



# АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПІДЗЕМНИХ ГІРНИЧИХ РОБІТ

Під загальною редакцією В.В. Ткачова



# **АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПІДЗЕМНИХ ГІРНИЧИХ РОБІТ**

Під загальною редакцією професора В.В. Ткачова

Дніпропетровськ  
2012

УДК 622.272:65.011.56(075.8)

ББК 33.21:32.965я73

A22

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України як підручник для студентів вищих навчальних закладів напряму підготовки «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» (лист № 1/11-16208 від 17.10.2012 р.).*

Рецензенти:

*Г.Н. Семенцов*, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри автоматизації технологічних процесів і моніторингу в екології, заслужений діяч науки і техніки України (Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу);

*В.О. Ульшин*, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри системної інженерії, заслужений діяч науки і техніки України (Східноукраїнський національний університет, м. Луганськ);

*В.І. Бойко*, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри електроніки та автоматики, заслужений діяч науки і техніки України (Дніпродзержинський державний технічний університет).

Автори: А.В. Бубліков, М.В. Козарь, С.М. Проценко, М.І. Стаднік, В.В. Ткачов, В.П. Чернишев, В.Г. Шаруда.

**Автоматизація** технологічних процесів підземних гірничих робіт:  
A22 підручник /А.В. Бубліков, М.В. Козарь, С.М. Проценко та ін.; під заг. ред. В.В. Ткачова. – Д.: Національний гірничий університет, 2012. – 304 с.

ISBN 978-966-350-416-2

Описано принципи дії та конструкції технічних засобів автоматизації підземних гірничих робіт, системи керування технологічними процесами шахт і рудників. Особливу увагу приділено математичному опису технічних засобів і систем. Розглянуто питання їх надійності, економічної ефективності, безпеки при автоматизації технологічних процесів.

Матеріал підручника відповідає програмі дисципліни «Автоматизоване управління технологічними процесами». Для студентів, які навчаються за напрямом підготовки 050202 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, може бути корисним інженерам, а також студентам інших спеціальностей.

УДК 622.272:65.011.56(075.8)

ББК 33.21:32.965я73

© А.В. Бубліков, М.В. Козарь, С.М. Проценко,  
М.І. Стаднік, В.В. Ткачов, В.П. Чернишев,  
В.Г. Шаруда, 2012.

© Державний ВНЗ «Національний гірничий  
університет», 2012.

ISBN 978-966-350-416-2

## ЗМІСТ

	Стор.
Передмова.....	5
1. ЗАВДАННЯ ТА ПРИНЦИПИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ.....	8
1.1. Загальна характеристика та основні поняття.....	8
1.2. Фундаментальні принципи керування.....	13
1.3. Види автоматичного керування.....	17
1.4. Режими роботи автоматичних систем.....	20
1.5. Засоби реалізації автоматичних систем.....	21
1.6. Принципи побудови дискретних систем керування.....	28
1.6.1. Основні поняття.....	28
1.6.2. Способи завдання автоматів.....	31
2. АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ВИДОБУТКУ ВУГІЛЛЯ В ЗАБОЇ.....	45
2.1. Технологія очисних гірничих робіт із застосуванням механізованих комплексів.....	45
2.2. Аналіз очисного механізованого комплексу як об'єкта автоматизації .....	54
2.3. Аналіз гірничих машин очисного механізованого комплексу як об'єктів автоматизації .....	77
2.3.1. Аналіз видобувного комбайна як об'єкта автоматизації.....	77
2.3.2. Автоматизація стругових установок у складі очисних механізованих комплексів .....	116
2.3.3. Аналіз забійного механізованого кріплення як об'єкта автоматизації.....	129
2.3.4. Автоматизація скребкових конвеєрів.....	149
3. АВТОМАТИЗАЦІЯ ГІРНИЧОПРОХІДНИЦЬКИХ РОБІТ.....	159
3.1. Підготовчі процеси й устаткування.....	159
3.2. Прохідницькі комбайни.....	162
3.3. Пристрій і робота електроустаткування і його складових частин комбайна КПД.....	166
3.4. Автоматизація процесів керування прохідницькими комбайнами.....	168
3.4.1. Вимоги до системи керування.....	169
3.5. Підвищення надійності роботи гірничих машин за рахунок використання результатів діагностики їх роботи.....	179
4. АВТОМАТИЗАЦІЯ КОНВЕЄРНОГО ТРАНСПОРТУ.....	185
4.1. Конвеєрна лінія як об'єкт автоматизації.....	185
4.2. Вимоги до автоматизації конвеєрних ліній.....	186
4.3. Стрічковий конвеєр як об'єкт автоматизації.....	188
4.4. Вимоги до автоматизації конвеєрів.....	190
4.5. Контроль швидкості й пробуксовки.....	193
4.6. Аварійні та кінцеві вимикачі.....	196
4.7. Граф керування конвеєром.....	203
4.8. Комплекс автоматизованого керування конвеєрами АУК.1М.....	208

4.9.	Система автоматизованого керування конвеєрними лініями (САУКЛ).....	211
4.10.	Керування вантажопотоками вугільних шахт при нерегульованих приводах конвеєрних установок і живильників бункерів.....	211
4.11.	Методи математичного опису вантажопотоків.....	215
4.12.	Імітаційне моделювання вантажопотоків.....	218
4.13.	Дослідження можливостей закону керування на комп'ютерній моделі дільничними накопичувальними бункерами.....	222
4.14.	Керування вантажопотоками вугільних шахт при регульованому приводі конвеєрних установок і приводів живильників бункерів.....	224
4.15.	Дослідження використання SCADA-систем для побудови системи керування вантажопотоками.....	228
5.	АВТОМАТИЗАЦІЯ ШАХТНИХ ВОДОВІДЛИВНИХ УСТАНОВОК....	234
5.1.	Шахтні водовідливні установки як об'єкти автоматизації.....	234
5.2.	Спеціальні пристрої для автоматизації водовідливу.....	236
5.3.	Структурна схема й алгоритм керування насосним агрегатом.....	237
5.4.	Системи керування водовідливними установками.....	240
5.5.	Підвищення енергоефективності водовідливних установок.....	242
6.	АВТОМАТИЗАЦІЯ ШАХТНИХ ПІДЙОМНИХ УСТАНОВОК.....	247
6.1.	Шахтна підйомна установка як об'єкт автоматизації.....	247
6.2.	Автоматичний контроль та захист підйомних установок.....	248
6.3.	Автоматизація завантаження та розвантаження гірничої маси на скіпових підйомних установках.....	251
6.4.	Автоматичне керування підйимальною машиною з асинхронним приводом.....	252
6.5.	Автоматичне керування підйимальною машиною з приводом постійного струму.....	261
6.6.	Автоматизація шахтного підйому за допомогою асинхронно-вентильного каскаду.....	262
6.7.	Розрахунок систем автоматичного керування.....	264
6.7.1.	Система уповільнення скіпів з використанням механічного гальмування.....	264
6.7.2.	Система уповільнення скіпів з використанням динамічного гальмування.....	270
6.7.3.	Система автоматизації скіпового підняття з приводом постійного струму.....	279
7.	АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОВІТРЮВАННЯ ШАХТ І РУДНИКІВ.....	296
7.1.	Система провітрювання шахт як об'єкт автоматизації.....	296
7.2.	Автоматизація головних вентиляторних установок.....	297
7.3.	Автоматизація провітрювання тупикових виробок.....	298
7.4.	Автоматизація калориферних установок.....	301
	СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	303

*Присвячується 100-річчю з дня  
народження професора  
ІВАНОВА Анатолія Олександровича,  
першого завідувача кафедри  
автоматизації та комп'ютерних  
систем*

## ПЕРЕДМОВА

З моменту першого видання підручника «Автоматизація процесів підземних гірничих робіт» пройшло 25 років. Останні 10 – 15 років цього періоду характеризуються активною роботою зі створення й освоєння серійного виробництва на українських заводах і впровадження на вітчизняних вугільних підприємствах гірничої техніки нового покоління. Нові машини відрізняються суттєвим зростанням технічного рівня. Для ряду сучасних машин підвищення основних показників призначення якнайтісніше пов'язане з інтеграцією систем керування в конструкцію машини, що не було характерно для машин попередніх поколінь. Іншими словами, машини нового покоління є мехатронними об'єктами, які висувають ряд специфічних вимог до систем керування. Наприклад, сучасні очисні комбайни мають швидкості подачі, які в 2 – 3 рази перевищують можливості машин колишніх розробок. Такі можливості досягаються за рахунок застосування частотно-регульованого приводу з вбудованою системою керування та діагностики, реалізованих з використанням інформаційних технологій. Це вимагає нових підходів до побудови зовнішніх систем керування щодо формування складу функціональних вимог як внутрішньої, так і зовнішньої системи, організації додаткових каналів обміну інформацією, розробки спеціальних алгоритмів і програмного забезпечення, яке їх реалізує. При високих швидкостях переміщення комбайнів керування з місцевих пультів стало дуже складним, однак і використання невеликих пультів з радіоканалами, які можна тримати у руці й переносити з місця на місце, на даний час є нагальною проблемою.

Високі швидкості подачі комбайнів, у свою чергу, вимагають суттєвого підвищення швидкості кріплення очисних вибоїв – майже втричі, що може бути вирішено тільки на основі автоматизованого керування механізованим кріпленням. В цьому разі процес керування складається з двох підсистем: створення гідравлічної складової і розробки електронної частини. Завдання першої підсистеми практично вирішене, а другої – знаходиться в початковій стадії. Освоєно в серійному виробництві пристрої керування та діагностики для насосних станцій, що працюють у комплексі з механізованим кріпленням.

Висока енергоозброєність машин, що входять в очисний комплекс, створила проблему запуску електродвигунів у шахтних мережах обмеженої потужності, яка вирішується на основі застосування регульованого приводу або використання багатошвидкісних електродвигунів. Наприклад, сучасні забійні скребкові конвеєри оснащені двошвидкісними електроприводами, кількість яких змінюється від двох до чотирьох. Для керування такими конвеєрами



розроблені системи на базі мікропроцесорної техніки, кількох виконань, а також такі, що реалізують спеціальні алгоритми. У цих системах основні завдання пов'язані з динамікою пуску конвеєра.

Застосування частотно-регульованого приводу, заснованого на широтно-імпульсній модуляції, а також конструктивне об'єднання в загальних оболонках силових і слабкострумівих модулів вимагає серйозного підходу до забезпечення перешкодостійкості. Завдання ускладнюється також об'єднанням зазначених вище ланцюгів в одному кабелі. Дослідження в цьому напрямку дозволили створити спеціальну апаратуру, яка пройшла випробування і готується до серійного виробництва.

На даний час освоєні в серійному виробництві нові системи керування конвеєрним транспортом, що реалізують різні функціональні структури. Проводяться також дослідження з оцінки ефективності використання конвеєрного транспорту з урахуванням реального характеру вантажопотоку. На базі цих досліджень створюється апаратний і програмний комплекс, що включає частотно-регульований привід, який дозволить реалізувати ідею як зниження енерговитрат на транспортування гірничої маси, так і підвищення ресурсу транспортних машин.

Істотно розширився обсяг проведення гірничих виробок з використанням прохідницьких комбайнів стрілоподібного типу. Останнім часом в Україні створені й випускаються рядом заводів кілька типів стрілоподібних прохідницьких комбайнів, оснащених відповідними системами, що мають різні режими керування, а також радіокерування. З метою істотного підвищення рівня обслуговування цих машин, у тому числі профілактичного, та спостереження за режимом їх роботи випускається спеціальна апаратура (типу «чорного ящика»), яка реєструє одночасно понад 25 параметрів, що характеризують роботу машин. На основі цієї інформації реальним стає оцінка фактичного стану окремих вузлів і деталей, а також прогноз ресурсу машини в цілому. Оснащення різних гірничих машин подібними пристроями – одне з головних завдань поставлених перед спеціалістами.

Освоєний і налагоджений випуск ряду систем, що підвищують безпеку та комфортність роботи вугільних шахт, зокрема системи освітлення для очисних і прохідницьких вибоїв.

Вченими Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» та Дондіпровуглемаша спільно виконуються фундаментальні дослідження з розвитку теорії децентралізованого керування в галузі автоматизації виробничих процесів з урахуванням специфіки функціонування гірничого виробництва. Це дозволяє істотно підвищити ефективність функціонування системи керування розподіленими об'єктами в умовах робочих місць, які переміщуються. Виконані дослідження синтезу функціональних структур систем керування однорідними об'єктами, в яких такі об'єкти розглядаються як безлічі з однаковим складом функціональних задач. Це дозволяє будувати економічно доцільні системи керування з урахуванням усього різноманіття об'єктів, що знаходяться в експлуатації.

Таким чином, в області автоматизації технологічних процесів сталися значні зміни. Сформульовано нові підходи до синтезу систем керування. Широке впровадження знаходять мікропроцесорні системи. Почалося застосування частотно-регульованого приводу в видобувних комбайнах, конвеєрному транспорті, вентиляторах головного провітрювання, підйомних машинах і т.д.

В результаті вивчення дисципліни «Автоматизація технологічних процесів підземних гірничих робіт» студент повинен засвоїти принципи побудови сучасних систем автоматизації технологічних процесів шахт і рудників, навчитися читати нові схеми, правильно експлуатувати системи автоматизації і мати уявлення про перспективи їх розвитку.

У підручнику подано термінологію, види керування, цілі й завдання автоматизації, розглянуто принципи побудови систем автоматизації технологічних процесів підготовчих робіт, видобутку і транспортування вугілля, автоматизації підйому і водовідливних установок, провітрювання гірничих виробок і т.п.

Дисципліна, якій присвячено дане видання, – одна з профільюючих у підготовці гірничих інженерів з автоматизованого керування технологічними процесами гірничого виробництва. Базовими для неї є вища математика, електротехніка, електроніка, мікропроцесорна техніка, теорія автоматичного керування, технічні засоби автоматизації, електропривід, механічне обладнання, технологія гірничого виробництва.

Автори глибоко вдячні рецензентам за висловлені зауваження і побажання, колективу Дондипровуглемаша – за матеріали відносно нових розробок і корисні поради, а також Безгіновій Наталі Миколаївні за оформлення 2-го видання підручника.

Ця книга стане у пригоді студентам вузів, а також може бути корисною науковцям, розробникам нових систем і виробничникам, які працюють у галузі автоматизації технологічних процесів.



## 1. ЗАВДАННЯ ТА ПРИНЦИПИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

Метою даного розділу вважаємо знайомство з основними поняттями, принципами та завданнями автоматичного керування. В результаті цього читач зможе використовувати одержані знання у подальшій роботі з даним підручником, а також при вивченні основних положень теорії автоматичного керування.

Викладений далі матеріал буде сприяти вивченню режимів роботи та засобів реалізації автоматичних систем, допоможе в розумінні фундаментальних принципів побудови, математичного опису та методів дослідження систем автоматичного керування.

### 1.1. Загальна характеристика та основні поняття

Цілеспрямовані процеси, що виконує людина з метою задоволення всіляких потреб, являють собою організовану сукупність дій – операцій. Їх можна розподілити на робочі операції та операції керування.

**Робочі операції** – це дії, які безпосередньо необхідні для виконання процесу згідно з природними законами, наприклад, зняття стружки при обробці деталей, обертання вала двигуна та ін.

Для правильного та високоякісного виконання робочих операцій їх необхідно доповнювати діями іншого роду – **операціями керування**, які забезпечують у необхідні моменти часу початок, порядок проходження та припинення робочих операцій. Сукупність таких операцій складає **процес керування**. Процес керування може здійснювати безпосередньо людина або спеціальні технічні засоби. Заміну праці людини в операціях керування називають **автоматизацією**.

Під **автоматизацією** розуміють проведення тих чи інших операцій без участі людини або з обмеженою її участю. У першому випадку процеси називають **автоматичними**, а в другому – **автоматизованими**. Корінь наведеного терміну «авто» походить від давньогрецького слова «аутас», що означає «сам», «самостійний».

Кожний процес керування передбачає наявність мети керування, об'єкта керування та керуючого пристрою.

**Мета керування** – це результат, який повинен бути досягнутий в процесі керування або після його закінчення. Метою керування в промисловості може бути підтримання значення будь-якої фізичної величини з заданою точністю (швидкість прокату, тиск пари в котлі, температура нагрівання заготовок у печі, завантаження двигуна видобувного гірничого комбайна) або зміна цієї величини за заданим законом (переміщення робота, частота обертання двигуна прокатного стана, швидкість переміщення кліті шахтної підйомної машини).

**Об'єкт керування** – це пристрій, що реалізує технічний (технологічний) процес, при керуванні яким може бути досягнута мета керування.

У техніці об'єктами керування можуть бути, наприклад, прокатний стан, його складові частини, нагрівальна піч, робот, конвеєр, металообробний верстат.

Високий рівень технічних параметрів, розширення функціональних можливостей машин нового покоління, вимоги до підвищення безпеки їх експлуатації привели до значного збільшення в їх складі питомої ваги інформаційних компонент і пристроїв силової електроніки. Разом з цим оснащення **об'єктів керування** багатофункціональними системами автоматизованого керування нового покоління, що мають високий рівень діагностики, з метою підвищення надійності експлуатації машин, зниження трудомісткості обслуговування і підвищення безпеки роботи стало важливим практичним завданням.

Новий рівень вимог привів до перетворення **об'єктів керування** з електромеханічних систем у мехатронні, які характеризуються тим, що машини органічно містять «інтелектуальну» складову. Остання обставина грає дуже важливу роль при формуванні функціонального складу вимог систем автоматизації.

Завдання розробки системи керування полягає в синтезі функціональної структури і на її базі – апаратної і програмної з урахуванням наявності «інтелекту» у складі мехатронних модулів. Комплекс технічних засобів керування, як складна система, повинен проектуватися, використовуючи системний підхід, сутність якого полягає в комплексному єдиному розгляді всіх частин системи та об'єкта керування (мехатронного модуля).

**Керуючим** називається пристрій, який впливає на об'єкт керування для досягнення певної мети.

Сукупність засобів керування об'єктом утворюють *систему керування*. Виходячи з вищевикладеного, узагальнена структурна схема системи керування має вигляд, зображений на рис. 1.1.

Процес керування складається з одержання інформації про об'єкт, аналізу отриманої інформації відповідно до закону керування та вироблення керуючих впливів на виконавчі механізми з метою підвищення якості роботи об'єкта.

Розрізняють основні види керування за ознаками віддалення одне від одного джерел інформації та виконавчих механізмів.

**Ручне керування** – коли оператор безпосередньо впливає на технологічний процес, змінюючи матеріальні чи енергетичні потоки. Наприклад, вмикає електродвигун насоса за допомогою рубильника.

**Дистанційне керування** здійснюється на відстані від об'єкта шляхом передачі команд по двох виділених проводах для кожного виконавчого механізму. Як правило, кола дистанційного керування малопотужні, а комутують кола великої потужності. Прикладом може бути схема дистанційного керування електродвигуном (рис. 1.2). При натисканні на кнопку «Пуск» замикається електричне коло котушки контактора К, що своїм контактом 1К замикає електричне коло живлення двигуна змінного струму і блок-контактом 2К зашунтовує кнопку «Пуск», яка забезпечує протікання струму через котушку контактора К при відпусканні кнопки «Пуск». Вимикання двигуна здійснюється натисканням на кнопку «Стоп».

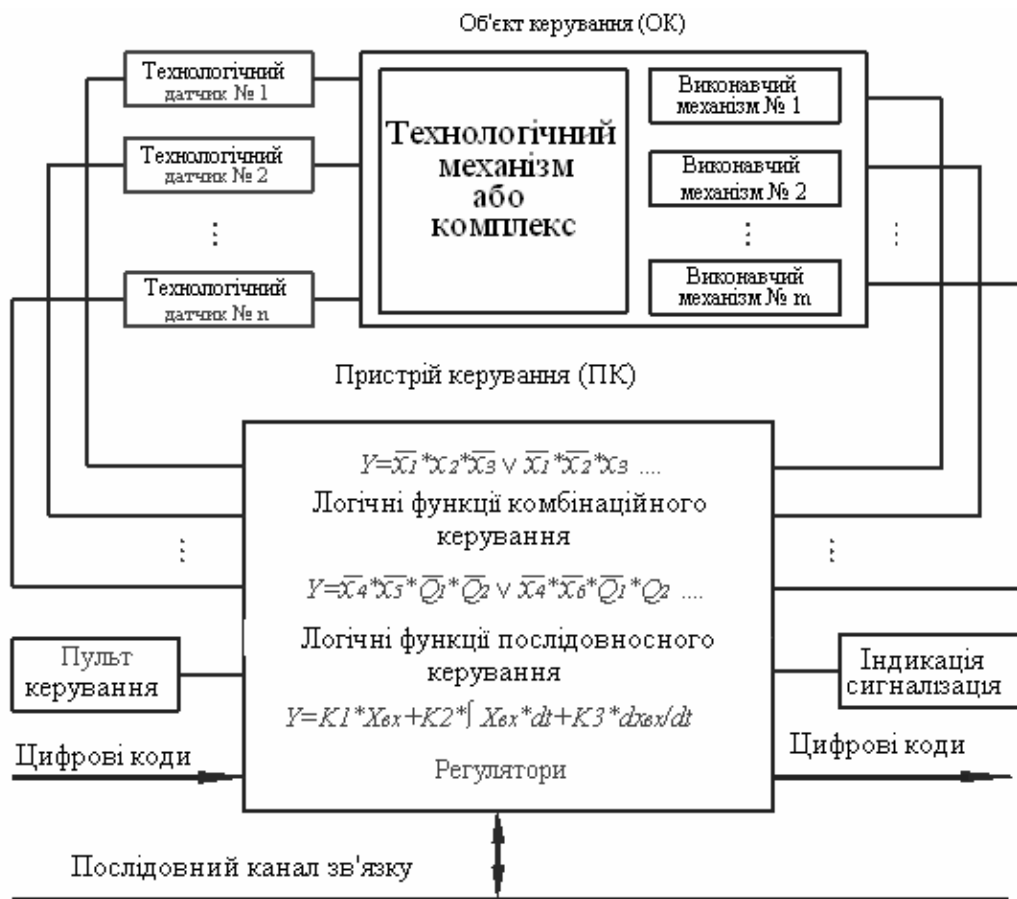


Рис. 1.1. Узагальнена структурна схема системи керування

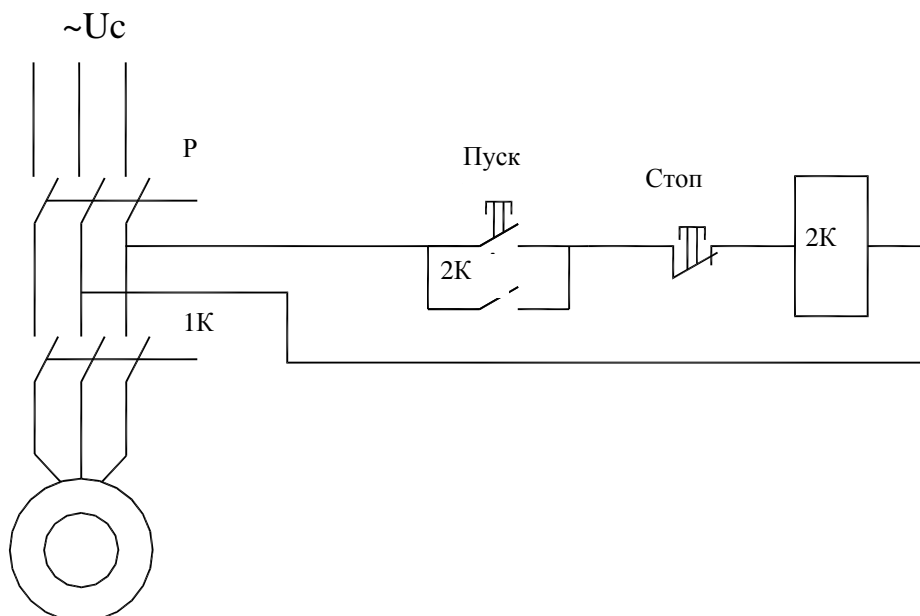


Рис. 1.2. Схема дистанційного керування електродвигуном

Телемеханічне керування – це система або сукупність приладів, за допомогою яких керують на відстані великою кількістю об'єктів по двопровідній лінії зв'язку. Прикладом може бути спрощена схема

телемеханічного керування з тимчасовим розподілом каналів (рис. 1.3). Перемикачі  $\Pi 1$  і  $\Pi 2$  обертаються синхронно ( $\omega_1 = \omega_2$ ) і синфазно ( $\varphi_1 = \varphi_2$ ). При замиканні датчиків  $Д1...Дn$  послідовно у часі включаються відповідні котушки пускачів  $К1...Кn$ .

**Децентралізованим називається таке керування**, коли керуючий вплив на об'єкт здійснюється декількома пристроями згідно з визначеними правилами.

Прикладом може бути система керування вантажопотоком магістрального конвеєра шахти, на який вивантажують вугілля кілька комбайнів. Задача системи – сформулювати таке задане значення продуктивності на кожен комбайн, щоб сумарна продуктивність комбайнів дорівнювала продуктивності магістрального конвеєра. У такий спосіб процес формування керуючого впливу на об'єкт за допомогою пристроїв керування комбайнами здійснюється так: кожен пристрій формує свій керуючий вплив з урахуванням значень керуючих впливів інших пристроїв.

Систему, у якій всі операції керування виконують автоматичні пристрої, називають **автоматичною системою** (система автоматичного керування), а систему, у якій автоматизовано тільки частину операцій, а решта (як правило, найбільш відповідальна) залишається за людиною – **автоматизованою** (система автоматизованого керування).

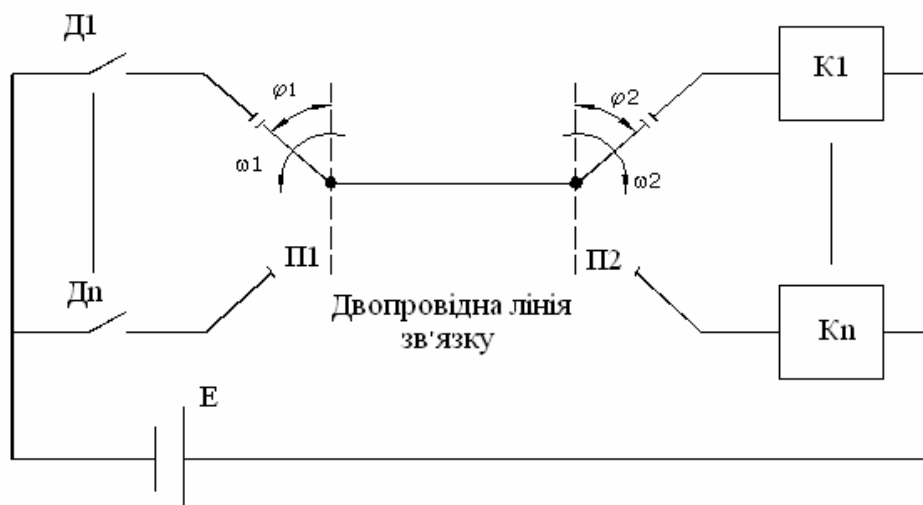


Рис. 1.3. Телемеханічне керування з часовим поділом сигналу

Науковою основою автоматизації є *кібернетика* – наука про керування і зв'язок в живих організмах, машинах та суспільстві. Загальні закони керування та зв'язку в машинах вивчає технічна кібернетика, складовими частинами якої є теорія інформаційних пристроїв, що базується на збиранні та переробці інформації, і теорія автоматичного керування, за допомогою якої розробляються правила побудови автоматичних систем та методи їх аналізу та синтезу.

Будь-який технічний процес характеризується сукупністю фізичних величин, які називаються показниками або координатами процесу. При

автоматизації того чи іншого процесу треба побудувати систему керування так, щоб було створено необхідні умови для виконання його показників.

Це буде можливим тільки у тому випадку, коли система зможе забезпечити відповідну якість керування.

Для здійснення якісного керування і побудови автоматичних систем необхідні знання двоякого виду: по-перше, конкретні знання даного технічного процесу, його технології і, по-друге, знання принципів і методів керування, які є загальними для різноманітних об'єктів і процесів. Конкретні спеціальні знання дають можливість визначити, що і як слід змінювати для одержання потрібного результату.

Під час автоматизації об'єктів виникає необхідність у виконанні різних видів керування. До них належать початок (вмикання), припинення (вимикання) та переході від однієї операції до другої (перемикання). Різноманітні аспекти цих видів операцій є предметом теорії перемикальних пристроїв.

Друга група операцій пов'язана з контролем за координатами з метою установити, чи не вийшли вони за дозволені межі, а також з виміром значень координат та поданням результатів виміру в зручній для людини-оператора формі. Операції цієї групи вивчають у спеціальних дисциплінах.

Для правильного та високоякісного виконання процесу координати керування повинні підтримуватися на заданому рівні або ж змінюватися за певним законом. Тому третю групу операцій керування – операції з підтриманням заданого закону зміни координат – вивчають у теорії автоматичного керування.

Необхідність в керуванні значеннями координат виникає в тому випадку, коли нормальний хід процесу порушується через різного роду збурення, тобто внаслідок коливання навантаження, впливу зовнішнього середовища або внутрішніх перешкод тощо. Процес керування полягає в тому, щоб знайти та реалізувати керуючі впливи, які забезпечили б досягнення мети керування.

Дуже важливими поняттями, що лежать в основі всієї автоматики, є алгоритми функціонування та керування.

**Алгоритмом** називають усяке правило або припис, що встановлює порядок виконання тих чи інших операцій, які можуть виконуватися як людиною, так і засобами автоматики. В автоматичі термін «алгоритм» використовують у поєднанні зі словами «функціонування» та «керування».

**Алгоритм функціонування системи** – це сукупність приписів (правил), що забезпечують правильне виконання того чи іншого процесу. Згідно з цими правилами змінюються показники (координати) для нормального необхідного проведення процесу. Алгоритм функціонування складається на основі технологічних, економічних та інших вимог до виконання того чи іншого процесу.

На будь-який об'єкт керування в процесі його функціонування впливає зовнішнє середовище. Цей вплив частіше має збурювальний характер, тобто середовище є перешкодою для правильного функціонування об'єкта. Тому на об'єкт спеціально діють так, щоб усунути негативний вплив середовища (тобто як компенсація) та виконати алгоритм функціонування. Сукупність правил, що

визначають характер впливів на об'єкт керування з метою виконання його алгоритму функціонування, називають **алгоритмом керування** (програмним алгоритмом).

Звичайно, керування не може повністю компенсувати вплив збурень, тому алгоритм функціонування об'єкта керування виконується лише приблизно. Якість роботи автоматичної системи буде залежати від того, наскільки грамотно вона побудована та які принципи керування в неї закладені. До недавнього часу в автоматичці найбільш поширеними були неперервні системи автоматичного керування, в яких керовані величини (координати) є неперервними функціями від керуючих величин. На сучасному етапі розвитку виробництва такі системи не можуть забезпечити досить високі показники якості роботи. Тому широкого розповсюдження зараз набувають дискретні (цифрові) автоматичні системи, побудовані на базі мікропроцесорних засобів керування. Ці системи мають значні переваги перед неперервними.

## 1.2. Фундаментальні принципи керування

Основою побудови систем автоматичного керування є деякі фундаментальні принципи керування, що визначають, як здійснюється узгодженість між алгоритмами функціонування й керування та фактичним функціонуванням або причинами відхилення функціонування від заданого. У техніці відомі та використовуються три фундаментальних принципи керування: розімкнуте (за керуючим впливом), компенсації (за збуренням) та зворотного зв'язку (керування за відхиленням).

**Принцип розімкнутого керування.** Сутність принципу полягає в тому, що алгоритм керування розробляється на основі заданого алгоритму функціонування, але його виконання не контролюється за рахунок інших факторів: збурення або вихідних координат процесу. Заданий режим керування  $U$  (рис. 1.4, *a*) формується задавальним елементом 1, подається до елемента керування 2, а потім – до об'єкта керування 3. Як бачимо, в автоматичних системах, побудованих за цим принципом, інформація про результати дії заданого алгоритму не використовується і не контролюється. Так, керована величина  $x_3$  згідно з рис. 1.4, *a* ні з чим не порівнюється. Схема має вигляд розімкнутого ланцюга, у якому вхідний (керуючий) вплив передається від вхідного елемента 1 до вихідного 3. Близькість керованої величини  $x_3$  до заданого значення забезпечується тільки конструкцією та прийнятими фізичними закономірностями, що діють в усіх елементах системи. При зміні ж збурення  $U_1$  такий принцип побудови автоматичної системи не дозволяє визначити, як це впливає на зміну керованої величини. При цьому також неможливо втрутитися в роботу системи та внести необхідні корективи в керовану величину, якщо вона виходить за допустимі межі.

Для схеми рис. 1.4, *a* значення керованої величини можна визначити за таким співвідношенням

$$x_3 = kU - k_3U_1, \quad (1.1)$$

де  $k$  – коефіцієнт підсилення системи, який в даному випадку визначається як добуток від коефіцієнтів підсилення елементів системи  $k_1, k_2, k_3$ , тобто

$$k = k_1 k_2 k_3.$$

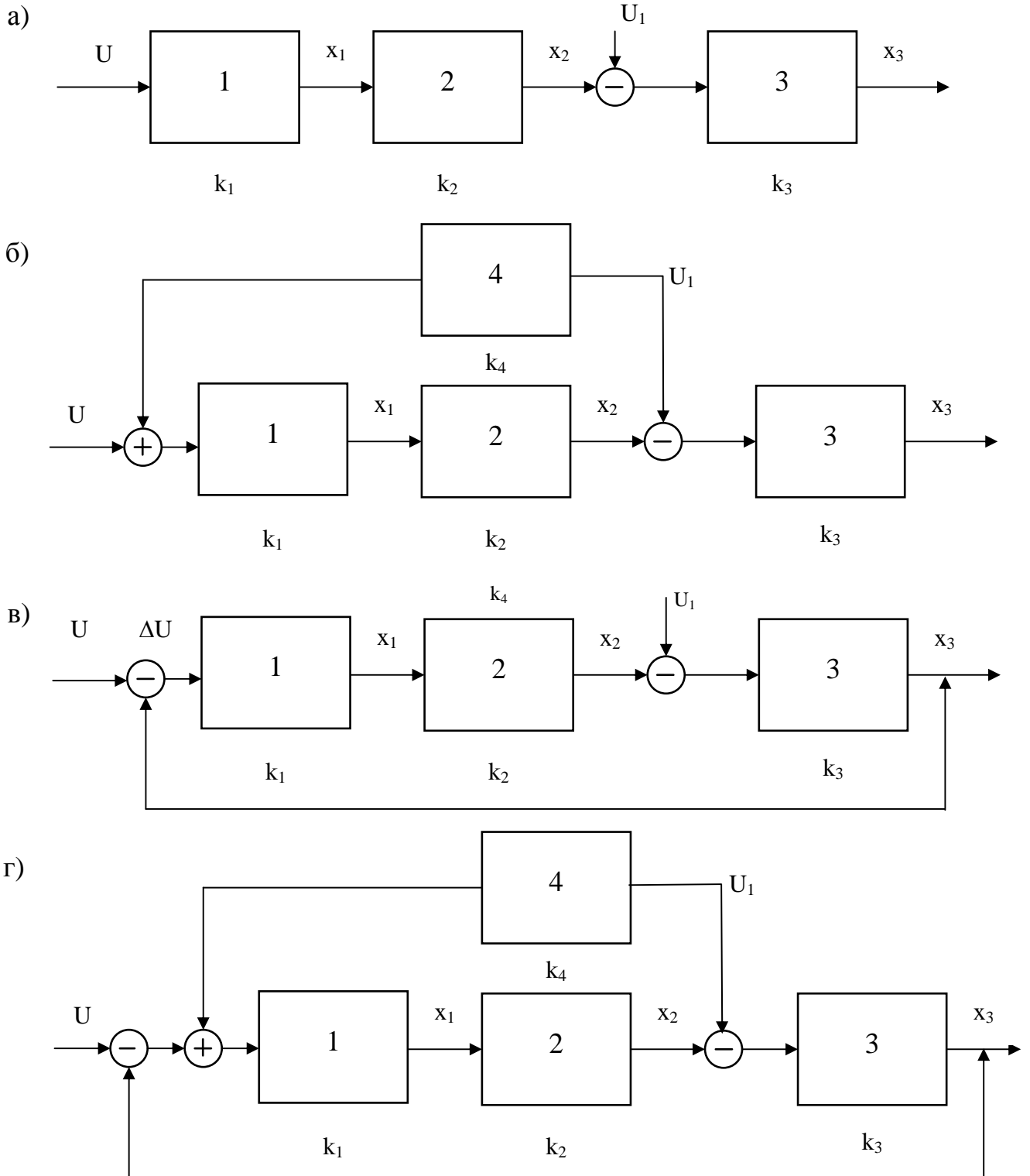


Рис. 1.4. Схеми реалізації фундаментальних принципів автоматичного керування



Як бачимо, згідно з (1.1) збурення  $U_1$  змінюється і діє при цьому на керовану величину  $x_3$ , яка також міняється, до того ж принцип розімкнутого керування не дозволяє цьому запобігти.

Слід сказати, що можливість виникнення значних похибок у керуванні при наявності непередбачених перешкод є основним недоліком принципу розімкнутого керування. Проте в ряді випадків, де не потрібне занадто точне виконання заданого алгоритму, принцип розімкнутого керування внаслідок своєї простоти досить широко використовується в гірничій та металургійній галузях промисловості, наприклад, при автоматизації насосних та вентиляторних установок, систем маслозмазування, конвеєрних ліній, тихохідних ліфтів та ін.

**Принцип компенсації (керування за збуренням)** використовується в тому випадку, коли розімкнутий ланцюг керування не забезпечує потрібної точності виконання заданого алгоритму. Інколи для підвищення точності керування можна виміряти збурення і після цього ввести в заданий алгоритм такі корективи, які б компенсували викликані збуренням відхилення від заданого алгоритму керування. На рис. 1.4, б показано схему, що реалізує цей принцип. Тут блоком 4 позначено вимірювач збурення. Згідно з цим рисунком керовану величину  $x_3$  можна визначити так:

$$x_3 = kU - (k_3 - k_1 k_4)U_1. \quad (1.2)$$

Як видно з виразу (1.2), ступінь компенсації впливу збурення може бути різним залежно від коефіцієнта  $k_4$  підсилення вимірювача збурення 4 (рис. 1.4, б). У разі необхідності можна навіть повністю компенсувати негативний вплив збурення на роботу автоматичної системи. Але на практиці компенсувати цю дію неможливо, тому що значна частина збурень не піддається вимірюванню. У реальних системах компенсуються, як правило, лише основні збурювальні впливи, які найбільш різко впливають на керовану величину.

Прикладами систем, що реалізують принцип компенсації, може бути відома з фізики біметалева система пластин з різними коефіцієнтами теплового розширення в маятнику хронометра, яка забезпечує постійну довжину маятника при коливаннях температури. Можна також нагадати про схему компенсації генератора постійного струму, яка забезпечує незмінну напругу при коливаннях струму навантаження.

Система, побудована за принципом розімкнутого керування або компенсації, є розімкнутою системою. У ній процес керування не залежить від результатів (керована величина не вимірюється і не проводяться ніякі дії, якщо ця величина не відповідає заданому значенню). Тому використання принципів розімкнутого керування та компенсації обмежується об'єктами, характеристики яких визначені з високою точністю.

**Принципи зворотного зв'язку** (керування за відхиленням, принцип замкнутого керування). Автоматичну систему також можна побудувати так, щоб точність виконання заданого алгоритму була забезпечена і без вимірювання

збурення. На рис. 1.4, в показана структура автоматичної системи, в якій корективи в алгоритм керування вносяться за фактичним значенням керованої величини  $x_3$  системи. Для цього в систему введено зворотний зв'язок, який пов'язує вихід системи з її входом. Схема системи має вигляд замкнутого ланцюга, що дало підставу назвати цю реалізацію принципом керування за відхиленням. У замкнутих автоматичних системах зменшується відхилення керованої величини від потрібного значення незалежно від причин його появи. Це дозволяє реалізувати керування з високою точністю.

Значення керованої величини для схеми, що реалізує принцип замкнутого керування, можна записати співвідношенням

$$x_3 = kU / (1 + k) - k_3 U_1 / (1 + k). \quad (1.3)$$

Встановлено, як видно з виразу (1.3), що точність керування в таких системах залежить від коефіцієнта підсилення системи  $k$  і підвищується при його збільшенні.

В автоматичних системах, що побудовані за принципом замкнутого керування, керуючий вплив формується в результаті перетворення відхилень  $\Delta U$  (рис. 1.4, в), які можуть бути викликані різними факторами. Тому в цих системах вони зменшуються незалежно від того, якими з факторів викликані.

Оскільки в таких системах відхилення, що виникають також при зміні параметрів елементів системи, так само зменшуються, то замкнуті автоматичні системи менш відчутні до зміни параметрів її елементів у порівнянні з розімкнутими системами, де відхилення, що є результатом зміни параметрів їх елементів, не компенсуються.

Слід пам'ятати, що в автоматичних системах з принципом керування за відхиленням керуючий вплив виникає внаслідок перетворення сигналу відхилення, а не як сам фактор, що його викликав, наприклад збурювальний вплив. Тому такий керуючий вплив не може діяти на об'єкт без запізнення через збурювальний вплив. Отже, принцип керування за відхиленням не дозволяє цілком усунути відхилення, тобто не дає можливості повністю компенсувати збурювальний вплив.

Принцип зворотного зв'язку знаходить найбільше поширення не тільки в техніці (керування тиском, швидкістю, тепловими процесами, прокатним виробництвом та ін.), але й у процесах керування, що здійснюються в живих організмах (системи регуляції різноманітних функцій – температури, ритму кровообігу та ін.). В керуванні суспільними організаціями цей принцип реалізується, наприклад, у вигляді перевірки виконання прийнятих рішень і розпоряджень, що відіграють роль керуючих впливів.

У ряді випадків ефективним є використання **комбінованого** керування за збуренням та відхиленням (рис. 1.4, з). Комбіновані системи поєднують переваги таких принципів: швидкість реакції на зміну збурення та точне регулювання незалежно від того, яка причина викликала відхилення. Згідно з

даними рис. 1.4,  $z$  для комбінованої автоматичної системи можемо записати, що керована величина

$$x_3 = kU / (1 + k) - (k_3 - kk_4)U_1 / (1 + k). \quad (1.4)$$

У комбінованих системах принцип керування за відхиленням реалізується за допомогою головного зворотного зв'язку, а принцип керування за збуренням – за допомогою компенсаційного зв'язку. Як бачимо з (1.4), принцип комбінованого керування дозволяє реалізувати принцип інваріантності: повна або часткова незалежність керованої величини та закону зміни збурень, які діють на автоматичну систему.

### 1.3. Види автоматичного керування

На початку застосування техніки автоматичного керування використовувався лише один її вид – підтримання заданого постійного значення керованої величини. Досить довгий час під системами автоматичного керування розуміли саме цей вид. Пізніше кількість видів керування збільшувалася, цілком вірогідно, що наведені далі основні її види не вичерпують не тільки можливі види в майбутньому, але й існуючі сьогодні.

**Стабілізація.** Системи підтримання керованої величини на заданому постійному рівні називають системами стабілізації. Бажаний закон у них має вигляд  $U = const$ .

Відома важлива особливість систем керування за відхиленням: якщо в них використовувати регулятори, що складаються тільки з елементів, які здійснюють звичайні аналітичні перетворення, то керування за відхиленням може зменшити, але не позбавити від похибки. Рівняння усталеного режиму в таких системах записується аналогічно (1.3).

Із цього співвідношення видно, що в усталеному режимі керована величина залежить від коефіцієнта підсилення та від збурення (навантаження).

Ясно також, що керована величина завжди буде меншою за керуючу, тобто така система буде працювати з похибкою, яка називається усталеною або статичною.

Керування у цьому випадку називається **статичним**.

Але при автоматизації деяких об'єктів (двигунів прокатних станів, шахтних піднімальних машин) статична похибка є небажаною. У цьому випадку переходять до керування, за яким завдяки структурі системи статична похибка буде зведеною до нуля. Таке керування називається **астатичним**.

**Програмне керування.** При такому керуванні закон зміни керованої величини відомий заздалегідь, а спеціальний датчик виробляє задану програму зміни керованої величини. Слід мати на увазі, що програмне керування можна здійснити за будь-яким з фундаментальних принципів або ж за допомогою їх комбінації.

На практиці використовують два види систем програмного керування: з часовою та з просторовою програмами. У систем першого виду є датчик програми, що визначає безпосередню керуючу величину в функції часу. До

таких належать пристрої, за допомогою яких отримують програми для зміни температури, тиску, частоти обертання та ін. Системи другого виду використовують для керування металообробними верстатами, коли переміщення виконавчого органу (інструмента) відбувається за заданою в просторі траєкторією. Закон же переміщення за траєкторією в функції часу може бути при цьому довільним.

Системи програмного керування за своєю структурою бувають статичними та астатичними і можуть бути реалізованими на базі будь-якого з розглянутих фундаментальних принципів.

**Слідкувальне керування** забезпечує роботу автоматичної системи, якщо алгоритм її функціонування наперед невідомий. Керована величина у таких системах повинна відтворювати зміну деякого зовнішнього впливу. Цей вплив у слідкувальній системі змінюється не за раніше заданою програмою, а довільно. Керуючі впливи та керуючі величини в слідкувальних системах можуть бути різноманітними за своєю фізичною природою. При цьому керована величина може відрізнитися від керуючого впливу. Наприклад, керуючим впливом може бути змінювана напруга, а керованою величиною – напруга, кутове або лінійне переміщення, частота обертання, частота напруги та ін.

Широко використовуються системи просторового слідкування, які відтворюють керуючий вплив у вигляді механічного переміщення. До них належать синхронно слідкувальні системи (синхронно слідкувальні, силові слідкувальні приводи), які забезпечують синхронне та синфазне обертання механічно не зв'язаних між собою валів.

Слідкувальна система може бути побудована за будь-яким фундаментальним принципом керування, при цьому вона буде відрізнитися від відповідної системи програмного керування тільки тим, що замість датчика програм у ній буде пристрій слідкування за зміною зовнішнього впливу.

За розглянутими видами автоматичного керування створюються так звані непристосовані системи. Структура таких систем визначається на етапі проектування та налагодження і далі не змінюється. Приклади таких систем: система стабілізації заданого витрачання природного газу при роботі сталеплавильної печі; система програмної зміни температури у термічній печі за визначеним графіком, що є необхідним при термообробці (наприклад, зростання температури із заданою швидкістю, витримка при постійній температурі та ін.); слідкувальна система керування співвідношенням «паливо – повітря» при керуванні згорянням палива.

Залежно від способу вироблення керуючого впливу автоматичне керування буває **пошуковим** та **безпошуковим**.

У безпошукових системах керуючий вплив виробляється за результатами порівняння істинного та заданого значень керованої величини.

У пошукових – він формується за допомогою пробних керуючих впливів та шляхом аналізу результатів дії пробних впливів. Таку процедуру пошуку правильних керуючих впливів доводиться використовувати в тих випадках, коли характеристики об'єкта керування змінюються або відомі не в повній мірі. Принцип автоматичного пошуку використовують для керування об'єктами,

характеристики яких мають екстремальний характер. Метою керування при цьому є пошук та підтримання керуючих впливів, що відповідають екстремальному (мінімальному або максимальному) значенню керованої величини. Такі автоматичні системи називаються екстремальними або самонастроювальними.

Прикладом об'єкта з екстремальною характеристикою може бути паровий котел на теплових електростанціях.

У топку котла подається повітря, кількість якого дещо перевищує ту кількість, яка теоретично необхідна для повного згоряння палива. Відношення цих кількостей називається коефіцієнтом надлишку повітря. Правильність вибору цього коефіцієнта визначає економічність використання палива. Основним збуренням для котла є змінювання споживання пари. Залежність коефіцієнта корисної дії (ККД) котла від коефіцієнта надлишку повітря має екстремум для різних витрат пари. Завданням системи автоматичного керування є змінювання подачі повітря в топку таким чином, щоб ККД котла мав би максимально можливе в даних умовах значення.

Системи автоматичного керування створюють відповідно до вимог забезпечення тих чи інших показників якості. Використовуючи способи оптимального керування при вирішенні завдань покращення показників якості роботи автоматичних систем, можна одержати позитивні результати. Слово оптимальний у широкому розумінні означає «найкращий» згідно з критерієм ефективності. Система автоматичного керування вважається оптимальною, якщо її застосування допомагає якісно виконати будь-яке завдання, тим самим визначити показник якості роботи. Цей показник називається критерієм оптимальності. Як критерії оптимальності можуть бути вибрані різні технічні або економічні показники процесу керування. В оптимальних системах забезпечується не просто деяке покращення того чи іншого техніко-економічного показника якості, а досягнення мінімально або максимально можливого його значення.

Якщо критерій оптимальності визначає техніко-економічні втрати (похибки системи, час перехідного процесу, витрати енергії, засобів, вартість), то оптимальним буде таке автоматичне керування, яке забезпечує мінімум критерію оптимальності. А якщо рентабельність (ККД, продуктивність, прибуток, дальність польоту ракети), то оптимальне керування повинне забезпечити максимум критерію оптимальності.

Створення оптимальних систем являє собою досить складну проблему. Але розробка та впровадження оптимального керування сприяє підвищенню ефективності використання виробничих агрегатів, збільшенню продуктивності праці, покращенню якості продукції, економії електроенергії, палива, сировини.

Адаптивними та самопристосовуваними називають такі системи керування, які в умовах непередбачуваної зміни властивостей керованого об'єкта, зовнішніх впливів або мети керування автоматично змінюють структуру або параметри свого керуючого пристрою, забезпечуючи при цьому необхідну якість керування. Для здійснення адаптації (автоматичної зміни алгоритму керування) ці системи мають додатковий керуючий пристрій –

пристрій адаптації, який за результатами виміру сигналів у головному контурі керування виявляє зміни властивостей зовнішніх впливів та об'єкта і здійснює необхідні перетворення у керуючому пристрої.

Необхідність використання адаптивних систем керування виникає тоді, коли умови функціонування й властивості керованого об'єкта змінюються в широких межах і за раніше невідомими законами. Об'єктами зі змінними властивостями й умовами функціонування можуть бути, наприклад, шахтні піднімальні установки, видобувні комплекси, кульові млини, прохідна нагрівальна піч з корекцією завдань та налагодження регуляторів у зонах за темпом видачі заготовок, нагрівальна піч, коли завдання та налагодження всіх локальних регуляторів визначаються відповідно до умов максимальної продуктивності печі або згідно з мінімальними сумарними затратами на нагрів та прокатку металу на основі поточної інформації про хід процесу.

#### **1.4. Режими роботи автоматичних систем**

Будь-яка система автоматичного керування є неконсервативною системою, запас енергії якої змінюється за рахунок витрат і надходжень через окремі її елементи (підсилювачі, об'єкт та ін.). При відхиленні від стану рівноваги в надходженні та витратах енергії у системі виникає відхилення керованої величини від заданого значення. Це приводить до включення в роботу регулятора, який намагається зменшити (а в ідеальному випадку звести до нуля) відхилення керованої величини від заданого значення, внаслідок чого в системі автоматичного керування виникає перехідний (динамічний) процес. Головним завданням дослідника є визначення при цьому стійкості та якості роботи автоматичної системи. Проте для визначення працездатності системи недостатньо того, щоб вона була стійкою і мала достатні показники якості в перехідних процесах (тривалість перехідного процесу, його характер тощо).

Важливим також є дослідження поведінки автоматичної системи у стані рівноваги, тобто в статичному режимі. У статисти вивчаються питання статичної (усталеної) точності – відхилень керованої величини від заданого значення після закінчення перехідного процесу, а також статичні характеристики системи.

Вимоги до систем автоматичного керування з позиції статички й динаміки є протилежними. Тому для їх задоволення потрібно досліджувати питання динаміки та статички в тісному взаємозв'язку, приймаючи при необхідності компромісні рішення. Наприклад, підвищення точності системи після закінчення перехідного процесу потребує збільшення коефіцієнта підсилення (передачі) розімкнутої системи. Водночас зростання цього коефіцієнта негативно впливає на динамічні характеристики системи. При досить великих його значеннях система може стати взагалі непрацездатною. Тому вибір цього коефіцієнта слід робити так, щоб задовольнити суперечливі вимоги статички й динаміки на основі компромісного рішення.

Для ефективного керування виробничими процесами або дослідження систем автоматичного керування необхідно мати адекватний математичний опис процесів, що проходять як у самій системі, так і в її елементах. Під математичним описом (математичною моделлю) розуміють сукупність рівнянь

та обмежувальних умов, які в кількісній формі визначають залежність керованих (вихідних) величин від керуючих (вхідних) в усталеному і перехідному режимах. У зв'язку з цим виділяють два різновиди рівнянь систем автоматичного керування: рівняння усталених режимів (рівняння статички) та рівняння перехідних режимів (рівняння динаміки).

Рівняння, яке описує зміну в часі вихідної величини автоматичної системи залежно від зміни вхідної, називається рівнянням динаміки. Воно визначає динамічний режим системи, який виникає кожного разу, коли на систему щось впливає. Перехід системи від одного усталеного режиму до другого при дії прикладеного впливу називається **перехідним режимом (процесом)**. У загальному випадку рівняння динаміки є диференціальними (або різницевиими) і повністю описують поведінку системи в перехідному режимі. За **усталений режим** найчастіше приймають стан рівноваги (спокою), який називають усталеним станом. Рівняння статички відображають функціональний зв'язок між вихідними і вхідними величинами в усталеному стані. Рівняння в усталеному стані – це алгебраїчне рівняння. Його можна одержати з диференціального рівняння, якщо прирівняти всі похідні за часом до нуля. Статичною характеристикою системи автоматичного керування називають залежність вихідної величини від вхідної в усталеному режимі.

Основна задача системи автоматичного керування полягає в забезпеченні необхідної якості виконання автоматизованого виробничого процесу незалежно від діючих при цьому несприятливих збурень. Для цього автоматична система повинна бути відповідним чином побудованою і виконувати необхідний закон керування.

Під законом керування розуміють правило (алгоритм) перетворення інформації про стан системи в сигнали керування. Закон керування в будь-якій автоматичній системі реалізується за допомогою відповідних засобів, які є її складовими елементами.

### **1.5. Засоби реалізації автоматичних систем**

Нам уже відомо, що автоматизації можуть підлягати різноманітні технічні об'єкти й виробничі процеси. Для цього використовують комплекс технологічних агрегатів, машин або установок при взаємодії із системою керування.

Робота системи керування визначається складністю законів керування та просторовим розташуванням об'єктів керування. У даний час пристрої керування найчастіше виконуються у вигляді різних мікропроцесорних контролерів (МПК), у яких керування здійснюється за програмою.

Для зосереджених об'єктів, у яких відстань від джерел інформації і виконавчих механізмів до пристрою керування не перевищує 1 – 10 метрів, доцільне використання централізованої структури системи керування, наведеної на рис. 1.5. У цьому випадку датчики та виконавчі механізми підмикаються за допомогою кабелю до клемних затискачів МПК.

У важкій промисловості більшість об'єктів керування розташовані у просторі на значній відстані. У цих випадках кращим є застосування



розподілених структур систем керування. У таких структурах МПК об'єднані між собою двопровідною лінією зв'язку та утворюють контролерну мережу. Вся інформація про стан об'єкта керування передається на операторську станцію (диспетчерський пульт керування) для контролю та архівації параметрів об'єкта керування.

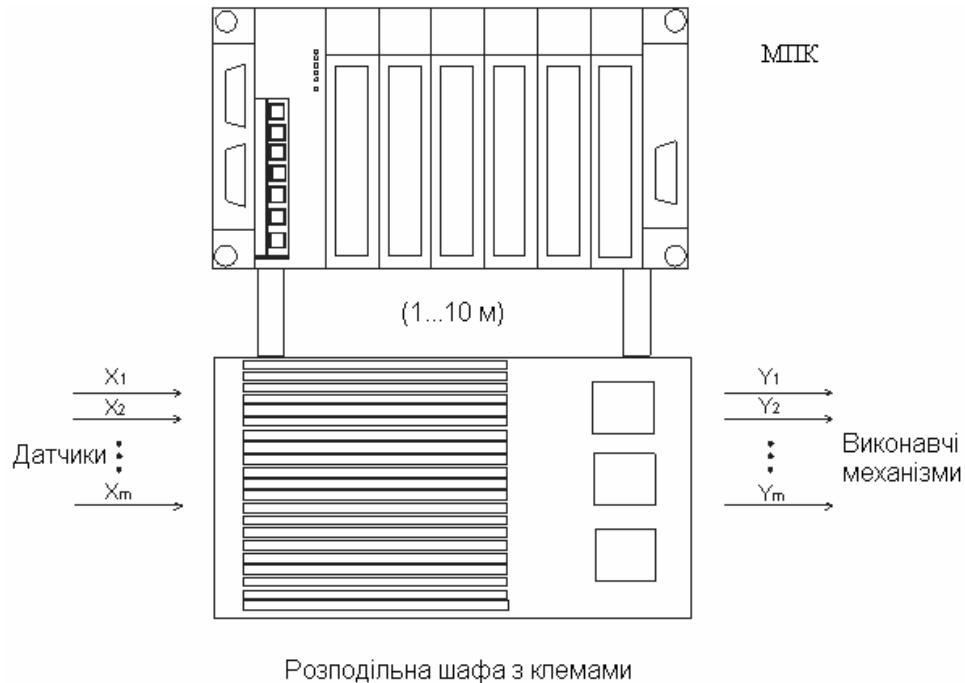


Рис. 1.5. Структурна схема централізованої системи керування

У розподілених системах в одних випадках закон керування може здійснюватися з одного пристрою, при цьому датчики та виконавчі механізми підмикаються до пристрою керування за допомогою двопровідної лінії зв'язку через винесений (вилучений) інтерфейс (пристрій сполучення), рис. 1.6. В інших — з декількох розподілених МПК, з'єднаних між собою двопровідними лініями зв'язку.

Переваги розподілених структур визначаються скороченням загальних витрат на кабельну мережу та монтажні роботи, а також стрімким здешевленням засобів обчислювальної техніки, що дозволяє встановлювати пристрої керування в безпосередній близькості від датчиків і виконавчих механізмів.

Застосування розподілених систем керування викликало необхідність в розробці спеціальних мережових рішень, орієнтованих на експлуатацію систем у промислових умовах. Основними вимогами для таких промислових мереж (Fieldbus) є висока перешкодозахищеність, достатня швидкість передачі даних та низька вартість кабельної продукції.

До засобів, призначених для одержання та перетворення інформації про зовнішні та внутрішні фактори роботи об'єктів керування, належать такі елементи автоматичних систем: датчики первинної інформації, чуттєві та вимірювальні елементи, аналізатори, перетворювачі, обчислювальні пристрої для первинної обробки інформації та ін., а також засоби для передачі й надання

інформації в зручній для керування формі (передавачі, канали зв'язку, пристрої, що кодують і декодують, перетворювачі інформації, приймачі та ін.).

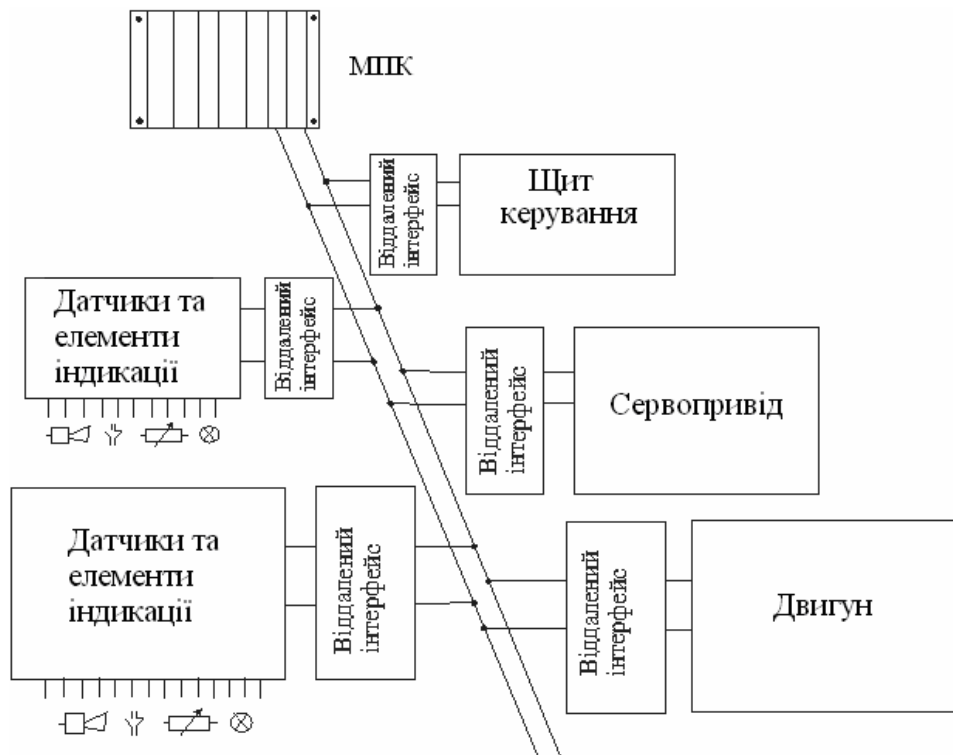


Рис. 1.6. Структурна схема системи керування на основі польової шини

Для керування об'єктами використовуються технічні засоби, за допомогою яких формується **виконавча підсистема**. Технічними засобами для використання інформації є різноманітні регулятори, відстежувальні системи, автоматичні приводи та механізми регуляторів, дискретні виконавчі елементи (релейні, логічні, цифрові та ін.).

Створення та раціональне використання елементів, пристроїв і систем автоматики пов'язане з необхідністю відповідати конкретним вимогам або технічним характеристикам. Ці характеристики можна розділити на статичні, динамічні, характеристики точності, експлуатаційні та економічні.

**Статичні характеристики:** коефіцієнти підсилення та передаточні коефіцієнти (чутливість); лінійність статичних характеристик; мінімальні та максимальні значення вхідних і вихідних параметрів (поріг чутливості, зона нечутливості або однозначності, значення параметрів насичення, робочий діапазон зміни параметрів і сигналів); вхідна й вихідна потужність, номінальні значення параметрів; коефіцієнти добротності та ін.

**Динамічні характеристики:** ступінь астатизму; частотні характеристики (передаточні функції); смуга пропускання; показники якості (постійні часу, величини демпфування, перерегулювання); запаси стійкості за амплітудою та фазою; статистичні характеристики.

**Характеристики точності:** статична точність (або позиційна, швидкісна та інші похибки); точність у перехідних режимах (швидкодія,

точність при типових впливах); точність при наявності збурень; статистична точність (динамічна або флуктуаційна похибка).

**Експлуатаційні характеристики:** ефективність використання згідно з вибраними критеріями; стабільність характеристик і параметрів за умов нормальної експлуатації; стійкість до зовнішніх збурень (термостійкість, вологостійкість, міцність виробу, робота за умов вакууму, допустимі механічні перевантаження); радіаційна стійкість; час готовності до роботи; безпека при експлуатації; ремонтпридатність та взаємозамінність; маса, габаритні виміри, енергоємність (питома потужність); стійкість до тривалого зберігання; вимоги до джерел живлення та ін.

**Економічні характеристики:** надійність, вартість; відтворення параметрів і характеристик за умов виробництва; ККД; ресурс роботи; чутливість технічних параметрів до величин виробничих допусків і т.д.

Технічні вимоги до елементів систем автоматики, а також вимоги щодо умов їх експлуатації формують згідно з розглянутими технічними характеристиками на етапах проектування, виробництва та випробування дослідного зразка.

Під час аналізу або проектування елементів і пристроїв систем автоматики, що виконують окремі неоднакові функціональні задачі одержання, передачі, переробки та використання інформації, можна виділити основні технічні вимоги, які відповідають функціональному призначенню даного елемента. Наприклад, основними вимогами до перетворювальних пристроїв є статична та динамічна точність при необхідній швидкодії, до підсилювальних – коефіцієнти підсилення та швидкодії, до корегувальних – необхідні частотні характеристики, до виконавчих – вихідна потужність та швидкодія. Основними технічними вимогами до керуючих ЕОМ (мікроконтролерів), як і до логіко-обчислювальних підсистем, є швидкодія та об'єм пам'яті, а також логічні та технічні можливості сполучення ЕОМ з об'єктами керування.

Зупинимось тепер на особливостях деяких технічних засобів, а саме – засобів перетворення інформації, що використовуються при створенні систем автоматичного керування. Вважаємо, що завдяки цьому читач буде краще орієнтуватися під час ознайомлення з наступними розділами даної книги.

У зв'язку з великою кількістю методів перетворення інформації засоби їх реалізації можна розділити за багатьма ознаками. Розглянемо дві основні: *за функціональним призначенням та за характером вихідного сигналу.*

*За функціональним призначенням* технічні засоби перетворення інформації розділяють на такі класи:

- датчики сигналів;
- нормувальні перетворювачі, які перетворюють різні вхідні сигнали в уніфікований вихідний сигнал, наприклад, в постійний струм, що змінюється в межах 0...5 або 0...20 міліампер;
- перетворювачі аналогових величин у дискретні та дискретних в аналогові, тобто аналого-цифрові та цифро-аналогові перетворювачі (АЦП та ЦАП);

– функціональні елементи, що здійснюють математичні дії, перетворення та підсилення інформації, логічні операції;

– регулювальні пристрої (автоматичні регулятори).

*За характером вихідних сигналів розпізнають елементи:*

– з неперервним вихідним сигналом (аналогові);

– з імпульсним або частотно-імпульсним вихідним сигналом;

– з цифровим вихідним сигналом.

Зазначені технічні елементи автоматичних систем є предметом вивчення спеціальних навчальних дисциплін. Ми ж зупинимось на деяких з них, для того щоб допомогти читачеві в розумінні деяких питань, які будуть розглянуто далі.

Пристрої, що призначені для безпосереднього одержання інформації про стан об'єкта керування або керованого процесу, називають **датчиками первинної інформації**. Бувають датчики переміщення, зусиль, швидкості, прискорення, напруги, струму, тиску, температури, витрачання та ін. Інколи в технічній літературі датчики називають чутливими елементами. Зупинимось на такому визначенні: **датчик** – це пристрій, що сприймає контрольовану величину та перетворює її у іншу зручну для подальшого використання величину.

**Вимірювальні (або нормувальні вимірювальні) перетворювачі** – це пристрої, які виконують ті самі функції, що й датчики, з тією лише різницею, що їх точність і деякі інші характеристики відповідають вимогам, які висувають до використання інформаційно-вимірювальних систем.

Автоматичні регулятори – це пристрої, які виробляють закон керування, що забезпечує необхідну якість роботи об'єкта керування або ж необхідні показники виконання технологічного процесу.

Для перетворення неперервних сигналів у дискретні використовують аналого-цифрові перетворювачі (АЦП). Щоб цифрова ЕОМ змогла керувати неперервними об'єктами, необхідно цифрові сигнали перетворювати в аналогові. Для цього використовують цифро-аналогові перетворювачі (ЦАП).

**Виконавчі елементи (пристрої)** застосовують у системах автоматичного контролю та автоматичного керування. У системах автоматичного контролю їх використовують для сигналізації, індикації та захисту (сирени, сигнальні лампи та стрілочні вимірювальні прилади, засоби захисту). А у системах автоматичного керування – з метою зміни керуючого впливу відповідно до сигналу завдання, що подається за допомогою пристрою керування, тобто виконавчий пристрій призначений для перетворення сигналів керування в переміщення робочого органу. Виконавчими пристроями в системах автоматичного керування можуть бути різноманітні муфти, електромагніти, електродвигуни, реле, механізми з обертальним та поступальним переміщенням, регулювальні реостати, трансформатори та ін.

Сучасні технології автоматизації припускають програмну реалізацію законів керування на МПК. Якщо віднести самі датчики та виконавчі механізми до об'єкта керування, то структура МПК буде виглядати як на рис. 1.7.

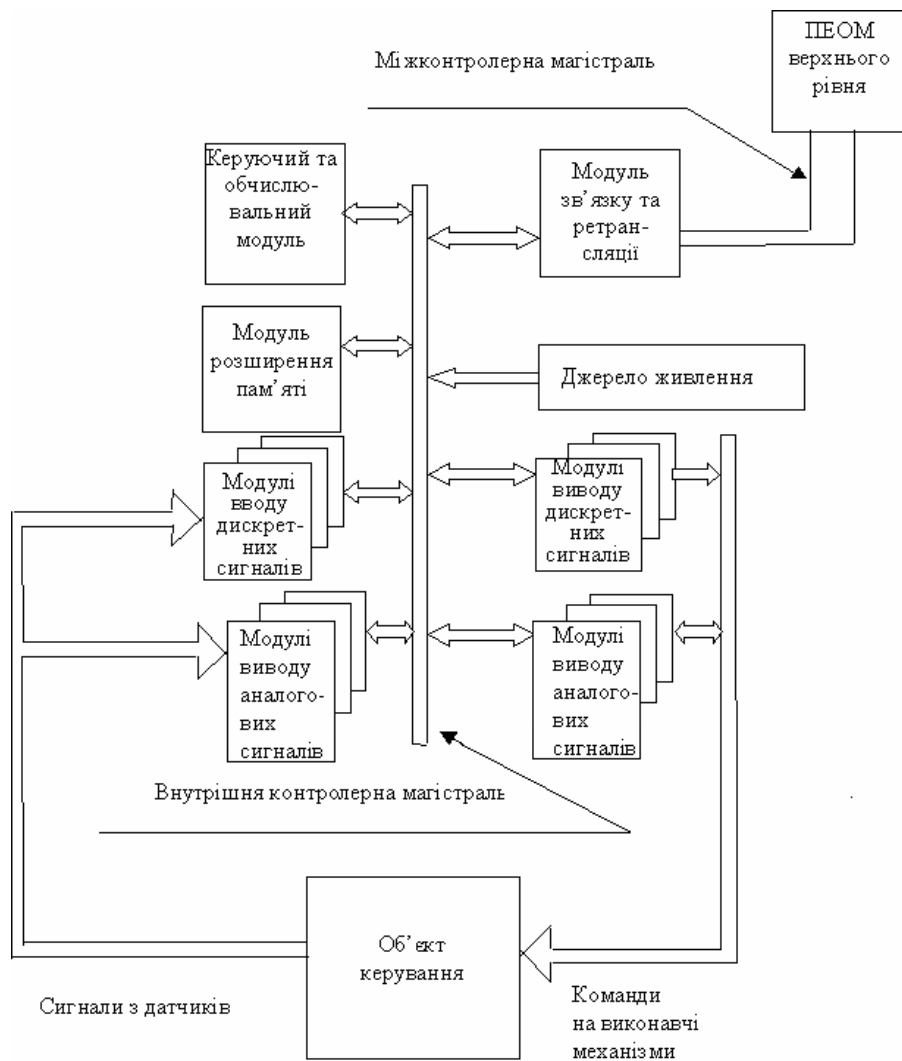


Рис. 1.7. Структурна схема мікропроцесорного контролера

Мікропроцесорний контролер містить модулі для перетворення вихідних сигналів датчиків усілякої форми (аналогових, дискретних, частотних, фазових) у сигнали, зручні для використання в МПК, а також вихідні модулі для перетворення команд для виконавчих механізмів. Усі модулі поєднуються внутрішньо-контролерною магістраллю (ВКМ), що здійснює зв'язок керуючого обчислювального модуля і модулів вводу-виводу.

Для забезпечення високої надійності роботи мікропроцесорних систем керування електричні ланцюги сигналів датчиків і виконавчих механізмів повинні мати гальванічну розв'язку.

Вхідна гальванічна розв'язка необхідна для гальванічного розділення джерела живлення технологічних датчиків, розташованих на обладнанні, та контролера, а також для узгодження рівнів сигналів, що поступають з датчиків, з рівнями сигналу контролера. Схема вхідної гальванічної розв'язки зображена на рис. 1.8. Вхідний сигнал подається через резистор R1 та стабілітрон VD1 на світлодіод оптрону U1. Конденсатор C1 разом з резистором виконують роль фільтра низьких частот. Стабілітрон потрібен для формування порогу вмикання. Після засвічування світлодіодом фототранзистор відкривається і на

його колекторі формується потенціал низького логічного рівня. Резистор R2 потрібний, щоб прискорити закривання транзистора після зникнення світлового потоку світлодіода. Гальванічна розв'язка забезпечує ізоляцію між ланцюгами вхідних кіл і ланцюгами контролера 1500 В.

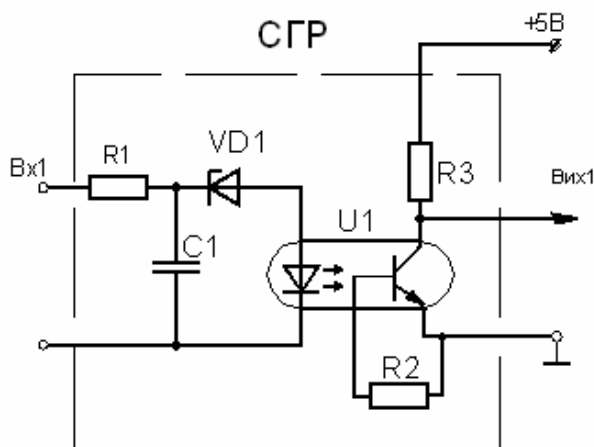


Рис. 1.8. Схема гальванічної розв'язки дискретних вхідних сигналів

Вихідна гальванічна розв'язка необхідна для гальванічного розділення сигналів контролера та ланцюгів керування. Схема вихідної гальванічної розв'язки наведена на рис. 1.9. Сигнал керування в вигляді логічного нуля поступає з контролера на світлодіод оптротранзистора. Резистор R1 обмежує струм світлодіода. Коли світло попадає на фототранзистор оптрона, він відкривається і відкриває підсилювальний транзистор VT1. Від цього спрацьовує реле K1 і контакти реле замикаються. Дана схема має практично два гальванічно розділяючих бар'єри: перший – в оптроні, другий – в реле. Контакти реле комутують ланцюги керування обладнання.

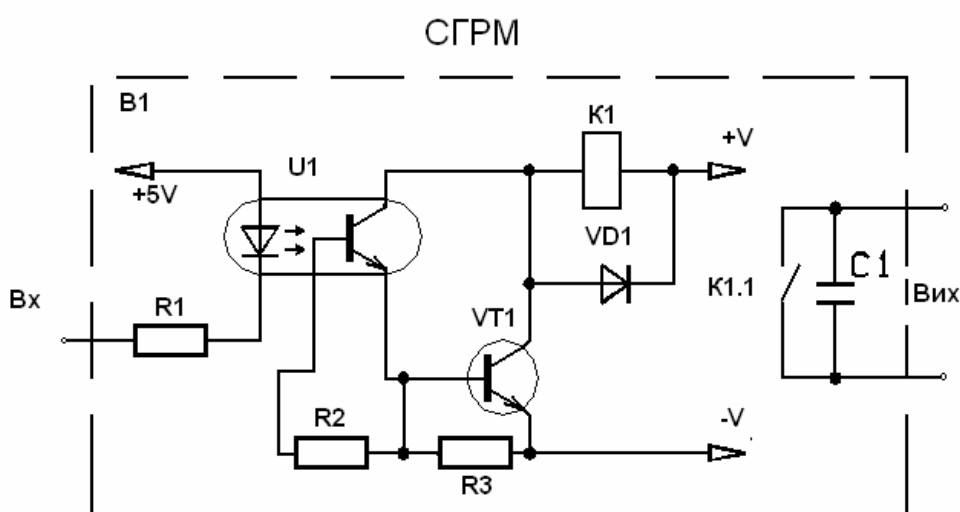


Рис. 1.9. Схема гальванічної розв'язки дискретних вихідних сигналів

Аналогові сигнали гальванічно розв'язувати значно важче, бо для цього потрібні оптронні пристрої з дуже високою лінійністю, тому використовують

інший спосіб. Спочатку сигнали перетворюють із аналогового в цифровий код, а потім код за допомогою дискретної гальванічної розв'язки (ДГР) передають у контролер. Для зменшення кількості зв'язків використовують послідовний спосіб передачі інформації, наприклад інтерфейс SPI. Розроблені спеціалізовані мікросхеми, в яких виконано сумісно перетворювач з аналогової форми в цифрову та послідовний інтерфейс. Прикладом може бути мікросхема фірми Micrichip MCP3002. Це двоканальний аналоговоцифровий перетворювач з інтерфейсом SPI. На рис. 1.10 зображена структурна схема мікросхеми та її підключення до мікроконтролера. Живлення перетворювача необхідно робити від окремого джерела. Якщо аналоговий датчик має струмовий вихід, то спочатку значення струму треба перетворити в напругу. Простіше всього це зробити за допомогою прецизійного резистора, як це показано по першому входу перетворювача на рис. 1.10.

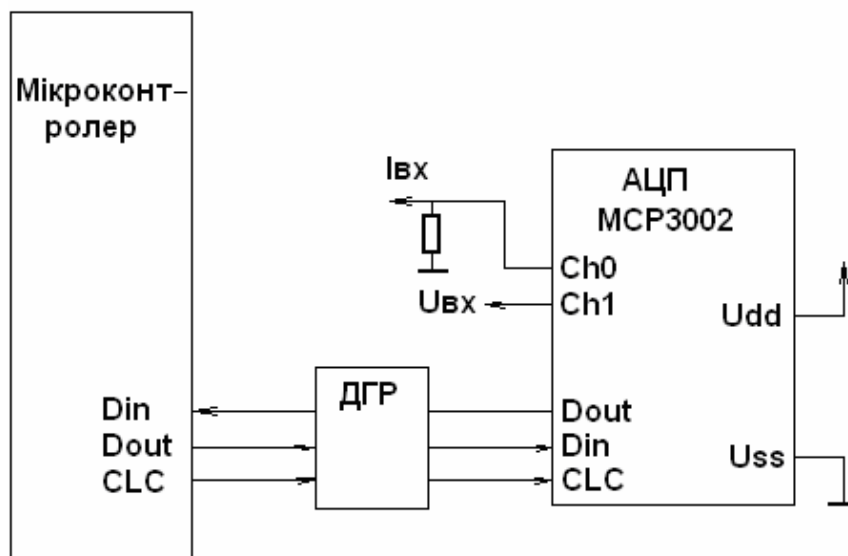


Рис. 1.10. Схема гальванічної розв'язки аналогових сигналів

Міжконтролерна магістраль забезпечує передачу інформації з послідовних каналів зв'язку в інші контролери і на диспетчерські пульти керування (ПЕОМ).

## 1.6. Принципи побудови дискретних систем керування

### 1.6.1. Основні поняття

Узагальнена структурна схема системи керування (рис. 1.1) відображає всі можливі в ній зв'язки, включаючи безперервні канали керування й регулювання.

На вугільних шахтах і рудниках широко розповсюджені дискретні системи керування, їх входні змінні звичайно являють собою стани різноманітних дискретних датчиків і органів керування, з яких знімається інформація. Стан виконавчих механізмів (реле, клапанів, перемикачів і т.п.) з



двома стійкими положеннями відповідає внутрішнім змінним. Сукупність цих виконавчих механізмів утворює своєрідну «пам'ять» системи. В системі є також датчики, що контролюють стан виконавчих механізмів. Сигнали з них надходять у коло зворотного зв'язку й визначають хід подальших подій у системі. Вихідні змінні відбивають стан вихідних елементів системи, які не здатні запам'ятовувати сигнали. До даного класу дискретних систем можна віднести системи керування конвеєрним та електровозним транспортом, водовідливом, вентиляторами головного і місцевого провітрювання й ін. У таких системах сигнали мають усього два стани, еквівалентні двійковим цифрам 0 і 1, тому їх прийнято називати цифровими.

Характерна риса сучасних систем автоматики - високе насичення їх обчислювальними пристроями, інтегральними мікросхемами малого, середнього й великого ступенів інтеграції, розвиненою логічною структурою. Розробка й експлуатація таких систем вимагає від фахівців знань як традиційних методів побудови цифрових керуючих пристроїв, так і методів програмування систем, реалізованих на програмованих логічних контролерах або мікропроцесорах.

Процес проектування складних цифрових керуючих пристроїв (КП) включає такі етапи:

- складання алгоритму роботи КП (технічне завдання, з якого починається проектування, не містить усієї необхідної інформації для написання алгоритму функціонування, тобто перехід від технічного завдання до алгоритму функціонування вимагає цілого ряду уточнень);
- блоковий синтез (розробляється структурна схема пристрою; увесь пристрій розбивається на окремі функціональні блоки, визначаються розв'язувані кожним блоком завдання, намічається загальний план обміну інформацією між блоками; уточнюються алгоритми функціонування кожним блоком; якщо КП нескладні, етап блокового синтезу не проводиться, а якщо складні, то можливе кількаразове повернення до цього етапу);
- логічне проектування (розробка функціональних і принципових схем КП в цілому і його блоків); прийнято логічне проектування розділяти на два підетапи: *абстрактного синтезу*, на якому умови функціонування кожного блоку записуються на обраній формальній мові, установлюються вхідні й вихідні сигнали, мінімальна кількість внутрішніх станів і обсяг пам'яті; *структурного синтезу*, на якому вибирається тип елементів пам'яті, одержують рівняння, що відбивають логічну залежність вихідних змінних від вхідних, і за цими рівняннями складається функціональна схема, на якій показують графічне зображення структури КП, що містить умовне зображення блоків і елементів структури, канали передачі впливів між ними, входами й виходами.

Технічне проектування включає розробку основних видів технічної документації для виготовлення, налагодження й випробування дослідного зразка. На цьому етапі компонуються функціональні елементи в різних конструктивних одиницях, трасуються друковані плати, складаються монтажні схеми.

Будь-яка теорія, ідеалізуючи реальний світ, використовує моделі. При створенні дискретних КП на всіх етапах синтезу також доводиться мати справу з великою кількістю різних моделей. Однак базовою є модель кінцевого автомата,

запропонована Кліні, у якій поведінка будь-якого дискретного КП визначається зміною в часі деяких фізичних величин на його вході, виході й усередині самого пристрою. Для електричних КП такими величинами є потенціали на входних і вихідних полюсах, а також на внутрішніх вузлах схеми.

Особливість функціонування дискретних КП полягає в тому, що на осі часу можуть бути виділені інтервали, на яких входні, вихідні й внутрішні змінні зберігають постійне значення. Ці інтервали називаються тактами роботи. Таким чином, у кожний момент автоматного часу (такт) входні, вихідні й внутрішні змінні мають цілком певні значення. Набір входних (вихідних) змінних у деякий момент автоматного часу називають станом входу (виходу) КП або буквою входного (вихідного) алфавіту.

Вхідний (вихідний) алфавіт КП – сукупність усіх можливих входних (вихідних) станів. Набір внутрішніх змінних у деякому такті називається внутрішнім станом КП, а сукупність усіх внутрішніх станів становить безліч внутрішніх станів КП.

Найбільш загальна модель пристрою керування - абстрактний автомат, який можна задати шістьма об'єктами:

- безліччю входних станів (вхідний алфавіт)

$$X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_m\};$$

- безліччю вихідних станів (вихідний алфавіт)

$$Y = \{y_1, y_2, y_3, \dots, y_n\};$$

- безліччю внутрішніх станів

$$A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_k\};$$

- функцією переходів  $\delta$ , що визначає залежність наступного значення внутрішньої змінної  $a_{i+1}$  від поточних значень входної змінної  $x$  і внутрішньої змінної  $a(t)$ ;

- функцією виходів  $\lambda$ , що визначає залежність вихідної змінної  $y$  від поточних значень входної змінної  $x$  і внутрішньої змінної  $a(t)$ ;

- початкового стану автомата  $a_1 \in A$ .

Абстрактний автомат зображується у вигляді «чорного ящика» з одним входом і виходом (рис. 1.11).

У кожний момент автоматного часу  $t$  на вхід автомата, що перебуває в стані  $a(t)$ , надходить буква входного алфавіту  $x(t)$ . У цей самий момент на виході знаходиться буква вихідного алфавіту  $y(t)$ . У наступному такті автомат перейде в новий стан  $a_{i+1}$ , обумовлений функцією переходів.

Розрізняють дві моделі автоматів: Мілі та Мура, які відрізняються один від одного функціями виходів. Поведінка автомата Мілі описується такими рівняннями:

$$a(t+1) = \delta[a(t), x(t)];$$

$$y(t) = \lambda[a(t), x(t)].$$

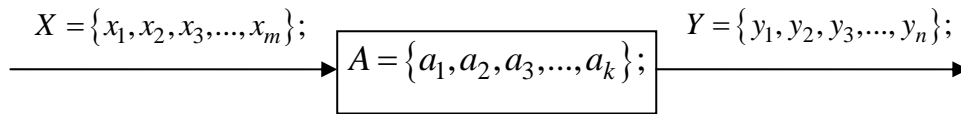


Рис. 1.11. Структурна схема абстрактного автомата

В автоматі Мура функція виходу не залежить від вхідних змінних, і його рівняння виглядають так:

$$a(t+1) = \delta[a(t), x(t)];$$

$$y(t) = \lambda[a(t)].$$

Таким чином, у моделі автомата Мілі функція виходів залежить як від стану входів, так і від внутрішнього стану автомата. У той час як в автоматі Мура функція виходів повністю визначається внутрішнім станом автомата.

Для автомата джерело вхідних сигналів – це зовнішнє середовище і його стан сприймається автоматом через стан входів. У моменти зміни такту внутрішні стани автомата і його входів повинні бути незмінними, тобто моменти зміни станів зовнішнього середовища мають бути погоджені з моментами зміни станів автомата. Коли такт формується зовнішнім сигналом від спеціального пристрою (генератора), загального як для зовнішнього середовища, так і для автомата, автомат називається синхронним.

Якщо ж такт формується зовнішнім середовищем і його тривалість визначається часом, протягом якого залишається незмінним стан входу, автомат називається асинхронним.

Якщо такт для зовнішнього середовища формується автоматом, а такт для автомата – зовнішнім середовищем, автомат називається погодженим.

У загальному випадку джерело синхросигналів може розглядатися як складова частина зовнішнього середовища. Тоді в синхронному автоматі зміна такту настає щораз, коли відбувається зміна стану входів автомата, тобто автомат стає асинхронним. Тому будь-який синхронний автомат можна розглядати як асинхронний; зворотнє в загальному випадку неправильно, тому що в довільному асинхронному автоматі не завжди можна виділити вхідні сигнали, що формують зміну такту.

### 1.6.2. Способи завдання автоматів

Задати автомат – значить записати умови його роботи мовою, що дозволяє виконувати операції аналізу і синтезу, використовуючи формальні правила. Вихідні дані - звичайно описова форма завдання автомата, яка не є цілком математичним поняттям. При створенні автомата необхідно вибрати якусь формальну мову, що дозволяє відобразити відповідності між кінцевими безлічами вхідних і вихідних сигналів, кінцевими формулами або таблицями.

Схема на рис. 1.1 відбиває зв'язок джерел інформації з керуючим автоматом, засобами подання інформації й виконавчими механізмами. Для пояснення функціонування об'єкта найбільш часто використовується поняття «стан об'єкта». Виходячи з технології, принципу дії і призначення об'єкта, виділяються й перелічуються всі стани, які й становлять простір станів об'єкта.

Щоб задати алгоритми функціонування автомата, необхідно задати його функції переходів і виходів з одного стану в інші. Задати функцію переходів – значить задати певний перехід із одного внутрішнього стану  $a_i$  в інший  $a_j$  при впливі набору вхідних сигналів  $x_1, x_2, \dots, x_m$ . Задати функцію виходів означає, що кожній парі  $(x_m a_i)$  відповідає стан виходу  $y_i \in Y$ .

Мови, що дозволяють у такий спосіб задавати функції переходів і виходів, називають стандартними. Для них ставляться таблиці переходів, матриці переходів, графи переходів, граф-схеми алгоритмів (ГСА), логічні схеми алгоритмів (ЛСА).

У цей час усе частіше для пояснення принципу дії об'єкта й системи керування використовуються графи переходів.

Функціонування автомата зображується у вигляді спрямованого графа, що складається з вершин і спрямованих ребер або дуг. Кожний стан об'єкта керування порівнюється з вершиною графа. Переходи між станами – дуги – позначаються кон'юнкціями вхідних змінних. Кількість вершин графа дорівнює кількості станів об'єкта керування.

В автоматі Мура кожній вершині приписується відповідний вихідний сигнал, а дуги позначаються вхідними змінними й показують на напрямок переходів, здійснюваних в автоматі під дією вхідних змінних.

На рис. 1.12 наведений граф переходів автомата Мура, а на рис. 1.13 – граф переходів автомата Мілі. Вони відрізняються один від одного тим, що вершини другого автомата позначено однією буквою, а ребра – двома: перша означає вхідний сигнал, під дією якого здійснюється перехід, друга – вихідний сигнал, який виробляє автомат при відповідному переході. Петля на графові відповідає стійкому стану за цією змінною.

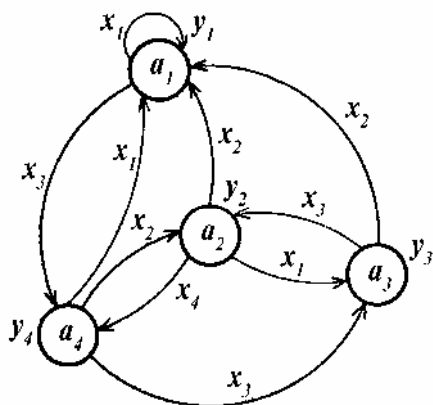


Рис. 1.12. Граф переходів автомата Мура

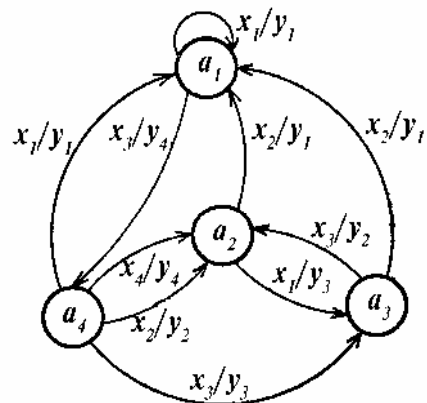


Рис. 1.13. Граф переходів автомата Мілі

Більшість об'єктів гірничої промисловості мають логічні закони керування, при цьому у всіх сигналів в системі керування дискретний характер. Отже, закони керування являють собою рівняння логічних функцій, які на сучасному етапі в основному реалізуються програмно.

Якщо кожний стан об'єкта порівняти із станом керуючого автомата, а кожний стан автомата позначити вершиною графа переходів, а дуги – логічними функціями вхідних і тимчасових змінних, то програма, що виконує цей граф, буде зрозумілою як розроблювачеві, так і проектувальникові й експлуатаційникові.

Формалізацію процесу написання програм для таких систем найбільше доцільно здійснити за допомогою методів опису об'єктів керування, які розроблені в теорії цифрових автоматів. Фактично завдання дискретного керування об'єктами з використанням програмувальних контролерів полягає у введенні вхідних сигналів, обчисленні логічної функції єднальних вхідних та вихідних сигналів і виводі результату обчислення на виходи контролера. Завдання дискретного керування може бути записане як комбінаційні або послідовні автомати, тобто автомати з пам'яттю. Якщо функція керування задана у вигляді комбінаційного автомата, то її зручно подати таблицею істинності. Завдання побудови комбінаційного автомата розглянемо на прикладі розробки дешифратора для семисегментного індикатора. Вхідні сигнали для семисегментного індикатора надходять на розряди порту P1.0 – P1.3 мікроконтролера МК51, керування індикатором здійснюється бітами порту 2 через буферний підсилювач.

Сформуємо в пам'яті програм контролера масив значень байта виводу згідно з табл. 1.1 (мітка BEGDIM), який потрібно вивести на індикатор для формування шістнадцятирічних цифр від 0 до F. Текст підпрограми, яка реалізує дешифратор, наведений нижче.

Розв'язок. Запишемо таблицю істинності для дешифратора.

Таблица 1.1

Визначення істинності для дешифратора

Входи				Виходи								Символ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
P1.3	P1.2	P1.1	P1.0	P2.7	P2.6	P2.5	P2.4	P2.3	P2.2	P2.1	P2.0	
0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1
0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	2
0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	3
0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	4
0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	5
0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	6
0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	7
1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	8
1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	9
1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	A
1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	B
1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	C
1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	D
1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	E
1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	F

```

DESH:  MOV DPTR,#BEGDIM; заносимо в DPTR адресу першого
        ;елемента масиву
        MOV A,P1          ;вводимо вхідні сигнали
        ANL A,#0FH        ;маскуємо старші розряди вхідних
        ;сигналів, одержуємо зсув у таблиці для
        ;даної комбінації
        MOVC A,@A+DPTR; заносимо в акумулятор значення
        ;елемента масиву, що відповідає
        ;вхідному коду
        MOV P2,A          ;виводимо значення в порт
        RET               ;виходимо з підпрограми
BEGDIM: DB 3FH, 06H, 5BH, 4FH, ; 0, 1, 2, 3
        DB 66H, 6DH, 7DH, 07H, ; 4, 5, 6, 7
        DB 7FH, 6FH, 77H, 7CH, ; 8, 9, A, B
        DB 39H, 5EH, 79H, 71H ; C, D, E, F

```

У даній програмі вхідне значення коду від дії вхідних сигналів, перетворюється в зсув для масиву вихідних значень і виводиться у вихідний порт.

Такий спосіб реалізації комбінаційного автомата має такі обмеження: вхідні сигнали повинні бути підключені до одного порту і підряд (інакше треба буде вирішувати завдання збору різних входів в одне вхідне слово); при досить великій кількості входів 7 і більше та не повному використанні вихідних комбінацій нераціонально використовується пам'ять програм. Тому розглянемо інший спосіб, заснований на програмній реалізації логічних кон'юнктивно-диз'юнктивних рівнянь.

Як і в попередньому випадку, функціонування автомата задається у вигляді таблиці істинності (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

Стан бітів портів

Входи				Вихід
P1.2	P1.4	P2.1	P2.3	P1.7
0	1	1	0	1
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1

Запишемо логічне рівняння для виходу згідно з наведеною таблицею.

$P1.7 = !P1.2 \& P1.4 \& P2.1 \& P2.3 + P1.2 \& !P1.4 \& P2.1 \& !P2.3 + P1.2 \& !P1.4 \& P2.1 \& !P2.3$

Складемо схему алгоритму для першої функції «І» рівняння (рис. 1.14).

Програма виконання для цієї функції має вигляд:

```

JB P1.2,M1; перевірка біта P1.2 на 1,
JNB P1.4,M1; перевірка біта P1.2 на 0,
JNB P2.1,M1; перевірка біта P1.2 на 0,
JNB P2.3,M1; перевірка біта P1.2 на 0,

```

SETB P1.7; установка біта P1.7,  
 LJMP EXIT  
 M1 перевірка наступної умови

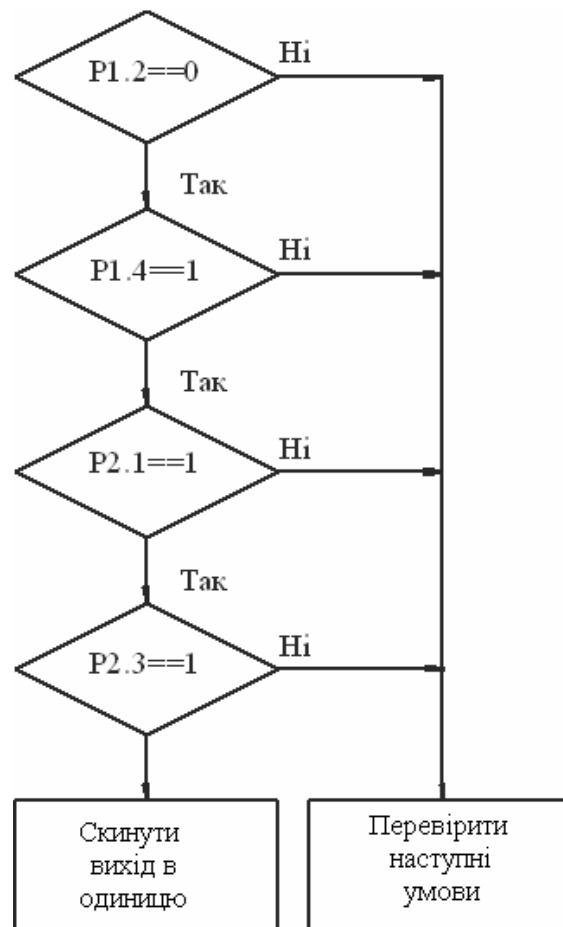


Рис. 1.14. Схема алгоритму програмної реалізації логічної функції «І»

Слід звернути увагу, що команди умовного переходу при виконанні умови не дозволяють здійснити послідовне виконання програми. Тому, для того щоб програма була наочною, пропонується використовувати команди, які перевіряє інверсна умова переходу. Тоді послідовне виконання таких команд і буде відповідати виконанню вихідної умови логічної функції.

Схема алгоритму для функцій «АБО» наведена на рис. 1.15.

У цьому алгоритмі під &1, &2 маються на увазі логічні функції «І» за рядками таблиці наведених рівнянь. Повна програма логічного рівняння, що відповідає таблиці істинності, має вигляд:

```

JB P1.2,M1; Перевірка умови першого рядка таблиці
JNB P1.4,M1
JNB P2.1,M1
JNB P2.3,M1
SETB P1.7; установка виходу в одиницю
LJMP EXIT; і вихід
M1:
  
```



JNB P1.2,M2; ; Перевірка умови другого рядка таблиці  
 JB P1.4,M2  
 JNB P2.1,M2  
 JB P2.3,M2

SETB P1.7; установка виходу в одиницю  
 LJMP EXIT; і вихід  
 M2: JNB P1.2,M3; Перевірка умови третього рядка таблиці  
 JB P1.4,M3  
 JNB P2.1,M3  
 JB P2.3,M3  
 SETB P1.7; установка виходу в одиницю  
 LJMP EXIT; і вихід  
 M3: CLR P1.7; скинути вихід у нуль – не виконалася жодна умова  
 EXIT: RET

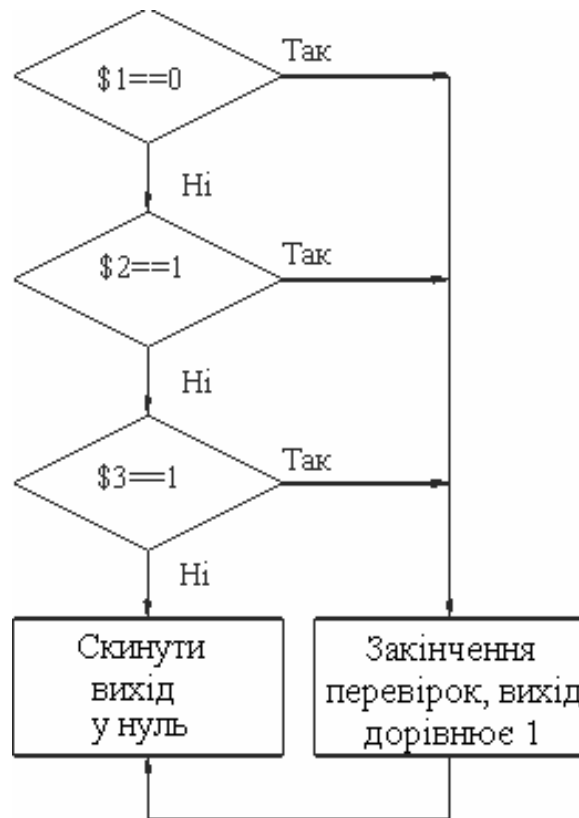


Рис. 1.15. Схема алгоритму програмного виконання логічної функції «АБО»

Якщо функція керування здійснюється автоматом з пам'яттю, то алгоритм функціонування зручно записувати у вигляді спрямованого графа. У запропонованій методиці написання програм дискретного керування вершини графа являють собою стан системи дискретного керування, дуги вказують на умови переходу. Над дугами записуються умови переходу з одного стану в інші, а через знак (/) вказуються вихідні сигнали, які при цьому формуються.

Функція керування у даному випадку обчислюється у вигляді логічного рівняння, у якому до вхідних сигналів додані ще змінні стани, що визначають об'єкт. Програмний спосіб реалізації автомата з пам'яттю значно розширює список використовуваних вхідних і вихідних змінних. Крім звичних дискретних змінних, можна використовувати такі: чисельні змінні, лічильники, тимчасові затримки, значення АЦП, вихідні значення для ШІМ і т.д. Причому тимчасові затримки є звичайними виходами при їхньому запуску і входами при контролі закінчення тимчасового інтервалу. Двійкові змінні, які керують елементами затримки та сигналізують про закінчення затримок, є звичайними вихідними й вхідними логічними функціями. Присвоювання значення, скидання в 0, арифметичні дії – це операції, які можна виконувати над чисельною змінною, використовуюваною як вихідна. Над чисельними вхідними змінними виконуються операції порівняння (рівність, більше, менше) та перевірка на нуль. Як приклад чисельною змінною може бути така, що зберігає стан об'єкта.

Лічильники можуть працювати як вхідні, так і вихідні змінні. З лічильниками вихідних змінних можна виконувати такі операції, як інкрементування, декрементування, скидання в нуль, установки в задане значення, а з лічильниками вхідних змінних – операції порівняння на більше/менше, перевірку на нуль або потрібне значення. Таймери фактично також є лічильниками, але тактовні за відмітником часу. Як вихідний сигнал таймер можна запустити, зупинити, установити на заданий час. При використанні як вхідний сигнал таймер можна контролювати на нуль.

Розглянемо приклад автоматизації спрощеної шахтної водовідливної установки. Водовідливна установка складається із зумпфа, де збирається вода, і двох насосів – відцентрового основного (no) і заливального (nz). Контроль над рівнем води в зумпфі здійснюється двома датчиками: верхнього (datv) і нижнього (datn) рівнів.

Схематичне зображення об'єкта керування наведено на рис. 1.16.

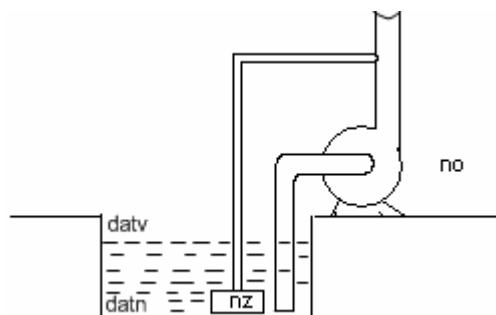


Рис. 1.16. Схематичне зображення водовідливної установки

Алгоритм функціонування водовідливної установки виглядає так: за початковий прийнятий стан, при якому рівень води перебуває нижче датчика верхнього рівня, обоє насоси ввімкнені. Коли рівень води досягає датчик верхнього рівня, вмикається заливальний насос, об'єкт переходить у стан заливання насоса. Через 10 с роботи заливального насоса вмикається основний насос і вимикається заливальний, об'єкт переходить у стан відкачки води.

Основний насос працює доти, поки рівень води в зумпфі не опуститься нижче датчика нижнього рівня. Після чого основний насос вимикається, а система переходить у вихідний стан.

*Складання графа станів об'єкта керування*

Виділимо стани, у яких може перебувати водовідливна установка.

Стан 0 – обоє насоси ввімкнені, рівень води перебуває нижче верхнього датчика.

Стан 1 – увімкнений заливальний насос, здійснюється заливання за допомогою основного насоса.

Стан 2 – заливальний насос увімкнутий (nz), проводиться відкачування води із зумпфа.

Визначення умов переходу з одного стану в інший з:

- 0 в 1 стан система переходить, коли рівень води досягне датчика верхнього рівня (вихідне значення датчика верхнього рівня дорівнює 1);
- 1 в 2 стан система переходить через 10 с (zd1) після початку роботи заливального насоса;
- 2 в 0 стан система переходить при зниженні рівня води в зумпфі нижче датчика нижнього рівня (datn).

Визначення вихідних сигналів при переході зі стану в стан з:

- 0 в 1 – вмикається заливальний насос і відлічується 10 с;
- 1 в 2 – вимикається заливальний насос і вмикається основний;
- 2 в 0 – вимикається основний насос.

Граф стану водовідливної установки наведено на рис. 1.17. Умови переходу й вихідні сигнали тут нанесені на дузі переходу через знак (/).

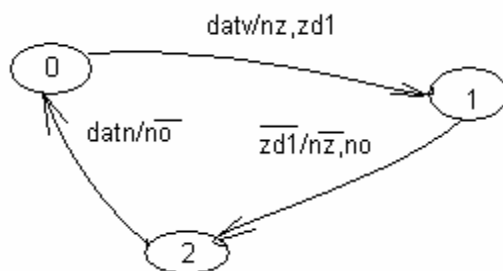


Рис. 1.17. Граф стану системи керування

Програма, що реалізує граф мовою асемблер для контролера MCS51, наведена нижче.

```

;*****
;Програма керування водовідливною установкою із заливальним насосом
;*****
datn    equ 81h ;бітова адреса датчика нижнього рівня
datw    equ 80h ; бітова адреса датчика верхнього рівня
no      equ 90h ; бітова адреса датчика основного насоса
nz      equ 91h ; бітова адреса датчика заливального насоса
zd1     equ 31h ; адреса формування затримки
state   equ 40h ; адреса стану автомата

```

```

prescal equ 30h ; адреса передділителя
        ljmp m0      ; перехід з обходом векторів переривання
        org 0bh      ; вектор переривання від таймера ТМ0
ljmp tim0

m0:      clr no ; початок програми
        clr      nz ; скидання виходів у вихідний стан
        mov      state,#0 ;установити стан 0
        mov      sp,#70h ; визначити адресу стека ( 70H)
        mov      tmod,#1h ;установка таймера 0 у режим 1
        mov      th0,#3ch ;період виклику таймера 50 мС
        mov      tl0,#0b0h
        setb tcon.4 ;дозвіл роботи таймера
        setb ie.7 ; загальний дозвіл переривання
        setb ie.1 ;дозвіл переривання від таймера
        mov prescal,#20 ; початкова установка передділителя
loop:    mov a,state ; основний цикл автомата
        cjne a,#0,jst1; визначення номера стану
        jnb datv,loop ;перевірка умови переходу в стан 0
        mov zd1,#1eh ;умова виконана (вмикання затримки zd1≠30 с)
        setb nz ; включення вихідних сигналів (вмикання заливального насоса)
        mov state,#1 ;установити стан 1
        ajmp loop ; перехід у початок циклу

jst1:    cjne a,#1,jst2; визначення номера стану
        mov a,zd1 ;перевірка умови переходу в стан 1
        jnz loop ;умова затримки стану 0 (перевірка завершення затримки zd1)
        clr nz ;видача вихідних сигналів (вимкнення заливального насоса)
        setb no ;вмикання основного насоса
        mov state,#2 ;установити стан 2
        ajmp loop

jst2:    jb datn,loop ;перевірка умови переходу в стан 2
        clr no ;видача вихідних сигналів (вимкнення основного насоса)
        mov state,#0 ; установити стан 0
        ajmp loop

tim0:    push acc ; оброблювач переривань від таймера 0
        mov th0,#3ch ; занесення в таймер значення числа, яке відповідає затримці 50 мс
        mov tl0,#0b0h
        djnz prescal,m2 ; декрементування передділителя
        mov prescal,#20 ; установка нового значення передділителя
        mov a,zd1 ; перевірка на 0 затримки стану
        jz m2
        dec zd1 ; якщо не 0, декрементуємо (перевірка завершення затримки 30 с)

m2:      pop acc
        reti ; повернення з переривання
        end

Реалізація графа переходів мовою Із для PIC контролерів має вигляд:
static void interrupt isr(void) //
{
    if(TMR1IF == 1)
    {
        TMR1ON = 0;
        TMR1IF = 0;
    }
}

```

```

TMR1H = 0x85;
TMR1L = 0xed;
TMR1ON = 1;
if(--preskal == 0)
{preskal = 4;
    if(zd1 != 0)    --zd1;
    if(zd2 != 0)    --zd2;
    if(zd3 != 0)    --zd3;
}
}
}
void main()                //основна частина програми
{ Init(); // Ініціалізація периферійних пристроїв
  for(;;)
  {Zadach1(); //завдання керування водовідливною установкою
  }
Void
Zadach1(void)
{    switch(state1)
    {case 0:
        {if(dv)// перевірка умови переходу в стані 0
        {
            Zno = 1;    //установка вихідних сигналів
            zd1 = 30;
            state1 = 1;  //перехід у стан 1
        }
        }
        break;
    case 1:
        {if(zd1 == 0)) // перевірка умови переходу в стан 1
        {Zno = 0;    //установка вихідних сигналів
        NO = 1;
        zd2=600;
        state1 = 2;    //перехід у стан 2
        }
        }
        break;
    case 2:
        {if(!dn) // перевірка умови переходу в стан 2
        {
            NO = 0;
            state1 = 0;
        }
        }
        break;
    }
}
}
переходів

```

Перевагою такого підходу є те, що процес створення програмного забезпечення практично повністю формалізований. Програми, написані за цією методикою, чітко структуровані й прозорі для розуміння.

Налагодження програмного забезпечення відбувається досить упевнено, особливо якщо як «помічник» використовувати цифровий індикатор, що відображає номер стану графа.

Програма обчислення керуючої функції – лінійна, тобто не має циклів очікування, а це значить, що завдання оформлені у вигляді підпрограм керування, легко виконувати в багатозадачному режимі, використовуючи тільки циклічний метод планування завдань. При керуванні сторожовим таймером спрощується перевірка функціонування окремих завдань, для цього досить перевірити відповідність вхідних сигналів стану завдань.

Розглянемо розробку програми керування водовідливною установкою при реалізації системи на програмувальних логічних контролерах (ПЛК).

Для ПЛК використовуються інтегровані середовища розробки, створювані фірмами-виготовлювачами контролерів. Ці середовища, як правило, підтримують кілька мов програмування. Історично склалося, що ПЛК створювалися не тільки для керування новим устаткуванням, але й для заміни застарілих схем керування, виконаних на релейно-контактній логіці або на інтегральних схемах малої інтеграції. Це багато в чому визначило підхід до створення мов програмування. Вважається, що для написання програм для ПЛК досить кваліфікації інженера-електрика зі знаннями основ проектування цифрових автоматів.

Прикладом такого середовища може бути Winplc7 виробництва компанії VIPA.

Winplc7 містить усі необхідні інструменти для створення проекту: конфігуратор використовуваної апаратури, символний редактор, конфігуратор мережі PROFIBUS, редактор програм, емулятор контролера. Winplc7 дозволяє імпортувати/експортувати проекти для контролерів фірми Siemens, зберігати резервні копії програми й даних на Mmc-Карті, а також здійснювати програмну симуляцію роботи контролера. Характеристики:

- програмування VIPA System 100V, 200V, 300V, 300S, 500S, а також контролерів Siemens S7-300;
- конфігурування й діагностика мережі Profibus-dp, з'єднань TCP/IP;
- стандартні мови програмування STL, FBD, LAD;
- вбудований програмний аналізатор;
- вбудований програмний імітатор – налагодження програми без реального PLC;
- автоматична вставка символів, параметрів і Db-Параметрів при програмуванні;
- вбудована бібліотека SFC і SFB від VIPA;
- імпорт і експорт програми c/в Step7;
- з'єднання із PC через Mpi-Адаптер, Green Cable, Ethernet, TCP/IP.

На рис. 1.18 показано вікно розробки проекту, що виконується з використанням мови релейно-контактної логіки LAD. У вікні зазначені меню або зони, які мають таке призначення:

- 1 – основне меню програми;
- 2 – зона панелі інструментів;
- 3 – інтерактивне меню швидкого доступу з контекстним меню;
- 4 – каталог доступних опцій;
- 5 – вікно симулятора ПЛК;
- 6 – робоче поле програми із фрагментом програми мовою LAD;
- 7 – рядок вибору мови програмування.

