200 \cdot 262}{1000 \cdot 3600 \cdot 3 \cdot 0,905 \cdot 0,945 \cdot 0,92 \cdot 0,96} = 44,5 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

З формуванням, що забезпечує підхід безпосередньо до розвантажувальних кривих:

$$W_{\phi_2} = \frac{9,42 \cdot 137410 \cdot 262}{1000 \cdot 3600 \cdot 3 \cdot 0,905 \cdot 0,945 \cdot 0,92 \cdot 0,96} = 39,6 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Таким чином, автоматичне формування тахограми руху дає економію енергії на підйом одного скіпа близько п'яти кіловат годин, тобто зменшує споживання електроенергії за підйом на 9%.

3.11 Висновки до розділу 3

На основі теорії автоматів розроблена і обґрунтована структура керування за модульним принципом. Обґрунтовано модульна структура програмного забезпечення системи логічного керування підйомної машини з використанням теорії автоматів і теорії графів.

1. Запропоновані як сукупність автономних модулів алгоритми функціонування СЛК дозволяють уніфікувати системи логічного керування як для підйомних установок з приводом постійного, так і змінного струму. Застосування сучасних технологій розробки програмного забезпечення з

використанням кінцевих автоматів дозволяє розширювати функціональні можливості системи логічного керування без порушення її структури в цілому.

2. Розроблено алгоритм вибору точки переходу на швидкість руху в кривих і точки початку уповільнення з урахуванням параметрів електроприводу, що забезпечує формування оптимальної тахограми швидкості.

3. Розроблено алгоритм керування динамічним струмом в режимі уповільнення підйомної машини в функції швидкості, моменту двигуна і положення підйомної маси, що дозволяє забезпечити інваріантність динамічного моменту по відношенню до параметрів електромеханічної системи.

4. Запропоновано методику синтезу цифрових СЛК, яка дозволяє підвищити ефективність при розробці систем логічного керування підйомних установок та розраховано її техніко-економічні показники.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

У даному розділі розглядається можливий вплив використовуваного обладнання, енергії, і умов праці на людину і навколишнє середовище; техніка безпеки при роботі з устаткуванням і дії при надзвичайних ситуаціях.

4.1 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів при експлуатації систем електроприводу підйомної установки.

Небезпечними і шкідливими виробничими факторами при експлуатації систем електроприводу є:

- обертові частини конструкції електроприводу;
- електричний струм;
- небезпека хімічного опіку при порушенні правил експлуатації літєво-іонних акумуляторів;
- у великій матеріаломісткості;
- в можливості витоку робочих рідин, що містять хлорати і нітрити;
- в небезпеці перегріву і загоряння систем;
- у впливі на клімат космічних сонячних станцій;
- в створенні перешкод телевізійного та радіозв'язку;
- в передачі енергії на Землю у вигляді мікрохвильового випромінювання.

Температура навколишнього середовища:

– для електрообладнання, розміщеного в опалювальних приміщеннях (шафи, пульти управління, ПКУ, тощо) від $+5^{\circ}$ до $+35^{\circ}$ С, при відносній вологості 30 ÷ 80%;

– для електрообладнання розміщеного в неопалюваних приміщеннях і відкрито на механізмах (електродвигуни, силові трансформатори, датчики, апарати управління тощо) від -25° до $+35^{\circ}$ С, при відносній вологості 30 ÷ 90%.

При роботі електрообладнання піддається впливу:

– вібрації у вертикальній площині з прискоренням I_d , частотою $2 \div 19$ Гц;

– одиночних ударів з прискоренням U_d , тривалістю $30 \div 40$ мс;

Вимоги до організації робочого місця

При виборі та розміщенні робочого місця органів керування враховують фізіологічні особливості рухового апарату людини за ДСТУ 7234:2011 Національний стандарт України. Дизайн і ергономіка. Обладнання виробниче. Загальні вимоги дизайну та ергономіки.

Органи управління машинами та механізмами - за ДСТУ 2961-94 Організація промислового виробництва. Нормування матеріалів та виробничих процесів. Терміни та визначення і справжньому стандарту.

Форма, розмір, зусилля і відстань між кнопками - за ДСТУ EN 60204-1:2015 Безпечність машин електрообладнання машин Частина 1. Загальні вимоги (EN 60204-1:2006; A1:2009; AC:2010, IDT).

Розміри зусилля і вид важеля і важільного вимикача типу тумблер - по ДСТУ 7249:2011 Дизайн і ергономіка. Важелі керування. Загальні вимоги ергономіки і ДСТУ 8689:2016 Дизайн і ергономіка. Вимикачі й перемикачі типу Тумблер. Загальні ергономічні вимоги.

Розміри, зусилля і форма поворотних вимикачів і перемикачів - по ДСТУ 8605:2015 Дизайн і ергономіка. Вимикачі й перемикачі клавішні та кнопкові. Загальні ергономічні вимоги, клавішних і кнопкових вимикачів і перемикачів по ДСТУ 8605:2015 Дизайн і ергономіка. Вимикачі й перемикачі клавішні та кнопкові. Загальні ергономічні вимоги.

Місця контактів органів управління з ручками оператора мають коефіцієнт теплопровідності не більше $0.5 \text{ Вт}/(\text{м}^\circ \text{С})$.

Органи управління кодовані двома або кількома відмінними способами: формою, розміром, видом операції управління, написами, кольором.

Символи органів управління - за ДСТУ EN 894-3:2003 Безпечність машин. Ергономічні вимоги до проектування індикаторів і органів керування. Частина 3. Органи керування (EN 894-3:2000, IDT).

4.2 Вимоги безпеки перед початком роботи з електричним обладнанням

1. Привести в порядок спецодяг, спецвзуття та індивідуальні захисні засоби, перевірити їх справність. Зберігати захист засоби в спеціальних ящиках окремо від інструментів; вони повинні мати клеймо із зазначенням строку їх випробувань.

2. Перевірити стан ізолюючих підставок, решіток, переносних драбин і т.д.

Перевірити справність ручного інструменту:

- рукоятки кусачок, плоскогубців, стержні викруток повинні бути ізольовані;

- робоча частина викрутки повинна бути правильно заточена, а рукоятка міцно насаджена і ізольована;

- гайкові ключі повинні бути справними і відповідати розміру гайок.

3. Ручний інструмент слід зберігати в переносному ящику чи сумці для інструменту.

4. Забороняється знімати плакати, заземлення і огорож без дозволу керівника робіт.

5. Засоби захисту, прилади, інструмент і приладдя з дефектами або з простроченим строком випробування (придатності) необхідно вилучати і доповідати про це своєму керівництву.

Правила використання засобів захисту

1. Для захисту від ураження електричним струмом, впливу електричної дуги і електромагнітного поля слід застосовувати електрозахисні засоби, які діляться на основні і додаткові.

2. Основними електрозахисними засобами можна доторкуватися до струмоведучих частин, які знаходяться під напругою. Додаткові ел.захисні засоби повинні застосовуватися сумісно з основними. Вони також захищають від напруги дотику і напруги кроку.

3. При використанні основних засобів захисту достатньо застосувати одне додаткове, за виключенням випадків звільнення потерпілого від дії струму в ел.установках, коли для захисту від напруги кроку необхідно застосовувати також боти або галоші.

4. В ел.установках вище 1000В необхідно користуватися діелектричними рукавицями при роботі з ізолюючими штангами (крім вимірювальних), штангами для накладання заземлення, штангами для очистки ізоляції від пилу, ізолюючими і ел.вимірювальними кліщами. Тримати штанги необхідно за рукоятки до обмежувального кільця або упору.

5. При роботі в діелектричних рукавицях їх краї не можна підгортати, рукави одягу повинні частково знаходитись в середині рукавиць. При користуванні рукавицями в холодний час поза приміщенням допускається одягати і на тонкі вовняні або бавовняні рукавиці.

6. При користуванні кліщами для вимірювання в колах напруги вище 1000В переключати межі вимірювання вбудованого приладу слід, знявши кліщі з струмоведучих частин. При вимірюванні кліщі слід тримати в повітрі.

7. При роботі під напругою до 1000В необхідно застосовувати інструмент з ізолюючими рукоятками як основний засіб захисту.

4.2.1 Вимоги до електробезпеки

Подача напруги на робочому місці можлива тільки після перевірки стану ізоляції, справності розподільних пристроїв, справності заземлення всього електрообладнання та заземлення металоконструкції. При подачі напруги весь експлуатаційний персонал та особи проводять роботи (наладчики, монтажники, ремонтники), повинні бути оповіщені відповідальною особою з прийому напруги і прийняті запобіжні заходи виключають нещасні випадки.

Забороняється подача високої напруги при знятих кожухах і високовольтному струмопідведенні. Спецключ від замків високовольтних розподільних, кожухів високовольтному струмопідведенні повинні знаходитися в осіб відповідальних за дану ділянку роботи. Забороняється експлуатація при відкритих дверях високовольтних розподільних, станцій і пультів управління і при знятих захисних кожухах про електрообладнання. Забороняється у високовольтних пристроях розподілення відкривати двері шафи верхнього відсіку при наявності напруги на збірних шинах і живильних кабелях. У всіх випадках огляду кожної шафи після відкривання дверей верхнього відсіку повинна проводитися перевірка напруги на всіх частинах, які можуть бути під напругою.

При виконанні робіт з ремонту та налагодження електрообладнання, суворо виконувати вимоги правил безпеки по зняттю напруги огорожі місць роботи та вивішування попереджувальних плакатів з написами «Не вмикати - працюють люди», «Стій - висока напруга», «Стій - небезпечно для життя», «Працювати тут », та ін.

На робочих місцях завжди повинні бути в наявності справні ізолюючі захисні засоби і ті що пройшли випробування в установлені терміни, діелектричні боти, рукавички, гумові килимки, покажчики напруги, штанги, переносні захисні заземлення та ін.

Переносні заземлення виготовляються на місці і повинні відповідати таким умовам:

– дроти для закорочування і заземлення повинні бути виконані з гнучких мідних жил перерізом не менше 25мм²;

– затискачі для приєднання закорочуючих проводів повинні бути такої конструкції, щоб при проходженні струму короткого замикання переносне заземлення не було зірвано з місця динамічними зусиллями;

– всі приєднання елементів переносного заземлення повинні бути виконані міцно і надійно опресовуванням, зварюванням, скручуванням з подальшим паянням (застосування однієї тільки пайки забороняється).

При накладенні заземлення спочатку приєднують заземлюючий провід до землі, потім перевіряють відсутність напруги на заземлюючих струмоведучих частинах, після чого затискачі закорочуючих проводів за допомогою штанги накладають на струмопровідні частини і закріплюють там цією ж штангою або руками, в діелектричних рукавичках.

Загальний опір заземлюючого пристрою не повинен перевищувати 4 Ом.

Заземлення виконується із сталевих кутів, сполучених між собою сталевою смугою. Розміри кута: сторона 50 мм, довжина 5 м, сполучна смуга розміром 4x40 мм, та довжиною 68м. Глибина закладання стрижнів 1 м, відстань між ними 2 м, ґрунт – супісок.

Необхідне число кутів визначається виходячи з опору одиночного заземлюючого кута

$$R = 0,366 \frac{\rho}{l} \left[\lg \frac{2l}{0,95b} + \frac{1}{2} \lg \left(\frac{4H+l}{4H-l} \right) \right],$$

де H – глибина закладки, рівна відстані від половини довжини кута до поверхні землі, ρ – питомий опір ґрунту, 400 Ом·м, l – довжина кута, b – сторона кута.

$$R_{os} = 0,366 \frac{400}{5} \left[\lg \frac{2 \cdot 5}{0,95 \cdot 0,05} + \frac{1}{2} \lg \left(\frac{4 \cdot 3,5 + 5}{4 \cdot 3,5 - 5} \right) \right] = 83,56 \text{ Ом.}$$

Виберемо для даних умов коефіцієнт використання заземлювачів при відношенні довжини кута до відстані між ними, рівному – 2 [4]: $\eta_{\text{кут}} = 0,6$, $\eta_{\text{см}} = 0,3$.

Число заземлюючих кутів:

$$n = \frac{R_{\text{оз}}}{r_{\text{зн}} \eta_{\text{кут}}} = \frac{83,56}{4 \cdot 0,6} = 34.$$

Опір сполучної смуги визначається:

$$R_{\text{см}} = 0,366 \frac{\rho}{l_{\text{см}}} \lg \frac{2l_{\text{см}}^2}{bH} = 0,366 \frac{400}{68} \lg \frac{2 \cdot 68^2}{0,04 \cdot 0,8} = 1,14 \text{ Ом},$$

Опір контуру заземлення:

$$r_{\text{кз}} = \frac{R_{\text{кут}} R_{\text{см}}}{R_{\text{кут}} \eta_{\text{см}} + n R_{\text{см}} \eta_{\text{кут}}} = \frac{83,56 \cdot 1,14}{83,56 \cdot 0,3 + 34 \cdot 1,14 \cdot 0,6} = 1,97 \text{ Ом}.$$

Розрахований опір $r_{\text{кз}} = 1,97$ Ом менший, ніж необхідний опір штучного захисного заземлення $R = 4$ Ом і тому цей контур нас задовольняє.

Операції по накладенню і зняттю переносних заземлень виконуються із застосуванням діелектричних рукавичок.

При операціях з приводами роз'єднувачів, масляних вимикачів і пускорегулюючої апаратури; під час оперативних перемикачів в станціях управління і розподільних пунктах застосовуються діелектричні рукавички і килимки.

Забороняється проводити сполучення і розчленування штепсельних роз'ємів кабелів, що перебувають під напругою. Перенесення живильного кабелю, який знаходиться під напругою можна здійснювати тільки в діелектричних рукавичках або за допомогою спеціальних пристроїв з ізольованими рукоятками. Забороняється користуватися ізолюючими захисними засобами на відкритому повітрі при сирій погоді: під час дощу, снігу, туману та паморозі. Робота під час грози забороняється. Машина повинна, бути відключена від мережі, а обслуговуючий персонал повинен

перебувати в приміщеннях, перебування біля конвеєра забороняється, в темний час доби зона роботи конвеєра, повинна, бути достатньо освітлена.

Забороняється користуватися переносними світильниками з напругою вище передбаченої на конвеєрі для ланцюгів місцевого освітлення 12В.

Експлуатаційному персоналу забороняється:

- приступати до роботи при виявленні перед початком роботи несправностей електрообладнання; заземлення; живильного кабелю, також при відсутності сигналізації та захисних засобів;

- продовжувати роботу при виявленні в процесі роботи несправностей електрообладнання, заземлення, живильного кабелю;

- виробляти огляди, чищення, змащення, регулювання і ремонт механізмів при працюючих електродвигунах. Електрообладнання повинно бути відключене від мережі із забезпеченням подвійного розриву з боку живлення.

- переїжджати через лежачий кабель, а також кидати на нього тяжкості (труби; дошки тощо), гальмувати руками обертові деталі механізмів;

- пролазити через рухомі деталі та механізми;

- працювати з переносною лампою без захисної сітки;

- проводити зміну ламп при наявності напруги в патроні;

- виробляти чистку низьковольтних клемних збірок, контактів і електроапаратури перебуваючої під напругою, і т.д.

Всі роботи, пов'язані з вимірюванням переносними приладами здійснювати струмовимірювальними кліщами, мегометром та ін. проводиться в установках напругою понад 1000В двома особами: одна з яких повина мати кваліфікацію не нижче IV групи, а в установках нижче 1000В- іншою особою, з кваліфікацією не нижче III-ї групи.