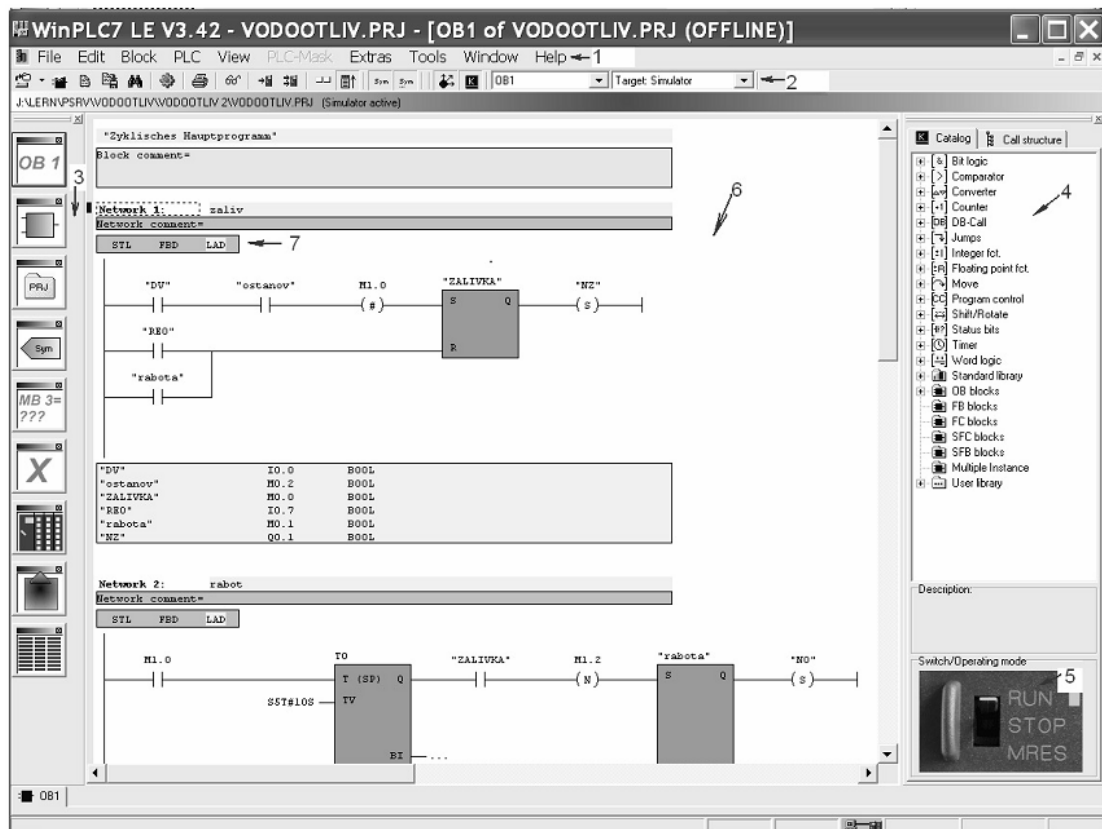


Рис. 1.18. Приклад створення системи керування на базі ПЛК VIPA

Реалізація програми керування шахтною водовідливною установкою мовою FBD фактично являє собою синтез керувального автомата. Запобігаючи додаткових помилок, стани автомата не кодуються, а кожний стан отримує свою бітову змінну. Умови переходів з одного стану в інший виконуються у вигляді комбінаційних схем.

Перехід автомата з одного стану в інший. Сигнал про поточний стан автомата (одиниця на виході бітової змінної) дозволяє перевірку всіх умов на вихідних із цього стану дугах графа. Якщо умова дійсна, комбінаційна схема формує сигнал перемикавання в одиницю відповідної змінної, формування вихідних сигналів на виході контролера, а при переході – і скидання в нуль змінної, відповідальної за попередній стан. Програма написана мовою FBD (рис. 1.19) і розміщується в п'яти вікнах з'єднань.

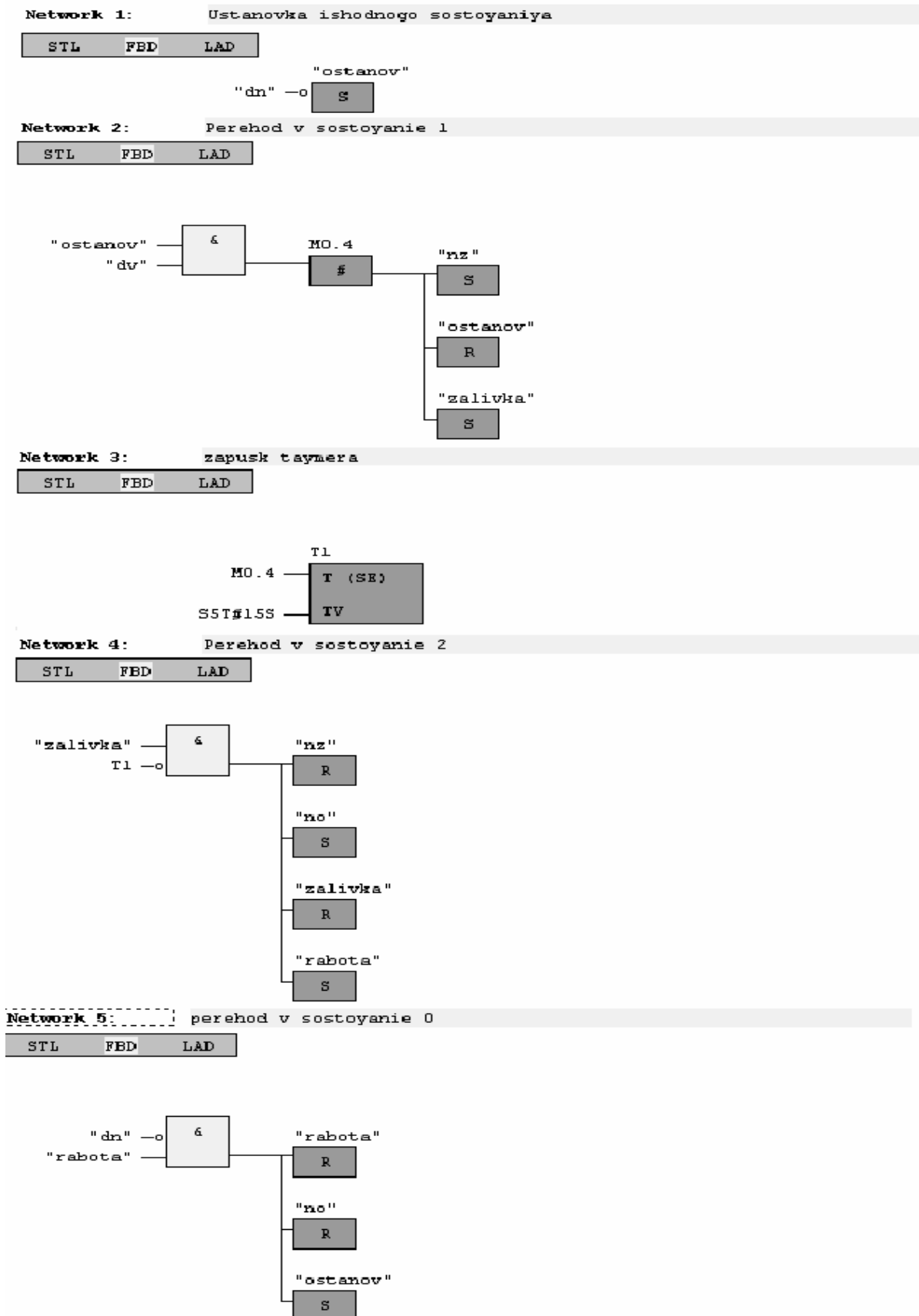


Рис. 1.19. Элементы программы керування водовідливом мовою FBD

Для зручного читання програми використовується символічне кодування змінних.



### **Контрольні питання**

1. Дайте характеристику автоматизованого й автоматичного керування.
2. У чому полягає мета автоматичного керування?
3. Що розуміють під об'єктом керування, керуючим пристроєм і автоматичною системою?
4. Як можна характеризувати алгоритм функціонування й алгоритм керування?
5. Назвіть відомі вам фундаментальні принципи керування й дайте їх характеристику.
6. Як впливає коефіцієнт підсилення автоматичної системи на точність керування?
7. У чому полягає принцип інваріантності?
8. Дайте визначення основних видів автоматичного керування.
9. Які режими роботи автоматичних систем вам відомі? У чому полягає їх сутність?
10. Дайте характеристику засобів реалізації автоматичних систем.
11. Як розподіляються технічні засоби реалізації автоматичних систем?
12. Що означають поняття «автоматичні регулятори», «аналого-цифрові» і «цифроаналогові перетворювачі»?

## **2. АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ВИДОБУТКУ ВУГІЛЛЯ В ЗАБОЇ**

### **2.1. Технологія очисних гірничих робіт із застосуванням механізованих комплексів**

Створення ефективних систем автоматичного керування гірничими машинами неможливе без докладного розгляду технології процесів видобутку вугілля. Технологія очисного виймання є одним з головних чинників, що визначають вимоги до систем автоматичного керування машинами очисного комплексу та технічних засобів автоматизації. Саме сукупність операцій, що виконуються машинами очисного комплексу в деякій послідовності в просторі й часі, визначає режими роботи устаткування в забої та лежить в основі алгоритмів автоматичного та автоматизованого керування видобувним комбайном, конвеєром та механізованим кріпленням.

Операції, що виконуються машинами очисного механізованого комплексу в забої під час видобутку вугілля, залежать від обраних систем розробки пласта. Системи розробки пласта бувають суцільними, стовповими, камерними і комбінованими та вибираються відповідно до гірничо-геологічних умов залягання вугільного пласта. Вони визначають порядок проведення очисних і підготовчих виробок у виїмковому полі в часі й просторі. Організація робіт в очисному забої також залежить від обраної схеми підготовки і відпрацьовування виїмкових полів (прямий хід із висхідним провітрюванням, зворотний хід з низхідним провітрюванням і погашенням штреків та ін.), схеми розміщення підготовчого забою відносно лави (підготовчий забій випереджає лаву на значну або незначну відстань, підготовчий забій відстає від лави та ін.) тощо.

На тонких пластах (до 1,5 м) однією з розповсюджених систем розробки пласта є суцільна система (рис. 2.1), при якій очисні роботи в межах виїмкового поля проводяться одночасно з прохідницькою виробкою, що незначно випереджає у просторі очисні забої.

Протягом підготовчого періоду технології видобування вугілля на виїмковій ділянці здійснюється підготовка поверху до очисного виймання. Вона починається з проведення капітального (панельного) бремсберга 5 (рис. 2.1), людського 6 та допоміжного 7 хідників. Далі від капітального бремсберга 5 в обидва крила поверху проводяться транспортний 1 (відкатний) і вентиляційний 2 штреки та споруджуються приймальні майданчики. На відстані 40–50 м від крайніх похилих виробок на всю висоту поверху формується розрізна піч 8 шириною 4–4,5 м, у якій монтується забійне устаткування для очисного виймання. Таким чином, утворюється охоронний цілик 3, функцією якого є запобігання деформації гірничих виробок.

Після закінчення монтажу забійного устаткування починається етап очисного виймання вугілля, у результаті чого забій лави посувається за простяганням пласта до границі шахтного поля при поверховій підготовці або до границі панелі при панельній. На рис. 2.1 показане проміжне положення очисного забою, коли у ході очисних робіт він поступово перемістився з позиції 8 у позицію 4. Оскільки вслід за посуванням очисного забою згідно з процесом керування покрівлею пласта відбувається повне обвалення безпосередньої

покрівлі, то вироблений простір між охоронним ціликом 3 та очисним забоем 4 заповнюється обваленою породою. В забоях з механізованими кріпленнями застосовується, як правило, саме цей спосіб керування покрівлею.

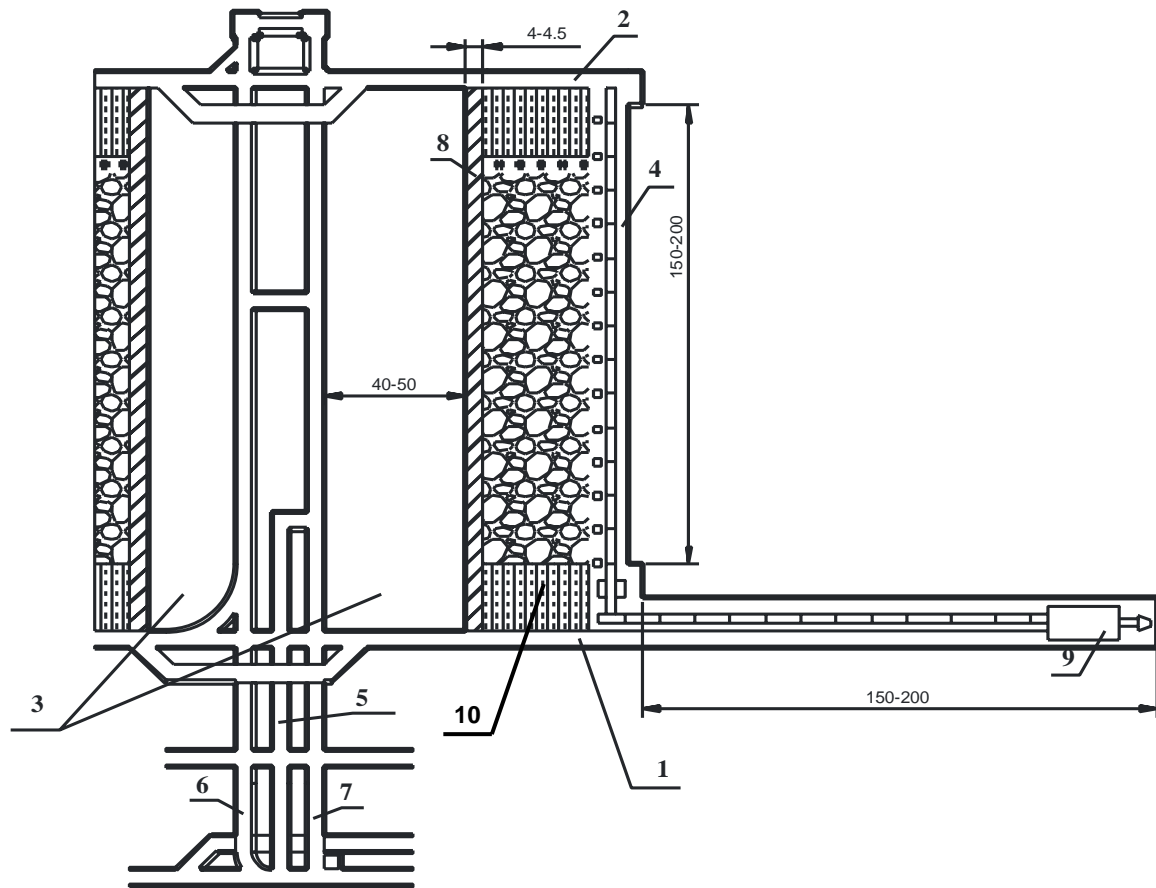


Рис. 2.1. Суцільна система розробки “поверх – лава – поверх”: 1, 2 – відповідно відкатний і вентиляційний штреки; 3 – охоронний цілик; 4 – очисний забій; 5 – бремсберг; 6, 7 – відповідно людський та допоміжний хідники; 8 – розрізна піч; 9 – місце розташування прохідницького устаткування; 10 – бутова смуга

Транспортування вугілля з лави 4 здійснюється за допомогою забійного скребкового конвеєра до поверхового транспортного штреку 1, де воно перевантажується на дільничний стрічковий конвеєр або у вагонетки. По штреку 1 вугілля доставляється до бремсберга 5, де перевантажується на магістральний стрічковий конвеєр або транспортується до головного ствола у вагонетках.

Для того, щоб систематизувати та диференційовано подати розподіл машин очисного комплексу за виконувальними функціями із зазначенням задіяного в кожній з них виду устаткування, відобразимо функціонально-структурну схему комплексу (рис. 2.2).

Відзначимо високий рівень активної інтегрованості гірничих машин, що працюють у забої, у виконанні різних функцій очисного комплексу (рис. 2.2). Наприклад, механізоване кріплення є керуючою базою, структурою системи агрегування, яка забезпечує орієнтацію, переміщення й корекцію положення комплексу в цілому і його окремих компонентів у просторі лави. Крім того,

механізоване кріплення бере участь у процесі керування станом покрівлі та захищає робочий простір. Високий рівень функціональної інтегрованості гірничих машин є характерною особливістю роботи очисного механізованого комплексу.



Рис. 2.2. Функціонально-структурна схема очисного механізованого комплексу

Обмежений простір забою та постійна зміна положення лави у просторі зумовили тісний взаємний зв'язок між гірничими машинами, що працюють у забої, як на функціональному та конструктивному рівнях, так і на технологічному.

Можна виділити основні процеси в лаві, які безпосередньо зв'язані з видобутком вугілля в забої, а також підготовчі процеси, що забезпечують виконання основних. Основні процеси в лаві мають місце в лінійній (центральної) частині забою (починається після відступу від штреків на 20 – 25 м) та направлені на виїмку пачки вугілля шириною 0,63 – 0,8 (вузькозахватна комбайнова виїмка) або 0,25 – 0,3 м (стругова виїмка). Підготовчі процеси включають в себе заходи, направлені на підсилення кріплення виробки перед лавою та за нею, захист виробки та підготовку комбайна до виїмки наступної смуги вугілля.

Розглянемо основні процеси в лаві, які відбуваються при видобутку вугілля за допомогою очисного механізованого комплексу. На шахтах, де більшість безпосередніх покрівель належать категорії легко- та середньообрушуваних, широке застосування здобули заряджена схема роботи механізованого кріплення з послідовним посекційним переміщенням секцій та човникова схема роботи комбайна. Згідно з цими схемами у вихідному положенні забійний конвеєр 2 розміщений близько до забою (рис. 2.3), очисний комбайн 1 розташований на одному з кінців лави та підготовлений до зняття смуги вугілля, секції кріплення 3 розперті й віддалені від конвеєра 2 на крок пересування, кріплення сполучення розперті.

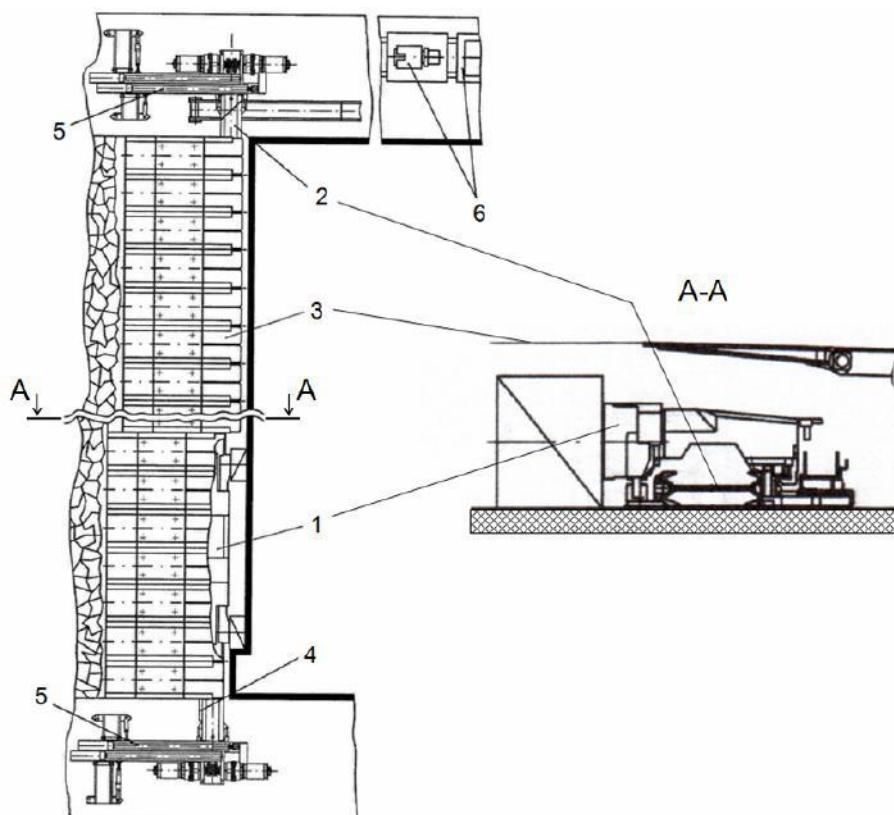


Рис. 2.3. Технологічна схема виймання вугілля очисним механізованим комплексом: 1 – комбайн; 2 – забійний конвеєр; 3 – механізоване кріплення; 4 – кабелеукладач; 5 – кріплення сполучення; 6 – станція керування, насосні станції та насосна установка

Потім комбайн 1 починає переміщатися вздовж лави та проводити виймання вугілля. При цьому вслід за комбайном 1 відбувається зняття розпору, послідовне переміщення секцій механізованого кріплення 3 та їх розмір. Якщо комбайн 1 пройшов відмітку 3 – 7 м від секції, а процес переміщення секції та розпору стояків не встиг завершитися, то відбувається зупинка комбайна 1, оскільки кріплення не встигає перекривати оголений за ним простір. На відстані 13 – 14 м від комбайна 1 починається переміщення в сторону оголеного простору відповідної частини забійного конвеєра 2, тобто реалізується хвилеподібна схема переміщення забійного конвеєра 2. Рекомендоване значення довжини виробленого простору за комбайном, що не закріплюється, визначається за станом порід покрівлі. З позиції ефективного керування станом порід, що вміщують вугільний пласт, об'єм оголеного простору за комбайном повинен бути якомога менше. З іншої сторони, згідно із стандартами необхідно зберігати безпечну відстань між секцією кріплення, що переміщується, та працюючим виконавчим органом комбайна. Для очисного комбайна вона дорівнює 2 – 3 м.

Наведена схема переміщення секцій забійного кріплення та конвеєра має перевагу, тому що вона дозволяє проводити кріплення забійної смуги після виймання вугілля з мінімальною тривалістю і за рахунок цього більш ефективно керувати станом покрівлі та бічних порід. Існують також способи послідовного переміщення секцій забійного механізованого кріплення за незарядженою схемою і з шаховим пересуванням. Згідно з першою схемою у початковому стані секції забійного кріплення знаходяться біля поверхні забою із притисненим конвеєром. Тому переміщення секцій кріплення можливе тільки після пересування рихтачного поставу конвеєра. Кріплення забійної смуги вслід за комбайном при цьому тимчасово здійснюється висувними консолями перекриття.

Шаховий порядок пересування секцій кріплення розглянемо на прикладі двосистемного кріплення з двома конструктивно різними типами секцій (секції першого типу мають подовжені консолі). У початковому положенні гідродократи секцій першого типу готові до переміщення секції, а другого типу із короткими консолями – рихтачного поставу конвеєра. Після проходу видобувного комбайна вслід за ним послідовно переміщуються до поверхні забою секції першого типу, потім здійснюється пересування на новий шлях забійного конвеєра і тільки після цього підтягуються секції другого типу. При відповідних покрівлях шаховий порядок переміщення секцій кріплення може сполучатися з послідовним пересуванням секцій відповідно до зарядженої схеми, коли спочатку до поверхні забою переміщуються тільки парні (непарні) секції, а потім з деяким відставанням – і непарні (парні).

Якщо комбайн працює за човниковою схемою, він заїжджає на новий шлях на кожному кінці лави та щоразу при переміщенні вздовж лави знімає нову пачку вугілля. Іноді застосовується одностороння схема роботи комбайна. У цьому випадку виконавчі органи комбайна при його переміщенні вздовж лави знаходяться у верхньому положенні, тоді знімається тільки верхня пачка вугілля (ця схема може бути реалізована, якщо не треба спочатку руйнувати нижню пачку вугілля для проходу основних корпусних вузлів видобувного комбайну). Після переміщення комбайна у верхню нішу відбувається його

реверсування, а також опускання та зарубка виконавчих органів у нижню пачку вугілля. Потім здійснюється перегін очисного комбайна до протилежного кінця лави по старому шляху з руйнуванням (та навантаженням) вугілля переднім виконавчим органом та механічним зачищенням ґрунту заднім виконавчим органом. Після цього відбувається заїзд очисного комбайна на новий шлях. Далі здійснюється фронтальне переміщення забійного конвеєра до поверхні забою по всій довжині лави.

Одностороння схема роботи очисного комбайна застосовується в очисних забоях, де виділяється велика кількість метану, в забоях із значним віджимом вугілля при міцності пласта більш ніж 1,5 м, а також коли між пластом вугілля та ґрунтом має місце міцна спайність.

Незалежно від схеми роботи комбайна в процесі його переміщення вздовж лави машиніст керує виконавчим органом, що знаходиться зверху, за гіпсометрією пласта. Він піднімає виконавчий орган до того моменту, коли той починає присікати породу безпосередньої покрівлі, а потім опускає його, доки зубки виконавчого органу у верхній його частині не починають руйнувати вугілля. Таким чином, машиніст задає траєкторію переміщення виконавчого органу біля покрівлі вздовж лави згідно з границею порода – вугілля.

Паралельно з основними процесами в лаві проводяться деякі підготовчі процеси, а також допоміжні роботи (підсилення кріплення виробки перед лавою та за нею, підготовка та кріплення ніш). Гірники паралельно з вийманням вугілля комбайном виконують оформлення очисного забою: вручну відбивають верхню пачку, обирають навислі шматки вугілля та породи, навантажують на конвеєр вугілля, що залишилося на ґрунті після проїзду комбайна, і т. д.

У місці сполучення забою із штреками технологія виймання вугілля має помітні особливості – вводяться додаткові операції, що забезпечують маневр засобів механізації для виймання нової смуги вугілля і керування станом масиву гірських порід. Ці операції досить складні та трудомісткі із значною часткою ручної праці (15 – 30 % і більше від загальної трудомісткості очисних робіт). Умови роботи засобів механізації в цій зоні настільки складні, що керування ними відбувається, як правило, в ручному режимі. Розглянемо підготовчі процеси в технологічній зоні сполучення забою із штреком.

Існують декілька способів переміщення очисного комбайна на новий шлях: косий заїзд, фронтальний з використанням або без використання елементів косого заїзду та з ніші. Прийнятний спосіб самозарубки вибирається виходячи із сукупності гірничо-геологічних та гірничотехнічних умов очисної ділянки. Найбільш розповсюдженим вважається спосіб косого заїзду очисного комбайна на новий шлях (рис. 2.4). Він виключає попередню підготовку ніш, що є трудомістким і довготривалим процесом.

При підході очисного комбайна до кінця лави перемикач швидкості подачі встановлюється в нульове положення і змінюються положення переднього (той, що ближче до штреку) та заднього виконавчих органів. Далі в лаві виконується засування лінійних риштаків забійного конвеєра (рис. 2.4, І). Після цього подача комбайна вмикається у зворотному напрямку, тобто від

штреку, та здійснюється виймання міжшнекового цілика (рис. 2.4, II). Потім відбувається пересування привідної головки конвеєра (рис. 2.4, III). Якщо кріплення сполучення відсутнє, привідна головка переміщується гірниками у заздалегідь підготовлену нішу за допомогою стаціонарних або переносних гідродомкратів. У процесі пересування робітники зачищають ґрунт, вибивають стояки, що заважають переміщенню та встановлюють нові, розкріплюють головки та закріплюють їх на новому місці. Гірники також виконують роботи відносно кріплення зони сполучення забою із штреком.

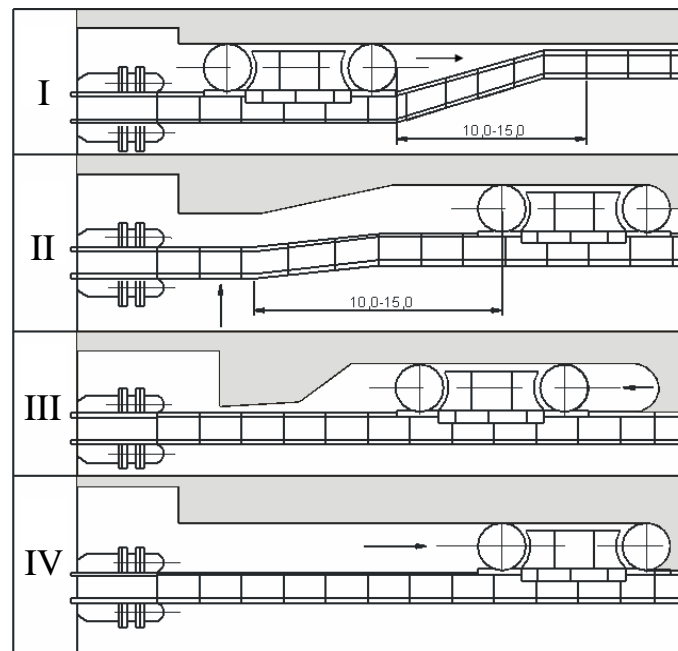


Рис. 2.4. Схема зарубки комбайна у вугільний пласт косими заїздами

Якщо застосовується кріплення сполучення, то процес переміщення привідної головки забійного конвеєра зводиться до керування переміщенням секцій кріплення сполучення на крок пересування. Але перед цим необхідно підсилити елементи кріплення штреку. Перед пересуванням секцій кріплення сполучення очисний комбайн та забійний конвеєр необхідно зупинити. Кріплення сполучення також виконує функції кріплення покрівлі у штреку попереду та позаду лінії очисного забою на відстані не менше ніж 2 м та перевантаження вугілля на штрековий конвеєр.

На наступному етапі змінюється напрямок подачі комбайна. Він повторно переміщується до кінця лави, рухаючись по новому шляху, і виймає міжшнековий цілик. В кінці лави комбайн зупиняється, після чого знову змінюються положення виконавчих органів для виймання інших пачок міжшнекового цілика. Далі напрямок подачі комбайна встановлюється від штреку. Він пересувається на відстань 10 – 15 м і зупиняється (рис. 2.4, IV). Задній виконавчий орган комбайна піднімається, а передній – опускається, після чого процес заїзду на новий шлях завершується і комбайн готовий для виймання вугілля в лінійній частині забою.

Розглянемо технологію очисних гірничих робіт на пологих пластах за допомогою стругового комплексу (рис. 2.5). В технології виймання вугілля струговими установками, як і при комбайновому вийманні, також можна



виділити основні процеси, які направлені на видобуток вугілля в забої, та підготовчі, що забезпечують виконання основних процесів. До основних процесів відносять переміщення стругової установки 1 вздовж забою, переміщення стругової установки 1, забійного конвеєра 2 та секцій лавного кріплення 3 в напрямку посування забою.

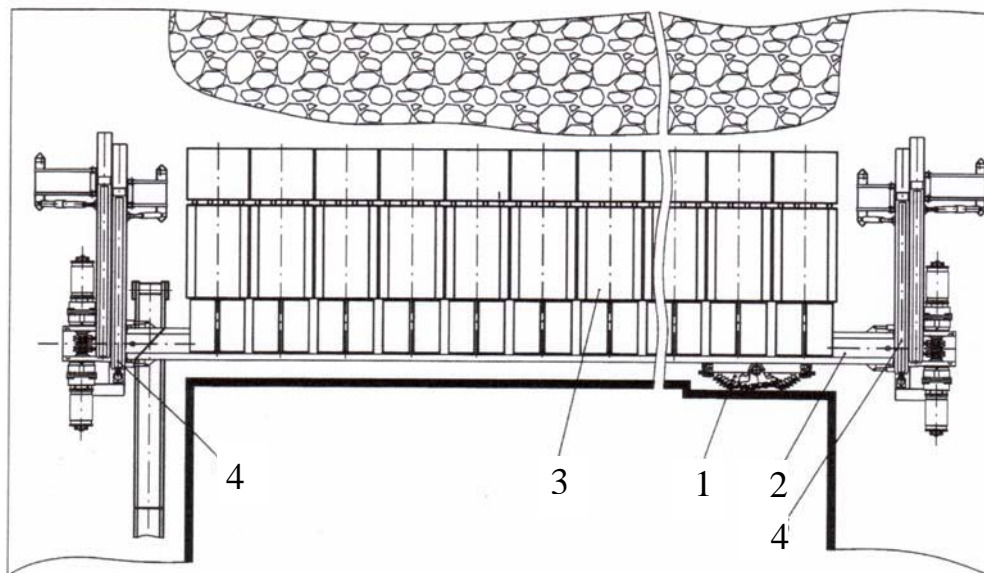


Рис. 2.5. Струговий очисний механізований комплекс

Відмітною рисою технологічної схеми роботи стругового комплексу є те, що струг працює тільки за човниковою схемою, а механізоване (або індивідуальне) кріплення пересувається до забою тільки після зняття декількох стружок вугілля. На початку технологічного циклу струг 1 знаходиться в ніші, а конвеєрний постав – на новому машинному шляху. Далі струг 1 починає рухатися між вугільним масивом та поставом забійного конвеєра, відколюючи вугілля від масиву і завантажуючи його на конвеєр 2. Він доходить до ніші на протилежному кінці лави і зупиняється. Потім відбувається його реверс і він починає рухатись у протилежну сторону. Якщо необхідне переміщення секцій забійного кріплення 3 (послідовна посекційна схема або фронтально-груповою), то струг залишається в ніші в нерухомому стані до моменту закінчення переміщення секцій.

Переміщення стругової установки 1, забійного конвеєра 2 та секцій лавного кріплення 3 в напрямку посування забою можливе за двома технологічними схемами. Перша – використовується для стругових установок, що працюють з індивідуальним кріпленням та у складі очисних комплексів старого покоління. Згідно з нею рихтачний постав забійного конвеєра протягом переміщення стругу 1 вздовж забою постійно притиснутий до забою гідродомкратами пересування стругової установки. Таким чином, він пересувається на новий машинний шлях вслід за проходом струга. Для забезпечення кращого контакту струга із забоем привідні головки конвеєра випереджають лінію забою на 0,2 – 0,5 м. Механізоване кріплення 3 переміщується, коли стругова установка не працює, за послідовною посекційною схемою або за фронтально-груповою. В обох варіантах на початку

технологічного циклу всі секції розміщуються на однаковій відстані від поверхні забою. З позиції підвищення швидкості кріплення оголеного простору забою більш доцільно використовувати фронтально-групову схему переміщення секцій. Її реалізація потребує спеціального виконання кріплення, яке передбачає переміщення окремих груп секцій у певній послідовності: спочатку одночасно по всій довжині очисного забою переміщується перша група секцій, потім друга і т. д. В кожен із зазначених груп відповідно будуть входити секції з номерами  $1+nj$ ,  $2+nj$ ,  $3+nj$  і т.д. Тут  $n$  – кількість груп секцій,  $j=0,1,2,\dots$ . Але треба відмітити, що послідовна посеційна схема переміщення секцій забійного кріплення 3 більш адаптована до способу переміщення поставу конвеєра шляхом постійного притиснення до забою гідродомкратами пересування секцій. Тому ця схема знайшла відображення у ряді серійних очисних механізованих комплексів попереднього покоління.

Друга технологічна схема переміщення стругової установки 1, забійного конвеєра 2 та секцій лавного кріплення 3 в напрямку посування забою характерна для очисних механізованих комплексів нового покоління. За цією схемою відбувається дозоване виймання вугілля струговою установкою. Для її забезпечення гідродомкрати пересування секцій утримують конвеєр 2 в необхідному фіксованому положенні, а після проходу струга 1 відповідно до заданого алгоритму керування здійснюють хвилеподібне пересування риштачного поставу на заданий крок дозування, який визначає товщину стружки вугілля. Дозоване виймання може бути реалізоване з різними схемами переміщення секцій забійного кріплення 3, але в найбільшій мірі її переваги проявляються при застосуванні послідовної пилоподібної схеми. Згідно з нею всі секції забійного кріплення 3 розбиваються на окремі групи (по 3 – 4 секції в групі). В початковому положенні секції в кожній групі розташовуються на різній відстані від забою, утворюючи уступи пилоподібної форми. У міру того як струговий виконавчий орган буде знімати стружку, а риштачний постав конвеєра переміщуватися на новий машинний шлях, відстань від передньої кромки перекриття кожної секції до поверхні забою буде зростати. Далі за умовою досягнення зазначеної відстані на одній із секцій кожної групи заданої граничної величини ці секції переміщуються до забою на крок посування вслід за стругом. Через деякий час аналогічно переміщується до забою наступна секція із кожної групи і т.д. При цьому струг не припиняє виймання вугілля. Реалізація дозованого виймання вугілля струговою установкою неможлива без застосування очисного механізованого комплексу з високим рівнем інтелектуалізації процесу керування зазначеними технологічними операціями на основі мікроелектронних та комп'ютерних компонентів.

Якщо до складу очисного механізованого комплексу входить кріплення сполучення (позиція 4 на рис. 2.5), то привідні головки стругової установки виносяться на штрек. Кріплення сполучення здатні до самопересування та переміщуються після кожного проходу струга на крок пересування поставу забійного конвеєра.

## **2.2. Аналіз очисного механізованого комплексу як об'єкта автоматизації**

Вимоги до підвищення функціонально-параметричних характеристик гірничих машин призвели до ускладнень їх конструктивних вузлів із функціонально-структурною та структурно-конструктивною інтеграцією компонентів, оскільки подальше поліпшення функціонування стало неприйнятним без зміни технічної системи в цілому. Таким чином, створення гірничих машин нового покоління із забезпеченням функціонально-параметричних характеристик високого рівня передбачає об'єднання в одне ціле систем різної фізичної природи. Ці системи ґрунтуються на відмінних принципах функціонування, часто конфліктують між собою, але в той же час вони мають бути об'єднані для досягнення єдиної мети. Питаннями об'єднання систем різної фізичної природи в одне ціле займається мехатроніка.

Мехатроніка – область науки і техніки, яка ґрунтується на синергетичному об'єднанні вузлів точної механіки, гідравліки та електротехніки з електронними та комп'ютерними компонентами для створення якісно нових машин із інтелектуальним комп'ютерним керуванням їх функціональними операціями.

Під синергетичною інтеграцією мається на увазі надання об'єкту якісно нових техніко-економічних властивостей на основі настільки глибокого об'єднання в одному агрегаті нерозривно зв'язаних компонентів різної технічної природи, що вони діють як єдиний функціональний і конструктивний механізм.

Синергетика – наука, в якій досліджується спільна дія різних компонентів об'єктів. Синергетика – це сучасна теорія самоорганізації систем за допомогою зміни характеристик їх функціонування на основі самопристосування (адаптивності) до зміни зовнішніх факторів, параметрів зовнішнього середовища.

В першу чергу принципи мехатроніки почали впроваджуватися в робототехніці та верстатобудуванні внаслідок складних алгоритмів керування, великої конструктивної та інтелектуальної щільності агрегатів, електронних та інформаційних компонентів, що широко застосовувались. У вугільній промисловості мехатронний підхід при проектуванні та створенні гірничих машин почав використовуватися порівняно недавно.

Наслідком синергетичної інтеграції компонентів гірничих машин стало ускладнення та збільшення кількості функцій для забезпечення ефективного функціонування конструктивних вузлів машин у нормальному режимі. На якомусь етапі оператор не зміг виконувати ці функції в реальному часі, тому вони були передані автоматичним системам, які стали складовою частиною гірничих машин, оскільки без них машина є взагалі непрацездатною. Таким чином, мехатронність припускає використання автоматичних систем для забезпечення працездатності машин, їхнього руху, в той час як автоматизація передбачає поліпшення умов праці оператора, скорочення кількості функцій керування та контролю, які він виконує. В мехатронних машинах кількість функцій керування та контролю, що виконує оператор, не просто скорочується, а мінімізується. Функції оператора намагаються звести до вмикання гірничої машини та відстеження її роботи на моніторах пультів керування.

Розглянемо відмітність мехатронної гірничої машини від немехатронної на прикладі порівняння видобувних комбайнів попереднього та нового покоління. Видобувні комбайни попереднього покоління включають тісно взаємозв'язані механічні (корпус, редуктори, виконавчі органи) та силові (електропривід або гідропривід) компоненти. Частка силових компонент становить 44,5 %, частка механічних – 44,5. Електронні та інформаційні компоненти також присутні (на комбайнах встановлені електричні або гідравлічні регулятори швидкості та навантаження, схеми захисного вимкнення тощо), але вони вирішують лише завдання автоматизації окремих операцій (частка цих компонентів дорівнює 11 %). Оператор має можливість керувати комбайном і без них. Так, за наявності мікропроцесорної системи керування на комбайні РКУ в гідравлічній схемі підсистеми подачі є гідророзподільник для ручного керування гідроциліндром, що змінює ексцентриситет насоса та відповідно швидкість подачі. Нескладно також установити в колі живлення обмотки збудження електромагнітної муфти реостат, який регулюється вручну, якщо комбайн оснащений електроприводом подачі. Таким чином, незначна складність технічної реалізації керуючого сигналу на виконавчі елементи приводів подачі комбайнів попереднього покоління дозволяє оператору змінювати стан та режими роботи елементів приводу подачі комбайна в ручному режимі за умови вимкненої автоматичної системи керування.

У видобувних комбайнах нового покоління використовується частотно-регульований електропривід на базі асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором у комплекті з перетворювачем частоти. Зміна швидкості подачі таких комбайнів можлива тільки за умови взаємодії оператора з керуючим модулем (автоматичною системою керування), який при отриманні команд від оператора перетворює їх в керуючий код, що видається на спільну шину передачі даних. Необхідність у цьому визначається в першу чергу особливостями роботи перетворювача частоти з автономним інвертором, який для керування швидкості обертання валу привідного двигуна за допомогою широтно-імпульсної модуляції здійснює перемикання з певними часовими інтервалами силових ключів з частотою 2500 Гц, контролюючи при цьому близько 30 внутрішніх фізичних величин. Саме тому оператор не має змоги забезпечити рух комбайна без інформаційних та електронних компонент, що і робить такий комбайн мехатронним. Доля електронної компоненти в комбайнах нового покоління становить 35 %, інформаційної компоненти – 6, силової та механічної – по 29,5.

Іншим прикладом мехатронної гірничої машини в забої є механізоване забійне кріплення у складі стругового очисного комплексу, що забезпечує дозоване виймання вугілля.

Розглянемо умови мехатронності, принципи формалізації та класифікації мехатронних об'єктів. Оскільки стандартної термінології мехатроніки не існує, то для подальшого викладання матеріалу необхідно визначити ряд термінів стосовно ієрархії мехатронних об'єктів, які запропоновані для очисного комплексу як мехатронної системи.

Комунікаційний модуль призначений для інформаційної взаємодії різних об'єктів і перетворення інтерфейсів. Він може бути реалізований програмно (як частина програмного забезпечення, що відповідає за обмін даними), програмно-апаратно (у вигляді пристрою перетворення інтерфейсів на базі контролера і т.д.) або апаратно (як пристрій, що кодує дані на базі аналогової техніки, тощо).

Керуючий модуль формує, перетворює та передає інформаційні сигнали, що необхідні для повного або часткового функціонування мехатронного об'єкта.

Ні комунікаційний модуль, ні керуючий, як правило, не є мехатронними об'єктами та часто не мають ні структурної, ні функціональної, ні конструктивної локалізації. Дані терміни вводяться для спрощення побудови структурних схем мехатронних об'єктів.

Мехатронний модуль (ММ) – уніфікований мехатронний об'єкт першого рівня інтеграції, що призначений, як правило, для виконання однієї функції, реалізації руху по одній ординаті.

Мехатронний вузол (МВ) – неуніфікований мехатронний модуль. Прикладом ММ може бути привід скребкового конвеєра, який складається з електродвигуна, трансмісії, датчиків температури та частоти обертання, одного або декількох керуючих (комунікаційних) модулів тощо. Привід подачі очисного комбайна, який складається з електродвигуна, трансмісії, датчиків швидкості та напрямку руху, датчиків температури та тиску, гальмівного пристрою, одного або декількох керуючих (комунікаційних) модулів тощо – приклад мехатронного вузла. Відмінність ММ від МВ у даному випадку визначається тим, що привід скребкового конвеєра може бути застосований незалежно від інших об'єктів очисного комплексу. Привід подачі очисного комбайна конструктивно, структурно та функціонально зв'язаний з іншими об'єктами, тобто для різних очисних комплексів цей МВ буде різним (є неуніфікованим).

Мехатронний агрегат (МА) – мехатронний об'єкт другого рівня інтеграції, що складається з декількох ММ і МВ, власних комунікаційних і керуючих модулів, а також немехатронних об'єктів (наприклад, власних датчиків), призначений для виконання різних функцій при взаємодії із зовнішнім середовищем, реалізації заданих законів руху тощо.

Мехатронна система (МС) – мехатронний об'єкт третього рівня інтеграції, що складається з окремих ММ, МВ, МА, немехатронних об'єктів, власних комунікаційних і керуючих модулів. Усі складові МС мають впорядковані зв'язки та динамічно функціонують у часі та просторі у взаємодії із зовнішнім середовищем як єдине ціле.

Опишемо компоненти, з яких складається мехатронний об'єкт, та визначимо можливі види зв'язків між ними, це дозволить формалізувати мехатронний об'єкт у вигляді структурних формул.

Механічна компонента (М) забезпечує різні види руху об'єкта в цілому та (або) його складові частини. До М-компонент відносять редуктори, перетворювачі руху (зубчасто-рейковий механізм, кривошипно-шатунний механізм тощо) і передавальні ланки (муфти тощо).

Основні особливості М-компонент гірничих машин як мехатронних об'єктів:

- стохастичний характер навантажень при високих рівнях коефіцієнта варіації у сталих режимах роботи;
- високі екстремні навантаження в перехідних режимах;
- жорсткі обмеження габаритних розмірів обладнання.

Електротехнічна компонента ( $C_E$ ) забезпечує перетворення електричної енергії у механічну. До  $C_E$ -компонент відносять електродвигуни, електромагнітні муфти та гальма, електромагніти тощо.

Основні особливості  $C_E$ -компонент гірничих машин як мехатронних об'єктів:

- вибухозахищене виконання при жорстких обмеженнях габаритів;
- широке (для забійних машин практично виключне) використання асинхронних короткозамкнених електродвигунів з водяним охолодженням;
- важкий режим роботи, який характеризується значною тривалістю ввімкнення двигуна та великою кількістю пусків та реверсів із стохастичним характером навантаження;
- низька відносна потужність шахтних мереж та віддаленість струмоприймачів від джерела, що призводить до істотних втрат напруги.

Гідравлічна компонента ( $C_H$ ) забезпечує різні види перетворень гідроенергії в механічну енергію. До  $C_H$ -компонент відносять гідророзподільники, гідроциліндри, гідростояки, гідромотори, гідронасоси тощо.

Як видно,  $C_E$ -компонента та  $C_H$ -компонента мають однакову енергетичну природу, відрізняються тільки середовищем, що передає енергію. Тому ці компоненти можуть узагальнено називатися силовою компонентою ( $C$ ) гірничої машини.

Електронна компонента ( $E$ ) забезпечує формування, передачу та обробку електричних сигналів. До  $E$ -компонент належать електронні пристрої, такі як мікропроцесори, перетворювачі частоти тощо.

Основні особливості  $E$ -компонент гірничих машин як мехатронних об'єктів:

- вибухозахищене виконання;
- вимоги іскробезпеки вихідних кіл, що обмежує споживану потужність;
- низька якість та значна довжина ліній зв'язку.

Інформаційна компонента ( $I$ ) забезпечує формування, зберігання, передачу та обробку інформаційних сигналів. До  $I$ -компоненти відносять датчики, програмне забезпечення тощо.

Умови роботи всіх компонент гірничих машин характеризуються підвищеною температурою, хімічною агресивністю зовнішнього середовища, складністю проведення профілактичних та ремонтних робіт.

Розглянемо можливі види зв'язків між компонентами.

*Узгодження* («—») – зв'язок, при якому кожна з компонент має власні параметри, обмеження та конструктивне виконання. Параметри компонент при цьому узгоджені для досягнення загальної мети. Такий вид зв'язку

спостерігається, наприклад, у звичайному типі привода, який має стандартний двигун та редуктор. Конструкції двигуна та редуктора ніяк не залежать одна від одної, компоненти можуть бути використані окремо, але для сумісної роботи мають бути узгоджені. Узгодження досягається підбором певних параметрів, введенням узгоджувальних пристроїв (муфти, різні захисти та ін.). Структурна формула такого приводу  $M-C_E$ .

*З'єднання* («+») – зв'язок, що накладає загальні обмеження на компоненти та їх параметри. Кожна компонента має власне конструктивне виконання, але при з'єднанні для досягнення поставленої мети утворюється нова структурна одиниця з власними функціями та обмеженнями. Прикладом такого зв'язку можуть служити практично всі типи приводів очисних комбайнів, оскільки конструкція та параметри двигунів і редукторів жорстко взаємопов'язані. З'єднані між собою двигун і редуктор утворюють підсистему приводу виконавчого органу або підсистему переміщення комбайна. Структурна формула такого приводу  $M+C_E$ .

*Поєднання* («·») – зв'язок, при якому обмеження, параметри та конструктивне виконання для компонент є загальними. Сукупність компонент являє собою один пристрій, в якому вони нерозривно зв'язані для досягнення поставленої мети. Прикладом такого зв'язку в техніці є мотор-редуктори. Структурна формула такого пристрою  $M \cdot C_E$ .

Виходячи із загального визначення синергетики та з урахуванням вищенаведених визначень, можна сформулювати умови мехатронності.

Необхідна умова мехатронності (але не достатня) – об'єднання  $M$ ,  $C$ ,  $E$  та  $I$ -компонент у систему, що однозначно взаємодіє із зовнішнім середовищем (мехатронізовані об'єкти).

Достатня умова мехатронності – інтеграція  $M$ ,  $C$ ,  $E$  та  $I$ -компонент у систему, що адаптивно взаємодіє із зовнішнім середовищем, тобто синергетична інтеграція.

Таким чином, якщо в структурному рівнянні об'єкта відсутня будь-яка з компонент, то об'єкт не мехатронний та не мехатронізований. Якщо в структурному рівнянні об'єкта є всі компоненти, але хоча б одна з них має зв'язок «–», то даний об'єкт мехатронізований. Якщо всі зв'язки в структурному рівнянні об'єкта інтегруючі («+» або «·»), то об'єкт мехатронний.

Кожна з машин сучасного очисного механізованого комплексу має всі перелічені компоненти, які, як правило, з'єднуються «+» або поєднуються «·» між собою для сумісної роботи з накладенням тісних технологічних, кінематичних та конструктивних зв'язків. Ні одна з машин комплексу самостійно не забезпечує кінцевої мети – видобутку вугілля із заданою продуктивністю в певних гірничо-геологічних умовах. Для цього машини повинні бути об'єднані в очисний механізований комплекс. Машини є мехатронними (мехатронізованими) агрегатами, а сам комплекс – мехатронною системою (рис. 2.6).

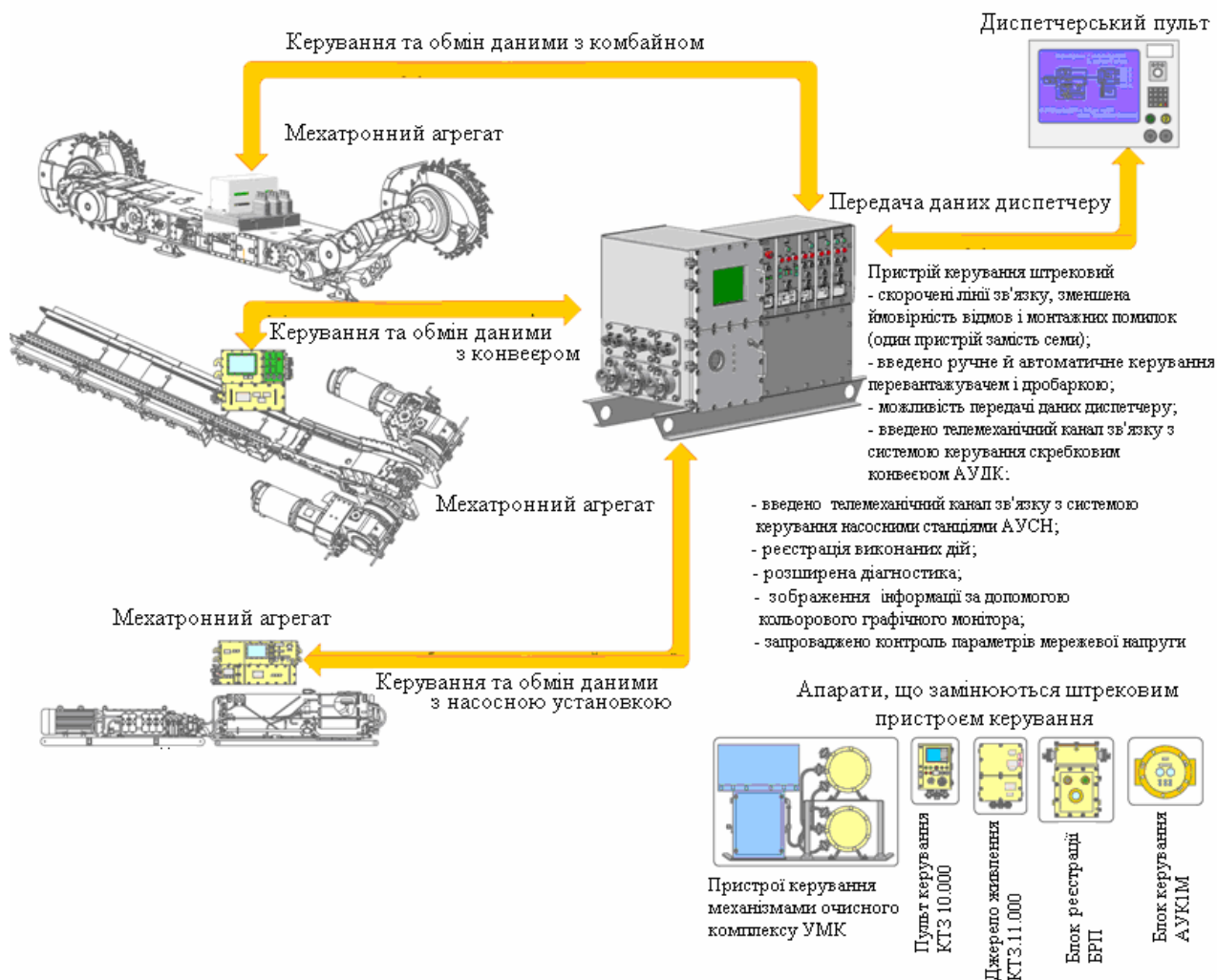


Рис. 2.6. Очисний механізований комплекс як мехатронна система

Проектування складної мехатронної системи, що містить у собі декілька мехатронних агрегатів, які, в свою чергу, також мають складну структуру вузлів та модулів, передбачає формування функціонально-параметричних характеристик окремих компонент на основі аналізу функціональної (F-моделі) та структурної моделей (S-моделі). З позиції автоматизації гірничих машин, коли частина або всі завдання автоматизації передаються мехатронному об'єкту, особливу увагу слід приділити інформаційній та електронній компонентам мехатронного об'єкта. Опис цих компонент у даному розділі здійснюється на основі аналізу F-моделі інформаційної компоненти, структурної схеми системи керування та графа переходів (схеми алгоритму), що описує закон керування гірничою машиною та за яким розробляється програмне забезпечення.

Інформаційна компонента комплексу як мехатронної системи повинна забезпечувати керування механізмами та діагностування в реальному часі всіх агрегатів системи. Її складність та розміщення у просторі агрегатів на значні відстані зумовили використання розподілених структур при проектуванні систем керування (інформаційних компонент). При цьому застосовується системний підхід.



Системний підхід є сучасним напрямом методології наукового пізнання, в основі якого лежить подання складних технічних та інших об'єктів як цілісних систем, які складаються із сукупності структурних одиниць більш низького рівня, що взаємодіють між собою та із зовнішнім середовищем. Система має інтегративні якості, які властиві системі в цілому та не характерні її окремим структурним одиницям. Будь-яка система припускає її поділ на кінцеву кількість підсистем залежно від поставлених завдань, що призводить до ієрархічності структури. В підсистемі доцільно виділяти частини системи, які характеризуються певною функціональною самостійністю.

Елементом у рамках системного підходу називають технічний об'єкт, що входить до складу системи або підсистеми, та який за умови вирішення конкретної сукупності завдань недоцільно далі розбивати на частини.

На рис. 2.7 подана структурна схема мехатронного агрегату – комбайна (М), що включає систему керування (С). Модеми Мод 1 і Мод 2 забезпечують обмін інформацією між інформаційною компонентою мехатронного модуля ( $I_M$ ) агрегату та зовнішньою системою керування ( $I_C$ ), а також гальванічну розв'язку.

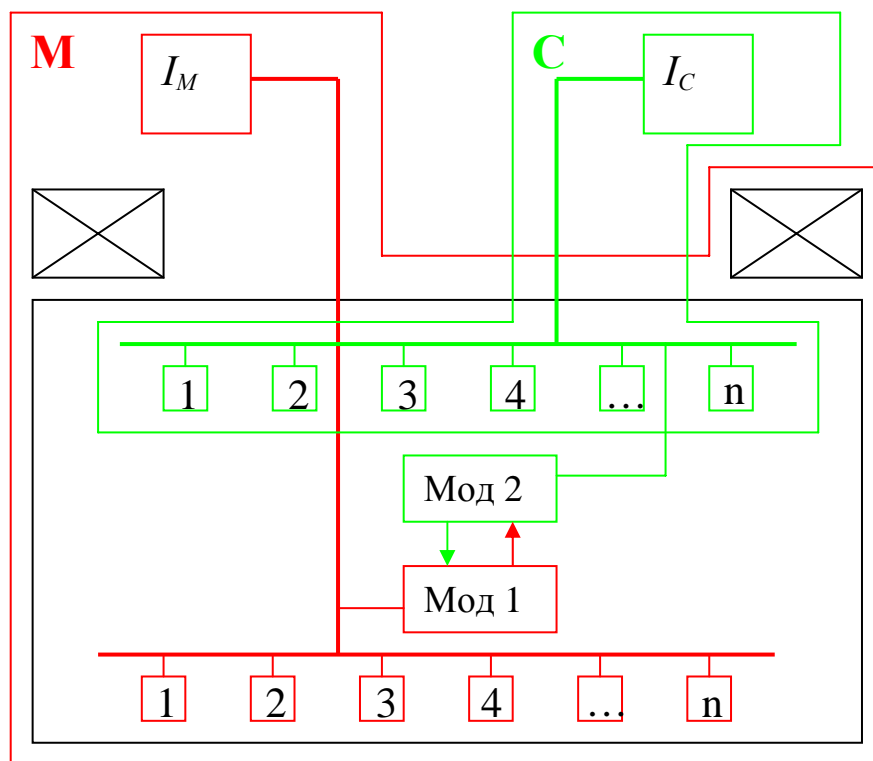


Рис. 2.7. Структурна схема мехатронного агрегату:  
1, 2, 3... n – периферійні пристрої

Пропонована послідовність розв'язування завдання:

- виконується декомпозиція безлічі повного складу функціональних вимог на підмножини з функціональної орієнтації (керування, контролю, блокувань і т. ін.) і віднесення функціональних вимог до системи керування або до мехатронних модулів;
- формується набір функціональних операторів, необхідних для синтезу структури системи;

- визначаються функціональні модулі системи, що реалізують кінцевий набір функцій певного рівня;
- складаються конструктивні модулі системи.

Повний склад функціональних вимог, що визначаються Правилами безпеки, нормативно-технічною документацією, вимогами з боку експлуатації, пропозиціями розробників, являє собою безліч  $T$ , що необхідно розподілити між мехатронним модулем і системою керування:

$$T = \{T^M, T^C\}.$$

Процедура декомпозиції безлічі вимог на підмножини  $T^M$  і  $T^C$  є найбільш відповідальним і трудомістким етапом у процесі проектування, тому вона визначає структуру системи керування, а отже, її надійнісні, вартісні, експлуатаційні, технологічні та інші важливі властивості. Найвиправданішою вважається структура, при якій інформаційна компонента мехатронного модуля ( $I_M$ ) виконує повний набір функціональних вимог і за допомогою власного інтерфейсу пов'язана з периферійними пристроями, що входять до складу системи керування ( $I_C$ ). Однак реалізувати на практиці такий підхід найчастіше неможливо з кількох причин: габаритні обмеження елементів систем керування, що вбудовуються в мехатронні об'єкти, недостатня іскробезпечна потужність існуючих джерел живлення порівняно з більш значними потужностями, що споживаються мікроконтролерами, тощо. У зв'язку з тим, що в даний час формальні способи такої декомпозиції знаходяться в стадії розробки, це завдання вирішується евристичним методом з притаманними йому перевагами та недоліками.

Враховуючи сказане, викладемо суть підходу щодо проектування систем керування сучасними гірничими машинами. Всі елементи множини вимог  $T^M$  розділяються на підмножини з функціональної орієнтації. Повний функціональний вектор мехатронного модуля:

$$T^M = \{t_y^M, t_k^M, t_b^M, t_c^M, t_i^M, \dots\},$$

де  $t_y^M, t_k^M, t_b^M, t_c^M, t_i^M$  – підмножини функцій відповідно керування, контролю, блокування, сигналізації, інформації та ін.

Кожна підмножина  $t$  складається з одиничних функціональних операторів  $\tau$ :

$$t_y^M = \{\tau_{y1}^M, \dots, \tau_{yn}^M\};$$

...

$$t_i^M = \{\tau_{i1}^M, \dots, \tau_{im}^M\};$$

... .

Повний функціональний вектор для системи керування:

$$T^C = \{t_y^c, t_k^c, t_{\theta}^c, t_c^c, t_i^c, \dots\}.$$

Кожна підмножина  $t$  складається з одиничних функціональних операторів  $\tau$ :

$$t_y^c = \{\tau_{y1}^c, \dots, \tau_{yn}^c\};$$

...

$$t_i^c = \{\tau_{i1}^c, \dots, \tau_{im}^c\};$$

...

Таким чином, повні функціональні вектори мехатронного модуля та системи керування мають вигляд:

$$T^C = \begin{vmatrix} \tau_{y1}^c & \dots & \tau_{yn}^c \\ \dots & & \\ \tau_{i1}^c & \dots & \tau_{im}^c \\ \dots & & \end{vmatrix} R|C|, \quad T^M = \begin{vmatrix} \tau_{y1}^M & \dots & \tau_{yn}^M \\ \dots & & \\ \tau_{i1}^M & \dots & \tau_{im}^M \\ \dots & & \end{vmatrix} R|M|. \quad (2.1)$$

Вираз (2.1) являє собою функціональні модулі (ФМ) для інтелектуальної компоненти М і С, тобто це безлічі функціональних вимог, що потребують виконання в складі мехатронного об'єкта ( $T^M$ ) і системи керування ( $T^C$ ).

В аналітичному вигляді функціональні модулі ФМ можуть бути подані у вигляді функції:

$$G = (M, V),$$

де  $M$  – безліч вершин, що являють собою функціональні вектори;  $V$  – безліч дуг, що з'єднують ці вершини (зв'язки між функціональними векторами).

Розглянемо приклад функціонального модуля з шести функціональних векторів (рис. 2.8): керування  $t_y$ , контролю  $t_k$ , блокування  $t_b$ , сигналізації та зв'язку  $t_z$ , інформації  $t_i$ , вхідних пристроїв  $t_{en}$ .

Таким чином, використовуючи системний підхід, можна виділити інформаційні компоненти мехатронних модулів машин  $I_m$  (наприклад, модуль силовий перетворювальний МСД-100 у складі комплексу засобів керування комбайном КМ-ПЧ), зовнішню систему керування мехатронного агрегату  $I_a$  (наприклад, комплекс засобів керування комбайном КМ-ПЧ) та зовнішню систему керування очисним комплексом як мехатронною системою  $I_c$ .

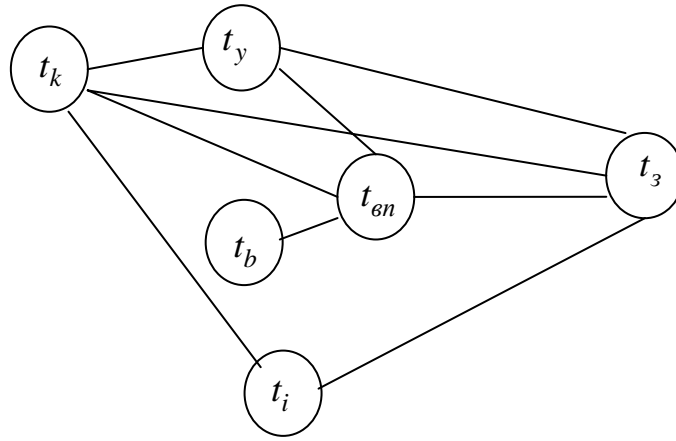


Рис. 2.8. Вихідний граф ФМ

На сьогодні у загальному вигляді F-модель інформаційної компоненти  $I_c$  виглядає так:

- забезпечення дистанційного, телемеханічного або автоматизованого керування контакторами електродвигунів механізмів очисного комплексу із можливістю автоматичного запуску електродвигунів перевантажувача, дробарки, насосної установки та запобіжної лебідки;
- автоматизоване керування режимами роботи видобувного комбайна та забійного конвеєра (зміна уставки швидкості подачі комбайна, реверс двигунів приводів конвеєра);
- дистанційне блокування запуску та дистанційне захисне вимкнення електродвигунів механізмів очисного комплексу з метою запобігання аварійним ситуаціям;
- збір та зберігання інформації про зміну робочих параметрів механізмів у реальному часі, стан силових та інформаційних кіл, спрацьовування виконавчих пристроїв або захисного вимкнення тощо; передача цієї інформації на верхній рівень.

Перелічені функції може виконувати штрековий полукомплект комплексу апаратури автоматизації (наприклад, комплекс пристроїв штрекової апаратури автоматизації КД-А), як це було раніше, або окремий пристрій керування механізмами (ПКМ) очисного комплексу (рис. 2.6). Пристрій керування механізмами працює спільно із апаратурою сигналізації та зв'язку (КУЗ, АС-ЗСМ), пультом керування штрековим, джерелом живлення, блоком реєстрації подій та комплексом керування і контролю за роботою напівстаціонарних нерозгалужених конвеєрних ліній (АУК1.М). Велика кількість пристроїв потребує зайвих ліній зв'язку та підвищує вірогідність відмов та монтажних помилок, тому останнім часом вважається за доцільне об'єднувати всі перелічені пристрої в пристрій керування штрековий (рис. 2.6). Окрім функцій, що виконує ПКМ, пристрій керування штрековий (ПКШ) забезпечує зміну режимів роботи конвеєра та комбайна (зміна швидкості подачі комбайна, реверс двигунів конвеєра), координацію обміну даними між локальними системами керування механізмами очисного комплексу та системою керування верхнього рівня із реєстрацією подій, а також здійснює контроль за параметрами напруги в мережі живлення.

Наведемо функції, що виконує ПКШ:

- вибір місця керування механізмами очисного комплексу (з пристрою керування штрекового або з комбайна);
- вибір пункту керування пускачами конвеєра (пристрій керування штрековий, пульт місцевий комбайна, верхній привід, нижній привід, вимикання пускачів конвеєра з абонентських постів зв'язку в лаві);
- дистанційне вмикання та вимикання пускачів комбайна, конвеєра, насосних станцій, перевантажувача та запобіжної лебідки з пульта керування штрекового;
- дистанційне та телемеханічне керування пускачами комбайна, конвеєра та запобіжної лебідки з пульта керування місцевого комбайна;
- дистанційне керування пускачами конвеєра з верхнього і нижнього приводів, пульта місцевого комбайна та дистанційне вимикання пускачів з абонентських постів зв'язку в лаві;
- роздільне або сумісне (із заданою затримкою часу) вмикання пускачів конвеєра;
- автоматичне вмикання пускачів тиристорного перетворювача та насосної установки за умови вмикання пускача комбайна;
- вибір режиму керування пускачем запобіжної лебідки (автоматичний або місцевий);
- автоматичне вмикання пускача запобіжної лебідки за умови вмикання пускача електродвигунів підсистеми подачі комбайна;
- місцеве керування пускачем запобіжної лебідки;
- реверс електродвигунів конвеєра;
- вибір уставки швидкості подачі комбайна;
- акустичний контроль роботи комбайна;
- дистанційне аварійне вимикання автоматичних вимикачів з пультів керування штрекового, комбайна, конвеєра та з абонентських постів зв'язку в лаві;
- автоматична подача попереджувального сигналу перед вмиканням пускачів комбайна та конвеєра;
- автоматична подача попереджувального сигналу перед вмиканням пускача електродвигунів приводів різання комбайна;
- автоматична подача попереджувального сигналу перед початком переміщення комбайна і руху тягового органу конвеєра;
- контроль проходження попереджувального сигналу;
- блокування захисного вимикання пускачів за умови виходу контрольованих параметрів за допустимі межі менш ніж на 5 с;
- захисне вимкнення всіх пускачів електродвигунів з подальшим блокуванням їх повторного запуску за умови спрацювання пристроїв контролю механізмів очисного комплексу, що входять до складу локальних систем керування (наведені в третьому підрозділі);
- захисне вимкнення пускачів електродвигунів з подальшим блокуванням їх повторного запуску за умови перевищення температури обмоток та підшипників електродвигунів заданого значення;

- блокування, що повертає й утримує систему в початковому стані (всі пускачі вимкнені) за умови будь-якого захисного вимикання, невмикання пускача або відсутності попереджувального сигналу;
- нульовий захист та захист від втрати керованості за умови пошкоджень у колах керування (замикання або обрив);
- контроль кіл керування;
- оперативна світлова індикація (з паралельним відображенням інформації на пультах керування штрековому, комбайна, конвеєра) про вмикання пускачів електродвигунів механізмів, аварійне вимикання автоматичних вимикачів, стан основних елементів і модулів ПКШ тощо.

Слід зазначити, що за наявності перетворювача частоти функції керування, захисних вимикань та блокувань запуску електродвигунів комбайна виконує саме перетворювач частоти, а не пристрій керування штрековий.

Із переліку функцій, що здійснює ПКШ, видно, що об'єктами керування для нього є магнітні пускачі електродвигунів механізмів очисного комплексу. Магнітні пускачі входять до складу розподільного пристрою, який розміщується на штреку під лавою. На даний час кількість пускачів доходить до 10 – 15, а довжина розподільного пристрою досягає 10 – 15 м. У зв'язку з цим для розподільного пристрою доводиться готувати спеціальні ніші. Крім того, значні труднощі викликає його переміщення через значну вагу та велику кількість кабелів. Тому доцільно об'єднати в одній вибухозахищеній оболонці всі силові комутаційні елементи та електронні блоки керування і захисту. Таким чином, замість 10 – 15 пускачів маємо один комплектний пристрій керування електродвигунами (КПК). Він працює в парі з пристроєм керування механізмами очисного комплексу (або з ПКШ), виконуючи функції перемикання контакторів електродвигунів за сигналами від ПКШ та контролю за станом і навантаженням силових кабелів. Комплектний пристрій керування електродвигунами очисного комплексу в парі з ПКШ часто називають станцією керування.

Наведемо функції КПК більш детально:

- керування станом кожного силового приєднання через контактори за сигналами від серійної апаратури керування механізмами очисного комплексу;
- захист від струму короткого замикання, струму витоку та перевантаження в кожному силовому виводі;
- зміна уставки струму короткого замикання, за умови перевищення якої відбувається захисне вимикання контакторів;
- електричне блокування, що перешкоджає вмиканню контактора будь-якого електродвигуна за умови зниження опору ізоляції в силових виводах нижче за 30 кОм, якщо напруга 660 В, та нижче за 100 кОм, якщо напруга 1140 В;
- електричне блокування реверсивних контакторів, що перешкоджає їх одночасному вмиканню;
- перевірка працездатності пристроїв без подачі напруги на струмоприймачі (автоматичні вимикачі знеструмлені) зі світловою та програмною індикацією ввімкнення всіх контакторів;
- захист від струму короткого замикання та струму витоку в зовнішніх колах напругою 36 В;

- нульовий захист, захист від обриву та збільшення опору кіл керування, захист від втрати керованості при замиканні проводів кіл дистанційного керування між собою та заземлювальною жилою із світловою та програмною індикацією;

- захист від обриву та підвищення опорів (вище 100 Ом) у колах заземлення корпусів машин очисного комплексу зі світловою та програмною індикацією;

- запобігання довільних вимикань контакторів за умови зниження напруги в мережі живлення нижче ніж  $0,6U_n$  та довільних вимикань контакторів за умови короточасного (до 1 с) підвищення напруги в мережі живлення вище ніж  $1,5U_n$ ;

- світлова та програмна індикація подачі напруги на вузли форсованого ввімкнення контакторів, стану блоків дистанційного керування всіма виводами, спрацьовування захистів від струму короткого замикання, струму витоку, перевантаження та зниження опору ізоляції в силових виводах;

- можливість сумісної роботи із серійною апаратурою керування механізмами очисного комплексу та живлення пристроїв автоматики, освітлення, ручних електричних свердел.

З метою реалізації наведених функцій для кожного силового виводу передбачений комплект апаратів, до складу якого входять контактор, два датчики струму, блоки захисту, керування та форсованого ввімкнення контакторів. Наприклад, у комплектному пристрої керування КУУВ-500 захист від струму короткого замикання в силових виводах забезпечує блок багатоканального максимального струмового захисту БМСЗ з регульованими уставками від 10 до 50 А. Його схема має можливість визначати номер каналу, в якому відбулося спрацьовування захисту для світлової та програмної індикації. Захист від струму витоку на землю у вихідних силових колах з попереднім контролем ізоляції реалізує блок РУ127/220-МК, який також забезпечує селективний захист у каналах 127 та 220 В.

Дистанційне аварійне вимкнення струмоприймачів під навантаженням за умов натиснення кнопки «СТОП АВАРІЙНИЙ», надходження сигналів по колах дистанційного аварійного вимикання, а також при спрацьовуванні одного із захистів у самому комплектному пристрої керування здійснюється автоматичними вимикачами у момент подачі напруги на котушку розчіплювача нульової напруги.

Згідно з розглянутими функціями ПКШ та КПК наведемо структурну схему системи керування механізмами очисного комплексу (рис. 2.9), на основі якої дамо характеристику сигналів, що передаються в системі, та ліній зв'язку між елементами системи.

Тонкими лініями позначені лінії дистанційного захисту та керування контакторами електродвигунів механізмів очисного комплексу. Якщо керування контакторами відбувається з пульта керування штрекового, то натиснення кнопки «ПУСК» замикає коло живлення котушки контактора К (рис. 2.10), що з'єднує пульт керування штрековий з комплектним пристроєм керування через пристрій керування штрековий. Як наслідок, контактор спрацьовує і своїм блок-

контактом 1К замикає коло живлення електродвигуна ЕД, а блок-контактом 2К шунтує кнопку «ПУСК» та замикає коло індикації мікроконтролера МК. Таким чином, відбувається як світлова індикація спрацьовування блок-контактів контактора (загоряється світлодіод на пульті керування при замиканні кола індикації мікроконтролера), так і програмна (інформація про спрацьовування контактора та запуск електродвигуна ЕД з мікроконтролера МК посилається на пульти керування та на верхній рівень з відображенням на графічних індикаторах).

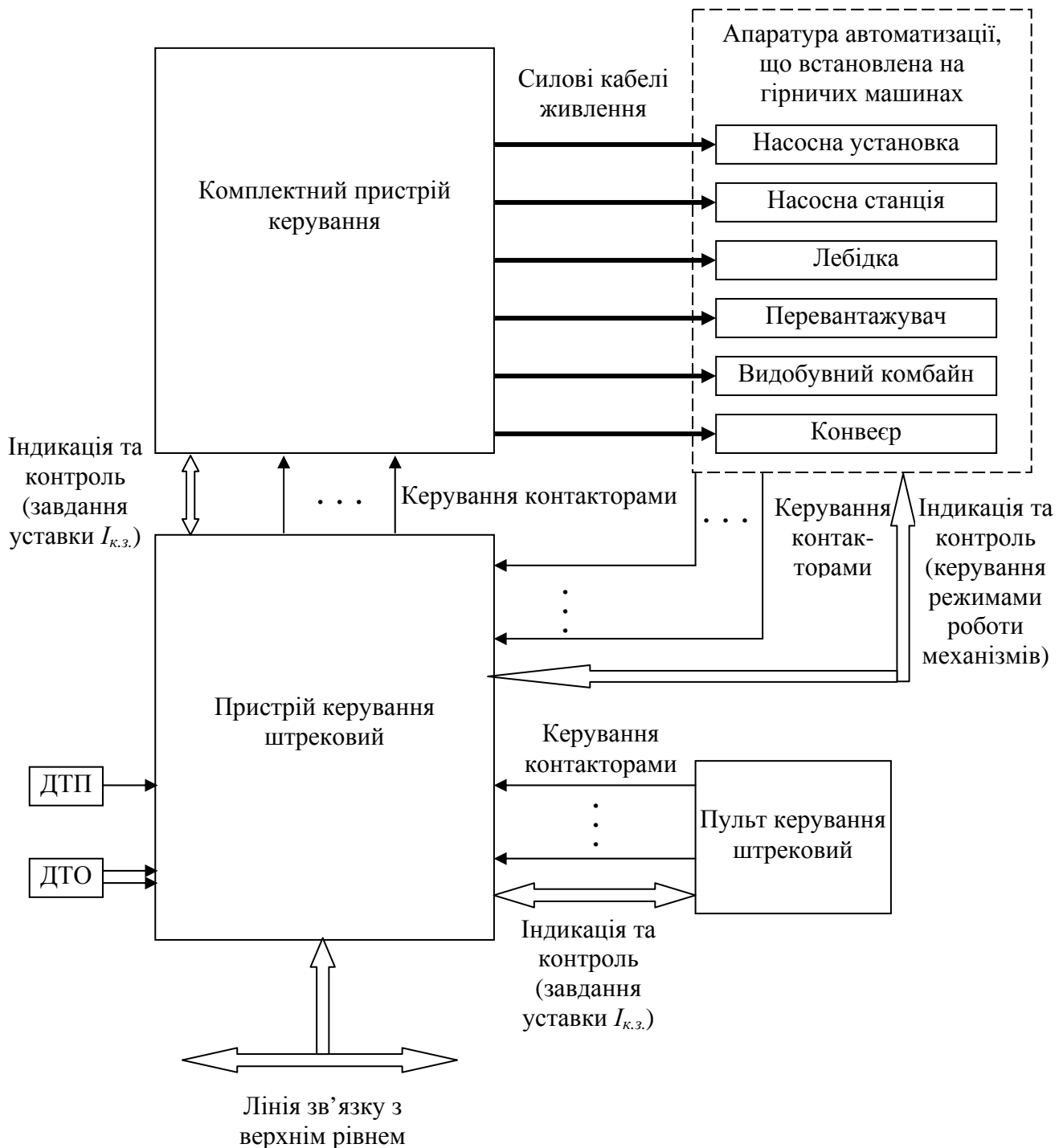


Рис. 2.9. Структурна схема системи керування механізмами очисного комплексу



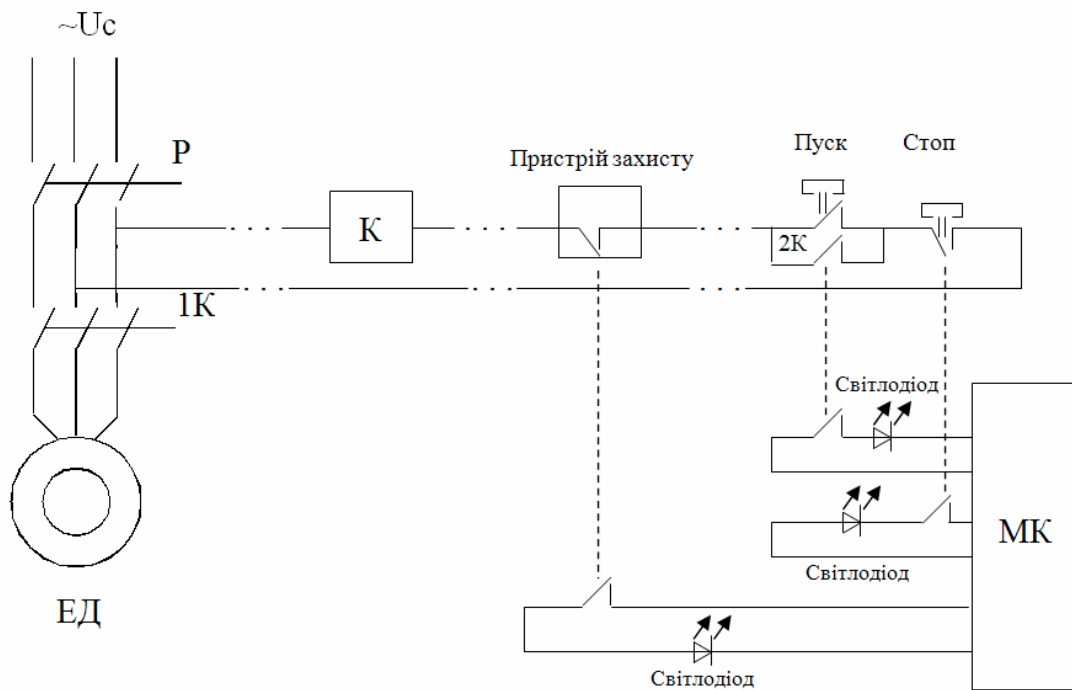


Рис. 2.10. Схема дистанційного керування електродвигуном механізму очисного комплексу

Натиснення кнопки «СТОП» замикає коло індикації мікроконтролера МК та розмикає коло живлення котушки контактора К, що призводить до розмикання блок-контактів 1К та 2К. Відбувається знеструмлення двигуна ЕД та світлова і програмна індикація натиснення кнопки «СТОП».

Якщо перемикач на пульті штрековому стоїть у положенні «ШТРЕК», то кнопки «ПУСК» та «СТОП» на пультах керування комбайна та конвеєра шунтовані для запобігання керування механізмами одночасно з декількох пультів. У випадку вибору пульта керування на комбайні або конвеєрі живлення контакторів відбувається за допомогою кіл дистанційного керування, що йдуть з апаратури автоматизації, встановленої на відповідній машині, до комплектного пристрою керування через пристрій керування штрековий (кнопки «ПУСК» та «СТОП» на інших пультах керування шунтовані).

Незалежно від того, який пульт керування обраний, з будь-якого пульта керування за допомогою кіл дистанційного захисту здійснюється аварійне вимикання всіх контакторів електродвигунів при натисненні кнопки «СТОП АВАРІЙНИЙ», спрацьовуванні одного з пристроїв контролю механізмів очисного комплексу, що входять до складу локальних систем керування (наведені в третьому підрозділі), а також при спрацьовуванні одного з дискретних датчиків температури обмоток або підшипників електродвигунів, які з'єднані з контрольними входами ПКШ. Вони, як правило, служать для діагностування роботи електродвигунів та їх захисту від повільно зростаючого теплового перевантаження. Датчики температури встановлюються в обмотках двох фаз (ДТО) та забезпечують дворівневий температурний захист: для кіл попередньої сигналізації передбачені позистори з температурою спрацьовування 160°C, а в коло аварійного вимикання встановлені термореле з температурою спрацьовування 180°C. В коло аварійного вимикання також встановлені датчики для температурного захисту підшипникових вузлів двигунів (ДТП), які настроєні

на спрацьовування при 120°C. Спрацьовування датчиків температури відбувається із витримкою часу, яка залежить від величини перегріву в процентах до номінальних значень.

Для реалізації дистанційного захисту та керування контакторами електродвигунів зі станції керування до механізмів комплексу прокладається додатковий кабель. У випадку використання телемеханічного керування контакторами за допомогою спеціальних пристроїв сигнали передаються по допоміжних жилах силових кабелів.

Слід зазначити, що відповідно до правил безпеки захисне вимикання контакторів відбувається не програмним, а апаратним способом (повз контролер), коли спрацьовування датчика призводить до спрацьовування електромагнітного реле, контакти якого розмикають коло живлення контактора (рис. 2.10). Одночасно контакти електромагнітного реле замикають коло індикації мікроконтролера, що спричинює світлову та програмну індикацію захисного вимикання.

Програмна індикація передбачає передачу інформації з мікроконтролера на всі пульти керування механізмами комплексу та на верхній рівень про місце та причину аварійного вимикання. Вона передається послідовними каналами зв'язку (на рис. 2.9 зображено подвійними лініями). Для цього використовуються контрольні та заземлювальна жили силових кабелів, в яких наводиться ЕРС з рівнем, що набагато перевищує іскробезпечні параметри. Тому є необхідність у захисті інформації від перешкод з боку силових жил, а апаратури – від попадання високих напруг в іскробезпечні кола.

Обмін інформацією між контролером ПКШ та модулями вводу-виводу локальних систем керування за допомогою послідовних каналів зв'язку відбувається в NSCII-кодах, тобто посилка являє собою набір символічних рядів (байтів) у форматі ASCII. Контролер ПКШ посилає в мережу команду з таким форматом: ознака команди, спеціальна адреса модуля, до якого йде звернення; код команди, код «переведення каретки». Відповідь на запит контролер ПКШ отримує тільки у випадку збігу його адреси з адресою, що вказана у запиті, а також за умови справності каналу зв'язку. Після цього виконується команда. Зв'язок по мережі відбувається із використанням стандартного інтерфейсу RS-485.

Для передачі інформації з ПКШ на верхній рівень (в загальношахтну інформаційну систему) може застосовуватися той самий інтерфейс передачі даних, що і для зв'язку ПКШ з локальними системами керування (звичайно використовується незайнята телефонна пара), або більш швидкісний інтерфейс з використанням оптоволоконного кабелю.

Послідовними каналами зв'язку, крім вищезгаданої, також передається така інформація:

- команда відносно призначення уставки для блока багатоканального максимального струмового захисту з пульта керування штрекового на ПКШ і далі на КПК;

- команда відносно призначення уставки швидкості подачі комбайна з пульта керування штрекового на ПКШ і далі на локальну систему керування комбайном;

– команда відносно реверсу електродвигунів приводів конвеєра з пульта керування штрекового на ПКШ і далі на локальну систему керування конвеєром;

– з КПК на ПКШ і далі на всі пульти керування та на верхній рівень про спрацьовування струмового захисту (коротке замикання, зниження опору ізоляції тощо) з уточненням місця та причини спрацьовування захисту;

– з ПКШ на всі пульти керування та на верхній рівень про спрацьовування датчиків температури обмоток або підшипників електродвигунів (попередня сигналізація та захисне вимкнення);

– з локальних систем керування механізмами очисного комплексу до ПКШ і далі на всі пульти керування та на верхній рівень про величини контрольованих параметрів (струми статорів двигунів, витрата та температура води в системах зрошення та охолодження двигунів та перетворювача частоти, місцезнаходження видобувної машини в лаві із значенням швидкості подачі тощо), причини відмов, захисних вимикань механізмів та блокувань їх запуску.

Жирними лініями на рис. 2.9 позначені силові кабелі живлення електродвигунів механізмів очисного комплексу, що йдуть від комплектного пристрою керування до приводів механізмів.

Розглянемо алгоритм вмикання та вимкання контакторів електродвигунів, що програмно реалізований у пристрої керування штрековому. На початку роботи оператор на штреку вмикає фідерний автомат та подає напругу на станцію керування. Від станції напруга подається на апаратуру систем керування, що встановлена на машинах очисного комплексу. Таким чином, блокувати ввімкнення пускачів електродвигунів може як станція керування на штреку, так і локальні системи керування механізмами в очисному забої (наприклад, через перевищення рівня скупчення метану, якщо відкрита кришка електроблоку тощо).

Далі, натискаючи на відповідні кнопки штрекового пульта керування, оператор вмикає насосну станцію, забійний конвеєр та перевантажувач. Процес запуску забійного конвеєра детально описаний у розділі 4.

Подальший запуск механізмів очисного комплексу за допомогою станції керування розглянемо на основі графа переходів (рис. 2.11). Перший стан системи відповідає роботі забійного конвеєра, насосної станції та перевантажувача в номінальному режимі. Видобувний комбайн, насосна установка та лебідка знеструмлені. Причому перемикач «ШТРЕК – ПМК» стоїть у позиції «ШТРЕК», а перемикач «РОБОТА – РЕМОНТ» – в позиції «РОБОТА». При такому положенні перемикачів запуск видобувного комбайну почнеться тільки за умови завершення запуску конвеєра. Саме тому одна з умов переходу до другого стану системи (підготовка до подачі живлення на комбайн) – зменшення струмів статорів електродвигунів приводів конвеєра до своїх номінальних значень  $I_{к.н.}$ . Іншими умовами є віджатий стан кнопки «СТОП КОМБАЙН», натиснення кнопки «ПУСК КОМБАЙН» та відсутність будь-якої умови блокування запуску електродвигунів механізмів комплексу (перелічені вище). При переході системи до другого стану вмикаються контактор для подачі

живлення до електродвигуна насосної установки НУ, випромінювач акустичний ВА на комбайні та запускається таймер на відлік 6 – 15 с. Якщо після 1 – 3 с ВА не спрацює, система переходить до першого стану (запуск комбайна не відбувається). При цьому вимикається контактор НУ.

Після закінчення 6 – 15 с система переходить до третього стану (подача живлення на комбайн). Це приводить до вмикання контактора пускача П (подача живлення на видобувний комбайн), вимикання ВА та запуску таймера на відлік 1 – 3 с. Якщо після 1 – 3 с фіксується спрацювання блок-контакта, відбувається перехід до четвертого стану (подача живлення на електродвигуни приводів різання комбайна). При цьому вмикається контактор електродвигунів приводів різання ДР (одночасно живлення подається на електродвигун гідросистеми комбайна) та запускається таймер на відлік 1,5 – 3 с.

У випадку спрацювання блок-контакта протягом 1,5 – 3 с система переходить до п'ятого стану (підготовка до початку руху комбайна). Це приводить до вмикання ВА та запуску таймера на відлік 6 – 15 с. Якщо після 1 – 3 с ВА не спрацює, система переходить до першого стану (запуск комбайна не відбувається). При цьому вимикаються контактори НУ та П, після чого знеструмлюються електродвигуни насосної установки та комбайна. Після затримки на 6 – 15 с за умови знаходження перемикача уставок швидкості подачі комбайна в ненульовому положенні система переходить до шостого стану (номінальний режим роботи механізмів очисного комплексу). Вмикаються контактори електродвигунів приводів подачі комбайна ДП (одночасно подається живлення на перетворювач частоти), електродвигуна лебідки ДЛ та вимикається ВА. Одночасно посиляється сигнал до локальної системи керування видобувним комбайном про уставку швидкості подачі  $V_{п.уст}$ , що є умовою для початку руху комбайна.

Якщо перемикач уставок швидкості подачі комбайна знаходиться в нульовому положенні, подальший запуск комбайна відбувається за іншим сценарієм. Як і в першому випадку, вмикається контактор електродвигунів приводів подачі комбайна та вимикається ВА. Але комбайн залишиться нерухомим, доки за допомогою перемикача не буде обрана уставка швидкості подачі (система буде знаходитися у зведеному стані). Після зміни положення перемикача організується затримка часу на 6 – 15 с, протягом якої вмикається ВА, і тільки потім видається сигнал до локальної системи керування видобувним комбайном щодо уставки швидкості подачі. Одночасно вмикається контактор електродвигуна привода лебідки.

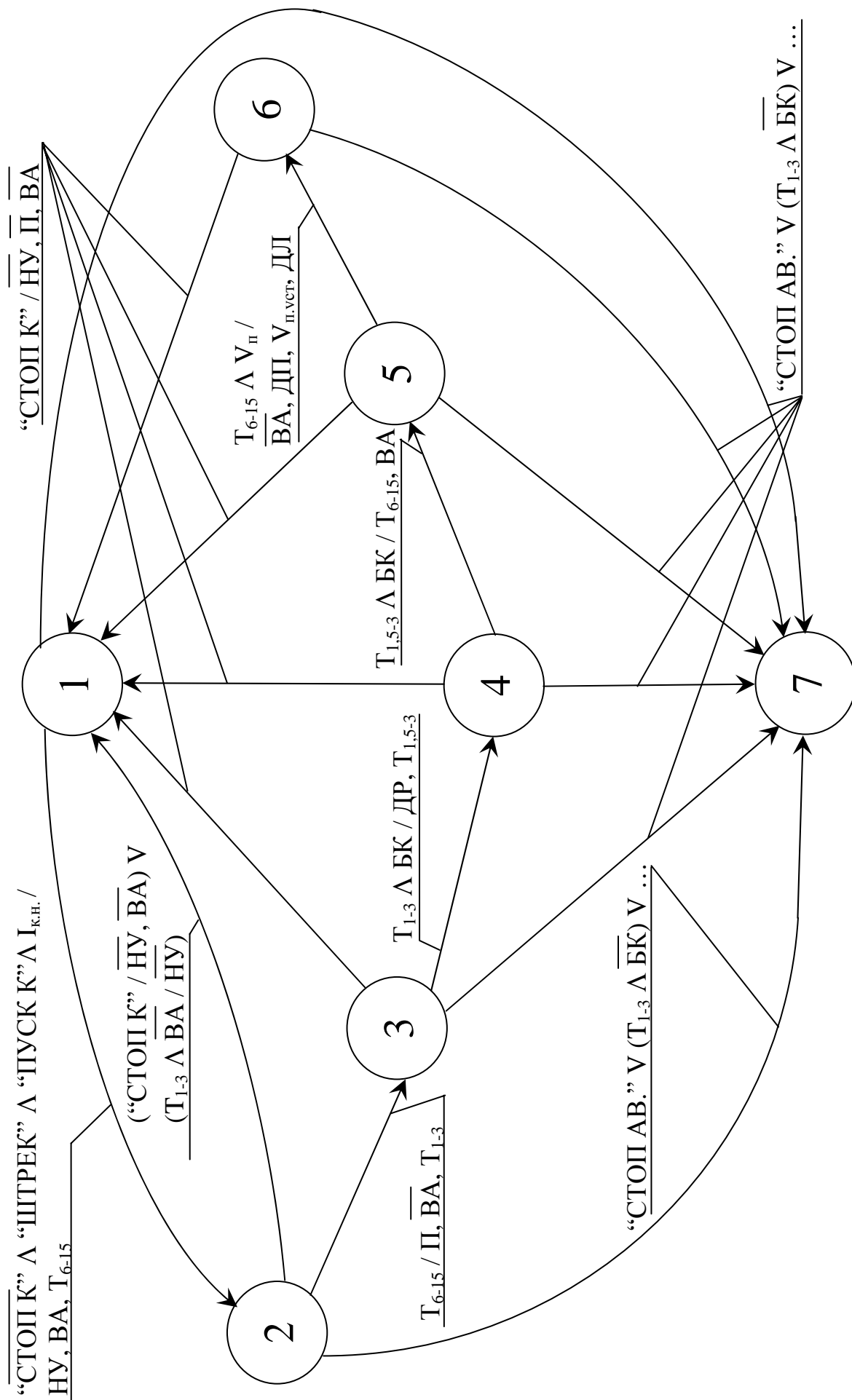


Рис. 2.11. Граф переходів алгоритму запуску механізмів очисного комплексу

У шостому стані всі механізми очисного комплексу працюють в номінальному режимі. Крім діагностування та моніторингу функціонування електродвигунів, збору та передачі на верхній рівень інформації відносно змін робочих параметрів обладнання в реальному часі, система в цьому стані за сигналами з пульта станції формує керуючі сигнали до локальних систем керування на машинах (зміна уставки швидкості подачі, реверс приводів забійного конвеєра).

Слід зазначити, що у ході запуску видобувного комбайна разом з механізмами очисного комплексу та в процесі його роботи передбачена зупинка за умови натиснення кнопки «СТОП КОМБАЙН» (на графі відбуваються переходи з 2 – 6 до першого стану). При цьому вимикаються контактори насосної установки, лебідки та комбайна, після чого знеструмлюються всі його електродвигуни.

Крім того, в алгоритмі передбачена аварійна зупинка механізмів очисного комплексу за умови натиснення кнопки «СТОП АВАРІЙНИЙ» (відбуваються переходи з 2 – 6 до сьомого стану). Сьомий стан на графі переходів (рис. 2.11) відповідає ситуації, коли всі машини очисного комплексу знеструмлені. Вимикання всіх контакторів з блокуванням вмикання електродвигунів при цьому відбувається апаратним способом (рис. 2.10), тому на графі ці операції не показані. Перехід до сьомого стану також відбудеться, якщо виконується хоча б одна умова захисного вимикання машин очисного комплексу (перелічені вище). При переході до сьомого стану на пульт керування станції, пульти керування місцеві, а також до системи верхнього рівня повинна надійти інформація про причину аварійного вимкнення (місце натиснення кнопки «СТОП АВАРІЙНИЙ»). Умовою виходу із сьомого стану є зняття блокування електродвигунів машин очисного комплексу «вручну». Після цього система готова до повторного запуску електродвигунів всіх машин очисного комплексу.

Розглянемо схему енергопостачання очисного забою, що подана на рис. 2.12. У початковому стані, коли всі автоматичні вимикачі та пускачі розімкнені, електроенергія подається лише на станцію керування SN-2, яка живить три приводи забійного конвеєра СПЦ230 через кабелі КГЭШ 3×70. Але напруга до приводів конвеєра не подається, оскільки відсутній керуючий сигнал на станцію із знеструмленого пристрою керування механізмами комплексу УМК. На початку роботи оператор у боковому штреку вмикає автоматичний вимикач АВ400. При цьому електроенергія надходить на пускач комбайна ПВР-400Р, далі на пускач резервний ПВИ320, на чотири пускачі електродвигунів допоміжного устаткування ПВИ-250 та на джерело живлення ИПШ-2. Напруга до коробки з'єднувальної КСВ комбайна з пускача ПВР-400Р по силовому кабелі КГЭШВ 6×70+3×4+4×4 не потрапляє, оскільки відсутній керуючий сигнал з УМК. До речі, як видно з маркування кабелю силового, що йде до комбайна, у ньому є 7 додаткових жил для реалізації телемеханічного або автоматизованого керування контакторами електродвигунів комбайна. Крім цього, від джерела живлення А6 до комбайна КДК500 йде додатковий кабель КГШР 5×2×2,5 для здійснення дистанційного керування (захисного вимкнення) контакторами електродвигунів комбайна.



З ИПШ-2 подається напруга 220 В до джерела живлення апаратури автоматизації на комбайні та напруга 127 В для живлення УМК, апаратури сигналізації і зв'язку КУЗ, блоку А6. Таким чином, як апаратура автоматизації, що встановлена на комбайні, так і УМК знаходяться в робочому стані.

Далі оператор вручну вмикає чотири пускачі ПВИ-250 електродвигунів допоміжного устаткування АНЛ-180 (насосна станція), через які напруга подається до самих двигунів. Потім з пульта керування штрекового А7 він вмикає станцію керування SN-2, від якої після часової затримки із сигналізацією в певній послідовності електроенергія надходить до електродвигунів приводів забійного конвеєра.

Потім оператор з пульта керування штрекового А7 вмикає пускач комбайна ПВР-400Р, після чого через КСВ електроенергія в певній послідовності надходить до контакторів електродвигунів приводів різання і подачі, а також гідросистеми, що знаходяться в перетворювачі частоти на комбайні.

Слід відзначити, що перед рухом комбайна оператор повинен увімкнути пускач ПВИ-250 електродвигуна запобіжної лебідки ЗЛП, що живиться від окремої трансформаторної підстанції ТСВП-250.

Для забезпечення допоміжних робіт у боковому штреку від трансформаторної підстанції КТПВ до штреку прокладений окремий кабель КГЭШ 3×50, за допомогою якого здійснюється живлення електродвигуна приводу штрекового комбайна СПЦ230 та агрегату пускового шахтного (АПШ) через автоматичний вимикач АВ400 та два пускачі ПВИ-250 (робочий та резервний). Агрегат пусковий шахтний призначений для перетворення трифазної змінної напруги 660 В у напругу 133 В для живлення двох гірничих електричних свердел та місцевого освітлення.

На основі рис. 2.13 розглянемо схему електропостачання видобувного комбайна сучасного покоління з частотно-регульованим приводом подачі.

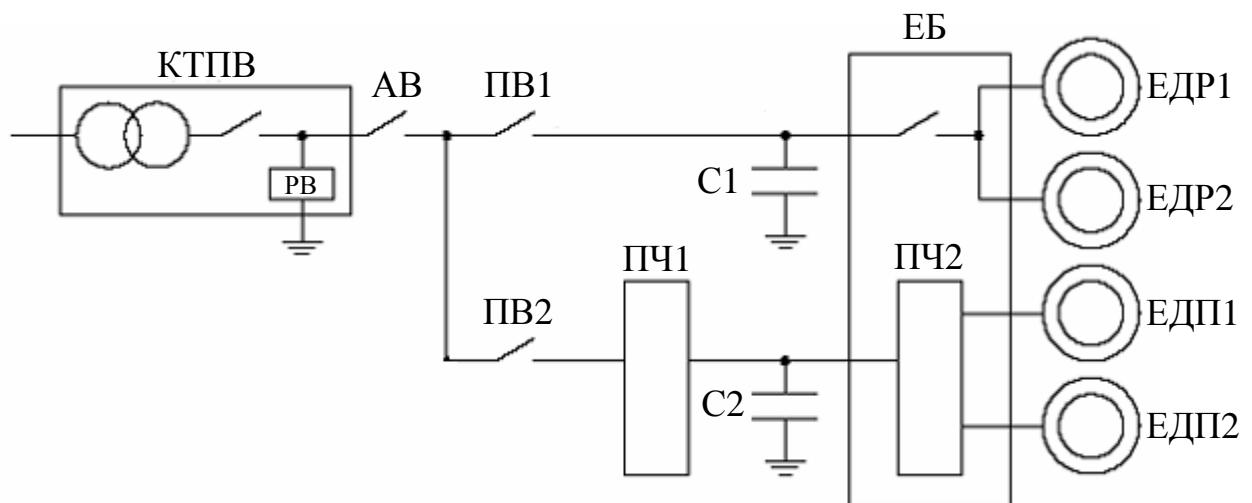


Рис. 2.13. Схема енергопостачання видобувного комбайна з частотно-регульованим електроприводом подачі



Живлення до електродвигунів приводів різання надходить з трансформаторної підстанції КТПВ по схемі: контактор трансформаторної підстанції, автоматичний вимикач АВ, блок-контакт пускача ПВ1 та контактор усередині електроблока комбайна ЕБ. Розмикання контакторів КТПВ та АВ призводить до знеструмлення всіх електродвигунів комбайна, в той час як розмикання блок-контакта ПВ1 та контактора в ЕБ знеструмить тільки електродвигуни приводів різання ЕДР1 та ЕДР2. Контактор КТПВ розмикається при спрацьовуванні реле витоку РВ. Автоматичний вимикач служить для реалізації запуску комбайна в нормальному режимі та його аварійного вимкнення. Пускач ПВ1 розташовується на штреку та призначений для запуску ЕДР1 та ЕДР2 окремо від електродвигунів приводів подачі ЕДП1 та ЕДП2 згідно з алгоритмом запуску комбайна. За допомогою контактора в електроблоці комбайна ЕБ реалізуються короткочасні зупинки та запуски електродвигунів приводів різання в нормальному режимі роботи комбайна без його повного знеструмлення.

Живлення до електродвигунів приводів подачі ЕДП1 та ЕДП2 надходить з трансформаторної підстанції КТПВ через контактор трансформаторної підстанції, автоматичний вимикач АВ, блок-контакт пускача ПВ2 та перетворювач частоти ПЧ. На рис. 2.13 показані два варіанти розміщення перетворювача частоти – на штреку (ПЧ1) або на корпусі комбайна в електроблоці ЕБ (ПЧ2). Пускач ПВ2 призначений для запуску ЕДП1 та ЕДП2 окремо від ЕДР1 та ЕДР2 згідно з алгоритмом запуску комбайна. Перетворювач частоти змінює параметри напруги в мережі живлення ЕДП1 та ЕДП2 в функції керуючого сигналу, що надходить з регулятора швидкості та навантаження. За умови нульової уставки швидкості подачі ПЧ повністю зупиняє ЕДП1 та ЕДП2.

На рис. 2.13 С1 і С2 – ємності відповідних ділянок мережі живлення.

Як підсумок до другого підрозділу зазначимо, що система керування механізмами очисного комплексу має ієрархічну розподілену структуру, в якій центральний вузол – це модуль ПКШ (фактично підземний диспетчерський пункт керування процесами в очисному забої), який об'єднує всі системи окремих машин в забої, відповідає за координацію обміну даними між цими системами та верхнім рівнем і має багатофункціональний інтерфейс для взаємодії оператора з локальними системами керування механізмами та системою керування верхнього рівня (АСУТП шахти в цілому). З метою реалізації виймання вугілля без присутності людини в забої, що є вимогою на шахтах, небезпечних за викидами метану та обваленнями, модуль ПКШ підтримує функції зміни режимів роботи машин очисного комплексу. Однак мова йде лише про зміни уставок для локальних систем керування машинами, в той час як усі завдання щодо керування механізмами вирішуються на локальному рівні системами керування, які встановлені на машинах.

Виділимо деякі перспективні напрями розвитку системи керування механізмами очисного забою:

- розширення переліку режимів роботи машин очисного комплексу, які можна вибрати з модуля ПКШ;

- впровадження інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень оператором для підвищення ефективності процесу виймання вугілля в забої та запобігання аварій або аварійних зупинок машин;
- автоматизація процесу зміни режимів роботи механізмів очисного комплексу для реалізації виймання вугілля без участі людини;
- розширення списку контрольованих параметрів гірничих машин (індикація їх безперервної зміни в реальному часі) з впровадженням інтелектуальних систем пошуку несправностей у конструктивних вузлах механізмів на основі статистичної обробки значень контрольованих параметрів;
- вдосконалення каналу зв'язку між модулем ПКШ та локальними системами для підвищення швидкості та надійності передачі даних.

## **2.3. Аналіз гірничих машин очисного механізованого комплексу як об'єктів автоматизації**

### **2.3.1. Аналіз видобувного комбайна як об'єкта автоматизації**

Видобувний комбайн є складовою частиною очисного механізованого комплексу як мехатронної системи і за складом компонент та характером зв'язків між ними являє собою мехатронний агрегат. Він виконує такі функції (F-модель видобувного комбайна як мехатронного агрегату):

- руйнування прошарку вугілля за рахунок обертального руху виконавчих органів, поступального руху корпусу комбайна вздовж забою та поступального руху виконавчих органів за гіпсометрією пласта;
- часткове навантаження зруйнованого вугілля на забійний конвеєр за рахунок обертального руху виконавчих органів.

Рух виконавчих органів та корпусу забезпечує М+С-компонента комбайна. Дано її загальну характеристику, виділивши згідно із системним підходом такі підсистеми видобувного комбайна:

- корпусна підсистема, яка призначена для об'єднання окремих корпусних вузлів у конструктивно цілісний технічний об'єкт;
- підсистема приводу виконавчого органу, яка призначена для забезпечення обертального руху цього органу з необхідними рушійними моментами;
- підсистема переміщення, за допомогою якої рухається корпусна підсистема комбайна з необхідними значеннями швидкості та тягових зусиль;
- підсистема підвіски та переміщення виконавчого органу (ВО), яка призначена для поступальних переміщень виконавчого органу відносно основних жорстко з'єднаних вузлів корпусної підсистеми з необхідними швидкостями та зусиллями (та підтримки заданого положення виконавчого органу відносно вказаних вузлів);
- підсистема охолодження та зрошення, яка призначена для охолодження електродвигунів і редукторів (перетворювача частоти) комбайна та зрошення пилу, що утворюється при руйнуванні вугілля зубцями.

Розглянемо загальну побудову перелічених підсистем комбайна. У комбайнів нового покоління (УКД400, КДК500 тощо) до складу підсистеми підвіски ВО входять виконавчий орган 8 (рис. 2.14), поворотний блок різання

(ПБР) і гідропривід регулювання положенням ВО на основі гідродомкрата 15 та аксіально-плунжерного насоса, який установлюється в один з відсіків корпусу редуктора ПБР або в камері корпусу приводу подачі. У першому випадку обертальний момент на вал насоса передається з вала-шестерні редуктора приводу різання, у другому – насос має власний електродвигун (маслостанція). Подача насоса становить від 6 до 12 л/хв з тиском робочої рідини на виході до 20 МПа.

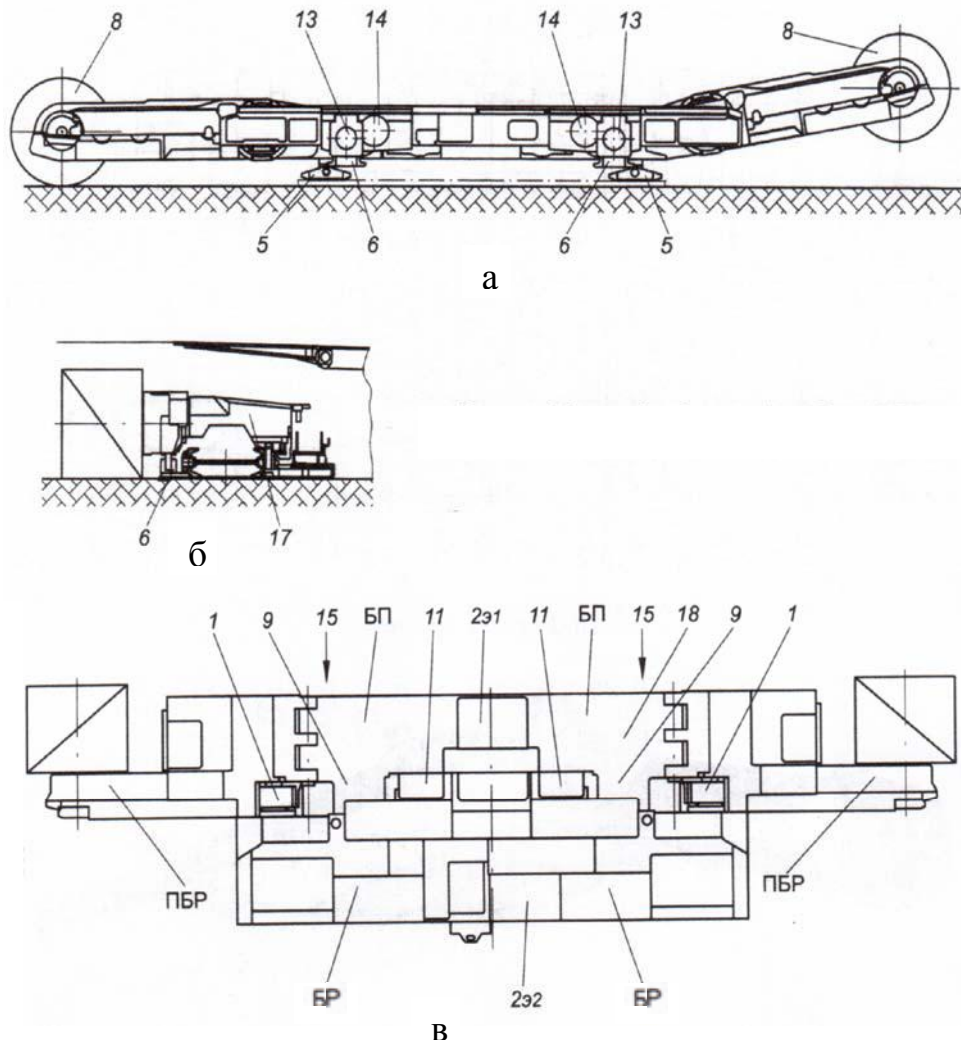


Рис. 2.14. Видобувний комбайн УКД300 у різних виглядах:  
а – фронтальний; б – збоку; в – зверху

На рис. 2.15 показане одне зі схемних рішень підсистем підвіски ВО для видобувних комбайнів (УКД400, КДК700 та ін.), де  $D_l$  – діаметр ВО, м;  $O_1$  та  $O_2$  – осі кріплення гідродомкрата;  $O$  – вісь сполучення поворотних редуктора та блока різання з основними жорстко з'єднаними вузлами корпусної підсистеми;  $h$  – плече реакції гідродомкрата відносно осі  $O$ , м;  $l$  – відстань між віссю обертання ВО та віссю  $O$ , м;  $H_O$  – відстань між ґрунтом та віссю  $O$ , м. Фізичний зміст кутових параметрів зрозумілий з рисунка.

Із рис. 2.15 видно, що підсистему підвіски можна розглядати як чотириланковий кулісний механізм з ведучим повзуном у вигляді поршня

гідродомкрата та хитною кулісою (циліндром). Гідродомкрат у процесі регулювання переміщенням штоку виконує роль лінійного гідромотора. Комбайн має дві незалежно працюючі підсистеми підвіски ВО та спільну для них маслостанцію.