При роботах зі зняттям напруги з конвеєра або ділянок схем для виконання робіт слід:

- відключити напругу, при цьому повинні бути знеструмлені струмопровідні частини, на яких будуть проводитися роботи;
- вивісити плакати на всіх рукоятках приводів розподільних з написами «не вмикати - працюють люди» і т.д. Знімати плакати може тільки та особа, яка їх чіпляла;
- перевірити відсутність напруги справним і перевіреним покажчиком напруги;
- розрядити кабель від ємнісних струмів;
- накласти переносні заземлення.

4.3 Вимоги до пожежної безпеки

Основними причинами виникнення пожеж є наступні:

- не передбачені протипожежні заходи: чи не дотримана необхідна вогнестійкість будівельних конструкцій, немає блискавкозахисту і відсутнє заземлення від статичної електрики, транспортування горючих рідин у відкритому стані;
- неправильна пожежна профілактика;
- перевантаження та несправність електричних мереж і електродвигунів, витік газів у з'єднаннях;
- необережне поводження з вогнем: куріння в заборонених місцях, користування відкритим вогнем.

При роботі конвеєра небезпека виникнення пожежі в більшості випадків виникає через перевантаження, що виникають в електродвигунах, електрообладнанні, електромережах.

В результаті цього можливе їх нагрівання або іскріння, що надалі може призвести до короткого замикання. При короткому замиканні опір електричного кола зменшується, наближаючись до нуля і згідно закону Ома електричний струм зростає до величини, що набагато перевищує номінальне значення. За законом Джоуля-Ленца, кількість тепла, що виділяється

пропорційно силі струму, тому відбувається швидке виділення тепла, загоряється ізоляція або інші горючі матеріали.

У разі загоряння електрообладнання забороняється гасити його водою, пінними вогнегасниками або іншими рідинами. Слід в першу чергу відключити пошкоджену ділянку, гасіння пожежі здійснювати вуглекислотними вогнегасниками або піском, не торкаючись електроустановки.

При гасінні електроустановок напругою понад 1000 В, з метою запобігання ураження електричним струмом, людям, що працюють зі стволами, слід надягати поверх електротехнічних рукавичок рукавички з латунної сітки. Останні заземлюють проводом під спецодягом з підошвами з латуні або міді.

При проектуванні і будівництві виробничих будівель і споруд необхідно враховувати категорію приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою. Визначення категорії приміщення проводиться з урахуванням показників пожежевибухонебезпечності речовин та матеріалів, що там знаходяться, та їх кількості. Відповідно до НАПБ Б.03.002-2007 “Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою” приміщення за вибухопожежною та пожежною небезпекою поділяються на п’ять категорій А, Б, В, Г, Д.

Категорія А – вибухопожеженебезпечна. Горючі гази, легкозаймисті рідини (ЛЗР) з температурою спалаху не більше 28°C в такій кількості, що можуть утворюватися вибухонебезпечні парогазоповітряні суміші, при спалахуванні яких розвивається розрахунковий надлишковий тиск вибуху $P > 5$ кПа. Речовини та матеріали, здатні вибухати та горіти при взаємодії з водою, киснем повітря або одне з одним в такій кількості, що розрахунковий надлишковий тиск вибуху $P > 5$ кПа.

До приміщень категорії А належать склади балонів з горючими газами, склади ЛЗР, склади карбїду кальцію, малярні цехи, де використовуються нітрофарби, лаки та нітроемалї.

Категорія Б – вибухопожеженебезпечна. Горючий пил або волокна, ЛЗР з температурою спалаху більше 28 °С та горючі рідини в такій кількості, що можуть утворюватися вибухонебезпечні пилоповітряні або пароповітряні суміші, при спалахуванні котрих розвивається розрахунковий надлишковий тиск вибуху $P > 5$ кПа.

До категорії Б належать кисневі станції, малярні цехи, де використовують оліфу та олійні лаки, склади гасу, нафти, мазуту тощо.

Категорія В – пожеженебезпечна. Горючі та важкогорючі рідини, тверді горючі та важкогорючі речовини і матеріали (у тому числі пил і волокна), здатні при взаємодії з водою, киснем повітря або одне з одним лише горїти за умови що приміщення, в яких вони знаходяться, не відносяться до категорій А і Б.

До категорії В належать паливно-мастильні склади, деревообробні цехи, склади вугїлля, приміщення обчислювальних центрів, цехи складання печатних плат.

Категорія Г. Негорючі речовини та матеріали в гарячому, розжареному або розплавленому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням променистого тепла, іскор, полум'я; горючі гази, рідини, тверді речовини, які спалюють або утилізують як паливо.

До категорії Г належать кузнї, котельні, ливарні, зварювальні і термічні цехи.

Категорія Д. Негорючі речовини та матеріали в холодному стані.

До категорії Д належать механічні майстерні, цехи холодної обробки металу, повітродувні станції, склади металу.

Класифікація вибухо- та пожеженебезпечних зон відповідно до ПБЕ.

Головним заходом запобігання пожеж і вибухів від електрообладнання є правильний вибір і експлуатація обладнання у вибухо- і пожежебезпечних приміщеннях.

Класифікація пожежебезпечних та вибухонебезпечних зон визначається НПАОП 40.1-1.32-01 “Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок”.

Характеристика пожеже- та вибухонебезпеки може бути загальною для усього приміщення або різною в окремих його частинах. Це також стосується надвірних установок і ділянок територій. Приміщення, або їх окремі зони поділяються на пожежебезпечні та вибухонебезпечні. Залежно від класу зони здійснюється вибір виконання електроустановок таким чином, щоб під час їх експлуатації виключити можливість виникнення вибуху або пожежі від теплового прояву електроструму.

Пожежебезпечна зона – простір у приміщенні або за його межами, у якому постійно або періодично знаходяться (зберігаються, використовуються або виділяються під час технологічного процесу) горючі речовини як при нормальному технологічному процесі, так і при його порушенні в такій кількості, яка вимагає спеціальних заходів у конструкції електрообладнання під час його монтажу та експлуатації.

Класифікація пожежебезпечних зон

Пожежебезпечна зона класу П-I – простір у приміщенні, у якому знаходиться горюча рідина, яка має температуру спалаху більше +61°C.

Пожежебезпечна зона класу П-II – простір у приміщенні, у якому можуть накопичуватися і виділятися горючий пил або волокна.

Пожежебезпечна зона класу П-Ia – простір у приміщенні, у якому знаходяться тверді горючі речовини та матеріали.

Пожежебезпечна зона класу П-III – простір поза приміщенням, в якому знаходяться горюча рідина, яка має температуру спалахування понад +61°C або тверді горючі речовини.

4.4. Інструкція до плану евакуації

В разі отримання сигналу про початок евакуації в зв'язку з виникнення пожежі або не чекаючи отримання такого сигналу в разі самостійного виявлення пожежі, загоряння або задимлення персонал зобов'язаний:

1. Довести інформацію про необхідність евакуації з будівлі до інших працівників, які перебувають в приміщеннях.
2. Вимкнути електроживлення побутової, комп'ютерної та іншої офісної техніки, освітлення в кабінетах.
3. Вдягнутись, взяти особисті документи та речі. Забороняється проводити евакуацію матеріальних цінностей одночасно з проведенням евакуації персоналу.
4. Закрити відчинені віконні отвори.
5. Спокійно, без паніки покинути службове приміщення, закривши за собою двері.
6. Слідувати до найближчого евакуаційного виходу (сходової клітини).
7. В разі виявлення задимлення або інших випадків неможливості використовувати для евакуації сходову клітину безпечним шляхом добратися до іншої сходової клітини.
8. Не скупчуватися та без потреб не зупинятись на шляхах евакуації.
9. Не загромождувати, не захаращувати та не блокувати шляхів евакуації.
10. В ході евакуації не залишатись на інших поверхах, виходити з будівлі назовні.
11. Для збору евакуйованих встановлена – відкрита територія біля будівлі корпусу.
12. В разі наявності інформації про осіб, які залишились або змогли залишитись у будівлі повідомити про це своїх безпосередніх керівників, начальника варту Служби охорони, посадову особу пожежного підрозділу, який прибув на гасіння пожежі.
13. В разі неможливості самостійно покинути службове приміщення:

- закрити двері у коридор, герметизувати їх за допомогою підручних засобів;
- відкрити вікна назовні для допуску у приміщення свіжого повітря;
- подавати сигнали про необхідність допомоги за допомогою телефонного зв'язку та голосом через відкриті вікна.

4.5. Інструкція з охорони праці

До обслуговування електроустановок напругою більш 1000В допускається працівники не молодше 18 років, які мають не менше 4 групи по електробезпеці та не мають травм та хвороб, які заважають роботі. Стан здоров'я електротехнічного персоналу з'ясовується медичною довідкою при прийомі на роботу та періодичному медичному огляді.

Перед початком роботи в електроустановках в цілях безпеки обов'язково проводяться організаційні та технічні заходи. До організаційних заходів відносяться: видача нарядів, розпоряджень та допуску до роботи, нагляд під час роботи, оформлення перерв в роботі, переходу на інше робоче місце та закінчення роботи. До технічних заходів відносяться: відключення напруги та прийняття мір, перешкоджаючих помилковому або самовільному включенню комутаційного обладнання, вивішування забороняючих та попереджувальних плакатів, перевірка відсутності напруги, проектування заземлення.

Наряди та розпорядження видають працівники, які мають не менше 5 розряду по електробезпеці в електроустановках напругою більше 1000В.

При роботі в наряді бригада повинна складатись не менше двох працівників – провідника робіт та члена бригади. Провідник робіт відповідає за правильність підготовки робочого місця, забезпечення необхідних для виконання робіт заходів безпеки. Він зобов'язаний проводити інструктаж бригади про ці заходи, забезпечувати їх виконання працівниками, слідкувати за справністю інструменту. Допуск до робіт здійснюється допускаючим відповідальним працівником з оперативного персоналу. Перед допуском до

роботи відповідальний керівник та провідник робіт разом з допускаючим перевіряють виконання технічних заходів по підготовці робочого місця. Після цього допускаючий перевіряє відповідність складу бригади та кваліфікації працівників, які входять до неї, зачитує по наряду прізвище відповідального керівника, провідника робіт, членів бригади та перелік робіт; пояснює бригаді звідки знята напруга, де накладене заземлення, які частини з сусідніх з'єднань залишились під напругою та які особливі умови виконання робіт повинні виконуватись; вказує бригаді межі робочого місця та впевнюється, що все їм сказане зрозуміло бригадою. Після роз'яснення допускаючий доказує бригаді, що напруга відсутня за допомогою накладання заземлення, а в установках, де заземлення помітні з місця роботи - за допомогою показника напруги.

Порядок відключення комутаційного обладнання перед початком робіт в електроустановках більш 1000В:

- відключити рубильники (автомати) всіх ліній які відходять 0,4кВ.
- відключити автоматичний вимикач (рубильник) 0,4кВ трансформатора;
- відключити вимикач навантаження (роз'єднувач) трансформатора та перевірити його положення;
- відключити вимикач навантаження від лінії живлення;
- відключити вимикач від лінії живлення;
- відключити лінійний та шинний роз'єднувач.

Відключення проводити дотримуючись заходів безпеки.

На приводах ручного та дистанційного керування комутаційною апаратурою вивішують забороняючі плакати "Не вмикай – працюють люди".

За допомогою показника напруги перевіряють відсутність напруги. Виконують накладання заземлення для захисту працюючих від ураження електричним струмом у випадку помилкової подачі напруги до місця робіт.

В електроустановках більш ніж 1000В переносні заземлення накладають з використанням ізолюючих штанг.

Не відключені струмопровідні частини, доступні для ненавмисного дотику, на час роботи огорожують щитами, екранами з ізолюючих матеріалів, ізолюючими накладками або встановлюють спеціальні пересувні огорожі. В ОРУ робоче огорожують канатом з вивішеними на ньому плакатами “Сій! Напряга”, обернутими всередину огороженого простору. На всіх підготовлених робочих місцях після накладання заземлення та огорожі робочого місця вивішують плакати “Працювати тут”. Під час роботи забороняється пересувати або забирати плакати та встановлені тимчасові огорожі, а також заходити на територію огорожених ділянок.

По завершенню робіт робоче місце приводиться в порядок, приймається відповідальним керівником, який після виводу бригади провідником робіт розписується в наряді про їх виконання. Оперативний персонал оглядає обладнання та місце роботи, перевіряє відсутність людей, сторонніх людей, предметів, інструменту, знімає заземлення та перевіряє, згідно з прийнятим порядком обліку, забирають тимчасову огорожу, знімають плакати “Працювати тут ”, встановлює на місце постійну огорожу, знімає плакати, вивішені до початку робіт. По закінченню перерахованих робіт наряд закривається та вмикається електроустановка.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

У даному розділі розглядається можливий вплив електромагнітного поля на навколишнє середовище та організм людини в рамках досліджуваної системи логічного керування електроприводом підйомної установки

5.1 Загальні відомості про електромагнітне поле.

Наразі, штучні джерела створюють електромагнітні поля (ЕМП) значно більших інтенсивностей, ніж природні. Клініко-фізіологічними дослідженнями встановлено, що ЕМП штучного походження відіграють значну роль у розвитку серцево-судинних, онкологічних, алергійних захворювань, хвороб крові, а також можуть впливати на генетичні структури. При систематичному впливі ЕМП викликають виражені зміни в стані здоров'я населення, у тому числі в осіб, професійно не пов'язаних із джерелами ЕМП, причому ефекти впливу слабоінтенсивних полів можуть носити віддалений характер. Відзначено високу чутливість і вражуваність нервової системи, хрусталика ока, насінних залоз у чоловіків, виявлені порушення функціональної регуляції всіх ланок ендокринного апарата, порушення ліпідного обміну і ряд інших відхилень. Значне число робіт свідчить про негативний вплив ЕМП на генетичні структури, клітинні мембрани, імунну систему, гормональний статус. У публікаціях останніх років активно обговорюється питання про канцерогенну небезпеку ЕМП так названої "промислової" частоти -50 Гц у Росії і Європі, 60 Гц в Америці.

Електромагнітні випромінювання антропогенних джерел ("електромагнітне забруднення") представляють велику складність з погляду як аналізу, так і обмеження інтенсивностей опромінення. Це обумовлено наступними основними причинами:

- у більшості випадків неможливе обмеження викиду забруднюючого фактора в навколишнє середовище;
- неможлива заміна даного фактора на іншій, менш токсичний;

- неможливе "очищення" ефіру від небажаних випромінювань;
- неприйнятний методичний підхід, що складається в обмеженні ЕМП до природного фону;
- ймовірно довгостроковий вплив ЕМП (цілодобово і навіть протягом ряду років);
- можливий вплив на великий контингент людей, включаючи дітей, старих і хворих;
- важко статистично описати параметри випромінювань багатьох джерел, розподілених у просторі і працюючих в різних режимах.

5.2 Класифікація електромагнітних полів.

За енергетичним спектром розрізняють ЕМП:

- синусоїдальні (монохроматичні);
- модульовані;
- імпульсні;
- флуктуаційні (шумові).

За видом джерела прийнято розділяти ЕМП від земних і неземних природних джерел і ЕМП від штучних (антропогенних) джерел.

За видом впливу розрізняють ЕМП:

- ізольоване (від одного джерела);
- сумісне (від двох і більше джерел одного частотного діапазону);
- змішане (від двох і більш джерел різних частотних діапазонів);
- комбіноване (у випадку одночасної дії якого-небудь іншого несприятливого фактора).

Відношення особи, що опромінюється, до джерела опромінення може бути професійним, тобто пов'язаним з виконанням виробничих операцій, і непрофесійним (інше населення).

При опроміненні тіла розрізняють загальне опромінення, коли дії електромагнітного поля піддається все тіло, і локальне (місцеве), коли електромагнітне поле впливає переважно на які-небудь частини тіла.