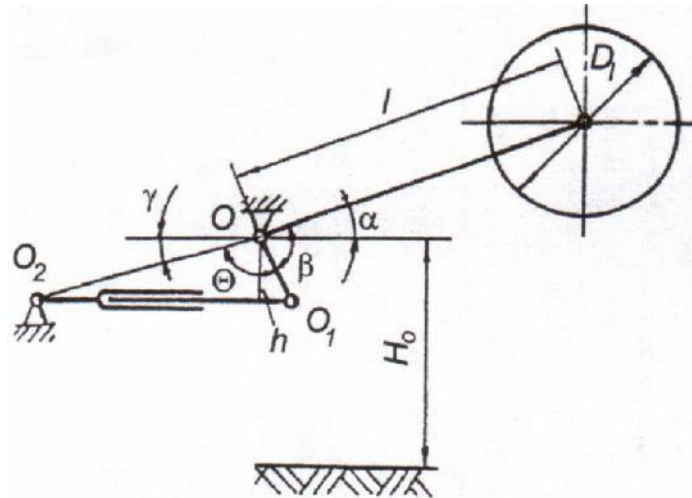


Рис. 2.15. Кінематична схема підсистеми підвіски ВО видобувного комбайна

Для комбайнів нового покоління поворотний блок різання ПБР разом з ВО одночасно є підсистемою приводу виконавчого органу комбайна. Він включає електродвигун 1 (рис. 2.14) та редукторні кінематичні кола для передачі обертального моменту з валу електродвигуна на ВО. Для комбайнів цього покоління зазвичай у редукторних колах застосовуються циліндричні й планетарна (планетарні) зубчаті передачі. Комбайн має дві незалежно працюючі підсистеми приводу виконавчого органу.

У комбайнів попереднього покоління підсистема приводу виконавчого органу має різні конструктивні виконання. Вона може включати два кінематично зв'язаних електродвигуни, що є спільними для обох основних і поворотних редукторів, а також виконавчих органів. Обертальний момент від кінематично зв'язаних електродвигунів одночасно подається на підсистему переміщення (1ГШ68), яка може мати індивідуальні електродвигуни (К103М).

Інше конструктивне виконання підсистеми приводу ВО передбачає один електродвигун для обох редукторів і виконавчих органів. Причому від цього ж двигуна обертальний момент подається на підсистему переміщення (1К101У, РКУ10) або підсистема переміщення має індивідуальні електродвигуни (КА80, УКД200). В редукторних колах підсистеми приводу ВО комбайнів попереднього покоління застосовуються циліндричні й конічні зубчаті передачі.

Корпусна підсистема виконана на основі загального корпусу (у вигляді моноблока) 18 (рис. 2.14) зварної конструкції коробчастої форми, що має відсіки для автономних знімних блоків різного функціонального призначення. До корпусної підсистеми також входить портална частина 17, в якій відбувається монтаж електричного та гідравлічного розведення, системи охолодження та зрошення, а також опорних механізмів 5 та 6. Крім того, на порталі розміщені органи керування комбайном.

Підсистема охолодження та зрошення складається з двох частин: зовнішньої (підсистеми забору та подачі води зі штреку) та внутрішньої. Зовнішня частина підсистеми містить у собі штрекове обладнання (одна чи дві насосні установки) та забійний водовід. Робочий тиск насосної установки 4 МПа (напір води у водоводі на виході установки 3,5 МПа). Забійний водовід підвішується в штреку від насосної станції до забійного конвеєра, потім укладається у стаціонарному жолобі підвісного обладнання конвеєра до початку тракового кабелеукладача і далі по кабелеукладачу заводиться в комбайн.

Внутрішня частина підсистеми охолодження та зрошення складається з крана-фільтра, пристрою контролю підсистеми, внутрішніх водоводів (у тому числі «сорочок» охолодження двигунів), форсунок та ежекторів. Вода з забійного водоводу через кран-фільтр попадає до пристрою контролю підсистеми та колектора. Від останнього йдуть рукави до «сорочок» охолодження електродвигунів приводів подачі та різання (перетворювача частоти). З «сорочок» охолодження електродвигунів приводів різання вода через розподільники надходить до форсунок, що встановлені на лопатях шнеків за кожним кулаком із зубцем (внутрішнє зрошення). З розподільників вода також поступає до форсунок на кришках вихідних валів поворотних редукторів (зовнішнє зрошення). Так подається близько 85% від загальної витрати води, що підводиться до комбайна. Крім того, з «сорочок» охолодження електродвигунів приводів подачі вода надходить до каналів у днищі корпусів редукторів приводів різання, і далі – до ежекторів та форсунок, що встановлені на торцях корпусів редукторів у кутковій зоні (зовнішнє зрошення). Факели з ежекторів направлені на виконавчі органи та створюють водяну завісу позаду них у процесі руйнування вугілля.

Підсистема переміщення видобувних комбайнів нового покоління складається з блока електричного 2 (рис. 2.14), привідного електродвигуна 9 (розміщується в блоці подачі БП), редукторних кінематичних кіл 11 та рушія механічного типу на основі проміжного 13 й привідного 14 зубчатих коліс (розміщуються в блоці рушія БР), а також жорсткого тягового органу у вигляді зубчатої або цівкової рейки. Комбайн має дві незалежно працюючі підсистеми переміщення та спільний для них тяговий орган.

Обертальний момент з валу електродвигуна 9 через редукторні кінематичні кола 11 на базі циліндричних та планетарних передач передається на привідне зубчате колесо 14, яке за допомогою посадженого на осі проміжного колеса 13 взаємодіє з цівками рейки, відштовхуючи таким чином корпус комбайна 18 від нерухомого тягового органу.

У винесених підсистемах переміщення видобувних комбайнів для пологих пластів електродвигуни та редукторні групи разом з привідними елементами рушіїв (зубчатыми колесами) знаходяться в бокових штреках у вигляді змонтованих на кінцевих ділянках конвеєра привідних станцій. Спільний ланцюговий тяговий орган закріплений за допомогою вертлюгів до корпусу комбайна та охоплює зубчаті колеса обох підсистем. Передня по ходу руху комбайна підсистема тягне до себе робочу гілку ланцюга разом з комбайном, а задня – підтягує холосту гілку тягового органу.

Підсистема переміщення видобувних комбайнів для крутих пластів за своєю конструктивною побудовою завжди є винесеною. Вона складається з канатного тягового органа й механізму переміщення комбайна у вигляді тягово-запобіжної лебідки, що встановлюється на вентиляційному штреку.

В підсистемах переміщення комбайнів для пологих пластів (кут нахилу пласта до 35 градусів) з метою їх утримання у випадку аварійних відключень або зупинок використовуються запобіжні пристрої. У разі ланцюгового тягового органа застосовуються зовнішні запобіжні пристрої на основі відповідних лебідок. На запобіжних лебідках використовується гідравлічний привід на основі гідравлічно керованих муфт із колодковим гальмом, що діє безпосередньо на барабан.

На комбайнах сучасного покоління з жорстким тяговим органом у підсистемах переміщення застосовуються вбудовані в редуктори гальмівні пристрої на основі гідравлічно керованих фрикційних муфт. Зусилля пружин, що стискають фрикційні диски, за умови робочого стану підсистем компенсуються розвантажувальними плунжерами, в порожнини яких подається робоча рідина під відповідним тиском. При вимиканні підсистем переміщення порожнини плунжерів з'єднуються зі зливом, а фрикційні диски під дією стискальних зусиль пружин загальмовують вихідні вали редукторів приводів подачі.

До підсистеми переміщення видобувних комбайнів також можна віднести їх захопні елементи, завальні 5 та забійні 6 опорні механізми (рис. 2.14). На деяких комбайнах (1ГШ68, КА200, РКУ13 та інші) забійні опорні механізми регулюються за допомогою гідродомкратів. Для подачі до порожнин цих гідродомкратів робочої рідини під тиском застосовується гідропривід підсистеми підвіски ВО.

Таким чином, на сучасних видобувних комбайнах можна виділити такі приводи:

- електроприводи виконавчих органів на основі нерегульованих асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором потужністю від 150 до 350 кВт з можливістю дистанційного керування їх вмиканням та вимиканням;
- гідроприводи підсистем підвіски виконавчих органів на основі гідродомкратів з можливістю ручного або автоматизованого керування подачею робочої рідини в їх порожнини для переміщення штоків;
- гідроприводи забійних опорних механізмів на основі гідродомкратів з можливістю ручного або автоматизованого керування подачею робочої рідини в їх порожнини (на деяких комбайнах);
- гідроприводи огорожувального щита на основі гідродомкратів з можливістю ручного або автоматизованого керування подачею робочої рідини в їх порожнини (тільки на комбайнах для потужних пластів);
- приводи підсистем переміщення видобувних комбайнів з можливістю дистанційного керування їх вмиканням і вимиканням та автоматичного керування швидкістю переміщення комбайна.

Розглянемо варіанти конструктивного виконання регульованих приводів підсистем переміщення видобувних комбайнів. Серед комбайнів попереднього

покоління широке розповсюдження знайшли електрогідромеханічні приводи (1К101У, 1ГШ68, РКУ12 тощо) та електромеханічні приводи на базі електромагнітних муфт (КА200, К103М, УКД200-250).

Електрогідромеханічні приводи виконані на основі об'ємної гідروпередачі «насос з регульованою подачею – гідромагістралі – 1 чи 2 гідромотори» (силовий контур). Структурна схема такої підсистеми переміщення показана на рис. 2.16.

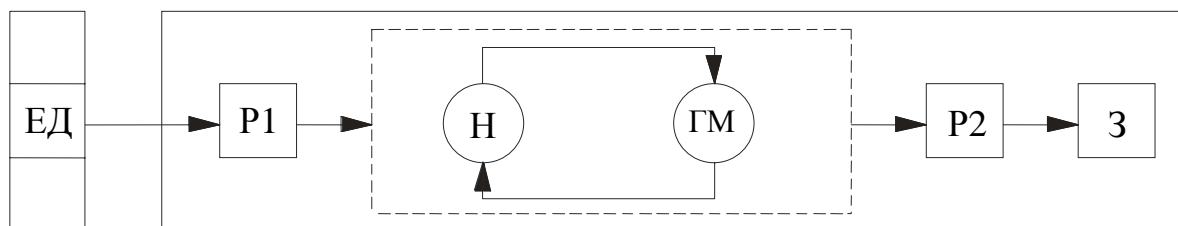


Рис. 2.16. Структурна схема електрогідромеханічного механізму переміщення комбайна

Обертальний момент з нерегульованого асинхронного електродвигуна ЕД передається на редукторні кінематичні кола Р1, що з'єднують вали ЕД та насоса Н. Робоча рідина з насоса Н під тиском подається до гідромотора, забезпечуючи обертання його вала. Обертальний момент з вала ГМ передається на редукторні кінематичні кола приводу подачі Р2, і далі – на привідну зірочку З рушія.

Застосування знайшли гідропередачі Н–ГМ із замкненою схемою циркуляції робочої рідини на основі аксиально- та радіально-плунжерних гідромашин. Регулювання швидкості обертання вала гідромотора ГМ здійснюється шляхом змінення робочого об'єму насоса Н за рахунок регулювання величини ексцентриситету  $e$  (зміщення осі ротора відносно осі статора) для радіально-плунжерних гідромашин або кута  $\alpha_n$  чашки для аксиально-плунжерних гідромашин. При зміні знаку  $e$  або  $\alpha_n$  змінюється напрямок руху комбайна.

В електрогідромеханічних приводах для регулювання швидкості обертання вала гідромотора застосовуються гідравлічний контур керування та допоміжні гідравлічні контури для підживлення з метою компенсації витоків, захисту підсистеми від перевантажень, розгальмовування запобіжних пристроїв. Гідравлічний контур керування включає два одноплунжерних насоси, гідрозамки, гідроциліндр, при переміщенні штока якого змінюється величина ексцентриситету  $e$  насоса, та електрогідророзподільник для автоматичного (автоматизованого) керування штоком гідроциліндра, а також гідророзподільник для ручного керування подачею робочої рідини в порожнини гідроциліндра.

Розглянемо основні особливості конструкції та роботи електромеханічних приводів переміщення видобувних комбайнів на базі електромагнітних муфт ковзання (рис. 2.17). Від нерегульованого асинхронного електродвигуна ЕД через проміжний редуктор Р1 до вихідного редуктора Р2, на останньому валу



якого розміщена привідна зірочка 3 рушія, обертання передається через регулятор швидкості на основі електромагнітної муфти ковзання.

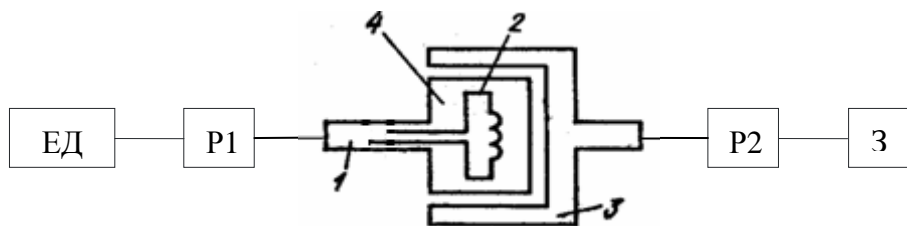


Рис. 2.17. Структурна схема електромеханічного механізму переміщення комбайна на базі електромагнітної муфти ковзання

В електромагнітній муфті ковзання (рис. 2.17) передача обертання від ведучого вала до веденого відбувається завдяки магнітному полю, яке створюється обмоткою збудження 2, що розташована на ведучому валу 1. При обертанні ведучого вала 1 (а разом з ним і обмотки 2) в корпусі веденої напівмуфти 3 наводиться ЕРС і виникає струм. Через взаємодію цього струму з магнітним полем, що створюється обмоткою 2, виникає обертальний момент, який захоплює ведену напівмуфту 3 слідом за ведучою 4.

Регулюючи постійний струм в обмотці збудження муфти в межах 0 – 6 А, можна змінювати магнітне зчеплення і, як наслідок, швидкість обертання веденої напівмуфти 3. В свою чергу це змінить швидкість обертання привідної зірочки 3 рушія.

На комбайнах застосовується програмне керування струмом в обмотці збудження муфти через мікроконтролер або ручне керування за допомогою потенціометра.

Набагато менше розповсюдження на комбайнах попереднього покоління отримали приводи підсистем переміщення на основі регульованих двигунів постійного струму з незалежним послідовним або змішаним збудженням в комплекті з перетворювачами електроенергії (1КШЕ, РКУП10, 1К10П). Застосовування цього приводу зумовило необхідність перетворення електроенергії від шахтної дільничної мережі змінного струму в енергію постійного струму. Завдання необхідних робочих режимів приводу здійснюється за допомогою тиристорної станції, що виконує роль випрямляча.

На комбайнах сучасного покоління приводи переміщення виконуються як частотно-регульовані електроприводи на базі асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором в комплекті з перетворювачем частоти (ПЧ). Схема такої підсистеми переміщення наведена на рис. 2.18. До перетворювача частоти ПЧ з трансформаторної підстанції ТП надходить змінна напруга 1140 В з частотою 50 Гц. Перетворювач частоти формує необхідні закони зміни частоти і величини діючого значення напруги на силовому виході та відповідно необхідні штучні статичні механічні характеристики електродвигуна приводу подачі ЕД згідно з керуючими сигналами, що надходять від комплексу апаратури автоматизації. Кожній штучній статичній механічній характеристиці



ЕД відповідає своя швидкість обертання ротору, причому закони зміни параметрів напруги живлення забезпечують стабілізацію перевантажувальної здібності (критичного моменту) електродвигуна. При зміні швидкості обертання ротора ЕД також змінюється швидкість обертання привідної зірочки З рушія, обертальний момент до якої передається через кінематичні редукторні кола Р приводу подачі.

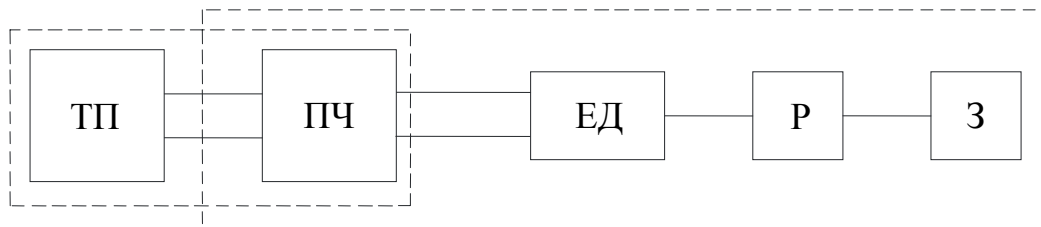


Рис. 2.18. Структурна схема електромеханічного механізму переміщення комбайна на базі частотно-регульованого електропривода

При проектуванні ПЧ враховують специфічні умови та особливості роботи видобувних комбайнів. Тому перетворювачі частоти для видобувних комбайнів роблять стійкими до короточасних знижень номінальної напруги живлення за умови запуску електродвигунів до 75 % від номінального значення (за умови нормальної роботи – до 92 %). Крім того, при переміщенні комбайна вниз можливий його розгін під дією власної ваги. Тому ПЧ повинен забезпечувати режим рекуперативного гальмування з підтримкою заданої швидкості подачі.

В загальному випадку ПЧ з проміжним контуром постійного струму складається з випрямляча, фільтра та інвертора (рис. 2.19). Спочатку змінна напруга на вході ПЧ за допомогою діодного випрямляча перетворюється в постійну та згладжується в проміжному колі індуктивно-ємнісним фільтром. Інвертор здійснює зворотне перетворення постійного струму у змінний з необхідним значенням амплітуди та частоти, використовуючи метод широтно-імпульсної модуляції. Сигнал на виході інвертора, що являє собою послідовність імпульсів напруги постійної амплітуди та змінної тривалості, набуває синусоїдальної форми завдяки індуктивному навантаженню, яким є обмотки електродвигуна.

Конструктивно ПЧ являє собою мідну плиту з каналами для водяного охолодження та встановленими на ній силовими ключами, замість яких застосовуються швидкодіючі біполярні транзистори з ізолюваною базою IGBT. Транзистори зібрані зустрічно-паралельно з високовольтним діодом та виконані у вигляді єдиного модуля. На основі силових ключів реалізується інвертор. Переключенням ключів згідно з методом широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) керує вбудований мікропроцесорний модуль (система керування на рис. 2.19), що має зв'язок з апаратурою автоматизації комбайна через швидкісний послідовний канал зв'язку.

Діапазон регулювання частоти напруги живлення електродвигунів приводів подачі за допомогою ПЧ для комбайна УКД300 становить 2,5 – 70,6 Гц, для

комбайна КДК400 – 2,5 – 87,5 Гц, для комбайнів КДК500 та КДК700 – 2,5 – 125 Гц. Для всіх комбайнів діапазон регулювання діючого значення напруги становить 56 – 950 В.

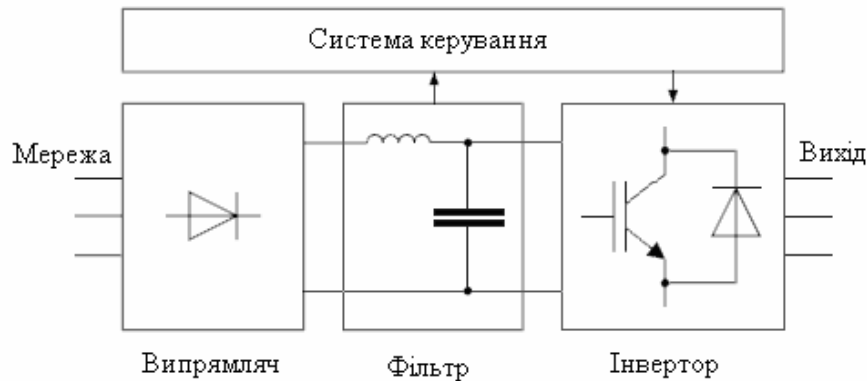


Рис. 2.19. Структурна схема перетворювача частоти

Як підсумок, наведемо статичні характеристики виконавчих елементів приводів переміщення видобувних комбайнів.

Всі статичні характеристики на рис. 2.20 є лінійними з виділеним робочим діапазоном зміни вихідної величини, якою є колова частота обертання вала приводу. Для видобувних комбайнів максимальне значення колової частоти обертання вала приводу  $n_{max}$  дорівнює, як правило, 1000 або 1500 об/хв.

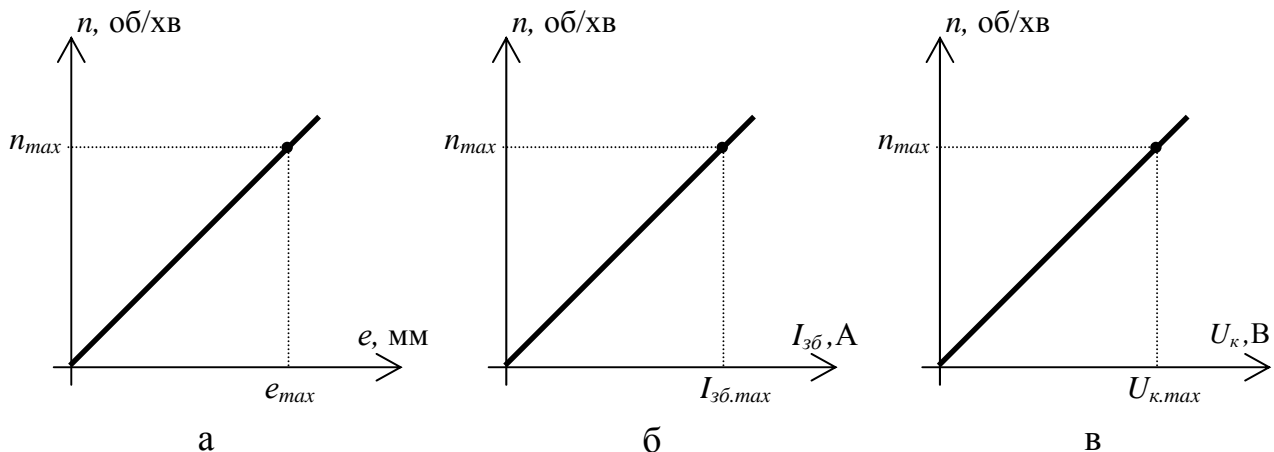
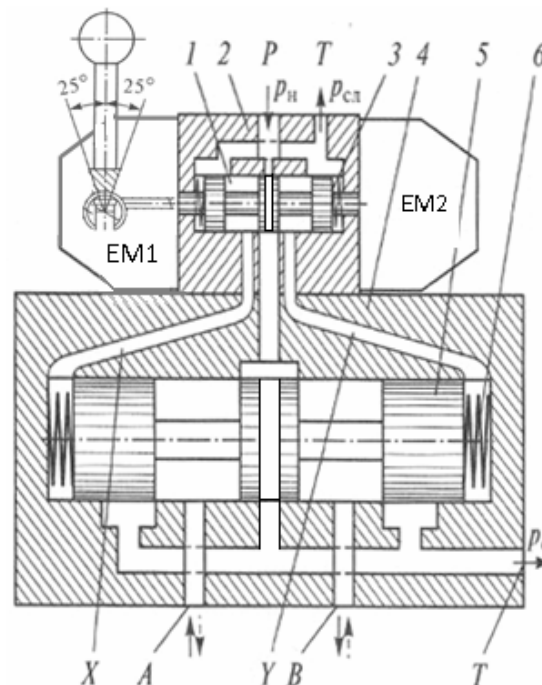


Рис. 2.20. Статичні характеристики гідропередачі Н – ГМ (а); електромагнітної муфти ковзання (б); частотно-регульованого електропривода (в)

Для гідропередачі Н – ГМ вхідною величиною статичної характеристики є ексцентриситет  $e$  насоса (рис. 2.20, а). Максимальний ексцентриситет  $e_{max}$  у різних насосів складає 10 – 17,5 мм.

Для електромагнітної муфти ковзання вхідною величиною статичної характеристики є постійний струм в обмотці збудження (рис. 2.20, б). Максимальне значення струму в обмотці збудження ( $I_{зб.max}=7...9$  А) відповідає максимальній коловій частоті обертання вала приводу  $n_{max}$ .

Для реалізації дистанційного або ручного керування подачею робочої рідини в порожнини гідродомкратів гідроприводів комбайна використовують гідророзподільники з електрогідравлічним керуванням та можливістю ручного керування. Гідророзподільники можуть бути три- (УКД200, рис. 2.21) або двопозиційні (УКД400).



Електрогідророзподільник 2 та силовий гідророзподільник 4 зв'язані каналами X та Y. За відсутності керуючих сигналів на електромагніти ЕМ1 та ЕМ2 електрогідророзподільника золотники 1 та 5 розподільювачів знаходяться в нейтральних позиціях (посередині). При цьому напірна магістраль  $P_n$  з'єднана зі зливною  $P_z$ , а магістралі А та В, що йдуть до порожнин гідродомкрата, перекриті.

86

перепад тиску, під дією якого він зміщується вправо. При цьому напірна магістраль  $P_n$  від'єднується від зливної  $P_z$  та з'єднується з магістраллю  $A$ , а магістраль  $B$  з'єднується зі зливною магістраллю  $T$ . Це приводить до переміщення штоку гідродомкрата праворуч. При зникненні сигналу пружини 3 повертають золотник 1 в нейтральне положення. В результаті не буде перепаду тиску на торцях золотника 5, що надасть йому нейтрального положення за допомогою пружин 6. Магістралі  $A$  та  $B$  перекриваються, а напірна магістраль  $P_n$  з'єднується зі зливною  $T$ .

Якщо сигнал поступить на ЕМ2, золотники 1 та 5 перемістяться ліворуч. Це приведе до з'єднання магістралей  $P$  та  $B$ , а також  $T$  та  $A$ . При цьому шток гідродомкрата переміщується ліворуч.

Аналогічні процеси протікають при ручному керуванні гідророзподільником. В такому випадку переміщення золотника 1 викликає не спрацьовування електромагнітів, а переміщення важеля ліворуч та праворуч. Пружини 3 забезпечують самостійне повернення золотника 1 та важеля в нейтральне положення за умови відпускання важеля.

Слід зазначити, що в магістралях  $A$  та  $B$  знаходяться запобіжні клапани, що спрацьовують при тиску 40 МПа. Вони захищають порожнини гідродомкрата від перевантаження.

У двопозиційних гідророзподільниках золотники 1 та 5 мають тільки дві позиції. В нейтральній позиції, коли відсутній керуючий сигнал, порожнини гідродомкрата з'єднані зі зливом та заперті гідрозамками, а напірна магістраль перекрита. Спрацьовування електромагнітів спричинює відкриття напірної магістралі та її з'єднання з відповідною порожниною гідродомкрата. Водночас робоча рідина під тиском подається під розвантажувальний поршень гідрозамка в магістралі протилежної порожнини для відкриття гідрозамка та з'єднання порожнини зі зливом.

У деяких гідросистемах комбайнів (УКД400) застосовується система розвантаження насосів від тиску. Для цього використовується спеціальний розподільник з електромагнітним приводом, який керує розвантажувальною лінією, що з'єднує насос з маслобаком. До маслобака робоча рідина перетікає під низьким тиском (3 МПа) по внутрішнім дроселям. Якщо насос вимкнений, розвантажувальна лінія з'єднана зі зливом. За умови вмикання електродвигуна насоса вмикається електромагніт розподільника та розвантажувальна лінія з'єднується з напірною магістраллю.

Дамо характеристику функцій керування, які мають бути реалізовані при автоматизації видобувного комбайна, структурної схеми системи керування, схеми електрообладнання та графа переходів (схеми алгоритму), що описує закон керування гірничою машиною та за яким розробляється програмне забезпечення.

Вимоги до систем автоматичного керування (САК) видобувними комбайнами (F-модель) формуються на основі проекту національного стандарту України «Комбайни шахтні очисні. Загальні технічні умови» та з оглядом на специфічні вимоги, що пов'язані з умовами роботи в забої. Функції, що виконують САК видобувними комбайнами згідно із сформованими вимогами, за своєю спрямованістю можна поділити на такі групи:

- функції керування видобувними комбайнами та механізмами очисного комплексу;
- функції для запобігання роботі видобувних комбайнів в аварійному режимі;
- функції запуску видобувного комбайна та механізмів очисного комплексу в нормальному режимі.

Функції керування видобувними комбайнами та механізмами очисного комплексу:

- вибір пульта керування комбайном (один з місцевих пультів керування або пульт радіокерування переносний);
- дистанційне або телемеханічне керування пускачами електродвигунів комбайна, *конвеєра* та лебідки з обраного пульта керування (за допомогою спеціального додаткового кабелю або допоміжних жил силового кабелю);
- керування швидкістю подачі видобувного комбайна за допомогою одного з місцевих пультів керування («ПМК»), переносного пульта радіокерування в зоні видимості («Радіо») або пульта керування штрекового («Штрек»);
- стабілізація швидкості подачі видобувного комбайна з урахуванням обмежень відносно *транспортування вугілля конвеєром*, інтенсивності виділення метану, *швидкості зведення кріплення*, перевантажувальної здібності електродвигунів приводів різання;
- стабілізація навантаження найбільш завантаженого електродвигуна приводу різання із забезпеченням стійкої роботи комбайна за умов зміни міцності руйнівного масиву у чотири рази (при середній міцності 100 Н/мм) або у 2,5 рази (при середній міцності 240 Н/мм), параметрів регулятора, площі затуплення зубців, *довжини ланцюгового тягового органу* тощо (при цьому враховуються всі обмеження, перелічені у попередньому пункті);
- стабілізація швидкості подачі із переходом до режиму стабілізації навантаження електродвигуна приводу різання, якщо виконується умова щодо його перевантаження, з наступним поверненням до стабілізації швидкості подачі при невиконанні вказаної умови;
- *координація поточних значень кута розташування зірки, що підтягує холосту гілку тягового ланцюга, відносно зірки, що переміщує робочу гілку тягового органу*;
- автоматизоване або ручне керування положенням виконавчих органів видобувного комбайна за допомогою місцевого пульта керування, що встановлений на корпусі комбайна біля органу («Місцеве»), або за допомогою переносного пульта радіокерування («Радіо»);
- плавна зміна швидкості подачі в перехідних режимах (крім аварійного зупинення);
- зниження швидкості подачі комбайна до нуля з його механічним стопорінням на 2 – 3 с при надходженні з пульта керування команди на реверс комбайна;
- корегування струмової уставки при стабілізації потужності електродвигуна приводу різання в бік зменшення за умови збільшення температури електродвигуна на довгий час;

- екстренне механічне гальмування видобувного комбайна за умови його аварійної зупинки;

- вихід видобувного комбайна у кінцеву частину забою з необхідною швидкістю та його автоматична зупинка при спрацьовуванні кінцевого датчика положення;

- контроль напрямку переміщення комбайна та його місцеположення в лаві.

Функції для запобігання роботі видобувних комбайнів в аварійному режимі:

- всі захисні вимкнення та блокування, що виконує станція керування на штреку (перелічені у другому підрозділі) відносно електродвигунів комбайна;

- зупинка комбайна, якщо не витримується відстань між верхнім працюючим органом та консолями передніх секцій;

- зупинка та захисне вимикання за умов перекидань, перевантажень та пусків, що не відбулися, електродвигунів комбайна;

- зупинка комбайна та захисне вимикання за умови перегріву його електродвигунів або мастила в редукторах приводів різання;

- зупинка комбайна та захисне вимикання за умови перегріву перетворювача частоти напруги живлення електродвигунів приводів подачі;

- зупинка та захисне вимикання за умови неприпустимої концентрації скупчення метану в зоні розташування комбайна або в струмені повітря, що виходє з лави;

- електричне блокування, що не допускає запуск або роботу комбайна за умови неприпустимого зниження тиску та витрати води в підсистемі зрошення та охолодження комбайна;

- електричне блокування, що не допускає запуск або роботу комбайна, якщо рівень мастила в маслобачі гідросистеми або масляних ваннах редукторів приводів різання нижче за критичну позначку;

- зупинка комбайна та захисне вимикання за умови збільшення тиску робочої рідини в гідросистемі вище за критичну позначку (чи його зниження нижче від критичного рівня);

- зупинка комбайна за умови перевищення температури води в системі охолодження корпусів електродвигунів та редукторів критичного значення;

- електричне блокування, що не допускає запуск або роботу комбайна, якщо тиск робочої рідини в гальмівних пристроях нижче за критичне значення;

- електричне блокування, що не допускає початок руху комбайна, якщо розгальмовування комбайна не відбулося;

- зупинка комбайна та захисне вимикання, якщо натяг кабелеукладача вище ніж припустимий;

- зупинка комбайна за умови неприпустимого рівня вібрації корпусу приводу різання;

- блокування аварійного зупинення комбайна при виході контрольованих параметрів за припустимі межі менше ніж на 2 – 5 с;

- вимкнення всіх пускачів електродвигунів комбайна або механізмів очисного комплексу (за умови керування з ПМК) при натисканні кнопки

«СТОП АВАРІЙНИЙ» на пультах керування місцевих, переносному, штрековому *або з абонентських постів зв'язку вздовж лави*;

- контроль за станом телемеханічного каналу керування комбайном (зупинка комбайна за умови відсутності телемеханічного зв'язку з пультом керування штрековим у режимі «Штрек» протягом 5 с);

- контроль за станом радіоканалу керування комбайном (зупинка комбайна за умови відсутності радіозв'язку з переносним пультом керування в режимі «Радіо» протягом 5 с);

- блокування ввімкнення випромінювача акустичного перед початком руху комбайна, якщо комбайн стояв не більше ніж 5 с;

- контроль за іскробезпекою кіл дистанційного керування;

- блокування, що повертає й утримує схеми керування у вимкненому стані за умови будь-якого захисного вимкнення або відмови механізмів;

- відображення контрольної, оперативної та аварійної інформації на пультах керування з передачею цієї інформації на верхній рівень.

Для реалізації запуску видобувного комбайна та механізмів очисного комплексу в нормальному режимі САК повинні забезпечувати:

- *запуск механізмів очисного комплексу за спеціальним алгоритмом (розглянутий у другому підрозділі), якщо керування відбувається з ПМК або переносного пульта*;

- дистанційне або телемеханічне вмикання всіх пускатів електродвигунів видобувного комбайна з обраного пульта керування;

- плавну зміну швидкості подачі при розгоні видобувного комбайна (прискорення не більше ніж  $1 \text{ м/с}^2$ );

- *динамічне або механічне гальмування електродвигунів приводів подачі видобувного комбайна на 2 – 3 с перед його запуском.*

Курсивом виділені функції, що властиві тільки системам автоматичного керування комбайнами для пологих пластів. Системи автоматичного керування видобувними комбайнами для крутих пластів додатково виконують такі функції:

- автоматична синхронізація швидкостей переміщення запобіжного каната та комбайна (швидкостей обертання робочого та запобіжного барабанів лебідки);

- зупинка комбайна, якщо натяг запобіжного каната нижче за припустимий (прийнято 15 кН);

- зупинка комбайна, якщо тягове зусилля електродвигуна приводу лебідки (зусилля намотування робочого канату) перевищує номінальну величину більш ніж на 15 %;

- зупинка та захисне вимкнення за умов перекидання, перевантаження та пуску, що не відбувся, електродвигуна лебідки;

- електричне блокування, що не допускає запуск або роботу комбайна, якщо тиск робочої рідини в нагнітальній магістралі гідросистеми гальмівного пристрою лебідки нижче за критичне значення (11 – 14,5 МПа).

Розглянемо структурну схему систем автоматичного керування, що встановлені на видобувних комбайнах (рис. 2.22). При цьому в складному об'єкті керування, яким є комбайн, виділимо окремі підсистеми згідно з підходом, який був застосований при аналізі М+С-компонент. Кожна підсистема має свій набір

датчиків та виконавчих пристроїв для реалізації дистанційного (автоматизованого або автоматичного) керування з підтримкою захисних вимикань та блокувань.

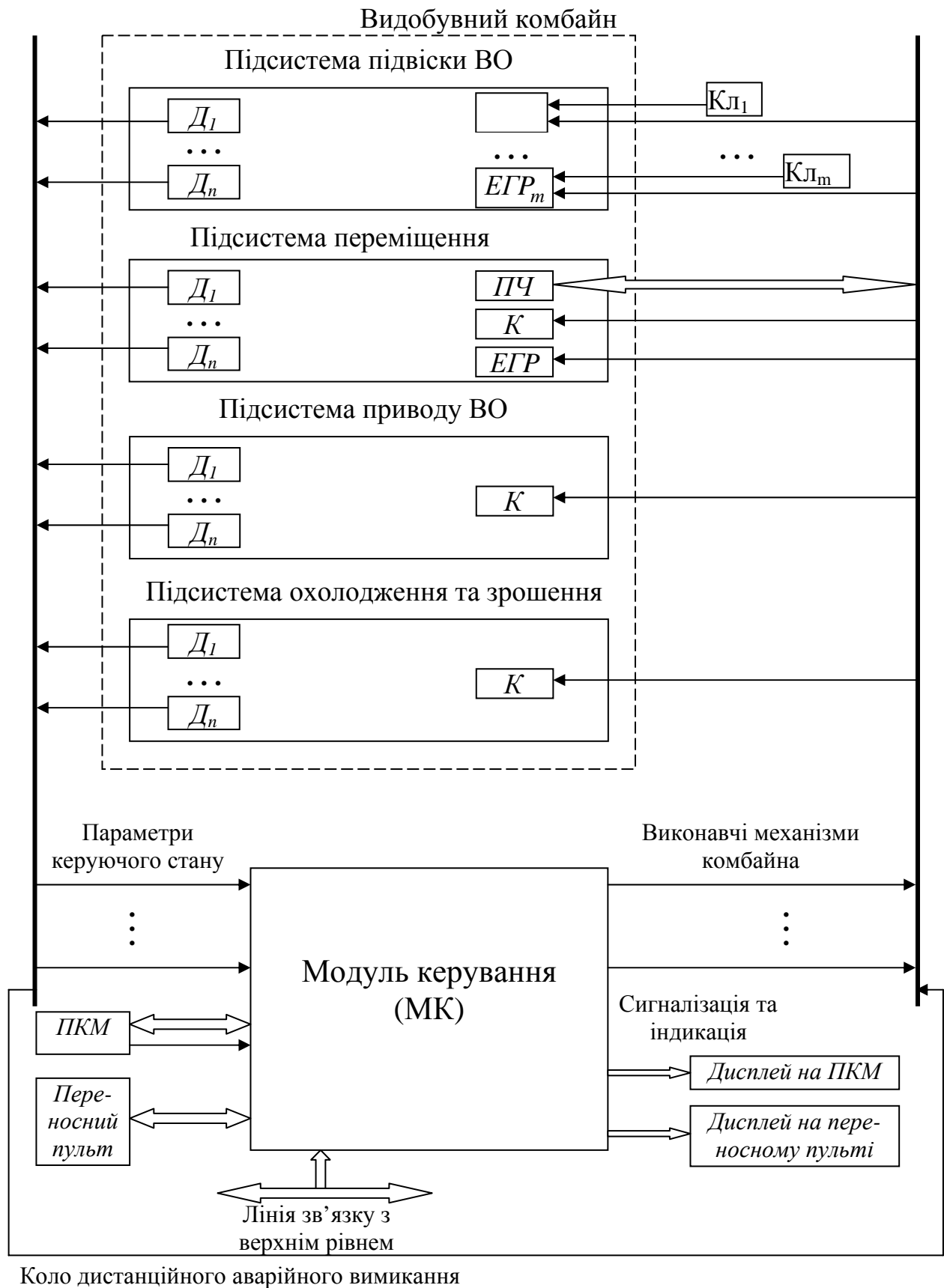


Рис. 2.22. Структурна схема системи керування видобувним комбайном



В підсистемах переміщення для автоматизованого та автоматичного керування швидкістю подачі комбайна застосовуються датчики швидкості подачі, датчики струмів статорів електродвигунів приводів різання, а також перетворювач частоти (електромагнітні муфти ковзання або гідроциліндр).

На комбайнах попереднього покоління з електрогідромеханічними приводами переміщення швидкість подачі заміряється диференціальним індуктивним датчиком, що реагує на переміщення статора гідронасоса. Датчик містить дві котушки індуктивності, всередині яких розміщується осердя, механічно зв'язане зі статором гідравлічного насоса приводу переміщення. Залежно від величини та напрямку переміщення осердя змінюються індуктивні опори котушок та відповідно струми, що протікають у них.

На комбайнах попереднього покоління з приводами переміщення на базі електромагнітних муфт ковзання використовують герконовий датчик швидкості подачі. Всередині його корпусу знаходяться два геркони та рухомий барабан, що має кінематичний зв'язок з муфтою. На барабані розміщені вісім постійних магнітів. При обертанні муфти й відповідно барабана магніти проходять повз геркони, формуючи на обох виходах датчика (для кожного геркона своє вихідне коло) імпульсний сигнал, частота якого пропорційна швидкості обертання вала муфти. Сигнали по окремих двопровідних колах (тонкі лінії на рис. 2.22) надходять до системи керування, де відбувається їх програмна обробка: за кількістю імпульсів визначаються переміщення та швидкість обертання барабана, а за різницею фаз сигналів – напрямком переміщення комбайна. Шляхом помноження величин переміщення та швидкості обертання барабана на відповідні константи переходять до величин переміщення та швидкості подачі комбайна.

Схожий принцип дії має датчик швидкості подачі на видобувних комбайнах сучасного покоління. Але замість герметичних контактів застосовують два окремих двопровідних індуктивних датчики постійного струму з вихідним опором, що змінюється при надходженні до чуттєвого елемента металевого контролюючого об'єкта. Датчики вкручуються у встановлювальний диск (рис. 2.23), який фіксується на корпусі редуктора приводу подачі двома притискними пластинами таким чином, щоб металеві зубці однієї із зірочок редуктора проходили повз чуттєві елементи датчиків та приводили до їх спрацьовування. Шляхом обертання диска встановлюється таке положення датчиків, при якому діаграми їх спрацьовування перекриваються на 50 % (рис. 2.24).

На рис. 2.24 перший стан виходів датчиків ( $K_n=1$ ) відповідає ситуації, коли на обох виходах датчиків напруги високого рівня немає (зубець зірочки відсутній). Протягом другого стану ( $K_n=2$ ) напруга є лише на виході другого датчика. Третій стан ( $K_n=3$ ): напруга високого рівня є на обох виходах датчиків. Четвертий стан ( $K_n=4$ ): напруга є лише на виході першого датчика.

Як видно з рис. 2.24, за умови переміщення комбайна праворуч величина  $K_n$  змінюється в послідовності «1»→ «4»→ «3»→ «2», а за умови переміщення ліворуч – в послідовності «1»→ «2»→ «3»→ «4». Таким чином, характер послідовності зміни величини  $K_n$  (характер послідовності зміни напруг на виходах датчиків) дозволяє визначити напрямком переміщення комбайна.

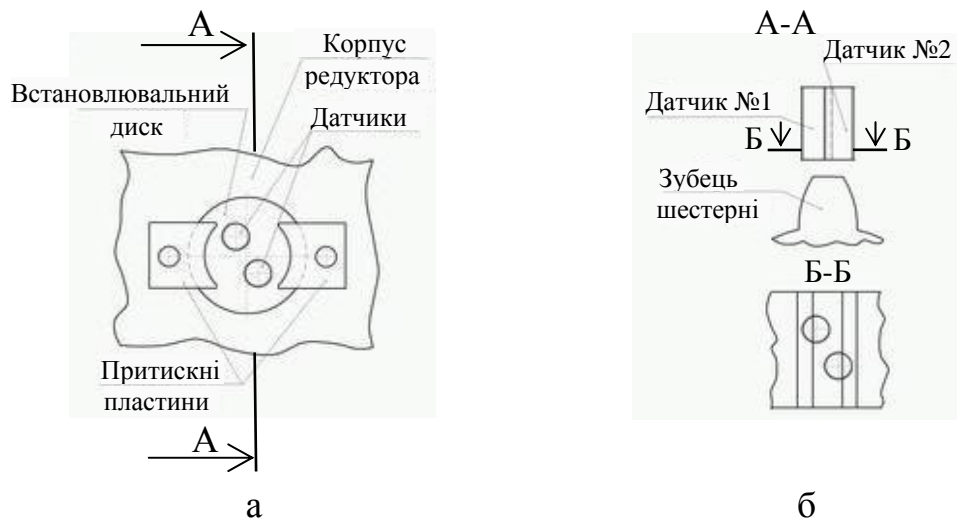


Рис. 2.23. Схеми розміщення та кріплення датчиків швидкості подачі:  
а – вид зверху; б – вид збоку

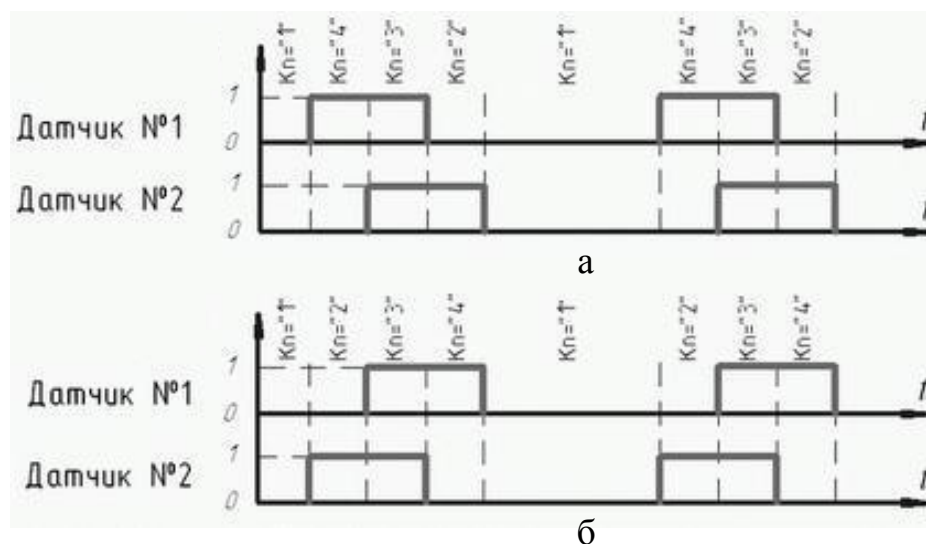


Рис. 2.24. Діаграми спрацьовування датчиків швидкості подачі при переміщенні комбайна:  
а – праворуч; б – ліворуч

Для розрахунку переміщення зірочки використовується лічильник імпульсів, які надходять від одного з датчиків. Лічильник «скидається» кожного разу за умови спрацьовування дискретного датчика кінцевого положення комбайна. Після визначення напрямку переміщення комбайна вміст лічильника збільшується, якщо витримується відповідна послідовність зміни напруг на виходах датчиків, та зменшується, якщо послідовність зворотна. Переміщення зірочки розраховується як добуток кількості імпульсів  $N$  на константу « $2\pi r$ », де  $r$  – радіус зірочки. Швидкість обертання зірочки визначається як переміщення зірочки за певний проміжок часу.

Для заміру струмів статорів електродвигунів комбайна як чутливий елемент використовують трансформатори струму, які в поєднанні з навантажувальним резистором служать для перетворення струму в постійну (за

наявності випрямляча) напругу. Статичні характеристики розглянутих датчиків подані на рис. 2.25.

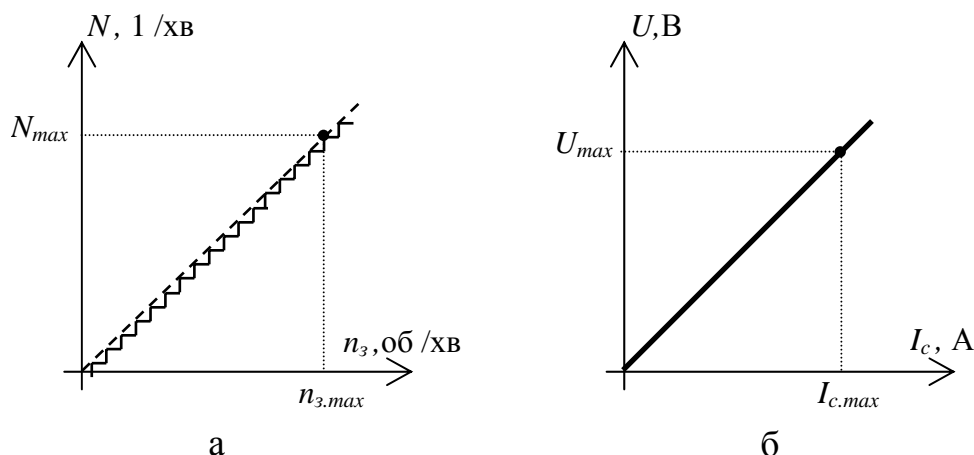


Рис. 2.25. Статичні характеристики датчиків:  
а – швидкості подачі комбайна; б – струму статора електродвигуна приводу різання

Статична характеристика датчика швидкості подачі на основі двох герконів або індуктивних датчиків (після програмної обробки імпульсних сигналів з датчиків) є східчастою (рис. 2.25, а). Точність датчика (висота сходинок) залежить від кількості зубців на контрольованій шестерні та передавального числа від шестерні до вала двигуна. Вихідною величиною статичної характеристики датчика швидкості є кількість імпульсів  $N$  за певний проміжок часу (хвилину), вхідною – швидкість обертання контрольованої зірочки редуктора приводу подачі  $n_z$ , об/хв. Максимальне значення швидкості обертання зірочки  $n_{z,max}$  зумовлене технічними рішеннями датчиків подачі. З одного боку, швидкість обертання не повинна бути занадто високою, щоб забезпечувалася необхідна для нормальної роботи датчика відстань між імпульсами. З іншого – чим більше швидкість обертання зірочки, тим більше точність датчика.

Статична характеристика датчика струму статора електродвигуна приводу різання є лінійною (рис. 2.25, б). Вхідною величиною є номінальний струм статора  $I_c$ , максимальне значення  $I_{c,max}$  якого для сучасних видобувних комбайнів знаходиться в межах від 100 до 250 А. Вихідною – напруга на виході трансформатора струму  $U$ , максимальне значення  $U_{max}$  якої залежить від технічного рішення датчика.

Щодо вихідних сигналів датчиків, то широке розповсюдження здобуло використання уніфікованих сигналів постійного струму 0–5 мА (опір навантаження до 2,5 кОм) та постійної напруги 0–1 та 0–10 В (опір навантаження не менше ніж 2 кОм).

По телемеханічному каналу зв'язку (подвійні лінії на рис. 2.22) на початку та в процесі роботи підсистеми переміщення до блоку МК з ПКМ (або «Переносного пульта») надходить така інформація:

- обраний спосіб автоматизації режимів роботи комбайна (перевіряються контакти перемикача «Стабілізація швидкості подачі» – «Стабілізація потужності» на пульті керування);

- уставка швидкості подачі.

Ця інформація разом із сигналами від датчиків швидкості подачі та струмів статорів електродвигунів приводів різання використовується при розрахунку керуючого сигналу для перетворювача частоти (передається з блоку МК до ПЧ по послідовному каналу зв'язку).

Дистанційне керування контактором К електродвигунів підсистем переміщення відбувається за допомогою окремого двопровідного кола «ПКМ (Переносний пульт) – К» повз контролер (рис. 2.10) за умови натиснення кнопок «ПОДАЧА» та «СТОП ПОДАЧА» на обраному пульті керування.

До складу підсистеми переміщення входять такі датчики для виконання захисних вимкнень та блокувань роботи комбайна:

- дискретні датчики концентрації скупчення метану біля комбайна, які спрацьовують при перевищенні концентрації рівня 2 %;
- дискретні датчики струмів статорів електродвигунів приводів подачі, що спрацьовують за умови перевищення струмом номінального значення  $I_n$  більш ніж на 80 % протягом 2 с;
- дискретні датчики тиску робочої рідини, що подається в порожнини розвантажувальних плунжерів гальмівних пристроїв (спрацьовують, якщо тиск нижче за 3 МПа);
- дискретні датчики температури обмоток електродвигунів, що реалізують дворівневий температурний захист: для кіл попередньої сигналізації передбачені позистори з температурою спрацьовування 160°C, а в коло аварійного вимикання встановлені термореле з температурою спрацьовування 180°C;
- дискретні датчики для температурного захисту підшипникових вузлів двигунів, які спрацьовують при 120°C;
- дискретні датчики температури повітря всередині корпусу перетворювача частоти (з температурою спрацьовування 60°C) та температури його силових модулів;
- датчики положення фрикційних дисків гальмівних пристроїв;
- датчик натягу кабелеукладача.

Блок-контакти всіх дискретних датчиків, що призначені для захисних вимкнень та блокувань роботи комбайна, включені послідовно в двопровідне коло дистанційного аварійного вимикання пускача комбайна та всіх пускачів механізмів очисного комплексу (рис. 2.22). Їх спрацьовування приводить до розмикання кола дистанційного аварійного вимикання та, як наслідок, кіл живлення котушок контакторів електродвигунів (як це показано на рис. 2.10). Крім того, кожен датчик зв'язаний із системою автоматичного керування окремим двопровідним колом для програмної індикації його спрацьовування.

В коло дистанційного аварійного вимикання пускачів комбайна також включені блоки максимального струмового захисту, контролю опору кіл заземлення, захисту від струмів витоку та інші блоки захисних вимкнень, які входять до складу перетворювача частоти.

До складу підсистеми переміщення також входить датчик кінцевого положення комбайна (кінця лави), спрацьовування якого приводить до зупинки комбайна та скидання лічильника імпульсів з виходу датчика швидкості подачі.

Дискретні датчики, спрацьовування яких зупиняє комбайн, але не знеструмлює його електродвигуни, не включені в коло дистанційного аварійного вимикання. Вони зв'язані із САК окремими колами, розмикання яких блокуваннями датчиків приводить до встановлення нульової уставки швидкості подачі комбайна та програмної індикації їх спрацьовування (рис. 2.22).

У підсистемах підвіски ВО для автоматизованого та ручного керування двома гідродомкратами застосовуються чотири електрогідророзподільники ЕГР1 – ЕГР4 з допоміжним ручним керуванням (рис. 2.21). Кожен ЕГР керує подачею (та зливом) робочої рідини у відповідну порожнину одного з гідродомкратів. У гідросистемах деяких комбайнів (УКД400) використовується ще один електрогідророзподільник ЕГР5 для автоматичного вмикання розвантаження насоса (без ручного керування). Сигнали на електромагніти ЕГР1 – ЕГР4 надходять по двопровідних колах дистанційного керування з ПКМ (або з переносного пульта) за умови натиснення відповідних кнопок, а до ЕГР5 – по окремому двопровідному колу із системи керування. Ручне керування золотниками ЕГР1 – ЕГР4 здійснюється за допомогою відповідних клавіш Кл, що розташовані на пультах керування місцевих (ПКМ на рис. 2.22).

До складу підсистеми підвіски ВО входять такі датчики для виконання захисних вимкнень та блокувань роботи комбайна:

- дискретний датчик тиску робочої рідини в напірній магістралі гідросистеми, спрацьовує за умови перевищення допустимого значення тиску 20 МПа;

- дискретний датчик рівня масла в маслобаку гідросистеми, який спрацьовує за умови зниження рівня нижче за критичну позначку.

Єдиним виконавчим елементом підсистеми приводу ВО є контактор К електродвигунів приводів різання комбайна (рис. 2.22). Керуючий сигнал до контактора К надходить по окремому двопровідному колу із системи керування (автоматичне вмикання згідно з алгоритмом запуску комбайна).

До складу підсистеми приводу ВО входять такі датчики для виконання захисних вимкнень та блокувань роботи комбайна:

- дискретні датчики струмів статорів електродвигунів приводів різання, що спрацьовують за умови перевищення струмом номінального значення  $I_n$  більш ніж на 50 % протягом 7 с або в 2,5 раза протягом 2 с;

- дискретні датчики температури обмоток електродвигунів, що здійснюють дворівневий температурний захист: для кіл попередньої сигналізації з температурою спрацьовування 160°C, для кола аварійного вимкнення з температурою спрацьовування 180°C;

- дискретні датчики для температурного захисту підшипникових вузлів двигунів, які спрацьовують при 120°C;

- дискретні датчики температури масла в масляних ваннах редукторів приводів різання – спрацьовують, якщо різниця між температурою масла та температурою навколишнього середовища більше ніж 80°C;

– дискретні датчики рівня масла в масляних ваннах редукторів приводів різання, які спрацьовують за умови зниження рівня нижче за критичну позначку.

До складу підсистем приводу ВО також входять дискретні датчики вібрації корпусу ПБР, спрацьовування яких приводить до зупинки комбайна за умови перевищення вібрації корпусу допустимого рівня.

Підсистема охолодження та зрошення також має єдиний виконавчий елемент – контактор К електродвигуна насосної установки (рис. 2.22). Керуючий сигнал до контактора К надходить по окремому колу із системи керування (автоматичне вмикання згідно з алгоритмом запуску комбайна).

До складу підсистеми охолодження та зрошення входять такі датчики для виконання захисних вимкнень та блокувань роботи комбайна:

– дискретний датчик тиску води у водопроводі, який настроєний на мінімальний 1,5 МПа та максимальний 2 МПа рівні спрацьовування;

– дискретний датчик загальної витрати води на комбайні, який спрацьовує, якщо витрати перевищують рівень 300 – 480 л/хв;

– дискретні датчики витрати води в каналах охолодження електродвигунів приводів різання, які спрацьовують за умови зниження витрати нижче за допустимий рівень 40 – 60 л/хв;

– дискретні датчики витрати води в каналах охолодження редукторів приводів різання, які спрацьовують за умови зниження витрати нижче за допустимий рівень 15 л/хв;

– дискретний датчик витрати води в каналі охолодження перетворювача частоти, який спрацьовує за умови зниження витрати нижче за допустимий рівень 5 – 10 л/хв.

До складу підсистеми охолодження та зрошення також входить дискретний датчик температури води в трубопроводі, спрацьовування якого приводить до зупинки комбайна за умови перевищення температурою води допустимої позначки 25°C.

До всіх ПМК по послідовному каналу зв'язку (подвійні лінії на рис. 2.22) та до переносного пульта по радіоканалу із системи керування передається така інформація (із світловою індикацією за допомогою світлодіодів та програмною індикацією на дисплеях пультів керування):

– величини струмів статорів двигунів та місцезнаходження видобувної машини в лаві із значенням швидкості подачі та напрямком переміщення;

– стан виконавчих елементів комбайна (контакторів електродвигунів та ЕГР) – увімкнені або вимкнені;

– спрацьовування датчиків для реалізації захисних зупинок, вимкнень та блокувань роботи комбайна;

– спрацьовування струмового захисту силових та інформаційних кіл (коротке замикання, зниження опору ізоляції тощо) з уточненням місця та причини спрацьовування.

Перелічені датчики та виконавчі пристрої входять до Е-компоненти видобувного комбайна. Вони приєднуються до модулів керування (з мікропроцесорами, перетворювачами, підсилювачами, схемами вводу-виводу тощо), які теж входять до складу Е-компоненти комбайна. Розглянемо

розміщення датчиків та виконавчих пристроїв на видобувних комбайнах та їх зв'язок з модулями керування на основі схем електрообладнання комбайнів УКД300 (рис. 2.26) та КДК500 (рис. 2.27).

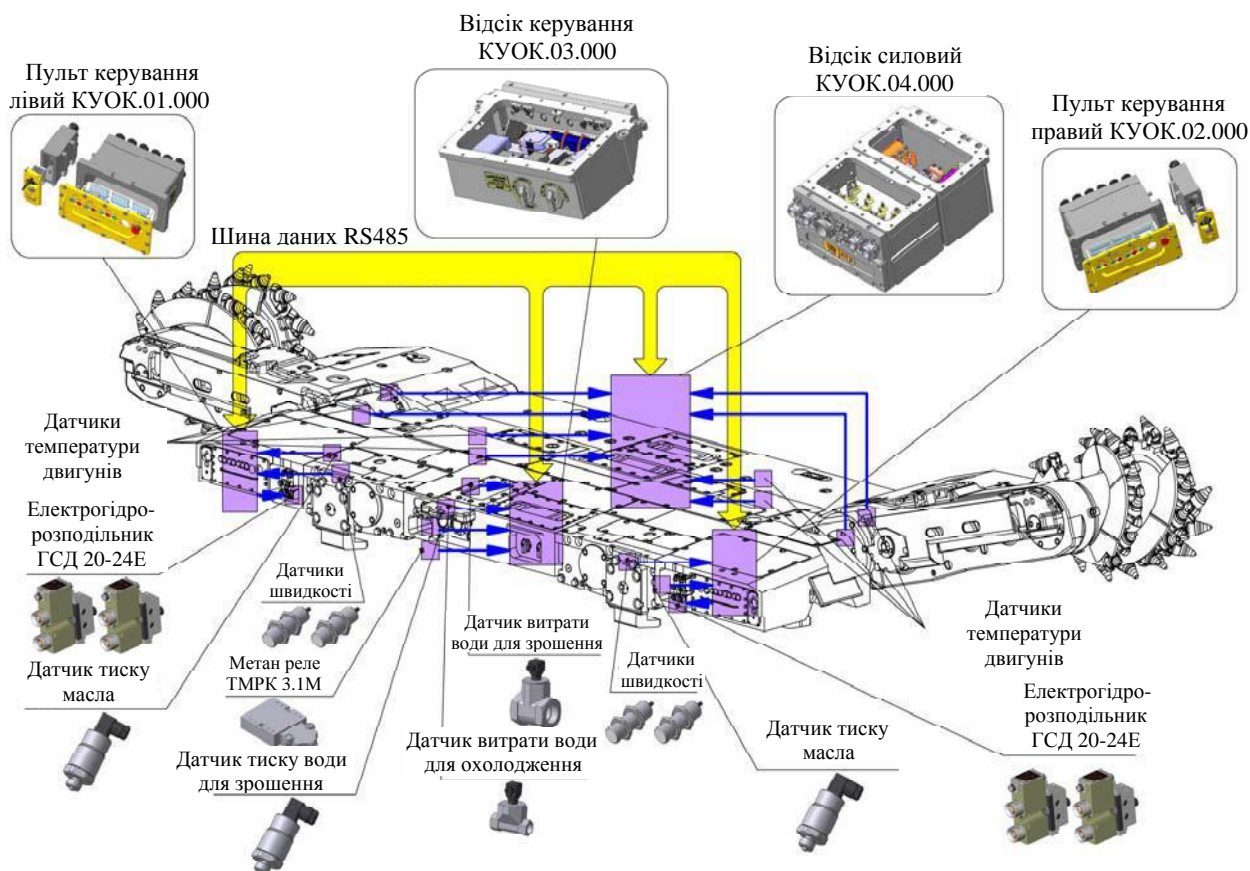


Рис. 2.26. Схема електрообладнання видобувного комбайна УКД300

Електрообладнання комбайна УКД300 складається з електродвигунів приводів подачі та різання, перетворювача частоти ПЧЕШ-60, що винесений на штрек, та комплексу засобів керування КУОК. Перетворювач частоти є окремим мехатронним модулем комбайна, до складу якого входять модуль силовий перетворювальний (ПЧЕ-120М), роз'єднувач, мережний та моторний фільтри, силові контактори, модуль вводу-виводу, модуль захисту та керування. До останнього приєднуються дискретні датчики для струмового захисту силових та інформаційних кіл, а також інші датчики, що забезпечують захисні вимкнення та діагностику роботи ПЧ (контролюється близько 30 внутрішніх параметрів). За допомогою модуля вводу-виводу через послідовний канал зв'язку здійснюється зв'язок з апаратурою комплексу КУОК, що встановлена на комбайні.

Комплекс КУОК складається з апаратів і пристроїв, що розташовані на штреку та безпосередньо на комбайні. На штреку знаходиться пульт керування комбайном, до складу якого входять блок відображення (керує програмною та світловою індикацією на дисплеї) та джерело живлення. Комбайнова частина складається з відсіку силового, відсіку керування, пультів керування (місцевих лівого та правого, а також переносного) та датчиків (рис. 2.26). Відсіки силовий і керування та пульти місцевого керування мають власні мікропроцесорні



блоки з модулями вводу-виводу, що забезпечують обмін даними між переліченими компонентами за допомогою послідовного каналу зв'язку з використанням інтерфейсу RS485. Це дає можливість приєднувати датчик до найближчого компонента комплексу КУОК, в якому сигнал перетворюється в цифровий вид та передається далі послідовним каналом зв'язку іншим компонентам. Керування обміном даними, обробка інформації з датчиків та формування керуючого сигналу до ПЧ, а також команд до інших компонентів комплексу, здійснюється в мікропроцесорному блоці відсіку керування.

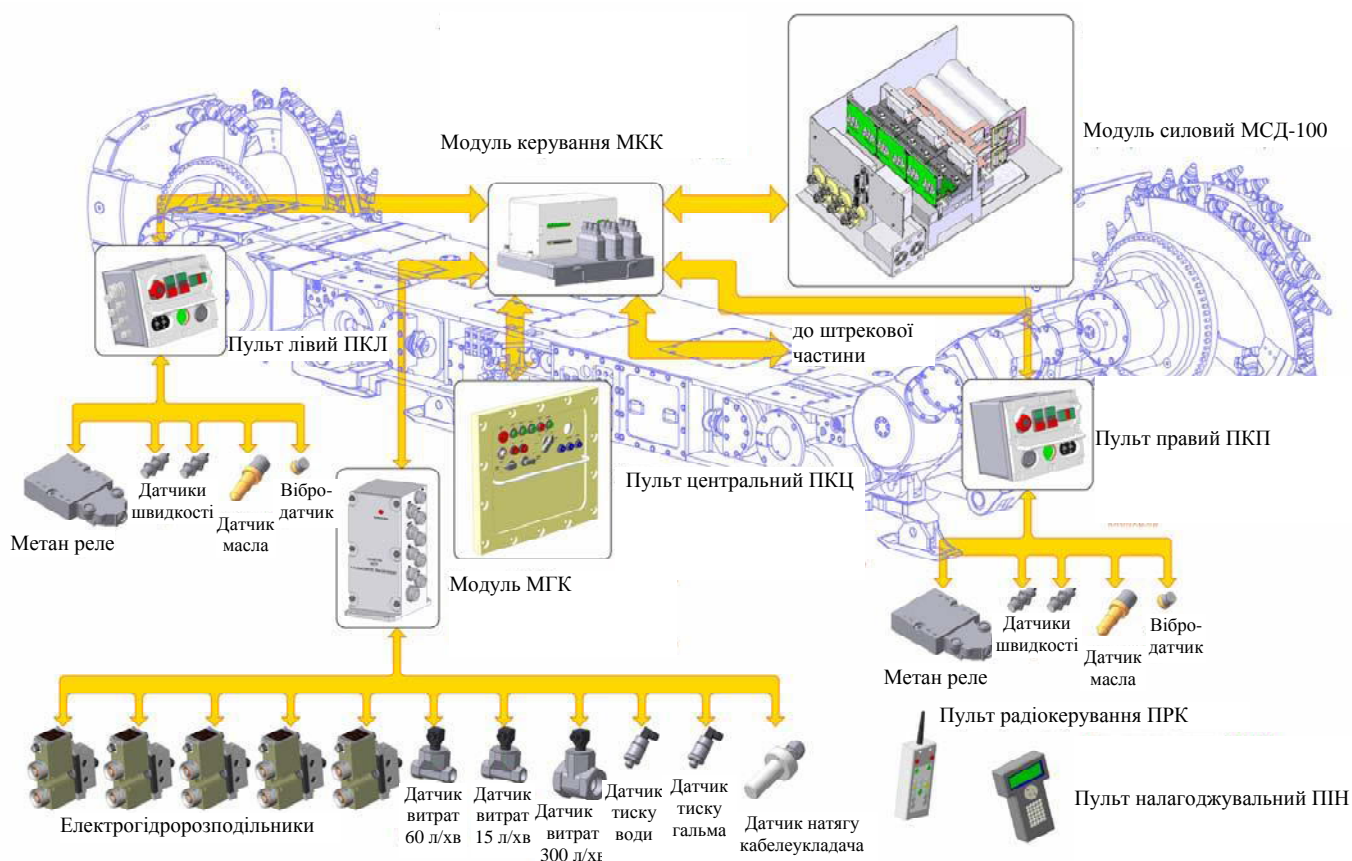


Рис. 2.27. Система керування видобувним комбайном КДК500 на базі модульного комплексу засобів керування КМ-ПЧ

До пультів керування місцевих приєднані датчики швидкості подачі (знаходяться в корпусах редукторів приводів подачі) та датчики тиску масла в гальмівних пристроях (знаходяться в корпусах редукторів приводів подачі біля рушіїв). За допомогою цих пультів також здійснюється дистанційне керування електрогідророзподільниками відповідних підсистем підвіски ВО (розміщені в порталній частині комбайна із завалочного боку).

З відсіком силовим з'єднані датчики температури обмоток та підшипникових вузлів електродвигунів приводів подачі та різання (розташовуються безпосередньо в електродвигунах).

До відсіку керування приєднані датчик концентрації скупчення метану та датчики тиску й витрат води підсистеми охолодження та зрошення (рис. 2.26). Датчик концентрації скупчення метану встановлюється із завалочного боку



портальної частини комбайна (для омивання вентиляційним струменем, що виходить від виконавчих органів). Датчики тиску й витрат води розташовані в пристрої контролю підсистеми зрошення (через нього проходить вода з крана-фільтра до колектора) та колекторі (в ньому відбувається розподіл води по каналах охолодження та зрошення).

Система керування видобувним комбайном КДК500 на базі модульного комплексу засобів керування КМ-ПЧ складається з таких основних компонентів (рис. 2.27):

1. Модуль керування комбайновий (МКК) – центральний компонент системи, що формує загальну інформаційну мережу, генерує керуючі команди, здійснює збір та зберігання даних. Є можливість приєднати датчики та виконавчі пристрої безпосередньо до МКК.

2. Модуль силовий перетворювальний МСД-100, що здійснює регулювання швидкості подачі і зусилля приводу переміщення та являє собою перетворювач частоти з автономним інвертором напруги. Модуль МСД-100 формує алгоритм роботи IGBT-ключів інвертора, необхідний для забезпечення швидкості подачі, що задається модулем МКК. До цього модуля приєднані всі датчики, що пов'язані з роботою приводу подачі.

3. Пульти місцевого керування комбайном (лівий ПКЛ, правий ПКП та центральний ПКЦ) – приймають сигнали з датчиків, що приєднані до них (датчики концентрації скупчення метану, датчики швидкості подачі, датчики температури масла та датчики вібрації), формують інформацію про стан датчиків і їх вихідні сигнали та передають її модулю МКК. Мають індикатори (пульти лівий і правий – символічно-цифрові, пульт центральний – графічний), на яких відображується інформація, отримана від модуля МКК про поточний режим роботи комбайна, причини вимикання, використаний та залишковий ресурс та ін.

4. Пульт радіокерування (ПРК), за допомогою якого реалізується безпроводне керування комбайном.

5. Модуль гідрокерування (МГК) – здійснює збір, обробку та передачу на МКК інформації від датчиків гідросистеми комбайна (всі датчики тиску та витрати рідини). З цього модуля також передаються керуючі сигнали до електрогідорозподільників (ЕГР).

6. Пульт індикаційно-налагоджувальний (ПІН), який є фактично переносним терміналом з клавіатурою та графічним індикатором, що полегшує налагодження системи, розширює можливості діагностики при налагоджувальних і ремонтних роботах.

Топологічна структура системи є деревоподібною, просторово розподіленою: в місцях зосередження датчиків, виконавчих пристроїв, органів керування та індикації встановлені концентратори (модуль МГК, пульти ПКЛ, ПКП, ПКЦ та ПРК), що приймають та передають інформацію центральному вузлу системи – модулю МКК.

Модуль МСД-100 – особливий вузол, що працює за власною програмою узгоджено з модулем МКК. Фактично цей модуль є мехатронним модулем видобувного комбайна як мехатронного агрегату. Наведемо F-модель

інформаційної компоненти  $I_m$  перетворювача частоти як мехатронного модуля видобувного комбайна:

- керування силовими ключами за алгоритмом широтно-імпульсної модуляції з метою реалізації необхідного закону керування швидкістю обертання вала електродвигуна (задається через уставку швидкості подачі, що передається з МКК);

- корегування перехідних процесів у підсистемі переміщення із забезпеченням плавного збільшення швидкості подачі;

- відпрацьовування відхилення фактичної швидкості подачі від уставки під дією зовнішніх збурень;

- контроль датчиків, що забезпечують захист та діагностику роботи всіх електродвигунів комбайна та модулів ПЧ;

- струмовий захист силових та інформаційних кіл перетворювача частоти.

З точки зору організації інформаційних потоків система є централізованою, реального часу. Модуль МКК забезпечує обмін даними у мережі за допомогою чотирьох послідовних шин даних з електричною специфікацією RS485, які працюють асинхронно та паралельно. Пристрої, які приєднані до однієї з шин даних, працюють послідовно та асинхронно, адресація пристроїв загальна для всієї системи, що дозволяє однозначно визначати їх, а при необхідності – приєднувати до іншої шини без зміни конфігурації системи в цілому. Всі обчислювальні задачі та задачі обробки і зберігання даних виконуються модулем МКК. Локалізовані тільки задачі, які потребують синхронізації роботи датчиків і виконавчих пристроїв та мають складний обчислювальний алгоритм, що робить неможливим виконання таких задач МКК в реальному часі. В даній системі – це задачі керування силовими ключами інвертора та регулювання швидкістю подачі комбайна, що здійснюються МСД-100 самостійно. Це стосується також задачі визначення швидкості й положення комбайна за сигналами від індуктивних датчиків, що контролюють швидкість обертання зірочки редуктора приводу переміщення, та датчиків кінця лави. Дана задача виконується пультами ПКЛ та ПКП.

Послідовні шини даних об'єднують такі модулі (рис. 2.27):

- МКК – МСД-100;
- МКК – ПКЛ – ПКП – ПКЦ – МГК;
- МКК – ПРК;
- МКК – система керування вищого рівня.

Для кожної з шин даних можливо завдання індивідуальних параметрів обміну інформацією: швидкості передачі даних, часу очікування відповіді, структури посилки та ін. Це необхідно тому, що по шинах ідуть потоки інформації різної інтенсивності, а на фізичному рівні шини виконані як лінії зв'язку різної природи. Наприклад, зв'язок між пультами та МКК виконаний у вигляді провідного каналу зв'язку невеликої довжини (в межах розміру комбайна), при цьому може бути задана достатньо висока швидкість обміну даними та присвоєний однаковий пріоритет усім пристроям.

Шина «МКК – МСД-100» також є провідною та має дуже незначну фізичну довжину – модулі знаходяться в одній оболонці. В той самий час інформація від

модуля МСД-100 має високий пріоритет, що робить необхідним встановлення відносно високої швидкості обміну для цієї шини. До того ж в зв'язку з високим рівнем електромагнітних перешкод усі лінії передачі інформації всередині модуля МСД-100 виконані за допомогою оптичних ліній зв'язку.

Зв'язок МКК з ПРК здійснюється по радіоканалу. При цьому присутні специфічні вимоги як до швидкості передачі даних, так і до формування посилок через часті перешкоди та збої радіоканалу.

Зв'язок між системою керування комбайном і системою керування вищого рівня, тобто системою керування механізмами очисного комплексу, відбувається за допомогою спеціальних пристроїв, що передають інформацію по допоміжних жилах силового кабелю. Зрозуміло, що такий канал має високий рівень перешкод та не може забезпечити великих швидкостей передачі даних (порівняно із швидкостями передачі даних у межах комбайна).

Розглянемо інформаційну компоненту зовнішньої системи керування мехатронним агрегатом  $I_a$  (МКК) на основі схеми алгоритму керування видобувним комбайном (рис. 2.28).

Після подачі напруги до апаратури комплексу засобів керування (блок 1), що встановлена на видобувному комбайні, відбувається перевірка умов блокування подачі напруги по силових кабелях до комбайну (блок 2), а саме:

- порушення цілісності кола аварійного вимикання;
- порушення цілісності кола попереджувального сигналу;
- порушення цілісності кіл керування;
- опір ізоляції силових кіл менше 100 кОм;
- опір кола заземлення корпусу комбайна більше ніж 100 Ом;
- відкрита кришка електроблоку;
- концентрація скупчення метану біля комбайна перевищує рівень 2 % (або концентрація метану в струмені, що виходить з лави, перевищує рівень 1 %);
- не відбулося деблокування комбайна вручну після захисного вимкнення енергопостачання.

У разі виконання хоча б однієї умови керуючий сигнал на вмикання пускача комбайна при натисканні відповідної кнопки на пульті керування буде заблоковано. Якщо умови не виконуються, в блоці 3 відбувається перевірка положення всіх перемикачів на пультах керування, в тому числі перемикача вибору пульта керування. Якщо обраний пульт керування штрековий (позиція перемикача «Штрек»), запуск електродвигунів комбайна здійснює пристрій керування штрековий (алгоритм запуску двигунів наведений у підрозд. 2 на рис. 2.11). В цьому випадку відбувається перехід з блока 3 одразу до блока 5.

Якщо обраний один з місцевих пультів комбайна або переносний пульт, контакторами електродвигунів у процесі запуску комбайна керує МКК (рис. 2.27). Запуск електродвигунів комбайна здійснюється відповідною підпрограмою в блоці 4, яка працює за алгоритмом запуску електродвигунів комбайна, поданим на рис. 2.11.

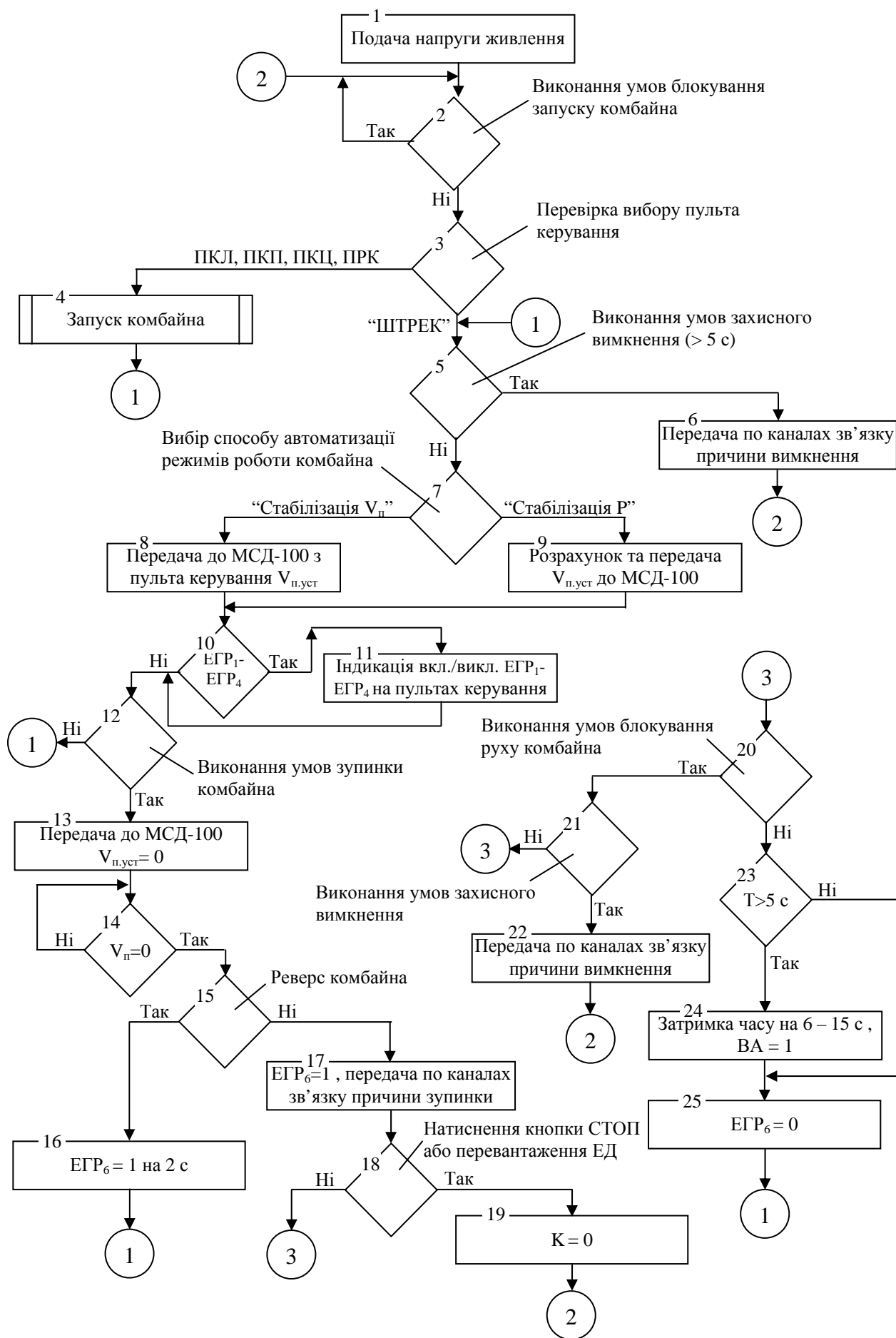


Рис. 2.28. Схема алгоритму керування видобувним комбайном

Під час запуску двигунів у блоці 4, крім перевірки спрацьовування блок-контактів пускачів, також реалізується захист двигунів від запуску, що не відбувся. Протягом 5 с перевіряється досягнення струмом статора електродвигуна номінального значення. У разі значного відхилення струму статора двигуна від номінального значення через 5 с відбувається захисне вимкнення комбайна. Крім цього, в блоці 4 за умови запуску електродвигуна насоса гідросистеми комбайна вмикається електрогідророзподільник, що керує розвантажувальною лінією (ЕГР5).

У блоці 5 перевіряються умови захисного вимкнення видобувного комбайна, тобто спрацьовування датчиків для реалізації захисних вимкнень та блокувань роботи комбайна (перелічені вище), а також перевищення відношення струмів статорів більш завантаженого електродвигуна приводу подачі та менш завантаженого допустимого рівня 1,5 протягом 30 с. Якщо хоча б одна умова виконується (спрацьовує хоча б один датчик), на верхній рівень і на пульти керування передається інформація про причини захисного вимкнення (блок 6), а система повертається до початкового стану (перехід до блока 2). Знеструмлення електродвигунів комбайна здійснюється за допомогою кола аварійного вимкнення повз МКК.

У випадку невиконання умов у блоці 5 відбувається перехід до блока 7, де перевіряються умови вибору способу автоматизації режимів роботи комбайна. Стабілізація швидкості подачі комбайна має місце, коли відповідний перемикач знаходиться в позиції «Стабілізація  $V_n$ », за умови відсутності перевищення фактичної потужності найбільш завантаженого електродвигуна приводів різання стійкого значення  $P_{cm}$ . Стійкою потужністю електродвигуна приводу різання  $P_{cm}$  називається максимальне значення середнього рівня потужності, при якому електродвигун при стаціонарних режимах навантаження працює без перекидів (розрахунок стійкої потужності наведений нижче). Стабілізація потужності найбільш завантаженого електродвигуна приводів різання має місце за умов знаходження відповідного перемикача в позиції «Стабілізація  $P$ » або перевищення фактичної потужності електродвигуна стійкого значення  $P_{cm}$ .

Таким чином, задачу керування режимами роботи видобувних комбайнів можна подати у такому вигляді:

- стабілізація швидкості подачі видобувного комбайна з урахуванням обмежень відносно транспортування вугілля конвеєром, інтенсивності виділення метану, швидкості зведення кріплення, перевантажувальної здатності електродвигунів приводів різання;

- стабілізація потужності, яка споживається найбільш завантаженим електродвигуном приводів різання, із забезпеченням стійкої роботи комбайна за умови зміни міцності руйнівного масиву (при цьому враховуються всі обмеження, перелічені у попередньому пункті);

- при стабілізації швидкості подачі перехід до режиму стабілізації потужності електродвигуна приводу різання, якщо умова відносно перевантажувальної здатності електродвигуна не виконується, з наступним поверненням до стабілізації швидкості подачі при виконанні зазначеної умови.

Це єдиний варіант автоматизації режимів роботи видобувних комбайнів, який застосовується в регуляторах швидкості подачі та навантаження як попереднього покоління (ИПИР, УРАН тощо), так і у складі сучасних комплексів засобів керування комбайнами (КУОК, КМ-ПЧ тощо). Він отримав назву мінімального та передбачає підтримку потужності, що споживається найбільш завантаженим електродвигуном приводів різання, на заданому рівні за рахунок регулювання швидкості подачі при постійній швидкості різання (швидкості обертання ВО). Максимальний варіант автоматизації передбачає підтримку потужності на заданому рівні одночасним та незалежним регулюванням швидкостей різання та подачі.

Теоретично обґрунтовані інші способи автоматизації режимів роботи видобувних комбайнів. Вони розглянуті нижче.

При стабілізації швидкості подачі в блоці 8 до МСД-100 передається уставка швидкості подачі  $V_{n.уст}$ , що надходить до МКК з обраного пульта керування комбайном. Якщо стабілізується потужність найбільш завантаженого двигуна приводів різання, в блоці 9 розраховується нове значення уставки швидкості подачі  $V_{n.уст}$ . До формули розрахунку (наведена нижче) входять фактична швидкість подачі  $V_{\phi}$ , фактична потужність електродвигуна  $P_{\phi}$  та її стійке значення  $P_{ст}$ . Нове значення уставки швидкості подачі  $V_{n.уст}$  передається до МСД-100.

У блоці 10 перевіряються умови ввімкнення або вимкнення електрогідророзподільників ЕГР1 – ЕГР4, за допомогою яких здійснюється керування гідродомкратами підсистем підвіски ВО. Якщо з пульта керування місцевого до МКК надходить інформація про зміну стану одного з ЕГР, формується відповідна посилка (блок 11) до всіх пультів керування з метою програмної індикації цієї події.

У блоці 12 перевіряються умови зупинки комбайна. До цих умов відносять:

- натиснення кнопки «СТОП» або «СТОП ПОДАЧА»;
- надходження команди з пульта керування до МКК на реверс комбайна;
- перевантаження електродвигунів приводів різання: якщо струм статора перевищує своє номінальне значення в 1,5 раза протягом 2 с;
- спрацьовування датчиків кінця лави, вібрації корпусу ПБР та температури води в трубопроводі.

У випадку невиконання жодної з перелічених умов відбувається перехід до блока 5 і робочий цикл починається знову. Якщо одна з умов зупинки комбайна виконується, з МКК до МСД-100 передається нульова уставка швидкості подачі (блок 13). Далі в блоці 14 через швидкість подачі контролюється процес зупинки комбайна, після якої маємо три варіанти розвитку подій. Якщо причиною зупинки комбайна є команда на реверс (виконується умова в блоці 15), на 2 с вмикається електрогідророзподільник ЕГР6, що з'єднує порожнини розвантажувальних плунжерів гальмівних

пристроїв зі зливом. Це приводить до механічного загальмовування комбайна на 2 с, після чого відбувається перехід до блока 5.

Якщо причиною зупинки комбайна не є команда на реверс, вмикається ЕГР6 до зняття блокування руху комбайна та формуються посилки до верхнього рівня та пультів керування відносно причин зупинки комбайна (блок 17). Далі перевіряються умови натиснення кнопки «СТОП» та перевантаження електродвигунів приводів різання (блок 18). У випадку виконання однієї з умов у блоці 19 вмикається контактор комбайна та здійснюється перехід до блока 2.

За інших умов система знаходиться в очікуванні зняття блокування руху комбайна (блок 20), в процесі якого перевіряються умови захисного вимкнення видобувного комбайна (блок 21). Якщо хоча б одна умова захисного вимкнення виконується, на верхній рівень і на пульти керування передається інформація про причини захисного вимкнення (блок 22) і система повертається до початкового стану (перехід до блока 2).

Після зняття блокування руху комбайна перевіряється кількість часу, протягом якого комбайн не рухався (блок 23). Якщо зупинка комбайна тривала менше 5 с, вмикається ЕГР6 (блок 25) та відбувається перехід до блока 5. Якщо більше – організується затримка часу на 6 – 15 с, протягом якої подається сигнал на акустичний випромінювач ВА (блок 24). Потім вмикається ЕГР6 (блок 25) та відбувається перехід до блока 5.

Виведемо формулу для розрахунку нової уставки швидкості подачі за умови стабілізації потужності, що споживається найбільш завантаженим електродвигуном приводів різання. Для цього розглянемо основну статичну робочу характеристику видобувного комбайна (рис. 2.29).

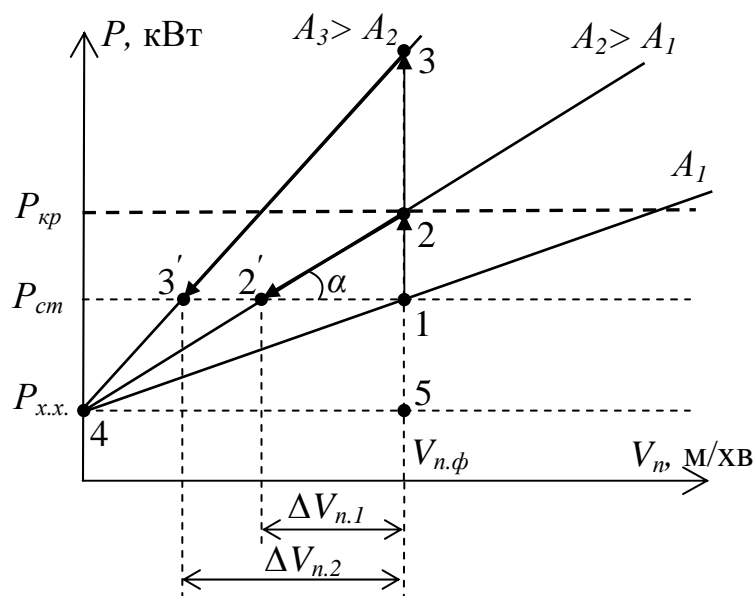


Рис. 2.29. Робоча статична характеристика видобувного комбайна

Вихідною величиною статичної характеристики на рис. 2.29 (ось ординат) є потужність  $P$ , що споживається найбільш завантаженим електродвигуном

приводів різання комбайна, вхідною (ось абсцис) – швидкість подачі видобувного комбайна  $V_n$ . На рис. 2.29 показані три статичні робочі характеристики комбайна для різних міцностей вугілля: опірність вугілля різанню  $A_1$  – найнижча,  $A_3$  – найвища.

У режимі стабілізації потужності двигуна за умови перевищення фактичної потужності  $P_\phi$  свого стійкого значення  $P_{cm}$  в результаті підвищення опірності вугілля різанню з  $A_1$  до  $A_2$  (перехід з точки 1 до точки 2 на рис. 2.29) необхідно визначити нову уставку швидкості подачі  $V_{n.ycm}$ , за якої фактична потужність знову буде дорівнювати своєму стійкому значенню ( $P_\phi = P_{cm}$ ). При цьому на статичній робочій характеристиці комбайна здійсниться перехід від точки 2 до точки 2'. Значення швидкості подачі в точці 2':

$$V_{n.ycm} = V_{n.\phi} - \Delta V_{n.1}, \text{ м/хв.} \quad (2.2)$$

Для визначення величини  $V_{n.1}$ , на яку потрібно зменшити фактичну швидкість подачі  $V_{n.\phi}$ , розглянемо трикутники 1–2–2' та 5–2–4. З подібності трикутників 1–2–2' та 5–2–4 витікає:

$$\operatorname{tg}(\alpha) = \frac{(P_\phi - P_{cm})}{\Delta V_{n.1}} = \frac{(P_\phi - P_{x.x})}{V_{n.\phi}}.$$

Звідки

$$\Delta V_{n.1} = \frac{(P_\phi - P_{cm})V_{n.\phi}}{(P_\phi - P_{x.x})}, \text{ м/хв,}$$

де  $P_{x.x}$  – потужність, що споживає електродвигун на холостому ході, кВт.

Підставивши  $\Delta V_{n.1}$  в рівняння (2.2), маємо:

$$V_{n.ycm} = V_{n.\phi} - \frac{(P_\phi - P_{cm})V_{n.\phi}}{(P_\phi - P_{x.x})}, \text{ м/хв.} \quad (2.3)$$

Як видно з рівняння (2.3), уставка швидкості подачі за умови стабілізації потужності залежить від фактичної швидкості подачі комбайна, відхилень фактичної потужності – від її стійкого значення та від потужності холостого ходу електродвигуна. Причому, чим більше відхилення фактичної потужності від її стійкого значення, тим на більшу величину зменшується уставка швидкості подачі.

Це підтверджує рис. 2.29: при збільшенні опірності вугілля з  $A_1$  до  $A_3$  фактична потужність  $P_\phi$  відхиляється від свого стійкого значення  $P_{cm}$  на більшу величину (перехід від точки 1 до точки 3). І для виконання умови  $P_\phi = P_{cm}$  знадобиться ще знизити швидкість подачі (перехід від точки 3 до точки 3'), ніж у попередньому випадку ( $\Delta V_{n.2} > \Delta V_{n.1}$ ).



Для запобігання частого спрацьовування в регуляторах навантаження та швидкості подачі видобувних комбайнів реалізована зона нечутливості (5 %) за навантаженням. З урахуванням цього запишемо формулу для розрахунку уставки швидкості подачі:

$$V_{n.уст} = \begin{cases} V_{n.уст}, & \text{якщо } 0,95P_{cm} \leq P_{\phi} \leq 1,05P_{cm} \\ V_{n.\phi} - \frac{(P_{\phi} - P_{cm})V_{n.\phi}}{(P_{\phi} - P_{x.x})}, & \text{якщо } P_{\phi} < 0,95P_{cm} \text{ або } P_{\phi} > 1,05P_{cm} \end{cases}.$$

Стійка потужність електродвигуна приводу різання  $P_{cm}$  визначається за формулою:

$$P_{cm} = \frac{M_{cm}n_{cm}}{9550}, \text{ кВт},$$

де  $n_{cm}$  – частота обертання ротора, яка відповідає стійкому обертальному моменту  $M_{cm}$  електродвигуна приводу різання:

$$n_{cm} = n_c - M_{cm} \frac{n_c - n_n}{M_n}, \text{ об/хв},$$

де  $n_c$  – синхронна частота обертання, об/хв;  $n_n$  – номінальна частота обертання ротора, об/хв;  $M_n$  – номінальний обертальний момент електродвигуна приводу різання, Н·м.

Стійким моментом електродвигуна  $M_{cm}$  називається максимальне значення середнього рівня обертального моменту електродвигуна, при якому він працює без перекидів (за умови стаціонарних режимів навантаження). Для визначення стійкого моменту  $M_{cm}$  спочатку проведемо аналіз статистичних характеристик обертального (електромагнітного) моменту електродвигуна приводу різання.

У робочому режимі комбайна зміна у часі обертального моменту електродвигуна приводу різання відбувається в широкому спектрі частот. Можна виділити такі частотні складові обертального моменту:

- високочастотні – формуються в процесі руйнування зубцями вугілля в частотній області, що відповідає резонансній частоті ( $f_g$ ) підсилення в електродвигуні (для видобувних комбайнів становить 10 – 18 Гц). Складові вимушених коливань з частотами  $f_g$  належать до класу авторезонансних процесів, оскільки на їх формування суттєво впливають власні динамічні властивості підсистем приводу та зовнішні зв'язки за швидкостями між цими підсистемами та масивом вугілля;

- низькочастотні – їх частота дорівнює або кратна частоті обертання ВО (як правило,  $f_n=1 - 3$  Гц). Формуються в першу чергу внаслідок залишкової силової невідповідності виконавчих органів (неоптимальна схема набору зубців) та через періодичність процесу навантаження вугілля lopatями органів;

– наднизькочастотні (інфранизькочастотні) – формуються внаслідок зміни опірності вугілля різанню вздовж забою в частотній області від  $10^{-2}$  до  $10^{-3}$  Гц.

Для ефективної стабілізації потужності двигуна приводу різання в автоматичному режимі необхідно, щоб швидкість зміни у часі збурення, за яким відбувається керування, була набагато менше швидкості зміни  $V_n$  під час перехідного процесу в підсистемі переміщення через її механічну та електромагнітну інерційність (з урахуванням обмеження на прискорення комбайна 1 м/хв за 1 с). Цій вимозі відповідають тільки інфранизькочастотні складові обертального моменту та відповідно потужності електродвигуна. Тому при стабілізації потужності в автоматичному режимі керування відбувається саме за інфранизькочастотною складовою потужності, частота якої не перевищує  $10^{-2}$  Гц. Низькочастотна та високочастотна складові потужності в цьому випадку є небажаними і приймаються як перешкоди, що заважають ефективному керуванню. Тому сигнали з датчиків струму статорів електродвигунів приводів різання пропускаються через фільтри низьких частот з частотою зрізу приблизно 0,1 Гц або обробляються програмним способом (за допомогою математичних фільтрів, ковзного усереднення тощо).

За умови стабілізації потужності в автоматичному режимі інфранизькочастотна складова потужності відсутня в частотному спектрі. Але залишаються коливання потужності зі значними амплітудами на низьких та високих частотах, які можуть призвести до перекидання або перегріву електродвигуна приводу різання (рис. 2.30). Тому прийнято залишати запас за потужністю для цих коливань та переходити до стабілізації не критичного значення потужності, а стійкого (рис. 2.29).

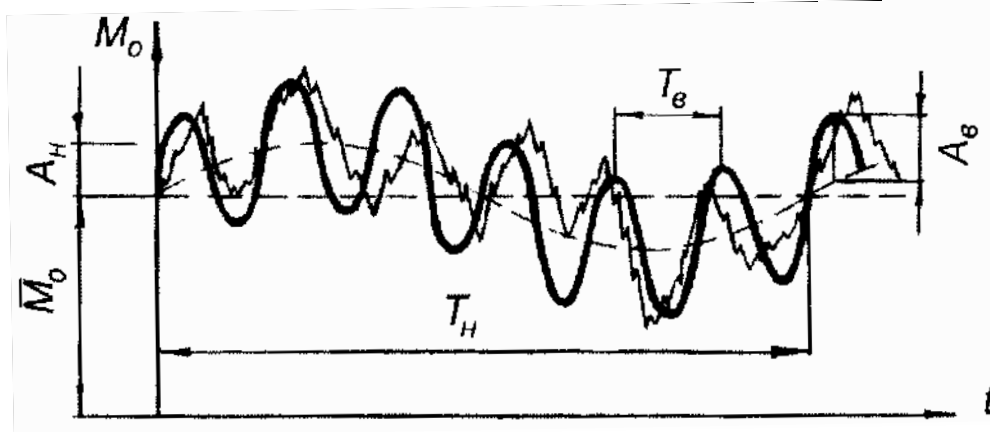


Рис. 2.30. Зміна у часі обертального моменту електродвигуна приводу різання за умови стабілізації потужності в автоматичному режимі

На рис. 2.30 жирною лінією показана ідеалізована зміна у часі обертального моменту електродвигуна приводу різання комбайна. Тут  $\bar{M}_o$  – середній рівень (математичне очікування) обертального моменту;  $T_n$ ,  $f_n$  та  $A_n$  – відповідно період, частота та амплітуда низькочастотної складової обертального моменту;  $T_e$ ,  $f_e$  та  $A_e$  – відповідно період, частота та амплітуда високочастотної складової обертального моменту.

Слід зауважити, що фактична зміна обертового моменту  $M_o$  у часі є випадковим процесом, але в його спектральному складі з високим рівнем значущості виділяються вузькосмугові коливальні складові із середніми значеннями частот  $f_n$  та  $f_{\varepsilon}$ , що дозволяє зробити таку ідеалізацію. Ідеалізована зміна у часі обертового моменту описується рівнянням:

$$M_o(t) = \bar{M}_o + A_n \sin(2\pi f_n t + Q_n) + A_{\varepsilon} \sin(2\pi f_{\varepsilon} t + Q_{\varepsilon}),$$

де  $Q_n$  та  $Q_{\varepsilon}$  – фазові кути для низько- та високочастотної складових відповідно, рад.

На основі рис. 2.30 максимальне значення середнього рівня обертового моменту  $M_{m.c.}$ , що відповідає його стійкому значенню, може бути знайдене за формулою:

$$M_{m.c.} = \bar{M}_{m.c.} + A_n + A_{\varepsilon} = \bar{M}_{m.c.} K_{nc} (1 + K_{\varepsilon c}),$$

де  $K_{nc}$  та  $K_{\varepsilon c}$  – коефіцієнти, що враховують динамічність низько- та високочастотної складових обертового моменту (потужності електродвигуна) відповідно:

$$K_{nc} = \frac{\bar{M}_{m.c.} + A_n}{\bar{M}_{m.c.}}; \quad K_{\varepsilon c} = \frac{A_{\varepsilon}}{\bar{M}_{m.c.} + A_n}.$$

На практиці стійке значення обертового моменту електродвигуна приводу різання розраховують за формулою:

$$M_{ct} = \frac{M_{кр} K_{кер}}{K_{nc} (1 + K_{\varepsilon c} A_{\partial}(f_m))},$$

де  $M_{кр}$  – критичний момент електродвигуна приводу різання, Н·м;  $K_{кер}$  – коефіцієнт, що враховує якість керування режимними параметрами роботи виконавчих органів (рекомендується приймати 0,9 за умови автоматичного керування та 0,8 – за умови ручного керування);  $A_{\partial}(f_m)$  – значення амплітудно-частотної функції електродвигуна приводу різання  $A_{\partial}(f)$  при резонансній частоті  $f_m$  крутих коливань механічної частини підсистеми приводу ВО (для видобувних комбайнів  $f_m = 15 - 30$  Гц).

Амплітудно-частотну функцію електродвигуна приводу різання можна приблизно визначати за допомогою такої залежності:

$$A_{\partial}(f) = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{f}{f_{\varepsilon, \partial}}\right)^2\right]^2 + \left(\frac{f}{f_{\varepsilon, \partial}}\right)^2 \frac{T_m}{T_e}}},$$

де  $f_{\varepsilon, \partial}$  – частота власних коливань електродвигуна, Гц;  $T_m$  та  $T_e$  – відповідно електромеханічна та електромагнітна постійні часу:

$$T_m = \frac{\omega_{0.ел} s_{кр} (J_1 + J_2)}{2pM_{кр}} ;$$

$$T_e = \frac{1}{\omega_{0.ел} s_{кр}} ,$$

тут  $\omega_{0.ел}$  – частота напруги в мережі живлення, рад/с;  $s_{кр}$  – критичне ковзання електродвигуна;  $J_1$  – механічний момент інерції ротора електродвигуна, кг·м<sup>2</sup>;  $J_2$  – сумарний механічний момент інерції ВО та елементів редуктора, що зведений до ротора, кг·м<sup>2</sup>;  $p$  – кількість пар полюсів електродвигуна.

Частота власних коливань електродвигуна розраховується за формулою:

$$f_{с.д} = \frac{1}{2\pi\sqrt{T_m T_e}} , \text{ Гц.}$$

Тепер обґрунтуємо швидкість, з якою необхідно змінювати у часі швидкість подачі при переході до нової уставки (за умови стабілізації потужності), щоб система з позиції теорії автоматичного керування залишалася стійкою. Для стійкості системи необхідне виконання умови незмінності коефіцієнта підсилення системи  $K_c$ :

$$K_c = K_{рег} K_{об} = const ,$$

де  $K_{рег}$  та  $K_{об}$  – коефіцієнти підсилення відповідно регулятора та об'єкта керування. Коефіцієнт підсилення регулятора знаходиться як відношення величини  $\Delta U_\kappa$ , на яку змінюється керуючий сигнал до ПЧ за певний час, до величини  $\Delta(P_\phi - P_{cm})$ , на яку змінюється відхилення фактичної потужності від свого стійкого значення за той самий час:

$$K_{рег} = \frac{\Delta U_\kappa}{\Delta(P_\phi - P_{cm})} .$$

Коефіцієнт підсилення об'єкта керування визначається як відношення величини  $\Delta P_\phi$ , на яку змінюється фактична потужність електродвигуна приводу різання за певний час, до величини  $\Delta V_{n.\phi}$ , на яку змінюється фактична швидкість подачі комбайна за той самий час. Отже, цей коефіцієнт дорівнює тангенсу кута  $\alpha$  статичної робочої характеристики видобувного комбайна (рис. 2.29) і змінюється в функції опірності вугілля різанню  $A_{вуг}$ , площадки затуплення зубців  $S_{зам}$ , опірності різанню та питомого змісту мінеральних включень тощо:

$$K_{об} = \frac{\Delta P_\phi}{\Delta V_{n.\phi}} = tg(\alpha) = f(A_{вуг}, S_{зам}, \dots) .$$

Використовуючи формулу для коефіцієнта підсилення регулятора, визначимо швидкість зміни у часі керуючого сигналу до ПЧ:

$$\frac{\Delta U_{\kappa}}{\Delta t} = \frac{K_{pez} \Delta(P_{\phi} - P_{cm})}{\Delta t}.$$

З оглядом на умову стійкості системи запишемо формулу для розрахунку швидкості зміни у часі керуючого сигналу до ПЧ:

$$\frac{\Delta U_{\kappa}}{\Delta t} = \frac{K_{pez} \Delta(P_{\phi} - P_{cm})}{\Delta t} = \frac{const \Delta(P_{\phi} - P_{cm})}{\Delta t K_{об}} = \frac{\Delta(P_{\phi} - P_{cm})}{\Delta t} \cdot \frac{const}{K_{об}}.$$

Таким чином, швидкість зміни у часі керуючого сигналу до ПЧ та відповідно швидкість подачі при переході до нової уставки прямо пропорційно залежать від швидкості зміни у часі відхилення фактичної потужності від свого стійкого значення та обернено пропорційно – від коефіцієнта підсилення об'єкта керування.

Запишемо формулу для розрахунку швидкості зміни у часі керуючого сигналу до ПЧ з урахуванням функції захисту електродвигунів приводів різання від перевантаження системи керування комбайном:

$$\frac{\Delta U_{\kappa}}{\Delta t} = \begin{cases} \left( \frac{\Delta U_{\kappa}}{\Delta t} \right)_{\max}, & \text{якщо } P_{\phi} > 1,25 P_{cm}; \\ \frac{\Delta(P_{\phi} - P_{cm})}{\Delta t} \cdot \frac{const}{K_{об}}, & \text{якщо } P_{\phi} \leq 1,25 P_{cm}. \end{cases}$$

Розглянемо способи автоматизації режимів роботи видобувних комбайнів, що обґрунтовані теоретично.

1. Система стабілізації за швидкістю подачі забезпечує задану продуктивність комбайна. В такій системі швидкість подачі є незмінною величиною ( $V_n = const$ ), як і швидкість різання ( $V_p = const$ ). Потужність, що споживається електродвигуном приводу різання (найбільш навантаженим), змінюється випадково ( $P = var$ ). Даний спосіб автоматизації режимів роботи комбайнів доцільно застосовувати у тому випадку, коли стабілізувана швидкість подачі забезпечує оптимальні параметри різання та навантаження вугілля. Недоліком є те, що заздалегідь значення швидкості подачі, при якому спостерігаються оптимальні параметри різання та навантаження вугілля, невідомо. Відхилення ж від нього може призвести до підвищення питомих енерговитрат на видобуток вугілля, втрати продуктивності комбайна та погіршення сортності вугілля.

На схемі рис. 2.31 такі позначення: «Уставка» – блок, у якому формується задане значення швидкості подачі  $V_{n,уст}$ ; РШ – регулятор швидкості подачі; ПЧ –

перетворювач частоти напруги живлення електродвигунів приводів подачі; ЕДПП – електродвигуни приводів подачі; ДШ – датчик швидкості подачі комбайна.

Система автоматичного керування, що наведена на рис. 2.31, є автоматичною системою, в якій використовується принцип замкненого керування та реалізується вид керування – стабілізація. Завдяки від’ємному зворотному зв’язку за швидкістю подачі система має прийнятну гнучкість у керуванні. Об’єктом керування є перетворювач частоти (ПЧ) разом з підсистемою переміщення (ПП) комбайна. Регулятор швидкості (РШ) подає на перетворювач частоти керуючий сигнал, що формується за відхиленням фактичної швидкості подачі від заданого значення:  $\Delta V_n = V_{n.уст} - V_{n.ф}$ .

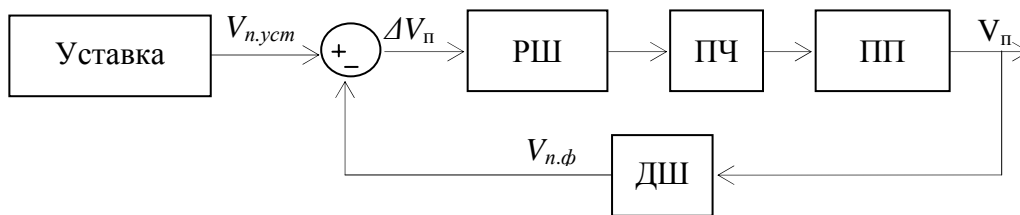


Рис. 2.31. Структурна схема системи стабілізації за швидкістю подачі комбайна

2. Система стабілізації за потужністю забезпечує повне використання потужності, що споживається електродвигуном приводу різання (найбільш завантаженим). При цьому відбувається регулювання швидкістю подачі за умови незмінних швидкості різання та потужності:  $V_p = const$ ;  $V_n = var$ ;  $P = max$ . Застосування цього способу автоматизації режимів роботи комбайнів є допустимим на машинах з виконавчими органами, що мають значну навантажувальну продуктивність. У протилежному разі виникає заштибування виконавчих органів та різко підвищуються питомі енерговитрати комбайна.

Видобувний комбайн є інерційним об’єктом і для зниження його швидкості потрібен деякий час. Тому для реалізації системи стабілізації за потужністю необхідні електродвигуни приводів різання з великим перекидним моментом, щоб запобігти перекиданням двигунів за умови екстремальних перевантажень. Тільки в цьому випадку буде спостерігатися підвищення продуктивності комбайна у порівнянні з ручним керуванням. Найбільш доцільно застосовувати даний спосіб при роботі на пластах з незначними коливаннями міцності вугілля і на комбайнах з потужними електродвигунами приводів різання.

Із рис. 2.32 видно, що в системі стабілізації за потужністю також використовується принцип замкненого керування та реалізується вид керування – стабілізація. Система має від’ємний зворотній зв’язок за потужністю електродвигуна приводу різання, що заміряється за допомогою датчика потужності ДП. Але в цьому випадку об’єкт керування складається з чотирьох блоків «перетворювач частоти ПЧ – підсистема переміщення ПП – виконавчий орган ВО – підсистема приводу виконавчого органу ППВО». Це призводить до ускладнення закону керування швидкістю подачі, що реалізує регулятор навантаження (РН). В блоці «Уставка» задається стійке значення

потужності  $P_{cm}$ , що споживає найбільш завантажений електродвигун приводу різання, для розрахунку якого, як показано вище, необхідне знання характеру випадкового розподілу міцності вугілля у просторі вугільного масиву.

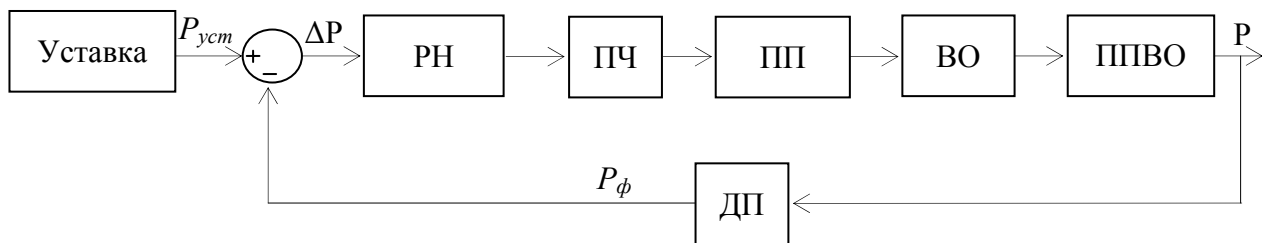


Рис. 2.32. Структурна схема системи стабілізації за потужністю

3. Система параметричної стабілізації забезпечує підтримання постійної глибини зрізу за умови незмінної потужності, що споживається електродвигуном приводу різання. При цьому регулюються як швидкість

подачі, так і швидкість різання ( $V_p = \text{var}$ ;  $V_n = \text{var}$ ;  $h_{onm} = \left( \frac{V_n}{V_p} \right)_{onm} = \text{const}$ ;

$P = \text{const}$ ). А.І. Берон та Є.З. Позін на основі аналізу закономірностей процесу різання вугілля зубцями зробили висновок про те, що для кожної конструкції виконавчого органу має місце оптимальне з точки зору питомих енерговитрат значення середньої товщини стружки та відповідно співвідношення швидкостей різання та подачі. Таким чином, якщо регулювати швидкість подачі за алгоритмом стабілізації потужності та при цьому керувати швидкістю різання узгоджено зі швидкістю подачі з оптимальним коефіцієнтом співвідношення, можна забезпечити роботу комбайна з максимальною продуктивністю, мінімальними питомими енерговитратами та найкращою сортністю вугілля. Основним недоліком цього способу є те, що на всіх видобувних комбайнах на сьогодні в приводах різання стоять нерегульовані асинхронні електродвигуни великої потужності. Для того щоб регулювати швидкість обертання роторів цих двигунів, необхідні дорогі та об'ємні перетворювачі частоти. Розміщувати їх доведеться у боковому штреку, що приведе до появи додаткового силового кабелю.

На схемі рис. 2.33 такі позначення: ОС – блок, в якому задається оптимальне співвідношення швидкостей подачі та різання  $\left( \frac{V_n}{V_p} \right)_{onm}$ ; РС – регулятор співвідношення швидкостей подачі та різання; ДШП – датчик швидкості подачі; ДШР – датчик швидкості різання.

Як видно із структурної схеми на рис. 2.33, система складається з двох підсистем стабілізації – підсистеми стабілізації потужності, що споживається електродвигуном приводу різання, за рахунок регулювання швидкості подачі (блоки «Уставка», РН, ПЧ, ПП, ППВО, ДП) та підсистеми стабілізації співвідношення швидкостей подачі та різання за рахунок регулювання швидкості різання (блоки ОС, РС, ПЧ, ППВО, ДШП, ДШР). Кожна підсистема

має свій канал керування та перетворювач частоти напруги живлення ПЧ. Перша підсистема керує електродвигуном приводу подачі, друга – електродвигуном приводу різання.

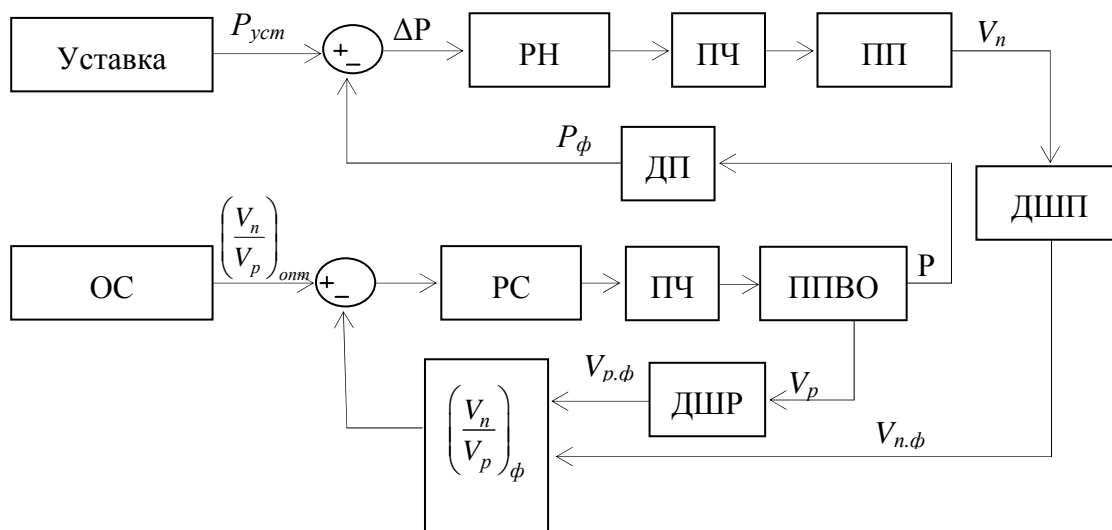


Рис. 2.33. Структурна схема системи параметричної стабілізації

У процесі стабілізації потужності  $P$  фактична швидкість подачі  $V_n$  (керуюча величина першої підсистеми) змінює фактичне значення співвідношення швидкостей подачі та різання та виступає в ролі збурюючого впливу для другої підсистеми стабілізації. Фактичне значення співвідношення швидкостей подачі та різання на виходах датчиків ДШП та ДШР розраховується в блоці « $\left(\frac{V_n}{V_p}\right)_\phi$ ». Після цього воно порівнюється з розрахунковим оптимальним значенням  $\left(\frac{V_n}{V_p}\right)_{онт}$ , яке задається в блоці ОС, а сигнал відхилення поступає на блок РС, що формує керуючий вплив на блок ПЧ, який у свою чергу змінює швидкість обертання вала електродвигуна підсистеми приводу виконавчого органу ППВО та відповідно швидкість різання  $V_p$  з метою корегування фактичного значення співвідношення швидкостей подачі та різання.

4. Якщо ставити на меті мінімізувати потужність, що споживається найбільш завантаженим електродвигуном приводу різання, за допомогою незалежного регулювання швидкостей подачі та різання, то отримаємо спосіб екстремального регулювання ( $V_p = \text{var}$ ;  $V_n = \text{var}$ ;  $P = \min$ ).

Як підсумок виділимо напрямок розвитку систем керування, що встановлені на видобувних комбайнах. На сьогодні наукові дослідження роботи видобувних комбайнів як мехатронних агрегатів спрямовані на впровадження інформаційних технологій, що дозволять проводити безлюдне виймання вугілля в забої. Таким чином, можна буде позбавитись основного обмеження швидкості подачі комбайна та його продуктивності на тонких пластах, що пов'язане з переміщенням оператора за комбайном (крім того, людина виводиться з небезпечної зони біля



комбайна на боковий штрек). Для цього F-модель інформаційної компоненти комбайна необхідно доповнити такими функціями:

- автоматичне керування положенням виконавчого органу комбайна за гіпсометрією пласта;
- автоматичне керування швидкістю подачі видобувного комбайна за навантажувальною продуктивністю виконавчих органів;
- розширення переліку фізичних величин, безперервна зміна у часі яких контролюється в реальному часі, з використанням цієї інформації в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень, що запобігають захисним вимкненням та зупинкам комбайна;
- встановлення зв'язків між інформаційними компонентами  $I_a$  зовнішніх систем керування видобувним комбайном та забійним механізованим кріпленням для автоматичного пересування секцій кріплення в функції переміщення комбайна.

### **2.3.2. Автоматизація стругових установок у складі очисних механізованих комплексів**

За сприятливих гірничо-геологічних умов замість видобувного комбайна може використовуватися стругова установка (СУ) як складова частина очисного механізованого комплексу. На відміну від видобувного комбайна вона виконує функцію руйнування прошарку вугілля за рахунок поступального руху струга вздовж лави. З точки зору конструктивного виконання та згідно із системним підходом можна виділити такі підсистеми стругової установки:

- корпусна – призначена для об'єднання окремих корпусних вузлів у конструктивно цілісний технічний об'єкт, а також для виконання функцій опорного та напрямного механізмів базування для ВО;
- приводу виконавчого органа – забезпечує поступальний рух струга вздовж забою з необхідними рушійними моментами;
- переміщення виконавчого органа – забезпечує поступальний рух ВО по висоті;
- переміщення стругової установки – забезпечує поступальний рух струга в напрямку посування забою;
- охолодження та зрошення – призначена для охолодження електродвигунів приводу ВО та зрошення пилу, що утворюється при руйнуванні вугілля зубцями.

Розглянемо загальну побудову перелічених підсистем стругової установки.

Корпусна підсистема СУ являє собою риштачний постав забійного конвеєра з корпусними вузлами привідних станцій. Для спрямованого переміщення базового корпусу ВО 1 (рис. 2.34) відносно напрямних 10 навісного обладнання забійного конвеєра 11 на кінцевих ділянках цього корпусу розташовані захоплювачі – два нижніх 6 та два верхніх 7. Для зменшення сил тертя в процесі переміщення струга передбачені дві пари роликів опор – з горизонтальними 8 та вертикальними 9 осями обертання.

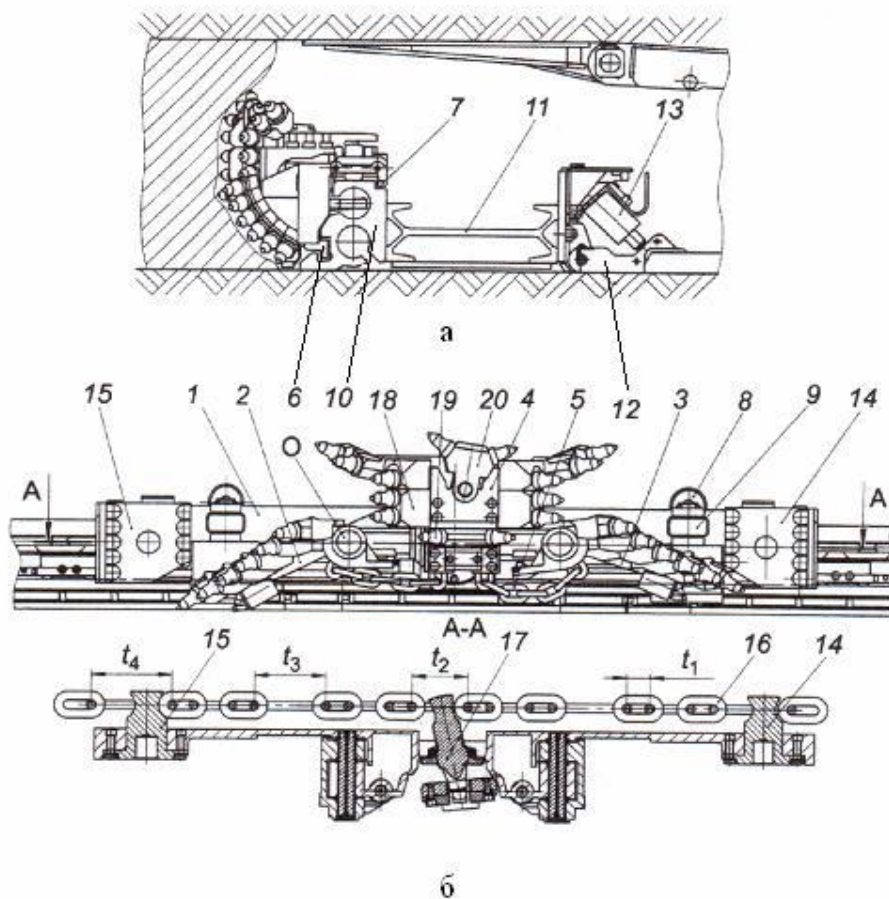


Рис. 2.34. Стругова установка С700: а – вид збоку; б – вид зверху

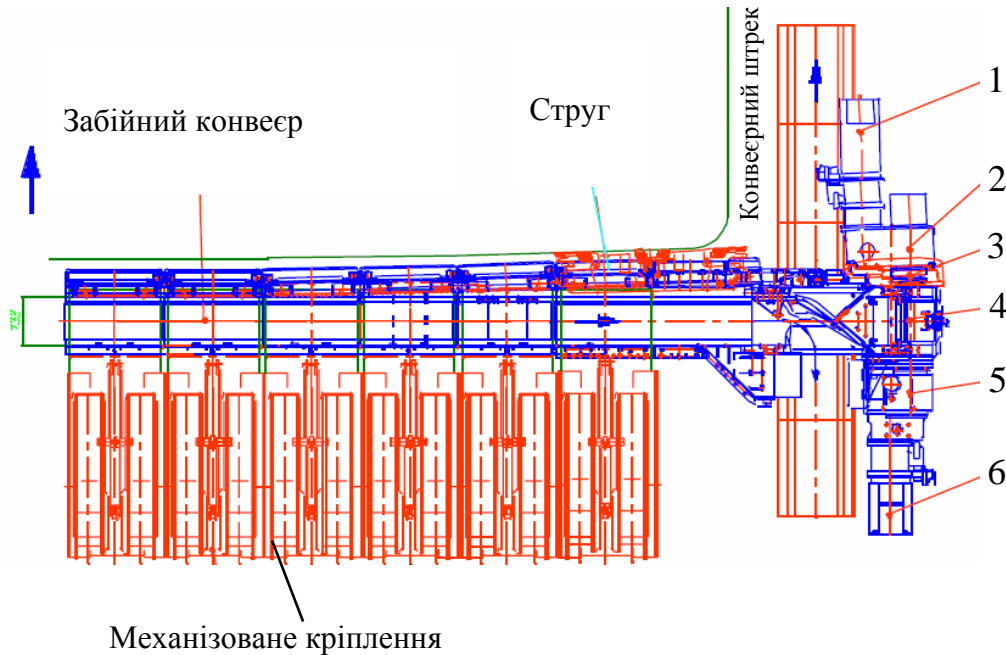
Підсистема приводу виконавчого органа включає в себе привідну станцію на основі двошвидкісних нерегульованих асинхронних електродвигунів стругової установки 1 та забійного конвеєра 6 (рис. 2.35), редуктори двигунів 2 та 5 разом з інтегрованою запобіжною гідромuftою або електромагнітною фрикційною муфтою, привідну зірочку 3, ланцюговий тяговий та виконавчий органи.

На рис. 2.35 позицією 4 позначена машинна рама. Вся привідна станція знаходиться в конвеєрному штреку та розміщується на спеціальній плиті кріплення сполучення. Для натягу тягового органу, що розташований у спеціальних відсіках завального (УСТ4, «Гляйтшвертхобель», S4-K та ін.) або забійного (СН75М, «Гляйтхобель», С700 тощо) навісного обладнання конвеєра, привідні станції можуть переміщуватися від забою за напрямними з використанням гідродомкратів, які живляться від гідросистеми кріплення, або за допомогою спеціального гідравлічного пристрою натягу ланцюгового тягового органу.

За умови забезпечення заниженої швидкості електродвигун стругової установки працює з потужністю 60 – 80 кВт, а за умови забезпечення підвищеної швидкості – 200 – 360 кВт.

Запобіжна електромагнітна фрикційна муфта виконує функцію захисту від перевантаження електродвигунів приводу ВО та захисту тягового органу від обриву. При нормальному режимі роботи в обмотці збудження напівмуфти, що знаходиться на ведучому валу, протікає струм (обмотка обертається разом з

валом). За рахунок взаємодії електромагнітних полів ця напівмуфта притягується до напівмуфти, що знаходиться на веденому валу, та обертальний момент передається через редуктори до привідної зірочки. Коли тягове зусилля перевищує допустиме значення напівмуфти починають проковзувати одна відносно одної (фіксується двома датчиками проковзування), що через певний час призводить до знеструмлення електродвигуна. Обмотка збудження муфти також знеструмлюється та під дією пружин напівмуфти на веденому валу



відходить від напівмуфти на ведучому валу.

Рис. 2.35. Струговий очисний механізований комплекс

Таким чином, за допомогою запобіжної електромагнітної муфти здійснюється апаратне захисне вимкнення електродвигуна стругової установки повз контролер із світловою та програмною індикацією події.

Виконавчий орган складається з центральної 4, лівої 2 та правої 3 головок. Головка 4 має вертикальну вісь повороту відносно базового корпусу 1 та зв'язана відрізками ланцюга 5 з головками 2 та 3, які можуть повертатися відносно корпусу на горизонтальних осях О (рис. 2.34).

Робоча гілка тягового ланцюга знаходиться в верхніх жолобах напрямних 10 та через відрізок керувального ланцюга 16, що розташований у базовому корпусі ВО, кріпиться до захоплювачів 14 та 15. Керувальний ланцюг складається з ланок, що мають різний крок ( $t_1 - t_4$ ). За рахунок такого з'єднання відбувається примусовий розворот головки 4 через важіль 17 (відповідно до напрямку руху ВО) та відведення від забою неробочих зубців. При цьому також одночасно притискається до ґрунту робоча бокова головка (2 або 3) за рахунок відповідного відрізка ланцюга 5 між ним та головкою 4. Неробоча бокова головка при цьому знаходиться у вільному підвішеному стані.

Слід зауважити, що зубці бокових головок забезпечують лемешоподібну конфігурацію забою. Це дозволяє струговій установці виконувати ще одну функцію – часткове навантаження вугілля на забійний конвеєр.

Поступальний рух ВО по висоті, що забезпечується підсистемою переміщення виконавчого органа, може бути реалізований двома способами. Згідно з першим висота центральної головки регулюється вручну східчасто (з кроком 170 мм) за рахунок установавання або зняття проставок 18 із зубцями (рис. 2.34). На головці 4 встановлено два зубці 19 для прорізання розвантажувальної щілини та поворотний тримач зубців 20 з двома зубцями для забезпечення самообвалення верхньої пачки вугілля.

Другий спосіб передбачає розташування вздовж лави на завальному навісному обладнанні конвеєра спеціальних важільних механізмів регулювання положення риштачного поставу. До складу цих механізмів входять гідродомкрати 13, які шарнірно з'єднані зі штовхачами 12 секцій механізованого кріплення та навісним обладнанням конвеєра 11 (рис. 2.34).

Підсистема охолодження та зрошення стругових установок має тільки зовнішню частину (на відміну від комбайнової підсистеми) та складається зі штрекового обладнання (одна чи дві насосні установки), забійного водоводу й форсунок. Штрековий водовід підвішується в штреку від насосної установки до головної привідної станції (рис. 2.35). Вода з водоводу через пристрій контролю підсистеми попадає до колектора. Від останнього один з рукавів йде до «сорочки» охолодження електродвигуна головного приводу стругової установки, після проходження якої вода потрапляє до забійного водоводу, що укладається у стаціонарному жолобі підвісного обладнання конвеєра. По цьому водоводу вода потрапляє до форсунок, які встановлюються на завальному навісному обладнанні конвеєра або на секціях механізованого кріплення вздовж усієї лави (відстань між форсунками не більше 3 м). В кінці лави водовід приєднується до допоміжної привідної станції. Вода через пристрій контролю підсистеми надходить до «сорочки» охолодження електродвигуна допоміжного приводу стругової установки, а потім використовується для зрошення.

У даному пункті підрозділу розглядаються тільки стругові установки, що працюють разом з агрегатованим механізованим кріпленням. В цьому випадку підсистеми переміщення виконавчого органа та стругової установки тісно інтегровані з підсистемою переміщення кріплення. Тому реалізацію функцій даних підсистем здійснює система керування механізованим кріпленням.

Наведемо перелік функцій, які виконують системи керування струговими установками:

- вибір пульта керування;
- дистанційне або телемеханічне керування електродвигунами стругової установки та інших машин очисного комплексу з обраного пульта керування;
- дистанційне вимкнення приводів СУ та забійного конвеєра з абонентських постів зв'язку вздовж лави (через 10 м);
- дистанційне аварійне вимкнення машин очисного комплексу з головного пульта керування, допоміжних пультів та з абонентських постів зв'язку вздовж лави;

- автоматична подача попереджувального сигналу на 9 – 15 с перед початком руху струга (перший запуск);
- забезпечення переміщення струга з підвищеною швидкістю подачі в центральній ділянці лави та заниженою швидкістю подачі в кінцевих ділянках лави;
- автоматичне вимкнення електродвигунів приводів СУ за умови підходу струга до крайніх ділянок лави;
- автоматична стабілізація величини вибігу струга за умови вимкнення електродвигунів приводів СУ (не повинна перевищувати 0,5 м);
- автоматичний реверс струга за умови його знаходження на крайній ділянці лави (або за сигналом з обраного пульта керування);
- автоматичне керування засобами секційного зрошення в функції переміщення струга;
- всі захисні вимкнення та блокування, що реалізує станція керування на штреку (перелічені у другому підрозділі) стосовно електродвигунів стругової установки;
- захист електродвигунів стругової установки від перевантаження, перекидання та пуску, що не відбувся;
- електричне блокування, що не допускає початок руху струга, якщо не забезпечений необхідний попередній натяг тягового органу;
- електричне блокування, що не допускає запуск СУ, якщо протягом 3 с не ввімкнувся випромінювач акустичний;
- електричне блокування, що не допускає запуск або роботу СУ за умов неприпустимого зниження тиску та витрати води в підсистемі зрошення та охолодження комбайна;
- електричне блокування, що не допускає запуск або роботу СУ, якщо має місце неприпустима концентрація скупчення метану в струмені повітря, що виходить з лави;
- захисне вимкнення електродвигунів приводів СУ за умови зниження натягу тягового органу нижче допустимого рівня протягом 5 с;
- захисне вимкнення електродвигунів СУ за умови перегріву їх обмоток або підшипникових вузлів;
- захисне вимкнення електродвигунів СУ за умови перевищення температури води в системі охолодження корпусів електродвигунів критичного значення;
- блокування аварійної зупинки СУ при виході контрольованих параметрів за припустимі границі менш ніж на 2 – 5 с;
- контроль за станом телемеханічного каналу керування СУ (зупинка струга за умови відсутності телемеханічного зв'язку з головним пультом керування протягом 5 с);
- контроль за станом радіоканалу керування СУ (зупинка струга за умови відсутності радіозв'язку з переносним пультом керування протягом 5 с);
- блокування ввімкнення випромінювача акустичного перед початком руху струга, якщо він стояв не більше ніж 5 – 8 с;
- контроль за іскробезпекою кіл дистанційного керування;

- блокування, що повертає й утримує схеми керування у вимкненому стані за умови будь-якого захисного вимкнення або відмови механізмів;
- контроль напрямку переміщення струга та його місцеположення в лаві;
- відображення контрольної, оперативної та аварійної інформації на пультах керування з передачею цієї інформації на верхній рівень.

Розглянемо структурну схему системи керування струговими установками (рис. 2.36). При цьому виділимо окремі підсистеми згідно з підходом, який був застосований у процесі аналізу конструктивного виконання СУ. Кожна підсистема має свій набір датчиків та виконавчих пристроїв для реалізації дистанційного (або автоматичного) керування з підтримкою захисних вимкнень та блокувань.

У підсистемі приводу виконавчого органу СУ для автоматичного керування двошвидкісними електродвигунами (завдання необхідної швидкості подачі СУ залежно від місцезнаходження в лаві) використовуються два контактори  $K1_{cy}$  та  $K2_{cy}$  для роздільної подачі живлення до першої та другої частин статора з метою забезпечення роботи двигуна відповідно із заниженою або підвищеною швидкістю. Контактор  $K_{cy}$  забезпечує загальну подачу живлення до стругової установки. Електромагнітне реле ЕМР виконує функцію перемикачів обмоток статора електродвигуна з метою його реверса. Дистанційне керування контакторами К та електромагнітним реле ЕМР відбувається за допомогою окремих двопровідних кіл (тонкі лінії на рис. 2.36) «Пульт керування – МК – К (або ЕМР)» повз контролер (рис. 2.10) за умови натиснення відповідних кнопок на переносному пульті керування (ППК), головному пульті керування (ГПК) або допоміжному пульті керування (ДПК). Також реалізується дистанційне керування контакторами  $K1_{cy}$ ,  $K2_{cy}$  та електромагнітним реле ЕМР в автоматичному режимі з модуля керування МК за сигналами від автоматичних кінцевих перемикача швидкості струга та вимикача (сигнали передаються до модуля керування МК по окремих двопровідних колах).

Для визначення швидкості подачі струга та напрямку його переміщення з метою діагностування місцезнаходження СУ використовують два окремих двопровідних індуктивних датчики постійного струму. Вони встановлюються біля привідної зірочки 3 (рис. 2.35).

До складу підсистеми приводу ВО входять такі датчики для реалізації захисних вимкнень та блокувань роботи стругової установки:

- дискретний датчик концентрації скупчення метану в струмені повітря, що виходить з лави, спрацьовує при перевищенні концентрації рівня 1 %;
- дискретний датчик струму статора електродвигуна приводу ВО, що спрацьовує за умови значного відхилення струму від номінального значення  $I_n$  при запуску двигуна протягом 3 с;
- дискретні датчики тиску робочої рідини в поршневій порожнині гідроприводу пристрою натягу ланцюгового тягового органу;
- дискретні датчики температури обмотки електродвигуна (дворівневий температурний захист): для кола попередньої сигналізації температура спрацьовування 160°C, а для кола аварійного вимкнення – 180°C;
- дискретні датчики для температурного захисту підшипникових вузлів двигуна, які спрацьовують при 120°C;

- дискретні датчики проковзування запобіжної електромагнітної муфти приводу ВО;
- дискретний акустичний датчик.

Блок-контакти всіх дискретних датчиків, що призначені для захисних вимкнень та блокувань роботи СУ, включені послідовно в коло дистанційного аварійного вимкнення контактора  $K_{СУ}$  та всіх пускачів механізмів очисного комплексу (рис. 2.36). Їх спрацьовування призводить до розмикання кола дистанційного аварійного вимкнення та, як наслідок, кіл живлення котушок контакторів електродвигунів (як це показано на рис. 2.10). Крім того, кожен датчик зв'язаний з модулем керування МК окремим колом для програмної індикації його спрацьовування.

Натяг тягового органу контролюється через тиск робочої рідини в поршневій порожнині гідроприводу пристрою натягу тягового органу за допомогою двох датчиків тиску або інших датчиків. Перший датчик настроєний на задану величину попереднього натягу ланцюга та блокує початок руху струга за умови суттєвого відхилення тиску від заданого значення. Другий – на мінімально допустиму величину натягу ланцюга. Його спрацьовування призведе до знеструмлення електродвигунів приводів ВО за умови зниження тиску нижче допустимого рівня протягом 5 с.

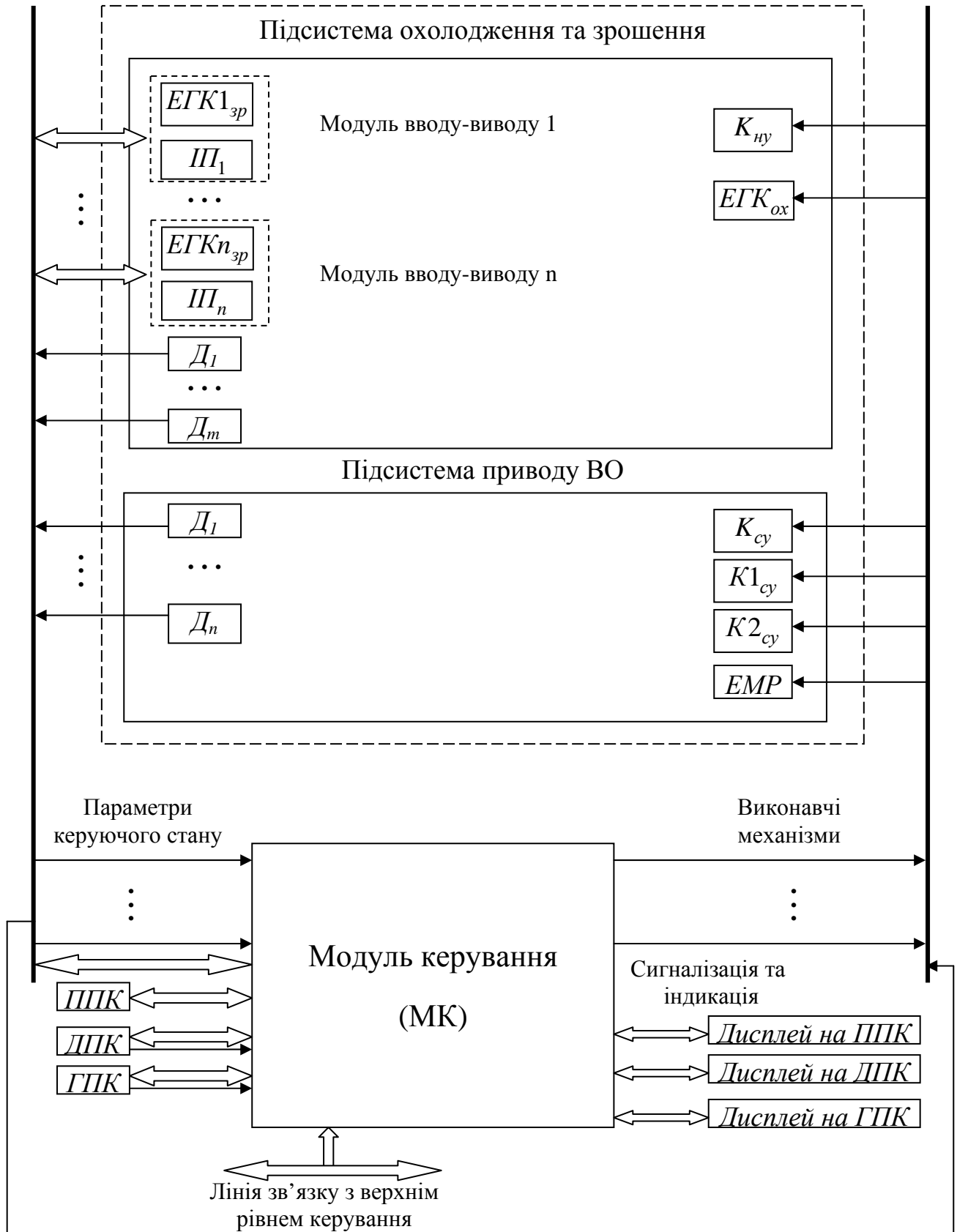
Підсистема охолодження та зрошення має два виконавчих елементи – контактор  $K_{НУ}$  електродвигуна насосної установки та електрогідроклапан  $ЕГК_{ох}$ , що керує подачею води в «сорочку» охолодження електродвигуна (рис. 2.36). Керуючі сигнали до контактора  $K_{НУ}$  та електрогідроклапана  $ЕГК_{ох}$  надходять по окремих двопровідних колах з модуля керування МК (реалізується автоматичне вмикання згідно з алгоритмом запуску стругової установки).

Електрогідроклапани керування зрошенням  $ЕГК_1 - ЕГК_n$  вмикаються та вимикаються безпосередньо за сигналами від приймачів інфрачервоного випромінювання  $ІП_1 - ІП_n$ , що встановлені на секціях механізованого кріплення або на завальному навісному обладнанні забійного конвеєра. Також реалізується дистанційне керування електрогідроклапанами  $ЕГК_1 - ЕГК_n$  з пультів місцевих секцій кріплення. Прийом сигналів з інфрачервоних приймачів  $ІП_1 - ІП_n$  та видачу керуючих сигналів до електрогідроклапанів  $ЕГК_1 - ЕГК_n$  виконують забійні модулі вводу-виводу, що розташовані вздовж лави. Усі забійні модулі вводу-виводу зв'язані з модулями керування МК через окремий послідовний канал зв'язку (подвійні лінії на рис. 2.36) для програмної індикації станів інфрачервоних приймачів та електрогідроклапанів (рис. 2.37).

До складу підсистеми охолодження та зрошення входять такі датчики для реалізації захисних вимкнень та блокувань роботи СУ:

- два дискретних датчики тиску води в водопроводі, які настроєні на мінімальний (1,5 МПа) та максимальний (2 МПа) рівні спрацьовування;
- дискретний датчик загальної витрати води, який спрацьовує, якщо витрати перевищують рівень 25 – 35 л/т;
- два дискретних датчики температури води в трубопроводі, спрацьовування яких призводить до знеструмлення електродвигунів приводів ВО за умови перевищення температурою води допустимої позначки 25°C.

## Стругова установка



Коло дистанційного аварійного вимкнення

Рис. 2.36. Структурна схема системи керування струговою установкою



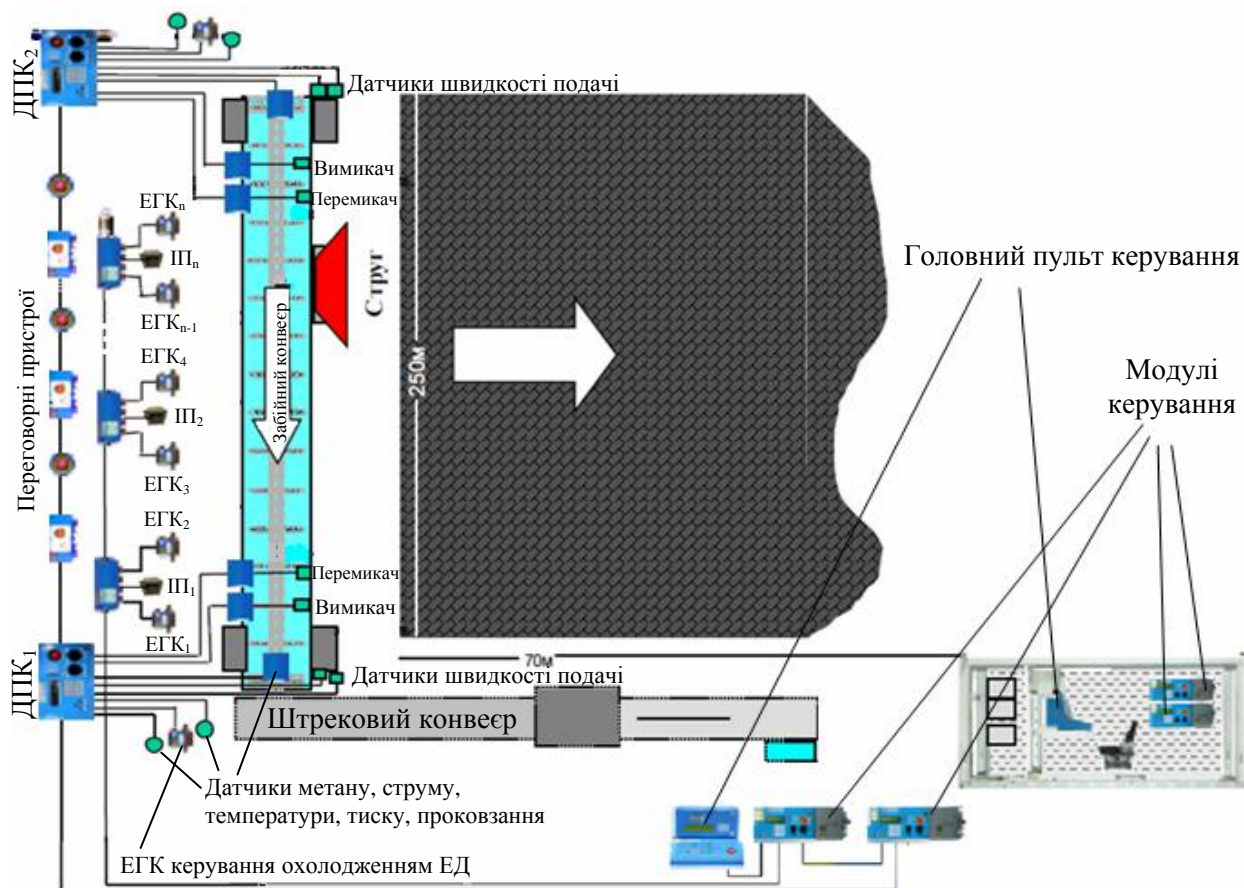


Рис. 2.37. Схема електрообладнання стругової установки DBT

Розглянемо розміщення датчиків та виконавчих пристроїв на стругових установках та їх зв'язок з модулями керування на основі схеми електрообладнання стругової установки DBT (рис. 2.37).

Складові комплексу засобів керування струговою установкою розміщуються на відкотному штреку (модулі керування та головний пульт керування) та вздовж лави на секціях механізованого кріплення або навісному обладнанні забійного конвеєра (електрогідроклапани керування зрошенням та ін.). В кінцевих ділянках лави на поставі забійного конвеєра встановлені перемикачі швидкості струга та вимикачі. Вони під'єднуються до двох допоміжних пультів керування ДПК, що знаходяться біля головного та допоміжного приводів стругової установки. До пультів керування допоміжних також під'єднуються:

- два окремих індуктивних датчики постійного струму для визначення швидкості подачі струга та напрямку його переміщення;
- датчики температури обмоток і підшипникових вузлів разом з датчиками струму статорів, що розташовані в електродвигунах приводів ВО;
- електрогідроклапани керування охолодженням двигунів разом з датчиками температури води, що розташовані в пристрої контролю підсистеми охолодження та зрошення;
- датчики концентрації скупчення метану в струмені повітря, що виходить з лави;
- датчики проковзання запобіжної електромагнітної муфти приводу ВО;

– датчики тиску робочої рідини в гідроприводі пристрою натягу тягового органу;

– дискретні акустичні датчики.

Обидва допоміжних пульти керування ДПК мають зв'язок з модулями керування через окремий послідовний канал зв'язку. На ДПК, як правило, розміщені органи керування стругом, конвеєром та аварійним вимкненням. На головному пулті керування (ГПК) зосереджені органи, що забезпечують формування команд керування всіма операціями, які зв'язані з технологією роботи СУ та зміною їх режимів.

До всіх пультів керування по послідовному каналу зв'язку (подвійні лінії на рис. 2.36) та до пульта переносного по радіоканалу з модулів керування передається така інформація (із світловою індикацією за допомогою світлодіодів та програмною індикацією на дисплеях пультів керування):

– зміна у часі в реальному режимі струмів статорів двигунів та місцезнаходження струга в лаві із значенням швидкості подачі та напрямку переміщення;

– тиск та витрати води в водопроводі підсистеми зрошення та охолодження електродвигунів;

– стан виконавчих елементів системи керування СУ (контакторів електродвигунів  $K_{HY}$ ,  $K_{CY}$ ,  $K1_{CY}$  та  $K2_{CY}$ , електрогідроклапанів  $ЕГК_1$  –  $ЕГК_n$  та  $ЕГК_{OX}$ , електромагнітного реле ЕМР) – увімкнені або вимкнені;

– спрацьовування датчиків для реалізації захисних зупинок, вимкнень та блокувань роботи стругової установки;

– спрацьовування струмового захисту силових та інформаційних кіл (коротке замикання, зниження опору ізоляції тощо) з уточненням місця та причини спрацьовування.

Протягом роботи СУ в системі керування відбувається синхронізація сигналів з датчиків швидкості подачі струга та з приймачів інфрачервоного випромінювання, що встановлені на секціях механізованого кріплення, для підвищення точності діагностики місцезнаходження струга в лаві (зміст лічильника імпульсів з датчиків швидкості подачі струга корегується за сигналами з приймачів інфрачервоного випромінювання та кінцевих перемикачів).

Розглянемо алгоритм керування струговою установкою (реалізується в модулях керування) на основі графа переходів, що зображений на рис. 2.38. Перший стан системи керування відповідає ситуації, коли електродвигуни насосної та стругової установок знеструмлені. Умови переходу до другого стану системи (подача живлення на насосну та стругову установки):

– натиснення кнопки «ПУСК» та віджатий стан кнопок «СТОП» та «СТОП АВАРІЙНИЙ»;

– відсутність порушення цілісності кола аварійного вимкнення;

– відсутність порушення цілісності кола попереджувального сигналу;

– відсутність порушення цілісності кіл керування;

– опір ізоляції силових кіл більше ніж 100 кОм;

– кришка електроблоку закрита;

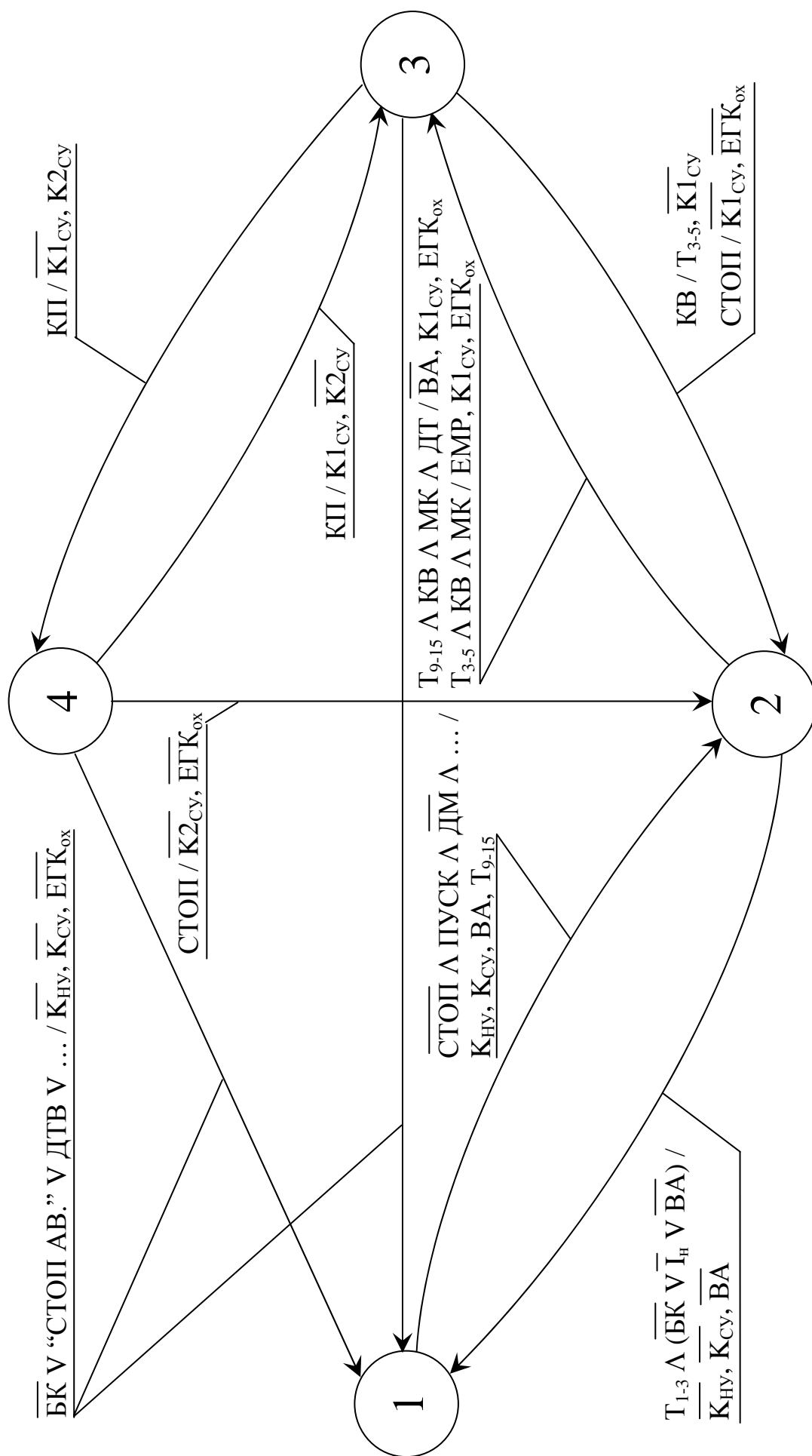


Рис. 2.38. Схема алгоритму керування струговою установкою

- концентрація скупчення метану в струмені, що виходить з лави, не перевищує рівень в 1 % (датчик метану (ДМ) не спрацював);
- деблокування стругової установки вручну після захисного вимкнення енергопостачання.

При цьому необхідне одночасне виконання всіх умов.

При переході до другого стану вмикаються контактори насосної установки  $K_{\text{НУ}}$  та стругової установки  $K_{\text{СУ}}$  (СУ знаходиться в зарядженому стані), вмикається випромінювач акустичний (ВА) та запускається таймер на відлік 9 – 15 с. Якщо протягом 1 – 3 с блок-контакти (БК) будь-якого пускача не замикаються, випромінювач акустичний не генерує звуковий сигнал або струм статора двигуна насосної установки (НУ) не досягає свого номінального значення  $I_n$ , електродвигун НУ та СУ знеструмлюються (система переходить назад у початковий стан). При цьому на всі пульти керування та на верхній рівень видається інформація про причину вимкнення.

Перехід до третього стану системи (переміщення струга із заниженою швидкістю подачі) можливий за двома варіантами. Перший – відповідає ситуації, коли час простою струга перевищив 3 – 5 с. Умови переходу до третього стану за першим варіантом (необхідне одночасне виконання всіх умов):

- закінчення затримки часу на 9 – 15 с, протягом якої звучав попереджувальний сигнал;
- спрацювання кінцевого вимикача КВ (струг знаходиться на крайній ділянці лави);
- надходження сигналу із системи керування механізованим кріпленням про завершення переміщення конвеєрного поставу;
- спрацювання датчика тиску (ДТ), що контролює попередній натяг ланцюга.

При переході до третього стану системи за першим варіантом вмикається випромінювач акустичний та вмикається:

- електрогідроклапан  $ЕГК_{\text{ох}}$ , що керує подачею води в «сорочку» охолодження електродвигуна;
- контактор  $K1_{\text{СУ}}$  для подачі живлення до першої частини статора двошвидкісного двигуна СУ з метою забезпечення його роботи із заниженою швидкістю.

Другий варіант переходу в третій стан системи відповідає ситуації, коли час простою струга менше 3 – 5 с. Умови переходу до третього стану за другим варіантом (необхідне одночасне виконання всіх умов):

- закінчення затримки часу на 3 – 5 с;
- спрацювання кінцевого вимикача (струг знаходиться на крайній ділянці лави);
- надходження сигналу із системи керування механізованим кріпленням про завершення переміщення конвеєрного поставу.

При переході до третього стану системи за другим варіантом відбувається зміна стану електромагнітного реле (ЕМР) для перемикання обмоток статора електродвигуна з метою його реверса, а також вмикаються:

- електрогідроклапан  $ЕГK_{ox}$ , що керує подачею води в «сорочку» охолодження електродвигуна;

- контактор  $K1_{cy}$  для подачі живлення до першої частини статора двошвидкісного двигуна СУ з метою забезпечення його роботи із заниженою швидкістю.

Перехід з третього стану системи до другого також відбувається за двома варіантами. Умовою переходу за першим варіантом є спрацювання кінцевого вимикача (КВ). При цьому вимикається контактор  $K1_{cy}$  та запускається таймер на відлік 3 – 5 с. Умова переходу за другим варіантом – натиснення кнопки «СТОП» на пульті керування (абонентському пості зв'язку). При цьому вимикаються контактор  $K1_{cy}$  та електрогідроклапан  $ЕГK_{ox}$ .

Перехід з третього стану системи до початкового (першого) має місце при виконанні однієї з умов:

- натиснення кнопки «СТОП АВАРІЙНИЙ» на одному з пультів керування або на абонентському пості зв'язку;

- відсутність замикання блок-контактів контактора  $K1_{cy}$  протягом 1 – 3 с;

- спрацювання одного з датчиків для реалізації захисних вимкнень та блокувань роботи стругової установки (перелічені вище). Наприклад, датчика температури води (ДТВ) у підсистемі охолодження електродвигунів СУ.

В процесі даного переходу вимикаються контактори насосної  $K_{ny}$  та стругової установок  $K_{cy}$ , а також електрогідроклапан  $ЕГK_{ox}$ .

Якщо стругова установка працює в нормальному режимі, відбувається перехід з третього стану системи до четвертого (переміщення струга із підвищеною швидкістю подачі) за умови спрацювання кінцевого перемикача (КП) швидкостей двигуна СУ. При цьому вимикається контактор  $K1_{cy}$  та вмикається контактор  $K2_{cy}$  для подачі живлення до другої частини статора двошвидкісного двигуна СУ з метою забезпечення його роботи з підвищеною швидкістю.

Якщо нормальний режим роботи стругової установки продовжується, відбувається перехід з четвертого стану системи назад до третього за умови спрацювання кінцевого перемикача на іншому кінці лави. При цьому вимикається контактор  $K2_{cy}$  та вмикається контактор  $K1_{cy}$  для переходу до заниженої швидкості переміщення струга.

До того ж з четвертого стану можливі переходи до другого та початкового станів системи. В першому випадку перехід відбувається при натисненні кнопки «СТОП» на пульті керування (при цьому вимикаються контактор  $K2_{cy}$  та електрогідроклапан  $ЕГK_{ox}$ ).

Перехід з четвертого стану системи до початкового (першого) має місце при виконанні однієї з умов:

- натиснення кнопки «СТОП АВАРІЙНИЙ» на одному з пультів керування або на абонентському пості зв'язку;

- відсутність замикання блок-контактів контактора  $K2_{cy}$  протягом 1 – 3 с;

- спрацювання одного з датчиків для реалізації захисних вимкнень та блокувань роботи стругової установки (перелічені вище).

У процесі даного переходу вимикаються контактори насосної  $K_{HY}$  та стругової установок  $K_{CY}$ , а також електрогідроклапан  $ЕГK_{ox}$ .

Як підсумок, виділимо напрям розвитку систем керування струговими установками. На сьогодні наукові дослідження роботи стругових очисних механізованих комплексів (ОМК) спрямовані на впровадження інформаційних технологій, що дозволять проводити безлюдне виймання вугілля в забої. При цьому стругові ОМК являють собою мехатронні системи з підтримкою дозованого виймання вугілля стругом. Система керування струговою установкою за умови реалізації технології виймання без постійної присутності людей повинна виконувати такі додаткові функції:

- контроль та захисне вимкнення стругової установки за умови виникнення перешкоди на шляху руху струга;
- розширення переліку фізичних величин, безперервна зміна у часі яких контролюється в реальному режимі, з використанням цієї інформації в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень, що запобігають захисним вимкненням стругової установки;
- встановлення додаткових зв'язків між системою керування струговою установкою та інформаційною компонентою  $I_a$  зовнішньої системи керування забійним механізованим кріпленням та кріпленням сполучення для перевірки умов початку руху струга (закінчення переміщення риштачного поставу забійного конвеєра та привідної станції), контролю за заданим переміщенням риштачного поставу та відповідно напрямної, а також для підвищення точності діагностування місцезнаходження струга в лаві (контролюється одночасно за допомогою датчиків швидкості подачі струга та інфрачервоних приймачів).

### **2.3.3. Аналіз забійного механізованого кріплення як об'єкта автоматизації**

Забійне механізоване кріплення є складовою частиною очисного механізованого комплексу як мехатронної системи і за складом компонент та характером зв'язків між ними являє собою мехатронний агрегат. Забійне кріплення виконує такі функції (F-модель кріплення як мехатронного агрегату):

- підтримка порід покрівлі та керування станом порід, що вміщують вугільний пласт, за рахунок поступального руху перекриття секції;
- захист оголеного простору за видобувною машиною після виймання пачки вугілля за рахунок поступального руху секції вглиб пласта;
- захист робочого простору від продуктів обвалення та вирівнювання секції після її переміщення за рахунок поступального руху бокових щитів секції;
- переміщення видобувної машини на новий шлях за рахунок поступального руху забійного конвеєра вглиб пласта.

Поступальний рух поставу конвеєра, секції, її перекриття та бокових щитів забезпечує М+С-компонента кріплення. Дано її загальну характеристику, виділивши згідно із системним підходом такі підсистеми забійного кріплення:

- керування покрівлею – призначена для підтримки порід покрівлі та керування станом порід, що вміщують вугільний пласт, а також для захисту робочого простору від обвалення;
- огороження – призначена для захисту робочого простору від обвалення в завальній частині забою;
- переміщення секції кріплення та забійного конвеєра (загальна) – виконує функцію спрямованого пересування секції кріплення та конвеєра вглиб пласта, а також утримання останнього в необхідному положенні;
- живлення забійного кріплення робочою рідиною з необхідним тиском;
- зрошення завальної частини забою.

Розглянемо загальну побудову перелічених підсистем забійного кріплення.

Підсистема керування покрівлею складається з основи 1 (рис. 2.39), перекриття 2, консолей 4, гідростояків 10, важеля стоякового 15, коромисла 16, штанги 17, а також запобіжних клапанів, що забезпечують у номінальному режимі постійність середнього робочого опору секції кріплення (тиск настройки клапанів у замкнених поршневіх порожнинах I ступеня розсувності гідростояків становить 30 – 40 МПа, II ступеня – 60 – 85 МПа).

Гідростояки 10 установлені на спільній жорсткій основі 1 в окремих для кожного стояка гніздах і спираються на них сферичними поверхнями циліндрів. За допомогою двох бонок стояки шарнірно зв'язані з основою.

По покрівлі гідростояки 10 зв'язані спільним жорстким перекриттям 2, причому зв'язок з ним здійснюється через проміжні важелі 15. Кожний важіль 15 має дві сферичні опори, в одну з яких входить сферична головка штока гідростояка 10, закріплена віссю, а в другу – одна зі сферичних головок штанги 17. Друга сферична головка штанги 17 входить у сферичну опору коромисла 16, що із забійного боку контактує з хвостовиком підтискної консолі 4. Цей механізм забезпечує підтискання консолей за допомогою передачі на них зусилля гідростояків. Зусилля піддатливості консолей пропорційне зусиллю, що розвивається гідростояками. Консолі мають хід вгору відносно перекриття. Опускання консолей вниз обмежене жорстким замиканням хвостовика консолі з кронштейном перекриття, що відбувається під час вирівнювання консолі й перекриття.

Підсистема огороження складається з огорожі 3, важелів завальних 5 та важелів забійних 6, а також гідродомкрата стабілізації 12. Огорожа 3 шарнірно з'єднана з основою 1 за допомогою важелів завальних 5 і забійних 6. Утворений шарнірно з'єднаними між собою огорожею 3, важелями завальними 5 і забійними 6 та основою 1 чотириполюсник визначає геометрично незмінну в площині пласта систему із заданим рухом по траєкторії шарнірного з'єднання перекриття 2 з огорожею 3. Чотириполюсник сприймає всі навантаження, які діють у площині пласта на перекриття при підтримці покрівлі й переміщенні секції, що розвантажує стояки від згинальних навантажень і забезпечує відносно постійну відстань між вибоєм і кінцями консолей на всьому діапазоні

розсувності секції за потужністю пласта. Огорожа 3 з'єднана із задньою частиною перекриття 2 через стабілізуючий гідродомкрат 12, який дозволяє додатково керувати перекриттям 2 з метою більшої стабілізації його положення.

Під час роботи кріплення покрівля безпосередньо у вибої підтримується підтискними консолями 4, а в іншому просторі лави – перекриттям 2. Огорожа 3 захищає секцію з боку виробленого простору від обвалюваних порід покрівлі.

Загальна підсистема переміщення секції кріплення та забійного конвеєра складається з боковин 7, щитів 8, штовхача 9, гідродомкрата пересування 11, гідродомкратів розсунення й складання боковин і щитів 13, гідропатрона 14, важеля механізму підйому основи 18.

Механізм переміщення секції та конвеєра, який складається з гідродомкрата пересування 11 і штовхача 9, розташований у центральному каналі основи 1.

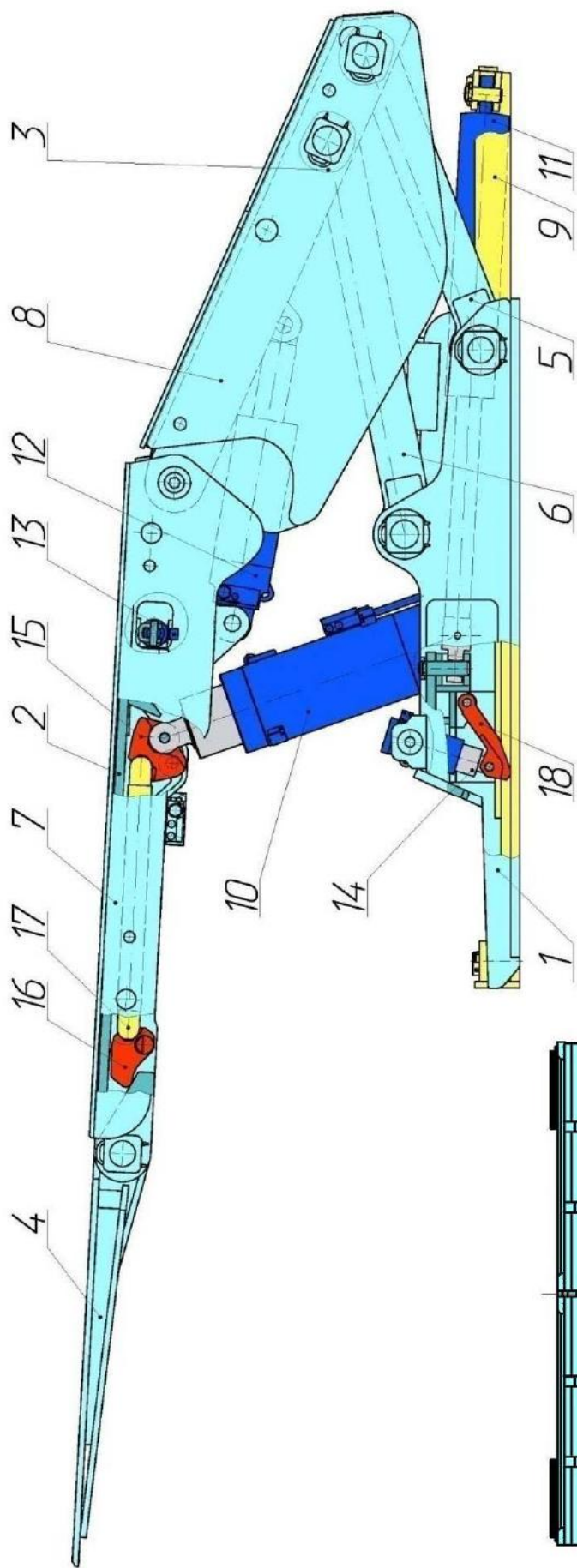
Штовхач 9 складається із шарнірно зв'язаних одна з одною серги й двох рам (забійної та завалочної). Циліндр гідродомкрата пересування 11 з'єднаний із завалочною рамою віссю, а шток – віссю з «вушком», привареним на передній порталній частині основи 1. Забійна рама штовхача 9 шарнірно з'єднана із сергою, яка також шарнірно з'єднана з навісним устаткуванням конвеєра. Серга має поздовжній паз величиною 50 мм, наявність якого компенсується збільшенням до 690 мм ходу гідродомкрата пересування. Механізм переміщення забезпечує необхідну поперечну розв'язку конвеєра відносно секції кріплення й передачу на конвеєр керувального впливу, що перешкоджає його «сповзанню на земник» при пересуванні.

Конструктивна схема механізму переміщення дозволяє виконувати підтягування секції кріплення поршневою порожниною гідродомкрата, тобто великим зусиллям, а пересування конвеєра – штоковою. На передній частині основи встановлений гідропатрон 14 і важіль 18, які утворюють механізм підйому носка основи секції, що забезпечує роботу кріплення в умовах слабого ґрунту.

Для запобігання просипанню порід покрівлі в міжсекційні зазори на секціях кріплення передбачені рухомі щити 8 по огорожі 3 і боковини 7 по перекриттю 2. Відповідно до напрямку вибою з одного боку секції встановлюються рухомі боковини й щити, а з другого боку – нерухомі. Підтискання щитів і боковин здійснюється пружинами, висування й складання – гідродомкратами 13 з керуванням від одного розподільника, за умови нейтрального положення якого порожнини гідродомкратів з'єднані зі зливом. Щити й боковини шарнірно з'єднані між собою. За допомогою рухомих щитів і боковин може бути скориговане положення секції кріплення в процесі її пересування або наприкінці ходу, коли центрування секції відбувається також в кронштейнах навісного устаткування.

Підсистема живлення забійного кріплення робочою рідиною формується на основі насосних станцій, що забезпечують живлення виконавчих гідроциліндрів робочою рідиною з необхідною подачею та заданим тиском (тиск в напірній магістралі становить 20 – 40 МПа). До складу даної підсистеми також входять напірні та зливні магістралі, з'єднувальні елементи гідрокомунікації, внутрішнє розведення гідросистеми на секціях, силові гідророзподільники й гідрозамки для керування подачею та зливом робочої рідини з гідроциліндрів.





- 1 – основа
- 2 – перекриття
- 3 – огорожа
- 4 – консоль
- 5 – важіль завалочний
- 6 – важіль забійний
- 7 – боковина перекриття
- 8 – щит огорожі
- 9 – штовхач механізму пересування

- 10 – гідростояк
- 11 – гідродомкрат пересування
- 12 – гідродомкрат стабілізації
- 13 – гідродомкрат розсувності боковин
- 14 – гідропатрон підйому основи
- 15 – важіль стояковий
- 16 – коромисло
- 17 – штанга
- 18 – важіль механізму підйому основи

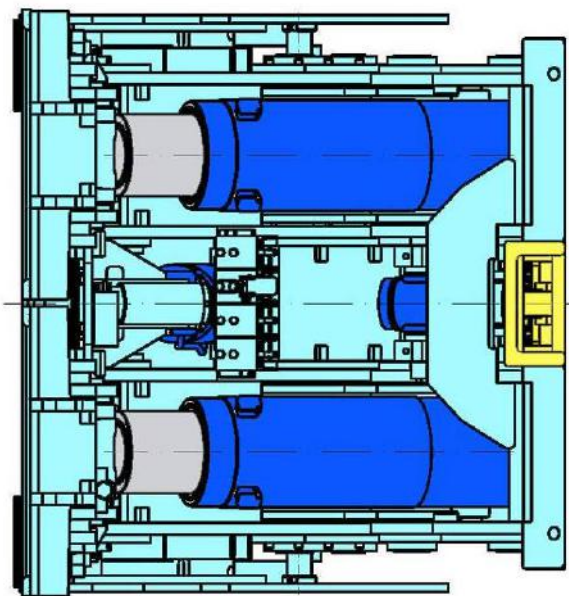


Рис. 2.39. Секція кріплення КДД

Підсистема зрошення завалочної частини забою складається із штрекового й забійного водоводу та форсунок, що встановлюються на завалочних гідростояках секцій забійного кріплення. Для зрошення, як правило, використовується вода після охолодження електродвигунів привідної станції на боковому штреку. Тиск та витрати води для зрошення завалочної частини забою при переміщенні секції кріплення контролюються за допомогою пристрою контролю підсистеми зрошення, що входить до складу системи керування видобувним комбайном (стругом) або конвеєром та розміщується в привідній станції.

Дано характеристику інформаційній та електронній компонентам забійного механізованого кріплення як мехатронного об'єкта на основі аналізу F-моделі інформаційної компоненти, структурної схеми системи керування, схеми електрообладнання та графа переходів, що описує закон керування кріпленням та за яким розробляється програмне забезпечення.

Наведемо перелік функцій, що виконує система керування забійним механізованим кріпленням (F-модель інформаційної компоненти):

- вибір пульта керування секцією кріплення (головний або місцевий);
- вибір режиму керування секцією (автоматичний або дистанційний поопераційний) з місцевого пульта керування;
- автоматичне або дистанційне поопераційне керування електрогідророзподільниками гідростояків та гідродомкратів переміщення секції та бокових щитів;
- автоматичне або дистанційне поопераційне керування секціями кріплення в межах виділеної групи з реалізацією технологічних алгоритмів переміщення секцій та поставу забійного конвеєра;
- дистанційне поопераційне або автоматизоване керування електрогідророзподільниками гідродомкратів важільних механізмів регулювання положення риштачного поставу конвеєра, що входять до складу підсистеми переміщення виконавчого органа стругової установки;
- розвантаження секції, її переміщення та розпір в автоматичному режимі за умов керування секцією з ГПК або з місцевого пульта при виборі відповідного режиму керування;
- переміщення поставу забійного конвеєра в автоматичному режимі за умов керування секцією з ГПК або з місцевого пульта при виборі відповідного режиму керування;
- керування секцією з гідроблоку, що розташований на сусідній секції;
- координація технологічного алгоритму керування секціями (з можливістю його зміни) за умови автоматизованого керування секціями механізованого кріплення з головного пульта керування;
- вирівнювання поставу конвеєра після його переміщення за умови дозованого виймання вугілля стругом;
- забезпечення заданого тиску в поршневіх порожнинах гідростояків при переміщенні секції з активним регульованим підпором покрівлі;
- включення звукової сигналізації на 5 – 8 с перед початком переміщення секції або поставу забійного конвеєра;

- автоматичне ввімкнення зовнішнього зрошення за умови початку переміщення секції (для пластів потужністю більше ніж 1,5 м);
- блокування всіх команд керування та зупинка всіх виконавчих органів секцій за умови натиснення кнопки «СТОП АВАРІЙНИЙ»;
- блокування, що повертає й утримує схеми керування у вимкненому стані за умови будь-якої захисної зупинки або відмови механізмів;
- блокування зняття розпору секції, якщо обидві сусідні секції не знаходяться під розпором;
- блокування переміщення поставу конвеєра із секції, яка не знаходиться під розпором;
- блокування керування секціями з ГПК при перевищенні тиску в гідростояках однієї із секцій рівня 45 МПа протягом 5 с (тиск настройки запобіжних клапанів);
- блокування переміщення секції за умови знаходження видобувної машини поблизу секції на недопустимій відстані;
- захисна зупинка переміщення секції або поставу конвеєра, якщо за певний час (4 – 5 с) шток не досяг заданого положення;
- захисна зупинка секцій механізованого кріплення, якщо тиск робочої рідини в напірній гідромагістралі перевищив рівень 40 МПа протягом 5 с;
- захисна зупинка секцій механізованого кріплення за умови зниження тиску та витрати води в підсистемі зрошення нижче допустимого рівня;
- захисна зупинка переміщення поставу конвеєра, якщо шток гідродомкрата однієї із секцій у групі досяг кінцевого положення;
- захисна зупинка секцій механізованого кріплення за умови вимкнення живлення по лаві або на секції;
- формування команди на зупинку комбайна, якщо відставання переміщуваної від комбайна секції перевищує задану величину;
- приймання, обробка та передача на верхній рівень інформації щодо величин тиску в гідростояках секцій, напірній та зливній магістралях, положення перекриття та штоку гідродомкрата переміщення секцій;
- контроль за станом каналу керування секціями з ГПК (зупинка секцій за умови відсутності зв'язку з головним пультом керування протягом 5 с);
- контроль за іскробезпекою кіл дистанційного керування;
- відображення на пультах керування інформації про стан електрогідророзподільників та причини захисних блокувань та зупинок з передачею до верхнього рівня.

Структури відомих систем керування забійним механізованим кріпленням можуть бути поділені на декілька груп.

До першої групи належать системи дистанційного керування, в яких виконання всіх операцій контролюється візуально. Всі секції кріплення діляться на декілька груп, кожна з яких має груповий пульт керування. Секції в групі переміщуються індивідуально, всі одночасно або в певній послідовності. Ця структура систем керування характерна для механізованих забійних кріплень перших поколінь.

Другу групу складають системи дистанційного керування з централізованим контролем виконання операцій. Потік інформації керування в цих системах замикається через головний пульт керування ГПК. Керуючі сигнали, що формуються як оператором за допомогою пульта керування (комплекс КМ-87А, МКА та ін.), так і спеціальними пристроями, передаються на кожну секцію з ГПК або за ієрархічним принципом. В останньому випадку керуючі сигнали надходять з ГПК до групового блока керування, а всі операції всередині групи виконуються за програмою групового блока. Подібна структура систем керування використовується в механізованих забійних кріпленнях попереднього покоління.

У третій групі на кожній секції кріплення встановлюється індивідуальний блок керування та контролю (модуль керування секційний). Команди керування формуються на місці (залежно від місцезнаходження видобувної машини та інших умов). На ГПК комплексу відображається лише інформація щодо стану та режимів роботи кожної секції, а всі необхідні операції та блокування реалізуються на місці.

Системи керування забійним механізованим кріпленням сучасного покоління мають комбіновану структуру. При нормальних гірничо-геологічних та технічних умовах здійснюється автоматичне керування секціями кріплення з координацією технологічного алгоритму керування з ГПК (узгодження команд на початок переміщення секцій та поставу забійного конвеєра). Керування процесом переміщення секцій (поставу конвеєра) в автоматичному режимі відбувається за допомогою модулів керування секційних із забезпеченням необхідних захисних блокувань та вимкнень.

Якщо умови нормального функціонування секцій кріплення порушуються, система реалізує лише дистанційне поопераційне керування з місцевого пульта з передачею інформації про стан та режими роботи кожної секції на головний пульт керування.

Розглянемо структурну схему системи керування забійним механізованим кріпленням сучасного покоління (рис. 2.40). При цьому виділимо окремі підсистеми згідно з підходом, який був застосований у процесі аналізу конструктивного виконання секції забійного кріплення. Кожна підсистема має свій набір датчиків та виконавчих пристроїв для дистанційного поопераційного або автоматичного керування з підтримкою захисних вимкнень та блокувань.

У підсистемі керування покрівлею виконавчими пристроями є електромагніти електрогідророзподільників  $ЕГР_1 - ЕГР_m$ , які керують подачею (та зливом) робочої рідини в поршневі та штокові порожнини гідростояків 10 секції (рис. 2.39), а також випромінювач акустичний (ВА). Керування електромагнітами та ВА відбувається в автоматичному режимі за допомогою окремих двопровідних кіл «модуль керування секційний (МКС) –  $ЕГР$ » (тонкі лінії на рис. 2.40). Випромінювач акустичний вмикається автоматично перед початком розвантаження секції незалежно від обраного режиму керування.

Золотник пілотного  $ЕГР$  також змінює своє положення при натисканні відповідної клавіші  $Кл_1 - Кл_m$  на пульті керування місцевому (ПКМ), яка має кінематичний зв'язок із золотником (ПКМ разом з пілотним  $ЕГР$  знаходяться

на сусідній секції). При цьому реалізується дистанційний поопераційний режим керування.

### Секція забійного кріплення

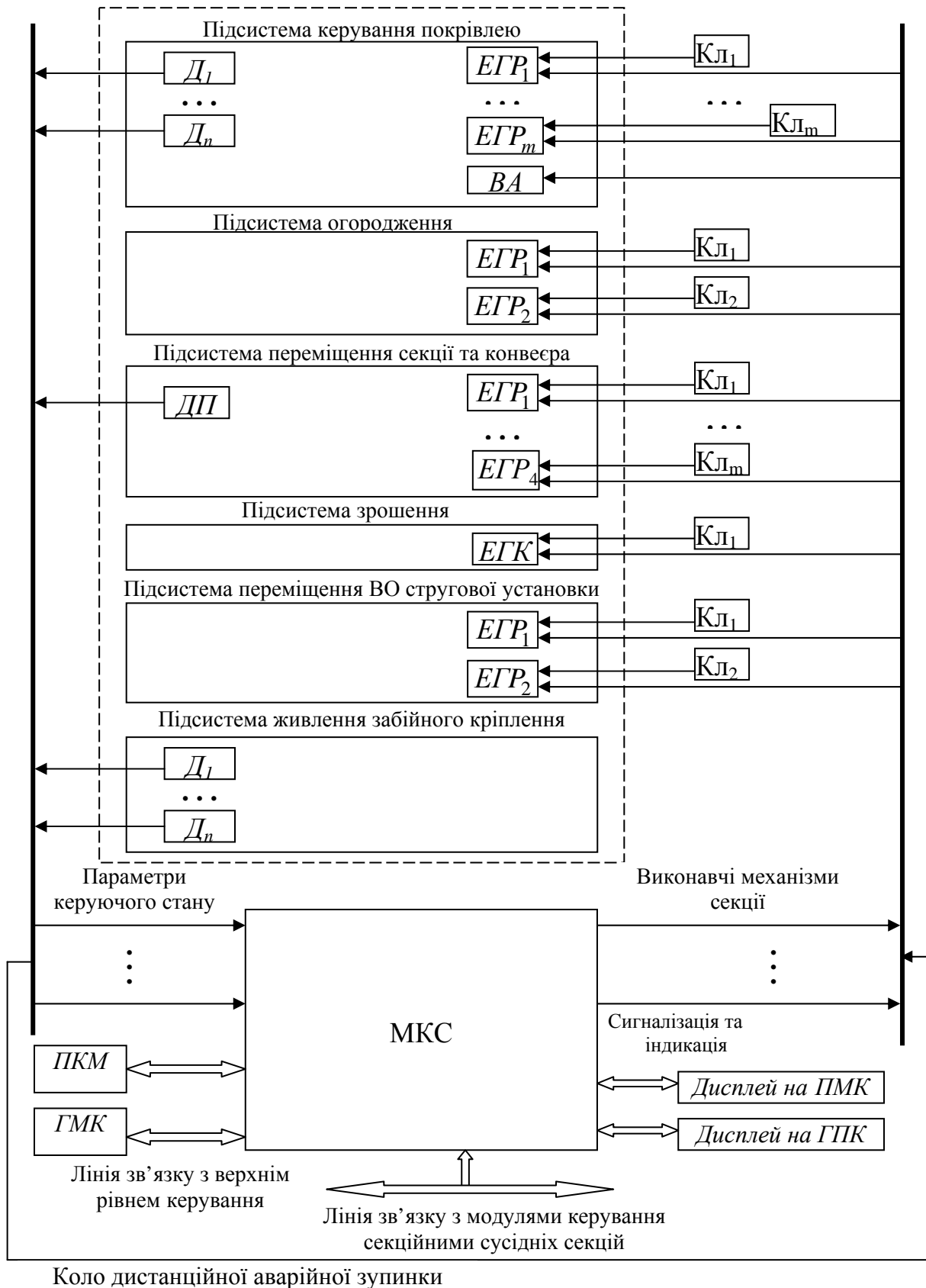


Рис. 2.40. Структурна схема системи керування забійним механізованим кріпленням

В автоматичному режимі керування умовою початку розвантаження секції є надходження команди з головного модуля керування (ГМК) до МКС по послідовному каналу зв'язку (подвійні лінії на рис. 2.40) або натиснення відповідної кнопки на ПКМ, якщо обраний автоматичний режим переміщення секції та конвеєра. Для забезпечення розвантаження та розпору секції в автоматичному режимі до складу підсистеми керування покрівлею входять дискретні датчики тиску робочої рідини в поршневих порожнинах гідростояків, які настроєні на різний тиск спрацьовування.

Активний регульований підпір покрівлі під час переміщення секції може здійснюватися за допомогою відповідного виконання гідравлічної схеми секції кріплення (апаратним способом) або через відстеження тиску в поршневих порожнинах гідростояків за допомогою датчика тиску робочої рідини (програмним способом). У першому випадку (КД90) в зливному каналі гідродомкрата переміщення секції утворюється тиск, що дорівнює настройці підпірного клапана. Як наслідок, робоча рідина, що витісняється зі штокової порожнини гідродомкрата, поступає одночасно в штокові та поршневі порожнини гідростояків. Це приводить до висування гідростояків та притиснення перекриття до покрівлі в процесі переміщення секції, оскільки площа поршневих порожнин гідростояка більше площини відповідних штокових порожнин. За умови створення надто високого тиску підпору надлишок робочої рідини стікає в бак насосної станції через підпірний клапан, що відкривається.

У другому випадку до мікроконтролера модуля керування секційного (МКС) через модуль вводу-виводу вмикаються датчики тиску робочої рідини в поршневих порожнинах гідростояків, які настроєні на заданий тиск активного підпору покрівлі. У разі спрацьовування датчика МКС формує команду на вимкнення електромагнітів ЕГР, що призводить до запирання штокової та поршневої порожнин відповідного гідростояка.

Керування процесом розпору секції також може здійснюватися апаратним або програмним способом. У першому випадку закриття порожнин гідростояків за умови закінчення процесу розпору секції реалізує гідрозамок (зворотній розвантажувальний клапан). У другому – спрацьовує дискретний датчик тиску в поршневих порожнинах гідростояків, який настроєний на номінальний тиск робочої рідини в напірній магістралі (20 – 40 МПа), після чого МКС формує команду на вимкнення електромагнітів ЕГР.

До складу підсистеми керування покрівлею також входять дискретні датчики тиску робочої рідини в поршневих порожнинах гідростояків, які настроєні на тиск спрацьовування запобіжних клапанів (45 МПа). Вони використовуються для захисної зупинки секції.

У підсистемі переміщення секції та конвеєра виконавчими пристроями є електромагніти чотирьох електрогідорозподільників ЕГР<sub>1</sub> – ЕГР<sub>4</sub> (рис. 2.40), які керують подачею (та зливом) робочої рідини в поршневі та штокові порожнини гідродомкратів 11 та 13 (рис. 2.39). Керуючі сигнали до електромагнітів за умови реалізації автоматичного режиму керування надходять по окремих двопровідних колах «модуль керування секційний (МКС) – ЕГР», а також є можливість керувати електрогідорозподільниками

вручну – натисненням відповідних клавiш  $Кл_1 – Кл_m$  на пульті керування місцевому (дистанційний поопераційний режим керування).

Зауважимо, що в автоматичному режимі подача керуючого сигналу з МКС до відповідних електромагнітів ЕГР (подача робочої рідини в штокову порожнину гідродомкрата 11 на рис. 2.39 для переміщення поставу конвеєра) блокується, якщо відсутнє спрацьовування датчиків тиску в поршневих порожнинах гідростояків, які настроєні на номінальний тиск робочої рідини (секція не розперта).

Для забезпечення автоматичного пересування секції кріплення та поставу забійного конвеєра використовується датчик положення ДП штока гідродомкрата 11 (рис. 2.39). У комбайнових ОМК вимикання електромагнітів ЕГР, що керують гідродомкратом 11, відбувається за умови досягнення штока крайніх положень. Для стругових ОМК, де реалізується переміщення штока на задану величину (дозоване виймання вугілля стругом), вимикання електромагнітів ЕГР відбувається при проміжних положеннях штока.

Робота гідродомкрата 13 (рис. 2.39) – розсунення бокових щитів – не контролюється за допомогою датчиків. Для вирівнювання секції достатньо подати керуючий сигнал до відповідних ЕГР (подача робочої рідини в поршневу порожнину гідродомкрата 13) на 3 – 4 с.

До складу підсистеми огороження входять два електрогідророзподільники  $ЕГР_1$  та  $ЕГР_2$  (рис. 2.40), що керують подачею (та зливом) робочої рідини в поршневу та штокову порожнини гідродомкрата стабілізації 12 (рис. 2.39). Керування гідродомкратом стабілізації здійснюється з пульта керування місцевого в автоматизованому або дистанційному поопераційному режимах. У першому випадку керуючі сигнали спочатку послідовним каналом зв'язку надходять з ПКМ до МКС, а потім по окремих двопровідних колах до електромагнітів  $ЕГР_1$  та  $ЕГР_2$ . У другому – електрогідророзподільниками  $ЕГР_1$  та  $ЕГР_2$  керують вручну – натисненням відповідних клавiш  $Кл_1 – Кл_2$  на ПКМ.

За аналогічним принципом вмикаються та вимикаються електрогідророзподільники  $ЕГР_1$  та  $ЕГР_2$ , які керують подачею (та зливом) робочої рідини до поршневої та штокової порожнин гідродомкрата регулювання положенням поставу конвеєра 13 (рис. 2.34) та входять до складу підсистеми переміщення ВО стругової установки.

У підсистемі зрошення єдиним виконавчим пристроєм є електрогідроклапан ЕГК (рис. 2.40), що керує подачею води до форсунок на завальних гідростояках секції. Керуючий сигнал до електромагніта ЕГК за умови автоматичного режиму керування надходить по окремому двопровідному колу «модуль керування секційний (МКС) – ЕГК». Керувати електрогідроклапаном ЕГК можна також вручну – натисненням відповідної клавiші  $Кл_1$  на пульті керування місцевому (дистанційний поопераційний режим керування).

До складу підсистеми живлення забійного кріплення входять датчики тиску робочої рідини в напірній та зливній магістралях  $Д_1 – Д_n$  (рис. 2.40). Застосовують декілька точок контролю тиску в магістралях (через кожні 15 – 20 секцій).

Слід зазначити, що контроль за положенням секції відносно комбайна не потребує додаткових датчиків. Контроль за відставанням переміщуваної від комбайна секції відбувається програмно на основі порівняння змісту лічильника, що рахує імпульси з датчика швидкості подачі комбайна, зі змістом лічильника, що рахує секції, переміщення яких відбулося. Паралельно аналізуються сигнали з інфрачервоних приймачів (за умови їх наявності), які встановлені на секціях кріплення або завальному навісному обладнанні забійного конвеєра. Аналогічним способом контролюється знаходження видобувної машини на недопустимо близькій відстані від переміщуваної секції.

Послідовним каналом зв'язку (подвійні лінії на рис. 2.40), що з'єднує ГМК та МКС, передається така інформація:

- команди відносно початку переміщення секції кріплення або поставу забійного конвеєра (координація технологічного алгоритму керування з ГПК);
- інформація про стан кнопок на ПКМ, датчиків та виконавчих пристроїв секції з програмною індикацією на дисплеї ГПК та передачею інформації на верхній рівень;
- інформація стосовно змін у реальному часі робочих параметрів секції (положення секції відносно поставу забійного конвеєра, величина висування штока гідродомкрата переміщення секції, тиск в гідростояках, у контрольних точках напірної та зливної магістралей, наявність напруги живлення модулів керування) з відображенням на дисплеї ГПК та передачею на верхній рівень;
- інформація відносно причин аварійної зупинки секції;
- номер переміщуваної секції та режим її роботи.

Послідовним каналом зв'язку, що з'єднує ПКМ та модуль керування секційний, передається така інформація:

- команди керування електрогідорозподільниками гідродомкратів стабілізації та регулювання положення поставу конвеєра;
- інформація про режим роботи секції, стан датчиків та виконавчих пристроїв секції зі світловою та програмною індикаціями на дисплеї ПКМ;
- інформація про причини аварійної зупинки секції.

Через послідовний канал зв'язку модуля керування секційного з модулями керування сусідніх секцій передається інформація відносно стану датчиків тиску в поршневих порожнинах гідростояків сусідніх секцій для перевірки умов блокування переміщення секції та конвеєра (або їх захисної зупинки).

За допомогою кола дистанційної аварійної зупинки здійснюється дистанційне вимкнення всіх ЕГР (повз контролер) за таких умов:

- знеструмлення модулів керування або втрата зв'язку з ГПК;
- спрацьовування датчика тиску робочої рідини в поршневих порожнинах гідростояків, який настроєний на тиск спрацьовування запобіжних клапанів;
- відсутність сигналу від одного з датчиків тиску робочої рідини в поршневих порожнинах гідростояків сусідніх секцій, які настроєні на номінальний тиск робочої рідини в напірній магістралі;
- коли шток гідродомкрата переміщення секції не досяг кінцевого положення за 3 – 4 с;



- недопустима відстань між видобувною машиною та переміщуваною секцією;
- спрацювання датчика тиску робочої рідини в напірній чи зливній магістралях;
- зниження тиску та витрати води в підсистемі зрошення нижче допустимого рівня;
- натиснення кнопки «СТОП АВАРІЙНИЙ».

Розглянемо розміщення датчиків та виконавчих пристроїв на секції та їх зв'язок з модулями керування на основі схеми електрообладнання системи керування забійним механізованим кріпленням ДЕГУ (ОАО «Автоматгормаш»), що зображена на рис. 2.41.

Топологічна структура системи є деревоподібною, просторово розподіленою: на секціях, в місцях зосередження датчиків, виконавчих пристроїв, органів керування та індикації встановлені модулі керування секційні, що реалізують виконання операцій в автоматичному режимі, а також приймають та передають інформацію центральному вузлу системи – головному модулю керування (ГМК) через послідовний канал зв'язку з підтримкою інтерфейсу RS-485.

У свою чергу з кожним МКС через послідовні канали зв'язку з'єднані модуль енергоживлення (МЕ), модуль вводу-виводу (МВВ) та МКС сусідньої секції (має місце послідовне з'єднання всіх МКС з приєднанням МКС першої секції до ГМК). Крім того, до МКС через окремі двопровідні кола (тонка лінія на рис. 2.41) приєднаний електрогідроблок ЕГБ, в якому встановлені всі електрогідророзподільники, що керують гідростояками та гідродомкратами сусідньої секції кріплення. Як видно з рис. 2.41, МКС разом з МЕ, МВВ та ЕГБ розміщуються під завальною частиною перекриття біля гідростояків.

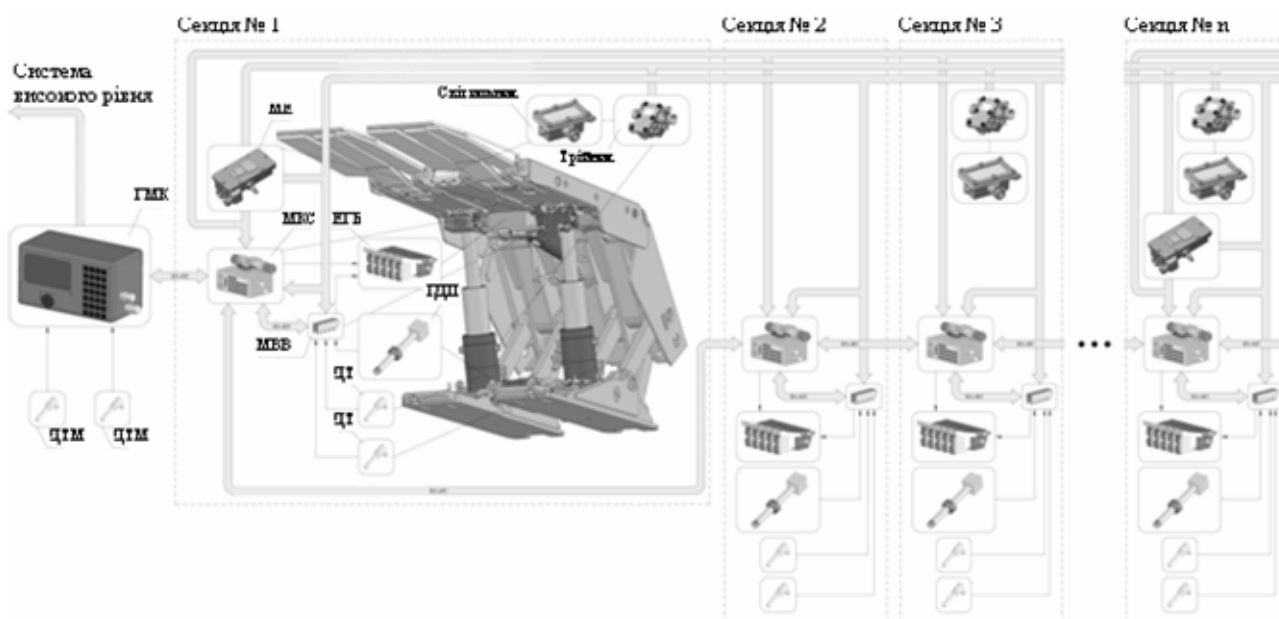


Рис. 2.41. Схема електрообладнання системи керування забійним механізованим кріпленням ДЕГУ

До МВВ через окремі двопровідні кола ввімкнені такі датчики:

- тиску (ДТ) робочої рідини, що встановлені в поршневі порожнини штоків першого ступеня розсунутості гідростояків секції;
- тиску робочої рідини в напірній та зливній магістралях (монтуються тільки на деяких секціях);
- герконовий датчик положення (ГДП) штока гідродомкрата переміщення секції для заміру величини висування штока в діапазоні від 0 до 880 мм з роздільною здатністю до 5 мм (поміщається в прямолінійну трубку та встановлюється в гідродомкрат).

Два датчики тиску робочої рідини в напірній та зливній магістралях ДТМ також з'єднуються з ГМК (перша точка контролю за тиском у магістралях).

Для реалізації дистанційного аварійного вимкнення всіх ЕГР (повз контролер МКС) використовуються окремі двопровідні кола (тонка лінія на рис. 2.41) між модулем вводу-виводу та електрогідроблоком (ЕГБ).

Для керування подачею та зливом робочої рідини з порожнин гідростояків та гідродомкратів секції можуть використовуватися дво- або трипозиційні гідророзподільники (розглянуті в першому пункті підрозділу 2.3). У першому випадку на кожен порожнину виділяється силовий гідророзподільник з пілотним електрогідророзподільником, що має один електромагніт. За відсутності керуючих сигналів до електромагнітів ЕГР порожнини з'єднані зі зливом та заперті гідрозамками. Для висування штока керуючий сигнал подається тільки до електромагніту ЕГР поршневої порожнини, після чого вона з'єднується з напірною гідромагістраллю. Одночасно потік робочої рідини подається під розвантажувальний поршень гідрозамка, що запирає штокову порожнину, для її з'єднання зі зливною магістраллю. За умови зникнення керуючого сигналу силовий гідророзподільник поршневої порожнини повертається в нейтральне положення, при якому поршнева порожнина знову з'єднується зі зливною гідромагістраллю, яка, як і раніше, заперта гідрозамком. Одночасно припиняється подача робочої рідини під розвантажувальний поршень гідрозамка та штокова порожнина знову запирається. За аналогічним алгоритмом виконується втягування штока.

У другому випадку на кожен порожнину виділяється силовий гідророзподільник з пілотним ЕГР, що має два електромагніти. При нейтральному положенні силового гідророзподільника (відсутні сигнали на обидва електромагніти ЕГР) порожнини заперті. Для висування штока необхідно подати керуючий сигнал до першого електромагніта ЕГР поршневої порожнини з метою її з'єднання з напірною гідромагістраллю та другого електромагніта ЕГР штокової порожнини для її з'єднання зі зливом. Для зупинки штока подача керуючих сигналів до електромагнітів ЕГР припиняється, що призводить до повернення силових гідророзподільників у нейтральне положення та перекриття порожнин.

Алгоритм керування секцією забійного механізованого кріплення відносно простий – лише п'ять операцій: зняття розпору секції, її переміщення, розпір секції, розсунення бокових щитів та переміщення поставу конвеєра.

Складання бокових щитів може відбуватися під дією пружин, що встановлені на напрямних розсувних щитах, або за умови подачі робочої рідини до штокової порожнини гідродомкрата розсунення бокових щитів. В останньому випадку операцій буде шість. Ці операції виконуються окремо у часі та послідовність їх виконання залежить від обраного технологічного алгоритму керування секціями кріплення. Розглянемо алгоритм керування секцією забійного кріплення на основі графу переходів (рис. 2.42) у складі комбайнового очисного комплексу за умови реалізації зарядженої схеми роботи механізованого кріплення з послідовним посекційним переміщенням секцій та хвилеподібною схемою переміщення забійного конвеєра (див. підрозд. 2.1).

У першому стані системи керування (початковому) керуючі сигнали на електромагніти ЕГР відсутні та всі порожнини гідростояків та гідродомкратів (окрім порожнин гідродомкрата розсунення бокових щитів) заперті гідрозамками. Умовою переходу системи у другий стан (ввімкнення звукової сигналізації перед початком переміщення секції) є надходження команди з головного пульта керування ГПК до модуля керування секційного або натиснення відповідної клавіші КЛ на місцевому пульті керування, якщо обране поопераційне дистанційне керування секцією. Формування команди на початок переміщення секції має місце у разі одночасного виконання таких умов:

- відстань від секції до комбайна після його проходження досягла заданого значення (визначається на основі порівнювання змісту лічильника імпульсів з датчика швидкості подачі комбайна зі змістом лічильника переміщень секцій);
- датчики, що реалізують захисне блокування переміщення секції (перелічені вище), не спрацювали;
- сусідні секції розперті (має місце спрацьовування датчиків тиску робочої рідини в поршневих порожнинах гідростояків сусідніх секцій  $ДТ_{cc}$ );
- віджятий стан кнопок «СТОП» та «СТОП АВАРІЙНИЙ»;
- цілісність кіл аварійної зупинки, попереджувального сигналу і керування не порушена.

При переході системи до другого стану вмикається випромінювач акустичний та запускається таймер на відлік 5 – 8 с.

У разі натиснення кнопки «СТОП АВАРІЙНИЙ» або спрацьовування хоча б одного датчика, що реалізує захисну зупинку секції (наприклад датчика тиску робочої рідини в напірній магістралі  $ДТ_{nm}$ ), відбувається перехід системи назад до початкового стану з вимкненням випромінювача акустичного.

Кожного разу при аварійному переході системи до початкового стану секційний модуль керування по послідовному каналу зв'язку формує посилку до головного модуля керування з інформацією відносно причин аварійної зупинки.

Умовою переходу до третього стану (зняття розпору секції) є закінчення затримки часу на 5 – 8 с. При цьому вмикається випромінювач акустичний та вмикаються електромагніти ЕГР штокових порожнин першого та другого гідростояків ( $ЕМC1_{шт}$  та  $ЕМC2_{шт}$ ). При виконанні однієї з умов аварійного переходу (наведені вище) системи з третього до початкового стану електромагніти  $ЕМC1_{шт}$  та  $ЕМC2_{шт}$  вимикаються.

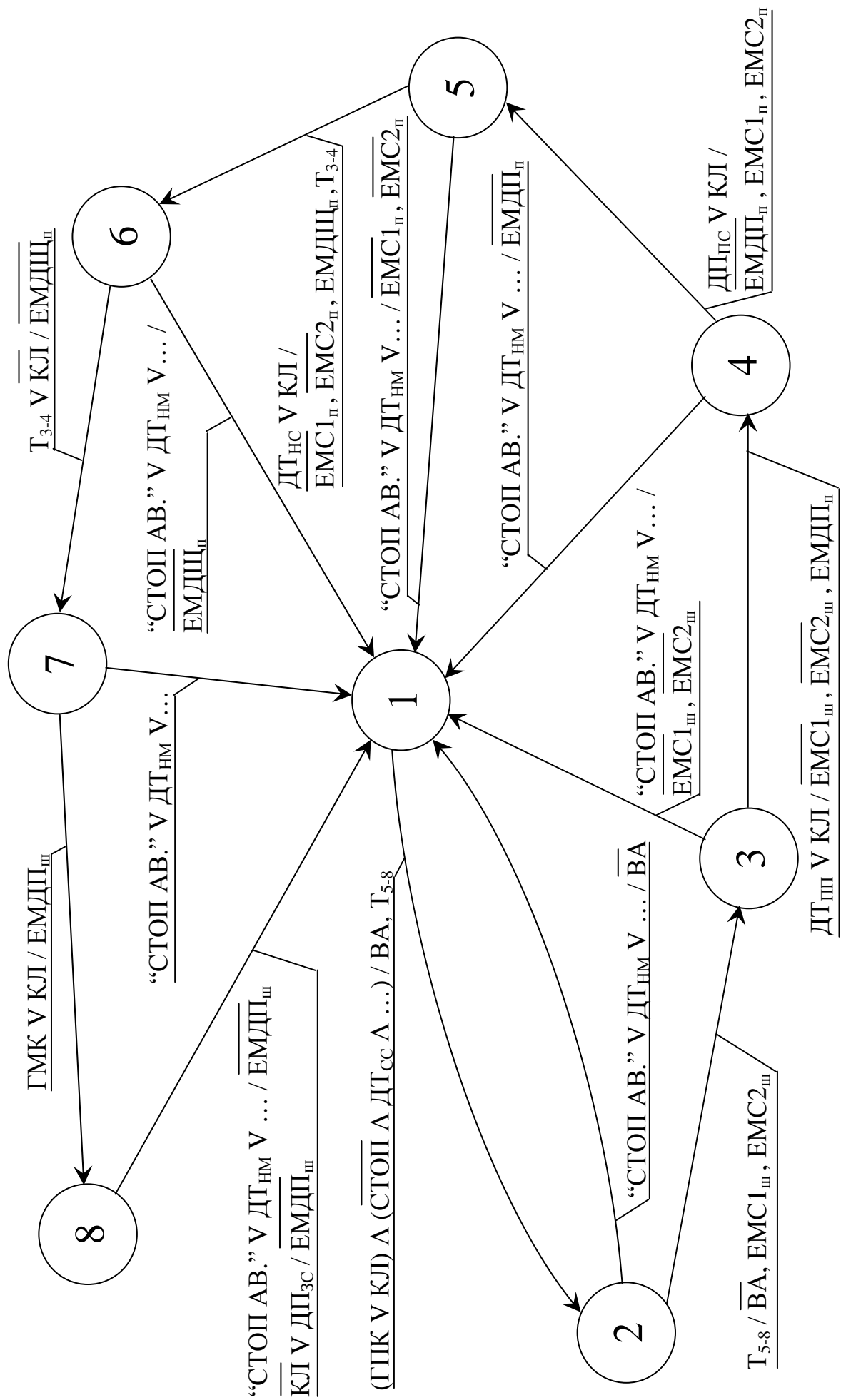


Рис. 2.42. Схема алгоритму керування секцією забійного механізованого кріплення у складі комбайнового ОМК.

До четвертого стану (переміщення секції) система перейде, якщо спрацював датчик тиску регульованого підпору покрівлі  $ДТ_{ш}$  (при автоматичному керуванні секцією) або за умови натиснення відповідної клавіші КЛ на місцевому пульті керування (при дистанційному поопераційному керуванні секцією). В процесі переходу вмикаються електромагніти  $ЕМС1_{ш}$  і  $ЕМС2_{ш}$  та вмикається електромагніт ЕГР поршневої порожнини гідродомкрата переміщення секції  $ЕМДП_{ш}$ . Якщо здійснюється дистанційне поопераційне керування секцією, умовою вимкнення електромагнітів  $ЕМС1_{ш}$  та  $ЕМС2_{ш}$  є відпускання відповідної клавіші КЛ на місцевому пульті керування. При виконанні однієї з умов аварійного переходу системи з четвертого до початкового стану електромагніт  $ЕМДП_{ш}$  вмикається.

Умовою переходу до п'ятого стану (розпір секції) є спрацювання датчика переднього кінцевого положення секції відносно поставу конвеєра  $ДП_{пс}$  (при автоматичному керуванні секцією) або натиснення відповідної клавіші КЛ на місцевому пульті керування (при дистанційному поопераційному керуванні секцією). При цьому вмикається електромагніт  $ЕМДП_{п}$  та вмикаються електромагніти ЕГР поршневих порожнин першого та другого гідростояків  $ЕМС1_{п}$  та  $ЕМС2_{п}$ . При виконанні однієї з умов аварійного переходу системи з п'ятого до початкового стану електромагніти  $ЕМС1_{п}$  та  $ЕМС2_{п}$  вмикаються.

До шостого стану (розсунення бокових щитів) система перейде, якщо спрацював датчик номінального тиску робочої рідини в поршневих порожнинах гідростояків  $ДТ_{нс}$  (при автоматичному керуванні секцією) або за умови натиснення відповідної клавіші КЛ на місцевому пульті керування (при дистанційному поопераційному керуванні секцією). В процесі переходу вмикаються електромагніти  $ЕМС1_{п}$  та  $ЕМС2_{п}$  та вмикається електромагніт ЕГР поршневої порожнини гідродомкрата розсунення бокових щитів  $ЕМДЩ_{п}$ . Запускається також таймер на відлік 3 – 4 с. При виконанні однієї з умов аварійного переходу системи з шостого до початкового стану електромагніт  $ЕМДЩ_{п}$  вмикається.

Умовою переходу до сьомого стану (очікування переміщення поставу конвеєра) є закінчення затримки часу на 3 – 4 с (при автоматичному керуванні секцією) або відпускання відповідної клавіші КЛ на місцевому пульті керування (при дистанційному поопераційному керуванні секцією). При цьому вмикається електромагніт  $ЕМДЩ_{п}$ . З сьомого стану можливий перехід системи до початкового стану при виконанні однієї з умов аварійного переходу.

Умовою переходу системи до восьмого стану (переміщення поставу конвеєра) є надходження відповідної команди з головного модуля керування до модуля керування секційного (при автоматичному керуванні секцією) або натиснення відповідної клавіші КЛ на місцевому пульті керування (при дистанційному поопераційному керуванні секцією). Формування команди на початок переміщення поставу конвеєра має місце у разі одночасного виконання таких умов:

- відстань від секції до комбайна досягла заданого значення (визначається на основі порівнювання змісту лічильника імпульсів з датчика швидкості подачі комбайна зі змістом лічильника переміщень секцій);

– спрацьовування датчиків номінального тиску робочої рідини  $ДТ_{нс}$  в поршневих порожнинах гідростояків секцій, з яких відбувається переміщення поставу конвеєра.

У процесі переходу системи до восьмого стану вмикається електромагніт ЕГР штокової порожнини гідродомкрата переміщення секції ЕМДП<sub>ш</sub>.

З восьмого до початкового стану можливі два варіанти переходу: за умови нормального режиму роботи секції та за умови її аварійної зупинки. В першому випадку умовою переходу є спрацьовування датчика заднього кінцевого положення секції відносно поставу конвеєра ДП<sub>зс</sub> (при автоматичному керуванні секцією) або натиснення відповідної клавіші КЛ на місцевому пульті керування (при дистанційному поопераційному керуванні секцією). При цьому вимикається електромагніт ЕМДП<sub>ш</sub>. У другому випадку – натиснення кнопки «СТОП АВАРІЙНИЙ» або спрацьовування хоча б одного датчика з тих, що реалізують захисну зупинку секції. При цьому також вимикається електромагніт ЕМДП<sub>ш</sub>.

Розглянемо також алгоритм керування секцією забійного кріплення на основі графу переходів (рис. 2.43) у складі стругового очисного комплексу за умови дозованого виймання вугілля стругом та пілкоподібної схеми переміщення секцій забійного кріплення (див. підрозд. 2.1).

У першому стані системи керування (початковому) керуючі сигнали на електромагніти ЕГР не надходять та всі порожнини гідростояків та гідродомкратів (окрім порожнин гідродомкрата розсунення бокових щитів) заперті гідрозамками. Оскільки на початку роботи секція знаходиться в зарядженому стані, з першого стану система перейде до другого (переміщення поставу забійного конвеєра на задану величину) при надходженні відповідної команди з головного модуля керування ГМК до модуля керування секційного. Команда формується при одночасному виконанні таких умов:

- відстань від секції до струга досягла заданого значення;
- величина  $\Delta l_{ш.зад}$ , на яку необхідно пересунути шток гідродомкрата переміщення секції, не перевищує залишкову величину висування штока  $\Delta l_{ш.зал}$ , яка дорівнює різниці між максимальною  $l_{ш.мах}$  та фактичною  $l_{ш.ф}$  величинами висування штока:  $\Delta l_{ш.зал} = l_{ш.мах} - l_{ш.ф}$ ;

- спрацьовування датчиків номінального тиску робочої рідини  $ДТ_{нс}$  в поршневих порожнинах гідростояків секцій, з яких відбувається переміщення поставу конвеєра.

Величина  $\Delta l_{ш.зад}$  визначається за програмою формування профілю забою на новому машинному шляху, яка заздалегідь заноситься в пам'ять головного модуля керування забійним кріпленням та передається до модуля керування секційного.

При переході системи керування до другого стану вмикається електромагніт ЕГР штокової порожнини гідродомкрата переміщення секції ЕМДП<sub>ш</sub>.

Слід зазначити, що у разі дозованого виймання вугілля стругом оператор не може забезпечити переміщення поставу конвеєра на задану величину (та з необхідною швидкістю), тому ця операція (за винятком ремонтних змін) виконується тільки в автоматичному режимі, що робить забійне механізоване кріплення мехатронним агрегатом.

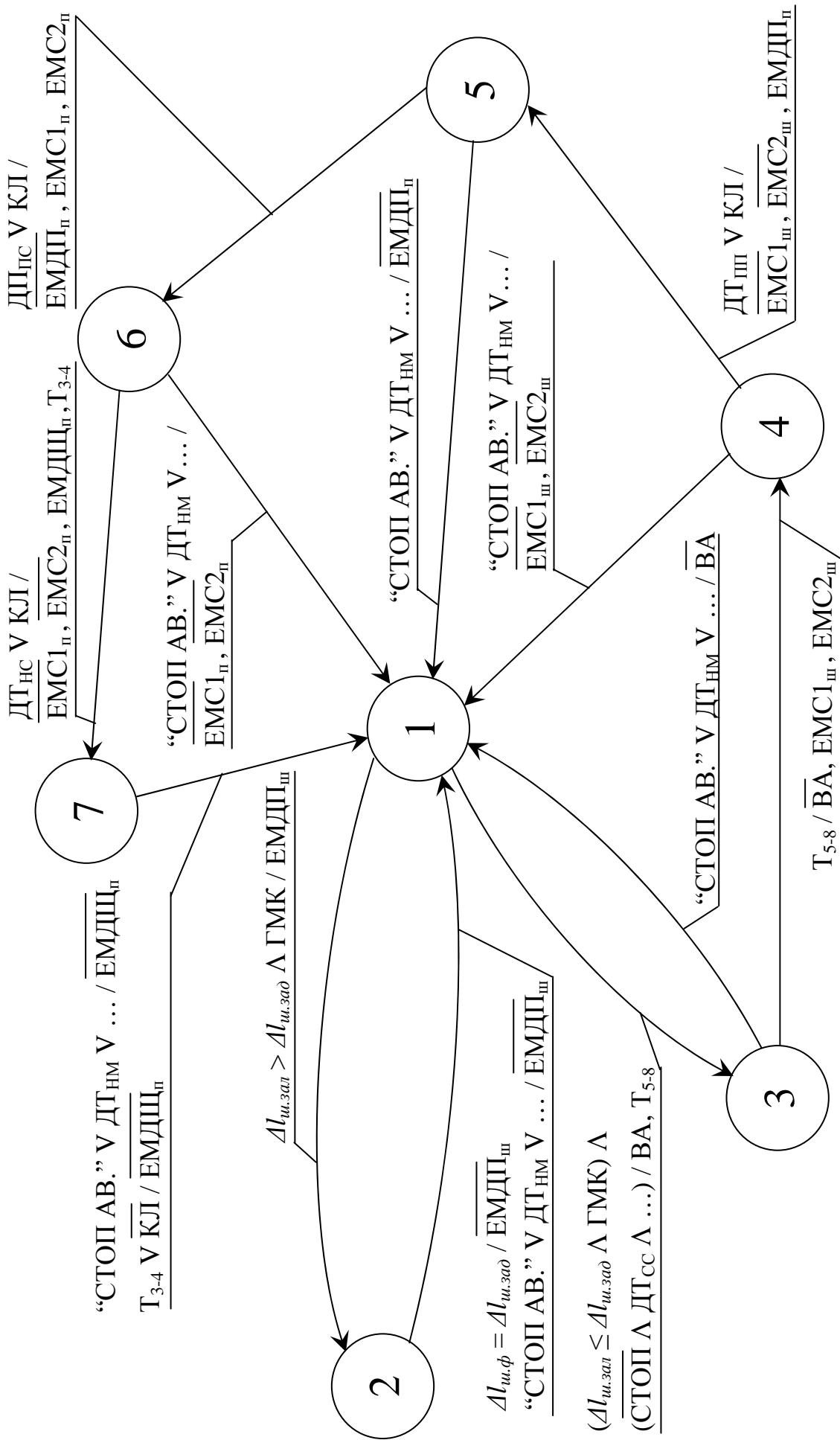


Рис. 2.43. Схема алгоритму керування секцією забійного механізованого кріплення у складі стругового ОМК

З другого стану назад до першого можливі два варіанти переходу: за умови нормального режиму роботи секції та за умови її аварійної зупинки. В першому випадку умовою переходу є пересування штоку гідродомкрата переміщення секції на задану величину, тобто виконання рівності:

$$\Delta l_{ш.ф.} = \Delta l_{ш.зад.},$$

де  $\Delta l_{ш.ф.}$  – фактична величина, на яку відбулося пересування штока гідродомкрата. При цьому вимикається електромагніт ЕМДП<sub>ш.</sub>. У другому випадку – натиснення кнопки «СТОП АВАРІЙНИЙ» або спрацьовування хоча б одного датчика з тих, що реалізують захисну зупинку секції. При цьому також вимикається електромагніт ЕМДП<sub>ш.</sub>.

Перехід з першого стану системи керування до другого та назад буде мати місце до тих пір, доки не виконаються (одночасно) умови початку переміщення секції кріплення (умови переходу системи до третього стану):

- величина  $\Delta l_{ш.зад.}$ , на яку необхідно пересунути шток гідродомкрата для переміщення поставу конвеєра на новий машинний шлях, перевищує залишкову величину висування штока  $\Delta l_{ш.зал.}$ ;
- за номером у групі секція є наступною для переміщення;
- відсутність спрацьовування датчиків, що здійснюють захисне блокування переміщення секції (перелічені вище);
- сусідні секції розперті (має місце спрацьовування датчиків тиску робочої рідини в поршневих порожнинах гідростояків сусідніх секцій ДТ<sub>сс.</sub>);
- віджатий стан кнопок «СТОП» та «СТОП АВАРІЙНИЙ»;
- цілісність кіл аварійної зупинки, попереджувального сигналу і керування не порушена.

У разі виконання всіх перелічених умов ГМК формує команду на початок переміщення секції кріплення та передає її послідовним каналом зв'язку до модуля керування секційного. З переліку умов видно, що визначення моменту початку переміщення секцій оператором неможливе. Тому в разі дистанційного поопераційного керування секціями кріплення головний модуль керування повинен виконувати функцію координації дій операторів у забої.

У процесі переходу системи до третього стану (ввімкнення звукової сигналізації перед початком переміщення секції) вмикається випромінювач акустичний та запускається таймер на відлік 5 – 8 с. При виконанні однієї з умов аварійного переходу (наведені вище) системи з третього до початкового стану випромінювач акустичний вимикається.

Умовою переходу до четвертого стану (зняття розпору секції) є закінчення затримки часу на 5 – 8 с. При цьому вимикається випромінювач акустичний та вмикаються електромагніти ЕГР штокових порожнин першого та другого гідростояків ЕМС1<sub>ш</sub> та ЕМС2<sub>ш</sub>. При виконанні однієї з умов аварійного переходу (наведені вище) системи з четвертого до початкового стану електромагніти ЕМС1<sub>ш</sub> та ЕМС2<sub>ш</sub> вимикаються.



До п'ятого стану (переміщення секції) система перейде, якщо спрацював датчик тиску регульованого підпору покрівлі  $ДТ_{\text{пн}}$  (при автоматичному керуванні секцією) або за умови натиснення відповідної клавіші КЛ на місцевому пульті керування (при дистанційному поопераційному керуванні секцією). В процесі переходу вимикаються електромагніти  $ЕМС1_{\text{пн}}$  та  $ЕМС2_{\text{пн}}$  та вмикається електромагніт ЕГР поршневої порожнини гідродомкрата переміщення секції  $ЕМДП_{\text{пн}}$ . При виконанні однієї з умов аварійного переходу системи з п'ятого до початкового стану електромагніт  $ЕМДП_{\text{пн}}$  вимикається.

Умовою переходу до шостого стану (розпір секції) є спрацювання датчика переднього кінцевого положення секції відносно поставу конвеєра  $ДП_{\text{пс}}$  (при автоматичному керуванні секцією) або натиснення відповідної клавіші КЛ на місцевому пульті керування (при дистанційному поопераційному керуванні секцією). При цьому вимикається електромагніт  $ЕМДП_{\text{пн}}$  та вмикаються електромагніти ЕГР поршневих порожнин першого та другого гідростояків  $ЕМС1_{\text{пн}}$  та  $ЕМС2_{\text{пн}}$ . При виконанні однієї з умов аварійного переходу системи з шостого до початкового стану електромагніти  $ЕМС1_{\text{пн}}$  та  $ЕМС2_{\text{пн}}$  вимикаються.

До сьомого стану (розсунення бокових щитів) система перейде, якщо спрацював датчик номінального тиску робочої рідини в поршневих порожнинах гідростояків  $ДТ_{\text{нс}}$  (при автоматичному керуванні секцією) або за умови натиснення відповідної клавіші КЛ на місцевому пульті керування (при дистанційному поопераційному керуванні секцією). В процесі переходу вимикаються електромагніти  $ЕМС1_{\text{пн}}$  і  $ЕМС2_{\text{пн}}$  та вмикається електромагніт ЕГР поршневої порожнини гідродомкрата розсунення бокових щитів  $ЕМДЩ_{\text{пн}}$ , а також запускається таймер на відлік 3 – 4 с.

З сьомого до початкового стану можливі два варіанти переходу: за умови нормального режиму роботи секції та за умови її аварійної зупинки. В першому випадку умовою переходу є закінчення затримки часу на 3 – 4 с (при автоматичному керуванні секцією) або відпускання відповідної клавіші КЛ на місцевому пульті керування (при дистанційному поопераційному керуванні секцією). При цьому вимикається електромагніт  $ЕМДЩ_{\text{пн}}$ . У другому випадку – натиснення кнопки «СТОП АВАРІЙНИЙ» або спрацювання хоча б одного датчика з тих, що реалізують захисну зупинку секції. При цьому також вимикається електромагніт  $ЕМДЩ_{\text{пн}}$ .

Таким чином, за умови керування секцією у складі стругового ОМК (при дозованому вийманні вугілля стругом) граф переходів, на відміну від графа переходів для секції у складі комбайнового ОМК, не є кільцевим та операції в нормальному режимі роботи не виконуються послідовно у часі одна за одною. Згідно з технологією дозованого виймання вугілля стругом має місце циклічний перехід системи з початкового стану в стан переміщення поставу забійного конвеєра і назад доти, доки умови переміщення секції кріплення не будуть виконані. Після цього керування секцією в процесі її переміщення відбувається однаково як для комбайнового, так і для стругового ОМК.