За часом опромінення може бути постійним і переривчастим.

5.3 Вплив електромагнітних полів на біологічні об'єкти.

Біологічний ефект електромагнітного опромінення залежить від частоти, тривалості й інтенсивності впливу, площі поверхні, що опромінюється, загального стану здоров'я людини. Крім цього, на розвиток патологічних реакцій організму впливають:

- режими генерації ЕМП, у тому числі несприятливі амплітудна і кутова модуляції;
- фактори зовнішнього середовища (температура, вологість, підвищений рівень шуму, рентгенівського випромінювання й ін.);
- деякі інші параметри (вік людини, спосіб життя, стан здоров'я й ін.);
- область тіла, що піддається опроміненню.

Найбільш чуттєві хворі організми, зокрема ті, що страждають алергійними захворюваннями або мають схильність до утворення пухлин. Досить небезпечне опромінення в період ембріогенезу й у дитячому віці.

Електромагнітні поля (ЕМП) впливають на живі істоти - комах, риб, тварин і людину. Одними із найчуттєвіших до впливу ЕМП є риби. Для них поріг чутливості до зовнішнього електричного поля складає одиниці вольт на метр. Вплив ЕМП на тварин (на мишей, пацюків, собак) вивчався у відношенні їхнього впливу на нервову, імунну й ендокринну системи, нейрогуморальні реакції, полову функцію і на ембріон. Крім того, широко проводилися клініко-фізіологічні дослідження впливу ЕМП на людину. Однак, механізми впливу ЕМП на людину в даний час ще не цілком з'ясовані. Це пояснюється складністю людського організму, з одного боку, і неоднозначністю деяких впливів ЕМП - з іншої. Тут мається на увазі, що вплив слабкими струмами і магнітними полями низької частоти використовується в лікувальних цілях. Також добре відома така лікувальна процедура, як УВЧ, застосовувана для прогрівання ділянок тіла. Проте

існують експериментальні факти негативного впливу ЕМП, наприклад протікання в тілі людини струмів під впливом низькочастотних полів або виділення в тілі людини тепла при впливі НВЧ. Розглянемо ці механізми докладніше.

Відомо, що організм людини електрично активний, як, утім, у всіх ссавців і риб. Його нормальне функціонування пов'язане з протіканням у нервових клітинах і в мозку слабких електричних струмів. Останні реєструються як енцефалограми. Також відомо, що протікання через організм порівняно великих струмів може викликати різні хворобливі явища: фібриляція і зупинка серця, а також спазм дихальних шляхів.

5.4 Нормування припустимих значень інтенсивності ЕМП.

Усі промислово розвинуті країни світу мають норми припустимих значень інтенсивностей ЕМП, які діють на людину. Існують регіональні, національні і глобальні норми. Наприклад, у США свої норми по ЕМП установлює кожен штат. Прикладом глобальних норм є норми, що рекомендуються ВООЗ.

Слід розуміти, що конкретні значення нормованих параметрів залежать від великого числа причин і є предметом угоди для конкретної країни або регіону. Так, щодо впливів радіотелефонів ведеться "боротьба" між їхніми виробниками і фахівцями в області радіогієни. Загальна ситуація полягає в тому, що фірми, що виробляють ту або іншу продукцію і зацікавлені в її збуті, борються за високі значення встановлюваних обмежувальних параметрів. На практиці ці параметри можуть приводити до такого рівня впливу, що гігієністи вважають неприпустимим. Результат боротьби залежить від рівня економічного розвитку країни, впливу на фірми-виробники суспільної думки і від інших подібних причин.

Як підсумок - у даний час норми різних країн відрізняються один від одного і від рекомендацій ВООЗ, що, як правило, є найбільш жорсткими. Разом з тим різні норми містять практично ті самі елементи, нормують ті

самі величини, зміна, наприклад, нормованої напруженості ЕМП від частоти носить той самий характер. Отже, ці залежності об'єктивно відбивають загальноприйняті на даний час погляди на вплив ЕМП.

Розглянемо загальні тенденції і загальні елементи існуючих норм щодо обмеження впливу ЕМП. Загальним для всіх норм є обмеження по напруженості електричних і магнітних полів, причому існують окремі норми для напруженості електричного і магнітного полів. Іншими словами, норми містять допустимі значення напруженості, перевищення яких так чи інакше забороняється.

Нормування напруженостей ЕМП виробляється в залежності від частоти. Характерна риса всіх існуючих норм полягає в тому, що з ростом частоти припустимі значення напруженості зменшуються.

При впливі *низькочастотних полів* деякі норми містять залежність припустимої напруженості від часу впливу. Деталізація цієї залежності в різних формах різна. Одні виражають її у виді аналітичної залежності, інші включають дискретний набір значень припустимої напруженості для різних значень часу перебування в ЕМП.

Ще однією загальною рисою норм є їх "розподіл" на норми *для персоналу*, що обслуговує установки (професіонали), і норми *для населення*. Норми для населення завжди нижче норм для професіоналів. Це пояснюється тим фактом, що до населення відносяться свідомо ослаблені люди - хворі, інваліди, вагітні жінки й інші категорії осіб, для яких з ряду причин впливи ЕМП можуть виявитися більш шкідливими, ніж для здорових людей. Персонал, що обслуговує установки, як правило, складається (або повинний складатися) з людей, відібраних і за ознакою певного рівня здоров'я.

5.5 Допустимі рівні напруженості електричних полів

Допустимі рівні впливаючих полів, встановлюються окремо для персоналу, що обслуговує електроустановки, і населення. У поняття

"населення" входять особи, що проживають, працюють або тимчасово знаходяться поблизу ПЛ.

Гранично допустимий рівень напруженості впливаючого поля установлюється рівним 25кВ/м. Перебування в полі, напруженістю більш 25кВ/м не допускається без захисних засобів. При напруженості поля від 20 до 25кВ/м час перебування персоналу в ньому не повинен перевищувати 10хв. Припустимий час T , ч, перебування в поле напруженістю від 5 до 20кВ/м включно.

Перебування в полі з напруженістю до 5кВ/м включно допускається протягом робочого дня.

Для визначення напруженості варто застосовувати прилади, що вимірюють діючі значення з похибкою не більше 20%.

Стосовно до населення нормування напруженості електричного поля здійснюється СН 2971 []. Вони встановлюють гранично допустимі рівні напруженості поля. Як гранично допустимі рівні, прийняті наступні значення напруженості:

- 0,5кВ/м усередині житлових будинків;
- 1кВ/м на території зони житлової забудови;
- 5кВ/м у населеній місцевості поза зоною житлової забудови, а також на території городів і садів;
- 10кВ/м на ділянках перетину ПЛ з автомобільними дорогами;
- 15кВ/м у ненаселеній місцевості;
- 20кВ/м у важкодоступній місцевості і на ділянках, спеціально обгороджених для обмеження доступу населення.

При напруженості поля вище 1кВ/м повинні бути проведені заходи для зняття впливу на людину відчутних електричних розрядів і струмів стікання у випадках дотику ізольованих від землі об'єктів - великогабаритних предметів, машин і механізмів.

Гранично допустимі значення напруженості нормуються для неспотвореного поля. Напруженість визначається на висоті 1,8м від рівня землі, а для приміщень - від рівня підлоги.

З метою захисту населення від впливу електричного поля встановлюються санітарно-захисні зони, тобто території уздовж траси ПЛ, де напруженість поля перевищує 1кВ/м. Згідно СН 2971 [] для проєктованих ПЛ, а також будинків і споруд допускається приймати границі санітарно-захисних зон вздовж траси ПЛ із горизонтальним розташуванням проводів на наступних відстанях від проекції крайньої фази:

Номинальна напруга ПЛ, кВ	330	500	750
Відстань, м.	20	30	40

У межах санітарно-захисної зони забороняється: розміщати житлові і суспільні будинки і споруди, площадки для стоянки і зупинки усіх видів транспорту, підприємства по обслуговуванню автомобілів і склади нафти і нафтопродуктів, проводити операції з паливом, виконувати ремонт машин і механізмів.