Як підсумок, виділимо напрямок розвитку систем керування забійним механізованим кріпленням. На сьогодні наукові дослідження роботи

механізованого кріплення спрямовані на впровадження інформаційних технологій, що дозволять проводити безлюдне виймання вугілля в забої. Для цього F-модель інформаційної компоненти забійного кріплення необхідно доповнити такими функціями:

- координоване з місцеположенням видобувної машини автоматичне пересування секцій кріплення та риштачного поставу забійного конвеєра за заданим алгоритмом відповідно до обраної технологічної схеми роботи комплексу;
- автоматичне керування риштачним поставом забійного конвеєра у вертикальній площині для забезпечення заданої гіпсометрії вугільного пласта;
- автоматичне керування станом порід, що вміщують вугільний пласт;
- програмне керування переміщенням секцій кріплення та поставу конвеєра на ділянках самозарубки комбайна;
- блокування переміщення секцій кріплення та поставу конвеєра із формуванням команди на зупинку видобувної машини за умови опускання перекриття однієї із секцій нижче дозволеної величини;
- блокування пересування секцій кріплення або поставу конвеєра за умови перешкоди на шляху руху;
- контроль за положенням перекриттів секцій кріплення у просторі;
- контроль за розходженням стиків риштачного поставу забійного конвеєра;
- розширення переліку фізичних величин, безперервна зміна яких контролюється в реальному часі, з використанням цієї інформації в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень, що запобігають захисним зупинкам секцій кріплення та простоям видобувної машини.

#### **2.3.4. Автоматизація скребкових конвеєрів**

Скребковий конвеєр застосовується для доставки вугілля з очисних вибоїв пологих та похилих пластів. Він у найбільш простому виконанні складається з риштачного поставу (збирається із секцій та утворює робочий жолоб і ринву для холостої гілки конвеєра), тягового органу (являє собою один, два або три ланцюги з укріпленими на них скребками), приводу (розташований на одному кінці конвеєра), кінцевої або натяжної головки (розташована на іншому кінці). Транспортований матеріал переміщається по робочому жолобу за допомогою тягового ланцюга і скреbkів методом волочіння.

З розвитком комплексної механізації видобутку вугілля в очисних вибоях умови експлуатації конвеєрів стали більш складними і різноманітними. Це зумовило необхідність створення різних конструкцій скребкових конвеєрів, що відрізняються як геометричними формами, так і функціональними характеристиками.

Умови експлуатації скребкових конвеєрів в очисних вибоях можна розділити на дві категорії. У першій конвеєр працює тільки як доставний механізм і нічим, окрім параметрів, не пов'язаний з іншим обладнанням лави. Ця категорія умов характерна для лав, де немає комплексної механізації видобутку вугілля, а механізовані лише окремі виробничі операції. В другій

категорії конвеєри є конструктивною складовою частиною комплексу обладнання лави і, крім транспортування вугілля із забою, служать прямою рамою для струга або комбайна, а також опорною базою при пересуванні секцій механізованого кріплення. Останнім часом конвеєри, що працюють у механізованих лавах, здійснюють зачистку вугілля спеціальними навантажувальними лемішами, які закріплені на конвеєрі з боку забою.

Лавні скребкові конвеєри застосовують в різних транспортних схемах. За найбільш простою схемою, яка широко використовується на шахтах, у довгому очисному забої встановлений скребковий конвеєр, вугілля у вагонетки вантажать на відкотному штреку. Проте при наявності надштрекових запобіжних ціликів останнім часом застосовують більш складну схему, відповідно до якої встановлений у лаві конвеєр транспортує вугілля на інший конвеєр, розташований у просіці. З нього вугілля надходить на конвеєр, що знаходиться в печі, а потім вже – у вагонетки.

Режим завантаження головного конвеєра визначається в основному продуктивністю і схемою роботи виймальних машин. На умови роботи конвеєра також суттєво впливає тип механізованого кріплення лави.

Залежно від типів комбайнів застосовуються різні схеми роботи конвеєрів у комплексі з комбайнами. Під час виймання вугілля вузькозахопними комбайнами, наприклад, 2К-52, БК-52, конвеєр розташовується біля вибою. Комбайн пересувається по поставу конвеєра, виймаючи вугілля і навалюючи його в жолоб конвеєра. При цьому комбайн працює за човниковою схемою. Конвеєр пересувається до забою механічно (без розбирання на частини) та поступово слідом за комбайном. За цією ж схемою працюють скребкові конвеєри в комплексі з комбайнами типу К-101, МК, КШ, 2К-52 та ін. У комплексно механізованих лавах пересувні скребкові конвеєри використовуються також як опори для пересування гідрофікованого кріплення (комплекси ОМКТМ, ОКП, КМ-87д, МК та ін.). Навантаження, що сприймаються поставом конвеєра при пересуванні секцій кріплення, значно перевершують навантаження, що діють на нього при пересуванні конвеєра до вибою. У комплексно механізованих лавах пересування конвеєрів може бути фронтальним або фланговим.

У стругових установках риштачний постав конвеєра виконує роль опорної балки для струга, що перешкоджає відходу його від забою і служить прямою. У зв'язку з тим, що на кінцевих частинах постава конвеєра вмонтовуються приводи і кінцеві зірочки для струга, конвеєр піддається дії значних поздовжніх навантажень. У стругових установках типу УСБ конвеєр знаходиться під тиском пневматичних або гідравлічних домкратів і пересувається до забою слідом за стругом послідовно від одного кінця до іншого.

Чинним стандартом встановлено чотири конструктивні типи підземних скребкових конвеєрів: пересувні дво- і триланцюгові (СП); переносні (розбірні) дволанцюгові (СР); одноланцюгові з робочою гілкою над холостою (С) та одноланцюгові з двома гілками в одній горизонтальній площині та консольними скребками (СК). Одноланцюгові конвеєри також є переносними, розбірними.

Одноланцюгові конвеєри типу СК відрізняються від решти значно меншою висотою поставу за рахунок розміщення обох гілок поруч в одній горизонтальній площині. Ці конвеєри розроблені для тонких пластів, потужність яких не перевищує 0,6 – 0,7 м.

У конвеєрах невеликої потужності й довжини застосовується один привід, який може бути розташований залежно від умов експлуатації конвеєра як на головному (розвантажувальному), так і хвостовому кінці конвеєра. Розташування приводу в головній частині доцільно при доставці по горизонталі та вгору, а також униз з кутом нахилу не більше 15°. При великих кутах нахилу і доставці вниз привід раціонально встановлювати в хвостовій частині конвеєра. Потужні конвеєри обладнуються двома здвоєними або одинарними приводами, установленими по одному на кожному кінці конвеєра. Потужний конвеєр може мати від одного до п'яти електродвигунів.

Застосування декількох електродвигунів на скребковому конвеєрі викликано прагненням до мінімальних розмірів приводу по висоті при значній його потужності, що відповідає умовам експлуатації. Однак при установці приводу на штреку або просіці наявність декількох електродвигунів недоцільно, оскільки висота зазначених виробок дозволяє встановлювати один більш потужний електродвигун.

Проміжною ланкою між електродвигуном і редуктором приводу скребкових конвеєрів є гідравлічна турбомуфта, яка забезпечує плавний запуск конвеєра, рівномірний розподіл навантаження між електродвигунами при застосуванні на конвеєрі декількох електродвигунів, захист від надмірних перевантажень електродвигунів, передавальних механізмів і тягового органу конвеєра, розгін електродвигунів майже вхолосту при пуску конвеєра.

На даний час у промисловому виробництві знаходяться такі моделі забійних скребкових конвеєрів:

- пересувні загального призначення (для лав з індивідуальним та механізованим кріпленням) – СПМ-46, СП-46М, СП-64, СП-48, СП-63, СП-63 м і СП-80;

- пересувні, які застосовуються в механізованих комплексах і стругових установках, – МК-46, СП-63Т/С<sub>2</sub>, СПМ-87Д, СП-63/Кз, СКТ-64, УСТК-2А<sub>0</sub>, КІ-3М, Т-12К, СП-63/3 і СП-63 ТН;

- дволанцюгові переносні (розбірні) – СР-52, СР-52м, СР-70А, СР-73 і СП-63/1, які застосовуються з широкозахопними комбайнами в лавах з індивідуальним кріпленням;

- одноколові переносні (розбірні) – СК-38Р, СК-38М, С-48У, СКР-20А, КСА-1, С-53 і С-53/Л, які застосовуються з широкозахопними комбайнами в лавах з індивідуальним кріпленням.

Пересувні скребкові конвеєри СП-63П працюють у лавах з індивідуальним кріпленням, СПМ-87АП і СПМ-81 – з механізованим.

Враховуючи різноманітність функціональних характеристик скребкових конвеєрів, правил безпеки та вимог при автоматизації конвеєрного транспорту, наведена узагальнена структурна схема системи керування скребковим конвеєром (рис. 2.44).



Рис. 2.44. Структурна схема системи керування скребковим конвеєром

У процесі функціонування скребкового конвеєра згідно з правилами безпеки на будь-якому конвеєрному транспорті перед пуском повинен подаватися попереджувальний звуковий сигнал заданої тривалості.

При роботі конвеєра контролюються опір ізоляції силових кіл, температура обмоток статора привідних двигунів, температура масла в редукторах, температура води в системі охолодження.

Система керування передбачає такі блокування: увімкнення конвеєра без попереджувальної звукової сигналізації, подачі напруги живлення при

відкритій кришці електроблока, увімкнення при зниженні опору ізоляції силових кіл нижче ніж 100 кОм.

Блокування ввімкнення передбачає зняття режиму блокування (деблокування) обслуговуючим персоналом після встановлення причини блокування.

При виході контрольованих параметрів за допустимі межі у всіх випадках електродвигуни конвеєра вимикаються.

За останні роки відбулося значне скорочення кількості очисних вибоїв на гірничодобувних підприємствах України (2000 р. – 527, 2005 р. – 355), що при незмінному річному обсязі видобуваної гірничої маси викликало підвищення добового навантаження на забій і як наслідок збільшення довжини лави до 250 – 350 м. Вирішення цього завдання можливе за рахунок збільшення енергоозброєності гірничошахтного обладнання, в тому числі скребкових конвеєрів.

Збільшення довжини конвеєрів і вантажопотоків, площі завантажувального перерізу, а також застосування значно важких елементів приводу і тягового органу призводять до збільшення моменту опору під час запуску конвеєра, що при великій енергоозброєності приводу (досягає понад 750 кВт) спричинює значне зниження пускового моменту, викликаного падінням напруги в живильній мережі, та неможливість запуску конвеєра в ряді випадків.

Дану технічну задачу можна вирішити шляхом застосування відомої залежності швидкості обертання двигуна від кількості пар полюсів,  $n = \frac{60f}{P_1}$ , де

$P_1$  – кількість пар полюсів;  $f$  – частота живлення. Це дозволить здійснити запуск конвеєра на низькій швидкості статичним моментом, тобто без удару; застосування даних двигунів також приведе до зменшення пускового струму на низькій швидкості, не зменшуючи значення моменту на валу двигуна.

Таким чином, було розроблено пристрої для керування конвеєрами типу КСД 26, КСД 27, КСД 210 та ін. Загальний вигляд, конструкція, компонування електрообладнання та структура системи керування наведені на рис. 2.45.

Система забезпечує вмикання приводів конвеєра від одного до чотирьох, контроль швидкості руху тягового органу, контроль параметрів систем змащення й охолодження, індикацію параметрів на пульті керування і передачу даних диспетчеру.

Устаткування містить комплектні пристрої КСД 27.50 (пристрій керування двопривідним скребковим конвеєром) і УКВ-650 (пристрій керування, побудований за модульним принципом і здатний керувати двошвидкісним скребковим конвеєром з кількістю приводів від одного до чотирьох). Основні їх функції: виконання необхідних захисних вимкнень і блокувань електроприводів конвеєра, забезпечення найбільш раціонального пуску конвеєра з метою зменшення динамічних навантажень в елементах конвеєра.

Випробування двошвидкісних електродвигунів з пристроями КСД 27.50 і УКВ-650 показали, що при подачі напруги на обмотку високої швидкості при

сталій роботі двигуна на низькій швидкості оберти двигуна не збільшуються, крім того, струм в обмотці низької швидкості значно перевищує номінальне значення, а величина струму в обмотці високої швидкості дорівнює величині пускового струму. Це дозволяє зробити висновок про недоцільність одночасного подання напруги живлення на обидві обмотки двигуна при переході з низької швидкості на високу.

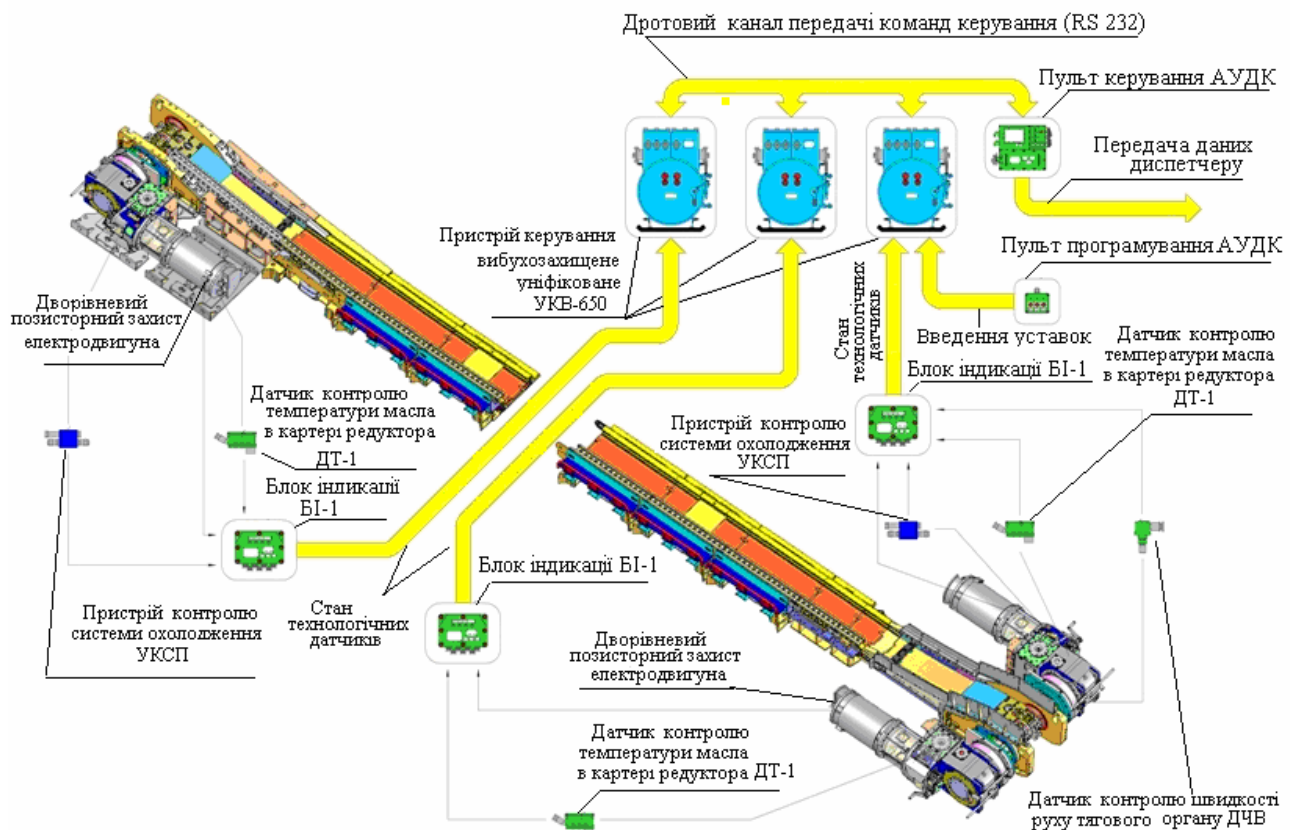


Рис. 2.45. Загальний вигляд і структура системи керування скребковим конвеєром

Випробування станції керування у складі конвеєра за цілим рядом алгоритмів пуску показали, що виникають перевантаження електроприводів конвеєра, а значить, і його трансмісії, іноді до практично повної зупинки тягового органу хвостового приводу (при переході з низької швидкості на високу) з подальшим ривком.

Виходячи з вищевикладеного, алгоритм запуску двопривідного двошвидкісного конвеєра можна зобразити у вигляді графіка часового аналізу, поданого на рис. 2.46.

Із графіка видно, що:

- враховуючи динаміку розгону конвеєра довжиною близько 300 м, перехід на високу швидкість повинен здійснюватися не раніше ніж через 7 с після вмикання приводу на низькій швидкості;
- при переході на високу швидкість необхідно враховувати поточну завантаженість конвеєра (наприклад, через струм електродвигунів) і проводити перемикання на вищу швидкість при величині споживаного струму на низькій швидкості, яка не перевищує 110 – 120% номінального значення;

– пауза при перемиканні електроприводу з низької швидкості на високу повинна бути мінімальною;

– час переходу другого (головного) приводу конвеєра на високу швидкість відносно першого (хвостового) має бути мінімальним (визначається перевантажувальною здатністю живильної трансформаторної підстанції).

Пристрій КСД 27.50 разом з апаратурою УКСД (рис. 2.46) забезпечує керування електроприводами двошвидкісного скребкового конвеєра з вибором його режиму роботи, контролем захистів і блокувань (контроль споживаних струмів, величини перевантаження і «перекидання» електроприводів, температурних режимів електродвигунів і редукторів приводу, спрацьовування блоків пристрою та ін.), а також відображення зібраної інформації із запам'ятовуванням спрацьовуваних захистів (передісторія).

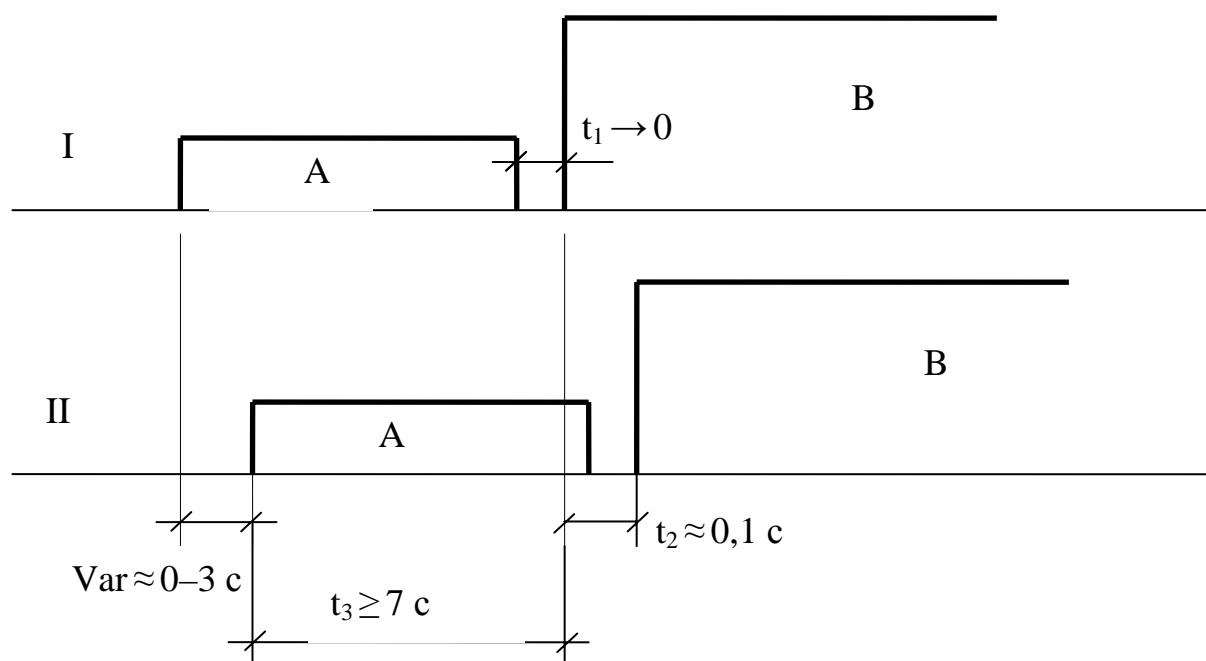


Рис. 2.46. Графік часового аналізу запуску двошвидкісного скребкового конвеєра:

I, II – перемикання швидкостей хвостового і головного приводів конвеєра;

A, B – робота електроприводу на низькій і високій швидкостях

У вибухозахищеному корпусі пристрою УКВ 650 розташовані:

– шість силових контакторів, два з яких забезпечують робочий і реверсивний режими електродвигунів у дистанційному режимі, решта – подачу напруги живлення на обмотки високої і низької швидкостей електродвигунів головного і хвостового приводів;

– проміжні реле;

– блоки форсування;

– блоки комплексного захисту (контроль максимального струмового захисту та контроль опору ізоляції відвідних силових кіл);

– трансформатори струму і напруги;

– блок керування апаратури.



Центральний модуль системи складається з блоку керування, датчика контролю швидкості, двох блоків індикації (БІ) та двох датчиків температури (ДТ).

Блок керування виконує такі функції:

- керування конвеєром відповідно до заданого режиму (вибір приводу та завдання його швидкості, «робота-реверс» та ін.);
- запуск конвеєра з урахуванням його поточного завантаження та динаміки розгону;
- контроль споживаного струму електродвигунами головного і хвостового приводів, їх теплового стану (попереджувального і аварійного нагріву), частоти обертання головного приводу, граничної температури масла в редукторах, спрацьовування блоків пристрою і т.д.;
- захисне вимкнення і блокування роботи конвеєра при досягненні контрольованих параметрів граничних (аварійних) значень;
- відображення інформації про поточний стан і причини аварійного вимкнення конвеєра.

Блоки індикації (БІ) розташовані в безпосередній близькості від привідних блоків конвеєра та призначені для збору інформації про стан датчиків і її кодування для передачі двопровідними лініями зв'язку. До блоку індикації можливе підключення датчиків (позисторних) дворівневого температурного захисту електродвигуна, датчика температури ДТ-1, що контролює граничну температуру редуктора, і реле витрати охолоджувальної рідини приводу. На кришці блоку є вікна для візуального контролю індикаторів поточного стану датчиків.

Реалізацію режимів роботи, алгоритмів пуску конвеєра, захисних вимкнень і блокувань здійснює апаратура АУДК, що складається з пульта керування ПК, блоків керування, вбудованих у пристрої УКВ-650, блоків індикації БІ-1, температурних датчиків ДТ-1, магнітоіндукційного датчика контролю швидкості тягового органу конвеєра і пульта програмування. Апаратура АУДК (як і УКСД) виконана на базі мікропроцесорної техніки. Стиковка контролера з датчиками і колами керування здійснюється через модулі сполучення.

Подальший розвиток скребкових конвеєрів супроводжується зростанням потужностей двигунів, при яких використання двошвидкісних приводів значно ускладнюється. Ця проблема вирішується за допомогою частотних перетворювачів.

### **Контрольні питання**

1. Опишіть технологію виймання вугілля в забої за умови суцільної системи розробки пологого пласта за допомогою комбайнового ОМК.
2. Дайте характеристику технологічної схеми виймання вугілля на крутих пластах.
3. Опишіть технологію виймання вугілля в забої за умови суцільної системи розробки пологого пласта за допомогою стругового ОМК.
4. Перелічіть обмеження на керовані величини, блокування та зупинки машин очисного комплексу, що пов'язані з технологією видобутку вугілля в забої.

5. Дайте визначення мехатроніки та синергетики.
6. Опишіть умови мехатронності, принципи формалізації та класифікації мехатронних об'єктів.
7. Чим мехатронна гірнича машина відрізняється від немехатронної? Наведіть приклад.
8. У чому полягає системний підхід за умови опису складних технічних об'єктів?
9. Наведіть основні функції, що виконує пристрій керування штрековий.
10. Опишіть спільну роботу пристрою керування штрекового з комплектним пристроєм керування електродвигунами очисного комплексу за структурною схемою системи керування механізмами очисного комплексу.
11. Як реалізується дистанційне керування електродвигуном механізму очисного комплексу.
12. Опишіть алгоритм запуску машин очисного комбайнового комплексу.
13. Опишіть схеми енергопостачання очисного забою та видобувного комбайна.
14. Дайте характеристику М+С-компоненти видобувного комбайна.
15. Вкажіть варіанти конструктивного виконання регульованих приводів підсистем переміщення видобувних комбайнів. Наведіть їх статичні характеристики.
16. Як здійснюється керування подачею робочої рідини до порожнин гідродомкратів гірничих машин?
17. Опишіть основні функції, що виконує система керування видобувним комбайном.
18. Розкажіть про зв'язки між елементами системи керування видобувним комбайном на основі її структурної схеми.
19. Принцип дії датчика швидкості подачі видобувної машини.
20. На основі схем електрообладнання комплексів засобів керування комбайном КУОК та КМ-ПЧ охарактеризуйте розміщення датчиків та виконавчих пристроїв на видобувних комбайнах та їх зв'язок з модулями системи керування.
21. Опишіть алгоритм керування видобувним комбайном на основі схеми алгоритму.
22. Яким чином розраховується нова уставка швидкості подачі за умови стабілізації потужності найбільш навантаженого електродвигуна приводу різання комбайна?
23. Мінімальний та максимальний варіанти автоматизації режимів роботи видобувних комбайнів. Інші способи автоматизації режимів роботи видобувних комбайнів.
24. Дайте характеристику М+С-компоненти стругової установки.
25. Опишіть основні функції, що виконує система керування струговою установкою.
26. Опишіть зв'язки між елементами системи керування струговою установкою на основі її структурної схеми.

27. На основі схеми електрообладнання системи керування струговою установкою DBT охарактеризуйте розміщення датчиків та виконавчих пристроїв у забої та їх зв'язок з модулями системи керування.

28. Опишіть алгоритм керування струговою установкою на основі графа переходів.

29. Дайте характеристику М+С-компоненти секції забійного механізованого кріплення.

30. Опишіть основні функції, що виконує система керування забійним механізованим кріпленням.

31. Розкажіть про зв'язки між елементами системи керування секцією забійного механізованого кріплення на основі її структурної схеми.

32. На основі схеми електрообладнання системи керування забійним механізованим кріпленням ДЕГУ охарактеризуйте розміщення датчиків і виконавчих пристроїв на секції кріплення та їх зв'язок з модулями системи керування.

33. Опишіть алгоритм керування секцією забійного механізованого кріплення на основі графа переходів (для комбайнового та стругового ОМК).

34. Які додаткові функції повинні виконувати системи керування, що встановлені на гірничих машинах, для реалізації безлюдного виймання вугілля в забої?

### **3. АВТОМАТИЗАЦІЯ ГІРНИЧОПРОХІДНИЦЬКИХ РОБІТ**

#### **3.1. Підготовчі процеси й устаткування**

Будівництво й подальша експлуатація шахт починається з підготовчих процесів – проведення гірничих виробок безпосередньо в гірничих масивах: вертикальних і похилих стовбурів, штолень, квершлагів, штреків, нарізання лав та ін. буропідричним або механізованим способами.

Вертикальні стволи проводяться, як правило, буропідричним способом. У гірничому масиві за допомогою бурових установок бурять шпури, у які закладають вибухові речовини (ВР) і підривають. Гірничу масу піднімається на поверхню, а виробка фіксується тимчасовим кріпленням. У міру поглиблення таке кріплення розбирається і замінюється капітальним армуванням стовбура.

Будівництво нових шахт у цей час проводиться дуже рідко, та й питанням автоматизації цих процесів приділяється мало уваги.

Гірничі виробки, які закінчуються вибоями, називаються тупиковими. У шахтах проведення тупикових виробок здійснюється технологічними процесами, які називають проходкою, а ділянки – прохідницькими.

Такі ділянки забезпечують усі інші роботи в шахті – нарізання лав, видобування вугілля, його транспортування, доставку механізмів і матеріалів, провітрювання, організацію й устаткування водовідливу, забезпечення електроенергією і стисненим повітрям та ін.

Виробки на прохідницьких ділянках залежно від призначення – квершлагів, штреків й ін., мають різні профілі перерізу й відповідно кріплення.

Розрізняють основні й допоміжні виробничі процеси. До основних відносять: руйнування, навантаження гірничої маси, кріплення проведеної виробки; до допоміжних – вентиляція, водовідлив, доставка встаткування, матеріалів і т. ін.

При буропідричному способі у вибої бурять шпури за допомогою електричних або пневматичних свердел, які заряджають ВР і потім підривають. Гірничу масу за допомогою навантажувальних машин, що знаходяться безпосередньо у вибої, потрапляє в шахтні вагонетки або на конвеєр.

Цикл проходки закінчується зведенням постійного кріплення, прокладанням рейкової колії або установкою конвеєра, а також проходкою канавки для водовідливу та ін.

Роботи із проходки буропідричним способом виконуються в основному вручну – буріння шпурів, їх зарядження вибуховими речовинами, зачищення вибою й ґрунту виробки. Вибух здійснюється дистанційно, що гарантує безпечність робіт.

Процеси навантаження гірничої маси, її транспортування, пилоподавлення й провітрювання механізовані. Застосовуються такі засоби механізації основних виробничих процесів проходки: машини й механізми для буріння і зарядки шпурів; навантажувальні машини; машини й механізми для тимчасового й постійного кріплення гірничих виробок, а також допоміжних – рейкоукладачі; машини для спорудження водовідливних канавок, прокладки труб, кабелів; машини для дренажних робіт; механічні гайковерти й ін.

Визначено основні операції проходки буропідпривним способом: руйнування гірничого масиву вибою в тупиковій виробці із забезпеченням заданого профілю її перерізу та проведення робіт у заданому напрямку в підземних умовах, а також допоміжні – пилоподавлення й безперервне регульоване по кількості свіжого повітря провітрювання залежно від рясноті газовиділення.

Буріння шпурів і зведення кріплення тупикової виробки можна здійснювати за допомогою роботів. Можливі два варіанти проведення тупикових виробок: прямий і зворотний хід.

При прямому ході тупикові виробки посуваються з деяким випередженням відносно лав і повинні забезпечувати своєчасне введення в роботу видобувних ділянок. У цьому випадку продуктивність шахти залежить від проходки, що є недоліком прямого ходу.

Зворотний хід – підготовча виробка пройдена і не впливає на продуктивність шахти. Однак недоліком зворотного ходу є витрати на підтримку пройдених виробок.

При комбайновому проведенні підготовчої тупикової виробки застосовується механічний спосіб руйнування гірничого масиву й навантаження гірничої маси прохідницькими комбайнами. Відомі дві технологічні схеми проведення виробок залежно від взаємозв'язку виконуваних процесів – циклічна й потокова. До циклічної належить технологія проходки буропідпривним способом, а до потокової – комбайнова.

Підготовча виробка є тупиковою і випереджає видобувну (лаву) на 150 – 200 м.

Схема розташування встаткування в підготовчому вибої наведена на рис. 3.1. На свіжому струмені провітрювання розташовується підстанція, від якої одержує живлення все встаткування прохідницького вибою.

Під час проходки комбайн 9 виконує такі операції: руйнування гірничого масиву; пилоподавлення; підтримка заданого напрямку руху комбайна в підземних умовах; транспортування гірничої маси на скребковий конвеєр 8; кріплення виробки й зачищення ґрунту. Далі гірничу масу транспортується за допомогою вагонеток або конвеєрами. Доставка допоміжних вантажів і матеріалів здійснюється за допомогою лебідки 17.

Відповідно до Правил безпеки проводиться обов'язкове провітрювання тупикових виробок (безперервна робота вентиляторів місцевого провітрювання (ВМП)) і контроль вмісту метану.

При потоковій технології – комбайновому видобуванні гірничої маси – усі виробничі процеси сполучають у часі, що дозволяє практично безупинно видобувати гірничу масу з вибою виробки. Для збільшення продуктивності гірничопрхідницьких робіт необхідна автоматизація основних і допоміжних процесів.

Розглянемо схему електропостачання підготовчого вибою – рис. 3.2.

Живлення комбайна здійснюється напругою 660 В або 1140 В змінного струму частотою 50 Гц у мережі з ізольованою нейтраллю.

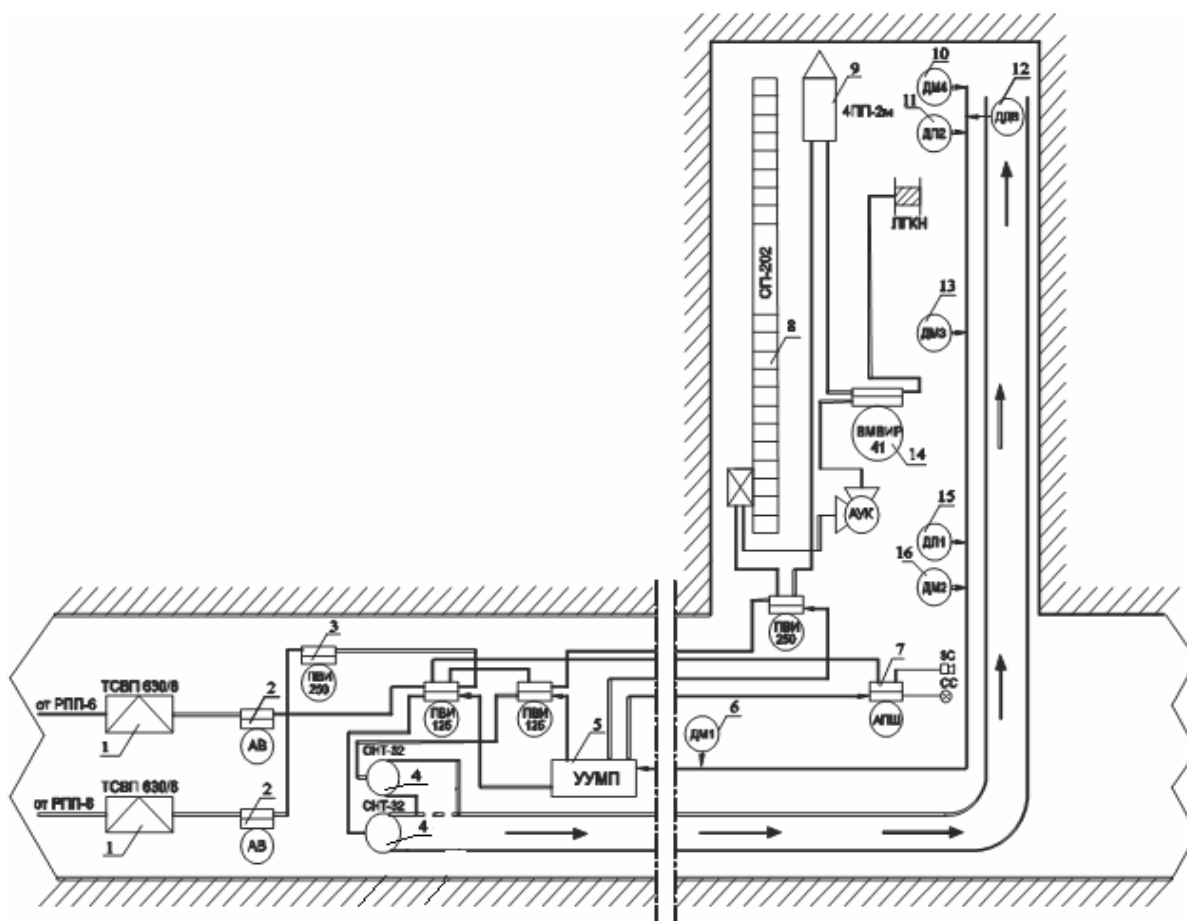


Рис. 3.1. Схема розташування встаткування в підготовчому вибої:

1 – трансформаторна підстанція; 2 – автоматичний вимикач; 3, 14 – магнітний пускач;  
 4 – вентилятор місцевого провітрювання (робочий і резервний); 5 – пристрій керування  
 місцевим провітрюванням; 6, 10, 13, 16 – датчики метану; 7 – апарат пусковий шахтний для  
 сигналізації; 8 – скребковий конвеєр; 9 – прохідницький комбайн; 11, 15 – датчики пилу;  
 12 – датчик тиску повітря

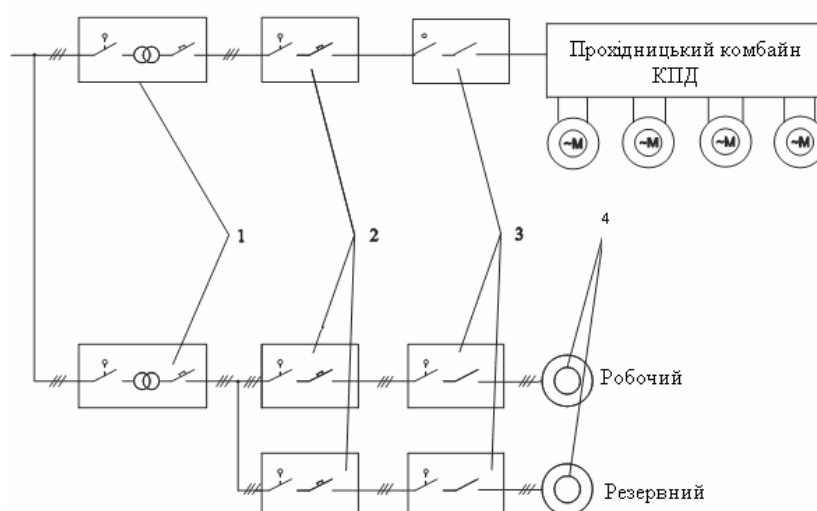


Рис. 3.2. Схема електропостачання підготовчої виробки:

1 – трансформаторна підстанція; 2 – автоматичний вимикач;  
 3 – магнітний пускач; 4 – електродвигуни приводів відповідно різання, гідросистеми,  
 конвеєра, зрошення й вентиляторів

З рис. 3.1 видно, що комбайн 9 і вентилятори місцевого провітрювання 4 мають незалежне електропостачання. Трансформаторна підстанція 1 оснащена роз'єднувачами як високої напруги, так і низької.

Усі споживачі одержують електроенергію через послідовно ввімкнені автоматичні вимикачі (АВ) 2 і магнітні пускачі (МП) 3, які у свою чергу містять послідовно з'єднані ручний і захисний роз'єднувачі.

Вміст метану контролюється чотирма датчиками 6, 10, 13, 16: вихідні – на виході з тупикової виробки в 10 – 20 м від сполучення з виробкою зі свіжим струменем; з протилежного боку від вентиляційного трубопроводу; забійний – в 3 – 5 м від вибою вгору з протилежного боку від вентиляційного трубопроводу.

Показання датчика скуплення метану не повинне перевищувати 1% вмісту його у виробці, оскільки відразу відбувається вимкнення груповим пускачем живлення всіх механізмів тупикової виробки.

Інформація про вміст метану записується автоматично в системі автоматичного газового контролю (АГК).

### **3.2. Прохідницькі комбайни**

Процеси проходки гірничих виробок, як відзначалося вище, виконуються прохідницькими комбайнами (ПК), які призначені для механізації руйнування гірничої маси, видалення її з вибою і навантаження на транспорт – вагонетки або конвеєри. Такий спосіб проходки також підвищує стійкість гірничої виробки за рахунок меншого порушення монолітності порід у порівнянні з буропідривними роботами, що знижує витрати на підтримку виробок.

У тупиковій виробці повинні бути дотримані такі вимоги «Правил безпеки»:

1. Прохідницькі комбайни мають бути обладнані пристроями, що забезпечують подачу попереджувального звукового сигналу перед початком роботи комбайна, а також світильниками, що вмикаються без подачі напруги на приводи комбайна.

2. На комбайнах зі стрілоподібним виконавчим органом повинні передбачатися пристрої місцевого збільшення швидкості повітря в зоні руйнування гірничої маси, розташовувані таким чином, щоб струмінь повітря обдував робочий орган комбайна.

Прохідницькі комбайни класифікуються за призначенням проведених гірничих виробок, способом обробки вибою, типом виконавчих органів, міцністю порід гірничого руйнівного масиву, а також за площею перерізу проведених виробок.

Розглянемо головні:

*за призначенням:*

- проведення гірничих виробок типу штрек, ухил, бремсберг і т. ін.;
- піддирання ґрунту у підготовчих виробках з метою відновлення їх початкового стану (прийняті назви – профілепіддирочні або піддирочно-навантажувальні машини);
- проведення нарізних виробок по корисній копалині (прийнята назва – нарізні комбайни);

за способом обробки поверхні вибою:

- послідовна обробка;
- одночасна обробка;

за типом виконавчих органів:

- стрілоподібного типу;
- роторного типу;
- з хитними у вертикальній площині виконавчими органами.

Крім перерахованих основних ознак, ПК також підрозділяються за встановленою потужністю приводу, навантажувальними пристроями і переміщенням.

Роторні прохідницькі комбайни застосовуються, як правило, при проходці тунелів, а з хитним виконавчим органом – при проведенні виробок під анкерне кріплення.

У вугільній промисловості найчастіше використовуються ПК зі стрілоподібним виконавчим органом переважно коронкові, дискові або комбіновані (рис. 3.3, а, б).

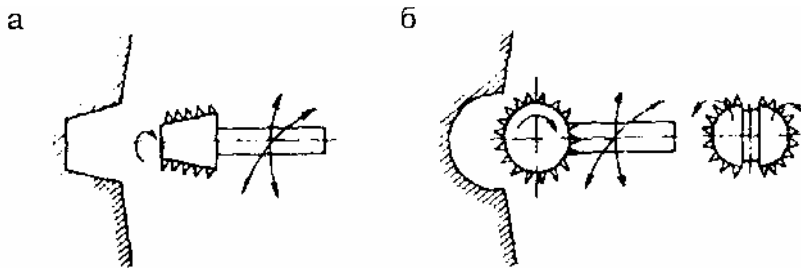


Рис. 3.3. Схеми стрілоподібних виконавчих органів вибіркової дії з конічною (а) і зі сферичною коронками (б)

Переваги прохідницьких комбайнів стрілоподібного типу з послідовною обробкою поверхні вибою: можливість проходки (або відновлення для профілепіддирочних машин) виробок різних форм (аркової, трапецієподібної, прямокутної, полігональної) у досить широкому діапазоні площ перерізів; висока маневреність; можливість установки кріплення біля вибою виробки; відносно невелика маса; доступ до робочого інструмента.

У процесі роботи прохідницької машини реалізуються два способи впливу на механізми комбайна: за допомогою електропривода і гідроприводу.

Електричний спосіб використовується при великій швидкості руху механізмів (або односпрямованому руху):

- обертання коронки виконавчого органа в процесі руйнування породи;
- робота насосної установки для створення тиску робочої рідини в гідросистемі з метою впливу на різні механізми прохідницької машини;
- рух скребкового конвеєра при видаленні породи із забійного простору;
- робота системи зрошення з метою пилоподавлення в процесі роботи різального органа.

Гідравлічний спосіб застосовується для переміщення або зміни положення (малий хід) механізму комбайна:



- переміщення виконавчого органа – нагору, униз, вправо, вліво, уперед, назад та ввімкнення першої, другої або обох колонок;
- переміщення комбайна (зміна положення його тракової частини) – уперед, назад, вправо, уліво;
- обертання навантажувальних зірок;
- зміни положення: хвостової частини конвеєра, живильника – нагору, униз та розпору;
- переміщення підйомника кріплення – нагору, униз та установки – нагору, униз.

Прохідницькі комбайни мають ходове встаткування, яке призначено для створення напірного зусилля на вибій при руйнуванні порід вибою і при навантаженні відбитої гірничої маси; маневрування комбайна у вибої під час роботи; транспортування комбайна при перегонах.

Гусеничне ходове встаткування забезпечує високу маневреність і мобільність прохідницького комбайна. Воно одержало найбільше поширення. Застосовуються двогусеничні візки із багатоопорними гусеницями.

Основний вид енергії прохідницьких комбайнів – електрична. До складу електроустаткування комбайнів входять: електричні двигуни для приводу виконавчих органів, органів навантаження, перевантажувачів і органів переміщення, а також для приводу насосів зрошення й маслостанцій комбайнів; магнітні станції з апаратурою керування і захисту; електричні пульти керування; апаратура сигналізації та освітлення; кабельна мережа й електрична арматура.

Переважає застосування на прохідницьких комбайнах одержали асинхронні короткозамкнені електродвигуни в рудниковому вибухозахищеному виконанні (РВ).

Разом з електричним приводом у комбайнах використовуються системи силового об'ємного гідроприводу типу «насос – силовий гідроциліндр» і «насос – гідромотор». У прохідницьких комбайнах гідропривід «насос – силовий гідроциліндр» використовується для переміщення стрілоподібних виконавчих органів комбайнів вибіркової дії у горизонтальній та вертикальній площинах, розсування телескопічної стріли, підйому й опускання розвантажувального кінця конвеєра комбайна, для роботи кроко-розпирного органа переміщення комбайнів бурового типу, а також для виконання допоміжних операцій з керування рухом комбайна та ін.

Системи «насос – гідромотор» використовують у приводах гусеничного ходу комбайна.

У вугільній промисловості застосовуються також прохідницькі комбайни середнього класу КПД із виконавчим органом стрілоподібного типу з послідовною обробкою поверхні вибою. Загальний вигляд комбайна КПД наведено на рис. 3.4.

Кінематична схема комбайна КПД наведена на рис. 3.5. Як видно з рисунка, комбайн має три ступені руху. Гідродомкрати 1 здійснюють переміщення виконавчого органа в горизонтальній площині на опорах 7 і 8. У вертикальній площині переміщення стріли 4 з рамою здійснюється за допомогою двох

гідродомкратів 2. Пересування різального органа разом із приводом і редуктором відносно рами стріли 4 виконується за допомогою двох гідродомкратів 3.

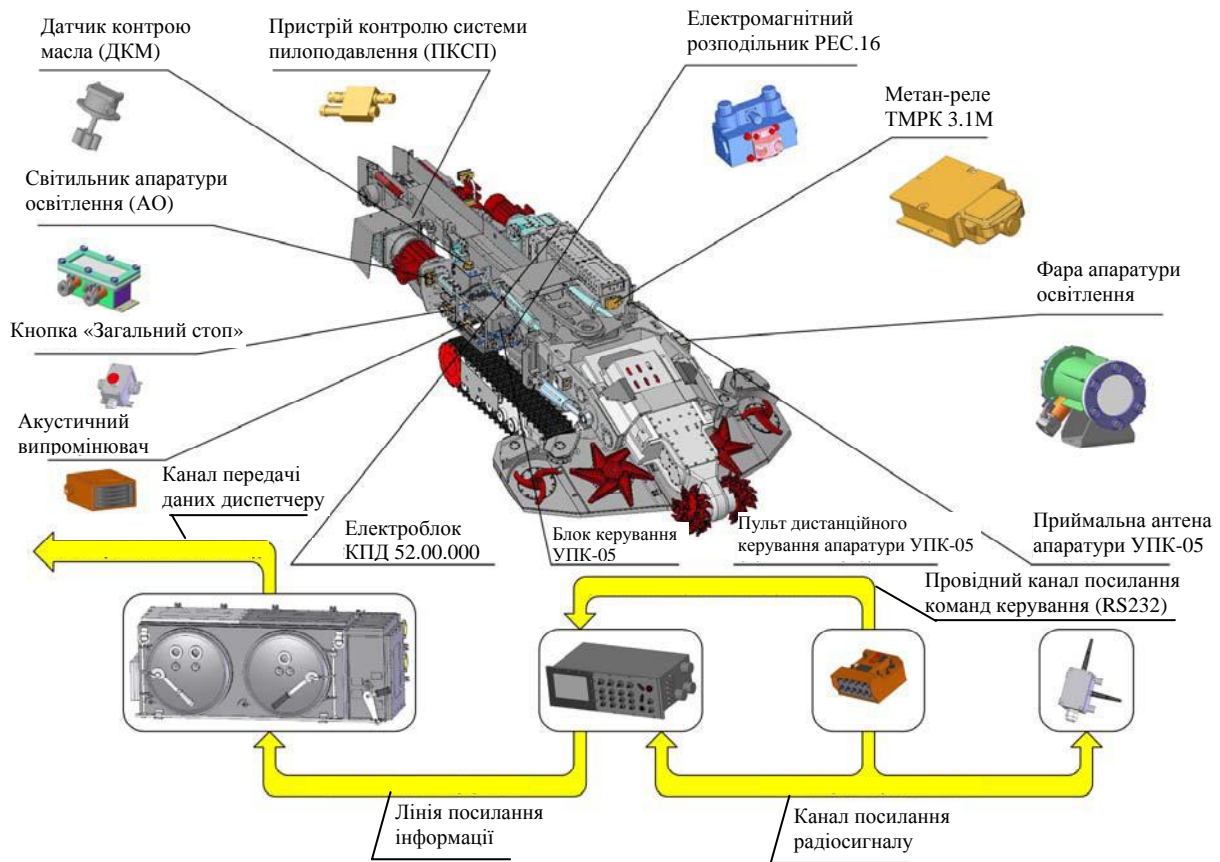


Рис. 3.4. Загальний вигляд комбайна КПД

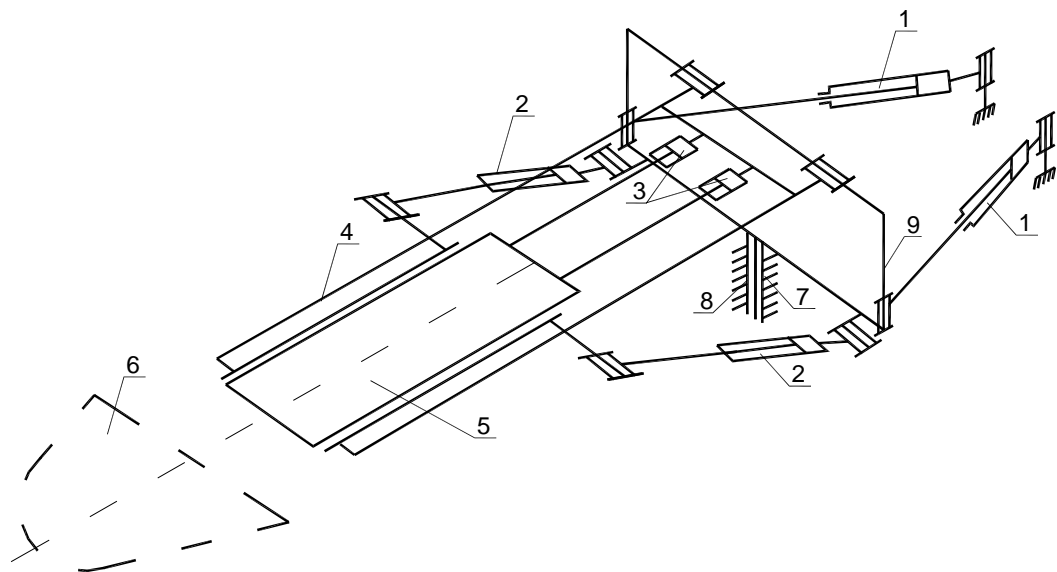


Рис. 3.5. Кінематична схема комбайна:

1 – гідродомкрати горизонтального переміщення; 2 – гідродомкрати вертикального переміщення; 3 – гідродомкрати переміщення редуктора відносно рами; 4 – рама стріли; 5 – редуктор; 6 – різальна коронка; 7, 8 – поворотні опори; 9 – поворотна турель

Електродвигуни в складі приводів забезпечують роботу різальних коронок виконавчого органа, насосної установки, скребкового конвеєра і системи зрошення.

У горизонтальному напрямку разом з рамою стріли 4 і туреллю 9 різальна коронка 6 переміщається за допомогою двох домкратів 1 навколо поворотних опор 7 і 8.

Для телескопічного розсунення при самозарубуванні різальна коронка 6 переміщається двома гідродомкратами 3 відносно рами стріли 4 разом з корпусними вузлами редуктора 5 і електродвигуна.

Розглянута схема переміщення різальної коронки прохідницького комбайна КПД забезпечує виконання таких основних вимог: руйнування гірського масиву по всьому перерізу прохідницького вибою з різними програмами змін форми й розмірів виробки, послідовність обробки вибою з безперервним регулюванням переміщення різальної коронки в потрібному напрямку із заданими швидкостями й зусиллями.

### 3.3. Пристрій і робота електроустаткування і його складових частин комбайна КПД

Структурна схема взаємодії електроустаткування прохідницького комбайна КПД наведена на рис. 3.6.

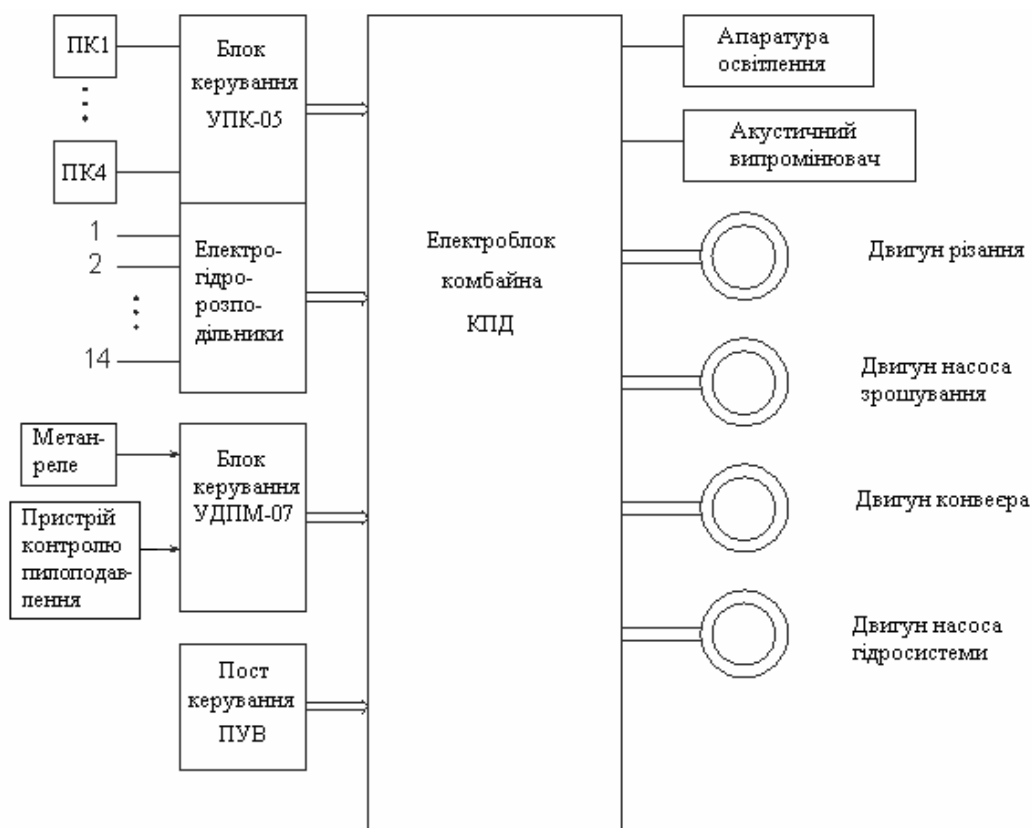


Рис. 3.6. Структурна схема електроустаткування комбайна

Апаратура керування і діагностики УДПМ призначена для керування, захисту, контролю стану й технічної діагностики встаткування комбайна.

Пост керування кнопковий ПУВ разом з кінцевим елементом (КЕ) забезпечує аварійне вимкнення електроприводів комбайна. Система автоматизації комбайна містить чотири пости ПУВ, розташованих у зоні виконавчого органа і поворотної частини конвеєра. Кінцевий елемент вбудовується в кнопковий пост і призначений для контролю цілості кіл керування. У випадку обриву кола спрацьовує індикатор, установлений на кришці кнопкового поста.

Акустичний випромінювач (ВА) призначений для звукової попереджувальної сигналізації перед пуском комбайна. Система автоматизації комбайна містить два ВА. У кінцевому акустичному випромінювачі встановлений блок кінцевого сигналу (БКС), який забезпечує самоконтроль цілості лінії акустичного зв'язку.

Апаратура освітлення складається з двох світильників (або чотирьох) і фари. Світильники встановлені на поворотній рамі й хвостовій частині конвеєра та призначені для освітлення органів керування апаратури УПК, місця перевантаження гірничої маси з конвеєра на перевантажувач і зони проходу обслуговуючого персоналу. Фара освітлює забійний простір.

Система керування комбайном надсилає відповідні сигнали по бездротовій лінії зв'язку в зоні візуального контролю електро- і гідроприводів, а також забезпечує необхідний захист і блокування попереджувальної сигналізації, діагностики та індикації.

Виходячи з принципу дії та конструкції комбайна, розрізняють такі режими роботи прохідницького комбайна:

**«Робота»**

- переміщення виконавчого органа (нагору, вниз, вправо, уліво, вперед, назад);
- зміна положення живильника (нагору, вниз);
- зміна положення розпору (висунути, втягнути);
- зміна положення хвостової частини конвеєра (нагору, вниз, вправо, уліво);
- зміна положення тракової частини комбайна (вперед, назад, вправо, уліво);
- керування обертанням навантажувальних зірок.

**«Перегін»**

- зміна положення тракової частини комбайна (вперед, назад, вправо, уліво).

**«Підйом кріплення»**

- переміщення пристрою підйома кріплення (нагору, вниз);
- переміщення установки (нагору, вниз).

**«Буріння»**

- увімкнення
  - першої колонки;
  - другої колонки;
  - обох колонок.

### 3.4. Автоматизація процесів керування прохідницькими комбайнами

Системи автоматизованого керування працюють відповідно до вимог проекту національного стандарту України «Комбайни шахтні прохідницькі зі стрілоподібним виконавчим органом. Загальні технічні умови», згідно з яким повинні забезпечувати:

- автоматизоване керування виконавчим органом – переміщення його по заданій траєкторії (за програмою);
- автоматичний захист від перекидання, а також нездійснених пусків силових електродвигунів:
- контроль технічного стану електричних і гідравлічних вузлів;
- відображення контрольної, оперативної та аварійної інформації на пульті керування;
- керування поворотною частиною конвеєра при його зсуві в горизонтальній площині відносно заданого положення;
- контроль положення комбайна у виробці;
- контроль напрямку виробки, яку проходять.

Відомі такі автоматизовані режими роботи при послідовній обробці вибою прохідницькими комбайнами стрілоподібного типу:

1. *Стабілізація* на заданому рівні струмовими заданими середніми значеннями потужності електродвигуна підсистеми приводу виконавчого органа шляхом регулювання основного режимного параметра – швидкості переміщення цього органа  $V_n$ .

Робота мехатронізованих прохідницьких комбайнів за цим режимом здійснюється за допомогою відповідного регулятора при наявності можливості дросельного або об'ємного регулювання значення швидкості  $V_n$  або на основі частотно-регульованого електропривода насосної установки, як це використовується на видобувних комбайнах.

2. *Стабілізація* на заданому рівні середнього моменту електродвигуна підсистеми приводу ВО шляхом регулювання частоти обертання (швидкості різання) виконавчого органа.

Такий режим можливий при наявності мехатронної підсистеми приводу виконавчого органа на основі частотно-регульованого електропривода. На сучасних ПК частотно-регульований електропривід не встановлюється, тому ці способи керування можна розглядати як перспективні.

Автоматизоване керування переміщенням виконавчого органа відповідно до заданої програми за обраною раціональною схемою обробки вибою зображено на рис. 3.7.

Ця програма спочатку формується на основі зразкового ручного керування переміщенням ВО протягом повного робочого циклу й записується у вигляді програмного забезпечення для підсистеми автоматизації як задане значення регульованої величини. Надалі, якщо буде потреба, здійснюється коректування цієї програми. Необхідно відзначити, що запис програми можливий, якщо комбайн оснащений датчиками контролю положення кожного ступеня рухливості.

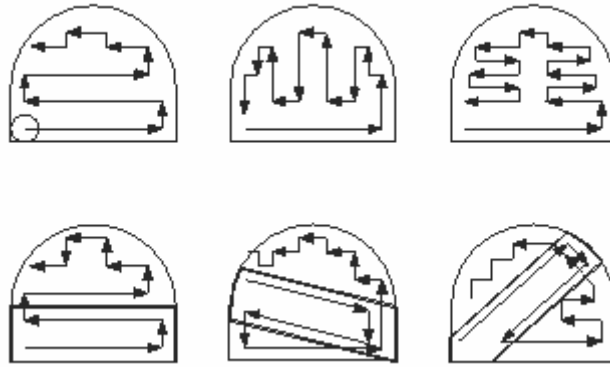


Рис. 3.7. Схеми обробки вибою

### 3.4.1. Вимоги до системи керування

Системи керування прохідницькими комбайнами з обліком їх конструкції та умов експлуатації повинні передбачати один вид керування або цілу комбінацію видів:

- 1) дистанційне керування в місцевому режимі з пульта, знаходиться на комбайні;
- 2) дистанційне керування по провідних лініях або телемеханічне по радіоканалу з переносного пульта у межах видимості;
- 3) вибір працюючих переносних пультів керування:
  - пульт ПК1;
  - пульт ПК2;.
- 4) у режимі **«Робота»**:
  - перевірка працездатності блока контролю ізоляції;
  - перевірка схеми;
- 5) дистанційне ввімкнення всіх електроприводів у режимі **«Робота»** з блока керування (БК) або переносного пульта;
- 6) дистанційне ввімкнення насосної установки в режимі **«Перегін»**, **«Підйом кріплення»**, **«Буріння»** з БК або переносного пульта;
- 7) ручне керування електромагнітними розподільниками з БК або дистанційне з БК або пультів ПК1, ПК2;
- 8) у режимі **«Робота»**:
  - переміщення виконавчого органа;
  - зміна положення живильника;
  - зміна положення розпору;
  - зміна положення хвостової частини конвеєра;
  - переміщення комбайна;
- 9) керування навантажувальними зірками;
- 10) у режимі **«Перегін»**:
  - переміщення комбайна;
- 11) у режимі **«Підйом кріплення»**:
  - переміщення пристрою підйому кріплення ;
  - переміщення установки;

12) у режимі «*Буріння*»:

- увімкнення
  - першої колонки;
  - другої колонки;
  - обох колонок;

13) дистанційне керування груповим апаратом;

14) розрив силових кіл, що виключає подачу напруги на машину з випереджальним вимкненням групового апарата;

15) подача напруги на машину тільки при закритих кришках електроблоку повинна забезпечуватися механічним блокуванням;

16) вимкнення групового апарата при перевищенні норми концентрації метану у вибої (спрацьовування метан-реле):

– вимкнення й блокування, що виключає ввімкнення електроприводів комбайна при аварійних ситуаціях і ремонтних роботах із кнопочових постів керування, розташованих у зоні виконавчого органа й поворотної частини конвеєра (пост керування кнопочовий);

– дистанційні вимкнення й блокування ввімкнення групового апарата з БК апаратури КПК-05;

– автоматичне вимкнення групового апарата при тривалому (більше 3 хв) простої комбайна;

– вимкнення й блокування ввімкнення виконавчого органа при недостатньому тиску й витраті води в системі зрошення;

– вимкнення й блокування ввімкнення насосної установки при перегріві й зниженні рівня робочої рідини гідросистеми (датчик контролю масла);

17) подача попереджувального акустичного сигналу з БК або пультів ПК1, ПК2;

18) забезпечення захисту від:

- струмів короткого замикання силових кіл;
- перевантаження й перекидання двигунів М1...М4;
- перегріву двигунів М1...М4;
- втрати керованості при обриві або замиканні кіл дистанційного керування електроприводами машини, а також нульовий захист;

19) блокування, що виключає можливість увімкнення двигунів:

- без подачі попереджувального сигналу;
- при зниженні опору ізоляції силових кіл кабелів машини нижче 35 кОм (при живлячій напрузі 660 В) або 100 кОм (при живлячій напрузі 1140 В);
- при порушенні цілісності вакуумних камер контакторів КМ1...КМ4;

20) індикація таких параметрів:

- наявності іскробезпечної напруги джерел живлення;
- порушення працездатного стану субблоків апаратури УПК-05;
- увімкнення проміжних реле контакторів електроблока;
- зниження рівня опору ізоляції силових кіл;
- спрацьовування максимального струмового захисту;
- спрацьовування захисту від перевантаження й перекидання двигунів;
- спрацьовування температурного захисту двигунів;

- граничної температури робочої рідини насосної установки;
- рівня робочої рідини;
- граничного тиску в системі зрошення;
- ушкодження лінії попереджувального сигналу;
- величини споживаного струму (в %) двигуном виконавчого органу;
- готовності кіл керування.

У режимі налагодження й випробування повинне бути передбачене керування з місцевого або з переносного пульта.

При режимі дистанційного або автоматизованого керування здійснюється контроль:

а) від перекидання та пуску електродвигунів виконавчого органу навантажувальних пристроїв, експлуатація яких пов'язана з важкими режимами пуску і в процесі нормальної роботи;

б) оперативної та аварійної інформації на пульті дистанційного керування;

в) за поворотною частиною конвеєра при його зсуві в горизонтальній площині від заданого положення;

г) технічного стану електричних і гідравлічних систем комплексу;

д) цифрової індикації показань метан-реле.

Структурна схема системи автоматизації прохідницького комбайна наведена на рис. 3.8.

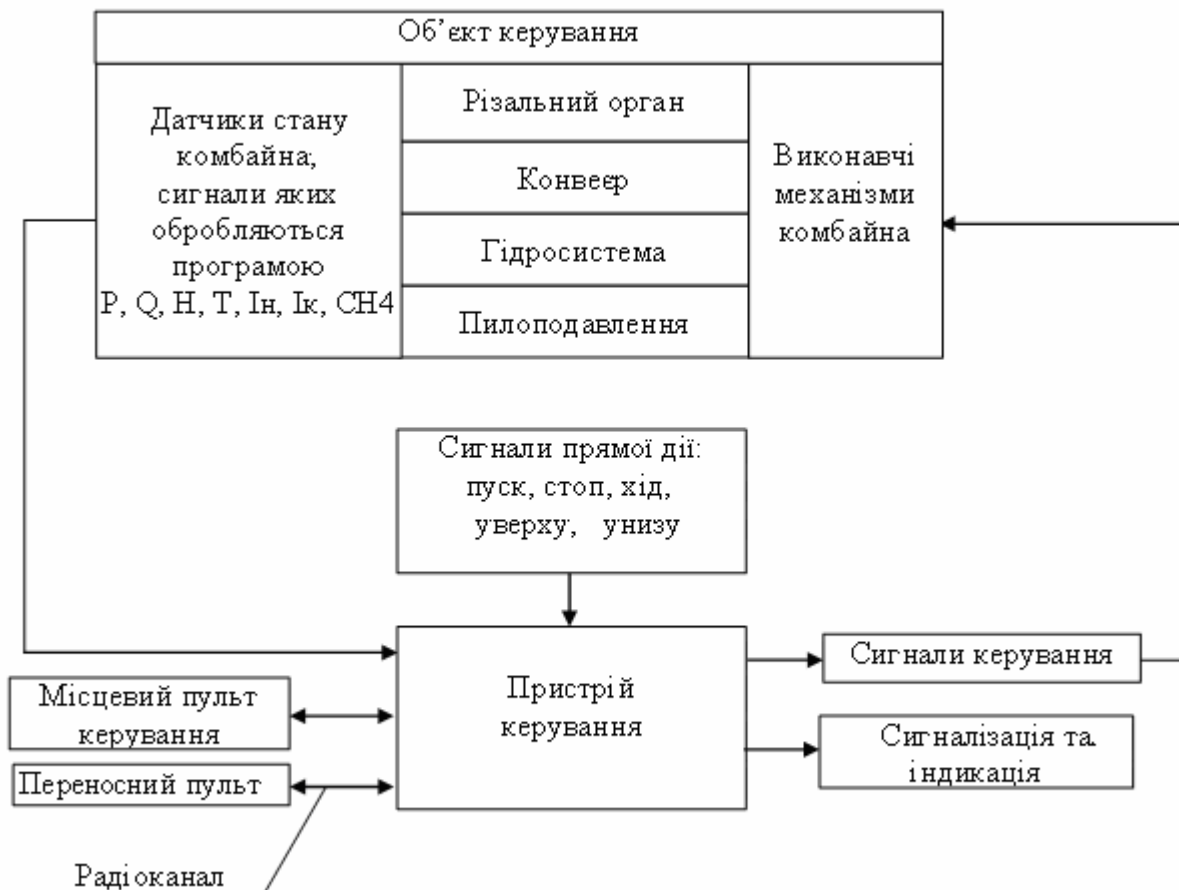


Рис. 3.8. Структурна схема системи автоматизації прохідницького комбайна



Система являє собою з'єднання вузлів впливу людини на систему, контролю параметрів стану ПК, які необхідно контролювати відповідно до вимог безпеки й принципу дії ПК, а також вузлів, від яких залежить керування комбайном.

Оператор впливає на систему автоматизації через органи керування, які розташовані на пультах керування. Пульт керування може з'єднуватися із системою автоматизації як дротовими каналами зв'язку, так і бездротовими (радіоканали).

Оператор безпосередньо здійснює ввімкнення і вимкнення приводів:

- виконавчого органа;
- насосної установки;
- конвеєра;
- системи пилоподавлення (зрошення).

На пульті керування за допомогою перемикачів вибирається один з режимів роботи.

Основою системи є промисловий мікроконтролер, до якого приєднані пульти керування (бортовий, переносний), а також сигнали з датчиків, що здійснюють контроль параметрів стану ПК і контроль параметрів зовнішнього середовища. До них належать:

- $M$  – концентрація метану в повітрі;
- $P$  – тиск у системі зрошення;
- $Q$  – витрати води в системі зрошення;
- $T_{жс}$  – температура робочої рідини гідросистеми;
- $H$  – рівень робочої рідини гідросистеми;
- $Z$  – забруднення робочої рідини гідросистеми;
- $C_{ao}$  – цілісність кола аварійного вимкнення;
- $C_{нс}$  – цілісність кола попереджувального сигналу;
- $R_{uo}$  – опір ізоляції силових кіл;
- $I_{uo}$  – струм електродвигуна приводу виконавчого органа;
- $I_n$  – струм електродвигуна приводу насосної установки;
- $I_k$  – струм електродвигуна приводу конвеєра;
- $I_n$  – струм електродвигуна приводу пилоподавлення;
- $T_{uo}$  – температура обмотки електродвигуна приводу виконавчого органа;
- $T_n$  – температура обмотки електродвигуна приводу насосної установки;
- $T_k$  – температура обмотки електродвигуна приводу конвеєра;
- $T_n$  – температура обмотки електродвигуна приводу пилоподавлення.

За характером впливу на режими роботи машини всі контрольовані параметри розподіляються на програмно-опитувані через мікроконтролер і прямої дії як показано на рис. 3.9.

Система керування забезпечує один з двох режимів роботи – місцевий або автоматизований. Місцевий реалізує дистанційне керування, при якому кожному виконавчому механізму відповідає кнопка «Пуск» і «Стоп» (рис. 3.9).

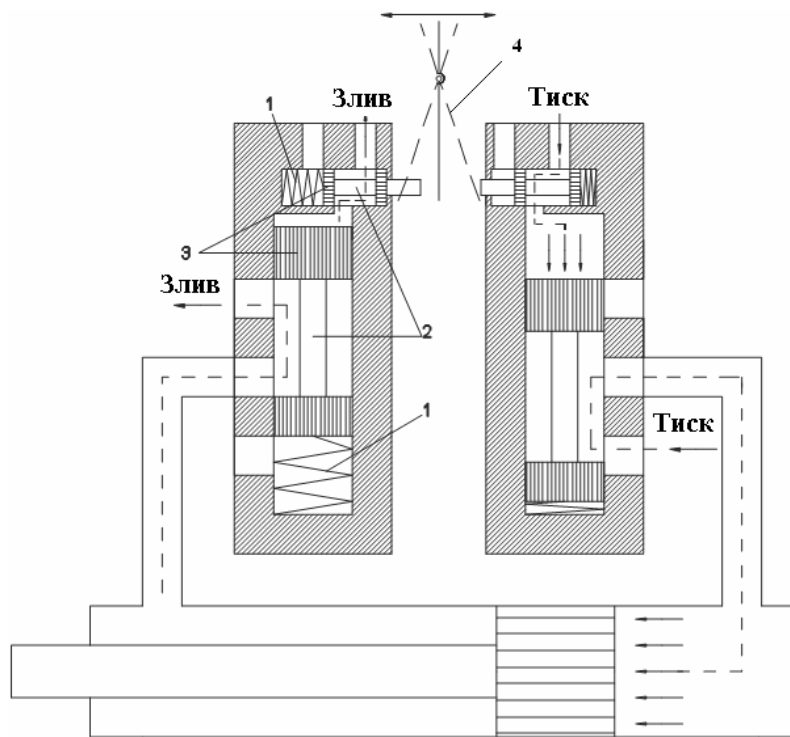


Рис. 3.9. Схема ручного керування гідророзподільником:  
1 – пружини; 2 – шток; 3 – поршень; 4 – клавіша

При натисканні кнопки «Пуск» замикається електричне коло котушки пускача К, при відпусканні кнопки «Пуск» електрична схема живлення котушки К зберігається за рахунок замикання блок-контакту 1К котушки. Натискання кнопки «Стоп» або спрацювання кожного із захистів (перевищення концентрації метану, зниження тиску в системі зрошення, зниження опору ізоляції силових кіл та ін.) приводить до розмикання електричного кола котушки пускача і за допомогою контактора К вимикання виконавчого механізму від кола живлення. Слід зазначити, що відповідно до правил безпеки сигнали пристроїв захисту електромеханічним способом розривають електричне коло живлення виконавчого механізму.

Керування гідравлічною частиною ПК залежить від конкретних умов експлуатації та здійснюється гідророзподільниками (ГР), у яких використовується ручне (рис. 3.9) або дистанційне керування (рис. 3.10).

При ручному керуванні машиніст комбайна безпосередньо впливає на клавіші пілотних або силових гідророзподільників. При цьому одночасно комутуються гідравлічні канали, що перебувають під високим тиском, і канали, по яких зливається рідина.

В електрогідравлічних розподільниках переміщення важелів здійснюється за рахунок тягового зусилля електромагнітів. Керувати котушкою електромагніту можна як в автоматизованому режимі від мікроконтролера, так і в місцевому – від кнопок пульта, що реалізують дистанційне або телемеханічне керування.

В автоматизованому режимі всі сигнали пультів керування, сигнали з датчиків контролю стану прохідницького комбайна, кола керування виконавчими механізмами і дублювальні кола пристроїв захисту з'єднані з

мікроконтролером. Програма керування використовує закон керування, записаний у пам'яті промислового мікроконтролера.

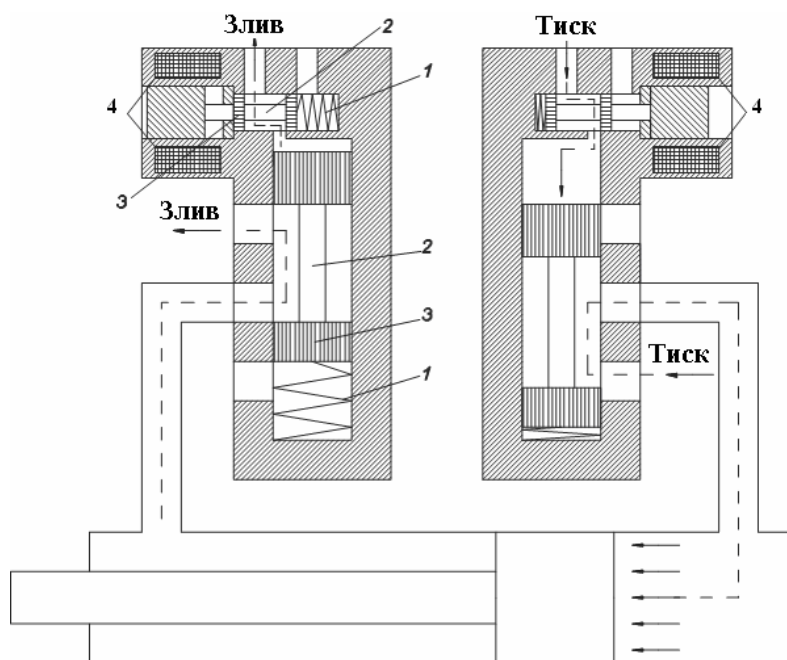


Рис. 3.10. Схема роботи електрогідорозподільника:  
1 – пружини; 2 – шток; 3 – поршень; 4 – котушки електромагнітів

При відхиленні параметрів комбайна за припустимі межі система автоматизації як у місцевому, так і в автоматизованому режимах вимикає і блокує виконавчі механізми.

Система автоматизації дозволяє реєструвати все, що відбувається на комбайні, та здійснює індикацію.

Метан-реле ТМРК-3.1М вимикає груповий апарат при перевищенні норми концентрації метану у вибої.

При аварійних режимах роботи відбувається спрацьовування захистів: максимального струмового, від зниження опору або ушкодження ізоляції кабелю, перекидання й перевантаження електродвигунів, температурного захисту електродвигунів, перегріву масла, зниження рівня масла нижче припустимого, зниження тиску води в системі зрошення. Відповідні електроприводи при цьому вимикаються.

У комбайні передбачено відповідне блокування аварійних режимів роботи: увімкнення/вимкнення напруги живлення, насосної установки, виконавчого органа, зрошення, приводів при відсутності попереджувального сигналу та ін. При усуненні причин аварії деблокування режиму здійснюється обслуговуючим персоналом.

Індикація таких параметрів, як наявність іскробезпечної напруги джерел живлення, порушення працездатності апаратури УПК-05, увімкнення проміжних реле контакторів електроблока, зниження рівня опору ізоляції силових кіл, спрацьовування максимального струмового захисту, спрацьовування захисту від перевантаження й перекидання двигунів,

спрацьовування температурного захисту двигунів, граничної температури робочої рідини в баку насосної установки, рівень робочої рідини в баку, граничний тиск у системі зрошення, ушкодження лінії попереджувального сигналу, величина споживаного струму (в %) двигуном виконавчого органа, готовність кіл керування, здійснюється на рідкокристалічному індикаторі, який має чотири рядки в текстовому режимі.

Робочий стан прохідницької машини контролюється машиністом комбайна за допомогою елементів керування: кнопками, перемикачами, командами з пультів керування по каналу зв'язку на електроприводи і т.д. Керування гідроприводами здійснюється безпосередньо електрогідророзподільниками за певною програмою.

За допомогою датчиків, які постійно в процесі роботи машини аналізують її стан і зовнішнє середовище, можна запобігти аварійного стану машини.

Подача напруги живлення  $U_{жив}$  на прохідницьку машину здійснюється силовим контактором, однак увімкнення електродвигунів у перший момент часу заблоковане й можливо, (лише обмеження умов увімкнення) якщо:

- концентрація метану в повітрі ( $CH_4, \%$ ) є нормою, що не перевищує недопустимі значення скупчення метану;
- опора ізоляції силових кіл ( $R_{ізол}$ ) не нижча нижньої межі;
- цілісність кола аварійного вимкнення;
- цілісність кола попереджувального сигналу;
- відкрита кришка електроблока (згідно з нормативами безпечної роботи на комбайні).

Перемикачем на пульті вибирається вид керування прохідницької машини: місцеве (з пульта, що знаходиться на комбайні) або телемеханічне (з переносних пультів, з тих, що мають радіоканал, або з тих, де керування здійснюється за допомогою проводів), а також один з чотирьох режимів роботи прохідницької машини.

Розглянемо для прикладу один із самих складних – режим **«Робота»** і керування приводом різання.

У цьому режимі перемикачем на пульті керування оператор вибирає необхідний електропривід: виконавчий орган, насосну установку або конвеєр.

Роботу системи керування в цьому режимі подамо у вигляді графа стану (рис. 3.11).

У стані S1 система чекає сигнал виконавчого органа – натискання кнопки «Пуск», після чого переходить у стан S2. Одночасно з цим вмикається звукова сигналізація й у мікроконтролері запускається затримка часу T1, що визначає час звучання сирени. Після закінчення T1 система переходить у стан S3. При цьому звукова сигналізація вимикається, а насос зрошувальної установки вмикається, подається зрошувана рідина в місця пилоподавлення з номінальним тиском не менш 1,5 МПа й витратою не менше ніж 100 л на 1 м<sup>3</sup> гірничої маси.

Одночасно з увімкненням насоса запускається затримка T2, щоб насос працював з номінальною продуктивністю. При цьому мікроконтролер контролює стан датчиків тиску  $P_{зрош}$  і витрати води  $V_{зрош}$  у системі зрошення.

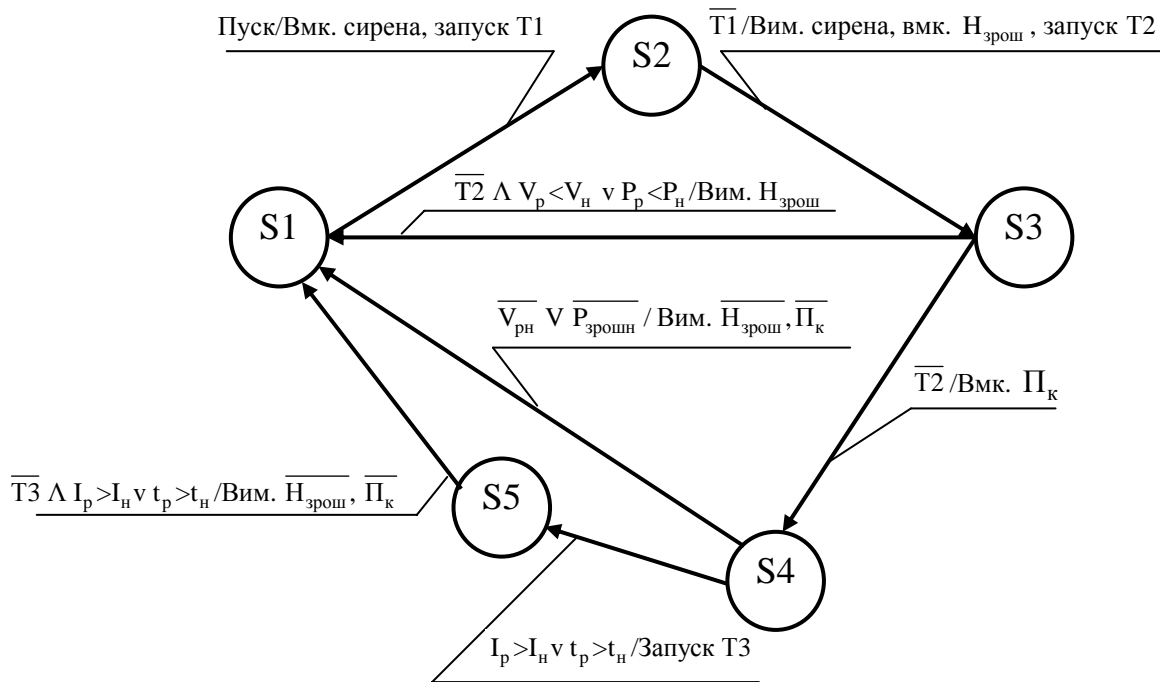


Рис. 3.11. Граф станів системи керування в режимі «Робота»

Якщо за час  $T2$  тиск  $P_{зрош}$  і витрата  $V_{зрош}$  води в системі пилоподавлення досягли номінального значення, вмикаються електродвигуни коронок виконавчого органа і система переходить у стан  $S4$  – нормальна робота коронок. Якщо за час  $T2$  тиск і витрата в системі зрошення не досягли номінальних значень, система переходить у початковий стан  $S1$ , при цьому насос зрошення вимикається.

Опис алгоритму роботи у вигляді графа станів необхідний для розробки системи керування, перевірки роботи й тестування системи, а також при налагодженні системи в умовах виробництва.

Після вмикання електродвигунів коронок виконавчого органа і двигуна насоса зрошувальної системи мікроконтролер опитує стан датчиків струму в колі обмотки статора електродвигуна приводу зрошувальної установки й датчика температури обмотки електродвигуна приводу насоса зрошувальної установки.

Якщо струм у колі електродвигуна приводу насоса зрошувальної установки або температура обмоток приводу насосної установки перевищує задане значення, система переходить у стан  $S5$ , при цьому мікроконтролер запускає затримку часу  $T3$ , величина якої обернено пропорційна перевищенню в % від номінальних значень перевантаження або перегріву обмоток статора. Якщо за час  $T3$  перевантаження по струму або перегрів обмоток двигуна насосної установки не зменшилися, двигун насоса зрошувальної установки вимикається. При цьому система переходить у початковий стан  $S1$ .

Аналогічно, якщо струм або температура обмотки електродвигуна приводу коронок перевищує задане значення, то мікроконтролер запускає

витримку часу ТЗ, яка залежить від величини перегріву в % до номінальних значень, а виконавчий орган приводу різання вимикається.

При виборі режиму «Пуск» насосної установки («ПУСК н.у.»):

- аналогічно вищезрозглянутому режиму **«Робота»** спрацьовує витримка часу на вмикання;

- якщо температура робочої рідини гідросистеми  $t_{p.p}$  перевищує задане значення, то з витримкою часу  $t_{н.у(вим)}$  вимикається насосна установка, якщо не перевищує – гідроприводом можливе виконання команд, що подавалися системою керування на електрогідророзподільники;

- якщо рівень робочої рідини гідросистеми  $(h_n, h_{cp}, h_v)$  нижче заданого значення, то з витримкою часу насосна установка вимикається, якщо ні – гідроприводом можливе виконання команд, що подавалися системою керування на електрогідророзподільники;

- якщо забруднення робочої рідини гідросистеми  $P_\phi$  перевищує задане значення, то з витримкою часу  $t_{н.у(вим)}$  насосна установка вимикається, якщо ні – гідроприводом можливе виконання команд, що подавалися системою керування на електрогідророзподільники. Для тонкого очищення робочої рідини застосовується фільтр, що сам промивається з тонкістю очистки 0,05 мм. Сигнал для очищення фільтра – підвищений тиск у гідросистемі;

- якщо струм у колі електродвигуна приводу насосної установки  $I_{н.у}$  перевищує задане значення, то з витримкою часу  $t_{н.у(вим)}$  насосна установка вимикається;

- якщо температура обмотки електродвигуна приводу насосної установки  $I_{н.у}$  перевищує задане значення, з витримкою часу  $t_{н.у(вим)}$  насосна установка також вимикається.

При виборі режиму «Пуск» конвеєра («ПУСК к.»):

- спрацьовує витримка часу  $t_{k(вмк)}$  на вмикання конвеєра, а ще через 3 с вмикається гідромотор навантажувальних зірок;

- якщо струм у колі електродвигуна приводу конвеєра  $I_k$  перевищує задане значення, то з витримкою часу  $t_{k(вмк)}$  конвеєр і гідромотор навантажувальних зірок вимикаються;

- якщо температура обмотки електродвигуна приводу конвеєра  $t_k$  перевищує задане значення, то з витримкою часу  $t_{k(вмк)}$  конвеєр і гідромотор навантажувальних зірок також вимикаються.

У режимах **«Перегін»**, **«Підйом кріплення»**, **«Буріння»** включення тієї або іншої команди можливо, якщо насосна установка перебуває в робочому стані.

Для виконання інших завдань необхідні додаткові теоретичні й експериментальні дослідження поведінки прохідницького комбайна в підземних умовах з наступними розробками та використанням сучасних технічних засобів автоматизації, а також конструктивними змінами комбайна.

Автоматизація спрямованого в просторі руху прохідницького комбайна можлива при наявності датчика, який контролює відхилення від вертикальної і горизонтальної осей заданого руху, а регулятор і механізми комбайна при цьому відновлювали б цей заданий напрямок руху.

При проведенні прямолінійних виробок найбільш перспективним є контроль напрямку руху прохідницького комбайна за допомогою лазера. Лазерний випромінювач 1 (рис. 3.12) нерухомо закріплюється у виробці за комбайном у точці, координати якої визначені. Напрямок променя лазера виставляється відповідно до заданого напрямку виробки. На комбайні встановлюється приймач 2 у вигляді фоторезисторів. Якщо комбайн рухається у заданому напрямку, лазерний промінь перебуває в центрі приймача й не засвічує фоторезистори, а якщо комбайн відхиляється від заданого напрямку, промінь лазера відразу засвічує один з фоторезисторів і залежно від того, який саме, формується команда на органи керування комбайном, які повинні повернути його до заданого напрямку.

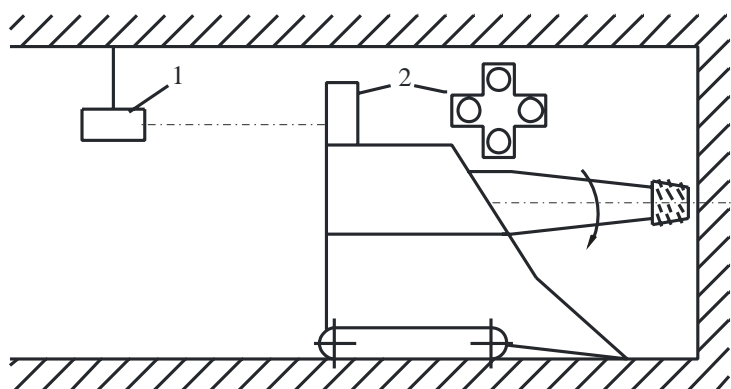


Рис. 3.12. Схема контролю положення ПК у просторі

Спроби встановити механічний зв'язок комбайна з нерухомою системою координат натяжною ниткою або іншими пристроями показали їхню практичну безперспективність.

При цьому алгоритм керування має враховувати такі особливості:

- 1) датчик, регулятор і виконавчий пристрій повинні фіксувати і виправляти відхилення від заданого напрямку під час руйнування вибою, проте при холостому ході й перегоні комбайна таке коректування неможливе;
- 2) швидкодія має бути такою, щоб помилка крокування усувалася б у процесі одного робочого циклу;
- 3) система автоматизації повинна враховувати збурне діяння режиму вібрації від різального органа; взаємний вплив комбайна і розроблюваних порід; несиметричність зовнішніх сил, що приводять до переміщення комбайна під деяким кутом до своєї поздовжньої осі, та інших факторів, які будуть установлені при дослідженнях.

Реально у цей час підтримка заданого напрямку виробки здійснюється за допомогою маркшейдерської служби.

Найбільш складними при автоматизації технологічних процесів проходки є кріплення виробки й роздільне транспортування вугілля та породи при змішаному (вугілля і порода) вибої.

Надалі при пошаровому вийманні, де можливий викид вугілля або газу, необхідно розробити систему, яка забезпечить керування прохідницьким комбайном на відстані через систему відеоспостереження, при цьому людина повинна бути виведена з небезпечної зони високої запиленості та вібрацій.

### **3.5. Підвищення надійності роботи гірничих машин за рахунок використання результатів діагностики їх роботи**

Подальше підвищення рівня створюваного гірничошахтного встаткування (ГШО) неможливе без якісної технічної діагностики машин, що експлуатуються.

Проблеми визначення ресурсу безпечної експлуатації машин і конструкцій в останні десятиліття стали винятково актуальними в усіх промислово розвинених країнах. Для належного обґрунтування міцності, ресурсу й тріщиностійкості потрібен комплекс розрахунків напружено деформованого стану несучих елементів, що включає визначення номінальних і максимальних напруг, амплітуд цих напруг, максимальних і мінімальних температур експлуатації, кількості циклів і часу експлуатації. Для підтвердження критеріальних характеристик міцності, ресурсу й тріщиностійкості проводять комплекс атестаційних випробувань на стандартних, уніфікованих або спеціальних лабораторних зразках. Однак як правило даних випробувань недостатньо, тому що вони не можуть повною мірою повторити ті процеси, які відбуваються з технікою в період експлуатації, оскільки самі навантаження, що діють на тверде деформовуване тіло, часто заздалегідь невідомі. І, як наслідок, приводять до того, що спроектовані нові гірничі машини не завжди забезпечують необхідний рівень надійності та ресурс експлуатації.

У зв'язку з цим актуальним для вугільної промисловості України є завдання створення «інструмента», що дозволяє розроблювачам проводити детальний аналіз режимів роботи гірничих машин, а обслуговуючому персоналу знати передісторію аварій і поломок на експлуатованому устаткуванні для оперативного виявлення причин відмов та прогнозування їх виникнення, а також формування планово-запобіжної системи технічного обслуговування і ремонтів гірничих машин.

Один із способів одержання інформації про режими роботи ГШО – це створення пристроїв типу «чорний ящик», які встановлюються на працююче шахтне встаткування й фіксують хронологію подій, що відбуваються на об'єкті, з наступним розшифруванням записаних даних на поверхні та об'єднанням отриманої інформації в єдину базу даних. Ці пристрої вимагають певної адаптації (умови роботи гірничих машин, відповідні системи керування тощо), а також розробки програмного забезпечення для обробки накопичених даних.

Одним з варіантів розв'язання цього завдання є запропонований науковцями Дондипровуглемаша блок реєстрації подій (БРП), що відбуваються на прохідницькому комбайні.



Блок являє собою мікропроцесорний пристрій, який виконаний на сучасному малогабаритному промисловому комп'ютері сімейства PC-104, з використанням енергонезалежних модулів пам'яті великого обсягу (4 Гб) типу Compact Flash Card. Структурна схема пристрою наведена на рис. 3.13.

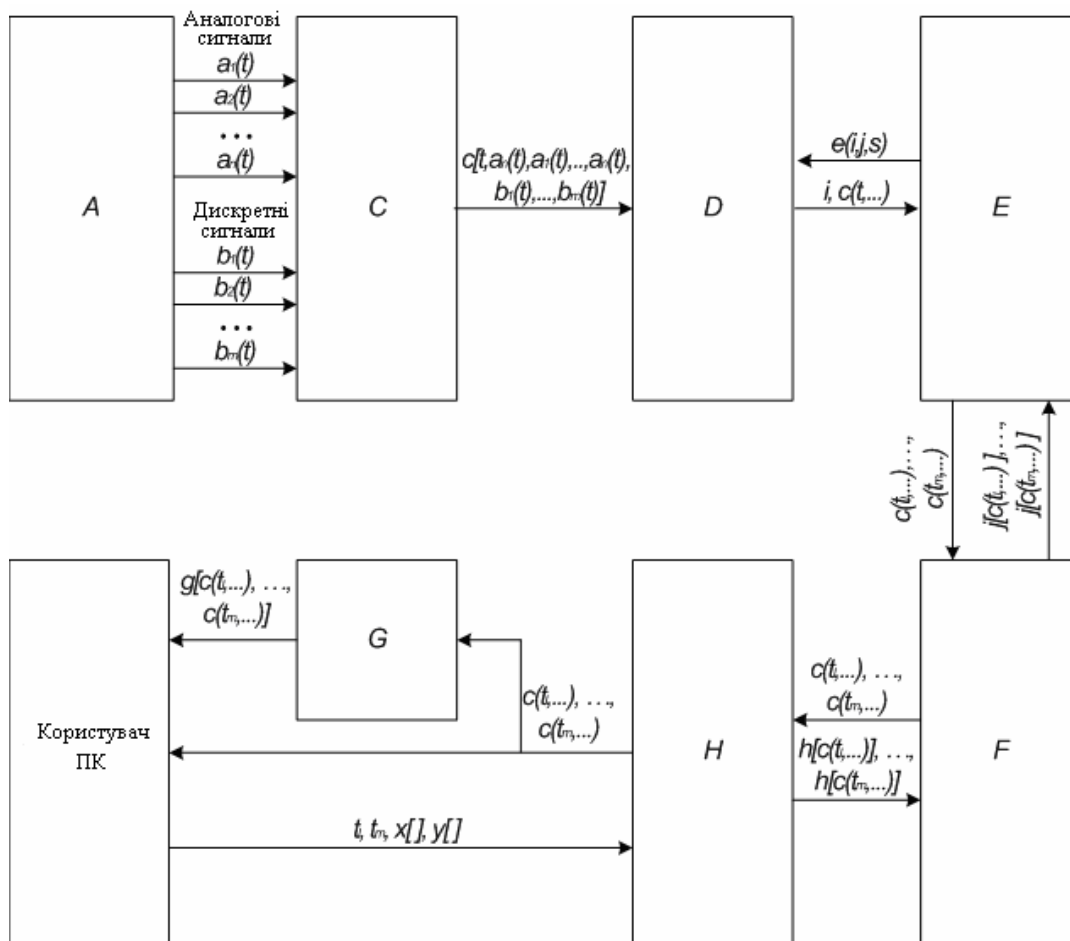


Рис. 3.13. Структурна схема БРП

Згідно з даною структурною схемою стан контрольованого об'єкта  $A$  можна описати у вигляді набору аналогових  $a_1(t), a_2(t), \dots, a_n(t)$  (навантаження електродвигунів, рівень робочих рідин, швидкість об'єкта, місце розташування об'єкта і т.д.) і дискретних величин  $b_1(t), b_2(t), \dots, b_m(t)$  (увімкнений/вимкнений стан електродвигунів, їх перегрів, спрацьовування блоків контролю ізоляції (КІ), максимального струмового захисту (МСЗ) і т.п.), яким властиво з часом змінювати своє значення. Інформація про стан контрольованого об'єкта  $A$  у вигляді набору змінних  $a_1(t), a_2(t), \dots, a_n(t), b_1(t), b_2(t), \dots, b_m(t)$  надходить на обчислювальний модуль  $C$ , який робить первинну обробку даних і їх стиснення для раціонального використання обмеженого обсягу пам'яті запам'ятовувального пристрою. Так, первинну обробку даних можна зробити, виконавши такі операції:

- встановлення діючого значення змінної  $a_i(t)$  за заданий інтервал часу  $T$ , наприклад, діючого значення струму виконавчого органа  $a_{\text{дійов. } i}(t)$  за його

миттєвими значеннями  $a_i(t)$

$$a_{\text{діюч. } i}(t) = \sqrt{\frac{\sum_{t-T}^t a_i^2(\tau) \Delta t}{T}}, \quad (3.1)$$

де  $a_i^2(\tau)$  – миттєве значення вимірюваного струму;  $\Delta t$  – інтервал виміру миттєвих значень;  $T$  – період виміру діючого значення струму;

– встановлення середнього значення змінної  $a_i(t)$  за заданий інтервал часу  $T$ , наприклад, середньої швидкості переміщення за його миттєвими значеннями

$$a_{\text{серед. } i}(t) = \frac{\sum_{t-T}^t a_i(\tau) \Delta t}{T}; \quad (3.2)$$

– перетворення значення змінної  $a_i(t)$  за заздалегідь відомим виразом, наприклад, одержання миттєвої потужності електродвигунів за відомою характеристикою двигуна  $P(I)$ , при  $U = \text{const}$ , у тих випадках, коли немає можливості зробити прямий вимір потужності. На практиці частіше виникає необхідність реєструвати не потужність, а фактичне навантаження на вал двигуна, редуктора і т. ін., наявність можливості робити перетворення значення змінної  $a_i(t)$  за заздалегідь відомим виразом дає можливість робити непряму реєстрацію тих величин, вимір яких не можна зробити у даних умовах.

Дані, отримані блоком С після первинної обробки з метою економії місця на використовуваному модулі пам'яті, стискаються й упаковуються в змінну  $c(t)$  без втрати інформації з можливістю її наступного розшифрування при необхідності. Змінна  $c(t)$  потім надходить на модуль запису інформації  $D$ , який залежно від її розміру і наявної інформації про вільне місце  $e(i, j, s)$  (де  $i$  – номер вільної ділянки,  $j$  – його місце розташування в пам'яті,  $s$  – розмір ділянки) у модулі пам'яті  $E$  вибирає найбільш раціональну вільну ділянку  $i$ , у якій і робить запис змінної  $c(t)$ . Модуль  $E$  є накопичувачем інформації та за потреби може бути ввімкнений до блока зчитування  $F$  для подальшого користування.

Опишемо процес одержання накопичених даних. Користувач за допомогою людино-машинного інтерфейсу на персональному комп'ютері (ПК) зазначає інтервал часу реєстрації, що його цікавить  $tl...tm$ , і набір  $x[ ], y[ ]$  величин  $a_{[x]}, b_{[y]}$ , які характеризують стан контрольованого об'єкта  $A$ . На підставі отриманих даних від користувача математичний пристрій  $H$  формує для ПК запити  $h[c(tl,...)], ..., h[c(tm,...)]$  на одержання змінних  $c(tl,...), ..., c(tm,...)$  блоком  $F$  з модуля пам'яті  $E$ . Згідно із зробленими запитами,

$h[c(tl,...)],...,h[c(tm,...)]$  блок зчитування даних  $F$  визначає місце розташування  $j[c(tl,...)],...,j[c(tm,...)]$  запитуваних змінних  $c(tl,...),...,c(tm,...)$  у модулі пам'яті  $E$ , з якого й робить згодом зчитування запитаних даних. Отримані дані надходять на математичний апарат, який розшифровує  $c(tl,...),...,c(tm,...)$  для одержання набору величин  $a_{[x]}$ ,  $b_{[y]}$  за інтервал часу  $tl...tm$ . Дані, отримані після розшифрування блоком  $H$  за допомогою людино-машинного інтерфейсу, подаються користувачеві у вигляді графіків. Для одержання статистичної обробки цих даних використовується блок  $G$ , який виконує дану обробку обраних даних і подає результат у вигляді таблиць.

Розроблений за структурною схемою (рис. 3.13) БРП являє собою комплект, що складається з блока реєстрації, двох знімних енергонезалежних модулів пам'яті, установлених у блок реєстрації, пристрою сполучення модуля пам'яті з персональним комп'ютером і програмного забезпечення для ПК. На вимогу замовника БРП може бути додатково укомплектований блоком індикації для відображення інформації про режими роботи БРП та про стан контрольованих параметрів об'єкта. Як пристрій сполучення модуля пам'яті з персональним комп'ютером, знімних модулів пам'яті та блока індикації використовуються стандартні покупні вироби, а для підмикання до комп'ютера – один із стандартних портів USB.

Блок реєстрації розташовується у вибухозахищеному корпусі й виконаний таким чином, щоб запобігти несанкціонованому доступу до записаних даних. Блок одержує інформацію про стан захистів і блокувань прохідницької машини по каналу телемеханіки від системи керування даної машини й у реальному масштабі часу записує її на модулі пам'яті із зазначенням поточного часу і дати. Головний модуль зберігає «всю історію життя» контрольованого об'єкта, він пломбується та замінюється на новий тільки у випадку його повного заповнення. Поточна інформація про стан контрольованого об'єкта може бути передана на поверхню по каналах телемеханіки або за допомогою допоміжного модуля пам'яті, призначеного для зберігання останніх подій, що відбулися, і перенесення даних з головного модуля пам'яті користувачам. У міру необхідності допоміжний модуль витягається і видається на поверхню, де він з'єднується з пристроєм сполучення модуля пам'яті у персональному комп'ютері, за допомогою якого вся інформація переноситься на ПК та інтегрується в єдину базу даних за допомогою програмного забезпечення, що поставляється з БРП. Дане програмне забезпечення дозволяє також аналізувати зміну всіх контрольованих параметрів, безпосередньо відображати обрані точки контролю за заданий інтервал часу у вигляді різноманітних форм, графіків і гістограм, здійснювати статистичну обробку даних.

При установці БРП на прохідницькі комбайни типу КПД, КПУ, КПА в апаратуру можна ввести блок збору інформації, який робить збір даних з усіх контрольованих датчиків, їх первинну обробку й передачу по каналу телемеханіки в БРП для їхньої наступної реєстрації. Величину струму виконавчого органа можна виміряти встановленим вимірювальним вузлом,

який за кожний півперіод струму ВО фіксує його амплітудне значення і передає на блок збору інформації, який 20 раз у секунду транслює по каналу телемеханіки отримані амплітудні значення струму БРП. За отриманими даними БРП визначає діюче значення струму (3.1) і записує його у пам'ять.

При створенні подібних пристроїв повинна виконуватися оцінка вірогідності реєстрації контрольованих величин. На рис. 3.14 показана похибка при вимірі струму виконавчого органа БРП. З рисунку видно, що БРП має досить високу реакцію на зміну струму, що дозволяє повною мірою фіксувати пікові навантаження на виконавчий орган комбайна.

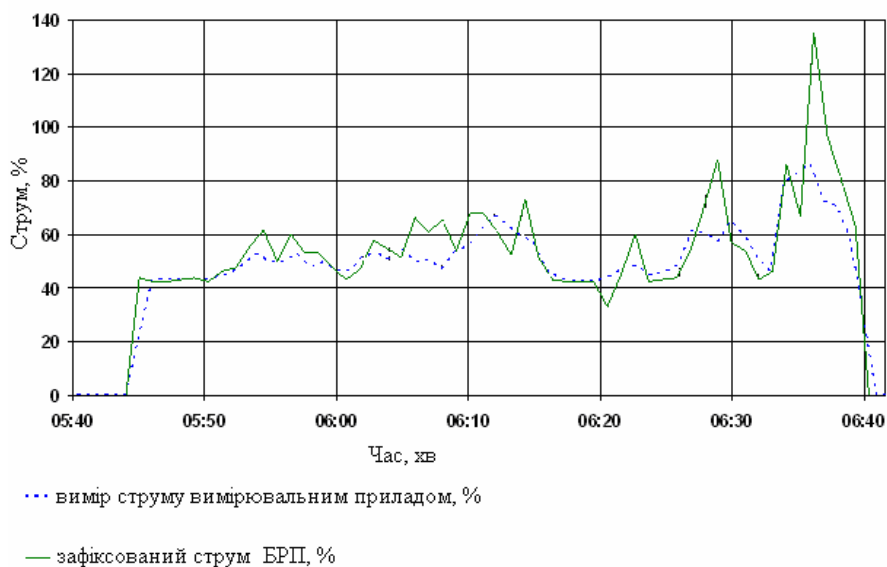


Рис. 3.14. Струмове навантаження двигуна виконавчого органа комбайна КПД

Крім запису струму виконавчого органа, блок реєструє вмикання – вимикання приводів (виконавчого органа, насосної установки, конвеєра, насоса зрошення і т.п.), фіксує струмові перевантаження електродвигунів комбайна, спрацьовування аварійних датчиків (температури електродвигунів, тиску в системі зрошення, рівня й температури робочої рідини і т. ін.), блоків максимального струмового захисту, контролю ізоляції та інших датчиків і блоків, стан яких контролюється системою діагностики машини.

Дані, отримані БРП, дозволяють оцінити періодичність і тривалість увімкнення основних механізмів комбайна, середнє й максимальне навантаження виконавчого органа тощо. Можна також побудувати діаграми навантаження виконавчого органа, оцінити фактичні навантаження на привід ВО, їх тривалість у різні періоди експлуатації комбайна, виявити найбільш важкі умови експлуатації прохідницької машини (тривалість і періодичність виникнення перевантажень, їх величину).

Отримана інформація може бути використана при розробці нових машин аналогічного класу. Вона допоможе оцінити фактичні навантаження на вузли й механізми комбайна і порівняти їх з розрахунковими, що дозволить більш раціонально виконати розрахунок на міцність вузлів машини та підвищити надійність розроблювальної техніки. Наявність поточної інформації та

передісторії зміни параметрів дає змогу розрахувати залишковий ресурс основних вузлів прохідницької машини. Крім цього, з'являється можливість поліпшити організацію праці в прохідницькому вибої та провести ремонтно-профілактичні роботи, що остаточно підвищить ефективність проведення підготовчих робіт.

Подальшим розвитком цього напрямку є створення конструктивних виконань і програмних продуктів БРП. Це поширює його сферу застосування для гірничих машин (зокрема, очисне й транспортне встаткування.)

### **Контрольні питання**

1. Призначення підготовчих процесів. Основні та допоміжні процеси.
2. Способи проходки тупикових виробок та їх недоліки.
3. Устаткування та електропостачання тупикових виробок.
4. Вимоги до Правил безпеки при комбайновій проходці.
5. Класифікація прохідницьких комбайнів.
6. Використання електричних та гідравлічних способів впливу на механізми прохідницьких комбайнів.
7. Переваги стрілоподібних виконавчих органів.
8. Кінематична схема прохідницького комбайна.
9. Структурна схема електроустаткування комбайна.
10. Вимоги до системи керування комбайна КПД.
11. Режим роботи комбайна КПД.
12. Автоматизовані режими роботи прохідницьких комбайнів.
13. Схеми обробки вибоїв тупикових виробок.
14. Види керування прохідницьким комбайном.
15. Структурна схема автоматизації ПК.
16. Робота електрогіддорозподільників.
17. Граф станів системи керування АК у режимі «Робота».
18. Контроль роботи ПК в заданому напрямку у просторі в підземних умовах.
19. Способи підвищення надійності роботи гірничих машин.

## 4. АВТОМАТИЗАЦІЯ КОНВЕЄРНОГО ТРАНСПОРТУ

### 4.1. Конвеєрна лінія як об'єкт автоматизації

Головним завданням рудникового транспорту є переміщення добутої корисної копалини з вибоїв до ствола шахти під землею та до місця відвантаження на поверхні. Тому на кожному гірничому підприємстві використовують два види транспорту: наземний і підземний. Основна частина транспортних операцій виконується підземним транспортом.

Можливі додаткові завдання рудникового транспорту:

- переміщення до ствола, тобто до місць закладки у вироблений простір породи;
- транспортування від ствола до вибоїв закладних матеріалів (у випадку роботи із закладкою);
- перевезення від ствола до вибоїв і від вибоїв до ствола людей, устаткування, кріпильних та інших матеріалів.

На багатьох гірничих підприємствах основним видом транспорту є конвеєрний, який має високі експлуатаційні якості, більший діапазон продуктивності при відносній простоті конструктивного виконання. До його складу входять стрічкові й скребкові конвеєри.

Конвеєрні схеми транспорту – найбільш прогресивні. На даний час у більшості проектів нових шахт, а також при підготовці нових горизонтів на діючих шахтах передбачають транспортування вугілля від очисних вибоїв до приствольного двору або до поверхні шахти за допомогою конвеєрів.

У цей час на шахтах України експлуатується більше 8000 конвеєрів, з яких 54% становлять скребкові конвеєри і 46% – стрічкові. Максимальна кількість визначається складною гіпсометрією залягання шарів у вугільних басейнах, що не дозволяє витримувати прямолінійність виробки на великій довжині. Отже, через певні відстані необхідно робити повороти конвеєрної лінії, тому конвеєрний постав має невелику середньостатистичну довжину.

Аналіз конвеєрного парку показав, що більшість конвеєрів (скребкових і стрічкових) є однопривідними й оснащені двигунами невеликої потужності. Для скребкових конвеєрів потужність таких приводів становить 45 – 55, а для стрічкових – 75 – 100 кВт. Магістральні конвеєри мають понад дві привідні станції, і їх загальна потужність може доходити до 750 кВт.

Конвеєрну лінію можна визначити як технологічну поточно-транспортну схему, яка складається з двох і більше послідовно розташованих конвеєрів, за допомогою яких проводиться переміщення добутої корисної копалини. Нерозгалужена конвеєрна лінія – це однопотокова лінія, у якій вантаж на кожний наступний конвеєр надходить тільки від одного попереднього. Розгалужена – це багатопотокова лінія, що складається з відгалужень і збірної магістральної частини.

Конвеєрна транспортна схема шахти залежить від характеру залягання шарів, які можуть бути горизонтальними, пологими, похилими та крутоспадними. При похилому і крутому падінні корисна копалина в очисному вибої переміщається самопливом, на пологих і горизонтальних шарах —

скребковими конвеєрами або скреперами. Приклад транспортної схеми для горизонтальних і пологих шарів наведений на рис. 4.1.

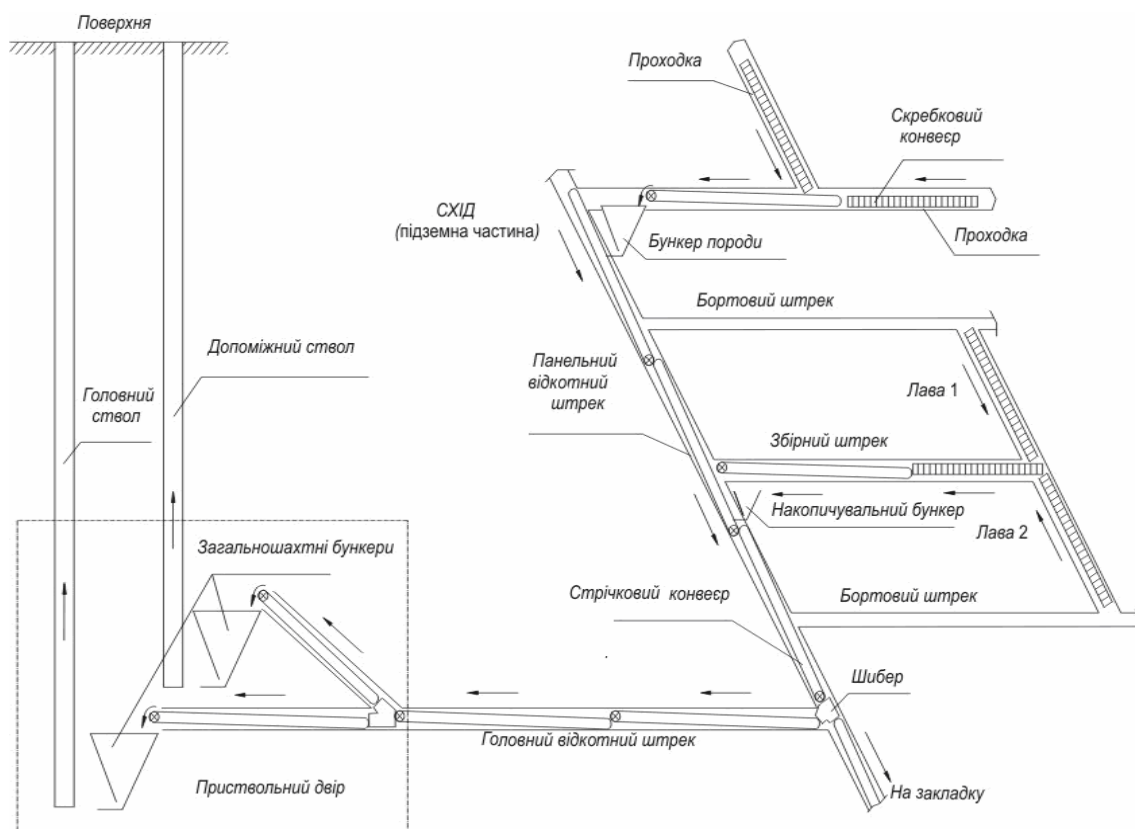


Рис. 4.1. Технологічна схема конвеєрного транспорту шахти

З вибоїв скребковими конвеєрами вугілля подається на збірний штрек і далі по ньому рухається до місця перевантаження на стрічкові конвеєри. Зі збірного штреку воно перевантажується на панельні конвеєри, якими транспортується до конвеєрів головного відкотного штреку, а потім до бункерів головного або допоміжного ствола. Напрямок вантажопотоку регулюється за допомогою шиберів.