5.6 Допустимі рівні напруженості магнітних полів

Оскільки проблеми біологічного впливу магнітних полів промислової частоти на даний момент не можна вважати остаточно вирішеними, існуючі норми також варто розглядати як перехідні, оскільки намічаються їх перегляд з метою підсилення. Гранично припустимі рівні напруженості поля для умов виконання робіт під напругою згідно СН2.2.4.723 [] встановлені на рівні 3,2кА/м при впливі на тіло працюючих, і 5,2кА/м - при впливі на кисті рук.

Міжнародні рекомендації IRPA/INIRC містять більш жорсткі норми: 400А/м для виробничих впливів і 80А/м - для населення. В даний час Інститутом медицини праці РАМН підготовлений проєкт норм (що знаходиться в даний час на стадії затвердження), у якому пропонується регламентувати наступні рівні впливу:

- при виконанні робіт в умовах впливу змінних магнітних полів промислової частоти (50 Гц) - від 1600 до 80А/м в залежності від

тривалості впливу (від 1 до 8 год) на все тіло і від 6400 до 800А/м при впливові на кінцівки;

- 15А/м для населення;
- 60А/м для осіб, що виконують роботи в зоні проходження траси ПЛ, але професійно не зв'язаних з їхньою експлуатацією.

На закінчення приведемо діючі європейські норми за припустимим значенням напруженостей ЕМП промислової частоти. Ці норми відомі як ENV-501xx. Вони містять одночасно дані по напруженості як електричного, так і магнітного полів і застосовуються для нормування на робочих місцях.

Припустимі значення напруженості розділені на три категорії:

- перша: $E=6,1\text{кВ/м}$, $H=159\text{А/м}$ - при перевищенні даних значень обов'язково інформують персонал;
- друга: $E=12,3\text{кВ/м}$, $H=320\text{А/м}$ - при перевищенні проводять обов'язкові заходи щодо обмеження часу перебування в полі;
- третя: $E=19,6\text{кВ/м}$, $H=480\text{А/м}$ - крім обмеження часу перебування обов'язково попереджують "небезпечна робота".

Розходження між окремими нормами показує, що на дійсний момент не існує єдиної думки про припустимі значення напруженості ЕМП.

5.7 Заходи щодо захисту від ЕМП

Всі заходи щодо захисту від ЕМП можуть бути умовно розділені на три групи: організаційні, інженерно-технічн і санітарно-гігієнічні.

Організаційні заходи спрямовані на оптимізацію взаємного розташування випромінюючих і опромінюваних об'єктів і фауни, а також на таку організацію праці і відпочинку, при якій вдається до мінімуму знизити час опромінення або запобігти попаданню людей і тварин у зони з високою щільністю енергії ЕМП.

Санітарно-гігієнічні заходи - проведення періодичних медичних оглядів працюючих і населення, тимчасове або постійне переведення працюючих на іншу роботу (без опромінення) у всіх випадках з помірно вираженою і вираженою формами професійного захворювання, при виражених формах загальних захворювань, а також фізіотерапія, фармакотерапія й ін. Ціль цих заходів - підвищення опору організму людини

до несприятливого впливу ЕМП, попередження захворювань і втрати працездатності.

Інженерно-технічні заходи спрямовані на пряме зниження інтенсивності електромагнітних випромінювань до допустимих рівнів.

Основні з них наступні:

-зменшення потужності випромінювання безпосередньо в джерелі його генерації;

-екранування об'єктів захисту; -віддалення випромінюючих пристроїв від робочих місць і населення;

-застосування засобів попереджуючої сигналізації й індивідуального захисту.

Зменшення потужності випромінювання безпосередньо в джерелі генерації може бути досягнуто регулюванням генератора. Але в сучасних пристроях, таке регулювання або не передбачене, або можливе в дуже малих межах. Іншим шляхом зменшити потужність випромінювання можна за допомогою спеціальних пристроїв - аттенуаторів і кінцевих навантажувальних опорів, що цілком поглинають або послабляють передану енергію на її шляху від генератора до випромінюючого пристрою (антені). Експериментальні дослідження показали, що при правильному використанні такі пристрої послабляють випромінювання на 60дБ і більше. Але вони зменшують або усувають випромінювання як таке, тому як засіб захисту можуть застосовуватися тільки в період перевірки і налагодження радіолокаційної апаратури на аеродромі.

Екранування - одне з основних і широко застосовуваних заходів щодо захисту від ЕМП. Суть його полягає в установці на шляху поширення ЕМП перешкод (екранів) з матеріалів, що шляхом відображення і поглинання припиняє поширення його енергії в первинному напрямку. Тому при захисту екрануванням мають значення дві характеристики: за екраном - наскрізне загасання, перед екраном - відбивання від поверхні екрана. Наскрізне загасання і відбивання електромагнітної енергії визначається через

коефіцієнти наскрізного загасання $V_{\text{наскр}}$ і відбивання $V_{\text{відбив}}$, що виражаються як відношення відповідно проникненої і відбитої енергії ЕМП до падаючої. Наскрізне загасання може бути представлене як часткове відбиття електромагнітних хвиль від поверхні екрану і поглинання залишку енергії ЕМП у товщі екрану:

5.8 Заходи індивідуального захисту від дії ЕМП

Засоби індивідуального захисту від дії ЕМП рекомендується застосовувати у виняткових випадках для виконання короткочасних робіт в умовах неприпустимо великих напруженостей або щільності потоку енергії ЕМП, коли засоби колективного захисту або неефективні, або незастосовні.

Для захисту очей широко застосовуються окуляри закритого типу марки ОРЗ-5. Вони являють собою литу гумову напівмаску з запресованою латунною сіткою і вмонтованими окулярними рамками з фігурним склом. В окулярах використовується скло з металізованим шаром двоокису олова. Окуляри ОРЗ-5 задовольняють вимогам роботи з випромінюючими установками, що знаходяться в польових умовах, і послабляють потужність приблизно на 30дБ (у 1000 разів) у діапазоні хвиль 1,8-150см.

Для захисту інших частин тіла застосовується спеціальний захисний одяг із тканин з мікропроводом (артикули 1554, 3481). Захисні властивості такого одягу залежать від довжини хвилі випромінювання. На середніх частотах діапазону НВЧ ослаблення енергії ЕМП складає 25-30дБ. Поряд з високими захисними властивостями одяг із тканини з мікропроводом має істотні недоліки; малоеластичний, важкий, повітронепроникний і не відповідає вимогам технічної естетики.

В даний час розроблена й освоєна у виробництві нова захисна тканина "Щит". Вона виготовляється з модифікованої наповненої віскозної нитки. Для поліпшення зовнішнього вигляду і підвищення механічної міцності вводять профільовану монокапронову і синтетичну нитки. По своїх експлуатаційних властивостях тканина "Щит" перевершує тканину з

мікропроводом: більш еластична, менше зминається і по зовнішньому вигляду відповідає вимогам сучасної технічної естетики. Тканина призначена для виготовлення індивідуальних засобів захисту (халатів, костюмів) і екранування електромагнітного випромінювання. Вироби з неї послабляють енергію ЕМП у діапазоні НВЧ не нижче 17дБ.

5.9 Розрахунок впливу електромагнітного поля на організм людини

Вплив ЕМП на організм людини залежить в першу чергу від інтенсивності поля, його характеру, діапазону частот та тривалості перебування в зоні його дії (випромінювання).

Електромагнітне поле характеризується довжиною хвилі, яка визначається за формулою (5.1)

$$\lambda = \frac{\tilde{n}}{f}, \quad (5.1)$$

де $c = 2,998 \times 10^8$ м/с – швидкість розповсюдження радіохвиль в повітрі, яка дорівнює швидкості світла; f – частота коливань, Гц.

Біля джерела електромагнітного випромінювання переважають поля індукції, а за її межами – поля випромінювання. Цей простір вважається зоною опромінювання. Коли робоче місце знаходиться в зоні індукції, працівник буде знаходитися під впливом змінних електромагнітних полів, інтенсивність яких буде визначатися напруженістю електричного E та магнітного H полів, які визначаються за формулами (5.2) та (5.3) і вимірюються у В/м та А/м відповідно. Відношення між E та H в зоні індукції – довільне і залежить від виду електромагнітного випромінювання.

$$E = \frac{U}{l}, \quad (5.2)$$

$$H = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot r}, \quad (5.3)$$

де U – напруга, В; l – відстань, м; I – сила струму, А; r радіус силової лінії навколо провідника, через який протікає електричний струм, м.

Зона індукції розповсюджується на відстань, яку визначають за формулою (5.4)

$$r \leq \frac{\lambda}{2\pi} \quad (5.4)$$

Припустимий час T , годин, перебування персоналу в електромагнітному полі від 5 до 20кВ/м обчислюється за формулою (5.5).

$$\dot{O} = \frac{50}{\text{Å}} - 2, \quad (5.5)$$

де E –напруженість поля в контрольній зоні.

Визначимо довжину хвилі для ЕМП промислової частоти за формулою (5.1)

$$\lambda = \frac{2,998 \times 10^8}{50} = 5996000 \text{ м} = 5996 \text{ км}.$$

Визначимо межу зони індукції за формулою (5.4)

$$r = \frac{5996000}{2 \cdot 3,14} = 954777 \text{ м} = 954,777 \text{ км}.$$

Оскільки зона індукції простягається на відстань $r \leq 955$ км, то все підприємство знаходиться в ній.

Визначимо напруженості електричного та магнітного полів за формулами (5.2) та (5.3) для різних значень l та r .

$$E = \frac{10}{954777} = 1,047 \times 10^{-5} \frac{\text{кВ}}{\text{м}}.$$

$$H = \frac{145}{2 \cdot 3,14 \cdot 10} = 2,308 \frac{\text{кА}}{\text{м}}.$$

За формулою (5.5) визначимо час, впродовж якого обслуговуючий персонал може знаходитися в ЕМП. Наприклад, на відстані 0,5м ($E=20\text{кВ/м}$) від електроустановки, як джерела ЕМП обслуговуючий персонал може знаходитися

$$\dot{O} = \frac{50}{20} - 2 = 0,5 \text{ год}$$

Результати розрахунків занесемо в табл. 5.1 та табл 5.2.

Таблиця 5.1. Результати розрахунків напруженості електричного поля та допустимий час перебування в електромагнітному полі

l , м	E , кВ/м	T , год	Примітки	l , м	E , кВ/м	T , год	Примітки
0,5	20	0,5	«Небезпечна робота»	3,0	3,34	Протягом робочого дня	Безпечно для населення
0,52	19,6	0,55		5,0	2,0		
0,6	16,7	1,0	Обов'язкове обмеження часу перебування	10	1,0		
0,7	14,3	1,5		20	0,5		
0,8	12,5	2,0		25	0,4		
0,82	12,3	2,07		50	0,2		
0,9	11,1	2,51	Обов'язкове інформу- вання персоналу	75	0,13		
1,0	10,0	3,0		100	0,1		
1,25	8,0	4,25		250	0,04		
1,5	6,7	5,47		500	0,02		
1,64	6,1	6,2		1000	0,01		
1,75	5,7	6,78		2500	0,004		
2	5,0	8,0		5000	0,002		
2,25	4,4	Протя- гом робоч		7500	0,0013		
2,5	4,0			10000	0,001		

Таблиця 5.2. Залежність напруженості магнітного поля від радіусу силової лінії навколо провідника, через який протікає електричний струм

<i>r</i> , м	<i>H</i> , А/м	<i>Примітки</i>	<i>r</i> , м	<i>H</i> , А/м	<i>Примітки</i>
0,100	230,900	Обов'язкове інформування персоналу, з обмеженням часу перебування	3,000	7,696	Безпечно для населення
0,150	159,000		3,500	6,597	
0,200	115,450		4,000	5,772	
0,250	92,360		4,500	5,131	
0,290	80,000		5,000	4,618	
0,300	76,967	Безпечно для населення	5,500	4,198	
0,350	65,971		6,000	3,848	
0,400	57,725		6,500	3,552	
0,500	46,178		7,000	3,298	
0,550	49,981		7,500	3,079	
1,000	23,089		8,000	2,886	
1,500	15,393		8,500	2,716	
1,540	15,000		9,000	2,565	
2,000	11,545		9,500	2,430	
2,500	9,236		10,000	2,309	

Отже:

-на відстані 0,5м від працюючих електроустановок та провідників напругою 10кВ величина електричного поля дозволяє працювати персоналу протягом 0,5год, робітників попереджують «НЕБЕЗПЕЧНА РОБОТА»;

-на відстані 20м електричне поле цілком безпечне для людини;

-магнітне поле провідника напругою 10кВ з робочим струмом 145А вже на відстані 0,29м цілком безпечне для населення за міжнародними рекомендаціями IRPA/INIRC.

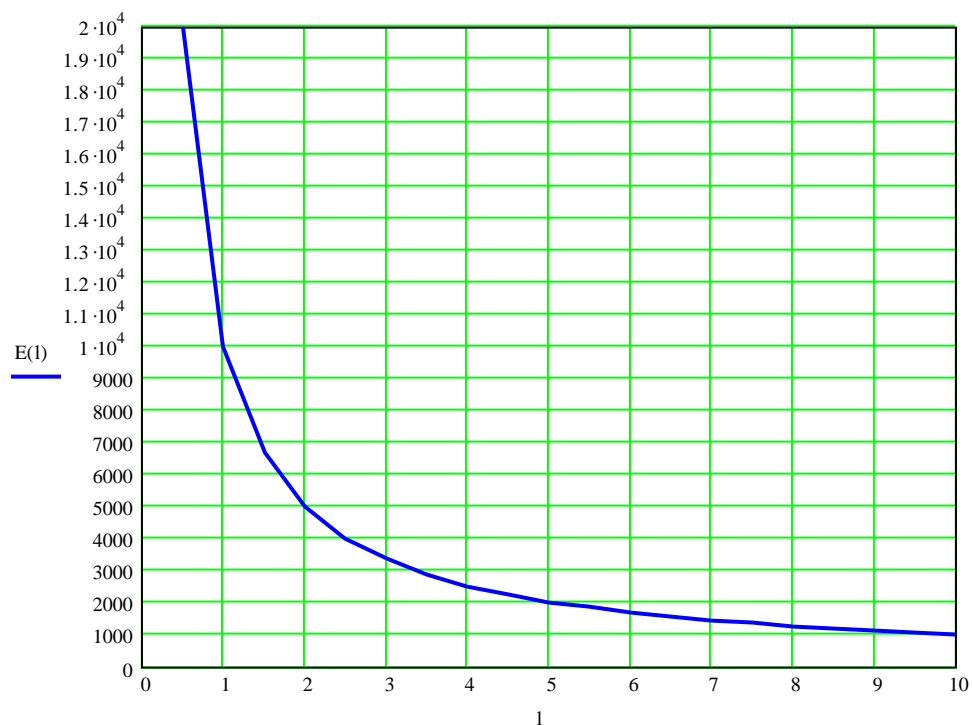


Рис. 5.1. Залежність напруженості електричного поля та допустимий час перебування в електромагнітному полі