У тих випадках, коли порода з місць проходки направляється на підземну закладку виробленого простору, у транспортній схемі передбачається накопичувальний бункер для породи й прокладання додаткових конвеєрів до місця закладки. Транспортування породи і вугілля розділяється за часом. При вивантаженні породи вугілля з лав не видається.

Наведена схема показує, що при роботі транспортної системи шахти повинна бути можливість зміни напрямку вантажопотоку залежно від технологічної необхідності, і це є одне із завдань технологічного керування, вирішуваних при автоматизації роботи конвеєрних ліній.

#### 4.2. Вимоги до автоматизації конвеєрних ліній

Наведений вище аналіз конвеєрного транспорту говорить про його велику різноманітність як відносно використання окремих машин, що мають різні функціональні й технічні характеристики, так і відносно побудови схем

конвеєрного транспорту. Це уможливило використання системи керування з різним складом функціональних вимог, на відміну від інших об'єктів автоматизації, наприклад, очисних комплексів, прохідницьких комбайнів, які характеризуються їх постійним складом. Така особливість конвеєрного транспорту повинна враховуватися при синтезі функціональних структур систем керування, які, як відомо, бувають двох видів – тверді й гнучкі. Тверда структура має постійний склад функціональних можливостей, а гнучка – змінний, який визначається об'єктом керування. У твердій структурі порівняно з гнучкою можлива функціональна надмірність. Вибір функціональної структури системи керування здійснюється на стадії техніко-економічного обґрунтування з урахуванням конкретного складу конвеєрів і конвеєрних ліній.

Керування конвеєрними установками найчастіше пов'язане з пуском і зупинкою електродвигунів, що приводять у рух робочі органи, стрічки або скребки, але іноді – зі зміною напрямку і швидкості руху або особливих способів гальмування. При керуванні конвеєрними лініями повинні бути вирішені такі завдання: послідовний пуск транспортних механізмів або частини лінії, підтримка їх нормальної роботи, зупинка лінії або її частини.

Робота лінії повинна бути налагоджена так, щоб не утворювалися завали у місцях пересипання вантажу або переповнення приймальних бункерів. Для цього запуск кожного наступного конвеєра має починатися тільки після розгону попереднього, що приймає вантаж конвеєра. Обов'язковою умовою є подача передпускового попереджувального сигналу тривалістю не менше 5 с, причому він повинен бути таким, щоб його чули в будь-якій точці конвеєрної траси. У розгалужених конвеєрних лініях повинна бути можливість керування маршрутами або їх частинами.

Для конвеєрних ліній найчастіше використовується такий вид керування, як автоматизований режим, коли запуск або зупинка лінії проводиться за рішенням оператора або обслуговуючого персонала. Далі процес розгону конвеєрів розвивається автоматично, починаючи з подачі передпускового сигналу, потім послідовний пуск конвеєрів або їх зупинка.

Автоматизований режим керування може використовуватися тільки в конвеєрно-бункерних транспортних системах, коли лінія, що працює на бункер, запускається або зупиняється згідно із сигналами від датчиків рівня матеріалу в бункері. Для керування лініями застосовуються окремі пульти. Крім описаних вище функцій, пульт керування виконує також такі функції: контроль часу розгону лінії, виявлення та індикацію аварійно зупинених або заблокованих до пуску механізмів. Як правило, індикація проводиться для працюючих конвеєрів. Пульти можуть бути в підземному, вибухобезпечному виконанні й відповідно використовуватися в шахті або вибухонебезпечних зонах, а також у загальнопромисловому й використовуватися в диспетчерських або спеціально відведених приміщеннях.

Однією з додаткових функцій, але обов'язковою для шахт, є наявність телефонного або гучномовного зв'язку між пультом керування привідними станціями конвеєрів.



Виходячи з цього, можна сформулювати перелік вимог для автоматизації конвеєрних ліній. Апаратура автоматизованого керування повинна забезпечувати:

- можливість вибору й запуску або зупинки маршрутів для переміщення вантажу або людей;
- можливість пуску як усієї лінії (маршруту), так і її частин або дозапуск необхідної кількості конвеєрів без зупинки працюючих;
- вмикання кожного наступного подавального конвеєра в лінії тільки після встановлення номінальної швидкості руху тягового органа попереднього приймального конвеєра;
- оперативну зупинку лінії (маршруту) або її частин з автоматичним вимиканням усіх конвеєрів, що подають вантаж на зупинений конвеєр;
- автоматичне вимикання всіх конвеєрів, що транспортують вантаж на аварійно зупинений, а в лінії, що складається зі скребкових конвеєрів, і зупинку приймального конвеєра;
- контроль і надання інформації про режим роботи й стан конвеєрів у лінії, а також причини їх зупинок;
- контроль і надання інформації про показники споживаної електроенергії відповідно до кожного транспортного механізму;
- контроль і надання інформації про вантажі, які переміщують на конвеєрах (вага, завантаженість та ін.);
- можливість керування вантажопотоками за якісно кількісними характеристиками;
- можливість керування супутнім устаткуванням типу шибер за допомогою пульта керування лінією;
- двосторонній симплексний телефонний або гучномовний зв'язок між пультом керування і пунктами встановлення приводів конвеєра.

#### **4.3. Стрічковий конвеєр як об'єкт автоматизації**

Стрічкові конвеєри класифікуються залежно від призначення, конструктивного виконання та галузі застосування. Головними параметрами конвеєра є його приймальна здатність і швидкість переміщення вантажу. За основним призначенням стрічкові конвеєри підрозділяються на вантажні, вантажопасажирські та пасажирські, за конструктивним виконанням – на стаціонарні й напівстаціонарні, за сферою застосування – на горизонтальні, похилі, бремсбергові.

На шахтах конвеєри використовуються в таких виробках:

- горизонтальні й малонахилені, з кутом нахилу від  $-30$  до  $+60$ ;
- похилів і похилих стволів від  $+60$  до  $+180$ ;
- похили з кутом нахилу від  $+180$  до  $+350$ ;
- бремсберги з кутом нахилу від  $-30$  до  $-160$ ;
- бремсберги з кутом нахилу від  $-160$  до  $-250$ .

Перераховані фактори впливають на конструкцію як самого конвеєра, так і його складових частин. Конвеєри підрозділяються:

- за призначенням – на стаціонарні й напівстаціонарні (телескопічні);

- за розташуванням несучої стрічки – з верхньою несучою стрічкою (більшість), з нижньою несучою стрічкою або двома нижніми несучими стрічками;
- за способом розвантаження – на розвантажувальному барабані (більшість), з проміжним скидальним візком або плужними скидачами;
- за числом приводів – однопривідні, багатопривідні;
- за числом приводних барабанів – з одно-, дво- та багатопривідними барабанами;
- за розташуванням приводної станції – на головній частині, у точці скидання вантажу й на хвостовій частині, у точці приймання вантажу;
- за типом постава конвеєра – з твердим або канатним поставом;
- за розташуванням натяжних пристроїв – на хвостовій частині, у приводної станції.

Умовно стрічкові конвеєри можна поділити на три групи. Першу складають конвеєри невеликої продуктивності довжиною до 500 м і шириною стрічки 800...1000 мм. Такі конвеєри найчастіше однопривідні з потужністю двигунів близько 40...55 кВт і використовуються як дільничні на збірних і панельних штреках.

У другу групу входять конвеєри великої продуктивності – дво- і багатопривідні, із шириною стрічки 1000...1200 мм, які використовуються як магістральні вантажні або вантажопасажирські. Потужність двигунів таких конвеєрів становить 100...750 кВт, а довжина може доходити до 2000 м. Такі конвеєри встановлюються на головних відкотних штреках.

До третьої групи належать конвеєри, призначені для роботи в особливих умовах. Це бремсбергові, крутонахилені, телескопічні й прохідницькі. Прохідницькі й телескопічні конвеєри працюють разом з перевантажувачами. У процесі керування такими конвеєрами треба враховувати особливості пуску, гальмування, а також синхронність роботи з іншим устаткуванням.

Стрічковий конвеєр складається з гнучкої нескінченної стрічки (рис. 4.2, а), що обгинає приводний 2 і хвостовий 3 барабани й роликкоопору, які підтримують холосту (нижню) і робочу (верхню) частини стрічки 4 і 5. Вантаж лежить на стрічці, яка одночасно є органом, що несе вантаж і тягне, і переміщається разом з нею до приводного барабана 2. Потім вантаж скидається з конвеєра. Рух стрічки від обертового приводного барабана передається силою тертя між стрічкою та поверхнею приводного барабана.

Для збільшення кута обхвату в конвеєрах з одним приводним барабаном застосовують відхильний барабан 6. Несуча частина конвеєра разом з роликкоопорами називається конвеєрним поставом. Крім цього, стрічкові конвеєри мають завантажувальний і натяжний пристрій, а також пристрій для очищення стрічки. На нахилених і бремсбергових конвеєрах передбачаються гальма та уловлювачі стрічки.

У цілому, розглядаючи конвеєр як електромеханічну машину, можна сказати, що це важка технологічна установка, розміщена на великому просторі, з великою кількістю взаємодіючих деталей, вузлів і механізмів. Враховуючи також і фактори вибухонебезпечності багатьох шахт, загальною необхідною

умовою при експлуатації конвеєрів є безперервний автоматичний контроль цілого ряду параметрів, що створюють безпечні умови для роботи.

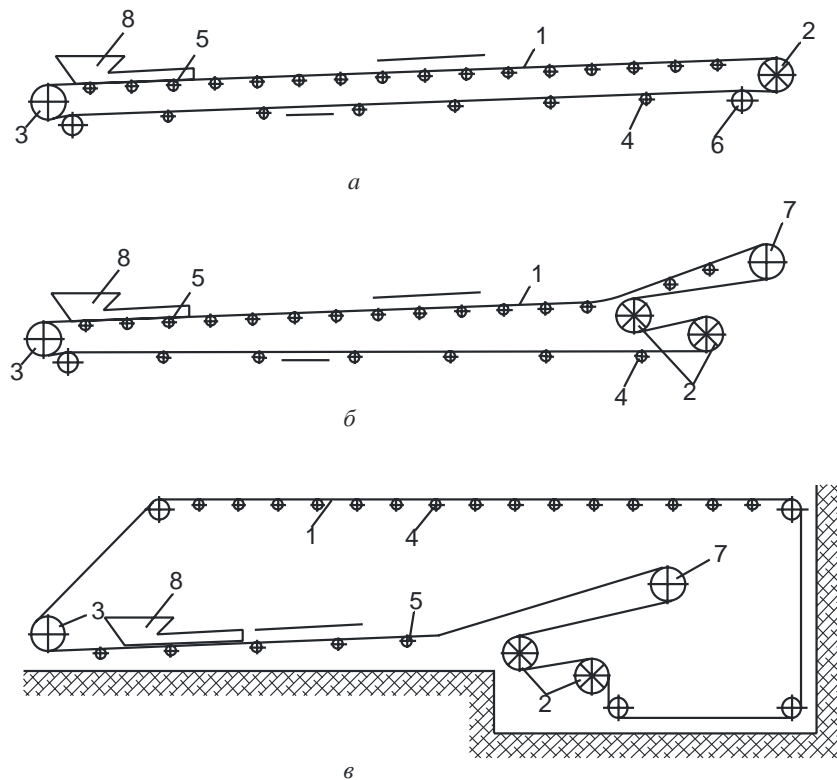


Рис. 4.2. Кінематичні схеми стрічкових конвеєрів

#### 4.4. Вимоги до автоматизації конвеєрів

Основні вимоги до функцій і засобів автоматизації складено відповідно до «Правил безпеки у вугільних шахтах», а також відповідно до ДСТУ EN 60204-1; 2004 Електроустаткування машин. Безпека машин. Загальні вимоги.

Для досягнення безпечної роботи стрічкові конвеєри повинні оснащуватися:

- датчиками контролю бічного сходу стрічки, що установлюються в місцях підвищеної небезпеки сходу стрічки (привідні, натяжні й кінцеві станції, місця пересипання вантажу з дільничних на магістральні конвеєри, вигини конвеєра та ін.);
- засобами пилоподавлення в місцях перевантажень;
- пристроями, що уловлюють вантажну частину стрічки при її розриві, а у виробках з кутом нахилу більше 10 градусів – і пристроями контролю цілісності тросів;
- пристроями для знеструмлення приводу конвеєра з будь-якої точки по всій його довжині;
- засобами виявлення й гасіння пожежі;
- засобами контролю перевищення допустимого рівня матеріалу в місцях перевантаження;
- засобами контролю швидкості руху стрічки, а також її пробуксовки;
- засобами контролю руху скребків і ланцюгів на скребкових конвеєрах;
- датчиком контролю тиску води в протипожежному поставі;

- засобами контролю наявності знімних огорожень привідних, натяжних і кінцевих станцій;
- засобами контролю натягу стрічки;
- гальмівними пристроями й засобами контролю мимовільного гальмування (при необхідності).

Якщо виникають інші передаварійні ситуації, що можуть порушити нормальну роботу конвеєрів, застосовують додаткові засоби, такі як датчики температури, пересипання матеріалу зі стрічки тощо.

Керування конвеєром повинне здійснюватися в таких режимах:

- централізоване автоматизоване керування, що виконується оператором (диспетчером) з центрального пульта керування конвеєрною лінією;
- місцеве (ручне) автоматизоване керування, що здійснюється від блока керування конвеєром, розташованого біля його приводу.

На кожному конвеєрі засоби автоматизації повинні забезпечувати:

- нормальний режим роботи конвеєра;
- керування конвеєром з великою кількістю двигунів у приводі, з розподілом у часі ввімкнення кожного двигуна;
- автоматичну подачу передпускового сигналу тривалістю не менше 5 с, що чути по всій довжині конвеєра;
- автоматичну подачу переривчастого сигналу при аварійній зупинці конвеєра;
- оперативну індикацію, що містить повідомлення про режим роботи, стан конвеєра та поточну швидкість стрічки.

При порушенні нормальної роботи конвеєра – спрацьовуванні засобів контролю безпеки або аварійних вимикачів – автоматично здійснюється його аварійна зупинка, це випадки, коли:

- надійде сигнал на вимкнення конвеєра з будь-якої точки по його довжині;
- припустимий рівень транспортованого матеріалу буде перевищений у місцях пересипання вантажу;
- надійде сигнал на вимкнення від засобів виявлення пожежі;
- спрацюють датчики обриву або уловлювачі стрічки;
- знизиться швидкість стрічки більше ніж на 25 % від її номінальної синхронної швидкості;
- швидкість стрічки бремсбергових конвеєрів буде перевищена більше ніж на 8 % від її номінальної синхронної швидкості;
- виникає проїзд людиною місця сходу зі стрічки (для вантажопасажирських конвеєрів);
- стрічка сповзе убік на величину, що складає більше 10 % від її ширини;
- спрацює будь-який електричний захист електропривода;
- відкритий стан огорожень привідної, натяжної або кінцевої станцій;
- мимовільне гальмування в процесі роботи конвеєра.

У випадках аварійної зупинки з причин спрацьовування електричних захистів електропривода, обриву або заклинювання тягового органа, а також через тривалий пуск, зниження швидкості стрічки до 75% номінальної або її

перевищення більше ніж на 8% для бремсбергових конвеєрів повинна бути заблокована можливість повторного вмикання несправного конвеєра.

На рис. 4.3 показаний приклад оснащення стрічкового конвеєра технічними засобами відповідно до вищевикладених вимог. Конвеєр має привідну станцію, що складається з двох електродвигунів і двох привідних барабанів. Натяжний пристрій з електроприводом розташований на хвостовій частині конвеєра. Привідна й натяжна станції мають огороження із дверми, що відчиняються. Конвеєр також обладнаний установкою пожежогасіння типу УВПК-Б1, яка автоматично вмикається при підвищенні температури в зоні привідних барабанів понад 72°C. Для пилоподавлення в зоні пересипання встановлена апаратура зрошення АТ-3. Конвеєр також обладнаний клиновими уловлювачами вантажної частини стрічки. Вони спрацьовують у разі обриву стрічки та загальмовують її рух.

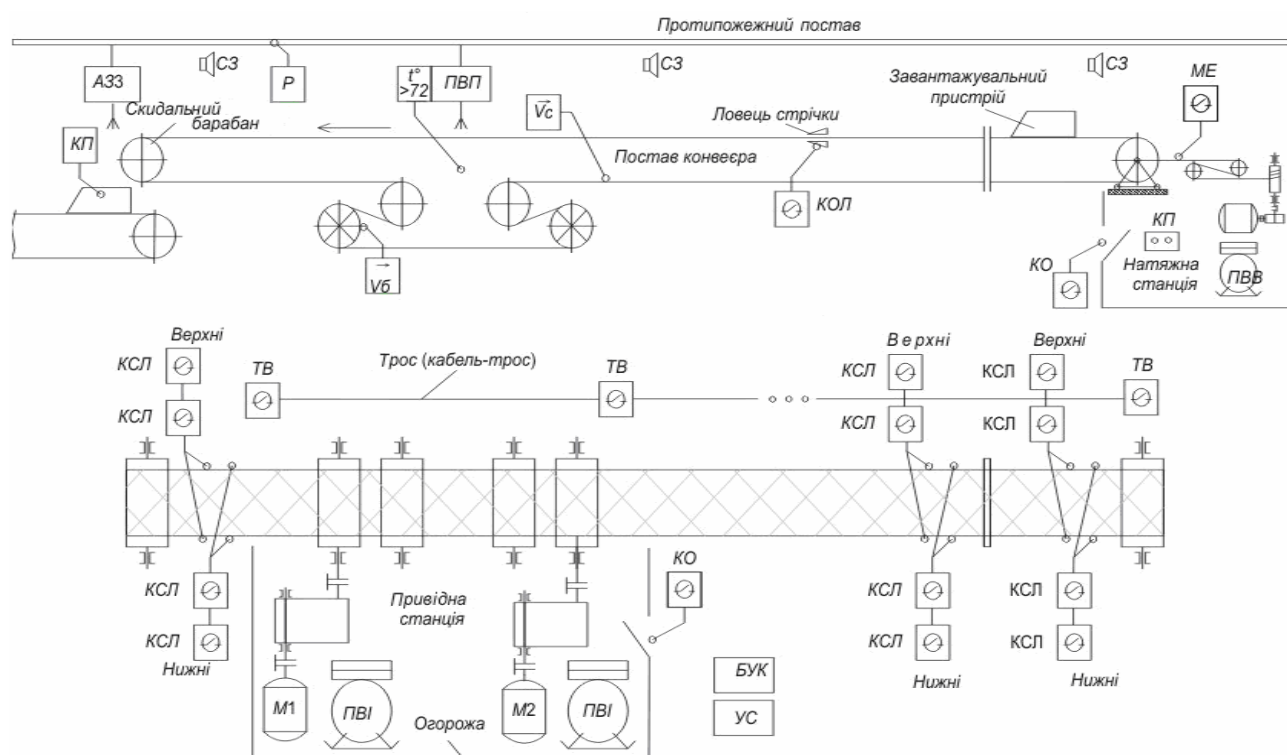


Рис. 4.3. Схема розташування встаткування і засобів автоматизації

Передпусковий і аварійний сигнали подаються звуковими сигналізаторами СЗ, установленими вздовж конвеєра. Привідна станція обладнана електродвигунами М1, М2 і двома магнітними пускатчами (ПВ1). Привід натяжної станції має двигун М3 і реверсивний пускач ПВВ. Для виконання екстреної зупинки вздовж постава конвеєра встановлені тросові вимикачі ТВ. Датчики контролю бокового сходження стрічки контролю сходження стрічки (КСС) розташовані на верхній та нижній ділянках стрічки головної і хвостової частинах конвеєра. Крім цього, такі датчики можуть установлюватися на поставі конвеєра в небезпечних місцях можливого сходження стрічки. Для контролю закритого стану огорожень привідної та хвостової станцій установлені кінцеві вимикачі (КВ).

Контроль швидкості руху стрічки і її пробуксовки відносно привідного барабана, здійснюється за допомогою датчиків контролю лінійної швидкості стрічки  $V_c$  і кругової швидкості привідного барабана  $V_6$ . У місці пересипання встановлюються датчики контролю завалу завантажувального пристрою (КП – контроль пересипання). Натяг стрічки контролюється за допомогою гідравлічного датчика, оснащеного електроконтактним манометром МЕ, а тиск води в протипожежному поставі – електроконтактним манометром Р. Конвеєр також обладнаний блоком керування (БУК) і пристроєм сигналізації ВКС.

#### 4.5. Контроль швидкості й пробуксовки

Для забезпечення безаварійної експлуатації стрічкових конвеєрів у процесі їх роботи потрібно виконувати безперервний контроль швидкості стрічки та пробуксовування стрічки відносно привідного барабана. Відповідно до правил безпеки зниження швидкості стрічки не повинне бути більше ніж на 25% від її номінального значення. При пробуксовуванні зростає інтенсивність зношування стрічки та футеровки привідних барабанів. Особливо це проявляється на високошвидкісних конвеєрах, швидкість руху стрічки яких більше за 3 м/с.

На бремсбергових конвеєрах під дією маси вантажу може відбутися саморозгін стрічки, тоді швидкість стане вище номінального значення. У таких випадках привід конвеєра буде працювати в режимі гальмування й при подальшому збільшенні швидкості робота конвеєра стане некерованою. Припустиме значення перевищення швидкості не повинне бути більше за 8% від її номінального значення. Якщо швидкість стрічки стає вище припустимого значення, необхідно виконати екстрену зупинку конвеєра за допомогою механічного гальма.

Таку оперативну зупинку гальм відповідно (для конвеєрів, оснащених гальмами) виконують при зниженні швидкості стрічки до 0,2 – 0,5 м/с. Це необхідно, щоб зменшити зношування гальмових пристроїв.

Для контролю швидкісних параметрів конвеєрів промисловістю випускаються тахогенераторні ДКС і магнітоіндукційні датчики ДМ-2М та БКВ. Вони мають рівень і вигляд вибухозахисту РОІа й допущені до застосування в шахтах, небезпечних за викидом газу й вугільного пилу. Загальний вигляд датчика ДКС показаний на рис. 4.4, а датчиків ДМ-2М і БКВ – на рис. 4.5.

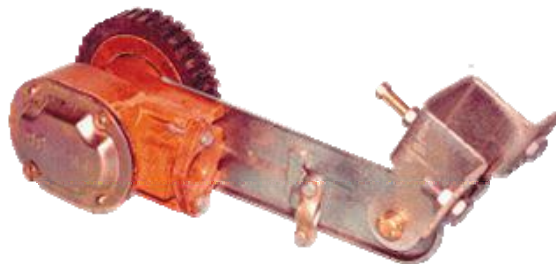


Рис. 4.4. Датчик контролю швидкості ДКС



Рис. 4.5. Датчики контролю швидкості ДМ-2М і БКВ

Датчик контролю швидкості (ДКС) призначений для одержання електричного сигналу, який пропорційний лінійній швидкості руху стрічки або кутовій швидкості обертання приводного барабана. Взаємодія ротора тахогенератора зі стрічкою або барабаном відбувається за допомогою прогумованого ролика. Датчик установлюється над холостою частиною стрічки конвеєра або барабана й притискається до них пружиною. У загальному випадку датчик реалізує операцію диференціювання сигналів лінійного або кутового переміщення:

$$V_x = dl_x / dt \text{ і } \omega_x = d\varphi_x / dt ,$$

де  $l_x$  – лінійна зміна шляху;  $\omega_x$  – кутова зміна положення.

Дія будь-якого тахогенератора заснована на законі магнітної індукції:

$$E_x = k_\omega \omega_x ,$$

де  $k_\omega$  – коефіцієнт підсилення.

Датчик контролю швидкості являє собою десятиполюсний синхронний генератор однофазного змінного струму. Функціональна схема двополюсного генератора наведена на рис. 4.6. При обертанні ротора в обмотці статора наводиться ЕРС, пропорційна частоті обертання:

$$E = 4,44 f w k_{\phi} \Phi 10^{-8} = 4,44 p n w k_{\phi} \Phi 10^{-8} = C_T n ,$$

де  $f = p n$  – частота ЕРС, що виникає в обмотці статора, Гц;  $w$  – число витків обмотки статора;  $k_{\phi}$  – обмотувальний коефіцієнт;  $\Phi$  – основний магнітний потік, Вб;  $p$  – число пар полюсів;  $n$  – частота обертання ротора, об/с;  $C_T n = 4,44 p w k_{\phi} \Phi 10^{-8}$  – постійний коефіцієнт.

Електричними характеристиками сигналу від датчика є амплітуда і частота згенерованої напруги. Стосовно вимірюваного параметра амплітуди напруги вихідного сигналу в області великих швидкостей спостерігається нелінійність вихідної напруги. З іншого боку, частота вихідного сигналу має лінійну пропорційну залежність від швидкості стрічки, наприклад, при діаметрі ролика 0,125 м і швидкості стрічки від 0,5 до 3,5 м/с, частота вихідного сигналу лежить у діапазоні від 6 до 45 Гц. Експериментальні характеристики вихідних сигналів датчиків ДКС, узятих з різних партій (рис. 4.7) показують, що помилка

зсуву вихідних сигналів по напрузі помітно вище, ніж по частоті, яка не перевищує 0,3%. Таким чином, амплітудний принцип виміру швидкості обмежується лінійною ділянкою характеристики, частотний же метод у цій частині має суттєво більший діапазон вимірюваних швидкостей. Необхідно відзначити, що характеристики, наведені на рис. 4.7, властиві датчикам, що створювалися для стрічкових конвеєрів, швидкість яких не перевищувала 2 м/с. У цьому діапазоні спостерігається лінійність залежності вихідної напруги від швидкості стрічки. У випадку застосування аналогового методу для контролю більших швидкостей (до 4...5 м/с) необхідно створення нового датчика швидкості.

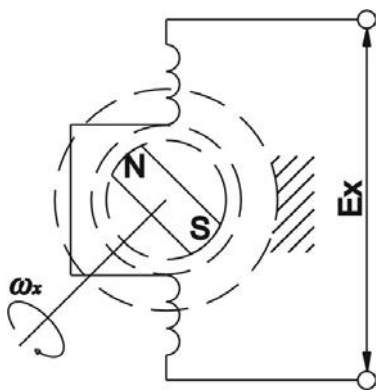


Рис. 4.6. Двополісний синхронний тахогенератор

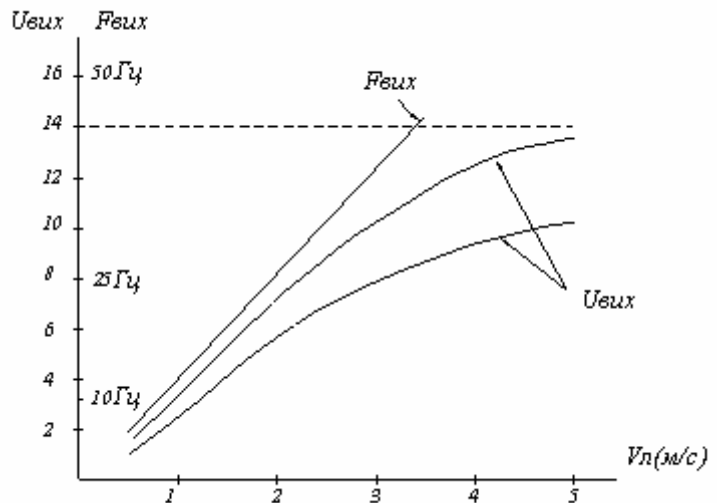


Рис. 4.7. Експериментальні характеристики датчика ДКС

Магнітоіндукційний датчик ДМ-2М являє собою кільцевий магніт з розташованою всередині нього сталеву серцевину, на яку одягнена котушка (рис. 4.8). Зверху магнітопровід, утворений серцевиною і магнітом, розімкнутий. При проходженні ланок ланцюга або скребків над розімкнутою частиною магнітопроводу в котушці наводиться ЕРС.

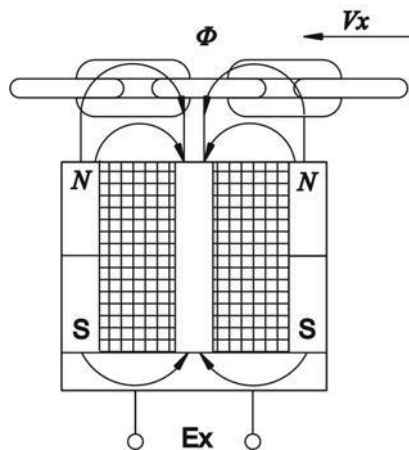


Рис. 4.8. Магнітоіндукційний датчик ДМ-2М



На основі датчика ДМ-2М розроблений і випускається датчик безконтактного контролю обертання (БКО). Він являє собою обертовий циліндричний ролик з пазами, встановлений на рамі разом з датчиком ДМ-2М. Діаметр ролика становить 0,15 м, а кількість пазів дорівнює 6. В активній зоні магнітоіндукційного датчика поперемінно розташовані пази й перемички ролика. За рахунок цього відбувається зміна опору в магнітному колі та у котушці датчика виникає ЕРС. При швидкості стрічки від 0,5 до 3,5 м/с частота вихідного сигналу дорівнює частоті ДКШ і становить 6 – 45 Гц.

Амплітуда вихідного сигналу датчика БКО, так само як і в тахогенераторному ДКШ, є величиною нелінійною. Крім того, рівень амплітуди сигналу значно нижче, ніж у датчика ДКШ.

Для виміру частоти використовуються два методи: прямого рахунку і виміру періоду частоти, які відповідно дають прямо і обернено пропорційні залежності.

Основна особливість методу прямого рахунку полягає в тому, що при зменшенні частоти збільшується похибка виміру, проте виникає необхідність збільшення часу виміру. Дослідження показують, що при похибці 1% та швидкості стрічки 0,5 м/с час циклу виміру має бути не менше 14 с. Це не припустиме, тому що час на вимкнення приводу конвеєра при досягненні небезпечної величини швидкості або пробуксовки не повинен перевищувати 5 с.

Для зменшення похибки під час виміру низьких частот застосовується метод виміру періоду, в основі якого лежить принцип заповнення високою частотою тимчасового інтервалу періоду. Частота заповнення завжди може бути підібрана таким чином, щоб похибка виміру не перевищувала задану величину.

#### **4.6. Аварійні та кінцеві вимикачі**

Для безпечної та безаварійної експлуатації шахтних конвеєрів використовуються аварійні та кінцеві вимикачі, що мають задовольняти умови роботи в шахтах, небезпечних за викидом газу і пилу (рівень і вид вибухозахисту, ступінь захисту від зовнішніх виробничих і кліматичних факторів, механічна й електрична міцність та ін.).

Цілісність кола аварійного вимкнення повинна постійно бути під контролем, а сам вимикач – працювати на розмикання контактів при аварійному спрацьовуванні.

У шахтних вимикачах найчастіше використовуються магнітокеровані герметичні контакти (геркони). Конструктивно геркон складається з двох або трьох пружних контактних пластин з високою магнітною проникністю, розміщених у скляному герметичному балоні, заповненому інертним газом. При піднесенні до геркону магніту під дією магнітного поля утворюється тягове зусилля, що приводить до спрацьовування контактів (рис. 4.9), якщо дія магнітного поля буде припинена, то контакти придуть у початковий стан, розриваючи або перемикаючи струмопровідне коло. Переміщення магніту може здійснюватися також і уздовж осі геркона.

Постійний магніт може підходити до геркону так, що його вісь намагнічування буде перпендикулярна осі геркона (рис. 4.10).

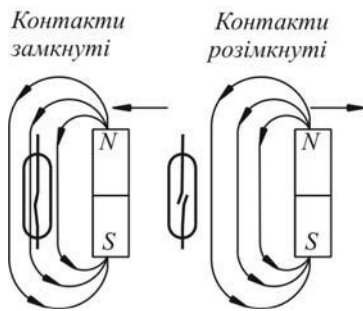


Рис. 4.9. Перемикання магнітокерованих контактів

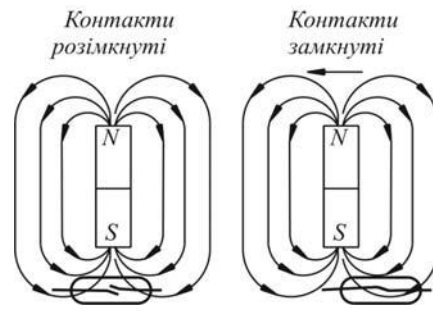


Рис. 4.10. Керування герконом при перпендикулярному розташуванні магніту

При русі магніту відбувається дворазове спрацювання геркона. У середньому положенні контакти геркона намагнічені однополярно і його перемикає не відбувається. При зсуві магніту в будь-який бік один з контактів намагнічується сильніше й притягує другий.

Керування магнітокерованими контактами може здійснюватися і за допомогою екрана з феромагнітного матеріалу, який переміщують знизу наверх (рис. 4.11). У цьому випадку пластина-екран замикає на собі магнітний потік і спрацювання контактів не відбувається.

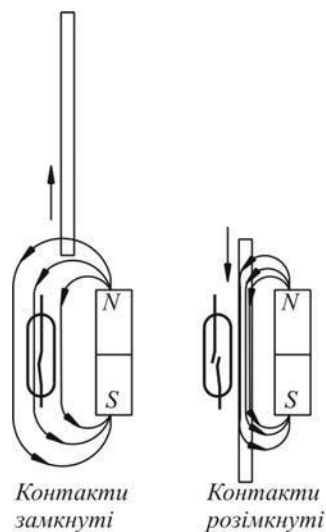


Рис. 4.11. Керування герконом феромагнітним екраном

На базі герконових елементів розроблено й випускається промисловістю ряд аварійних і кінцевих вимикачів. Екстрену зупинку конвеєрів та інших транспортних механізмів здійснюють за допомогою вимикачів типу КТВ-2, ВДШ-1 або ВДШ-2. Для контролю бічного сходження стрічки використовуються вимикачі КСЛ-2 і ВДШ-3, стану рухомих частин і механізмів – ВДШ-4, а для контролю місць пересипання – ВДШ-5.

У вимикачах типу КТВ (кабель-тросовий вимикач) магнітокерований контакт спрацьовує при переміщенні екрана. Якщо шток пересувається у будь-який бік між магнітом і герконом устанавлюється суцільна частина екрана, магнітний потік шунтується і контакт розмикається. Повернення екрана у

вихідне положення, а відповідно й замикання контакту виконується за допомогою двох пружин зрівноважувальних. Загальний вигляд вимикача показаний на рис. 4.12. У горизонтальних виробках вимикачі можуть установлюватися на відстані до 100 м один від одного, а в похилих – до 80 м.

Датчики КСЛ-2 (контроль сходу стрічки) призначені для контролю аварійного бічного сходження конвеєрної стрічки й подачі сигналу шляхом замикання або розмикання контакту. Керування герконом проводиться переміщенням магніту вздовж осі геркона. Магніт зв'язаний із сприймальним елементом датчика за допомогою троса. При дії стрічки на датчик відбувається вигин сприймальної частини й переміщення троса разом з магнітом і, як наслідок, спрацьовування геркона. Конструкція датчика КСЛ-2 передбачає можливість перебудови магнітної системи так, щоб у вихідному стані контакти геркона були або розімкнуті, або замкнені. Повернення у вихідне положення виконується за допомогою пружини, розташованої в сприймальному елементі датчика. Загальний вигляд вимикача показаний на рис. 4.13.

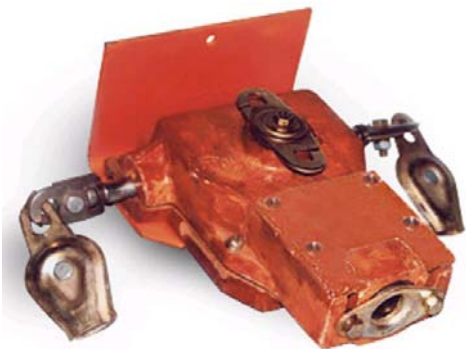


Рис. 4.12. Загальний вигляд вимикача  
КТВ-2



Рис. 4.13. Загальний вигляд вимикача  
КСЛ-2

Вимикачі дистанційні шахтні (ВДШ) призначені для роботи в схемах автоматизації шахтних конвеєрів, надгрунтових і підвісних доріг, а також у всіх схемах систем керування й сигналізації, що мають іскробезпечні кола рівня Іа. Існує п'ять типів вимикачів: ВДШ-1, ВДШ-2, ВДШ-3, ВДШ-4, ВДШ-5.

Базовим елементом для всіх вимикачів є виконавчий блок, а індивідуальними для кожного типу – функціональні приводи й установні елементи. У середині корпусу виконавчого блока розташовані привідний вал, система підпружинених важелів з переміщенням магнітом, пристрій фіксації, виконавчі магнітокеровані контакти й схема індикації. Привідний вал проходить зовні через отвір у корпусі й пов'язаний з функціональним приводом. На кришці камери введення є вікно індикації.

Спрацьовування вимикача відбувається при повороті привідного вала на кут  $11 - 12^\circ$  у будь-який бік. Робота вимикачів може бути з фіксацією приводу (без самоповернення) і без фіксації (із самоповерненням). Режими фіксації, а так само зусилля впливу на привід установлюються відповідно до типу й призначення вимикача.

Схема електрична принципова вимикачів наведена на рис. 4.14. Вона складається з двох незалежних електричних кіл герконів SA1 і SA2, на які впливає загальна магнітна система.

З'єднання вимикачів з лінією аварійної зупинки проводиться за допомогою розмикальних контактів геркона SA1. Паралельно цьому контакту приєднано коло індикації на світлодіоді HL1. При розмиканні контакту SA1 напруга прямої півхвилі лінії аварійної зупинки вмикає світлодіод VD1. Це забезпечує світлову індикацію при спрацьовуванні вимикача.

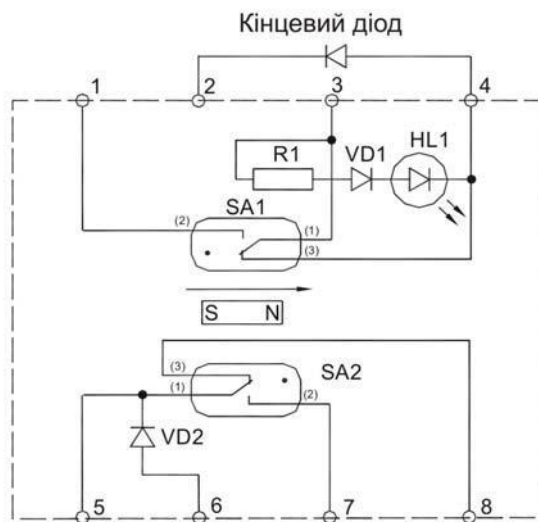


Рис. 4.14. Схема електрична принципова вимикачів типу ВДШ

Геркон SA2 застосовують у схемах телесигналізації. Електричні кола герконів SA1 і SA2 гальванічно не зв'язані й виконані з дотриманням правил іскробезпеки.

Вимикач ВДШ-1 призначений для аварійної зупинки або блокування запуску вантажних конвеєрів, надгрунтової або підвісної дороги з будь-якого місця вздовж траси, з фіксацією або без фіксації вимкненого стану, а також для місцевого блокування пуску конвеєра. На рис. 4.15 показані загальний вигляд і способи його приєднання. У горизонтальних виробках вимикачі можуть установлюватися на відстані до 120 м один від одного, а в похилих – до 100 м.

Використання вимикачів даного типу проводиться разом з тяговим пристроєм, до складу якого входить трос, зрівноважувальні пружини і затискачі для кріплення троса. Загальний вигляд і його розташування у схемі показані на рис. 4.16. Зрівноважувальні пружини забезпечують спрацьовування вимикача при обриві троса з будь-якої сторони від вимикача. На вантажопасажирських конвеєрах трос прокладається в шарнірних підвісках. При впливі на трос підвіски відхиляються вбік і запобігають його проковзуванню у вушках. Це забезпечує мінімальне тягове зусилля, яке не перевищує 50 Н.

Вимикач ВДШ-2 призначений для аварійної зупинки вантажопасажирських або вантажних конвеєрів з будь-якого місця вздовж конвеєрної траси, у тому числі й пасажиром, який перебуває на рухомій стрічці, з фіксацією вимкненого стану, а також для місцевого блокування пуску конвеєра.

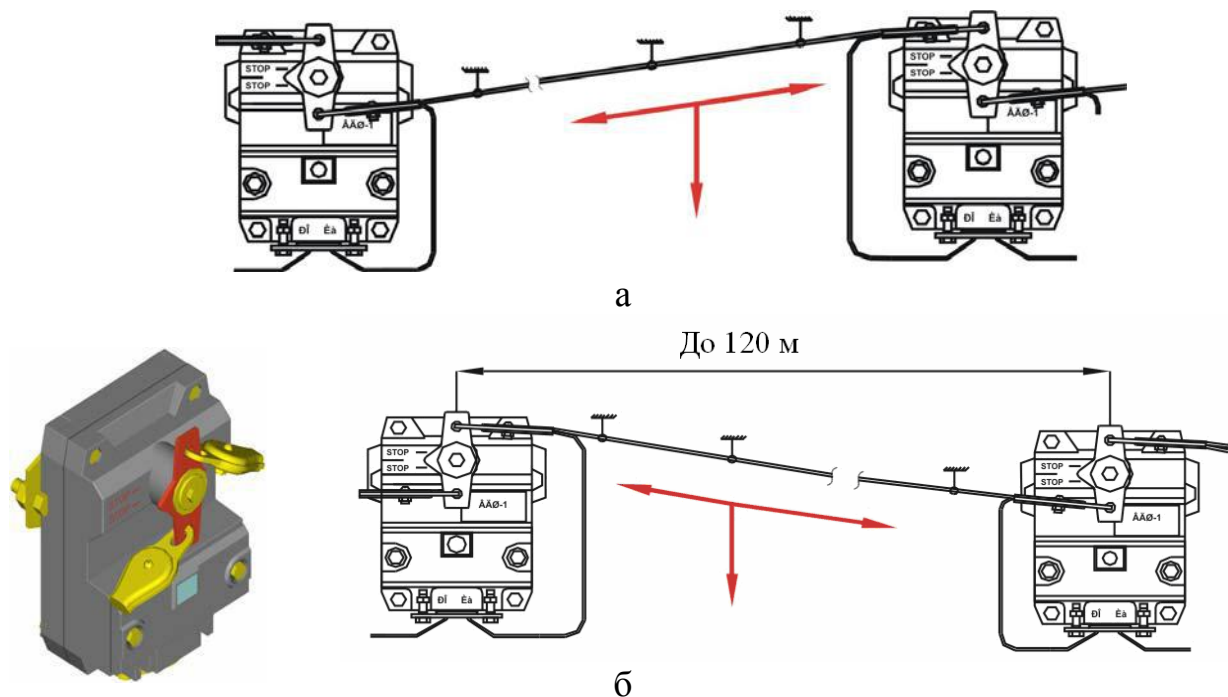


Рис. 4.15. Загальний вигляд і способи приєднання вимикача ВДШ-1 з фіксацією (а) і без неї (б)

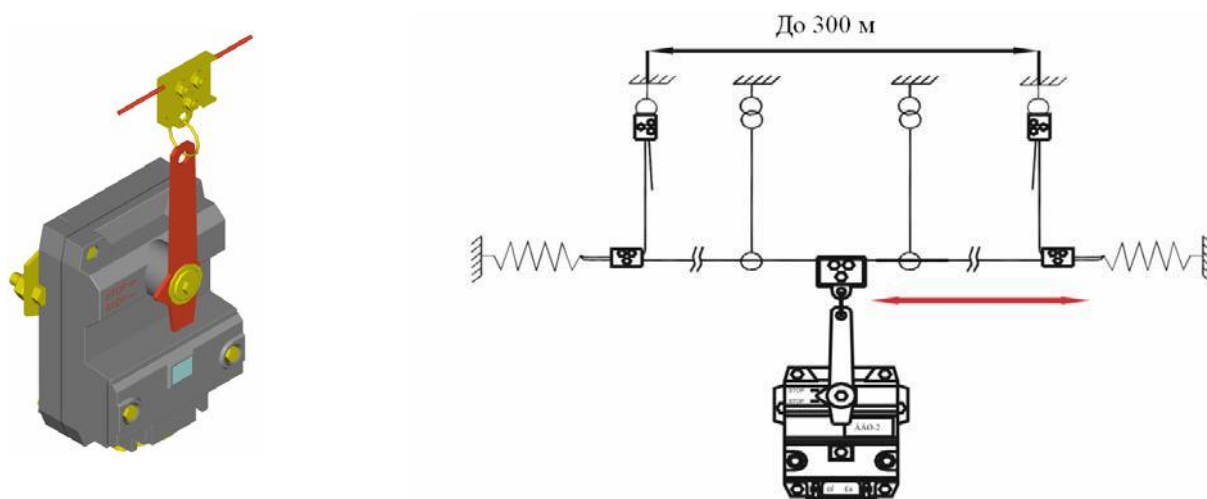


Рис. 4.16. Загальний вигляд вимикача ВДШ-2 та схема його установки

Вимикач ВДШ-3 призначений для аварійної зупинки конвеєра при сходженні стрічки вбік. Загальний вигляд і його розташування на конвеєрі показані на рис. 4.17.

Конструкція монтажної скоби вимикача дає можливість використовувати його з фіксацією або без фіксації приводу після спрацювання. Крім цього, поворотом вимикача на скобі можна змінити відстань від сприймальної частини приводу до стрічки. На іншій площині скоби є кілька монтажних отворів, за допомогою яких змінюється висота установлення вимикача.

Вимикач ВДШ-4 призначений для аварійної зупинки конвеєра з фіксацією або без фіксації вимкненого стану при спрацюванні уловлювачів стрічки, несанкціонованому відкритті огорожень, проїзді людиною встановленого місця сходу з вантажопасажирського конвеєра, мимовільному

спрацьовуванні гальмових пристроїв, а також може використовуватися для контролю положення рухомих механізмів, як кінцевий вимикач.

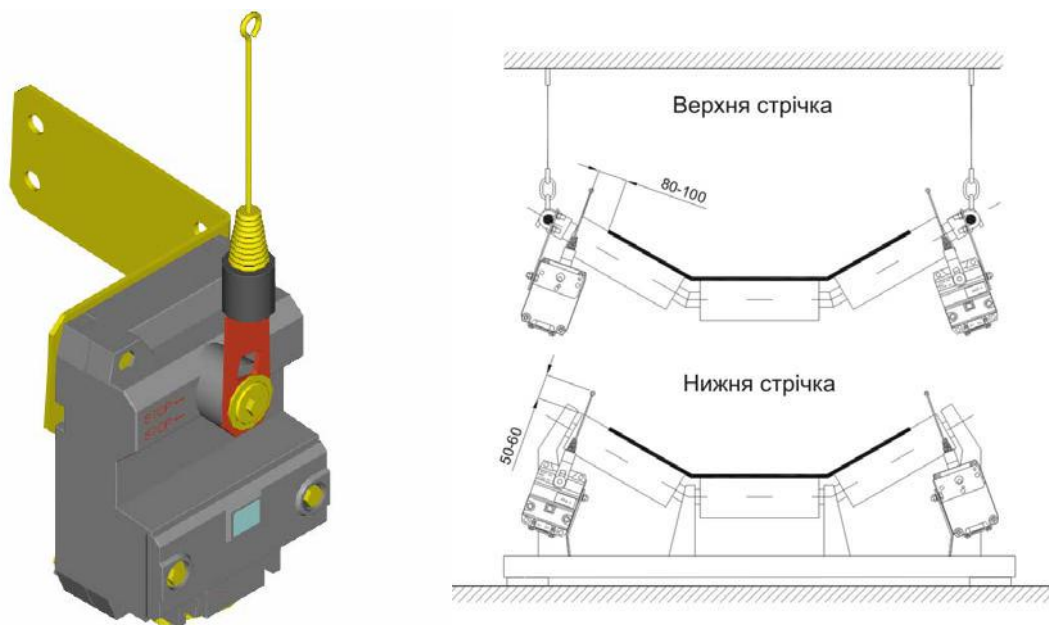


Рис. 4.17. Загальний вигляд вимикача ВДШ-3 і його розташування на конвеєрі

Загальний вигляд і схеми варіантів застосування ВДШ-4 показані на рис. 4.18. Вимикачі даного типу можуть використовуватися з фіксацією або без фіксації приводу після спрацьовування, що визначається відповідно до вимог безпеки або технологічними особливостями. Функціональний привід до моменту спрацьовування відхиляється на  $11 - 12^\circ$ , що разом з його довжиною визначає лінійну величину переміщення ролика або наконечника. Гнучкий сприймальний елемент може відхилятися на кут до  $90^\circ$ .

Вимикач ВДШ-5 призначений для аварійної зупинки конвеєра або іншого механізму при завалі місця пересипання по лінії транспортного потоку або при перевищенні припустимого рівня матеріалу в бункері.

Загальний вигляд ВДШ-5 показаний на рис. 4.19. Функціональний привід містить дві штанги й сприймальний буфер, через які відбувається взаємодія з гірничою масою. На штангах є ряд отворів, що дозволяють змінювати довжину приводу від 800 до 1300 мм. Конструктивно привід не може відхилитися на кут більше ніж  $13^\circ$ , завдяки цьому на вал виконавчого блоку не надходять надлишкові перевантаження. Робочий поворот приводу відбувається за годинниковою стрілкою без фіксації. Його втримання здійснюється за рахунок тиску гірничої маси.

Установлення вимикача ВДШ-5 у місці пересипання або в бункері виконується з урахуванням утворення конусу гірничої маси та його зсуву. При монтажі слід брати до уваги, що лінійний хід сприймального вузла до моменту спрацьовування становить від 160 до 260 мм, залежно від установленної довжини штанг і сприймального елемента.

З іншого боку, привід датчика працює в площині, яка збігається з напрямком вантажопотоку, що створює труднощі з контролем бічних завалів місць



пересипання при транспортуванні великих шматків гірничої маси. Намагалися навіть створити спеціальний механічний датчик з коловою зоною спрацьовування для контролю місць пересипання, але ці спроби, на жаль, не увінчалися успіхом.

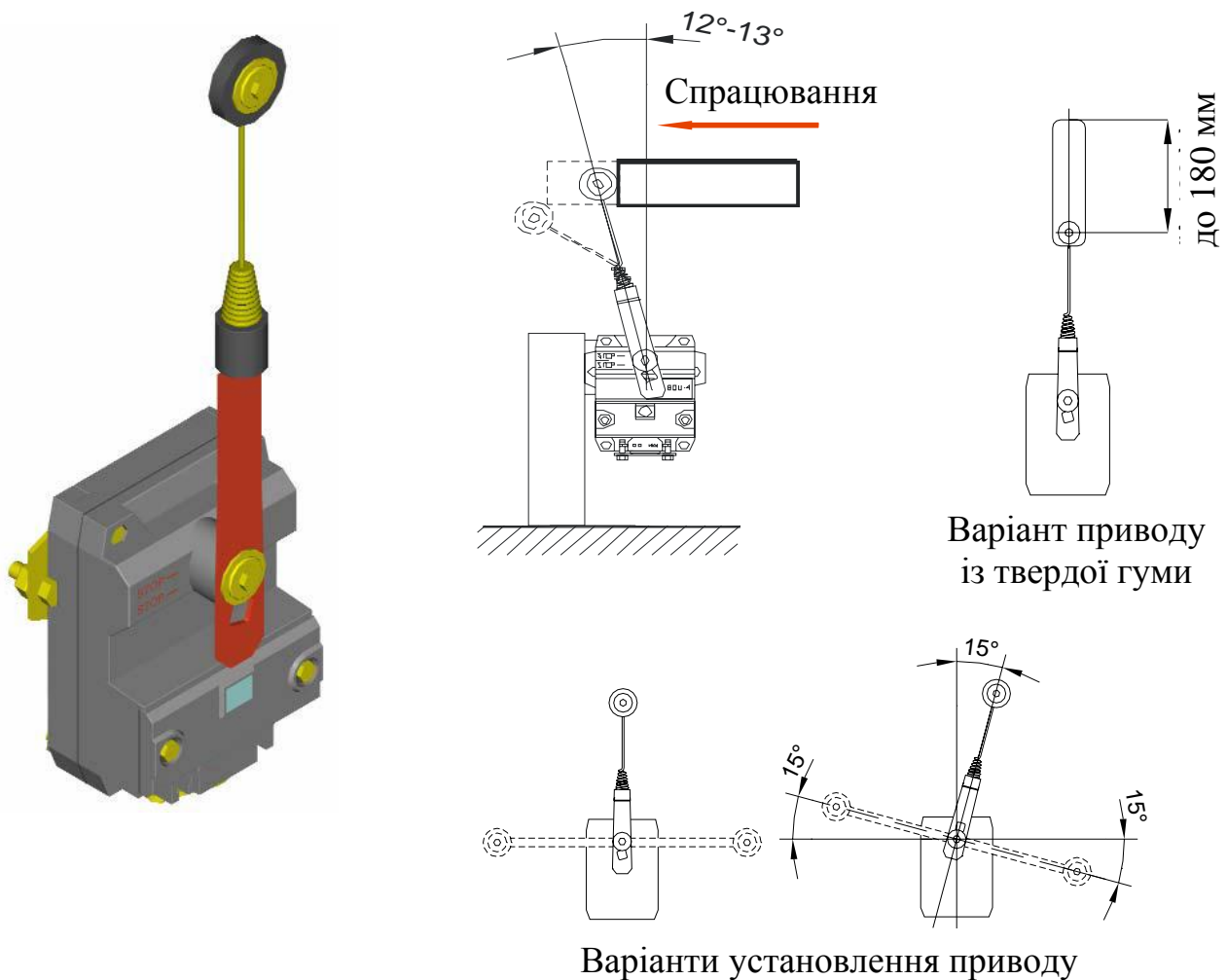


Рис. 4.18. Загальний вигляд і схеми варіантів установлення ВДШ-4

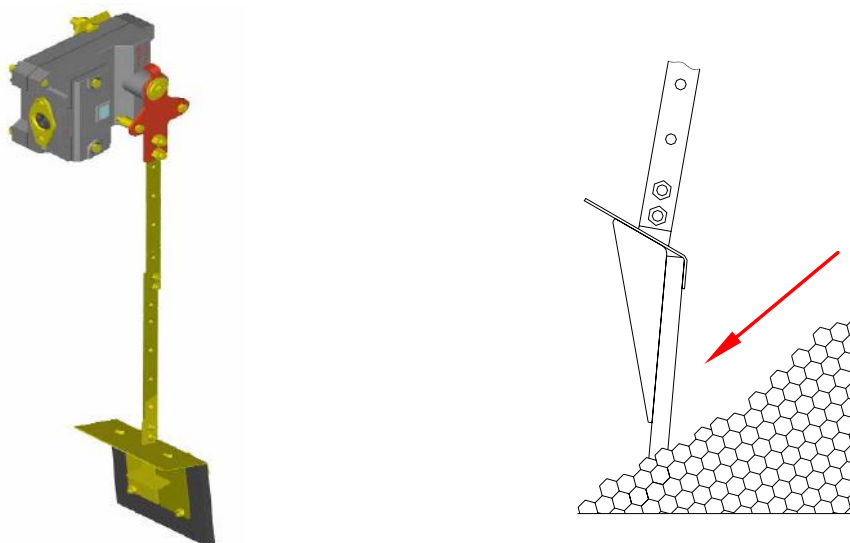


Рис. 4.19. Загальний вигляд ВДШ-5 та дія гірничої маси на привід

У зв'язку з цим був розроблений і в даний час на шахтах широко застосовується електричний метод контролю місць перевантаження, заснований на вимірі перехідного опору гірничої маси, рівень якої перевищує припустимий у місці перевантаження з одного конвеєра на іншій. Принцип дії пристроїв за цим методом розкритий нижче при описі апаратури АУК1М.

#### **4.7. Граф керування конвеєром**

Складні технологічні об'єкти характеризуються, як правило, великою кількістю вхідних і вихідних сигналів, а також необхідністю виконувати ряд функцій для перетворення цих сигналів. Це можуть бути функції масштабування, порівняння, усереднення та ін. Практично у кожному завданні керування необхідно реалізовувати функції контролю й керування тимчасовими параметрами. Додатково можуть бути такі сервісні функції, як розшифрування причин аварійних зупинок, індикація, створення й нагромадження баз даних та ін.

Для формалізації завдання керування застосовується ряд способів. До них можна віднести таблиці істинності, таблиці переходів і виходів, граф-схеми алгоритмів, логічні граfi. Процес формалізації вирішує питання переходу від словесного опису завдання керування до більш строгого, наприклад, математичного або до одного з вище перерахованих.

Для об'єктів, у яких повинні виконуватися логічні послідовні функції керування, дуже зручно використовувати метод формалізації за допомогою логічних графів. У класичному варіанті цей метод застосовується для опису роботи кінцевих автоматів. Якщо простежити аналогію між сукупністю станів, у яких може перебувати кінцевий автомат, і сукупністю станів, у яких може перебувати керований об'єкт, спрямовані граfi легко застосувати й для опису логіки функціонування й керування цим об'єктом.

Нагадаємо, що логічний граф, який має певну кількість станів, зображується колом з умовною позначкою номера стану й дугами зі стрілками, що показують напрямки можливих переходів з одного стану в інший. На кожній дузі записується логічна умова, що визначає відповідний перехід. Керуючі сигнали реалізованих функцій при кожному переході можуть записуватися на дузі через роздільник або безпосередньо в самому стані. Це визначається типом обраного графа – Міллі або Мура.

Досвід практичного застосування показує, що для опису одного й того ж завдання графа Міллі дають більш компактну структуру, з меншою кількістю станів. Це пояснюється тим, що при формуванні умов переходів з різних станів у якийсь один можуть формуватися різні вихідні сигнали, не прив'язані до самого стану.

Розглядаючи завдання керування стрічковим конвеєром, видно, що це завдання пов'язане з алгоритмами послідовного типу. Конвеєр, як складний технологічний об'єкт, може перебувати в різних станах: «робота», «зупинка», «розгін», «гальмування» і т.д. Перехід з одного стану в інший строго визначений і залежить від умов та режиму роботи (місцевий або автоматизований), стану кнопок керування, аварійних датчиків і вимикачів, стану лінії взаємного блокування, рівня вхідних сигналів, а також від датчиків швидкості стрічки й барабана. Крім цього, слід ураховувати той факт, що відповідно до правил безпеки при аварійній зупинці конвеєра повинна бути заблокована можливість



його наступного пуску до моменту ручного розблокування. Це теж слід розглядати як один із станів, у якому може перебувати керований об'єкт.

Основна маса шахтних конвеєрів оснащена привідними станціями на базі асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором. Вмикання цих двигунів проводиться через шахтні магнітні пускачі або пускові станції. У конвеєрів, що мають кілька привідних барабанів, має спрацьовувати часове рознесення моментів запуску двигунів з метою зменшення впливу пускових струмів на енергомережу. У логічному графі це розглядається, як стан очікування витримки часу, установленної для забезпечення рознесення між пуском двигунів.

Окремо слід розглянути процес зупинки конвеєра. Основна маса апаратних засобів автоматизації для виконання зупинки конвеєра знімає сигнал керування з магнітних пускачів. У результаті цього пускач роз'єднує силове коло живлення двигунів і відбувається процес природного гальмування стрічки. На крутопохилих і бремсбергових конвеєрах додатково ще вмикається механічне гальмо. Але іноді на практиці спостерігаються аварійні випадки, коли команда на зупинку не виконується через «залипання» контактів пускача. Тоді зупинку конвеєра можна зробити тільки за допомогою автоматичного вимикача (фідерного автомата) або вимикання живлення з підстанції.

Здійснення такого режиму можна виконати шляхом контролю зниження швидкості конвеєра при його зупинці. Якщо у встановлений час швидкість не зменшується, необхідно подати сигнал на вимикання автоматичного вимикача або живлення з підстанції по відповідній лінії керування. У логічному графові цей процес також описується певним станом і умовами переходу в нього.

У деяких випадках розглядається питання блокування мимовільного пуску механізму. Мова йде про запуск приводу без формування команди на його пуск. Для конвеєрів це відбувається шляхом безперервного контролю сигналів від датчиків швидкості. І якщо в зупиненому стані такі сигнали починають надходити, то також, як і у випадку невиконання команди на зупинку, необхідно зробити вимикання автоматичного вимикача або живлення з підстанції.

На рис. 4.20 показаний граф, що описує роботу конвеєра, який має дві незалежні привідні станції. Граф має 8 станів (S0...S8), у яких може перебувати конвеєр як об'єкт керування.

Ці стани можна описати так:

S0 – очікування запуску конвеєра;

S1 – передпускова сигналізація й очікування сигналу по лінії взаємного блокування;

S2 – запуск першого електродвигуна ЕД1 і очікування завершення витримки часового рознесення;

S3 – запуск другого електродвигуна ЕД2 і очікування розгону стрічки конвеєра;

S4 – робота;

S5 – контроль гальмування конвеєра;

S6 – аварійне блокування;

S7 – вимкнення фідерного автомата або живлення з підстанції;

S8 – місцева, ручна сигналізація.

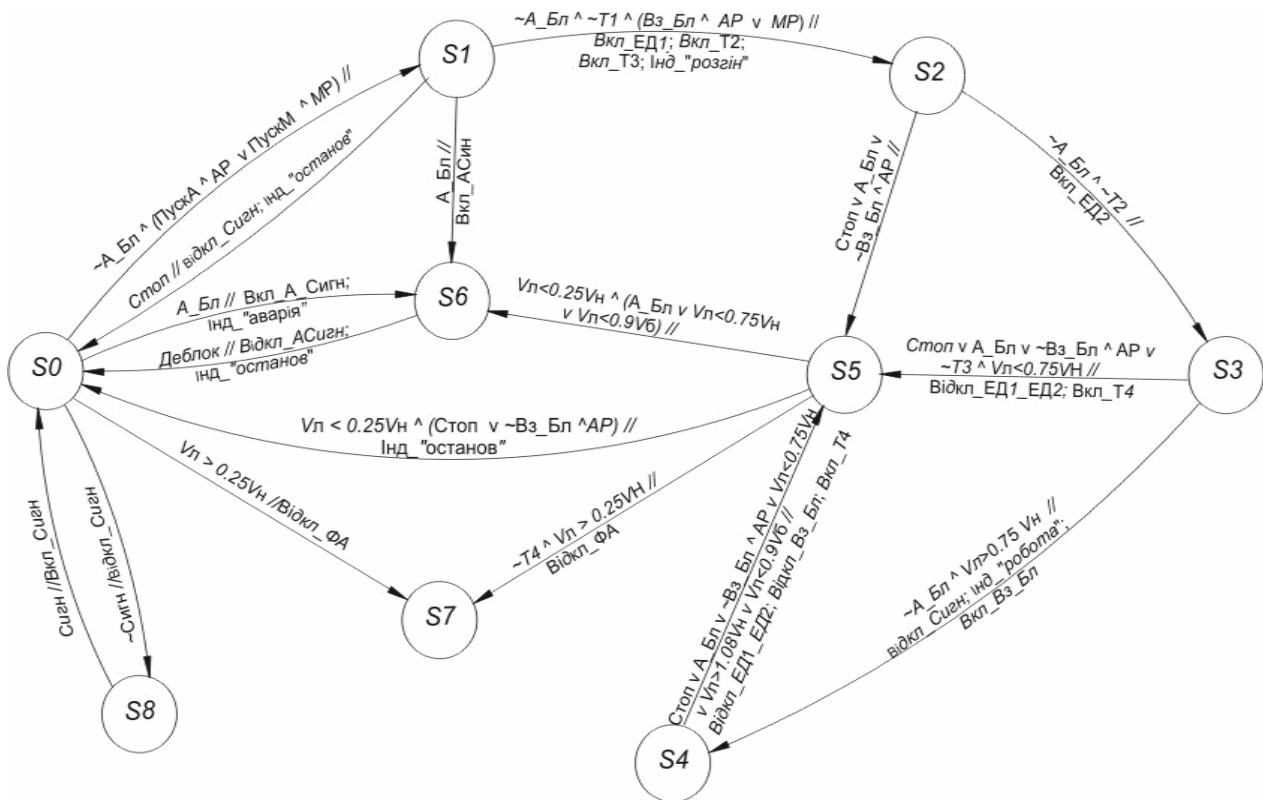


Рис. 4.20. Граф керування конвеєром

Кожний перехід у графі описується певною логічною функцією. Аргументами цих функцій є змінні, які формуються за сигналами від датчиків, кнопок і перемикачів, за сигналом від лінії взаємного блокування, за інформацією, що надходить від пульта керування, а також як результати функцій обробки тимчасових параметрів або функцій обробки входних сигналів від датчиків швидкості стрічки й привідного барабана конвеєра. У наведеному графі деякі аргументи носять узагальнювальний характер як результат обробки декількох сигналів. Наприклад, змінна « $A\_Бл$ » (аварійне блокування) виходить з умови спрацьовування будь-якого аварійного датчика або вимикача, що перебувають у лінії аварійного вимкнення. Нагадаємо, що це можуть бути сигнали від датчиків екстреної зупинки, бічного сходження стрічки, контролю завалу місця пересипання, тиску води в протипожежному поставі, контролю стану огорожень або уловлювачів стрічки. При спрацьовуванні кожного з них запуск конвеєра повинен бути заблокований або виконана його аварійна зупинка.

Логічні операції, що використані при описі переходів графа, позначені символами: « $\wedge$ » – кон'юнкція, « $\vee$ » – диз'юнкція, « $\sim$ » – інверсія або заперечення. Наприклад, умова відсутності аварійного блокування записується, як « $\sim A\_Бл$ ». Вихідні функції або керуючі сигнали зазначають після символу «//».

Нижче наведені позначення змінних і їх призначення.

*Пуск А* – команда на пуск конвеєра, що одержана від пульта керування;

*Пуск М* – команда на пуск конвеєра, що одержана від кнопки «пуск» блока керування конвеєром;

*Сигн* – команда на вмикання сигналізації, яка одержана від кнопки «сигнал» блока керування конвеєром;

*Стоп* – команда на оперативну зупинку конвеєра;

*АР* – автоматизований режим, сигнал від перемикача режиму роботи;

*МР* – місцевий режим, сигнал від перемикача режиму роботи;

*Вз\_Бл* – дозвіл на запуск конвеєра, що приймає вантаж, надходить від попереднього;

*ЗП* – тривалий пуск. Формується в тому випадку, якщо за встановлений час не відбувся розгін стрічки;

*Деблок* – команда на розблокування, надходить від кнопки «деблокування» блока керування;

$V_{л} > 0.75V_{н}$  – поточна швидкість стрічки більша на 75% від номінального значення;

$V_{л} < 0.75V_{н}$  – поточна швидкість стрічки менша на 75% від номінального значення;

$V_{л} > 0.08V_{н}$  – поточна швидкість стрічки більша на 8% від номінального значення;

$V_{л} < 0.25V_{н}$  – поточна швидкість стрічки менша на 25% від номінального значення;

$V_{л} < 0.9V_{б}$  – проковзування стрічки на 10% перевищує припустиме значення;

*T1*, *T2*, *T3*, *T4* – змінні, формовані функціями або елементами відліку витримок часу: *T1* – тривалість передпускової сигналізації; *T2* – час затримки між запуском двигунів; *T3* – припустимий час розгону конвеєра; *T4* – час на зупинку конвеєра.

Вихідні керуючі сигнали позначені так:

*Вкл\_АСигн/Відкл\_АСигн* – вмикання/вимикання аварійної сигналізації;

*Вкл\_ЕД1, Вкл\_ЕД2* – запуск двигунів приводу конвеєра;

*Откл\_ЕД1\_ЕД2* – зупинка двигунів приводу конвеєра;

*Вкл\_Вз\_Бл/Відкл\_Вз\_Бл* – вмикання/вимикання взаємоблокування;

*Відкл\_ФА* – вимкнення фідерного автомата або підстанції;

*Інд\_”... ”* – вмикання індикації;

*Вкл\_Т1/Т2/Т3/Т4* – вмикання витримок часу.

Початковим станом графа є стан *S0*, що означає – конвеєр зупинений і перебуває в очікуванні пуску. Процеси запуску й роботи конвеєра описуються станами *S1–S2–S3–S4* і логічними функціями, що визначають умови переходів. Загальним для всіх переходів від *S0* до *S4* є умова відсутності сигналу аварійного блокування «*~А\_Бл*». Запуск конвеєра може початися після сигналу «*ПускаА*» від пульта керування лінією або сигналу «*ПускМ*» від блока керування конвеєром. Обидва сигнали логічно пов'язані зі станом перемикача режиму роботи. Це визначається умовами безпеки, відповідно до яких керування механізмом допускається тільки з одного місця – дистанційно від пульта або місцево від блока керування. Таким чином, повна умова переходу *S0 – S1* буде мати вигляд:

$$\sim A\_Бл (ПускаА \vee ПускМ \wedge МР // Вкл\_Сигн; Вкл\_Т1.$$

Як керуючі сигнали на переході показане ввімкнення передпускової сигналізації «Вкл\_Сигн» та ініціалізація відліку витримки часу на тривалість звучання цієї сигналізації «Вкл\_Т1».

У переході з S1 в S2, крім змінної аварійного блокування, аналізується змінна «Т1», інверсне значення якої показує закінчення витримки часу на передпускову сигналізацію. Крім цього, на запуск першого двигуна приводу конвеєра впливає режим роботи. Якщо режим автоматизований, то пуск двигуна ЕД1 почнеться тільки після одержання сигналу по лінії взаємного блокування (змінна «Вз\_Бл»). У режимі місцевого керування цей сигнал не враховується і запуск двигуна почнеться відразу після закінчення часу Т1. Повна умова переходу з S1 в S2 буде мати вигляд:

$$\sim A\_Бл \sim T1 (Bз\_Бл AP \vee MP // Bкл\_ЕД1; Bкл\_T2; Bкл\_T3; Инд\_«розгін».$$

Керуючими сигналами є вмикання першого двигуна «Вкл\_ЕД1», ініціалізація відліку витримки часу між запуском двигунів (Т2) і витримки часу на розгін конвеєра (Т3). Крім цього, вмикається індикація, яка показує, що конвеєр перебуває в стані розгону.

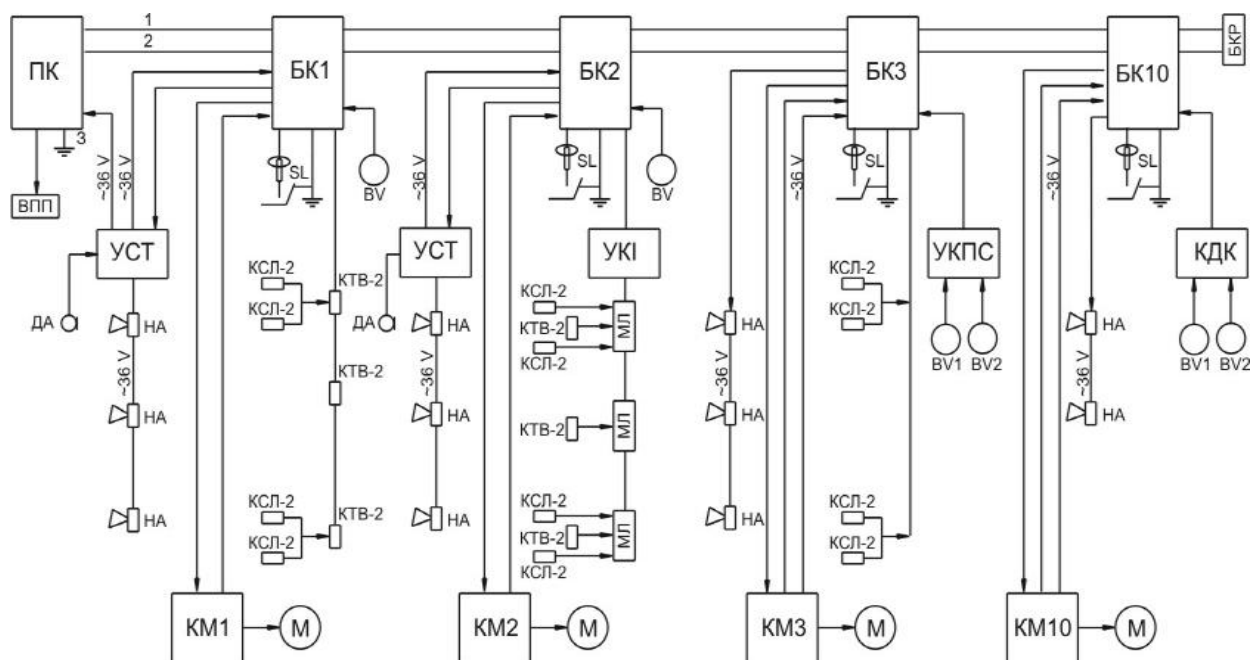
Після закінчення витримки Т2 вмикається другий двигун приводу й виконується перехід у стан S3, при якому очікується розгін стрічки. Відповідно до правил безпеки розгін вважається завершеним, якщо поточна швидкість стрічки більше на 75% від її номінального значення. У графі це показане як змінна « $Vл > 0.75Vн$ ». При переході з S3 в S4 вимикається передпускова сигналізація, виводиться індикація стану «робота» і вмикається сигнал взаємоблокування, що дозволяє запуск конвеєрів, які подають вантаж.

Зупинка конвеєра може виконуватись оперативно по команді «Стоп» або при вимкненні сигналу на лінії взаємоблокування, а також аварійно. Перехід на зупинку здійснюється через стан S5 (контроль гальмування) або минаючи його, але тільки в тому випадку, якщо двигуни приводу не вмикалися (стан S1). При переході в S5, крім вимкнення двигунів, запускається відлік витримки Т4, яка визначає припустиму тривалість часу для зниження швидкості стрічки. Якщо після закінчення Т4 швидкість стрічки стане менша на 25% від номінального значення, то виконається перехід або в стан S0 (очікування пуску), або в стан S6 (аварійне блокування). А якщо ні, то буде перехід у стан S7, у якому сформується сигнал керування на вимкнення фідерного автомата (ФА) або підстанції. У стан S7 можна перейти і зі стану S0. Це буде в тому випадку, якщо конвеєр запуснеться мимовільно й швидкість стрічки зросте до значення більшого ніж 25% від  $Vн$ . Слід звернути увагу на те, що зі стану S7 не показані виходи. Це пояснюється тим, що після вимкнення ФА або підстанції не буде подаватися живлення і на блок керування конвеєром. А при подачі живлення робота завжди починається зі стану S0.

Особливим станом у графові є стан S6 (аварійне блокування), оскільки у нього можна перейти майже з усіх станів, крім S7 і S8. Умови переходу в S6 залежать від того, в якому стані перебуває сам конвеєр. Якщо він не запуснений (S0, S1, S2), то перехід виконується тільки за умовою «A\_Бл». У переходах з S3

У розглянутому графові показане виконання основних функцій з керування конвеєром у робочому й аварійних режимах. Будь-які засоби автоматизації, не залежно від способу їх реалізації, повинні забезпечувати відпрацьовування зазначених функцій. У цей час на гірничих підприємствах використовуються різні комплекси й системи автоматизації конвеєрного транспорту. Одним з найпоширеніших є комплекс АУК.1М, розроблений відповідно до релейно-транзисторної логіки й експлуатується більше 30 років. Із сучасних систем використовується система САУКЛ, виконана на базі мікропроцесорної техніки. Стосовно розглянутого алгоритму керування вона повністю задовольняє всі вимоги.

Комплекс АУК.1М призначений для керування й контролю роботи стаціонарних і напівстаціонарних нерозгалужених конвеєрних ліній, що складаються зі стрічкових і скребкових конвеєрів. Структурна схема комплексу наведена на рис. 4.21.



208

Пульт керування з виносним приладом-показчиком (ВПК) розташовується в головній частині конвеєрної лінії. Поблизу приводу кожного конвеєра встановлюється блок керування конвеєром (БК). Живлення пульта й кожного блока здійснюється або від пристроїв сигналізації УСТ, або від пускачів КМ. З пультом може використовуватися виносний кнопочний пост (КП) для дистанційного керування конвеєрною лінією.

Кожний блок керування з'єднується з такими лініями та датчиками: лінії екстреного припинення пуску й аварійної зупинки конвеєра з кінцевим діодом (прокладається або голими проводами, або телефонним кабелем, що з'єднує кабель-тросові вимикачі КТВ-2); датчик швидкості BV (ДКС або БКВ для стрічкових конвеєрів, ДМ-2М для скребкового одноланцюгового); датчики контролю бічного сходження стрічки КСЛ-2; датчик контролю місця пересипання (заштибування) SL; сигналізатори НА або пристрої сигналізації типу УСТ.

Для контролю швидкості стрічки і її пробуксовування використовується пристрій контролю швидкості й пробуксовування (УКПС). З цим пристроєм з'єднані два датчики швидкості: стрічки BV1 і барабана BV2. Пристрій УКПС може формувати такі сигнали: зниження ( $V_{л} < 0,75V_{н}$ ) і перевищення ( $V_{л} > 1,08V_{н}$ ) швидкості; пробуксовування ( $V_{л} < 0,9V_{б}$ ); швидкість стрічки менше 0,5 м/с. Останнє використовується для оперативної зупинки конвеєра у випадку наявності гальмових пристроїв.

Для дволанцюгових скребкових конвеєрів додатково використовується апаратура КДК, за допомогою якої здійснюється контроль швидкості й цілісності тягових ланцюгів конвеєра. При обриві одного з ланцюгів КДК посиляє сигнал для аварійної зупинки конвеєра.

За останнім блоком керування в лінії встановлюється блок кінцевого реле (БКР).

Пуск конвеєрної лінії здійснюється за допомогою команд, що видаються з ПК через лінію зв'язку на БУ (провідники 1 і 2). Спочатку формується сигнал «пускова полярність», коли на провід 1 подається позитивний потенціал (+), а на провід 2 – негативний (-). Після закінчення запуску конвеєрної лінії пульт керування формує сигнал «робоча полярність». У цьому випадку на провід 2 подається позитивний потенціал, а на провід 1 – негативний.

Розглянемо порядок виконання команд після натискання кнопки «пуск» пульта керування. Спочатку спрацьовує передпускова сигналізація протягом 5 с, потім на блоки керування надходить «пускова полярність». Перший блок запускає конвеєр і після сигналу датчика швидкості спрацьовує реле швидкості, яке подає пускову полярність на блок другого конвеєра. Це показано на рис. 4.22 як замикання контакту реле ДО13.1 (РС). Аналогічно відбувається пуск у кожному наступному блоці. При вмиканні реле швидкості в останньому блоці керування пускова полярність надходить у блок кінцевого реле і по лінії сигналізації («2»–«земля») видається команда на припинення пуску лінії, що поступає на пульт керування. У пульті відбувається перемикання пускової полярності на робочу і БКР вимикається. Після цього всі конвеєри лінії працюють у режимі контролю заданих параметрів (швидкості, пробуксовування, заштибування та ін.).

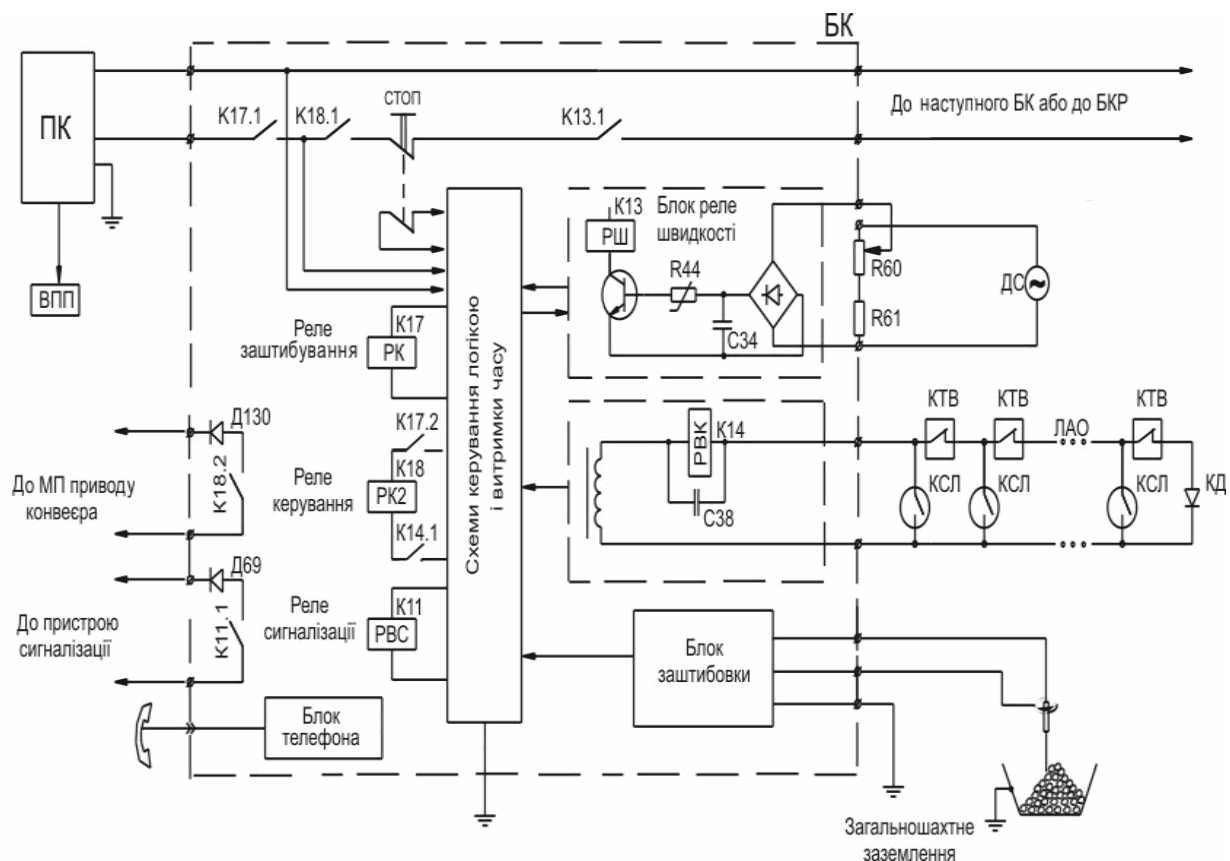


Рис. 4.22. Функціональна схема блока керування

Оперативне вимкнення лінії виконується кнопкою «стоп» на пульті керування або на блоці керування конвеєром. Так, натискання кнопки «стоп» на БУ приводить до розриву лінії керування конвеєрами, тобто робоча полярність припиняє подаватися на всі блоки керування, розташовані за конвеєром, на якому натиснута кнопка «стоп». У результаті цього всі конвеєри одночасно зупиняються.

Екстрена зупинка пуску або аварійне вимкнення конвеєра здійснюється натисканням кнопки «сигнал» на пульті керування при запуску лінії або на блоці керування натисканням на кнопку «стоп», або на лінії екстреного вимкнення за допомогою кабель-тросових вимикачів. У випадку використання голих проводів проводиться їхнє замикання накоротко. Аварійне вимкнення також відбудеться при спрацюванні засобів захистів, що контролюють роботу конвеєра.

Для вирішення питання розшифрування причин аварійних вимкнень розроблена й застосовується пристрій контролю та індикації (ПКІ). Ця апаратура складається з блока індикації та лінійних модулів, розташовуваних уздовж конвеєра. У випадку її використання датчики екстреної зупинки, контролю сходження стрічки й інші підмикаються через спеціальні лінійні модулі. Пристрій контролю та індикації дозволяє розшифровувати й виводити на індикацію як причину аварійної зупинки, так і номер датчика, що спрацював.

З розглянутого матеріалу видно, що комплекс АУК.1М є головною складовою гнучкої структури системи керування, тобто він вирішує базову частину завдань, необхідних для автоматизації конвеєрів. Додаткові функції виконуються за рахунок дооснащення її рядом підсистем. Наприклад, для

контролю проковзування стрічки потрібний додатковий пристрій контролю пробуксовування та швидкості (ПКПШ), для визначення номера датчика, що спрацював, – ПКІ, проте контроль зупинки конвеєра взагалі не проводиться. Для керування скребковими двоколовими конвеєрами необхідно застосовувати пристрої типу КДК, що забезпечують контроль пориву одного з тягових кіл.

#### **4.9. Система автоматизованого керування конвеєрними лініями (САУКЛ)**

Система автоматизованого керування конвеєрними лініями призначена для:

- централізованого автоматизованого керування й контролю роботи розгалуженими й нерозгалуженими конвеєрними лініями, що складаються із стрічкових конвеєрів, призначених для транспортування вантажу й перевезення людей, та конвеєрів (до 60 одиниць), керованих через один комплект адаптера пульта керування (АПК) й адаптера лінії зв'язку (АЛЗ), з необмеженою кількістю маршрутів;
- централізованого або місцевого автоматизованого керування окремими конвеєрами, що входять або не входять до складу конвеєрної лінії та контролю їх роботи з дотриманням усіх вимог безпечної експлуатації;
- телекерування супутнім допоміжним устаткуванням (типу «шибер», «перевантажувач», «живильник») та контролю його стану;
- автоматичної реєстрації й збереження інформації на ПК про роботу конвеєрів і супутнього устаткування, команди керування й налаштування, захисні вимкнення і блокування.

Система САУКЛ складається з комплекту апаратури пульта керування, що включає пульт керування на базі персонального комп'ютера, адаптер пульта керування й адаптер лінії зв'язку, а також з комплекту апаратури керування конвеєром, до складу якого входить блок керування конвеєром (БКК), модулі лінійні (МЛ), модуль заштибування й сирени (МЗС), датчик акустичний (ДА) і джерело живлення (ДЖ). Система працює з датчиками й пусковою апаратурою приводу конвеєра, що мають іскробезпечні вихідні кола.

Функціональна схема системи САУКЛ подана на рис. 4.23. Система складається з комплекту пульта керування, розташованого в диспетчерській шахти, і комплектів блоків керування, установлених на конвеєрах.

#### **4.10. Керування вантажопотоками вугільних шахт при нерегульованих приводах конвеєрних установок і живильників бункерів**

Конвеєрна лінія, яка доставляє вугілля від вибою до ствола, повинна працювати практично безперервно протягом усієї зміни. Конвеєрний транспорт гірничих підприємств проектується відповідно до максимальної сумарної продуктивності видобувних ділянок. При цьому відбувається істотне завищення потужностей і пропускних здатностей конвеєрних ліній. Аналіз реальних середньодобових вантажопотоків показує, що пропускна здатність повинна бути у півтора-два рази нижча від розрахункової. Такий запас потужності необхідний, якщо керування вантажопотоками було відсутнє. Для зниження встановленої потужності необхідна бункеризація вантажопотоків.



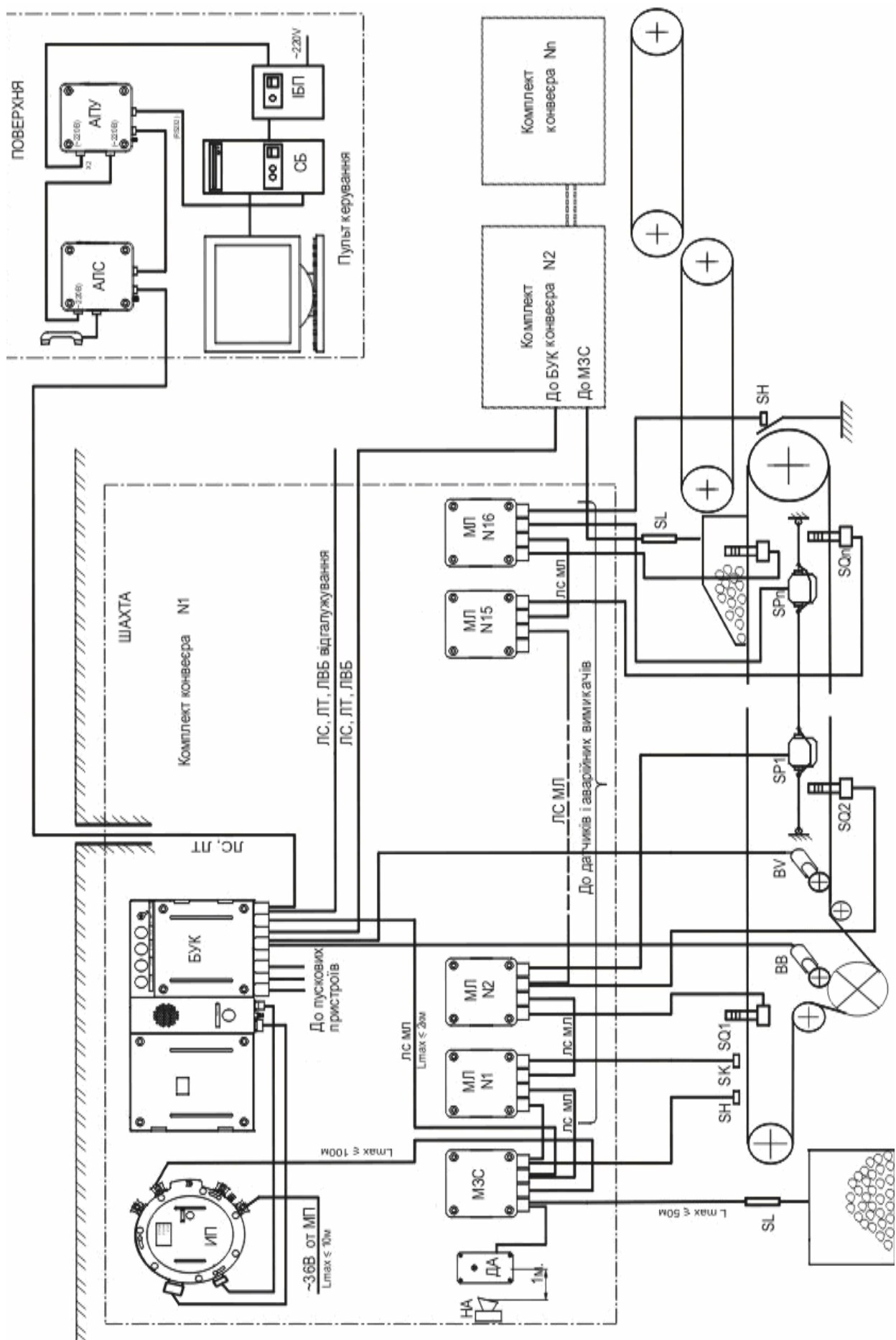


Рис. 4.23. Функціональна схема системи САУКЛ

Одночасно унаслідок технологічних і організаційних обставин очисний комбайн працює із зупинками й завантажує конвеєрну лінію збірних штретків лише на 30 – 40 % її можливості. Через те, що конвеєр вибирається за максимальною продуктивністю комбайна і технологічно не може бути зупинений, якщо на його стрічці перебуває вантаж, то час роботи конвеєрної лінії значно перевищує час роботи комбайна. Таким чином, конвеєрна лінія, довжина якої доходить до 5 – 7 км і більше, практично працює повну зміну з навантаженням, що не перевищує 30 – 40 % від номінального. При цьому непродуктивно витрачається електроенергія, зношуються конвеєрна стрічка, роликсоопори та деталі приводів.

При розрахунку та виборі параметрів конвеєра розрізняють теоретичну, технічну й експлуатаційну продуктивність.

Теоретична або приймальна здатність конвеєра – це його продуктивність при максимально припустимому заповненні стрічки. Вона характеризується двома параметрами – шириною стрічки та її швидкістю.

Технічна продуктивність відповідає номінальному режиму роботи конвеєра, при якому забезпечується його тривала та надійна робота. Технічна продуктивність обмежується потужністю приводу, міцністю стрічки та зумовлюється іншими конструктивними параметрами. Теоретична продуктивність завжди більша від технічної.

При виборі конвеєра його продуктивність розраховується за максимальною змінною, добовою або річною продуктивністю ділянки або ділянок, які працюють на цей конвеєр. При такому підході спостерігається значне перевищення пропускної здатності устаткування над реальним вантажопотоком. Крім того, випадкові зміни вантажопотоку не дозволяють однозначно трактувати вибір устаткування. Однією з характеристик такого вантажопотоку є ймовірність появи максимального завантаження. Наприклад, якщо за максимальний вантажопотік береться його значення з ймовірністю 99 %, тоді 1 % – це величина, яка перевищує це значення, тобто є ймовірність просипання гірничої маси.

Усе вищесказане належить до нерегульованого процесу виникнення вантажопотоку. Керування надходженням вантажу на конвеєрну мережу дозволяє згладити пікові навантаження й запобігти можливому пересипанню матеріалу. За таких умов визначення продуктивності транспортної лінії може бути кваліфіковане як типова «транспортна задача». Через те що керування провадиться шляхом затримки на якийсь час вивантаження з бункерів на конвеєрну мережу, оптимальне керування зводиться до вибору рішення: що буде дешевше – забирати пересипку чи здійснити вільний пробіг конвеєрів протягом часу затримки.

З метою зниження ступеня впливу зазначених факторів розробляються заходи для підвищення інтенсифікації й концентрації гірничих робіт. Для збільшення видобутку вугілля очисні вибої мають оснащуватися високопродуктивними механізованими очисними комплексами нового покоління, а це проблематично сьогодні для більшості шахт із малою виробничою потужністю.

У цьому зв'язку більшість проектних рішень спрямовано на концентрацію гірничих робіт, а це передбачає, що на одну конвеєрну лінію одночасно працюють 2 – 3 очисних вибої. Для реалізації цих проектів необхідно вибирати більш потужні збірні конвеєри з високою прийнятною здатністю. При цьому коефіцієнт їхнього завантаження підвищиться всього лише до 0,5 – 0,6.

З метою стабілізування роботи збірних конвеєрних ліній і зниження питомих енерговитрат необхідно згладжувати вантажопотоки за рахунок акумулювання частини вугілля в бункерах (ємностях).

Наприклад, бункеризація вугілля інтенсивно застосовується на шахтах ГДХК «Донецьквугілля», де досить поширені східчасті схеми підземного транспортування вугілля й породи. За висновком науковців Дондипровуглемаша у даний час на шахтах об'єднання перебуває в експлуатації 32 конвеєрні лінії з підземними бункерами, що становить 10,5%.

Відповідно до прийнятої класифікації бункери поділяються на технологічні й акумулюючі. Технологічні при мінімальних конструктивних розмірах забезпечують нормальні відповідно до прийнятої організації умови роботи різних транспортних ланок. До таких належать приймальні та розвантажувальні бункери на похилих виробках і в приствольних дворах, а також бункери «на колесах» для локомотивного транспортування вантажів [2].

Акумулюючі бункери призначені для забезпечення незалежної роботи суміжних технологічних ланок транспорту в шахті. Накопичуючи деякий запас транспортованого вантажу, акумулюючі бункери дозволяють продовжувати безперервну роботу наступної ланки при тимчасовій відсутності вантажу, що надходить від попередньої ланки. У разі простою наступної транспортної ланки протягом деякого часу забезпечується можливість роботи попередньої ланки.

У закордонній практиці найбільшого застосування набули вертикальні гірничі й горизонтальні механізовані бункери. Останні випускаються місткістю до 500 м<sup>3</sup> і, завдяки наявності в їхній конструкції спеціальних вантажно-розвантажувальних механізмів, ці бункери можуть вчасно накопичувати вугілля й породу в потрібній кількості й порційно вивантажувати їх з поділом вантажопотоків.

У більшості випадків бункери, що акумулюють секції, встановлюються на колісному ході. Розташовуються механізовані бункери вздовж або впоперек магістральної транспортної виробки, яка зв'язана з приствольним двором. Слід зазначити, що, незважаючи на високу адаптаційну здатність подібних бункерів, їхнє серійне виробництво до цього часу не налагоджене. Тому в сучасній практиці експлуатації вугільних шахт усе ширше набувають застосування гірничі бункери, створені в масиві гірничої породи у вигляді камер, гезенків і спеціальних акумулюючих ємностей.

Аналіз, виконаний Дондипровуглемашем, показав, що вугільні шахти ВО «Донецьквугілля» з точки зору схем конвеєрної доставки можуть бути об'єднані в такі групи:

I – шахти з єдиною схемою конвеєрного транспорту, тобто всі конвеєри, що використовуються на шахті для доставки гірничої маси у виробки, об'єднані в єдину систему (таких шахт в об'єднанні 11);

II – шахти з конвеєризацією в межах панелей, блоків, а подальше транспортування гірничої маси здійснюється локомотивним транспортом, якщо ця маса не попадає в завантажувальний пристрій підйому (таких шахт в об'єднанні 4);

III – шахти з конвеєризацією в межах очисних і підготовчих ділянок (таких шахт в об'єднанні 5);

IV – шахти з комбінованою конвеєризацією, тобто мають ознаки перших трьох груп. Зокрема, на шахтах до єдиної конвеєрної магістралі або схем конвеєризації в панелях і блоках додаються конвеєрні лінії очисних і підготовчих вибоїв. Гірничу масу з конвеєрних ліній цих вибоїв вантажиться в основному у вагонетки й локомотивним транспортом доставляється до перекидачів, що передають її в завантажувальні пристрої стволів або на конвеєрні лінії (таких шахт в об'єднанні 7).

Характерна риса схем конвеєрного транспорту шахт ВО «Донецьквугілля» – це наявність великої кількості ємнісних бункерів з живильниками для вивантаження з них гірничої маси. Місткість бункерів перебуває в межах від 20 до 1800 м<sup>3</sup>. Бункери розташовуються в місцях перевантаження гірничої маси з дільничних конвеєрних ліній на магістральні й стикуються з магістральними конвеєрними лініями і біля скіпових стволів шахт.

Частина бункерів призначена для акумулювання породи, що транспортується конвеєрами в ремонтні зміни, а потім перекидачами скидається в бункери або вантажиться у вагонетки чи скіпові завантажувальні пристрої.

Таким чином, транспортні комплекси сучасних гірничих підприємств уже оснащені необхідним устаткуванням для керування вантажопотоками, але ефективне використання цього устаткування неможливе, тому що відсутня єдина система керування. Однак у результаті застосування такої системи керування може зменшитися вільний пробіг конвеєрного транспорту, знизитися проектна потужність новостворюваних конвеєрних ліній і тим самим зменшитися питомі енерговитрати на тонну транспортованого вугілля. Крім того, ця система дозволить здійснити моніторинг вантажопотоків різного походження (наприклад, ті, що надходять від проходки й видобутку) і в такий спосіб підвищити якість вихідного продукту. А моніторинг вантажопотоків у свою чергу допоможе уникнути важких пусків (завантажених) конвеєрних ліній і таким чином підвищити надійність експлуатації транспортної системи.

#### **4.11. Методи математичного опису вантажопотоків**

Вантажопотоки видобувних ділянок являють собою випадковий процес, який досить монотонно змінюється в часі. Приклад реальних вантажопотоків наведений на рис. 4.24.

Основними характеристиками транспортних вантажопотоків можна вважати такі: середнє значення, або математичне сподівання  $M_Q$ , дисперсія  $D_Q$ , середньоквадратичне відхилення  $\sigma_Q = \sqrt{D_Q}$ , кореляційна функція  $R_Q(\tau)$ , диференціальний закон розподілу ординат вантажопотоку  $p(Q)$ , що є основою вибору рівня ймовірності деяких розрахункових величин.

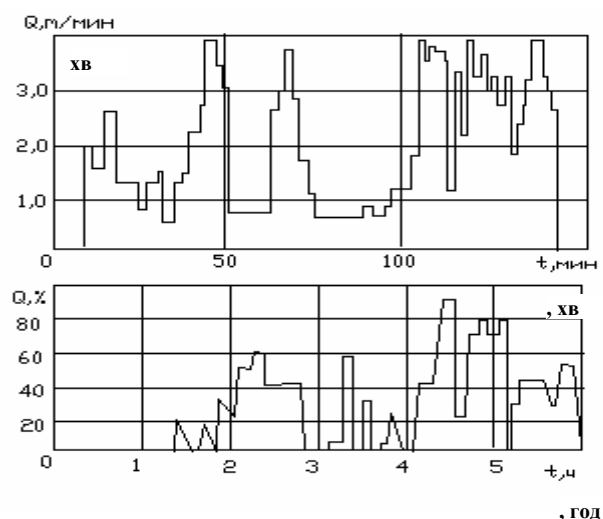


Рис. 4.24. Графік реальних транспортних вантажопотоків

При описі вантажопотоків часто вводиться поняття коефіцієнта нерівномірності  $k_n$ , який відповідає співвідношенню  $k_n = \frac{Q_{\max}}{M_Q}$  ( $Q_{\max}$  – максимальне значення вантажопотоку), і коефіцієнта машинного часу  $k$ , який дорівнює часу надходження вантажу в деякому базовому інтервалі.

У загальному випадку вантажопотік  $Q(t)$  являє собою послідовність імпульсів випадкової тривалості з випадковими інтервалами за відсутності вантажу. У межах тривалості імпульсів вантажопотік може бути описаний як безперервний випадковий процес (4.1) або (4.2).

У такий спосіб можливий опис безперервного  $Q'(t)$  і дискретного  $\varphi_Q(t)$  складових процесу  $Q(t)$ .

Як впливає з експериментальних досліджень, безперервна частина вантажопотоку характеризується розподілом, близьким до нормального або логарифмічно нормального, тобто функції розподілу однакові, а саме:

$$p(Q') = p_1(Q') = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_Q} \exp \left[ -\frac{(Q - M_{Q'})^2}{2\sigma_{Q'}^2} \right]^2; \quad (4.1)$$

$$p(Q') = \frac{0,43}{Q' \sqrt{2\pi}\sigma_Q} \exp \left[ -\frac{(\log Q' - M_{Q'})^2}{2\sigma_{Q'}^2} \right]. \quad (4.2)$$

На підставі експериментальних досліджень отримують кореляційні функції вантажопотоків  $Q'$ , які апроксимуються аналітичною залежністю такого вигляду:

$$R_{Q'}(\tau) = \sigma_{Q'}^2 \exp(-\alpha\tau), \quad (4.3)$$

де  $\alpha$  – характеристика вантажопотоку, зумовлена типом видобувної машини, видом вантажу і т. д., тобто вантажопотоки вважаються експоненціально корельованими.

Основні характеристики дискретного процесу  $\varphi_Q(t)$  такі: ймовірності стаціонарного стану  $p_1$  і  $p_2$ , середнє значення  $M_\varphi$ , кореляційна функція  $R_\varphi(\tau)$ .

Процес  $\varphi_Q(t)$  у будь-який момент часу може набувати лише двох значень, тобто  $\varphi_{Q1}(t)=1$  і  $\varphi_{Q2}(t)=0$ . Нехай ймовірність переходу від 1 до 0 дорівнює  $\lambda\Delta t$ , а ймовірність переходу від 0 до 1 –  $\mu\Delta t$ . Тут  $\lambda=1/T_H$ ,  $\mu=1/T_O$ , де  $T_H$  і  $T_O$  – середній час надходження й відсутності вантажопотоку.

Розглядаючи процес  $\varphi_Q(t)$  як дискретний, Марковський процес використовуємо для одержання основних характеристик рівняння Колмогорова – Чепмена, тобто

$$\pi_{ij}(t_O, t + \Delta t) = \sum_{k=1}^k \pi_{ik}(t_O, t) \pi_{kj}(t, t + \Delta t); \quad (4.4)$$

якщо  $t > t_O$ ;  $\Delta t > 0$ ,

де  $\pi_{ij}$  – умовна ймовірність переходу системи в стан  $j$  з урахування обставини, що до цього вона перебувала в стані  $i$ .

При  $t \rightarrow \infty$  отримують граничні значення ймовірностей, переходи, які є його середніми значеннями (беручи до уваги одиничну амплітуду процесу  $\varphi_Q(t)$ ), а саме:

$$\begin{aligned} p_1 &= M'_{\varphi 1} = \mu_O (\mu + \lambda), \\ p_2 &= M''_{\varphi 2} = \lambda / (\mu - \lambda). \end{aligned} \quad (4.5)$$

Якщо ймовірності початкового стану дорівнюють одна одній, тобто  $p_1 = p_2 = \mu / (\mu + \lambda)$ , то

$$\mu_\varphi = (\mu - \lambda) / (\mu + \lambda), \quad (4.6)$$

$$R_\varphi(\tau) = \mu\lambda(\lambda + \mu)^2 \exp[-(\lambda + \mu)|\tau|]. \quad (4.7)$$

Звідки при  $\tau = 0$  маємо такий вираз для дисперсії:

$$D_\varphi = \mu\lambda / (\mu + \lambda)^2. \quad (4.8)$$

Реальний вантажопотік можна розглядати як добуток, тобто

$$Q(t) = Q'(t) \varphi_Q(t). \quad (4.9)$$

Основними характеристиками процесу  $Q(t)$  вважаються:

середнє значення вантажопотоку  $M_Q = MQ'_\varphi$ ;

$$\text{дисперсія } D_Q = D_q D_\varphi + \mu_Q^2 D_\varphi + M_\varphi^2 D_Q.$$

У роботі [4] запропоновано іншу модель для опису вантажопотоків. Певна періодичність надходження вантажопотоків, наявність у транспортних системах проміжних бункерів, час заповнення яких залежить від тривалості загасання кореляційної функції (параметр  $\alpha$ ), дозволили запропонувати модель вантажопотоку у вигляді сукупності прямокутних імпульсів випадкової тривалості й висоти.

Усі моделі вантажопотоків дають однакові результати, що уможливорює для дослідження прийняти найпростішу модель вантажопотоку у вигляді прямокутних імпульсів постійної висоти. Завдяки цьому сумарний вантажопотік можна показати у вигляді стандартних імпульсів, число яких залежить від числа вантажопотоків, причому підсумовуються вони з імпульсів, що являють собою потік випадкових прямокутних імпульсів, які не перекриваються. Основною характеристикою такого потоку  $Q(t)$  є середня кількість вантажу, який надходить із лави за одиницю часу, тобто

$$V_\varphi = \int_0^\infty Q \omega_h(Q) dQ, \quad (4.10)$$

де  $\omega_h(Q)$  – щільність розподілу висот імпульсів.

Математичний опис вантажопотоків дозволяє оцінити їхні кількісні характеристики, а саме: ймовірність того, що продуктивність вантажопотоків буде більше заданої, час вільного пробігу і т. д. Створюючи алгоритми керування, важко застосувати аналітичні рішення у безпосередньому вигляді. Тому доцільно використовувати ймовірнісні імітаційні моделі. При цьому враховуються ймовірнісні характеристики вантажопотоків, одержані експериментальним шляхом на реальних видобувних ділянках. Крім цього, в модель легко вмонтувати алгоритм керування, задати різні характеристики транспортного устаткування і в такий спосіб одержати кількісні характеристики вихідного вантажопотоку.

#### **4.12. Імітаційне моделювання вантажопотоків**

Моделювання проводиться з метою дослідження взаємодії вантажопотоків від декількох джерел, а також вплив її на керування вантажопотоками.

У режимі оцінки пропускної здатності транспортної системи, моделювання вантажопотоків проводиться з урахуванням ймовірносних характеристик фактичних гірничотехнічних показників роботи і перерв в їхній роботі. При цьому за основу беруть нормальний закон розподілу інтенсивності вантажопотоків та автокореляційний зв'язок між вантажопотоками в різні моменти часу. Так, у результаті аналізу реальних вантажопотоків виявлено, що крок моделювання дорівнює одній хвилині.

Для імітації роботи конвеєрної системи безперервний процес транспортування зведений до дискретного вигляду. Вся мережа розбита на фізичні ділянки, яким відповідає значення змінних у пам'яті ЕОМ.

У системі відповідно до класифікації передбачено бункери універсальної моделі (акумуляуючі, усереднюючі або обхідні), отже, вся система виконує відповідні перетворення вантажопотоку.

Перевагами такого моделювання транспортної системи є можливість запобігти похибкам аналітичного розрахунку вантажопотоків, виходячи із його реальних імовірнісних значень.

У ролі вихідних даних для моделювання використовують такі групи характеристик устаткування:

- гірничотехнічні й гірничо-геологічні показники роботи очисних і підготовчих вибоїв;
- показники технологічних схем конвеєрного транспорту;
- технічні характеристики конвеєрів та вибоїв.

Дільничні накопичувальні вугільні бункери використовуються для того, щоб згладжувати неритмічність надходження вантажопотоку від лав і усувати простої лав через відмови транспортної системи шахти. Крім цього, останнім часом вони використовуються з метою зниження витрат на електроенергію, даючи можливість не вмикати конвеєр у години «пік».

Якщо магістральну лінію обслуговують кілька бункерів з живильниками, то задача керування полягає у визначенні їхньої продуктивності й часу вмикання кожного живильника за умови забезпечення максимальної продуктивності конвеєрної лінії, тобто

$$\sum Q_{Pi} \leq Q_{M \max} . \quad (4.11)$$

Хитні бункерні живильники налаштовують на задану продуктивність конструктивно, амплітудою хитання лотока. Це обмежує можливості процесу керування продуктивністю. Тому налаштовування декількох живильників на одночасну роботу буде небажаним. Відмова або відсутність матеріалу в одному або декількох бункерах призведе до того, що конвеєрна мережа буде працювати з недовантаженням. Більш вдалим вважатиметься налаштовування всіх живильників на максимальну продуктивність конвеєра й на почергове вмикання їх для вивантаження матеріалу. Однак застосування локального керування живильниками (тобто вмикання живильника при наявності під ним вільного простору) у цьому випадку буде нераціональним, оскільки це призведе до того, що вивантаження бункерів, які перебувають ближче до загальношахтного бункера, стримуватиметься вантажопотоком від бункерів, розташованих далі. Крім цього, при злитті вантажопотоків від різних ліній може спостерігатися пересипання на приймальному конвеєрі.

При такому підході до задачі керування необхідно визначити: послідовність вмикання живильників; раціональні середні рівні бункерів; значення рівнів, при яких здійснюється вмикання й вимикання живильників для



кожного бункера, а також максимально допустиме відхилення від середнього значення рівня матеріалу в бункері при його вивантаженні.

Критерієм для керування може бути раціональний рівень матеріалу в бункері, що визначається з таких міркувань: при зупинці конвеєрного транспорту на кожній ділянці має бути приблизно однаковий запас часу для завантаження матеріалу у кожний бункер. Раціональний рівень матеріалу в бункері обчислюється за формулою:

$$h_{jb} = h_{j\max} - \frac{Q_{jl} \sum_{i=1}^k [(h_{i\max} - h_{ib}) S_{ib}]}{S_{jb} \sum_{i=1}^k [Q_{ib}]}, \quad (4.12)$$

де  $Q_{jl}$  – продуктивність  $j$ -ї лави, м<sup>3</sup>/год.;  $h_{i\max}$  – максимальна висота бункера, м;  $h_{ib}$  – поточний рівень матеріалу в бункері, м;  $S_{ib}$  – площа перерізу бункера, м<sup>2</sup>.

У нашому випадку для моделювання було обрано схему магістральної конвеєрної лінії шахти «Глибока» ШУ «Донбас», наведену на рис. 4.25.

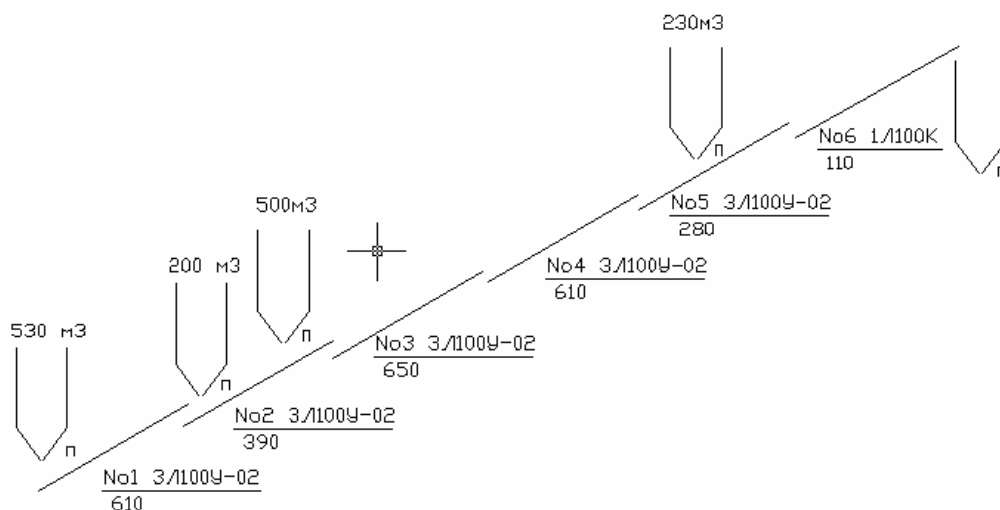


Рис. 4.25. Схема магістральної конвеєрної лінії шахти «Глибока»

Програму імітаційного моделювання написано мовою Visual C++. Вихідні дані для програми такі:

- продуктивність ділянки (об'єм вугілля, яке подається в кожний бункер);
- висота бункера;
- початкові рівні матеріалу в бункерах;
- транспортне запізнювання кожного бункера.

Вихідні дані для моделювання:

- поточні рівні матеріалу в бункерах;
- сумарна продуктивність конвеєрної лінії стосовно вивантаженого вугілля;
- об'єм вугілля на конвеєрній лінії;
- поточне раціональне значення рівня матеріалу в кожному бункері.

Далі описана технологічна схема видобутку й транспортування вугілля, що застосовується багатьма вугільними шахтами. Виймання вугілля при цьому здійснюється механізованими комплексами, до складу яких входить очисний комбайн, скребковий конвеєр і щитове механізоване кріплення.

Відбите вугілля транспортується по лаві скребковим конвеєром до збірного штреку, де перевантажується на скребковий перевантажувач, а потім на стрічковий конвеєр (збірний штрек). Вугілля зі збірного штреку по дільничних стрічкових конвеєрах надходить у дільничний накопичувальний бункер, обладнаний живильником. З дільничних бункерів за допомогою живильників вугілля подається на магістральну конвеєрну лінію, що транспортує вугілля до завантажувальних пристроїв ствола.

У вугільних шахтах гірнича маса потрапляє на дільничні конвеєрні лінії, як правило, тільки з однієї лави. Отже, для керування вантажопотоком дільничних конвеєрів досить синхронізувати час роботи дільничних конвеєрів з роботою лави.

При такій структурі конвеєрної мережі для дослідження можливості керування вантажопотоками варто лише змодельовати ділянки магістральної конвеєрної лінії разом з роботою бункерів і живильників. Як було зазначено вище, раціональним буде налаштувати кожний живильник на максимальну продуктивність конвеєра, тобто щоб не було недовантаження конвеєрної лінії через зупинку однієї з лав або через відсутність матеріалу в бункері. Додатковою умовою для вмикання живильника буде наявність під ним вільного простору на конвеєрі.

Крім цього, при пуску системи для всіх бункерів обчислювався раціональний рівень матеріалу, що враховувався при двопозиційному керуванні.

Бункери обладнані хитними живильниками типу ПКЛ-12.

Магістральна лінія складається з шести конвеєрів і чотирьох накопичувальних бункерів з живильниками. Кожний бункер у конвеєрній мережі характеризується певним навантаженням, об'ємом та транспортним запізнюванням до першого бункера.

Моделювання проводилося при завантаженні лінії на 100 % з урахуванням технічної продуктивності ділянок. Вивантаження вугілля з бункерів здійснювалося почерговим вмиканням живильників на 10 хвилин. Результати моделювання показані на рис. 4.26.

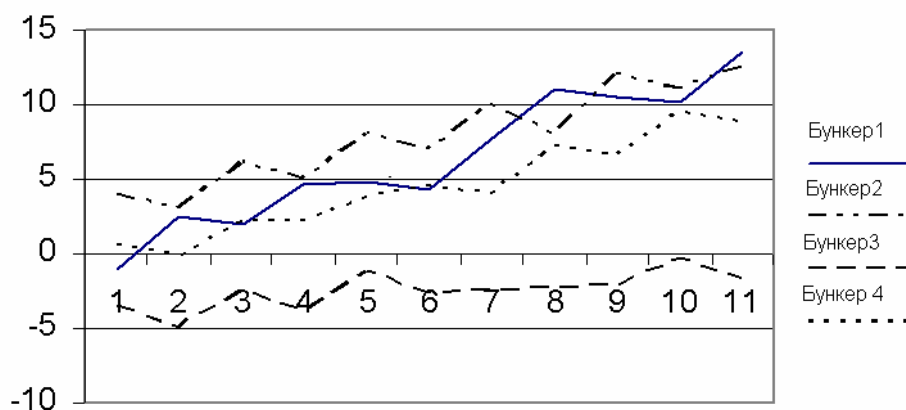


Рис. 4.26. Графік зміни різниці поточних і раціональних рівнів матеріалу в бункерах

Як видно із графіка, хоча сумарна продуктивність комплексів і дорівнює одиниці, відбувається зростання рівня матеріалу в бункерах. Це пов'язано з нераціональним використанням конвеєрного простору при розвантаженні бункерів, зокрема, при перерозподілі вантажопотоку між бункерами.

#### 4.13. Дослідження можливостей закону керування на комп'ютерній моделі дільничними накопичувальними бункерами

Перевірка можливостей закону регулювання виконувалася на підставі даних шахти «Глибока». Вона складається з декількох програмних блоків. графічних оболонок уведення технологічних параметрів та візуалізації й керування, а також логічного або обчислювального модуля, який формує команди керування живильниками. На рис. 4.27 наведено графічний інтерфейс уведення технологічних параметрів.

За його допомогою можна встановити такі параметри: початкові рівні матеріалу в бункерах; транспортне запізнювання між бункерами; продуктивність ділянок, що подають вугілля в бункер; крок автоматичної роботи моделі без підтвердження. Тут же знаходяться кнопки переходу в режим моделювання й виходу з програми.

Транспортне запізнювання, хв.		Початковий рівень в бункері, м		Продуктивність лав	
1 бункер	10	1 бункер	18	1 бункер	1.1
2 бункер	20	2 бункер	24	2 бункер	0.8
3 бункер	10	3 бункер	17	3 бункер	1
4 бункер	0	4 бункер	20	4 бункер	0.9

Додаткові параметри	
Час виконання	20 хв.
Об'єм бункера	314 м <sup>3</sup>

Старт Вихід

Рис. 4.27. Графічний інтерфейс уведення технологічних параметрів

На рис. 4.28 подано вікно відображення результатів моделювання, у якому показано розподіл бункерів відповідно до заданих параметрів, а також рух пакетів вугілля від живильників по конвеєрній мережі. Один крок руху вантажу відповідає 30 с. Біля кожного конвеєра наведено поточне значення рівня матеріалу в бункері. Крім цього, зазначено індикатори пакетів, відвантажених у загальношахтний бункер, а також кількість пакетів на конвеєрі. У цьому ж вікні є кнопки підтвердження чергового кроку й кнопка повернення в інтерфейс уведення технологічних параметрів.

При дослідженні алгоритму керування контролювалися й заносилися в таблицю такі дані: поточне значення рівнів матеріалу в бункерах через кожні 30 хвилин; розрахункові раціональні рівні матеріалу в кожному бункері; відхилення поточного значення рівнів від раціональних. Дослідження

проводилися при трьох значеннях продуктивності ділянок 0,75, 1,0. Результати моделювання відображено у вигляді графіків рис. 4.29, 4.30.

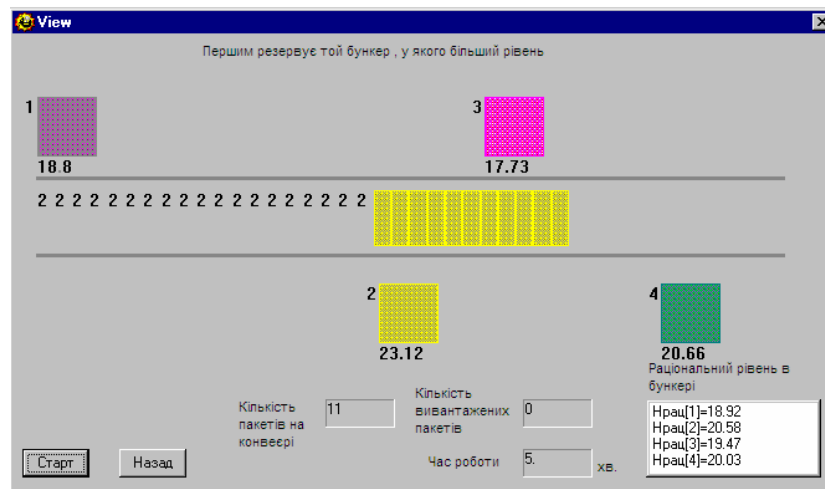


Рис. 4.28. Вікно відображення результатів моделювання

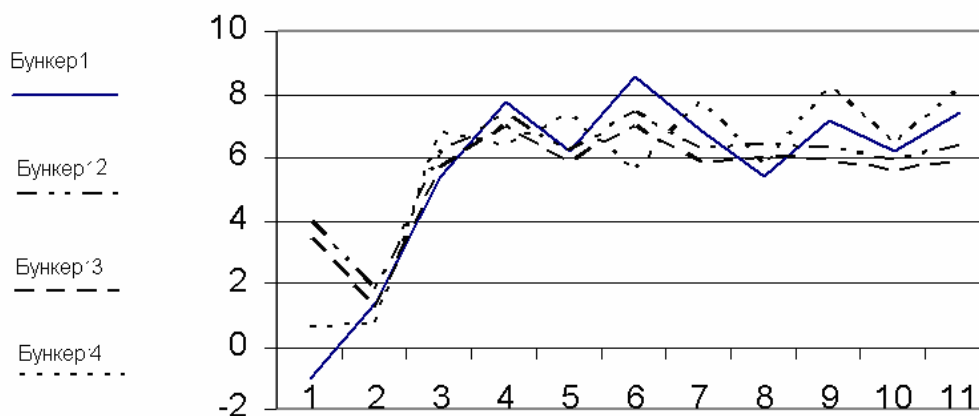


Рис. 4.29. Графік зміни різниці поточних і раціональних рівнів матеріалу в бункерах при сумарному навантаженні 0,75

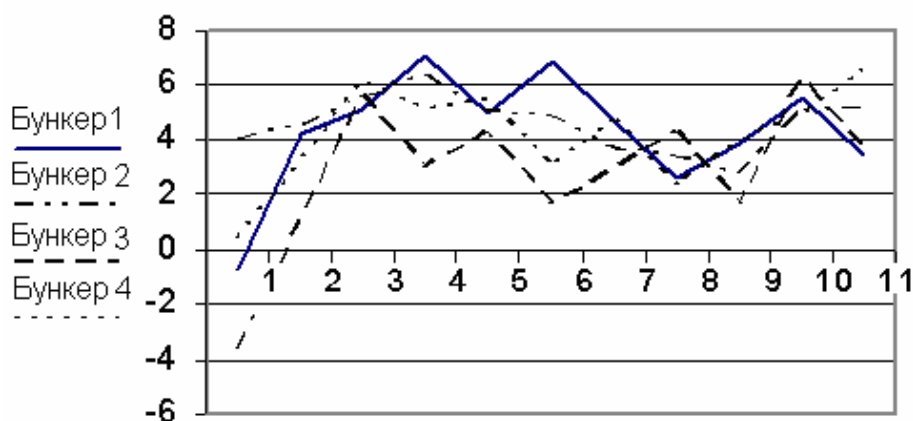


Рис. 4.30. Графік зміни різниці поточних і раціональних рівнів матеріалу в бункерах при сумарному навантаженні 1,0

Аналіз графіків показує, що коли сумарна продуктивність ділянок менша від продуктивності конвеєрної лінії, на яку здійснюється вивантаження, спостерігається зниження рівня матеріалу в бункерах, що зумовлює чіткий вихід рівнів усіх бункерів на розрахунковий раціональний. Подальші коливання рівнів відбуваються біля кордону значення одного пакета вивантаження і раціональним рівнем.

У випадку, коли сумарна продуктивність ділянок дорівнює продуктивності конвеєра, на який здійснюється вивантаження, рівень матеріалу залишається стабільним у допустимих діапазонах коливання. Невелике зниження загального рівня пояснюється накопичувальною дією конвеєрних ділянок, які розташовані між бункерами.

#### **4.14. Керування вантажопотоками вугільних шахт при регульованому приводі конвеєрних установок і приводів живильників бункерів**

Для узгодження продуктивності конвеєрних установок і вантажопотоків останнім часом все частіше застосовуються частотні перетворювачі, за допомогою яких регулюється швидкість приводу стрічкових і скребкових конвеєрів. При застосуванні частотного перетворювача можна розтягнути час запуску до декількох хвилин, практично прибравши динамічне навантаження, що виникає при пуску. В цьому випадку є такі позитивні результати:

- точний контроль швидкості й моменту на валу електродвигуна;
- експлуатація конвеєра в різних швидкісних режимах, м/с:
  - 0,5 – 1 – ремонт;
  - 2 – 2,5 – людський;
  - 3,15 – 5 – вантажний;
- спрощена механічна конструкція приводу (немає гідромуфти, привід компактніше і легше);
- збільшення ККД приводу до 95% (при традиційному компонуванні ККД < 85%) за рахунок того, що немає втрат електроенергії в електроприводі при застосуванні перетворювачів частоти, тому споживана енергія тільки активна ( $\cos\phi \sim 1$ ), проте використання редукторів з високим ККД можливе тільки за рахунок застосування енергозбережних технологій, щоб зменшити витрати електроенергії на 10 – 15% не змінюючи швидкість стрічкового полотна;
- можливість застосування стрічки з меншим розривним зусиллям і як наслідок зменшення ціни і натягу стрічки;
- значна економія електроенергії;
- знижені габарити і вага конструкції приводів;
- можливість реверсування.

Питома витрата електроенергії – показник, який визначається як відношення загальної кількості витраченої електроенергії (кВт·год) до кількості виробленої продукції даного виду (т). Стосовно конвеєрного

транспорту це відношення загальної кількості витраченої електроенергії до маси переміщеного вантажу на один кілометр кВт · год/т · км.

Витрату електроенергії магістрального стрічкового конвеєра залежно від режимів функціонування приводу визначаємо з урахуванням технологічних особливостей стрічкового конвеєра.

Тяговий розрахунок конвеєра виконують за формулою

$$F_{повн} = F_{1-2} + F_{3-4} = lg(q_{ван} + q_{стр})(c'\omega \cos \beta + \sin \beta) + lgq'_p \omega + \\ + lgq_{стр}(c'\omega \cos \beta - \sin \beta) + lgq''_p \omega = \underbrace{lgq_{ван}(c'\omega \cos \beta + \sin \beta)}_{\text{транспортуювання вантажу}} + \underbrace{+ 2lgq_{стр}c'\omega \cos \beta + lg\omega(q'_p + q''_p)}_{\text{транспортуювання частин конвеєра}} = F_{ван} + F_{xx}, \quad (4.13)$$

де  $q''_p, q'_p, q_{стр}$  – погонна маса нижніх, верхніх роликкоопор і стрічки, т/км;  $c'$  – коефіцієнт, що враховує додатковий опір;  $\omega$  – коефіцієнт опору подовжньому руху конвеєра;  $\beta$  – кут установлення конвеєра, град;  $F_{повн}$  – сила, необхідна для переміщення конвеєра з вантажем, Н;  $F_{1-2}, F_{3-4}$  – сили, необхідні для переміщення нижньої та верхньої гілок відповідно, Н;  $F_{ван}$  – сила, необхідна для транспортування вантажу на стрічці, Н;  $F_{xx}$  – сила, необхідна для переміщення частин самого конвеєра, Н.

Для допустимих кутів установлення  $-18^\circ \dots +18^\circ \cos \beta$  змінюється в межах 0,95 ... 1, що з точністю в 5% (для інженерних розрахунків це достатньо) можна вважати незмінною величиною. З урахуванням цього

$$F_{xx} = 2lgq_{л}c'\omega + lg\omega(q'_p + q''_p), \quad (4.14)$$

$$F_{стр} = lgq_{стр}(c'\omega \cos \beta + \sin \beta). \quad (4.15)$$

Виходячи з рівностей (4.14) і (4.15), можна зробити висновок, що зусилля, необхідне для переміщення рухомих частин конвеєра без вантажу, яке вважаємо холостим ходом конвеєра, не залежить від кута установлення.

Енергію, необхідну для переміщення відповідно рухомих частин конвеєра і вантажу, можна визначити за формулами:

$$W_{xx} = \frac{F_{xx}vt}{\eta}, \quad (4.16)$$

$$W_{ван} = \frac{F_{ван}vt}{\eta}, \quad (4.17)$$

де  $v$  – швидкість руху стрічки конвеєра, м/с;  $t$  – період визначення енергії  $W_{ван}$  і  $W_{xx}$ , с;  $\eta$  – ККД приводу.

За час  $t$  конвеєр транспортує масу, яку розраховують так:

$$Q_{num} = lq_{ван} tv, \quad (4.18)$$

де  $l$  – довжина конвеєра, м;  $v$  – швидкість руху стрічки, м/с;  $q_{ван}$  – погонна маса вантажу, т/км.

Питомі енерговитрати на транспортування вантажу і рухомих частин для стрічкового конвеєра визначаються як

$$w_{num} = (W_{ван} + W_{xx}) / Q_{num}.$$

Знайдемо питомі енерговитрати на транспортування самого вантажу без рухомих частин конвеєра, розділивши  $W_{ван}$  на  $Q_{num}$ :

$$w_{num} = W_{ван} / Q_{num}. \quad (4.19)$$

$$\begin{aligned} w_{num} &= \frac{F_{num} vt}{\eta} / Q_{num} = \frac{lgq_{num}(c'\omega \cos \beta + \sin \beta)vt}{\eta} / (lq_{ван} vt) = \\ &= \frac{g(c'\omega \cos \beta + \sin \beta)}{3,6\eta}. \end{aligned} \quad (4.20)$$

З (4.20) випливає, що питомі енерговитрати на транспортування вантажу без рухомих частин не залежать від швидкості руху стрічки, а витрати енергії, необхідної для пересування рухомих частин конвеєра, прямо пропорційні швидкості руху стрічки конвеєра. Таким чином, знижуючи швидкість стрічки конвеєра, можна знизити його споживану потужність. Обмеженням на зниження швидкості конвеєра є допустиме погонне навантаження на стрічку. Це означає, що зниження швидкості доцільно лише тоді, коли вантажопотік менший за номінальний, а споживана потужність знижується тільки при зниженні потужності холостого ходу конвеєра та швидкості стрічки. Конвеєр на холостому ходу при номінальній швидкості стрічки споживає від 38 до 44% від номінальної потужності конвеєра, тому регулювання швидкості стрічки забезпечує номінальне погонне навантаження і приводить до суттєвої економії електроенергії. На рис. 4.31 наведено порівняльні значення споживаної потужності конвеєром при різному завантаженні з регулюванням швидкості руху стрічки та без нього.

З рисунку видно, що при 100%-вому завантаженні конвеєра застосування частотного приводу не дає економії електроенергії, але в міру зниження значення вантажопотоку економія стає все відчутнішою.

На рис. 4.32 показаний приклад спрощеного розрахунку економії електроенергії з використанням частотного приводу для регулювання швидкості конвеєра. За основу розрахунку взято реальні значення: максимальна продуктивність конвеєра 1300 т/год і середнє значення вантажопотоку, що надходить на конвеєр, 400 т/год.

Характеристика 1 – це залежність споживаної конвеєром потужності від значення вантажопотоку при фіксованій швидкості, а характеристика 2 – при регульованій швидкості приводу. При заданому середньому значенні вантажопотоку середня споживана потужність знижується з 242 до 186 кВт, тобто середнє значення споживаної потужності дорівнює 56 кВт.

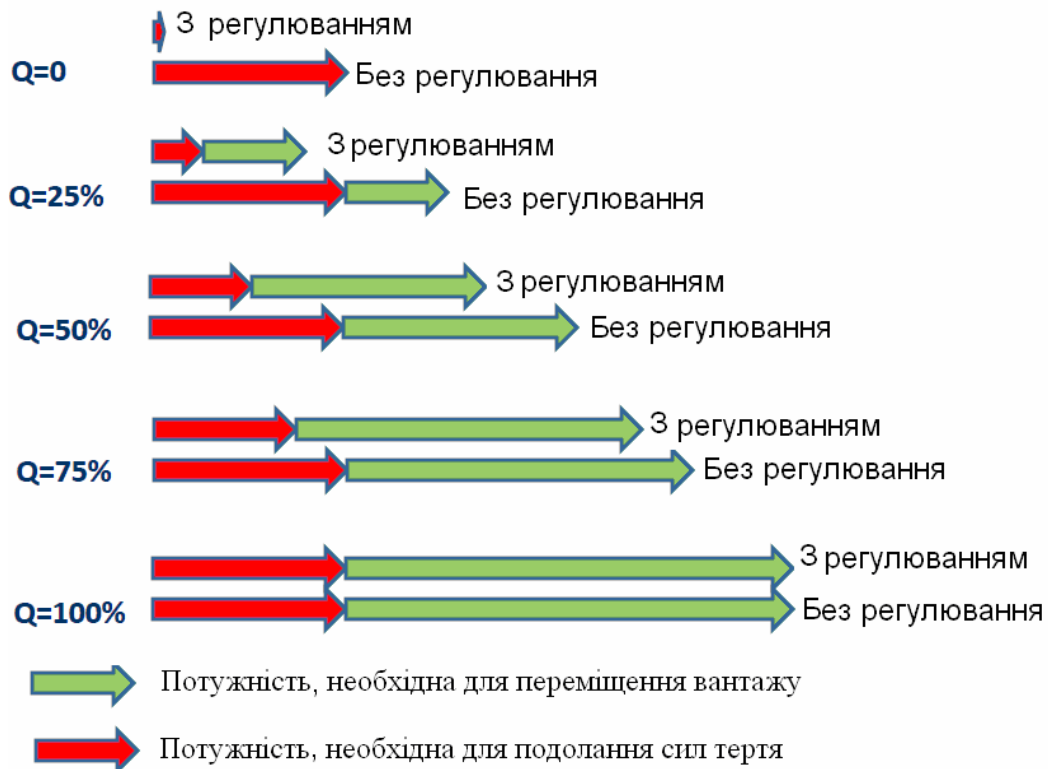


Рис. 4.31. Порівняння споживаної потужності конвеєра з регулюванням швидкості стрічки та без нього відповідно до значень максимальної розрахункової продуктивності конвеєра ( $Q$ )

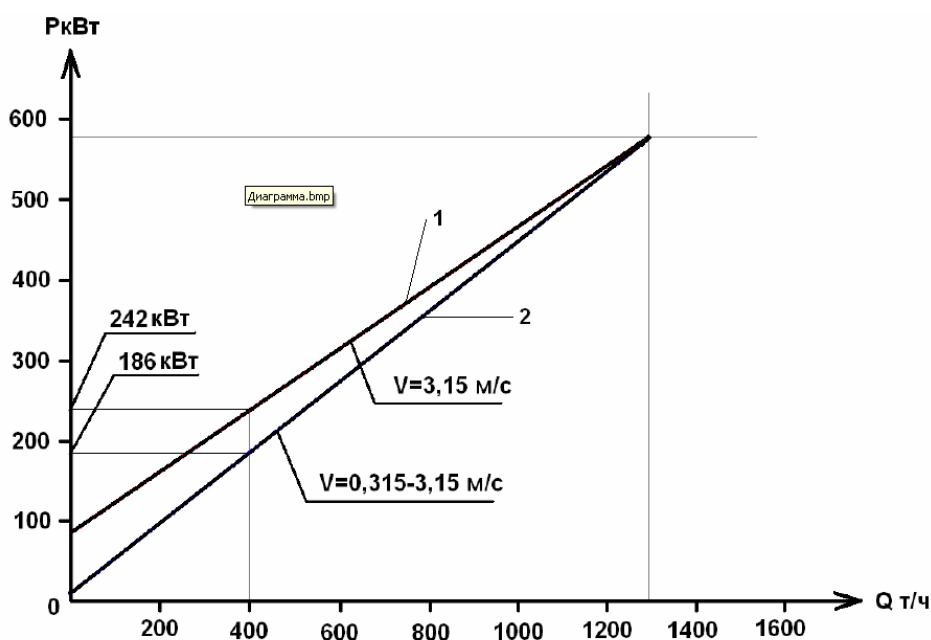


Рис. 4.32. Графічний розрахунок економії електроенергії



Таким чином, регулювання швидкості руху стрічки із застосуванням частотного приводу доцільно для узгодження продуктивності конвеєра на дільницях із значною нерівномірністю вантажопотоку, що надходить на конвеєр, при цьому питомі витрати електроенергії знижуються до 24%.

#### **4.15. Дослідження використання SCADA-систем для побудови системи керування вантажопотоками**

Розглянемо основні функції, які покладають на будь-яку SCADA-систему:

- прийняття інформації стосовно контрольованих технологічних параметрів від контролерів нижніх рівнів і датчиків;
- збереження прийнятої інформації в архівах;
- вторинна обробка прийнятої інформації;
- графічне зображення ходу технологічного процесу, а також прийнятої та архівної інформації в зручній для сприйняття формі;
- прийняття команд оператора й передача їх на адресу контролерів нижніх рівнів і виконавчих механізмів;
- реєстрація подій, пов'язаних з контрольованим технологічним процесом і діями персоналу, відповідального за експлуатацію й обслуговування системи;
- оповіщення експлуатаційного й обслуговувального персоналу про виявлення передумов, що можуть спричинити аварії, пов'язаних з контрольованим технологічним процесом і функціонуванням програмно-апаратних засобів АСУТП, а також з реєстрацією дій персоналу в аварійних ситуаціях;
- формування зведень та інших звітних документів на основі архівної інформації;
- обмін інформацією з автоматизованою системою керування підприємством (або, як її прийнято називати зараз, комплексною інформаційною системою);
- безпосереднє автоматичне керування технологічним процесом відповідно до заданого алгоритму.

Крім цього, до складу SCADA-систем входить інструмент розробки й підтримки програмного забезпечення, за допомогою якого реалізуються ці функції.

Для аналізу можливості застосування SCADA-систем при розробці системи автоматичного керування вантажопотоками розглянемо приклад використання системи TRACE MODE.

TRACE MODE 5 створена в архітектурі клієнт-сервер і базується на новітній розподіленій загальній моделі об'єктів DCOM, що лежить в основі Windows NT. Зв'язок між модулями TRACE MODE з контролерами, незалежними додатками, базами даних здійснюється через стандартні інтерфейси: DCOM, OPC, DDE, SQL/ODBC (рис. 4.33). Тому окремі модулі системи легко сполучаються між собою, а АСУТП на базі TRACE MODE легко підтримувати, розвивати й інтегрувати в корпоративні інформаційні системи. TRACE MODE складається з

інструментальної системи й виконавчих (run-time) модулів. За допомогою інструментальної системи здійснюється розробка всіх проектів, створюваних в TRACE MODE. Інструментальна система містить у собі три редактори:

- бази каналів;
- бази даних;
- шаблонів.

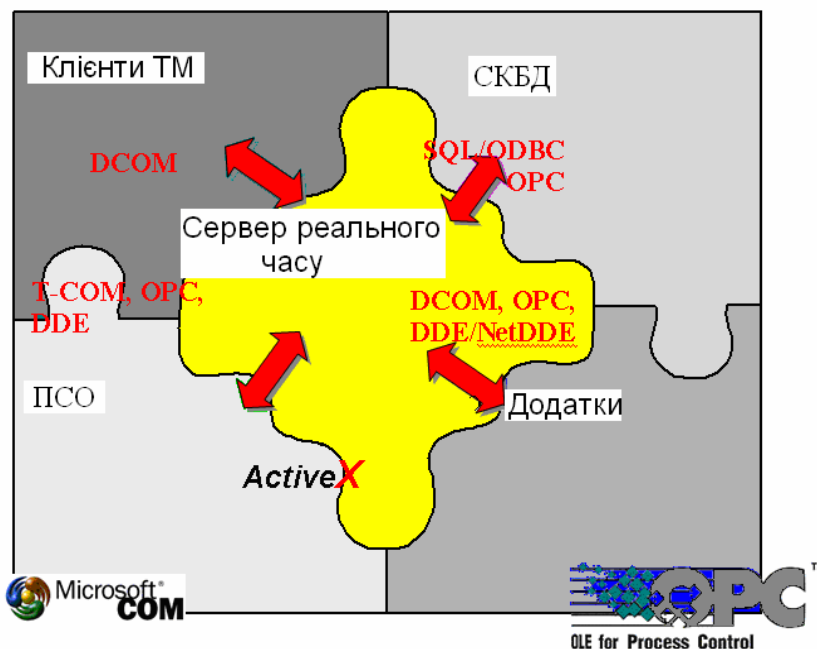


Рис. 4.33. Системна архітектура TRACE MODE

У редакторі бази каналів створюється математична основа системи керування: описуються конфігурації всіх робочих станцій, контролерів і пристроїв спряження з об'єктами (ПСО), що використовуються у системі керування, настраюються інформаційні потоки між ними. Тут же описуються вхідні й вихідні сигнали та їхній зв'язок із пристроями збору даних і керування. У цьому редакторі задаються періоди опитування або формування сигналів, настраюються закони первинної обробки й керування, технологічні межі, структура математичної обробки даних. Установлюється також, які дані та за яких умов можна зберігати в різних архівах, що лежить в основі Windows NT, зв'язок між модулями TRACE MODE та настраюється мережевий обмін.

Крім того, у цьому редакторі описуються задачі керування архівами, документуванням, корекції тимчасових характеристик системи керування (періоди опитування параметрів, тривалість циклу системи та ін.), а також вирішуються деякі інші завдання.

У редакторі подання даних розробляється графічна частина проекту системи керування. При цьому створюється статичне зображення технологічного об'єкта, а потім поверх нього розміщуються динамічні форми відображення й керування, наприклад, поля висновку числових значень, графіки, гістограми, кнопки, області введення значень і переходу до інших графічних фрагментів і т. д.

Усі форми відображення інформації, керування й анімаційні ефекти зв'язуються з інформаційною структурою, розробленою в редакторі бази каналів.

Для розробки шаблонів документів в інструментальну систему входить спеціальний редактор, тобто редактор шаблонів.

Виконавчі модулі служать для запуску в реальному часі проектів, розроблених в інструментальній системі TRACE MODE. Залежно від їхньої ролі в розподіленій АСУТП, TRACE MODE run-time системи мають різні функції.

Монітор реального часу (МРЧ). Цей монітор призначений для запуску на автоматизованих робочих місцях (АРМ) операторів, за допомогою яких здійснюється супервізорний контроль і керування технологічними процесами. Монітор реального часу дає команду на виконання таких завдань:

- запит даних про стан технологічного процесу з контролерів нижнього рівня за кожним із вбудованих протоколів або через драйвер;
- передача на нижній рівень команд керування за кожним із вбудованих протоколів або через драйвер;
- обмін даними із платами ПСО;
- керування сервером документування;
- збереження даних в архівах;
- обмін по мережі з віддаленим МРЧ;
- обмін у лініях, що комутовуються з віддаленим МРЧ;
- передача даних по мережі на наступний рівень АСУ;
- подання операторові графічної інформації про стан технологічного процесу;
- автоматичне й супервізорне керування технологічним процесом;
- обмін даними з іншими додатками WINDOWS через OPC, DDE/NetDDE;
- обмін з базами даних через ODBC та інші функції.

Мікромонітор реального часу (мікроМРЧ). МікроМРЧ призначений для керування завданнями збору даних і керування в контролерах нижнього рівня АСУТП. Він може бути використаний у будь-яких сумісних IBM-контролерах.

Мережева робоча станція (NetLink МРЧ). NetLink МРЧ може застосовуватися тільки в складі систем керування, де обмін даними між вузлами системи здійснюється в локальній мережі. Цей монітор не підтримує обмін даними з контролерами в послідовних портах і через драйвер.

За допомогою NetLink МРЧ виконуються такі завдання:

- запит даних про стан технологічного процесу у віддалених моніторів TRACE MODE по мережі;
- передача команд керування по мережі на нижній рівень;
- збереження даних в архівах;
- керування сервером документування;
- передача даних по мережі на наступний рівень АСУ;
- передача операторові графічної інформації про стан технологічного процесу;
- автоматичне й супервізорне керування технологічним процесом;
- обмін даними з іншими додатками WINDOWS через DDE/NetDDE;

- обмін з базами даних через ODBC.

Для перегляду архівів TRACE MODE у повнографічному режимі та з використанням технології playback призначений спеціальний монітор виконавчої системи. Цей монітор називається SUPERVISOR. Він є спеціалізованою графічною консоллю, що може бути приєднана до сервера математичної обробки МРЧ, NetLink МРЧ або до глобального реєстратора.

Глобальний архів РЕЄСТРАТОР – це сховище даних. У ньому фіксуються значення технологічних параметрів при їхній зміні. У рамках проекту може підтримуватися тільки один такий архів.

NetLink Light. Даний монітор дозволяє створювати додаткові робочі місця операторів. Він не підтримує функцій обробки даних і автоматичного керування. Цей монітор є додатковою графічною консоллю, що може бути приєднана з віддаленого комп'ютера до запущеного МРЧ.

У TRACE MODE для створення документів використовується спеціальний модуль – сервер документування. За командою МРЧ, за власним сценарієм або за командою оператора модуль інтерпретує створені заздалегідь шаблони, запитує в МРЧ необхідні дані й формує відповідно до них готові документи.

Структурна схема систем, побудованих на базі TRACE MODE, наведена на рис. 4.34.

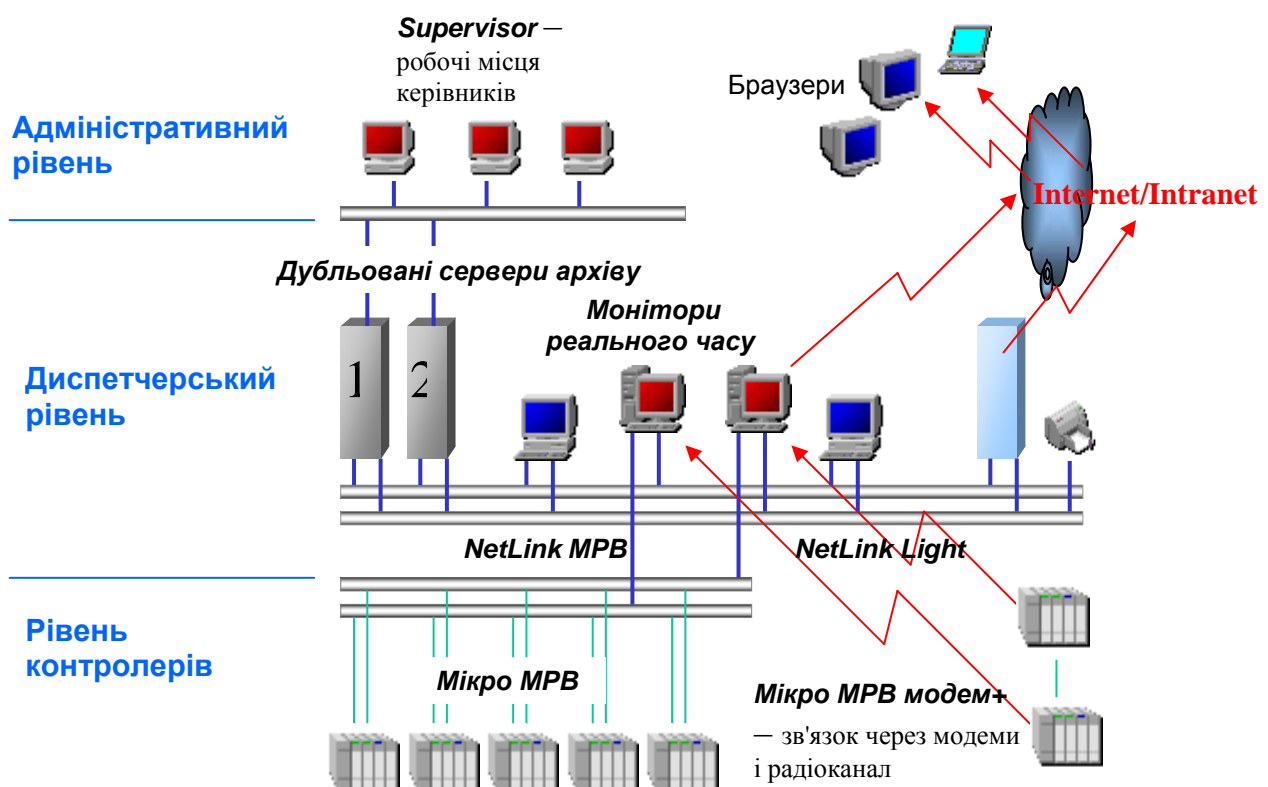


Рис. 4.34. Структурна схема АСУТП, побудована на базі TRACE MODE

У системі TRACE MODE відбувається обмін інформацією із системи керування базами даних (СКБД) щодо рівня керування підприємством,

розробка робочих місць керівників цехів і ділянок, створення АРМ диспетчерів і операторів, прийняття даних і керування технологічними процесами.

Обмін даними й керування в TRACE MODE здійснюється на двох рівнях: обробка даних у каналі (з певним рівнем обробки) і керування у відповідних програмах, написаних однією з технологічних мов.

Канал – це базове поняття системи. Використовувані методи обробки даних у каналі та їхня послідовність залежать від типу й виду подання каналу.

До складу TRACE MODE входять дві технологічні мови: ТехноFBD і ТехноIL.

Мова ТехноFBD – це візуальна мова програмування алгоритмів. Програма, створена у межах цієї мови, називається FBD-програмою. Програма мовою ТехноFBD розробляється шляхом розміщення функціональних блоків у полі редагування. Після розміщення блока здійснюється налаштування його входів і виходів. Якщо це потрібно, входи й виходи різних функціональних блоків можуть зв'язуватися між собою. Так створюється діаграма з блоків, що виконують необхідний алгоритм.

Мова інструкцій ТехноIL – це текстова мова TRACE MODE для розробки програм, що виконують функції обробки даних і керування. ТехноIL – це розширений варіант IL-мови міжнародного стандарту ІЕС 1131-3.

Розглянемо можливість застосування TRACE MODE для побудови системи керування вантажопотоками гірничих підприємств. Система буде складатися з двох рівнів – диспетчерського та рівня контролерів.

На диспетчерський рівень будуть покладені такі завдання:

- відпрацювання алгоритму керування вантажопотоком;
- візуалізація роботи системи керування вантажопотоками;
- завдання початкових значень уставок для алгоритму керування;
- переконфігурування зв'язків відповідно до змін технології видобутку й транспортування корисних копалин.

Крім цього, логічним є використання диспетчерського рівня для дистанційного або автоматизованого керування конвеєрним транспортом.

Зв'язок між контролерами нижнього рівня й диспетчерського установлюють за допомогою монітора реального часу. Така структура системи керування вимагає застосування в ролі контролів нижнього рівня сумісних РС-контролерів не тільки для керування вантажопотоками, але й для керування конвеєрними установками.

Дослідження свідчать, що в наш час не існує сумісних РС-контролерів, сертифікованих на Україні для роботи в підземних умовах шахт, небезпечних по газу і пилу. Крім цього, мови FBD та IL погано адаптовані для вирішення завдань керування з використанням імітаційних моделей.

### **Контрольні питання**

1. Які технологічні завдання вирішуються за допомогою шахтного конвеєрного транспорту?
2. Що таке конвеєрна лінія і які механізми входять до її складу?
3. Які основні вимоги висуваються до автоматизації конвеєрних ліній?
4. Яка різниця між автоматизованим і автоматичним режимами керування конвеєрною лінією?
5. Які різновиди стрічкових конвеєрів і для яких завдань використовуються на гірничих підприємствах?
6. Пристрій стрічкового конвеєра й призначення його складових частин.
7. Особливості роботи конвеєрів з багатодвигунним приводом.
8. Які вимоги висуваються до керування конвеєром та його безпечної роботи?
9. Які засоби контролю використовуються при автоматизації стрічкових конвеєрів?
10. Вимоги контролю швидкісних характеристик стрічкового конвеєра.
11. Розкрити принцип роботи тахогенераторного датчика типу ДУС.
12. Розказати про принцип роботи магнітоіндукційного датчика типу ДМ-2М.
13. Спосіб виміру швидкості стрічки конвеєра з використанням частотної характеристики датчика швидкості.
14. Розкрити принцип роботи магнітокерованого герметичного контакту (геркона).
15. Які способи керування герконом використовуються в аварійних і кінцевих вимикачах?
16. Призначення вимикачів КТВ-2 і КСЛ-2.
17. Як використовують вимикачі ВДШ-1, ВДШ-2, ВДШ-3?
18. Призначення й використання вимикачів ВДШ-4 і ВДШ-2.
19. Пояснити принцип побудови графа керування конвеєром.
20. Які змінні є аргументами логічних функцій у графові керування конвеєром?
21. Як визначають стан графа?
22. Призначення й структура апаратури АУК.1М.
23. Розкрити принцип роботи блока керування апаратури АУК.1М.
24. Призначення й основні функції системи САУКЛ.
25. На якому принципі працює лінія зв'язку САУКЛ?
26. Призначення та функції, які виконують лінійні модулі.
27. Модуль заштибування й сирени. Призначення й виконувані функції.
28. Розкрити призначення пульта керування САУКЛ і виконувані їм функції.

## 5. АВТОМАТИЗАЦІЯ ШАХТНИХ ВОДОВІДЛИВНИХ УСТАНОВОК

### 5.1. Шахтні водовідливні установки як об'єкти автоматизації

Шахтні водовідливні установки виконують досить відповідальне завдання – запобігають підтопленню гірничих виробок підземними водами, що є дуже серйозними вимогами, які висуваються до надійності цих установок. Якщо з будь-якої причини шахта тимчасово зупиняється, то вимикаються всі установки, і тільки водовідлив продовжує працювати, щоб не допустити затоплення шахти. Крім того, водовідлив – одна з найбільш енергоємних установок шахти (до 20% від загального електроспоживання шахти), особливо для глибоких шахт з більшим припливом води, тому дуже важливо підвищувати енергоефективність водовідливних установок.

Технологічні схеми таких установок залежать від конкретних гірничо-геологічних умов шахти й добового припливу води.

Шахтні водовідливні установки обладнаються тільки відцентровими насосами і поділяються на головні, призначені для відкачки на поверхню всього шахтного припливу води, і місцеві (дільничні, зумпфові) для перекачування води всередині шахти з окремих ділянок у загальний водозбірник.

Головні водовідливні установки відповідно до вимог правил безпеки обладнаються не менш ніж трьома насосними агрегатами, а по стволу прокладаються два нагнітальні трубопроводи. Насоси і нагнітальні трубопроводи вмикаються по черзі, при цьому кожний з них розрахований на відкачку нормального добового припливу. При підвищеному припливі (навесні, восени) передбачається одночасне вмикання двох насосів і трубопроводів. Кількість насосних агрегатів і нагнітальних трубопроводів місцевих водовідливних установок не регламентується й визначається виходячи з конкретних умов.

Узагальнена схема розташування встаткування водовідливної установки наведена на рис. 5.1. Кожен з насосів (1) може бути з'єднаний з головним водопроводом за допомогою вентилів (2). Головний водопровід (постав) (3) кожного з насосів оснащений вентилем (4) з ручним керуванням і засувкою (5) з електроприводом і обвідним трубопроводом з вентилем (15). Заливальний насос (6) з'єднаний з іншими насосами окремими трубопроводами (7) через усмоктувальний водозабірний трубопровід (8), на кінці якого встановлений водозабірник (9). По закінченні заливання вода з насосів по відповідним трубопроводам (10) попадає у водозбірник. Датчик продуктивності насоса (11) встановлений на всмоктувальному трубопроводі. Закінчення заливання контролюється датчиком тиску (12). У процесі роботи насосних агрегатів спостерігають за температурою підшипників двигуна й насоса (13). Як правило, контролюється 4 значення рівня води у водозбірнику (14): нижній, верхній, підвищений і аварійний.

Робота всієї водовідливної установки – це виконання її устаткуванням певних операцій у суворій послідовності. Починають з контролю рівня води у водозбірнику. Якщо вода досягне верхнього рівня, заливається насос, після чого вмикається в мережу привідний двигун. Коли тиск у нагнітальному

патрубка наблизиться до номінального, відкривається засувка нагнітального трубопроводу. При нормальному пуску насос приймає навантаження і у нагнітальному трубопроводі встановлюється номінальний тиск – насос працює з повною продуктивністю. Під час роботи насоса контролюється рівень води у водозбірнику, а також температура підшипників і обмоток електродвигуна. При досягненні водою нижнього рівня закривається засувка в нагнітальному трубопроводі та припиняється подача живлення на привідний двигун. Насосний агрегат зупиняється.

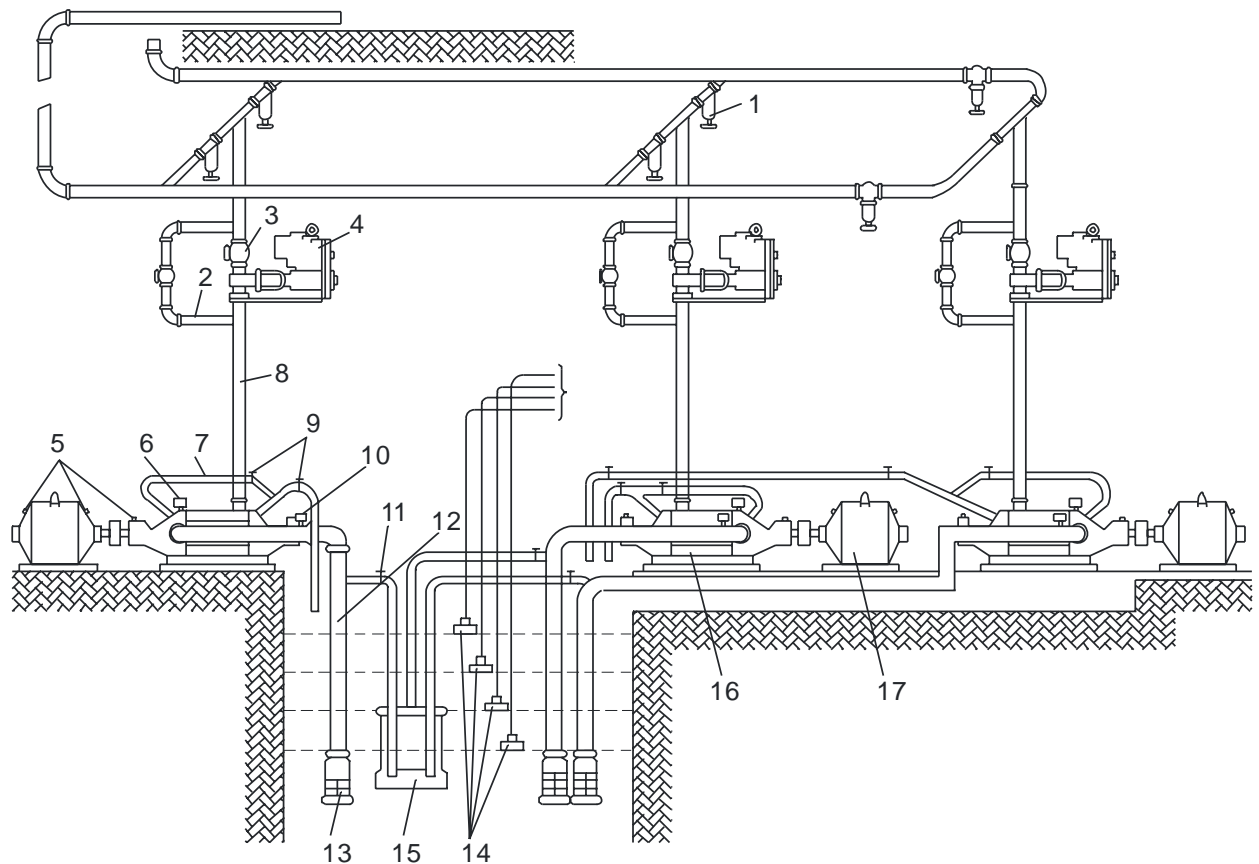


Рис. 5.1. Схема розташування встаткування водовідливної установки шахти

Якщо після вмикання привідного електродвигуна насос не розвиває номінального тиску, то засувка закривається й електродвигун вимикається і живлення від мережі не надходить, після чого проводиться запуск наступного насосного агрегату.

Коли після нормального запуску першого насоса вода у водозбірнику, продовжуючи підніматись, досягає аварійного рівня, це означає, що приплив води в шахту перевищив допустимий рівень. Після цього одразу ж запускається інший насос на другий нагнітальний трубопровід.

Якщо в працюючого насоса перегріваються підшипники або привідний електродвигун, то насосний агрегат вимикається і запускається резервний.

Аналіз технології функціонування водовідливної установки показує, що в системі керування повинно бути передбачено кілька видів керування: ручне,



дистанційне, автоматичне з місцевого пульта керування, автоматичне й автоматизоване з пульта диспетчера.

При ручному керуванні за повним завершенням операцій стежить машиніст водовідливної установки, при автоматичному – виконання цієї функції покладається на спеціальну систему автоматичного керування і контролю.

У такий спосіб завдання автоматизації процесів керування водовідливною установкою полягає в керуванні встаткуванням у суворій послідовності та у визначенні графіка роботи насосних агрегатів у позапікові моменти споживання електроенергії в енергосистемі.

## **5.2. Спеціальні пристрої для автоматизації водовідливу**

Специфічні особливості водовідливної установки не дозволяють автоматизувати її тільки за допомогою технічних засобів загальнопромислового призначення. Необхідно застосовувати спеціальні пристрої, які спроектовані й виготовлені для автоматизації водовідливу. Іноді для виконання однієї і тієї ж функції пропонувалися й застосовувалися різні пристрої, з яких поступово відбиралися найбільш досконалі. Наприклад, пристрої заливання насосів перед пуском, реле контролю заливання, датчики рівня води у водозбірнику, реле продуктивності, пристрої формування тимчасових інтервалів.

На водовідливних установках, керованих вручну, відцентрові насоси перед пуском заливаються з нагнітального трубопроводу за допомогою обвідної трубки невеликого діаметра, оснащеної вентилям і прокладеної в обхід зворотного клапана й засувки. Під час заливання цей ventиль відкривається, вода заповнює всмоктувальний трубопровід і після цього витікає через контрольний патрубок. Машиніст закриває вентиля на обвідній трубці, потім на контрольному патрубку й запускає насос.

Для автоматизації заливання на обвідну трубку й контрольний патрубок поставлені керовані вентиля з електроприводом, а на контрольний патрубок – ще й пристрій, що контролює появу в ньому води.

Однак такий спосіб автоматизації заливання через ненадійну роботу зворотного клапана в усмоктувальному трубопроводі, який перебуває в сильно забрудненій воді, поширення не одержав. На сідло клапана попадає бруд (іноді сторонні предмети), але тиск, що діє на клапан, не досягає і десяти метрів водяного стовпа, отже, він не в змозі видавити забруднення. Клапан починає пропускати воду, і насос у цей час заливати неможливо. Машиніст виявляє таке відразу, проте при автоматизації це зробити вже складніше і справа часто закінчується тим, що з нагнітального трубопроводу витікає вся вода й заливати насоси вже нема чим. Так створювалася аварійна ситуація.

Широке розповсюдження одержав спосіб заливання допоміжним занурювальним насосом типу ЗДН, який розміщується в приймальному колодязі трохи нижче нижнього рівня води, що унеможливорює підсмоктування повітря головним насосом через систему заливання. Занурювальний насос має три нагнітальні патрубки, які з'єднуються з усмоктувальними трубопроводами головних насосів і в такий спосіб щораз заливаються всі три насоси. Усмоктувальні трубопроводи в цьому випадку забезпечуються зворотними

клапанами. Електродвигун занурювального насоса теж водозанурювальний, водонепроникний або розташовується над приймальним колодязем і з'єднується з насосом довгим вертикальним валом.

Пропонувалися й інші способи заливання насосів: сифонний – з водозбірника, який розташований вище горизонту; заглибленням насосної камери, коли насоси розміщені нижче рівня води у водозбірнику й увесь час перебувають у залитому стані, а також із протипожежного постава. Однак ці способи застосовувалися не часто.

Для контролю заливання насосів використовуються спеціальні поршневі або мембранні реле, які встановлюються на штуцері, привареному в нагнітальному трубопроводі поблизу насоса до зворотного клапана. По закінченні заливання в реле надходить вода, піднімає поршень або мембрану, які впливають на контактну систему, замикаючи й розмикаючи контакти в колі керування. У випадку застосування мембранного реле для контролю заливання потрібно мати керований клапан, за допомогою якого буде випускатися повітря під час заливання насоса.

Продуктивність насоса при нормальній роботі контролює струминне реле. З декількох запропонованих раніше конструкцій випробування часом витримало струминне прапорове реле типу РПФВ. Воно складається із прапорця, розташованого всередині всмоктувального трубопроводу на горизонтальній ділянці. Під дією динамічного напору води прапорець, долаючи натяг пружини, повертається й за допомогою важільної передачі впливає на контакти.

Для контролю рівня води у водозбірнику були запропоновані реле рівня поплавкові, пневматичні, електродні. Нині широко застосовуються електродні датчики типу ЕД, які контролюють опір кола електрод – вода – земля.

Електродний датчик складається зі сталевого диска, який футерований свинцем для запобігання корозії, склянки, усередині якої встановлюється контактна шпилька. До склянки з наріззю кріпиться ввідний кабель. Після приєднання струмопровідної жили кабелю до контактної шпильки склянка заливається кабельною масою для герметизації місця з'єднання й оброблення кабелю. Датчик підвішується на кабелі в приймальному колодязі на необхідній висоті.

На головних водовідливних установках у колодязі звичайно встановлюється 4 електродних датчики, що контролюють нижній, верхній, підвищений і аварійний рівні. Кола контролю рівня води – іскробезпечні. Коли датчик занурений у воду, відповідне коло замикається, опір електрод – земля стає близьким до нуля. Коли датчик виходить із зіткнення з водою, коло розмикається, опір датчик – земля перевищує 5 кОм.

### **5.3. Структурна схема й алгоритм керування насосним агрегатом**

При ручному керуванні машиніст водовідливу візуально аналізує стан рівня води у водозбірнику, дистанційно вмикає заливальний насос, візуально оцінює процес заливання по руху води, що подається з відвідних трубопроводів (час заливання 3 – 5 хв). Потім дистанційно вмикає КРУВ6 і на головний двигун насоса подається напруга живлення (час вмикання головного двигуна до 60 с). Після набору нормальної продуктивності (до 160 с) машиніст вручну відкриває вентиль на обвідному трубопроводі (рис. 5.1). При дистанційному

керуванні машиніст з пульта місцевого керування вмикає двигуни заливального і головного насосів та засувки.

Виходячи з вищерозглянутої структурної схеми керування насосним агрегатом (НА) можна зобразити у вигляді, показаному на рис. 5.2.

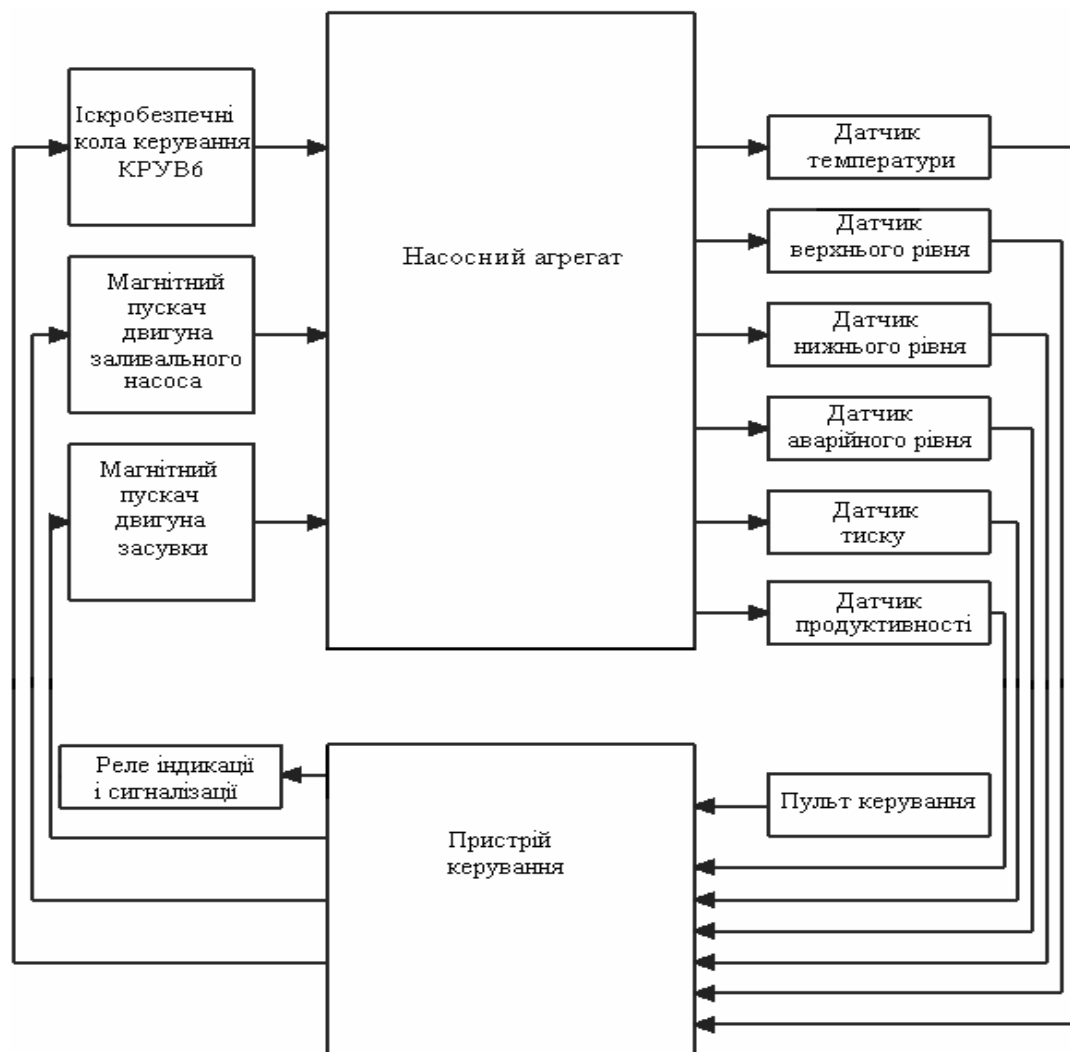


Рис. 5.2. Структурна схема системи автоматизації насосного агрегату

В автоматичному режимі всі операції керування здійснюються системою автоматизації. Після сигналу з датчика верхнього рівня вмикається заливальний насос. Закінчення заливання головного насоса фіксується датчиком тиску. Після чого вмикається КРУВ6 і запускається головний насос, який починає відкачувати воду. Робота насоса контролюється датчиком продуктивності, після набору номінальної продуктивності датчик спрацьовує і вмикається привід засувки. Насосний агрегат працює в номінальному режимі. Якщо порушено режим заливання, увімкнення головного двигуна, набір номінальної продуктивності, відбувається аварійне вимкнення головного насоса. Аварійне вимкнення насоса здійснюється й при перегріві підшипників. При цьому замість несправного насоса вмикається насос від датчика аварійного рівня.

При досягненні рівня води нижче датчика нижнього рівня вмикається привід засувки на закриття. По закінченні процесу закриття вимикається привід головного насоса.

Привід засувки має кінцеві вимикачі, які в кінцевих положеннях засувки вимикають її живлення. Однак для надійної роботи система автоматизації додатково контролює час відкривання засувки.

Після детального аналізу програми функціонування насосного агрегату алгоритм функціонування системи автоматизації зручно зобразити у вигляді графа станів (рис. 5.3).

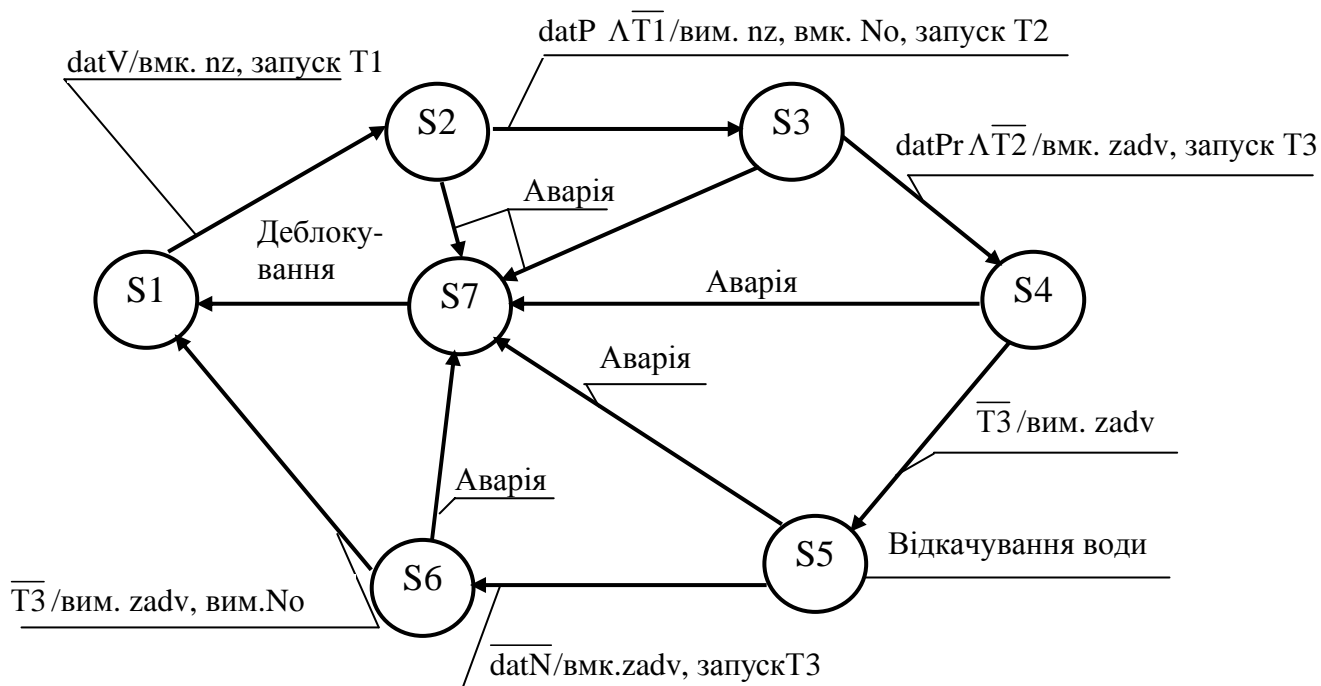


Рис. 5.3. Граф станів системи автоматизації одним НА

Для цього спочатку позначимо логічні змінні, які використовуються в процесі керування насосним агрегатом:

datP – сигнал з датчика тиску;

datV – сигнал датчика верхнього рівня;

datN – сигнал датчика нижнього рівня;

datav – сигнал датчика аварійного рівня;

datPr – сигнал з датчика продуктивності;

debl – сигнал деблокування аварійного режиму;

No – сигнал на вмикання основного насоса;

nz – сигнал на вмикання заливального насоса;

zadv – сигнал на вмикання двигуна засувки;

T1 – час, необхідний для заливання головного насоса (3 – 5 хв);

T2 – час, необхідний для набору продуктивності (160 – 180 с);

T3 – час, необхідний для відкриття або закриття засувки.

Після подачі напруги на систему автоматизації встановлюється початковий стан S1, у якому перевіряється стан датчика верхнього рівня (datV).

При спрацьовуванні  $datV$ , вмикається заливальний насос ( $nz$ ) і запускається часовий інтервал  $T1$ , необхідний для заливання головного насоса, а система переходить у стан  $S2$ .

Після створення необхідного тиску в робочих порожнинах головного насоса спрацьовує датчик тиску ( $datP$ ) і закінчується тимчасовий інтервал  $\overline{T1}$ , вимикається заливальний насос ( $zn$ ) і вмикається основний ( $No$ ), одночасно запускається часовий інтервал, необхідний для набору продуктивності основним насосом ( $T2$ ), уся система переходить у стан  $S3$ .

Після спрацьовування датчика продуктивності ( $datPr$ ) і закінчення тимчасового інтервалу ( $T2$ ) вмикається привід засувки ( $zadv$ ) і запускається часовий інтервал ( $T3$ ), необхідний для переміщення засувки із закритого стану у відкритий. Система переходить у стан  $S4$ .

По закінченні тимчасового інтервалу  $\overline{T3}$  система переходить у стан  $S5$ , який гарантує нормальну роботу НА – вода відкачується з водозбірника.

При досягненні рівня води у водозбірнику нижче нижнього рівня датчик нижнього рівня ( $datN$ ) видає сигнал у систему, при цьому вмикається привід засувки на закривання ( $zadv$ ) і запускається часовий інтервал  $T3$ . Система переходить у стан  $S6$ . Після закінчення інтервалу  $\overline{T3}$  вимикається основний насос ( $No$ ) і система переходить у початковий стан  $S1$ .

При виникненні аварійних режимів роботи в кожному зі станів система переходить в аварійний стан  $S7$  (переходи показані пунктиром). Повернення з аварійного стану  $S7$  у вихідний  $S1$  повинне відбуватися тільки згідно із сигналами машиніста водовідливу, наприклад деблокування.

Граф стану системи керування насосним агрегатом необхідний для розробки системи автоматизації, її налагодження та при монтажі, а також при перевірці функціонування насосного агрегату. Робота системи автоматизації можлива на різній елементній базі.

#### **5.4. Система керування водовідливними установками**

У даний час на шахтах України встановлена і працює модернізована, апаратура автоматизації водовідливних установок ВАВ.1М, що серійно випускається Конотопським заводом «Червоний металіст».

Один комплект апаратури призначений для автоматизації від 1 до 3 насосних агрегатів. При більшій кількості НА апаратура дозволяє стикування комплектів.

Апаратура оснащується термодатчиками ТДЛ.1М для контролю нагрівання підшипників. Датчик має релейну характеристику. Температура спрацьовування  $+70^{\circ}\text{C}$ .

Продуктивність насосів контролюється за допомогою реле продуктивності РПН.1М, що має релейну характеристику. Обтікання потоком рідини прапорця з магнітом приводить до спрацьовування геркона.

Контроль заливання головного насоса забезпечується за допомогою реле тиску РДВ.1М. Замикання контактів відбувається при  $0,03 \text{ МПа} \pm 0,01$ , рівень

води контролюється електродним датчиком ЕД.1М. Усі датчики мають виконання «РО», «Іа».

Система ВАВ.1М комплектується заливальним заглибним насосом НЗП та приводом засувки ПЗ.1М у виконанні «РВ», «ЗВ», «Іа» з іскробезпечними ланцюгами керування.

Структурна схема системи ВАВ.1М подана на рис. 5.4.

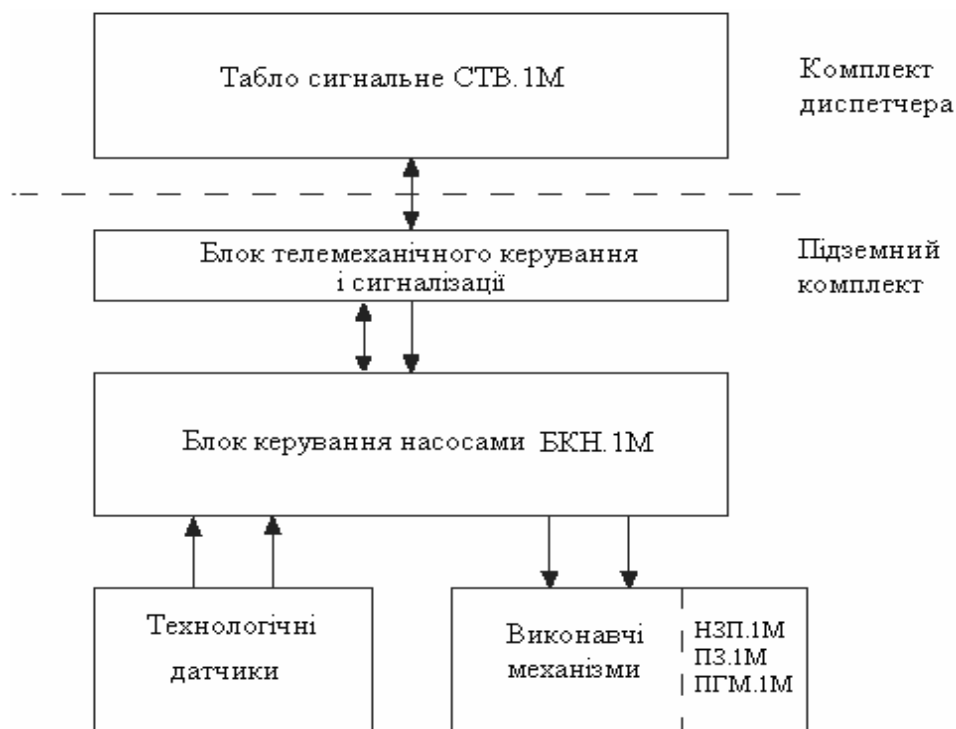


Рис. 5.4. Структурна схема системи керування ВАВ.1М

Система містить блок керування насосами БКН.1М, сигнальне табло і блок живлення. Датчики й виконавчі механізми підмикаються до блока БКН.1М, який працює за розглянутим вище графом станів системи автоматизації (рис. 5.3).

Сигнальне табло СТВ.1М установлюється в диспетчерській і виконує відображення режимів роботи НА, видів керування і графіка роботи НА з урахуванням періодів максимуму в енергомережі та обліку робочого часу за кожним НА.

Телемеханічними каналами зв'язку диспетчерові передається така інформація:

- робота пристрою керування;
- стан кожного НА;
- наявність і види несправностей на кожному НА;
- автоматична заборона вмикання НА;
- наявність аварійного рівня води у водозбірнику;
- умови, при яких можливо вмикання НА диспетчером;
- поточний час і програма роботи блока поза пікового споживання енергії;
- наявність зв'язку диспетчерського комплексу з підземним.

В основному вся інформація подана у світловому вигляді. Інформація про несправності доповнюється ще й звуковим супроводом. При аварійному вимиканні НА, крім світлової індикації, видається звукова – переривчаста високої тональності, а при аварійному рівні води у водозбірнику – безперервна низької тональності.

На передній панелі СТВ.1М наведено інформацію диспетчерові про стан водовідливної установки й елементи керування насосами «Пуск 1», «Пуск 2» і «Стоп». По кожному насосу інформація подана за допомогою світлодіодів, а саме: про нормальну роботу, несправність насоса, вид несправності, відсутність продуктивності, відсутність тиску, перегрів підшипників, заклинювання засувки або про те, що високовольтний пристрій (КРУВ6) не ввімкнений.

За відсутності зв'язку між БКН.1М і СТВ.1М загоряється світлодіод «немає зв'язку». На передній панелі також встановлено три лічильники часу роботи кожного насоса, індикатор поточного часу й клавіатура для коректування показань поточного часу.

Інформація про загальний час роботи НА й роботу блока позапікового споживання подана візуально.

Керування НА здійснює диспетчер за допомогою кнопок «Пуск» і «Стоп», при цьому реалізується автоматизоване телемеханічне керування. Більш детально робота системи ВАВ.1М описана в посібнику з експлуатації системи.

### **5.5. Підвищення енергоефективності водовідливних установок**

Підвищення енергоефективності насосного агрегату можливо при узгодженні характеристик насоса і гідравлічної мережі, а також узгодженні характеристик паралельно працюючих насосів на одну магістраль і забезпеченні режимів регульованої продуктивності.

На шахтних водовідливних установках насос працює з постійною стандартною швидкістю обертання й узгодження, як правило, здійснюється гідравлічними засобами. Найбільш простий спосіб – це регулювання продуктивності дроселюванням (засувкою), при цьому відбуваються значні втрати (до 40%). При проектуванні шахтні насосні агрегати вибираються з більшим запасом відносно напору й розраховуються на максимальний режим витрат. У цьому випадку реальна робоча зона не збігається із зоною оптимального ККД насоса. Тому на практиці високий рівень ККД шахтних насосів не використовується. Крім того, в процесі роботи НА відбувається налипання на стінки трубопроводів твердих речовин, які втримуються в шахтній воді, при цьому внутрішній діаметр постава зменшується, що призводить до неузгодженості характеристик насоса й гідромагістралі і, як наслідок, до підвищення питомих енерговитрат.

Відомо, що протягом доби в енергосистемі є ранковий (з 8 до 11.00 години) і вечірній (з 18 до 22.00 години) максимуми споживання.

На більшості вугільних шахт головні водовідливні установки працюють уже багато років. Апаратура ВАВ.1М, що перебуває в експлуатації на шахтах тільки частково, вирішує завдання позапікового керування водовідливом – програмування часу позапікового ввімкнення насоса.

Найбільш перспективним є регулювання швидкості обертання робочого колеса насосів. Уже накопичений значний досвід підвищення енергоефективності НА в різних галузях промисловості з використанням перетворювачів частоти потужністю від 5,5 до 500 кВт (рис. 5.5).

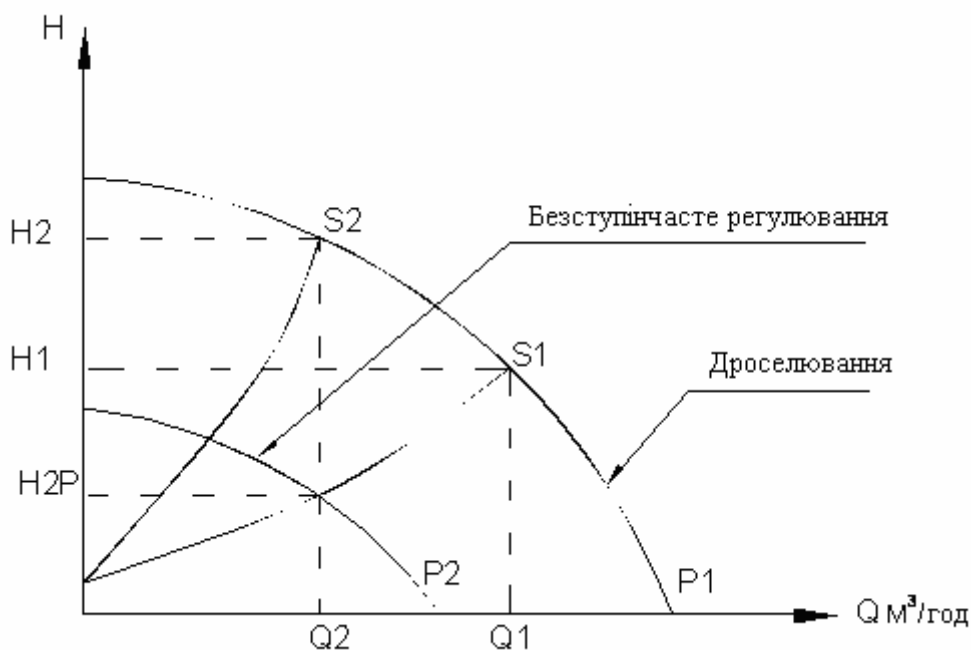


Рис. 5.5. Характеристики насоса й магістралі при різних способах регулювання продуктивності

На рис. 5.5 зображено два способи зміни витрат з  $Q_1$  до  $Q_2$ :

- при дросельному способі системна крива  $S_1$  по кривій насоса  $P_1$  стає кривою  $S_2$ , до того ж напір насоса підвищується з  $H_1$  до  $H_2$ , а споживана потужність матиме формулу  $P_s = KQ^2H_2$ ;
- при безступінчастому способі крива насоса  $P_1$  набуває вигляду кривої  $P_2$ , при цьому напір знижується з  $H_1$  до  $H_{2P}$ , а споживана потужність запишеться формулою  $P_p = KQ^2H_{2P}$ .

З діаграми видна економія потужності при зміні витрат безступінчастим регулюванням за співвідношенням  $\frac{P_s}{P_p} = \frac{H_2}{H_{2P}}$ .

Водовідливні установки, що працюють у даний час на шахтах, розраховані на режим постійної продуктивності (підняття води на задану висоту), тому при застосовуванні перетворювачів частоти для підвищення енергоефективності НА будемо мати значний строк окупності.

Найкращим способом зниження питомих енерговитрат водовідливних установок є збільшення обсягів шахтних водозбірників так, щоб був чотиригодинний запас припливу води. При цьому до моменту надходження максимуму споживання в енергосистемі можна було б вимкнути всі або більшу частину насосних агрегатів (попередні розрахунки для Павлоградського басейну показують можливість зниження питомих енерговитрат до 50%).



У тих випадках, коли є певні обмеження відносно обсягу водозбірника, а добовий приплив води має значні обсяги (до 1000 м<sup>3</sup>/год) і при цьому постійно працюють від 3 до 5 насосних агрегатів, підвищити енергоефективність головного водовідливу можна тільки шляхом регулювання графіка вмикання насосів за умови, що до моменту максимуму споживання в енергосистемі водозбірника працювали б якомога менше НА. При цьому необхідно враховувати реальні характеристики постава і насоса й мати інформацію про реальні параметри зменшення тиску і втрат у магістралі. Це можливо, якщо використовувати систему, подану на рис. 5.6.

Система керування має дворівневу структуру. Верхній рівень використовується на персональному комп'ютері зі спеціальною SCADA-системою, яка відображає стан усіх насосних агрегатів, що забезпечує різні режими роботи системи і являє собою також пульт диспетчера. Нижній – на мікропроцесорних програмувальних контролерах (МПК), які встановлені на кожному насосному агрегаті та служать блоком керування насосним агрегатом (БКНА). Контролери, комп'ютер і датчик контролю безперервного рівня води у водозбірнику об'єднані в мережу інтерфейсом RS-485. У такий спосіб поточне значення рівня води у водозбірнику використовується для керування як МПК, так і пультом диспетчера.

Настроювання системи здійснюється з урахуванням конкретної схеми водовідливу, добового припливу води, кількості насосних агрегатів.

Пульт диспетчера забезпечує керування водовідливною установкою з урахуванням навантаження енергосистеми відповідно до розглянутих вище основних положень алгоритму регулювання режимів електроспоживання головною водовідливною установкою.

Графік зміни навантаження обробляється й запам'ятовується в базі даних пульта диспетчера. Час максимуму обчислюється на підставі раніше отриманих даних відносно споживання.

На підставі інформації стосовно продуктивності насосів і припливу води розраховується час вмикання насосів, що забезпечують відкачку води з водозбірника до моменту, коли навантаження буде максимальним.

Керування насосним агрегатом здійснюється з пульта диспетчера (ПД) або з місцевого пульта керування кнопками «Пуск», «Стоп». Режим роботи задається перемикачем режиму роботи місцевий/пульт диспетчера, який розташовується на пульті керування БКНА.

У будь-якому режимі БКНА забезпечує контроль продуктивності насоса, температури підшипників, тиску та рівнів води у водозбірнику. У режимі «пульт диспетчера» можливо два режими роботи: автоматичний і автоматизований.

В автоматичному режимі команди керування насосними агрегатами формуються програмою на підставі поточних значень рівня води у водозбірнику й інформації від енергосистеми. В автоматизованому – диспетчером з урахуванням значень рівня води у водозбірнику й стану насосних агрегатів. Графіки зміни рівня води у водозбірнику і навантаження в енергосистемі, інформація про стан насосних агрегатів записуються в пам'яті

комп'ютера та архівуються. Перехід з одного виду керування на інший можливий з будь-якого пункту керування.

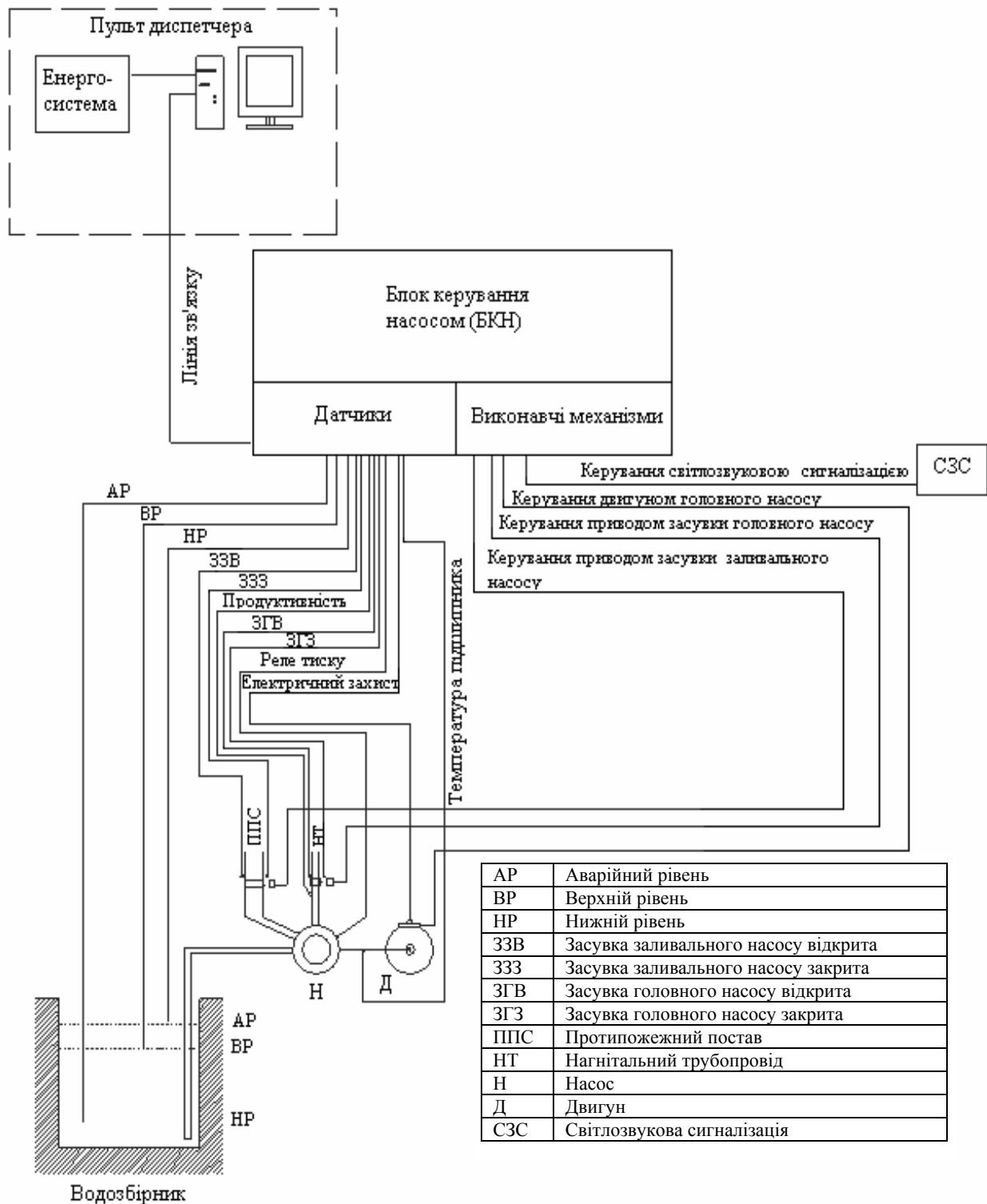


Рис. 5.6. Структурна схема системи керування насосним агрегатом

Система керування забезпечує аварійну зупинку насосного агрегату обслуговуючим персоналом при будь-якому виді керування.

Автоматичний захист:

- від перегріву підшипників;
- при зниженні витрати води;
- за відсутності тиску в робочій камері насоса;
- у разі заклинювання засувки.

Автоматичне блокування:

- одночасного застосування різних видів керування;
- одночасного запуску двох насосних агрегатів;
- повторного вмикання несправного насосного агрегату.

Система забезпечує сигналізацію:

- місцеву світлову на БКНА – робота насосних агрегатів і їх несправності з розшифруванням у вигляді пакета на дворядковому ЖКІ;
- централізовану – несправності насосних агрегатів при підвищеному й аварійному рівні води у водозбірнику.

Наявність звукової та вид світлової сигналізацій узгоджується із замовником при виконанні проекту.

Мікропроцесорний програмувальний контролер, одержавши команду на вмикання насоса, вмикає привід заливальної засувки для заливання насоса водою робочої камери і видалення повітря з робочих коліс і всмоктувального трубопроводу.

Підтвердження виконання кожної команди здійснюється протягом заданого інтервалу часу. Якщо за будь-якої причини команда не виконана, МПК переходить у режим скасування пуску.

### **Контрольні питання**

1. Перерахуйте склад установки головного водовідливу.
2. Назвіть послідовність керування водовідливною установкою.
3. Як здійснюється автоматичне заливання насоса?
4. Принцип роботи пристрою, який контролює рівень води у водозбірнику.
5. Принцип роботи апаратури ВAB.1М.
6. Назвіть джерела економічної ефективності автоматизації водовідливних установок.

## **6. АВТОМАТИЗАЦІЯ ШАХТНИХ ПІДЙОМНИХ УСТАНОВОК**

При написанні розділу в основу розгляду питань автоматизації покладено узагальнювальний принцип. Він полягає в тому, що вся різноманітність створених і навіть створюваних систем автоматизації шахтних підйомних установок може бути зведеною в декілька алгоритмічних структур.

Це дає можливість краще зрозуміти сутність та основні принципи автоматизації та без значних зусиль перейти до розгляду будь-якої конкретної принципової схеми. Важливе при цьому те, що принципи керування є досить стабільними і порівняно з конкретними схемами не так часто зазнають змін. Внаслідок цього матеріал, який підлягає вивченню, досить довго буде сучасним.

Достатню увагу приділено питанням математичного опису та розрахунку систем автоматизації шахтного підйому. Запропоновані методики розрахунку дозволяють відносно просто довести розрахунок складних систем автоматичного керування до кінцевого результату, необхідного в інженерній практиці.

### **6.1. Шахтна підйомна установка як об'єкт автоматизації**

Підйомна установка – одна з найбільш відповідальних та складних ланок у технологічному комплексі сучасної шахти. Вона забезпечує перевезення людей та транспортування різноманітних вантажів по шахтному стволу.

За призначенням підйомні установки розподіляються на вантажні, людські, вантажно-людські та інспекторські: залежно від підйомної посудини – на скіпові та клітьові; за видом приводу – з приводом змінного та постійного струму; за способом керування – на установки з ручним, напівавтоматичним та автоматичним керуванням.

Найбільш поширена автоматизація вантажних скіпових підйомних установок завдяки їх інтенсивній роботі, одноманітності виконуваних операцій, відносно малого коливання завантаження підйомних посудин та використання широко відомих класичних принципів автоматичного керування. Автоматизація клітьових підйомів через значну різноманітність виконуваних операцій та необхідність перевезення людей, як правило, не проводиться.

Для забезпечення надійної роботи скіпової підйомної установки система автоматизації повинна задовольняти ряд основних технічних вимог, а саме:

- керування має бути як автоматичне, так і ручне;
- задана діаграма швидкості переміщення скіпів повинна виконуватися з необхідною точністю незалежно від величини завантаження скіпів, включаючи також їх перегін порожніми;
- прискорення (уповільнення) скіпів має бути не більше 1 – 1,2 м/с<sup>2</sup>;
- швидкість виходу підйомних посудин із розвантажувальних кривих повинна складати 1 – 1,5 м/с;
- швидкість дотягування скіпів у розвантажувальних кривих не може бути більшою за 0,4 – 0,6 м/с;
- величина шляху дотягування скіпів повинна складати 2 – 3 м;

- пуск підйомної машини при її роботі в автоматичному режимі здійснюється тільки при знаходженні скіпів у кінцевих положеннях;
- стопоріння машини в кінці циклу здійснюється за допомогою робочого гальмування;
- похибка зупинення скіпів у кінцевих положеннях не може перевищувати 100 – 150 мм;
- завантажувальні пристрої забезпечують дозування завантаження скіпів за об'ємом або за масою без їх переповнення та просипання матеріалу до зумпфа;
- при порушенні режиму роботи підйомної установки автоматично повинно здійснюватися запобіжне гальмування.

## **6.2. Автоматичний контроль та захист підйомних установок**

Для забезпечення надійної та безаварійної роботи автоматизована підйомна установка обладнується рядом контролюючих та захисних пристроїв і блокувань. Вони охороняють її від можливого повторного вмикання при появі несправності в системі автоматизації та при неправильно зроблених перемиканнях у схемі після її ревізії або ремонту.

Усі захисні та блокуючі пристрої поділяються на групи:

- захисту – призводить до негайної зупинки підйомної машини;
- захисту – допускає завершення циклу підйому, але виключає подальший пуск підйомної машини;
- блокування – можливість роботи підйомної установки при неправильних діях обслуговуючого персоналу або несправностях у схемі автоматизації.

Залежно від прийнятої системи автоматизації, типу підйомної установки (барабанна або багатоканатна), типу електроприводу (постійний або змінний струм) та інших факторів сучасна автоматизована підйомна установка може мати близько 40 різних видів захисту та блокувань. Розглянемо деякі з них.

Спрощена схема кола захисту, яка вміщує також запобіжне гальмо, наведена на рис. 6.1, *а*. Замкнуті при нормальній роботі контакти апаратів захисту включені послідовно в коло контактора (*КТП*), який вмикає в мережу електромагніт запобіжного гальма. При розмиканні будь-якого з контактів кола захисту *КТП* вимикається підйомний двигун та спрацьовує запобіжне гальмо.

**Захист від перепідйому** спрацьовує при підйомі скіпів на 0,5 м вище за нормальне верхнє положення. Цей захист здійснюється за допомогою двох вимикачів на копрі (*ВІІ1*, *ВІІ2*) та двох дублюючих вимикачів, які установлені на програмному апараті в приміщенні підйомної машини (*ВК1*, *ВК2*).

**Захист від перевищення швидкості** на 15 % у порівнянні із заданою здійснюється за допомогою електричного обмежувача швидкості, який встановлено у програмному апараті. Він забезпечує спрацьовування захисту розмиканням контакту реле обмеження швидкості (*РОШ*) при неприпустимому перевищенні швидкості в будь-якій точці знаходження скіпів.

**Захист від провисання струни та напуску канату** (*РПК<sub>л</sub>*, *РПК<sub>п</sub>*), здійснює спеціальний апарат, який знаходиться в приміщенні підйомної машини.

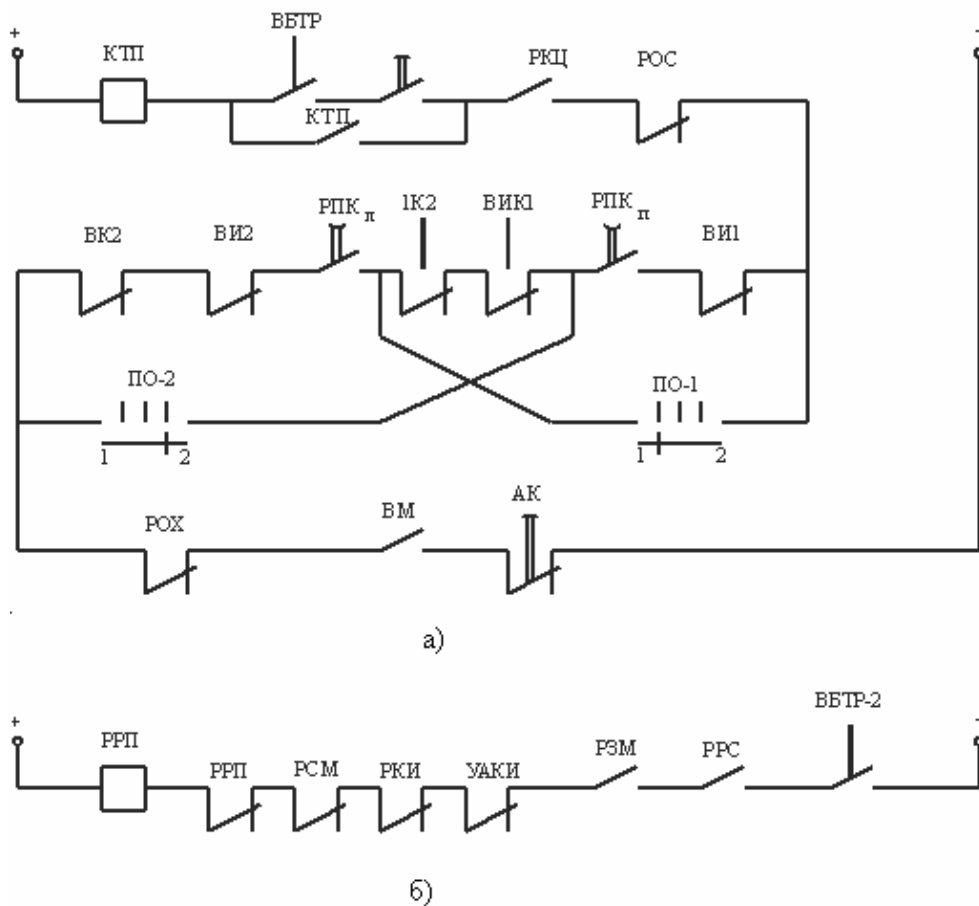


Рис. 6.1. Спрощені схеми захисту (а) та блокувань (б)

**Захист від надмірного зношення гальмових колодок підйомної машини (ВИК1, ВИК2)** виконується за допомогою кінцевих вимикачів, які не допускають роботу підйому при збільшенні зазору між гальмовими колодками та ободом барабана.

**Блокування (ВБТР)** виключає розгальмовування машини запобіжним гальмом, якщо вона не загальмована робочим. Максимальний захист підйомного двигуна від перевантаження здійснює реле максимального струму, при спрацьовуванні якого вмикається масляний вимикач та розімкненням блок-контакту *ВМ* вмикається запобіжне гальмо.

**Аварійна кнопка (АК)** призначена для вмикання запобіжного гальма, а кнопка *П* при короткочасному натисканні його розгальмовує.

**Захист від пошкодження електричних кіл обмежувача швидкості** здійснює реле (*РКЦ*).

**Захист від зворотного ходу (РЗХ)** виключає можливість руху скіпів у зворотному напрямку під впливом маси завантаження скіпа.

Наступна група блокувань впливає на реле дозволу пуску (*РДП*) (рис. 6.1, б). В коло цього реле входять блокування від неприйнятних явищ:

- **перегріву** підшипників і обмоток підйомного двигуна (*РПП*);
- **неприпустимого відхилення рівня масла** та порушення змащування підшипників підйомної машини, редуктора і двигуна (*РКИ*);
- **замикання на землю** в колах керування підйомною машиною (*РКИ*);

– *неможливість роботи в автоматичному режимі*, якщо машиніст втрутився в автоматичне керування та почав гальмування робочим гальмом (при виведенні рукоятки гальма із положення «Розгальмовано» розмикається контакт ВБТР2, що при роботі в автоматичному режимі вмикає РДП);

– *зниження опору ізоляції в колах стоволової сигналізації* здійснюється спеціальним пристроєм автоматичного контролю (ПАКІ), контакт якого включено в коло РДП.

Можна також виділити ще ряд основних блокувань.

**Блокування, яке виключає можливість пуску підйомної машини в бік збільшення перепідйому.** Пуск машини в зворотному напрямку при перепідйомі здійснюється шляхом розгальмування запобіжного гальма («зарядка»), для чого контакти розімкнутого кінцевого вимикача шунтуються за допомогою контактів обхідного перемикача (ПО1, ПО2). Одночасно розривається коло котушок реверсивних контакторів, що виключає можливість пуску машини у бік подальшого перепідйому.

**Захист при переході від ручного режиму на автоматичний та навпаки без вмикання запобіжного гальма** реалізується за допомогою спеціального перемикача вибору режиму роботи, який знаходиться на пульті керування підйомною машиною. При переведенні перемикача з одного режиму до іншого спрацьовує запобіжне гальмо.

**Блокування, яке виключає роботу підйомної установки при відчиненому затворі дозатора завантажувального пристрою або його неповному закритті**, здійснюється під час спрацьовування запобіжного гальма.

**Блокування, яке не дозволяє пуск підйомної машини, якщо не розвантажений верхній та не завантажений нижній скіпи.** Контроль за розвантаженням верхнього скіпа здійснюється за допомогою гамма-реле, а за завантаженням нижнього – реле завантаження, яке вмикається після того, як дозатор відкриється та закритись. Контакти реле контролю розвантаження (РРС) та завантаження (РЗС) знаходяться в колі котушки РДП.

**Блокування, яке не допускає підхід завантаженого скіпа до рівня розвантаження при переповненому приймальному бункері**, здійснюється за допомогою реле рівня та гамма-реле. Сигнал про переповнення подається на пульт машиністові, а при роботі в автоматичному режимі – в коло захисту підйомної установки.

**Блокування, яке не допускає завантаження скіпа при низькому рівні корисної копалини в нижньому бункері** (в ньому обов'язково повинен залишатися невеликий прошарок гірничої маси, щоб не відбувалося закорочення повітряного струменя), контролюється гамма-реле, контакти якого знаходяться в колі керування дозатором.

Крім розглянутих захистів та блокувань у приміщенні підйомної машини повинна передбачатися сигналізація:

- аварійна, яка визначає апарат захисту, що спрацював;
- заборонна, яка вказує на причину заборони пуску підйомної машини;

– оперативна (про положення муфти перестановки барабанів, стану запобіжного гальма, масляних вимикачів, про наявність напруги в колах керування і т. ін.).

### **6.3. Автоматизація завантаження та розвантаження гірничої маси на скіпових підйомних установках**

Для автоматичного завантаження скіпів використовують відповідні пристрої, які дозують скіпи за об'ємом та масою. Дозування за об'ємом не може забезпечити стабільності та точності вагового завантаження внаслідок коливання об'ємної і насипної маси корисного вантажу. Тому завантажувальні пристрої з дозуванням завантаження скіпів за масою слід вважати більш досконалішими.

За способом відчинення затвору завантажувальні пристрої бувають з відчиненням під впливом маси скіпа та з допомогою окремого приводу (електричного, пневматичного або гідравлічного). Більш досконалішими є другі, бо вони виключають можливість просипання корисного вантажу в ствол та запобігають динамічним ударам при посадці скіпа на посадочний пристрій. До того ж у цьому випадку посадочний пристрій відсутній, тому що затвор дозатора відчиняється за допомогою спеціального приводу після сигналу датчика кінцевого положення скіпа. На діючих підйомних установках використовують обидва типи завантажувальних пристроїв. Але при реконструкції шахт та новому будівництві перевагу віддають завантажувальним пристроям з окремим приводом затвора та автоматичним дозуванням за масою.

Спосіб розвантаження скіпів залежить від їх конструкції. Найчастіше використовують скіпи з донним розвантаженням та секторним затвором. При підході такого скіпа до місця розвантаження його відхиляючі ролики попадають в розвантажувальні криві та відхиляють кузов скіпа, повертаючи його навколо опорної осі. При цьому ролики вже не підтримують затвор, який під впливом вантажу розкривається, а вантаж висипається в приймальний бункер. Після розвантаження затвор зачиняється розвантажувальними кривими, а скіп рухається вниз. Практика показала, що такі скіпи створюють велике динамічне навантаження на розвантажувальні криві. Тому останнім часом використовують також скіпи з боковим розвантаженням при нерухомому кузові та з механізмом відчинення-зачинення секторного затвора за допомогою індивідуального приводу, який установлюється на копрі.

В завантажувальних пристроях із дозуванням за об'ємом та відчиненням дозаторів під впливом маси скіпа при автоматизації немає потреби встановлювати додаткову апаратуру. Якщо затвори дозаторів оснащені індивідуальними приводами, то завантажувальний пристрій обладнується додатковими апаратами для керування цими приводами, а також спеціальними вимикачами контролю подачі скіпів під завантаження та контролю положення секторних затворів.

Дозування маси здійснюється за допомогою спеціальної апаратури автоматизації типу *КДС*. Апаратура *КДС* випускається у вибухонебезпечному виконанні. Вона автоматично вмикає і вимикає привід дозатора при підході



скіпа під завантаження та його номінальному завантаженні, а також видає світловий сигнал про наявність корисного вантажу в дозаторі.

Як датчики маси використовують тензометричні датчики, які наклеюються на сталі стрижні, що поміщаються у вибухонебезпечні оболонки і монтуються під дозатором.

При заповненні дозатора на виході датчика з'являється сигнал, який є пропорційним до його завантаження. Якщо маса вантажу в дозаторі досягає заданого значення, спрацьовує релейний підсилювач, а виконавче реле подає сигнали на відчинення затвора дозатора завантаження відповідного скіпа, а також на припинення подачі вантажу в дозатор. Пластинчатий живильник, який подає гірничу масу в дозатор, при цьому зупиняється.

Автоматизація завантажувальних та розвантажувальних пристроїв передбачає також контроль верхнього та нижнього рівнів матеріалу в підземних бункерах та на поверхні, що здійснюється електродними датчиками або гамма-електронними реле. Перевагу віддають останнім, оскільки вони дають можливість забезпечити надійний безконтактний контроль, мають високу стабільність параметрів та тривалий термін служби.

#### **6.4. Автоматичне керування підйомальною машиною з асинхронним приводом**

У вугільній промисловості України більш як 90% підйомних установок оснащені асинхронним приводом з одним (до 1000 кВт) або з двома двигунами (до 2500 кВт). Таке широке використання асинхронного приводу пояснюється його простотою та відносно незначними капітальними витратами.

В системах керування прийнята шестиперіодна діаграма швидкості  $V = f(t)$  (рис. 6.2), яку використовують при автоматизації скіпового підйому. У період  $t_1$  скіп рухається в розвантажувальних кривих так, щоб швидкість його виходу з кривих не перевищувала 1,5 м/с. В період  $t_2$  здійснюється розгін підйомної машини до максимальної швидкості з прискоренням, яке не повинно перевищувати  $1-1,2 \text{ м/с}^2$ . У період рівномірного руху  $t_3$  швидкість скіпів є максимальною. Зменшуватися швидкість скіпів у період руху  $t_4$  повинна до  $0,4-0,6 \text{ м/с}$  із уповільненням, не більшим за  $1,0-1,1 \text{ м/с}^2$ . Період  $t_5$  руху скіпів зі зниженою швидкістю  $0,4-0,6 \text{ м/с}$  (період дотягування) передбачений для плавного входження скіпа в розвантажувальні криві та компенсації неточності у виконанні діаграми швидкості в період  $t_4$ . В період  $t_6$  підйомальна машина стопориться робочим гальмом. Діаграма зусиль  $F = f_1(t)$  та прискорень (уповільнень)  $a = f_2(t)$  наведені також на рис. 6.2.

Під час максимальної швидкості руху скіпа підйомальний двигун має закорочений опір в роторі порівняно з його природними характеристиками. При цьому він не потребує ніяких автоматичних засобів керування. Частота обертання ротора двигуна в цьому випадку практично не змінюється, незважаючи на зміни в широкому діапазоні завантаження скіпів.

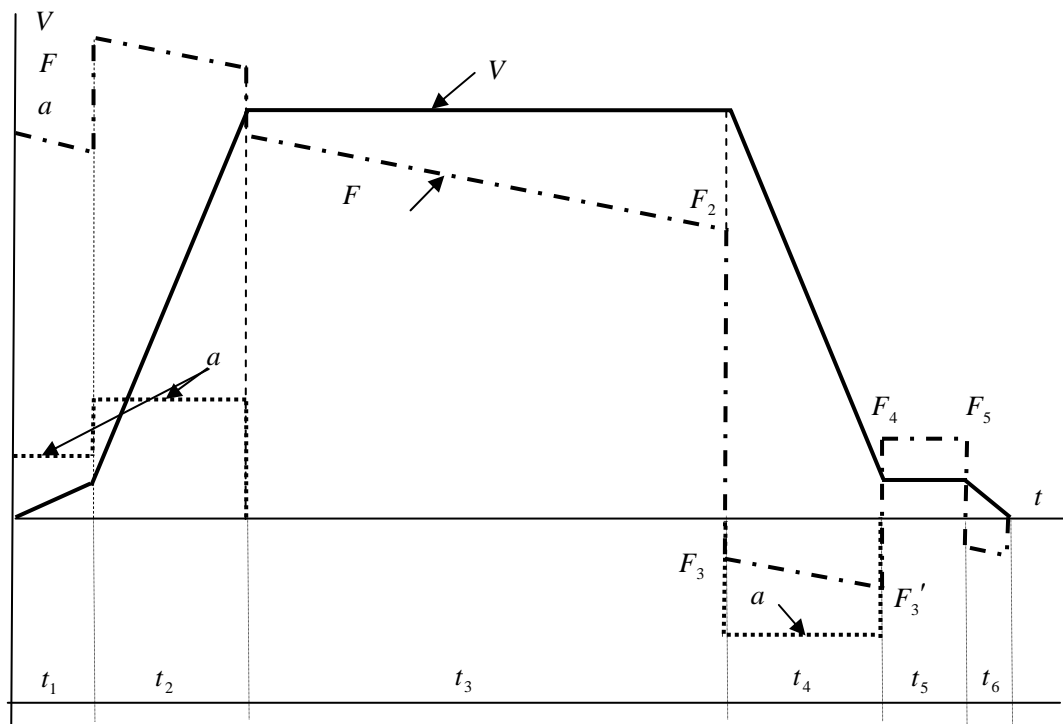


Рис. 6.2. Діаграми швидкості, сили та прискорення (уповільнення)

Пуск та зупинка підйомної машини також потребують автоматичного керування. При автоматизації пуску підйомної машини з асинхронним приводом прискорення скіпів для запобігання недопустимого перевантаження не повинно перевищувати заданого значення. На промислових підйомних установках з метою виконання заданої діаграми швидкості задача автоматичного пуску зводиться до подачі напруги в коло статора та виведення опорів із ланцюга ротора. Через обмежену кількість контактів у ланцюзі ротора опір виводиться з переходом з однієї стадії в іншу. Ступенево також змінюються струм підйомного двигуна, відповідний до нього рушійний момент та прискорення. Найбільш поширеними в практиці автоматизації підйому є дві схеми автоматичного пуску асинхронного приводу – за струмом з коригуванням у часі, а також за струмом та прискоренням.

Пуск підйомної установки за струмом з коригуванням у часі (рис. 6.3) здійснюється за допомогою восьмиконтакторної роторної станції з контакторами  $V1 - V8$  та реле часу  $PV1 - PV8$ , а також реле струму  $PTV$ . Тут також показані котушки контакторів «Вперед» –  $B$ , «Назад» –  $H$ , за допомогою яких підмикається статор двигуна до мережі, а також контакти командоконтролерів  $KK-1$ ,  $KK-2$  та реле дугового блокування ( $РДБ$ ). Його контакти замикаються в колах  $B$  та  $H$  з витримкою часу, необхідного для надійного гашення дуги на силових контактах контакторів  $B$  ( $H$ ). Завдяки цьому не може бути здійсненим реверс підйомного двигуна до повного гашення дуги.

В початковому стані котушки контакторів  $B$ ,  $H$  та  $V1 - V8$  знеструмлені, котушки реле часу  $PV1 - PV8$  знаходяться під напругою, реле ввімкнені, реле  $РДБ$  також знеструмлене. При переведенні рукоятки  $KK$  в одне з крайніх

положень (наприклад «Вперед») замикається контакт *КК-1* і спрацьовує котушка контактора *В*. Одночасно отримує живлення *РДБ* і розмикає свої контакти в колах реле часу *РУ1* та котушки реверсора *В (Н)*. Реле *РУ1*, знеструмившись, з витримкою часу вмикає контактор *У1*, який за допомогою силових контактів закорочує перший ступінь роторного опору, а блок-контактами готує кола обмотки реле *РУ2* та котушки контактора *У2*.

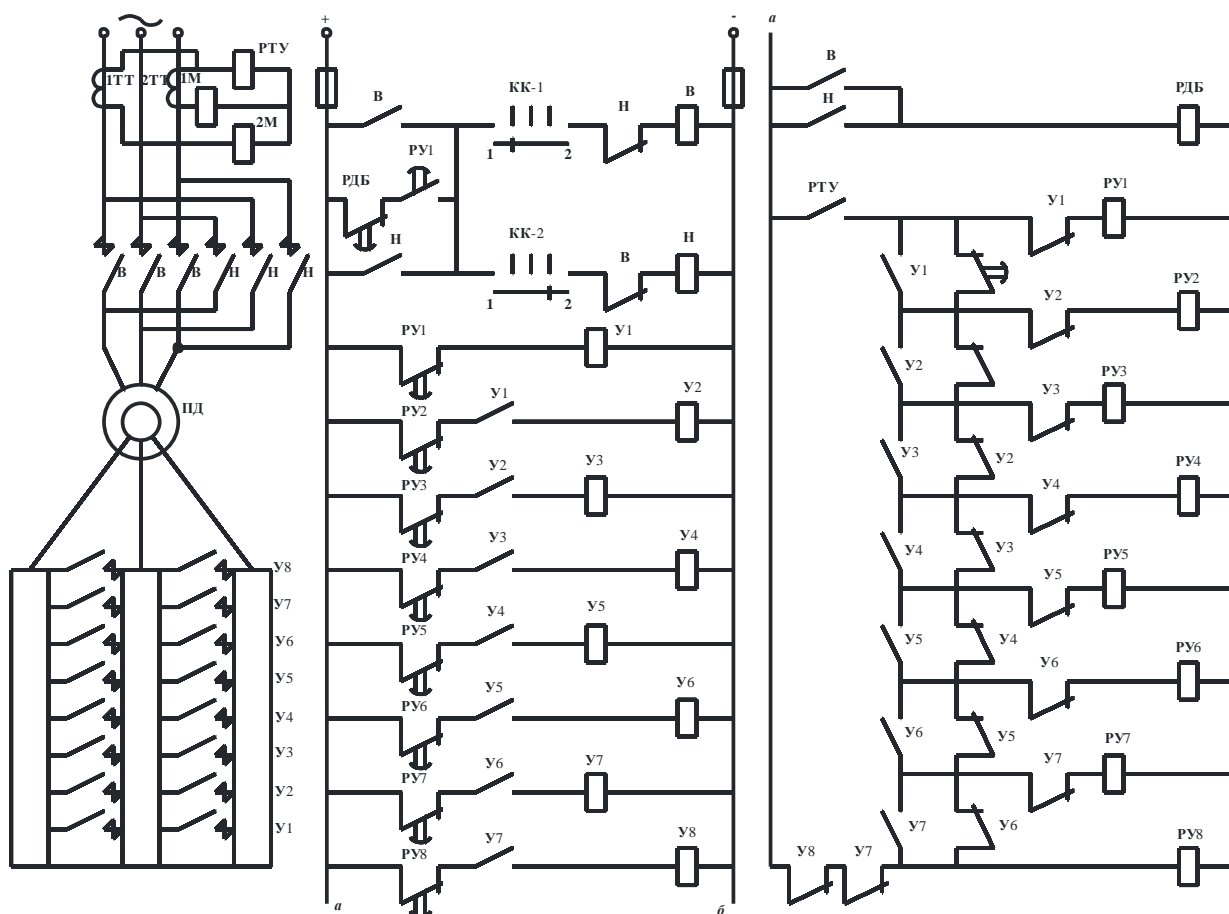


Рис. 6.3. Принципова схема автоматичного пуску асинхронного двигуна за струмом з коригуванням у часі

При закороченні ступеня опору збільшуються струм та момент двигуна. Якщо струм дорівнює струму спрацювання реле *РТУ*, яке з'єднано із статором двигуна, то воно замикає свій контакт в колах реле часу *РУ2 – РУ8*. У даному випадку реле *РУ2* отримує живлення через контакти *РТУ*, *У1* та *У2*. По мірі розгону двигуна струм у колі статора зменшується. Якщо струм зменшується до величини відпускання *РТУ* за допомогою його контакту, вмикається реле *РУ2*, яке з витримкою часу замикає свій контакт у колі котушки *У2*. При спрацьовуванні *У2* закорочується другий ступінь пускового опору та готуються до вимикання реле *РУ3* і вмикання контактор *У3*. Однак, доки струм в ланцюзі двигуна не дорівнюватиме струму відпускання реле *РТУ*, реле *РУ3* не знеструмиться. Аналогічно пуск продовжується до повного виведення роторного пускового опору.