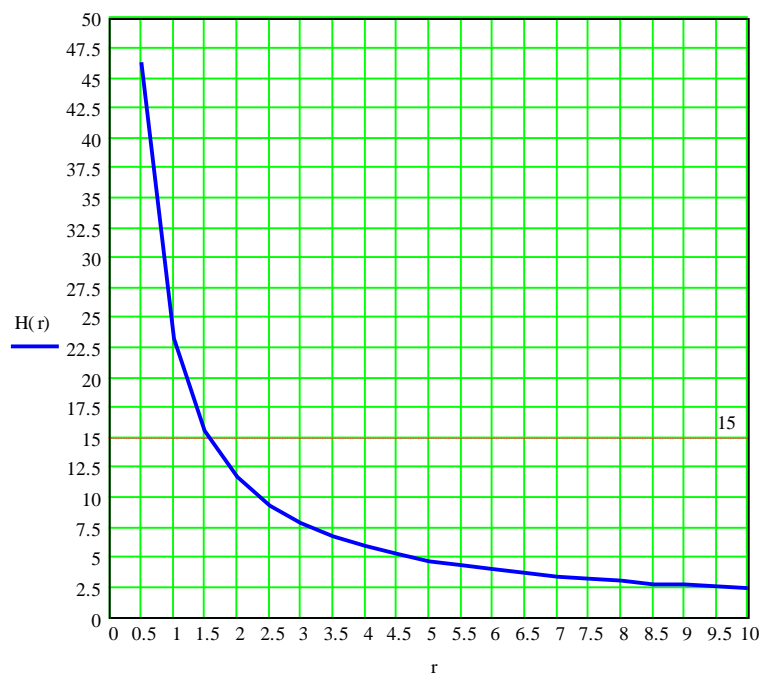


Рис. 5.2. Залежність напруженості магнітного поля від радіусу силової лінії навколо провідника, через який протікає

ВИСНОВОК

Дипломна робота є науково-кваліфікаційною роботою, в якій отримали розвиток принципи побудови системи логічного керування автоматизованим електроприводом підйомної установки, що вносить істотний внесок в теорію і практику побудови систем логічного керування підйомних установок.

Основні наукові і практичні результати, отримані в дипломній роботі, полягають у наступному:

1. Розроблено нові методики аналізу, синтезу і технічної реалізації сучасних систем логічного керування в складі автоматизованого електроприводу підйомних установок, які можуть лягти в основу створення системи проектування і оцінки якості проектних рішень.

2. Розроблено систему логічного керування підйомною установкою і алгоритми її функціонування, що забезпечують формування оптимальної за продуктивністю тахограми руху у всіх режимах роботи підйомної установки при різній завантаженості підйомної маси, з урахуванням вимог, що пред'являються до систем захисту ПУ Правилами безпеки.

3. Розроблено комплекс програм, що дозволяє не тільки здійснювати контроль параметрів технологічного процесу, а й по введеним в діалоговому режимі параметрам об'єкта керування проводити дослідження системи логічного керування.

5. Розроблена та впроваджена на підйомних установках система логічного керування, яка виконує функції керування і захисту, дозволила підвищити продуктивність на 7-10% і зменшити простой через відмови в системі автоматики і захисту.

6. Розроблені алгоритми функціонування СЛК дозволяють уніфікувати системи логічного керування для електроприводів підйомних установок, при цьому система представляється як сукупність автономних модулів. Застосування сучасних технологій розробки програмного забезпечення з використанням кінцевих автоматів дозволяє розширювати функціональні можливості системи логічного керування шляхом додавання або видалення окремих модулів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Солодовников В.В.* Основы теории и элементы систем автоматического регулирования / В.В. Солодовников, В.Н. Плотников, А.В. Яковлев. – М.: Машиностроение, 1985. – 536с.
2. *Чинаев П.И.* Основы автоматики авиационного оборудования: консп. лекций / П.И. Чинаев, А.Э. Асланян, Н.С. Сивов. – К.: КВВАИУ, 1977. – 332 с.
3. *Антипенский Р.* Моделирование источников сигналов с дискретной модуляцией [Текст] // Современная электроника №8, 2007. — с. 64 — 69.
4. *Бармин А.* Устройства локальной автоматики. Микроконтроллеры [Текст] // Современные технологии автоматизации. — 2003 г. №4. — с. 38-42.
5. *Блюмин С. Л.* Нечеткая логика: алгебраические основы и ее приложения: Монография [Текст] / С. Л. Блюмин, И. А. Шуйкова, П. В. Сараев, И. В. Черпаков — Липецк: ЛЭГИ, 2002. — 111 с.
6. *Гуров В. С, Мазин М. А., Нарвский А. С, Шальто А. А.* UML. SWITCH-технология. Eclipse [Текст] // Информационно-управляющие системы. 2004. №6, с. 12-17.
7. *Денисенко В. В.* Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием [Текст]. — М.: Горячая линия - Телеком, 2009. — 608 с, ил.
8. *Зюбин В. Е.* Программирование ПЛК: языки МЭК 61131-3 и возможные альтернативы [Текст]. // Промышленные АСУ и контроллеры». — 2005 г. №11. — с. 31-35.
9. *Островляничик В. Ю., Кубарев В. А.* Методика разработки программного обеспечения систем логического управления подъёмными установками [Текст] // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — Кемерово, 2011 г, № 6. с. 50-54.
10. *Melkebeek Jan.* Electrical Machines and Drives: Fundamentals and Advanced Modeling / J. Melkebeek // Springer International Publishing AG, 2018 – 734 p. DOI: 10.1007/978-3-319-72730-1.

11. *Gerling Dieter*. Electrical Machines: Mathematical Fundamentals of machine Topologies / D. Gerling // Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015 – 472 p. **DOI:** 10.1007/978-3-642-17584-8.
12. *Souissi Amal*. Linear Synchronous Machines: Application to Sustainable Energy and Mobility / Amal Souissi, Imen Abdennadher, Ahmed Masmoudi // Springer Singapoure, 2019 – 118 p. **DOI:** 10.1007/978-981-13-0423-1.
13. *Аметистова В.Е.* Основы современной энергетики: Учебное электронное издание / В.Е. Аметистова – МЭИ, 2004. – 58 с.
14. *Асланян А.Е.* Теорія автоматичного керування: підручник / А.Е. Асланян, Ю.К. Зіатдінов, О.В. Барабаш, О.А. Бельська. – К.: НАУ, 2015. – 532 с.
15. *Дьяконов В.П.* MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем: спец. справ. / В.П. Дьяконов, В.В. Круглов. – СПб.: Питер, 2002. – 448 с.
16. *Соколов Ю.Н.* Компьютерный анализ и проектирование систем управления. Ч. 2. Цифровые системы: учеб. пособие / Ю.Н. Соколов. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2005. – 184 с.
17. *Соколов Ю.Н.* Компьютерное проектирование систем оптимального управления / Ю.Н. Соколов, В.М. Илюшко, М.И. Луханин и др.; под ред. Ю.Н. Соколова. – К.: Аванпост-Прим, 2006. – 269 с.
18. *Соколов Ю.Н.* Математические методы теории оптимальных систем. Ч.1. Вариационное исчисление: учеб. пособие / Ю.Н. Соколов, А.Ю. Соколов, С.Ю. Соколов. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2007. – 109 с.
19. *Браммер К.* Фильтр Калмана-Бьюси / К. Браммер, Г. Зиффлинг. – М.: Наука, 1982. – 200 с.
20. *Соколов А.Ю.* Проектирование систем управления на ЭВМ (MATLAB/Simulink/Control System) / А. Ю. Соколов, Ю.Н. Соколов, В.М. Илюшко и др.; под ред. Ю.Н. Соколова. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. инт-т», 2005. – 585 с.

21. *Фельдбаум А.А.* Оптимальные процессы в системах автоматического регулирования. «Автоматика и телемеханика» т. 15 / А.А. Фельдбаум. 1953, С. 712-728.
22. *Топчев Ю.И.* Атлас для проектирования систем автоматического моделирования: Учеб. пособие для вузов. – М.: Машиностроение, 1989. – 752 с.
23. *Подбельский В.В.* Программирование на языке Си / В.В, Подбельский, С.С. Фомин. М.: Финансы и статистика, 2003.- 600с.
24. *Галкин С.Г.* Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0 / С.Г. Галкин. С.-П.: Корона принт, 2001.-321с.
25. Matlab& Simulink Help. The MathWorks, Inc. 1984-2004. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<https://www.mathworks.com/help/matlab/help-and-support.html>.