Розглянута схема пуску реагує на зміни у завантаженні скіпів і не завжди може забезпечити з потрібною точністю задане прискорення. Проте вона досить широко використовується на практиці.

Більш досконалою є схема пуску за струмом та прискоренням (рис. 6.4).

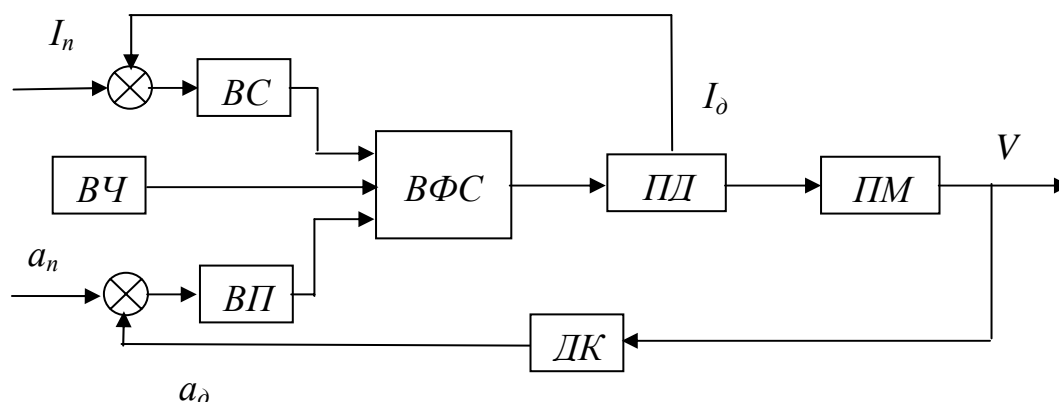


Рис. 6.4. Принципова схема автоматичного пуску асинхронного двигуна за струмом та прискоренням

Вона дозволяє з більш високою точністю витримувати заданий режим пуску при суттєвих коливаннях завантаження скіпів. Схема має два контури керування – за струмом та прискоренням, а також вузол часових затримок ВЧ. В процесі пуску порівнюються дійсні значення струму статора  $I_o$  підйомального двигуна та прискорення  $a_o$  з їх заданими значеннями  $I_n$  та  $a_n$ . При перевищенні дійсного значення кожної з цих величин над заданими їх значеннями вузол струму ВС та вузол прискорення ВП подають сигнал «Заборона» до вузла формування керуючого сигналу ВФС, який припиняє видачу команд на вмикання інших контакторів. Це призводить до того, що подальше зростання моменту підйомального двигуна ПД припиняється, а двигун продовжує працювати на фіксованій механічній характеристиці до того часу, доки струм та прискорення підйомальної машини ПМ не дорівнюватимуть заданим значенням. Сигнал, пропорційний дійсному прискоренню, одержується при диференціюванні в блоці ДК напруги тахогенератора, яка пропорційна дійсній швидкості.

При використанні даного методу роторні опори перемикаються також з допомогою роторної станції. Слід сказати, що таке ускладнення схеми пуску не завжди є оправданим, особливо на скіпових підйомниках, де коливання величини завантаження скіпа, як правило, незначні.

Уповільнення скіпів – найбільш відповідальна ділянка діаграми швидкості. На підйомних установках з асинхронним приводом співвідношення між статичними силами, створюваними корисним вантажем, та масою рухомих частин здебільшого є таким, що для забезпечення необхідного уповільнення на валу підйомальної машини треба створювати гальмове (негативне) зусилля.

Нерідко на практиці розрахункові гальмові зусилля наближаються до нуля, а уповільнення скіпів – до вільного вибігу. У цьому випадку автоматизація уповільнення зводиться до вибору моменту вимикання двигуна у мережі залежно від величини завантаження скіпа. Момент вимикання

вибирається так, щоб підвести скіп до розвантажувальних кривих із заданою швидкістю. Для уповільнення в системі автоматизації передбачений спеціальний датчик, за допомогою якого забезпечується автоматичний вибір точки початку уповільнення скіпів з урахуванням їхнього завантаження.

При необхідності створення незначних гальмівних зусиль використовують системи з регульованим механічним гальмом, динамічним гальмуванням, живленням двигуна із зниженою частотою, а також з рекуперативним динамічним гальмуванням за допомогою каскадних схем.

В усіх названих випадках уповільнення скіпів здійснюється за допомогою замкнутої динамічної системи, яка забезпечує зміну швидкості в період уповільнення відповідно до заданого закону. Він формується спеціальним пристроєм.

Автоматизація уповільнення з регульованим механічним гальмом використовується на тих підйомних установках, де для забезпечення заданого режиму необхідно мати незначні гальмівні зусилля (до 20 – 25 % від зусиль, створюваних статичним навантаженням). На практиці цю умову задовольняє значна кількість діючих підйомних установок.

Узагальнена структурна схема автоматизації уповільнення з механічним гальмом наведена на рис. 6.5. Заданий закон зміни швидкості  $\varphi_z$  формується спеціальним датчиком. Дійсна швидкість  $\varphi$  порівнюється із заданою  $\varphi_z$ .

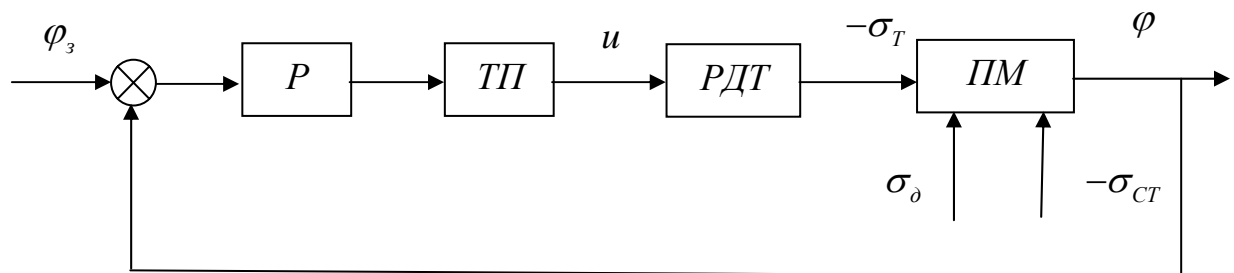


Рис. 6.5. Узагальнена структурна схема автоматизації уповільнення з механічним гальмом

Сигнал, який пропорційний відхиленню дійсної швидкості від заданої, подається до регулятора  $P$  та тиристорного перетворювача  $ТП$ . Далі сигнал надходить до блока  $РДТ$ , який являє собою регулятор тиску та гальмо підйомної машини. Залежно від різниці між  $\varphi$  та  $\varphi_z$  змінюється зусилля притиснення гальмових колодок до гальмового ободу підйомної машини, за рахунок чого змінюється гальмівне зусилля.

Як буде показано далі, в даній системі регулятор тиску разом з гальмом підйомної машини мають суттєво нелінійні характеристики. Тому розрахунок такої системи автоматичного уповільнення необхідно виконувати з урахуванням певних нелінійних властивостей (бажано з використанням комп'ютера). Це буде предметом розгляду в наступних параграфах.

Один з можливих варіантів системи автоматизації з механічним гальмом відповідно до розглянутої функціональної схеми (рис. 6.5) наведений на рис. 6.6, де використано принцип цифрового керування (блоки аналого-цифрового перетворювача *АЦП*, мікроконтролера *МК*, цифро-аналогового перетворювача *ЦАП*). На даній схемі *ЗШ* – датчик заданої швидкості, *ТГ* – тахогенератор, е.р.с. якого пропорційна дійсній швидкості, *ПД* – підймальний двигун, *ОКРТ* – обмотка керування регулятора тиску, *ЦРГ* – циліндр робочого гальма.

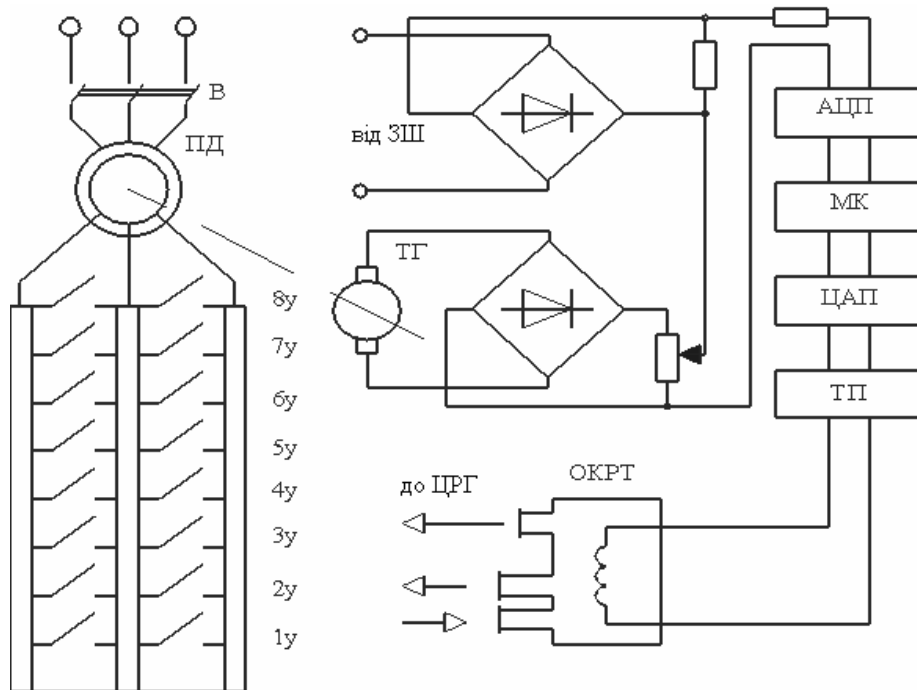


Рис. 6.6. Схема автоматизації уповільнення з механічним гальмом

Динамічне гальмування полягає в тому, що на момент початку гальмування статор двигуна, який працював на змінному струмі, вимикається і в його дві фази подається постійний струм. Ротор двигуна обертається за рахунок енергії, яка акумульована в масах підйомної установки. В обмотках ротора, замкнутих через секції роторних опорів, при перетинанні силових ліній магнітного поля статора утворюється струм. В результаті взаємодії поля статора і струму ротора в двигуні утворюється момент динамічного гальмування.

Спрощена принципова схема автоматичного уповільнення з динамічним гальмуванням наведена на рис. 6.7. Тут використано цифровий закон керування, який програмно формується в мікроконтролері *МК*. За джерело постійного струму гальмування *ДДГ* прийнято тиристорний перетворювач. Сигнал керування, який пропорційний різниці між заданою та дійсною швидкостями руху скіпа, подається до аналого-цифрового перетворювача *АЦП* і далі до мікроконтролера. Тут формується потрібний закон керування, який через цифро-аналоговий перетворювач *ЦАП* визначає потрібний струм гальмування.

В даній системі по мірі зниження швидкості при уповільненні скіпів, крім регулювання напруги на виході *ДДГ*, виводяться ступені роторного опору, щоб

забезпечити достатню гальмівну силу при малих швидкостях руху в момент підходу скіпів до місця дотягування.

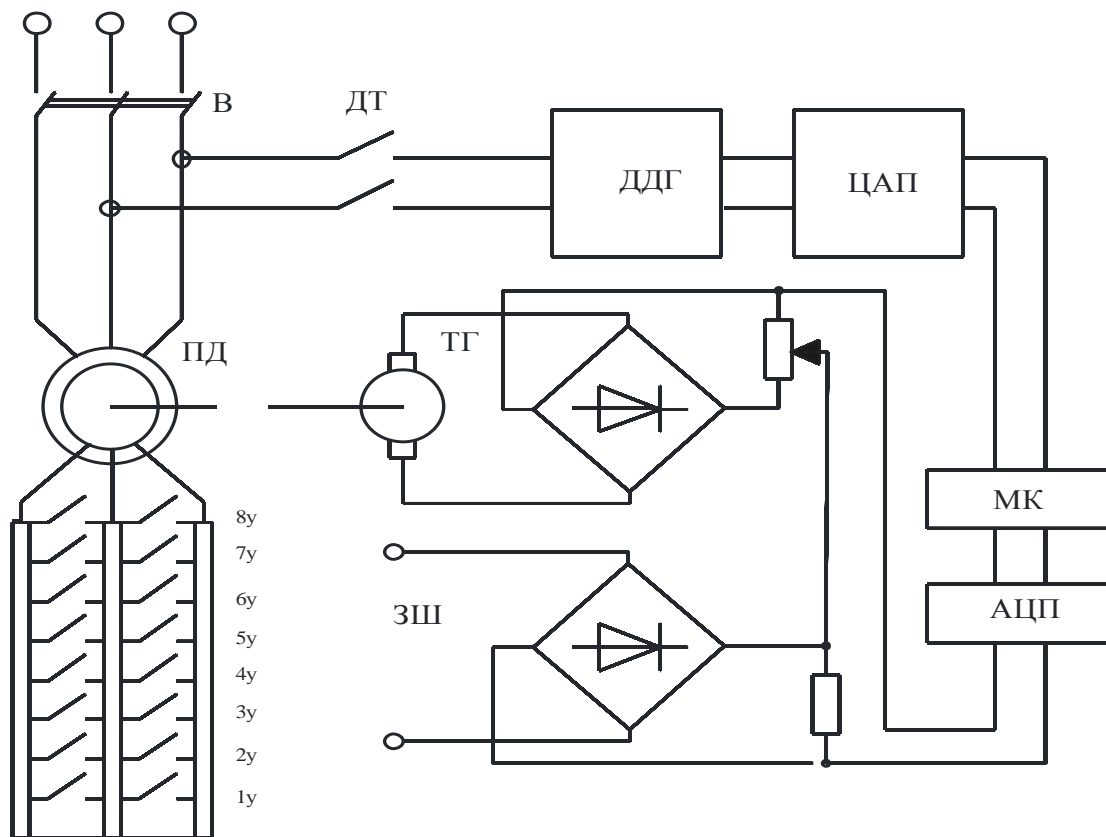


Рис. 6.7. Схема автоматизації уповільнення з динамічним гальмуванням

Режим дотягування скіпів з малою швидкістю (0,4 – 0,6 м/с), необхідний для компенсації похибки шляху, що виникала при уповільненні, та підходу скіпів до місця розвантаження (завантаження) із достатньо малою швидкістю. Шлях дотягування не повинен бути значним, оскільки це призводить до збільшення тривалості циклу та до зменшення продуктивності підйомної установки. При дотягуванні потрібен двигунний режим. Найбільш поширеними є такі способи автоматизації дотягування:

- спільна робота двигуна на одній із штучних характеристик та механічного гальма;
- живлення двигуна струмом низької частоти;
- робота одного двигуна в двигунному режимі, а другого – в режимі динамічного гальмування при дводвигунному приводі.

Стопориться підймальна машина за допомогою робочого гальма. Команда на гальмування надходить від кінцевих вимикачів, які спрацьовують тоді, коли скіпи підходять до місця зупинки.

Із розглянутого видно, що традиційний електропривід змінного струму шахтної підйомної машини містить високовольтні асинхронні електродвигуни з фазним ротором, високовольтні статорні реверсори, роторні резисторно-контакторні станції керування з пусковими опорами та станції керування

уповільненням і дотягуванням підймальних посудин. Але цей привід має суттєві недоліки, а саме:

- асинхронний електропривід з роторною резисторно-контакторною станцією керування не має достатніх регулювальних властивостей, що необхідні для шахтних підйомних машин;

- при розгоні, гальмуванні та роботі підйомної установки на зниженій швидкості витрачається значна електроенергія, що йде на нагрів роторних опорів і електродвигуна, отже, електроенергія, що непродуктивно витрачається, підвищує собівартість продукції і знижує прибуток;

- асинхронний електропривід з пусковою резисторно-контакторною станцією споживає значну реактивну потужність, за яку необхідно платити, тобто компенсувати достатньо дорогими компенсаторами.

Тому дослідники, проектувальники та виробничники намагаються знайти такі способи керування асинхронним приводом, які б не мали перелічених недоліків. Використовуваний асинхронний двигун при цьому дозволяє мати більш дешевий привід змінного струму на відміну від приводу постійного струму.

Одним із прийнятних способів плавного регулювання частоти обертання асинхронного приводу вважається частотний спосіб, можливість якого базується на лінійній залежності кутової швидкості магнітного поля статора від частоти напруги живлення.

Щоб реалізувати принцип частотного керування, необхідно взаємозалежно керувати напругою в статорі двигуна при зміні частоти живлення.

Існує декілька алгоритмів одночасної зміни частоти та напруги статора в усталеному режимі. При автоматизації приводу шахтного підйому намагаються зберегти постійною перевантажувальну спроможність двигуна, тобто зробити так, щоб при всіх режимах відношення максимального моменту до моменту сил опору (статичного) залишалося незмінним, отже,

$$\lambda = \frac{M_k}{M_c} = const. \quad (6.1)$$

З достатньою практичною точністю можна вважати, що критичний момент є прямо пропорційним до квадрата напруги живлення та обернено пропорційним до квадрата частоти.

На даний час заводи електротехнічної промисловості країн СНД перетворювальну техніку, яка задовольняє вимоги електроприводу шахтних підйомних установок, серійно не виробляють. Тому регульований електропривід змінного струму підйомних установок з частотним керуванням широко не застосовується.

З літературних джерел відомо, що в Російській Федерації створено частотно-регульований пристрій «ЕРАТОН-ФР», який встановлюється між ротором асинхронного двигуна та високовольтною мережею живлення (рис. 6.8).

Конструктивно пристрій «ЕРАТОН-ФР-320» розміщений в двох шафах: ШІ – шафі інвертора, ШР1 – шафі рекуператора. В ШІ розташовані трифазний



транзисторний інвертор, фільтр захисту ротора електродвигуна від перенапружень (ФЗРД) і контактори К1, К2. А ШР1 містить у собі трифазний транзисторний інвертор і «синусний» фільтр електромагнітної сумісності (ФЕМС).

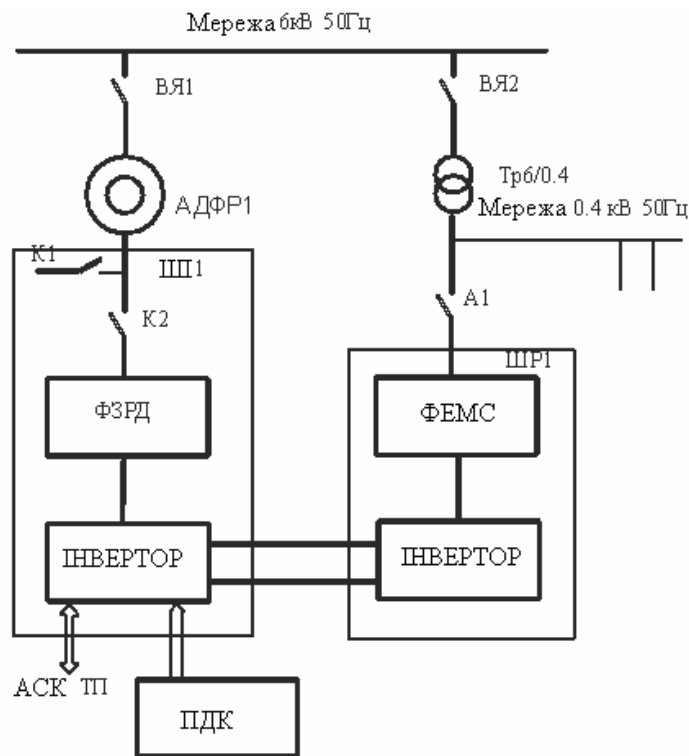


Рис. 6.8. Однолінійна схема вмикання пристрою «ЕРАТОН-ФР»

ЕРАТОН-ФР-320 здійснює регулювання моменту і швидкості електродвигуна за рахунок регулювання амплітуди і частоти ЕРС, що вводиться в коло ротора АД ФР. При цьому потужність ковзання АД ФР при швидкості, що нижча за синхронну, через ЕРАТОН-ФР повертається в живильну мережу, а при швидкості, що вища за синхронну, із мережі через ЕРАТОН-ФР і коло ротора передається на вал електродвигуна. Регулювання швидкості може здійснюватися при моменті, гранично-допустимому для електродвигуна.

Згідно з даними розробника пристрій «ЕРАТОН-ФР» забезпечує:

- вибір зазорів у механічних передачах і плавного натягу канатів у паузах між пусками підіймальної машини;
- формування з високою точністю необхідної діаграми швидкості підіймальної машини незалежно від зміни навантаження;
- плавний розгін скіпів протягом заданого часу;
- уповільнення скіпів за визначений час із формуванням необхідного зусилля будь-якого знаку;
- малий час уповільнення і високу точність зупинки скіпів без застосування механічного гальма, яке спрацьовує тільки після повної зупинки машини;
- роботу підйомної установки на знижених швидкостях у режимах маневрування, дотягування, руху в розвантажувальних кривих, огляду ствола шахти без непродуктивних втрат електроенергії в роторній станції.

З середини 80-х років у світовій практиці електроприводів для шахтних підйомних установок широкого розповсюдження набули регульовані електроприводи системи перетворювача частоти з безпосереднім зв'язком з мережею (циклоконвертор) – синхронний двигун змінного струму. За головне достоїнство цього електроприводу вважалося застосування менш дорогого і надійнішого синхронного двигуна замість двигуна постійного струму. Однак на цьому всі достоїнства вичерпувалися, оскільки сам перетворювач (циклоконвертор) виявлявся громіздким, значно дорожчим і менш надійним на відміну від аналогічного за потужністю перетворювача постійного струму.

У даний час немає однозначного рішення щодо вибору системи електроприводу до кожного типу підйомальної машини. Зменшення даних варіантів електроприводів можливе за рахунок використання при порівнянні таких критеріїв:

- відносна вартість приводів;
- необхідна потужність приводу і максимальний момент при пуску;
- рівень керованості у зв'язку з призначенням і технологією роботи підйомної установки.

### **6.5. Автоматичне керування підйомальною машиною з приводом постійного струму**

Привід постійного струму на шахтних підйомних установках економічно доцільний для установок великої потужності (вище за 1000 кВт) та продуктивності. Такі підйомники працюють на рудних шахтах, а також на вугільних шахтах значної глибини.

Двигуни постійного струму порівняно з асинхронними мають більш високі регульовальні властивості. Автоматизація підйомних установок з приводом постійного струму може бути здійснена за допомогою єдиного способу для всіх періодів циклу підйому як при позитивних, так і при негативних моментах уповільнення. При цьому забезпечується висока якість процесу керування та швидкодія. Це надто важливо для умов глибоких шахт, бо в цьому випадку на роботу підйомної установки суттєво впливає пружність механічних елементів (особливо канатів).

Для приводів як джерело постійного струму використовують тиристорні перетворювачі (ТП). Системи керування з ними дістали назву систем «тиристорний перетворювач – двигун (ТП–Д)». Для керування цією системою розроблені спеціальні електронні регулятори. Вони забезпечують високу якість роботи систем керування. Перевагою таких регуляторів є можливість одержання з високою точністю бажаних передаточних функцій та простота налагодження систем керування. Функціональна схема системи керування підйому з приводом постійного струму наведена на рис. 6.9.

На цій схемі  $PШ$ ,  $РС$ ,  $ТП$ ,  $ПД$ ,  $ТГ$  – відповідно регулятор швидкості, регулятор струму, тиристорний перетворювач, підйомний двигун, тахогенератор. На вхід регулятора швидкості подається сигнал, який пропорційний різниці між заданою  $\varphi_z$  та дійсною  $\varphi$  швидкостями руху скіпів.

За відповідним законом, який визначається технічними вимогами, що ставляться до системи керування, *РШ* перетворює сигнал неузгодженості та видає завдання на *РС*. Останній перетворює сигнал неузгодженості між заданим та дійсним значеннями струму якоря на сигнал керування тиристорним перетворювачем, а далі на підйомний двигун.

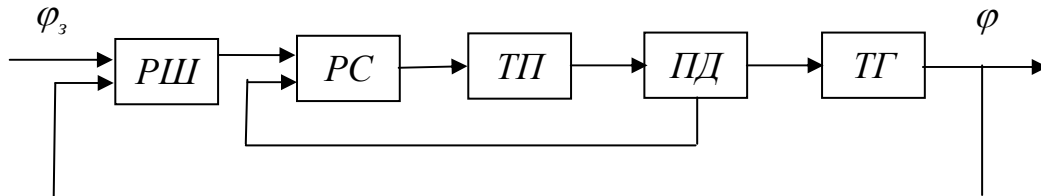


Рис. 6.9. Функціональна схема системи керування підйому з приводом постійного струму

Розглянута структура побудови системи керування приводом постійного струму одержала назву структури системи підпорядкованого регулювання. Система підпорядкованого регулювання – це багатоконтурна система з каскадним вмиканням регуляторів. Кількість регуляторів та контурів регулювання в ній дорівнює кількості регульованих параметрів. Назва системи пояснюється тим, що вихідний сигнал регулятора, який включено в зовнішній контур, являє собою завдання для регулятора, тобто один регулятор підпорядкований іншому.

Важливим достоїнством такої системи є те, що настройка контурів здійснюється незалежно і послідовно від внутрішнього контуру до зовнішнього. Система підпорядкованого регулювання, як правило, містить основний контур швидкості та внутрішній підпорядкований контур струму.

## 6.6. Автоматизація шахтного підйому за допомогою асинхронно-вентильного каскаду

Одним з можливих способів автоматизації підйомних установок з асинхронним приводом є автоматизація за допомогою асинхронно-вентильного каскаду (*ABK*), який дає можливість побудувати системи, що за своїми регульовальними властивостями наближаються до властивостей приводу постійного струму. Використання *ABK* дозволяє мати плавне регулювання швидкості переміщення скіпів.

Спрощена схема *ABK* для керування підйомальною машиною наведена на рис. 6.10. Тут струм ротора випрямляється за допомогою трифазного випрямляча *B1*. В коло випрямленого струму вводиться додаткова е.р.с. від керованого вентильного перетворювача *B2*. Момент, створюваний двигуном, пропорційний до випрямленого струму ротора, а зміною величини додаткової е.р.с. струму ротора можна змінювати величину моменту двигуна і частоту його обертання.

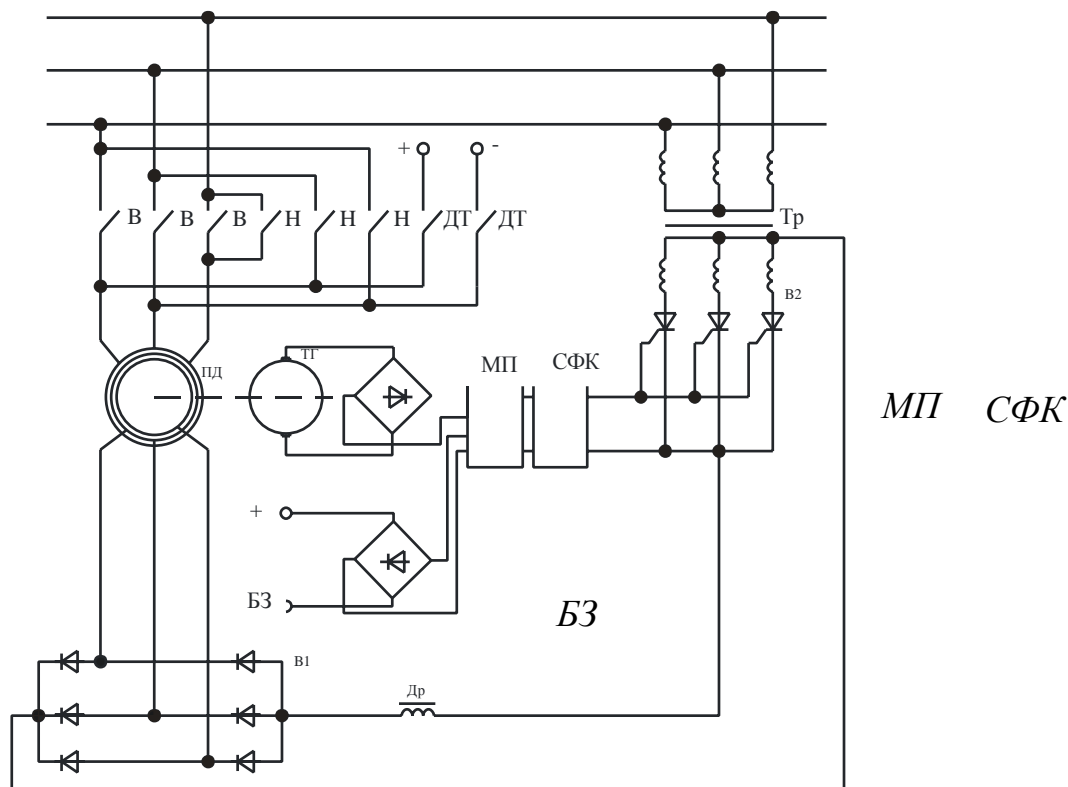


Рис. 6.10. Схема автоматизації шахтного підйому за допомогою асинхронно-вентильного каскаду

Величина додаткової е.р.с. регулюється шляхом зміни кута відкриття напруги системою фазового керування (СФК) залежно від різниці між дійсною та заданою швидкостями, які відповідно являють собою напруги тахогенератора та блока задатчика (БЗ). Ці напруги через випрямні мости подаються на магнітний підсилювач (МП), який формує їх різницю та передає до СФК.

При роботі двигуна в режимі динамічного гальмування відбувається вимикання статора від кола змінного струму, після чого в дві його фази починає подаватися постійний струм, який створює нерухомий у просторі магнітний потік. При обертанні ротора в його обмотках виникає е.р.с. змінної частоти, яка залежить від швидкості двигуна. В цьому режимі асинхронний двигун працює як неявно полюсний синхронний генератор, який збуджується постійним струмом з боку статора та створює керований гальмівний момент. Механічна енергія, запасена в махових масах підйомної установки, перетворюється в електричну енергію змінного струму, частота якого залежить від швидкості. Ця енергія перетворюється вентильним перетворювачем В2 та проходить через трансформатор до мережі живлення.

Таким чином, можна сказати, що схеми АВК не знайшли широкого використання при автоматизації підйомних установок, оскільки мають певну складність та високу вартість.

## 6.7. Розрахунок систем автоматичного керування

### 6.7.1. Система уповільнення скіпів з використанням механічного гальмування

Із розглянутих способів автоматизації підйомних установок з асинхронним приводом найбільш складною є автоматизація періоду уповільнення, яка здійснюється за допомогою замкнутої системи автоматичного керування. Одним з варіантів цієї системи можна вважати структуру керування, яка наведена на рис. 6.5. Задовільна робота такої системи можлива за умов правильно вибраних параметрів шляхом їх розрахунку при досить коректно виконаному математичному описі системи.

Розрахунок параметрів системи будемо виконувати у безрозмірних відносних одиницях. Але спочатку позначимо одиниці фізичних величини:

- $V, V_3, V_m$  – дійсна, задана та максимальна швидкості руху скіпів, м/с;
- $F_p, F_{ст}, F_T, F_{\Pi}$  – рушійне, статичне, гальмівне та пускове зусилля, н;
- $F_{стн}$  – номінальне значення статичного зусилля, н;
- $U_{тп}, U_{тпн}$  – напруга та номінальна напруга на виході тиристорного перетворювача, В;
- $x_3, x$  – заданий та дійсний шляхи уповільнення скіпів, м;
- $K_1, K_2, K_3$  – постійні коефіцієнти;
- $M$  – зведена до ободу барабана маса підйомної установки, кг.

Далі визначимо рівняння, відповідно до яких будемо розраховувати параметри системи:

$$\begin{aligned} \varphi &= \frac{V}{V_m}; \quad \varphi_3 = \frac{V_3}{V_m}; \quad \sigma_{ст} = \frac{F_{ст}}{F_{стн}}; \quad \sigma_p = \frac{F_p}{F_{стн}}; \quad \sigma_{\Pi} = \frac{F_{\Pi}}{F_{стн}}; \\ \sigma_T &= \frac{F_T}{F_{стн}}; \quad u = \frac{U_{тп}}{U_{тпн}}; \quad \alpha = \frac{x}{x_3}; \quad K_1 = \frac{F_{сту}}{F_{\Pi}}; \quad T_1 = \frac{MV_m}{F_{стн}}. \end{aligned} \quad (6.2)$$

Тепер за даними рис. 6.5 та згідно з літературними даними запишемо диференціальні рівняння елементів системи:

- для підйомної установки

$$T_1 p = -\bar{\sigma}_{ст} - \bar{\sigma}_T; \quad (6.3)$$

- для регулятора тиску з гальмом

$$(T_2 p + 1) \bar{\sigma}_T = K_2 \bar{u}; \quad (6.4)$$

$$\sigma_T = A(\sigma_{1_T}) \quad (6.5)$$

- для тиристорного перетворювача

$$(T_3 p + 1) \bar{u} = K_3 \bar{u}_r. \quad (6.6)$$

Використовуючи літературні дані для підйомних установок, можна зробити модель та розрахувати параметри робочого гальма (рис. 6.11).

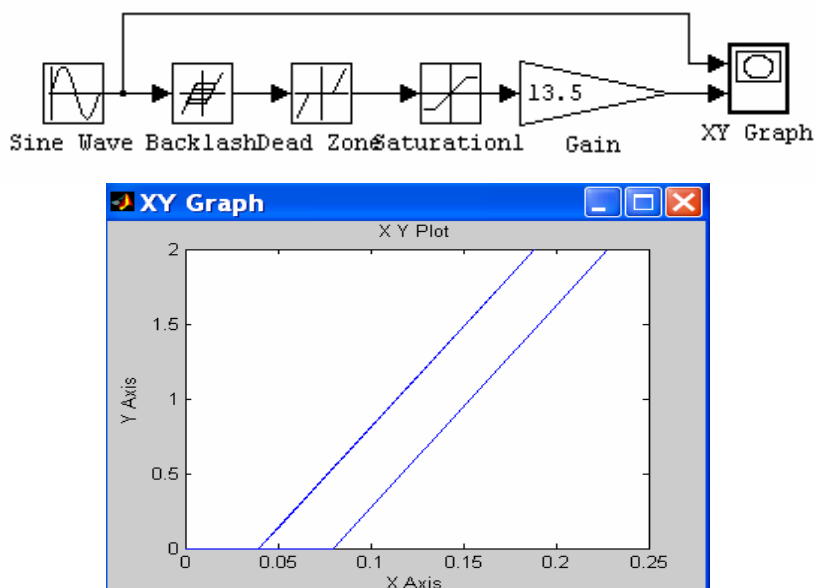


Рис. 6.11. Структурна схема та статична характеристика робочого гальма підйомальної машини

Для конкретної підйомної установки маємо такі значення параметрів:

$$\begin{aligned} M = 64600 \text{ кг}; F_{\text{ст}} = 47900 \text{ Н}; F_{\text{стн}} = 67300 \text{ Н}; V_m = 6,65 \text{ м/с}; T_1 = 6,4 \text{ с}; \\ T_2 = 0,3 \text{ с}; T_3 = 0,1 \text{ с}; K_2 = 13,45; K_3 = 1; \sigma_{\text{ст}} = 0,712; x_3 = 20 \text{ м}. \end{aligned} \quad (6.7)$$

Заданий закон уповільнення запишемо формулою

$$\varphi_3 = 1 - 0,15t. \quad (6.8)$$

Складаємо тепер структурну схему системи автоматичного уповільнення скіпів (рис. 6.12).

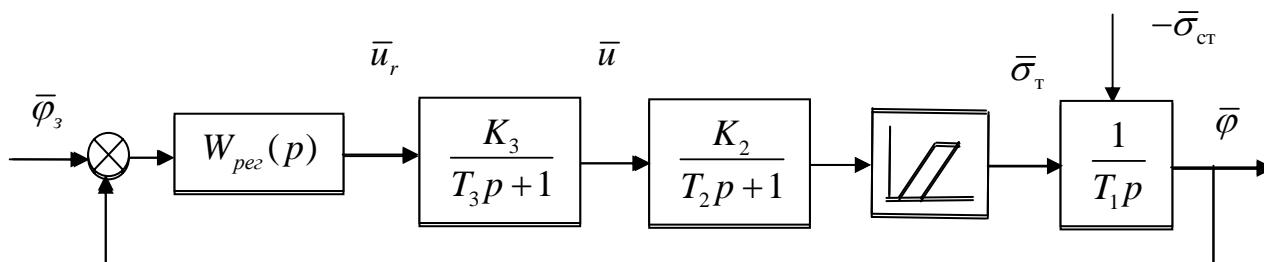


Рис. 6.12. Структурна схема системи автоматичного уповільнення скіпів при механічному гальмуванні

Для визначення закону та параметрів алгоритму керування  $W_{peg}(p)$  скористаємося методом дослідження, який за умови одержання мінімуму середньоквадратичної похибки дасть можливість також встановити задану

якість перехідного процесу. Цим методом за допомогою ЕОМ досліджують як лінійні, так і нелінійні системи автоматичного керування. При цьому використовують стандартний пакет Nonlinear Control Design (NCD) Blockset.

Сутність даного методу розглянемо на прикладі синтезу автоматичної системи, наведеної на рис. 6.12. При цьому з метою зменшення швидкісної похибки за основу приймаємо типовий PID-закон керування. Дослідження виконаємо для аналогової неперервної моделі системи. В середовищі пакета Simulink створюємо неперервну модель САК з використанням можливостей та блоків NCD Blockset (рис. 6.13).

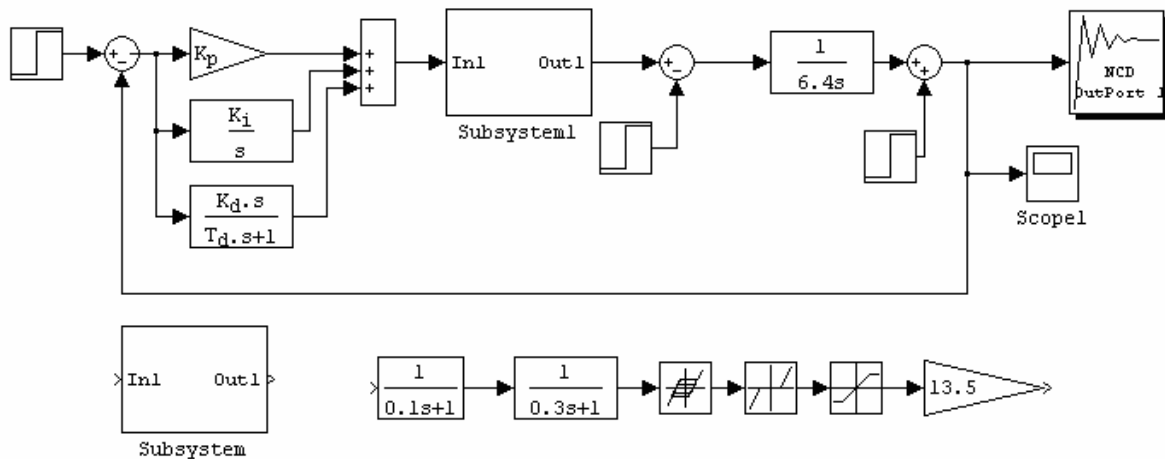


Рис. 6.13. Схема досліджуваної аналогової моделі системи автоматичного уповільнення скіпів

На рис. 6.14 показано, як при цьому викликати блок NCD-Output: двічі клацнути лівою кнопкою миші та перетягти його до схеми САК.

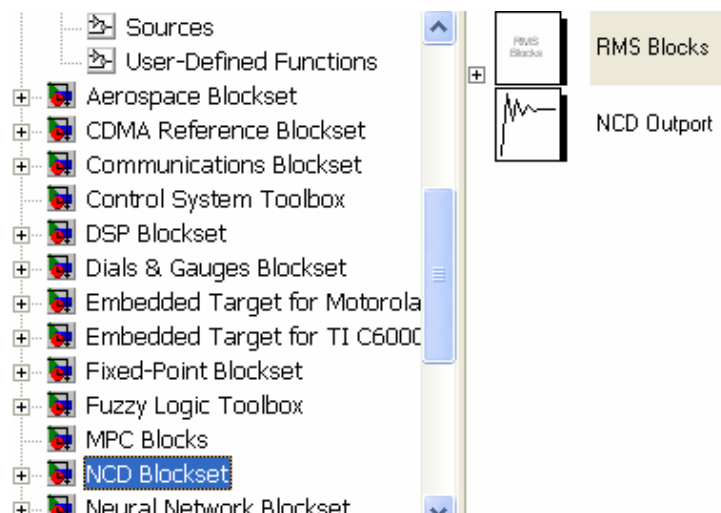


Рис. 6.14. Визначення блока NCD-Output

Як бачимо з рис. 6.13, невідомі параметри  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  і  $T_d$  на структурній схемі задані у неявній формі. Тому в режимі командного рядка Matlab задаємо

довільні початкові значення параметрів PID-закону керування. Наприклад,  $K_p = 4$ ;  $K_i = 2 \text{ c}^{-1}$ ;  $K_d = 1$ ;  $T_d = 0,1 \text{ c}$ .

Результат реалізації моделі досліджуваної системи з попередньо прийнятими параметрами бачимо на рис. 6.15.

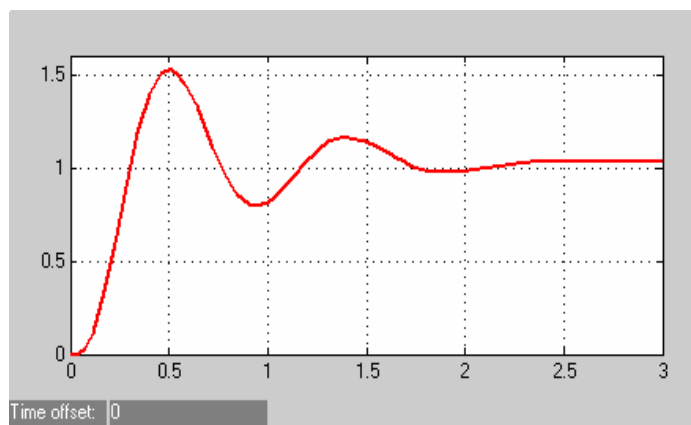


Рис. 6.15. Результат реалізації моделі досліджуваної системи з попередньо прийнятими параметрами

Якість перехідного процесу в системі з прийнятими параметрами явно незадовільна, оскільки на перехідний процес витрачається багато часу при значному рівні коливань. Система з такою якістю роботи не придатна до експлуатації. Тепер треба ініціювати блок NCD-Outport. Далі за допомогою правої кнопки миші приводимо конфігурацію заданого вихідного сигналу до потрібного вигляду відповідно до заданих показників якості перехідного процесу (наприклад, як показано на рис. 6.16).

Тепер за допомогою блока NCD-Outport, використовуючи меню Optimization Parameters, задаємо інтервал дискретизації, шукані параметри та можливий діапазон їх зміни (рис. 6.17).

Далі подаємо команду на оптимізацію параметрів за допомогою меню Optimization – Start. За результатами оптимізації маємо два графіки параметрів (рис. 6.18): прийнятих попередньо та синтезованих. Згідно з рис. 6.18 задаємо аперіодичний перехідний процес тривалістю 1 с.

Синтезовані параметри аналогового PID-закону керування знаходимо у командному рядку Matlab, набираючи їх позначення. В результаті маємо, що

$$K_p = 2,308; K_i = 0,8 \text{ c}^{-1}; K_d = 1,15; T_d = 0,002 \text{ c}.$$

Далі розглянемо роботу автоматичної системи уповільнення скіпів при заданому законі руху, який визначається співвідношенням (6.8). При цьому будемо розглядати як варіант неперервної системи, так і її цифровий аналог. Скористаємося схемою на рис. 6.19, набраною в пакеті Simulink.



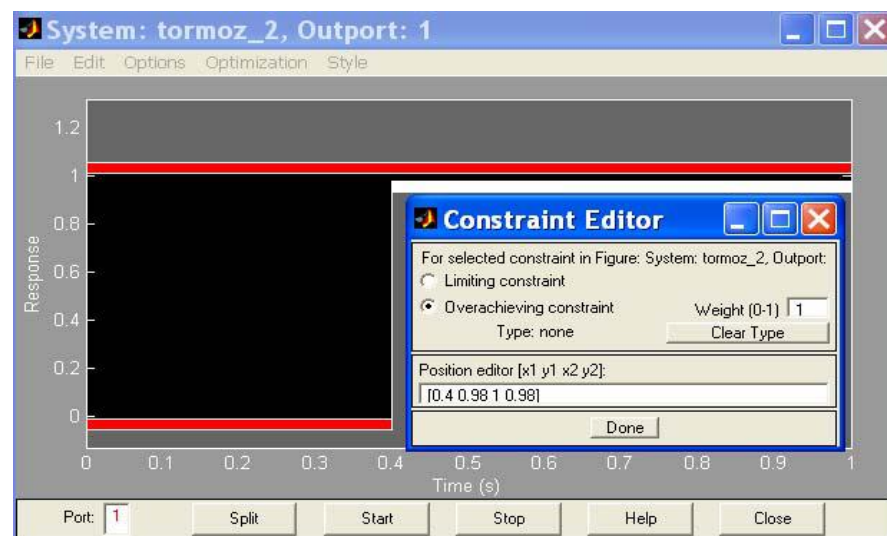
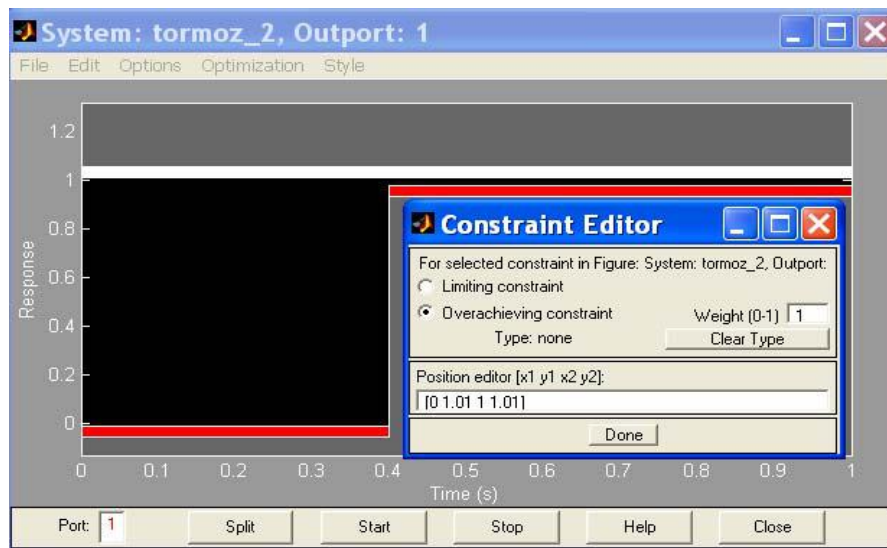


Рис. 6.16. Установка заданных параметров переходного процесса

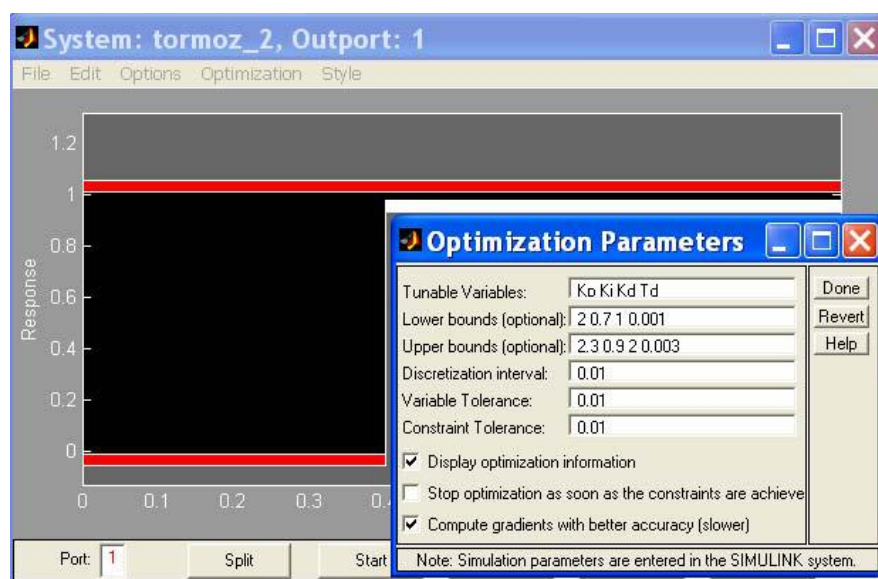


Рис. 6.17. Установка заданных параметров PID-закона управления

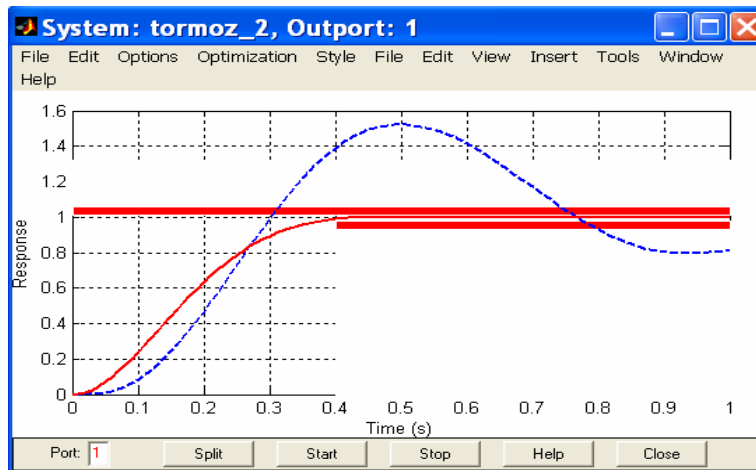


Рис. 6.18. Результати синтезу аналогового PID-закону керування

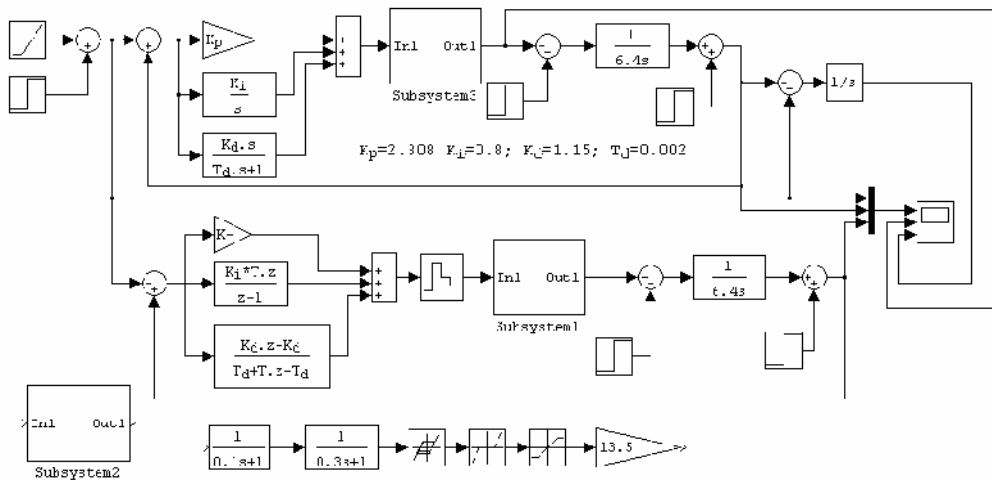


Рис. 6.19. Схеми моделювання режиму автоматичного уповільнення скіпів

Наводимо результати моделювання для випадків підйому завантаженого скіпа (рис. 6.20) та перегону порожніх (рис. 6.21). На рис. 6.20 і 6.21 показані графіки зміни заданої  $\varphi_3$  (data1), дійсної при аналоговій  $\varphi_n$  (data2) та дійсної при цифровій  $\varphi_n$  моделях (data3) автоматичних систем уповільнення скіпів.

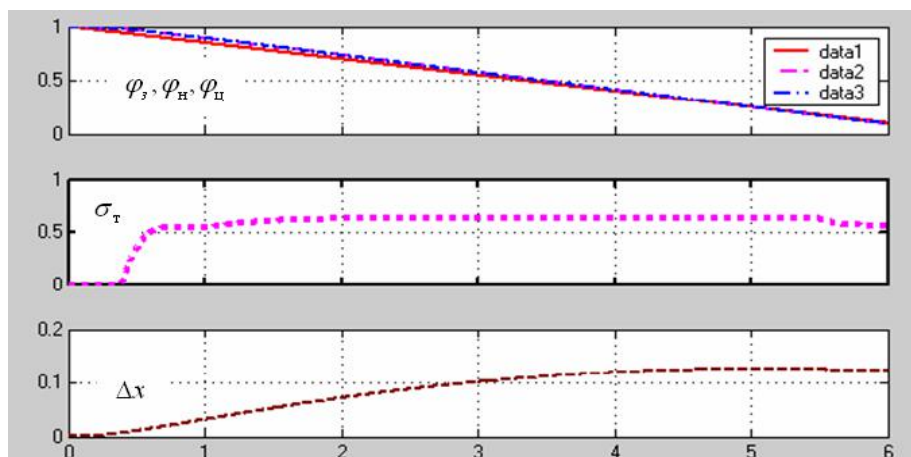


Рис. 6.20. Результати моделювання системи уповільнення завантажених скіпів

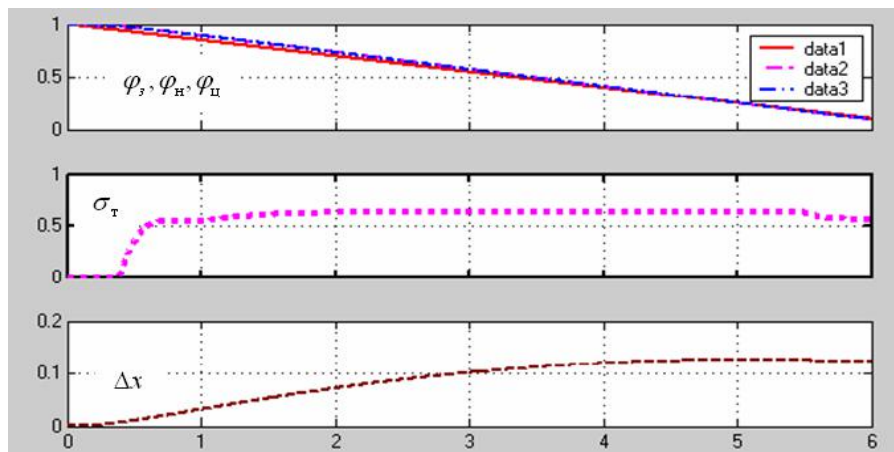


Рис. 6.21. Результати моделювання системи уповільнення порожніх скіпів

Як бачимо, при зміні завантаження скіпів від максимального до практично нульового похибка виконання заданого закону зміни швидкості скіпів є незначною, а швидкості руху скіпів для аналогового та цифрового законів керування практично збігаються.

Графіки всередині визначають при цьому зміну зусилля  $\sigma_T$ , яке створюється робочим гальмом, а графіки внизу – це похибки  $\Delta x$  шляху уповільнення скіпів.

Аналіз рис. 6.20 та 6.21 показує, що як при нормальному завантаженні скіпів, так і при перегоні їх порожніми точність виконання заданої швидкості є цілком прийнятною. При підйомі завантаженого скіпа похибка шляху  $\Delta x = 0,1$ , що в абсолютних величинах складає близько 2 м. При перегоні порожніх скіпів, що буває досить рідко,  $\Delta x$  дорівнює 0,13 або 2,6 м.

Процес уповільнення протікає майже без перерегулювань. Завдяки цьому динамічні зусилля в механічній системі підйомної установки будуть близькими до заданих. Про це свідчить також закон зміни зусилля робочого гальма, який протягом усього періоду уповільнення виростає до заданого, а далі практично не змінюється.

### 6.7.2. Система уповільнення скіпів з використанням динамічного гальмування

За досліджувану приймемо часто використовувану на практиці систему автоматизації шахтного підйому з асинхронним приводом при його уповільненні в режимі динамічного гальмування (рис. 6.22). На підйомі встановлено асинхронний двигун з фазним ротором потужністю 630 кВт; з номінальним числом обертів 285 об/хв; напругою 6300 В; відповідно струмами статора і ротора 93 та 595 А. Статичний момент навантаження складає 2000 нм, максимальна швидкість переміщення скіпів 7,11 м/с, величина уповільнення 1 м/с<sup>2</sup>.

При роботі в автоматичному режимі максимальна похибка шляху гальмування не повинна перевищувати 4% як при повністю завантаженому скіпові, так і при перегоні порожніх. Перехідний процес у системі автоматичного гальмування при одиничному ступінчастому впливові повинен

бути аперіодичним без перерегулювання, а його час – не перевищувати 0,5 с. Запропонована система має бути цифровою.

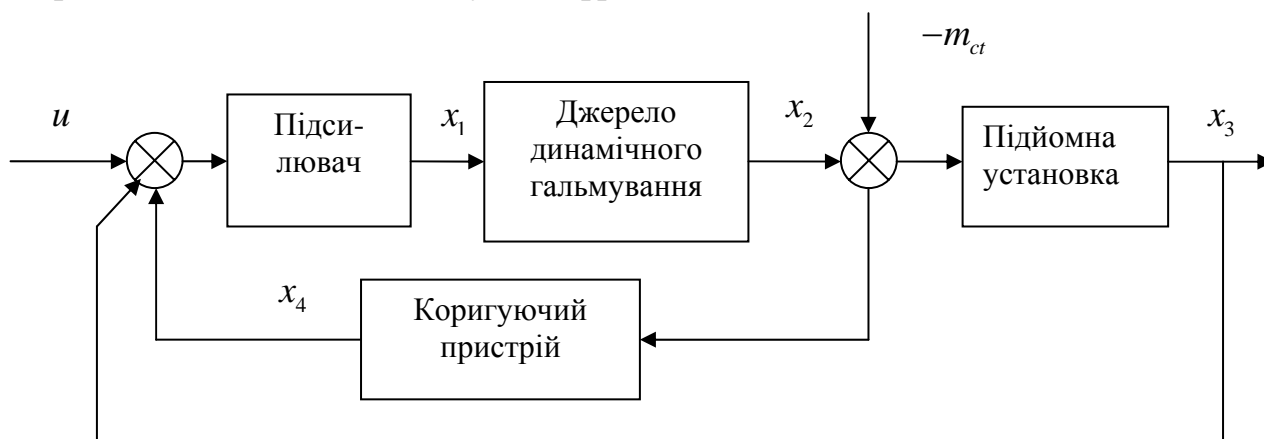


Рис. 6.22. Функціональна схема системи уповільнення скіпів

Дослідження будемо виконувати з використанням пакетів Mathcad і Matlab та аналогової моделі системи, яка б забезпечувала мінімальну середньоквадратичну похибку. Під час виконання досліджень якості роботи системи визначатимемо при подачі на її вхід одиничного ступінчастого впливу та заданої тахограми переміщення скіпів.

Математичний опис системи виконаємо на основі літературних даних з урахуванням наведеної функціональної схеми (рис. 6.22).

Керуючий вхідний вплив при уповільненні скіпів знайдемо з рівняння

$$u = 1 - \frac{a_3}{V_m} t, \quad (6.9)$$

де  $a_3, V_m$  – відповідно задане уповільнення ( $\text{м/с}^2$ ) та максимальна швидкість руху скіпів ( $\text{м/с}$ ).

Запишемо диференціальні рівняння елементів системи:

- для підсилювача (як правило, це магнітний підсилювач)

$$T_1 x_1' + x_1 = K_1 (x_3 - x_4 - u), \quad (6.10)$$

де  $K_1, T_1$  – коефіцієнт підсилення та постійна часу магнітного підсилювача;

- для джерела динамічного гальмування (як правило, це тиристорний перетворювач)

$$T_2 x_2' + x_2 = K_2 x_1; \quad (6.11)$$

- для підйомної установки (підйомальної машини з асинхронним двигуном)

$$T_3 x_3' + x_3 = -m_{ct} - K_3 x_2 x_3, \quad (6.12)$$

де  $K_2, T_2, K_3, T_3$  – коефіцієнти підсилення і постійні часу тиристорного перетворювача та підйомної установки;

– для гнучкого від’ємного зворотного зв’язку

$$T_4 x_4' + x_4 = K_4 T_4 x_2', \quad (6.13)$$

де  $K_4, T_4$  – коефіцієнт підсилення та постійна часу зворотного зв’язку.

Скориставшись виразами (6.10) – (6.13), запишемо тепер диференціальні рівняння елементів САУ в нормальній формі:

$$\begin{aligned} x_1' &= -\frac{1}{T_1} x_1 + \frac{K_1}{T_1} (x_3 - x_4 - u); \\ x_2' &= \frac{K_2}{T_2} x_1 - \frac{1}{T_2} x_2; \\ x_3' &= \frac{m_{ct}}{T_3} x_1 - \frac{K_3}{T_3} x_2 x_3. \end{aligned} \quad (6.14)$$

Для запису в нормальній формі диференціального рівняння коригуючого пристрою підставимо спочатку в рівняння (6.13) значення  $x_2'$  з рівняння (6.14). Після перетворень маємо

$$x_4' = \frac{K_2 K_4}{T_2} x_1 - \frac{K_4}{T_2} x_2 - \frac{1}{T_4} x_4. \quad (6.15)$$

Визначимо тепер параметри елементів системи:

– момент інерції рухомих частин, зведений до валу двигуна,

$$J = \frac{(F_2 - F_3) R_6^2}{a_3 i_{ред}^2} = \frac{(1033 + 7284) \cdot 2,5^2}{1 \cdot 10,5^2} = 473 \text{ кг/м}^2. \quad (6.16)$$

де  $F_2, F_3$  – відповідно зусилля в кінці періоду рівномірного ходу та на початку періоду гальмування, Н;  $R_6$  – діаметр барабана підйомальної машини, м;  $a_3$  – величина заданого уповільнення, м/с<sup>2</sup>;  $i_{ред}$  – передатне відношення редуктора;

– величина реактивного опору намагнічування підйомального двигуна

$$x_\mu = \frac{0,95 U_c}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{i_c^2 - i_p^2 \left( \frac{U_p}{U_c} \right)^2}} = \frac{0,95 \cdot 6300}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{93^2 - 595^2 \left( \frac{715}{6300} \right)^2}} = 54,1 \text{ Ом}, \quad (6.17)$$

де  $U_c, i_c, U_p, i_p$  – відповідно напруга та струм статора і ротора;

- значення постійного струму динамічного гальмування для забезпечення заданого гальмівного моменту

$$i_{\partial} = \sqrt{\frac{\lambda n_c \eta_{ред}}{U_p i_p} \left[ i_c^2 - i_p^2 \left( \frac{U_p}{U_c} \right)^2 \right] \left( a_3 i_{ред} \frac{J}{R_{\partial}} + M_{cm} \right)} =$$

$$= \sqrt{\frac{0,5 \cdot 300 \cdot 0,95}{715 \cdot 595} \left[ 93^2 - 595^2 \cdot \left( \frac{715}{6300} \right)^2 \right] \left( 1 \cdot 10,5 \cdot \frac{473}{2,5} + 2000 \right)} = 61 \text{ А}, \quad (6.18)$$

де  $\lambda$  – відношення опорів пускового реостата, що використовується для динамічного гальмування, до номінального опору ( $\lambda = 0,5$ );  $n_c$  – синхронне число обертів двигуна, об/хв;  $\eta_{ред}$  – к.к.д. редуктора;

- значення постійних величин:

$$i_{\Pi} = \sqrt{\frac{i_{\partial}^2}{2}} = 43,1 \text{ А}; \quad (6.19)$$

$$r_p' = \lambda \frac{U_c^2}{\sqrt{3} i_p U_p} = 0,5 \frac{6300^2}{\sqrt{3} \cdot 595 \cdot 715} = 26,96 \text{ Ом}; \quad (6.20)$$

$$r_{\phi} = \frac{U_c (n_c - n_n)}{1,73 \cdot i_c \cdot n_c} = \frac{6300 \cdot (300 - 285)}{1,73 \cdot 93 \cdot 300} = 1,95 \text{ Ом}; \quad (6.21)$$

- постійна часу підйомної установки

$$T_3 = \frac{V_M i_{ред} J}{R_{\partial} M_n} = \frac{7,11 \cdot 10,5 \cdot 473}{2,5 \cdot 2353} = 6 \text{ с}; \quad (6.22)$$

- коефіцієнти передачі

$$K_3 = \frac{0,2 x_{\mu}^2 i_{\Pi} R_{\partial}}{V_M i_{ред} r_p'} = \frac{0,2 \cdot 54,1^2 \cdot 43,1 \cdot 2,5}{7,11 \cdot 10,5 \cdot 29,96} = 31,3;$$

$$K_2 = \frac{U_{Hp}}{(2r_n + r_n) i_n} = \frac{460}{(2 \cdot 1,95 + 0,5) \cdot 100} = 1,05. \quad (6.23)$$

Приймаємо постійні часу  $T_1 = 1 \text{ с}$ ;  $T_2 = 0,85 \text{ с}$ .

Розраховуємо задану похибку швидкості уповільнення скіпів

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta x_3 \frac{a_3}{V_M}}{V_M \left(1 - \frac{V_{\text{дом}}}{V_M}\right)} = \frac{1 \cdot \frac{1}{7,11}}{7,11 \cdot \left(1 - \frac{0,5}{7,11}\right)} = 0,021. \quad (6.24)$$

При цьому визначимо загальний коефіцієнт підсилення системи

$$K = \frac{m_T}{\Delta\varphi} = \frac{0,2}{0,021} = 9,5 \quad (6.25)$$

і потрібне значення коефіцієнта передачі магнітного підсилювача

$$K_1 = \frac{K}{K_2 K_3 \frac{V_{\text{дом}}}{V_M}} = \frac{7,11 \cdot 9,5}{1,05 \cdot 31,3 \cdot 0,5} = 4,1. \quad (6.26)$$

Згідно з порадами, наведеними в літературі, приймаємо параметри коригуючого пристрою  $K_4 = 2,5$ ;  $T_4 = 1,6$  с.

**Дослідження системи з існуючою структурою та визначеними параметрами.** Дослідження виконуємо за допомогою пакету Simulink при піднятті завантаженого скіпа та при перегоні порожніх скіпів. Для цього складаємо структурну схему моделювання режиму гальмування (Progr №1).

На рис. 6.23 наведені результати роботи існуючої системи при піднятті завантаженого скіпа (рис. 6.23, а) та при перегоні порожніх скіпів (рис. 6.23, б). На рис. 6.23, а, б наведені задана (data1) та дійсна (data2) швидкості руху скіпів, відносна швидкісна похибка  $\Delta\varphi$  та відносна похибка  $\Delta x$  шляху гальмування. Аналогічні дослідження виконаємо також за допомогою пакету Mathcad (Progr №2).

Як бачимо, результати виконання Progr №1 та Progr №2 збігаються.

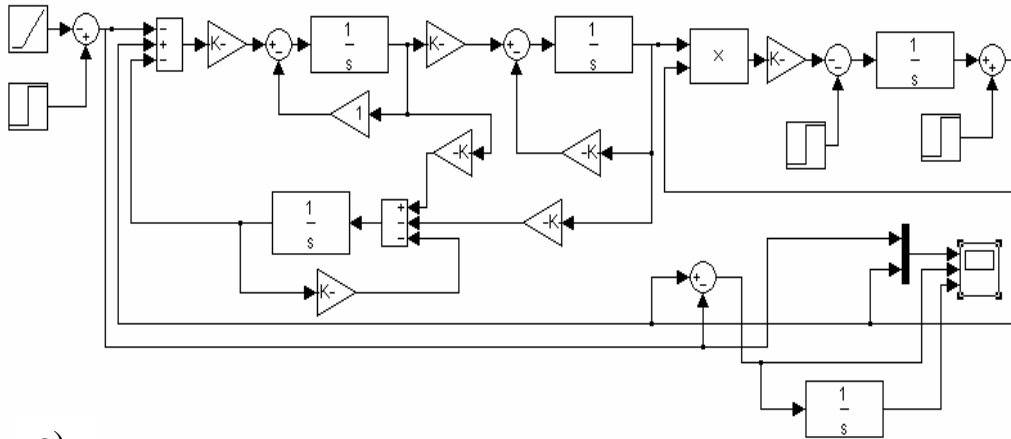
Аналіз одержаних результатів показує, що при піднятті завантажених скіпів система працює задовільно при незначних похибках – швидкісній та шляху гальмування. При перегоні порожніх скіпів швидкісна похибка стає значною і це призводить до похибки шляху гальмування у 21%. Отже, слід вважати це неприпустимим, тому що при піднятті завантаженого скіпа треба мати значний час дотягування скіпів у розвантажувальних кривих. Наприклад, якщо шлях уповільнення складає 50 м, то шлях дотягування має бути понад 10 м. При подальшому збільшенні коефіцієнта підсилення системи зменшується запас її стійкості та погіршується якість перехідного процесу, що також є неприйнятним.

Тому для подальших досліджень скористаємося регулятором з типовим PID-законом керування. При цьому для вибору параметрів регулятора приймемо один із сучасних машинних методів дослідження цифрової системи за її аналоговою моделлю, яка б забезпечувала мінімальну середньоквадратичну похибку (розширення Nonlinear Control Design (NCD) Blockset стандартного

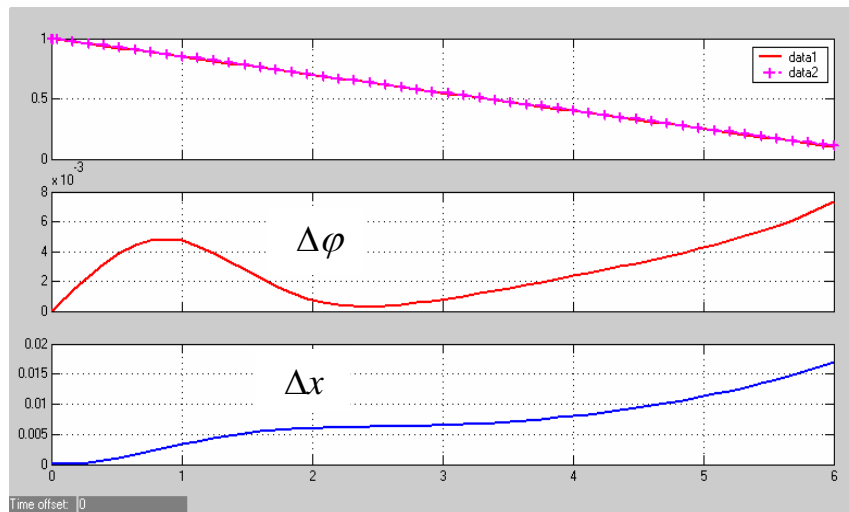
пакету Matlab). Схему аналогової моделі системи для синтезу параметрів PID-регулятора складаємо за допомогою розширення Simulink (Progr№\_3).

### Progr №1

#### Схема моделювання режиму гальмування скіпів



а)



б)

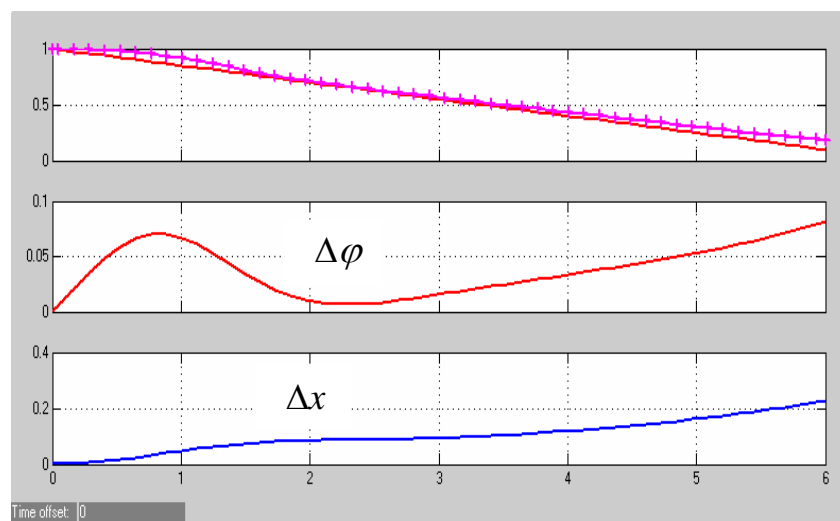


Рис. 6.23. Результат роботи існуючої системи при підйомі завантаженого скіпа та при перегоні порожніх скіпів



## Progr №2

### Уповільнення скіпів при динамічному гальмуванні

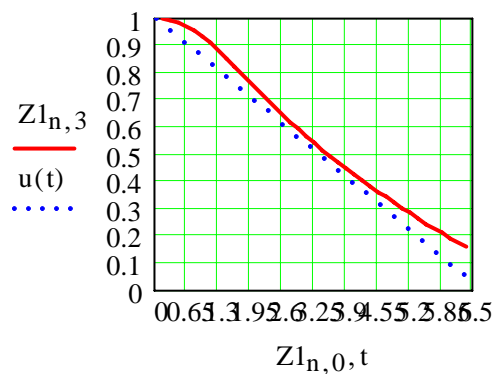
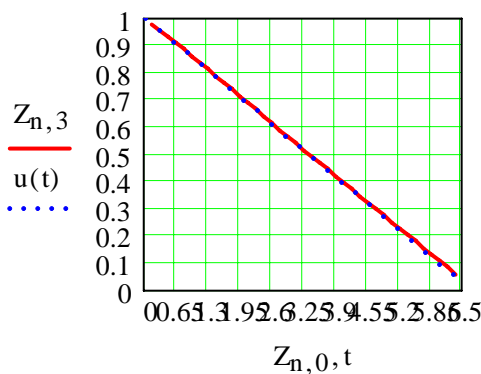
$k_1 := 4.1$   $k_2 := 1$   $k_3 := 31.3$   $k_4 := 4.5$   $n := 1..39$   $t := 0, 0.1..6.5$   $u(t) := 1 - 0.15 \cdot$   
 $T_1 := 1$   $T_2 := 0.85$   $T_3 := 6$   $T_4 := 0.6$   $mct1 := 0.85$   $mct2 := 0.15$

### Підняття завантаженого скіпа

$$x := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad R(t, x) := \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_1} \cdot x_0 + \frac{k_1}{T_1} \cdot (x_2 - x_3 - u(t)) \\ \frac{k_2}{T_2} \cdot x_0 - \frac{1}{T_2} \cdot x_1 \\ \frac{-mct1}{T_3} - \frac{k_3}{T_3} \cdot x_1 \cdot x_2 \\ \frac{k_2 \cdot k_4}{T_2} \cdot x_0 - \frac{k_4}{T_2} \cdot x_1 - \frac{1}{T_4} \cdot x_3 \end{bmatrix} \quad Z := \text{rkfixed}(x, 0, 6.5, 40, R)$$

### Перегін порожніх скіпів

$$R1(t, x) := \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_1} \cdot x_0 + \frac{k_1}{T_1} \cdot (x_2 - x_3 - u(t)) \\ \frac{k_2}{T_2} \cdot x_0 - \frac{1}{T_2} \cdot x_1 \\ \frac{-mct2}{T_3} - \frac{k_3}{T_3} \cdot x_1 \cdot x_2 \\ \frac{k_2 \cdot k_4}{T_2} \cdot x_0 - \frac{k_4}{T_2} \cdot x_1 - \frac{1}{T_4} \cdot x_3 \end{bmatrix} \quad Z1 := \text{rkfixed}(x, 0, 6.5, 40, R1)$$



За результатами синтезу маємо, що при значеннях параметрів PID-регулятора  $K_p = 9$ ;  $K_i = 0,016 \text{ c}^{-1}$ ;  $K_d = 7,6$ ;  $T_d = 0,01 \text{ c}$  перехідна характеристика системи буде монотонною (рис. 6.24).

Далі за допомогою Progr №4 досліджуємо роботу системи при підйомі завантажених скіпів та при їх перегоні порожніми.

### Progr №3

#### Схема моделі системи для синтезу параметрів PID-регулятора

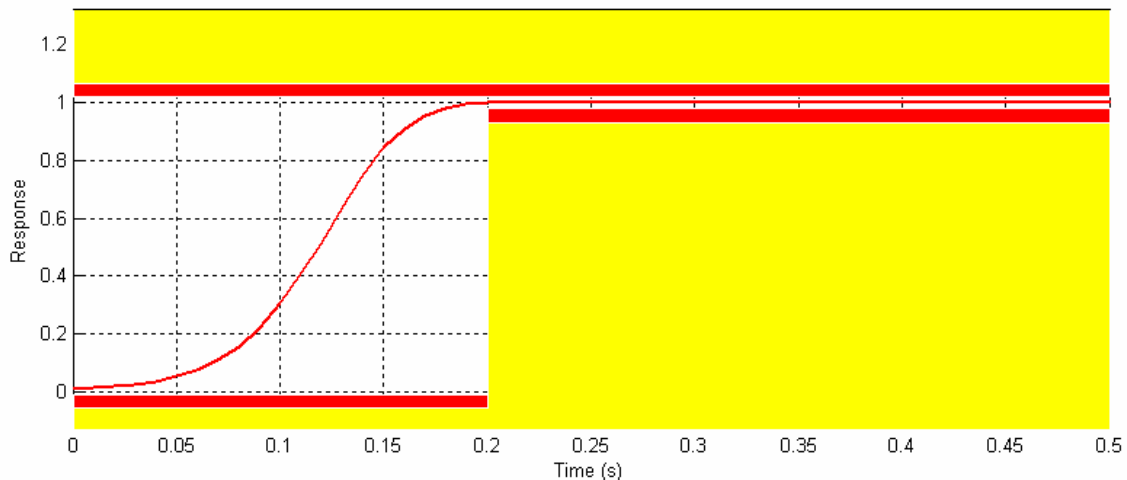
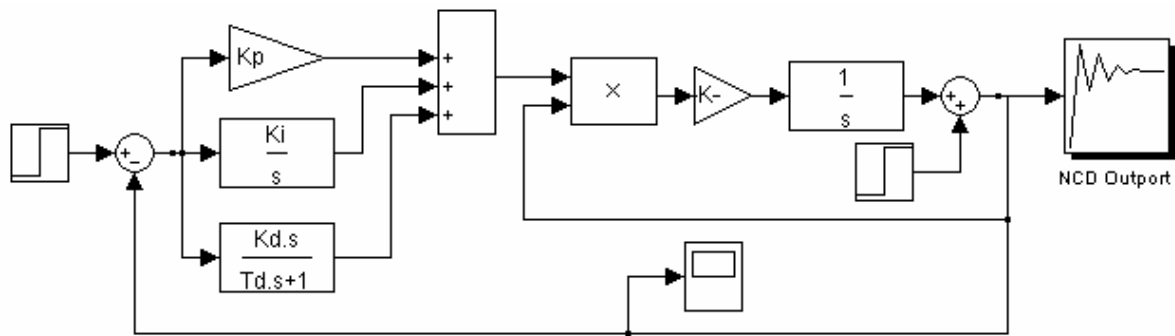


Рис. 6.24. Результати синтезу параметрів PID-регулятора

При піднятті завантаженого скіпа максимальна швидкісна похибка складає 0,22%, а похибка шляху гальмування – 0,45%. При перегоні порожніх скіпів означені похибки відповідно складають 0,2 та 0,45%. Якщо шлях уповільнення дорівнює 50 м, то шлях дотягування – 2,25 м. Це буде максимально можливий шлях, який не внесе суттєвих змін у час виконання заданої діаграми швидкості.

Отже, запропонований варіант типового PID-закону керування є прийнятним, бо він забезпечує задані вимоги завдання.

Для одержання цифрового варіанта системи автоматичного гальмування скіпів аналоговий PID-алгоритм керування подамо у цифровій формі, скориставшись такою приблизною підстановкою:

$$\frac{1}{p} \approx \frac{Tz}{z-1}. \quad (6.27)$$

Перевірку роботи моделі цифрової системи здійснюємо за допомогою Progr №5, де наведена також аналогова модель цієї ж системи.

## Progr №4

### Схема моделювання режиму гальмування скіпів при використанні PID-регулятора

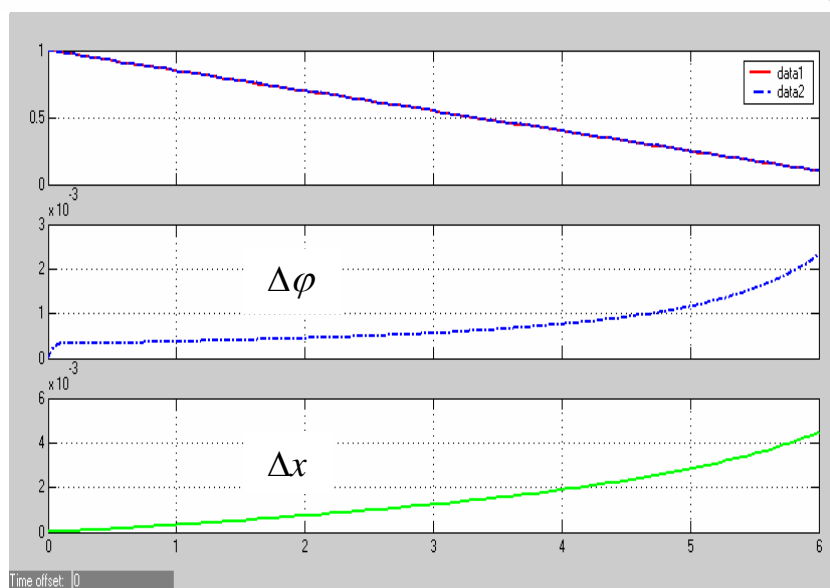
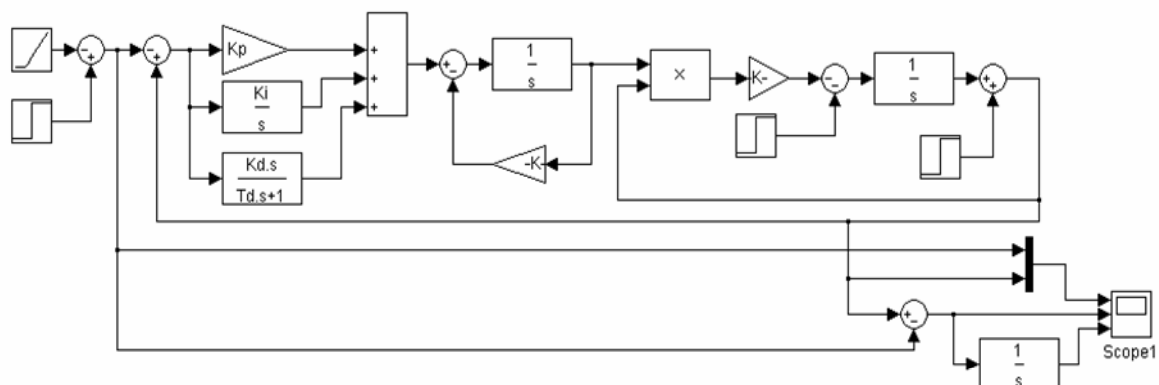


Рис. 6.25. Результат роботи запропонованої системи при піднятті навантаженого скіпа

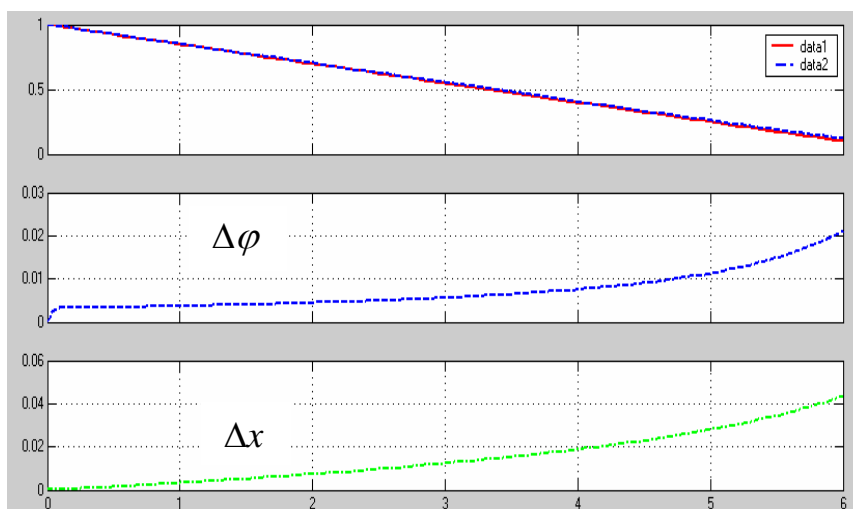


Рис. 6.26. Результат роботи запропонованої системи при перегоні порожніх скіпів



Задана діаграма швидкості з такими параметрами діаграми:

$t_1, c$	$t_2, c$	$t_3, c$	$t_4, c$	$t_5, c$	$t_0, c$
5	13	58	66	71	73

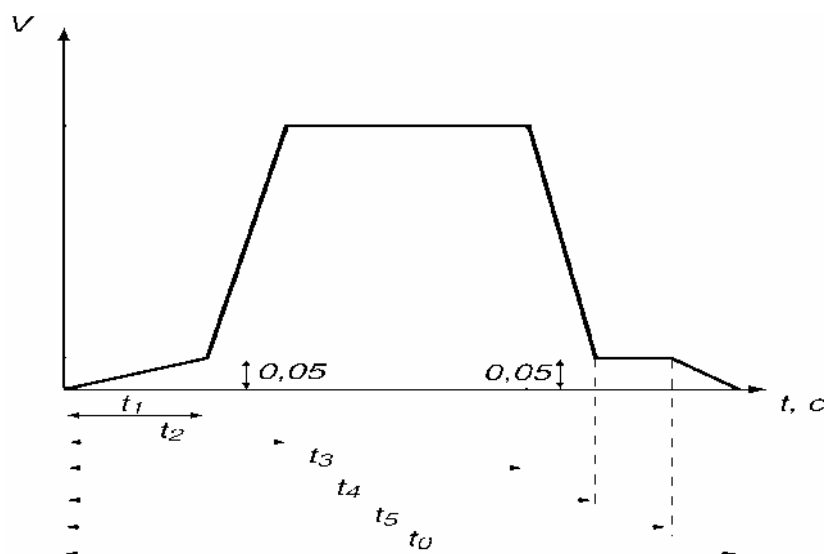


Рис. 6.28. Задана діаграма швидкості руху скіпів

Перед виконанням досліджень визначимо параметри електроприводу підйомної установки на основі його технічної характеристики.

#### Технічна характеристика електроприводу

Потужність $P_{\text{дв.ном}}$ , кВт	2000
Напруга якоря $U_{\text{дв.ном}}$ , В	930
Струм якоря $I_{\text{дв.ном}}$ , А	2400
Частота обертання $n_{\text{дв.ном}}$ , хв <sup>-1</sup>	40
Номінальний момент на валу $M_{\text{дв.ном}}$ , Н·м	1910000
Опір обмотки якоря і щіткового контакту $R_{\text{я}} + R_{\text{щ}}$ , Ом	0,0048
Опір обмотки додаткових полюсів та компенсаційної обмотки $R_{\text{д.п.}} + R_{\text{к.о.}}$ , Ом	0,00448
Число пар полюсів $p$	24
Напруга обмотки збудження $U_{\text{в.ном}}$ , В	220
Струм збудження $I_{\text{в.ном}}$ , А	130

Дослідження будемо виконувати за допомогою таких найбільш поширених сучасних методів:

- параметричної оптимізації при використанні аналогової моделі цифрової системи;
- кореневого годографа при використанні пакету Matlab.

Під час виконання досліджень якість роботи системи будемо визначати при подачі на її вхід одиничного ступеневого впливу та заданої тахограми переміщення підйомних посудин.

При математичному описі процесів у системі керування механічну частину приводу подамо спрощеною, тобто будемо вважати механічні зв'язки абсолютно жорсткими, а всі переміщувані маси – зведеними до радіуса барабана підйомальної машини. Таким чином, механічна частина – це одна зосереджена маса, на яку впливають статичне зусилля та зусилля, створюване електроприводом.

З урахуванням зазначених факторів для дослідження динамічних процесів в електромеханічній системі й синтезу системи регулювання виконаємо математичний опис процесів в елементах системи. За основу візьмемо двоконтурну систему підпорядкованого регулювання (рис. 6.29).

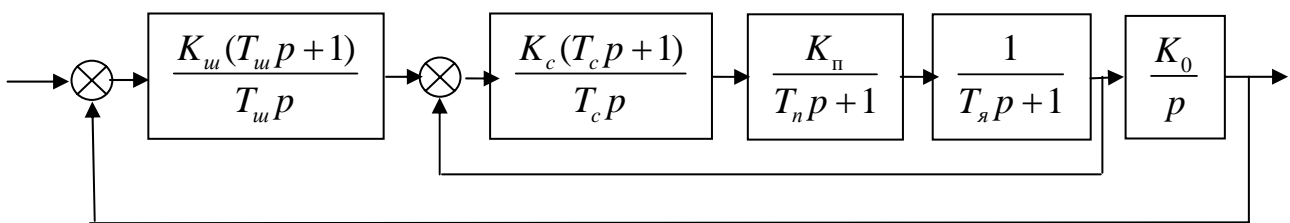


Рис. 6.29. Структурна схема досліджуваної системи

На даній структурній схемі:

–  $K_u$ ,  $K_c$ ,  $T_u$ ,  $T_c$  – відповідно коефіцієнти підсилення та постійні часу регуляторів швидкості та струму;

–  $K_n$ ,  $T_n$  – коефіцієнт підсилення та постійна часу тиристорного перетворювача ( $K_n = 10$ ;  $T_n = 0,0124$ , с);

–  $T_y$  – постійна часу кола якоря, с;

–  $T_m$  – електромеханічна постійна часу, с;

–  $K_0 = \frac{\rho}{T_m(1-\rho)}$  – коефіцієнт пропорційності (коефіцієнт  $\rho = 0,1$ ).

Знайдемо тепер відомі рівняння для визначення параметрів електроприводу підйомної установки:

– конструктивної постійної  $C_F$ :

$$C_F = \frac{C_m}{R_\sigma}, \text{ М}^{-1}; \quad (6.28)$$

– конструктивної постійної  $C_m$ :

$$C_m = \frac{pN}{2\pi a}, \quad (6.29)$$

де  $N$  – число активних провідників якоря;  $p$  – число пар полюсів;  $a$  – число паралельних гілок;

– конструктивного коефіцієнта  $C_e$ :

$$C_e = \frac{pN}{60a}; \quad (6.30)$$

– конструктивної постійної  $C_v$ :

$$C_v = C_e \frac{30}{R_\phi \pi}, \text{ м}^{-1}; \quad (6.31)$$

– коефіцієнта пропорційності між е.р.с. електродвигуна й швидкістю руху підйомних посудин:

$$K_v = \frac{U_{\text{дв. ном}} - R_\phi I_{\text{дв. ном}}}{\frac{\pi}{30} R_\phi n_{\text{дв. ном}}}, \text{ Вс/м}, \quad (6.32)$$

де  $U_{\text{дв. ном}}$  – номінальна напруга живлення електродвигуна, В;  $I_{\text{дв. ном}}$  – номінальний струм якоря двигуна, А;  $n_{\text{дв. ном}}$  – номінальна швидкість обертання ротора двигуна, об/хв;

– коефіцієнта пропорційності між рушійним зусиллям і струмом якоря:

$$K_F = \frac{M_{\text{дв. ном}}}{R_\phi I_{\text{дв. ном}}}, \text{ нм/А}, \quad (6.33)$$

де  $M_{\text{дв. ном}}$  – номінальний момент на валу двигуна, нм.

– електромагнітної постійної часу ланцюга якоря:

$$T_\phi = \frac{L_\Sigma}{R_\Sigma}, \text{ с}, \quad (6.34)$$

де  $L_\Sigma$  – сумарна індуктивність ланцюга випрямленого струму, Гн;  $R_\Sigma$  – сумарний опір ланцюга випрямленого струму, Ом.

Обчислимо параметри системи для конкретного електроприводу. (Технічні параметри двигуна, необхідні для розрахунку, наведені раніше):

– активний опір ланцюга якоря електродвигуна, зведений до робочої температури:

$$R_\phi = \beta (R_\phi' + R_{\phi\text{ш}} + R_{\phi\text{д.н}} + R_{\phi\text{к.о}}) = 1,15 \cdot (0,0048 + 0,00448) = 0,0107 \text{ Ом}, \quad (6.35)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт, що враховує зміну опору при нагріванні;

- коефіцієнт пропорційності між е.р.с. електродвигуна та швидкістю руху підйомних посудин:

$$K_V = \frac{U_{\text{дв. ном}} - R_{\text{я}} I_{\text{дв. ном}}}{\frac{\pi}{30} R_{\text{б}} n_{\text{дв. ном}}} = \frac{930 - 0,0107 \cdot 2400}{\frac{3,14}{30} \cdot 2,7 \cdot 40} = 80, \text{ Вс/м}; \quad (6.36)$$

- коефіцієнт пропорційності між рушійним зусиллям і струмом якоря:

$$K_F = \frac{M_{\text{дв. ном}}}{R_{\text{б}} I_{\text{дв. ном}}} = \frac{1910000}{2,7 \cdot 2400} = 294,8, \text{ нм/А}; \quad (6.37)$$

- електромеханічна постійна часу:

$$T_m = m \frac{R_{\text{я}}}{K_V K_F} = 111270 \cdot \frac{0,0107}{80 \cdot 294,8} = 0,05 \text{ с}, \quad (6.38)$$

де  $m$  – зведена маса рухомих частин підйомної установки;

- індуктивність електродвигуна:

$$L_{\text{д}} = C_1 \frac{30 U_{\text{дв. ном}}}{p \pi n_{\text{дв. ном}} I_{\text{дв. ном}}} = 0,1 \frac{30 \cdot 930}{24 \cdot 3,14 \cdot 40 \cdot 2400} = 0,39 \cdot 10^{-3}, \text{ Гн}, \quad (6.39)$$

де  $p$  – число пар полюсів;  $C_1$  – коефіцієнт для скомпенсованих електродвигунів.

Індуктивність вирівнювального реактора  $L_p$  вибираємо залежно від його типу. У нашому випадку застосовується реактор СРОСЗ-1250 В4. Для нього  $L_p = 0,32 \cdot 10^{-3}$  Гн.

Індуктивність активної частини трансформатора розраховуємо за формулою:

$$L_{T1} = L_{T2} = \frac{e_{\text{к}}}{100} \cdot \frac{30 V_2}{2 \pi f I_2} = \frac{6}{100} \cdot \frac{30 \cdot 450}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 4950} = 0,52 \cdot 10^{-3}, \text{ Гн}, \quad (6.40)$$

де  $e_{\text{к}}$  – напруга короткого замикання силового трансформатора, %;  $V_2$  – вторинна напруга силового трансформатора, В;  $f$  – частота живлення мережі, Гц;  $I_2$  – номінальний струм вторинної обмотки силового трансформатора, А.

Тепер визначимо сумарну індуктивність ланцюга випрямленого струму згідно з рис. 6.30

$$L_{\Sigma} = L_{T1} + L_{T2} + L_p + L_{\text{дв}} = 0,52 \cdot 10^{-3} + 0,52 \cdot 10^{-3} + 0,32 \cdot 10^{-3} + 0,39 \cdot 10^{-3} = 1,75 \cdot 10^{-3}, \text{ Гн}. \quad (6.41)$$



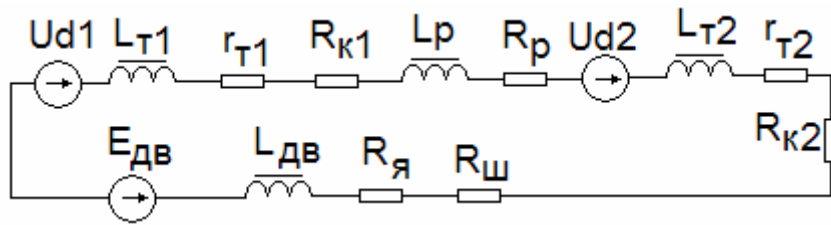


Рис. 6.30. Схема заміщення ланцюга випрямленого струму

Опір шунта  $R_{ш}$  приймаємо для стандартних типів шунтів  $R_{ш} = 0,00047$ , Ом.

Опір від комутації тиристорів визначається за формулою:

$$R_{\kappa} = \frac{3}{\pi} x_{\kappa} \left( 1 - \frac{4 \cos \frac{2\pi}{3} + \cos^2 \frac{2\pi}{3}}{3(1 + N_h)} \right), \text{ Ом}, \quad (6.42)$$

де  $x_{\kappa}$  – індуктивний опір вторинної обмотки трансформатора, Ом;  $N_h$  – безрозмірний коефіцієнт зведення (приймаємо  $N_h = 1$ ).

Індуктивний опір вторинної обмотки трансформатора обчислюється за рівнянням

$$x_{\kappa} = \frac{e_{\kappa}}{100} \cdot \frac{V_2}{I_2} = \frac{6}{100} \cdot \frac{450}{4950} = 0,006, \text{ Ом}, \quad (6.43)$$

де  $e_{\kappa}$  – напруга короткого замикання трансформатора, %;  $V_2$  – вторинна напруга трансформатора, В;  $I_2$  – вторинний струм трансформатора, А.

Тепер за виразом (6.42)

$$R_{\kappa} = \frac{3}{3,14} \cdot 0,006 \cdot \left( 1 - \frac{4 \cos \frac{2\pi}{3} + \cos^2 \frac{2\pi}{3}}{3(1 + 1)} \right) = 0,0012, \text{ Ом}. \quad (6.44)$$

Активний опір  $R_p$  повинен бути не більшим за 0,00033 Ом.

Активний опір обмотки трансформатора  $r_m = 0,00082$  Ом.

Тоді відповідно до схеми заміщення сумарний активний опір ланцюга випрямленого струму визначаємо за формулою

$$R_{\Sigma} = r_{T1} + r_{T2} + R_{K1} + R_{K2} + R_{\kappa} + R_{ш} = 0,00082 + 0,00082 + 0,0012 + 0,0012 + 0,0107 + 0,00047 = 0,01521, \quad (6.45)$$

а постійну часу ланцюга якоря із співвідношення:

$$T_{\text{я}} = \frac{L_{\Sigma}}{R_{\Sigma}} = \frac{1,75 \cdot 10^{-3}}{0,01521} = 0,12 \text{ с.} \quad (6.46)$$

Тепер знаходимо коефіцієнт пропорційності

$$K_0 = \frac{\rho}{T_{\text{м}}(1-\rho)} = 2,222. \quad (6.47)$$

Для виконання синтезу досліджувану систему необхідно подати у вигляді системи диференціальних рівнянь у нормальній формі (формі Коші). Але спочатку компенсуємо вплив постійної часу  $T_{\text{я}}$ . Для цього приймаємо постійну часу регулятора струму такою, що дорівнює  $T_c$ , тобто:

$$T_c = T_{\text{я}} = 0,12 \text{ с.} \quad (6.48)$$

Тепер складаємо спрощену структурну схему системи (рис. 6.31).

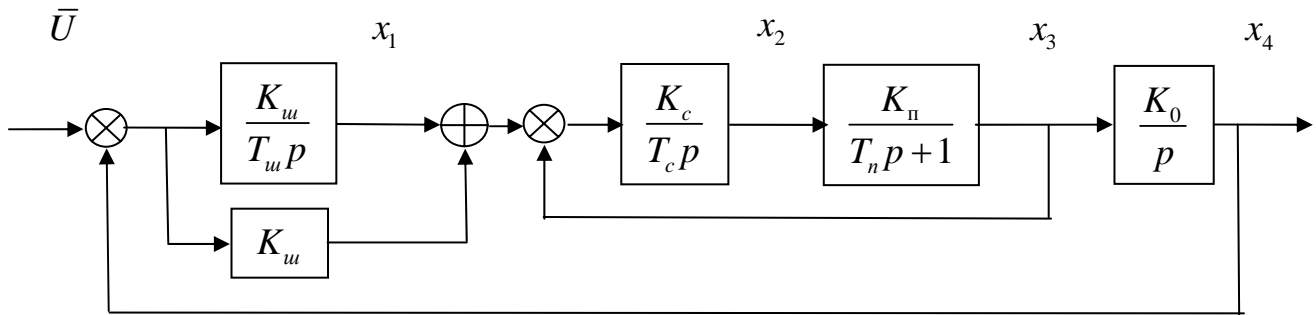


Рис. 6.31. Спрощена структурна схема системи

Відповідно до рис. 6.31 операторні диференціальні рівняння елементів структурної схеми в нормальній формі мають вигляд:

$$\left. \begin{aligned} p\bar{x}_1 &= -\frac{K_u}{T_u}\bar{x}_4 + \frac{K_u}{T_u}\bar{U}; \\ p\bar{x}_2 &= \frac{K_c}{T_c}\bar{x}_1 - \frac{K_c}{T_c}\bar{x}_3 - \frac{K_u K_c}{T_c}\bar{x}_4 + \frac{K_u K_c}{T_c}\bar{U}; \\ p\bar{x}_3 &= \frac{K_n}{T_n}\bar{x}_2 - \frac{1}{T_n}\bar{x}_3; \\ p\bar{x}_4 &= K_0\bar{x}_3. \end{aligned} \right\} \quad (6.49)$$

Звідси запишемо матрицю А:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -\frac{K_u}{T_u} \\ \frac{K_c}{T_c} & 0 & -\frac{K_c}{T_c} & -\frac{K_u K_c}{T_c} \\ 0 & \frac{K_n}{T_n} & -\frac{1}{T_n} & 0 \\ 0 & 0 & K_0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (6.50)$$

Динамічні властивості системи будуть збігатися з динамічними властивостями стандартної моделі у випадку збігу характеристичних поліномів стандартної моделі й заданої САУ.

Зі стандартних моделей вибираємо систему Еллерта, що забезпечує нульову швидкісну похибку та має перехідний процес із максимальним перерегулюванням не більше, ніж 10%. Для визначення параметрів  $K_c$  і  $T_c$  необхідно прирівняти коефіцієнти характеристичних поліномів системи й стандартної моделі Еллерта.

Характеристичний поліном заданої системи має вигляд:

$$A(p) = \det(pE - A) = \begin{vmatrix} p & 0 & 0 & 0 \\ 0 & p & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & -\frac{K_u}{T_u} \\ \frac{K_c}{T_c} & 0 & -\frac{K_c}{T_c} & -\frac{K_u K_c}{T_c} \\ 0 & \frac{K_n}{T_n} & -\frac{1}{T_n} & 0 \\ 0 & 0 & K_0 & 0 \end{vmatrix} = \quad (6.51)$$

$$= p^4 + \frac{1}{T_n} p^3 + \frac{K_c K_n}{T_n} p^2 + \frac{K_c K_u T_u K_n K_0}{T_n} p + \frac{K_c K_u K_n K_0}{T_n}.$$

Характеристичний поліном для системи Еллерта четвертого порядку має такий вигляд:

$$P_4(p) = p^4 + 7,2q_0 p^3 + 16q_0^2 p^2 + 12q_0^3 p + q_0^4. \quad (6.52)$$

Тепер порівняємо характеристичні поліноми системи (6.51) і стандартної моделі Еллерта (6.52).

Для того щоб прирівняти коефіцієнти характеристичних поліномів системи і стандартної моделі Еллерта, знаходимо корінь характеристичного полінома:

$$q_0 = \frac{\tau}{t_0} = 11,2, \quad (6.53)$$

де  $\tau$  – відносний час, с;  $t_0$  – задана тривалість перехідного процесу, с.

Відносний час вибираємо як час наростання перехідної характеристики для системи Еллерта четвертого порядку. Відповідно до рис. 6.32, на якому наведені перехідні характеристики системи Еллерта,  $\tau = 2,8$ .

Прирівнюючи відповідні коефіцієнти характеристичних означених поліномів, одержуємо систему алгебраїчних рівнянь. У результаті маємо

$$K_c = 0,29884; \quad T_c = 0,12, \text{ с}; \quad K_u = 3,7771; \quad T_u = 1,07, \text{ с}. \quad (6.54)$$

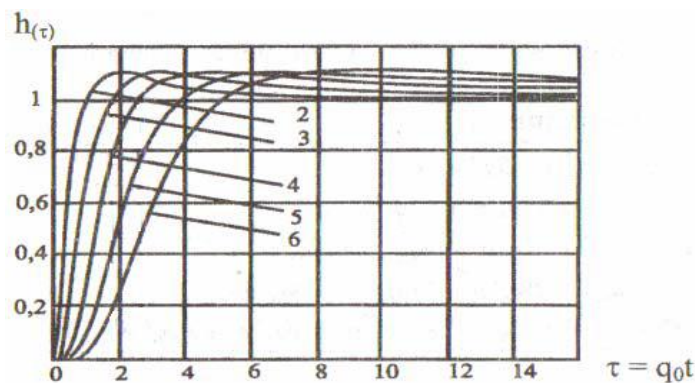


Рис. 6.32. Перехідні характеристики системи Еллерта

З урахуванням (6.54) структурна схема аналогової моделі системи автоматизації вантажного підйому з приводом постійного струму має вигляд:

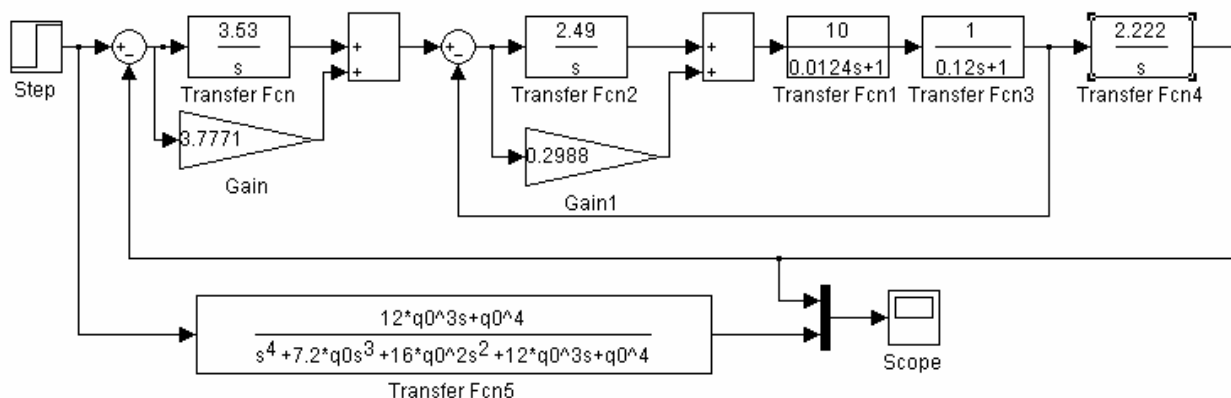


Рис. 6.33. Структурна схема аналогової моделі синтезованої системи та стандартної моделі Еллерта

Далі будуюмо криві синтезованої системи та стандартної моделі Еллерта (рис. 6.34). Як бачимо, графіки перехідного процесу збігаються.

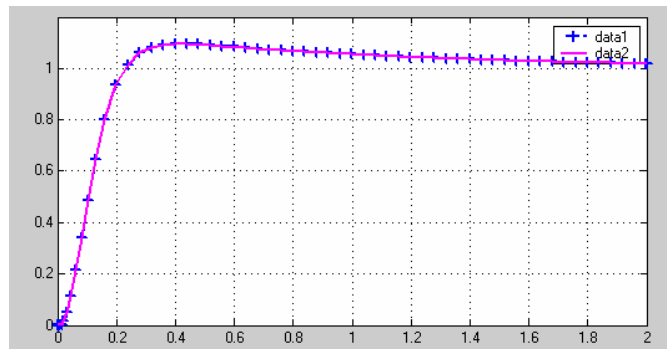


Рис. 6.34. Результат побудови кривих синтезованої системи та стандартної моделі Еллерта

Виконаємо дослідження системи за методом кореневого годографа. У ряді випадків, що мають практичне значення, модель лінійної системи автоматичного керування (САУ) задається у вигляді структурної схеми, що складається з типових динамічних ланок, математичний опис яких виконується в операторній формі. Зв'язок між входом і виходом системи задається у вигляді передатної функції  $W(p)$ . В загальному вигляді передатну функцію  $W(s)$  можна подати у вигляді:

$$W(p) = \frac{B(p)}{A(p)}, \quad (6.55)$$

де  $p$  – комплексна змінна,  $B(p)$ ,  $A(p)$  – поліноми степенів  $m$  і  $n$  відповідно. Для фізично реалізованих САУ  $m$  і  $n$  коефіцієнти зазначених поліномів є дійсними числами.

Застосування методу кореневого годографа обумовлене фундаментальною залежністю поведінки лінійної САУ від полюсів і нулів її передатної функції. Під полюсами маються на увазі корені полінома знаменника  $A(p)$ , а під нулями – корені полінома чисельника  $B(p)$ . Поліном  $A(p)$  називається також характеристичним багаточленом передатної функції  $W(p)$ .

Положення полюсів  $W(p)$  на комплексній площині визначає стійкість САУ, а в сукупності з нулями – вид імпульсної перехідної функції  $w(t)$  і перехідної функції  $h(t)$ .

Метод кореневого годографа дозволяє знаходити полюси й нулі передатної функції замкнутої системи, маючи в розпорядженні полюси й нулі розімкнутої системи при зміні коефіцієнта підсилення розімкнутої системи  $k$ .

Метод кореневого годографа дає можливість визначити параметри регулятора при відомій передатній функції системи. Показники якості перехідного процесу замкнутої системи залежать від розташування нулів і полюсів її передатної функції. При плавній зміні значень будь-якого параметра системи нулі й полюси переміщуються на комплексній площині, описуючи деякі криві, які називаються кореневими годографами. Даний метод заснований

на тому, що за кореневими годографами можна підібрати параметри системи, які забезпечують перехідний процес, що відповідає заданим умовам.

Метод кореневого годографа реалізуємо в пакеті Matlab. На рис. 6.35 зображене вікно додатка SISO Design з відображенням корневих годографів характеристичного рівняння системи та графік перехідної характеристики.

При цьому формулу передатної функції PI-регулятора контуру струму запишемо такою:

$$W_c(p) = 0,3 + \frac{2,5}{p} = \frac{2,5(0,12p + 1)}{p}. \quad (6.56)$$

Враховуючи (6.56), структурна схема досліджуваної системи буде мати вигляд, наведений на рис. 6.36.

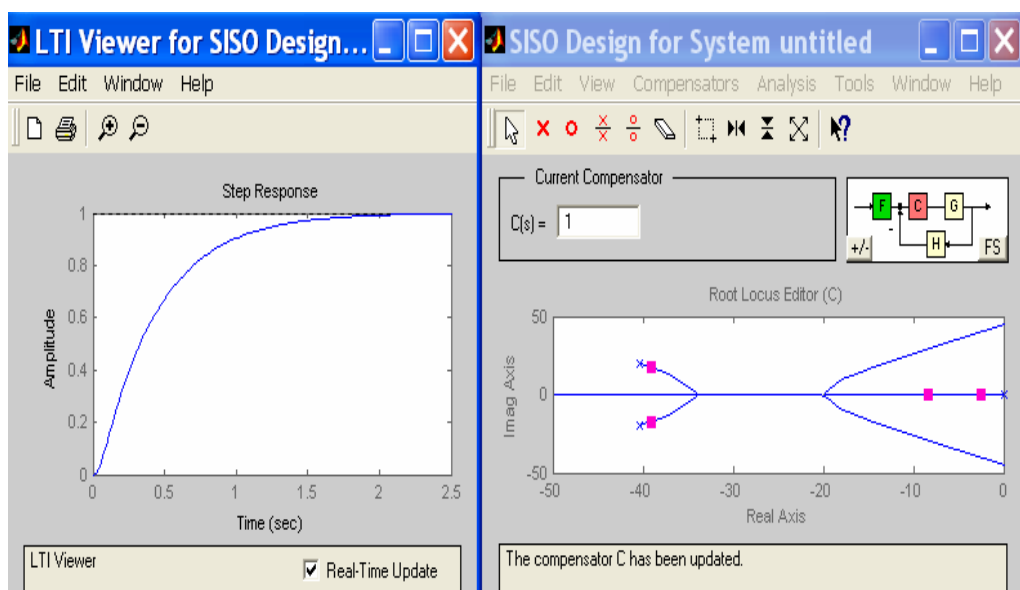


Рис. 6.35. Перехідна характеристика та кореневий годограф при  $W_r(p) = 1$

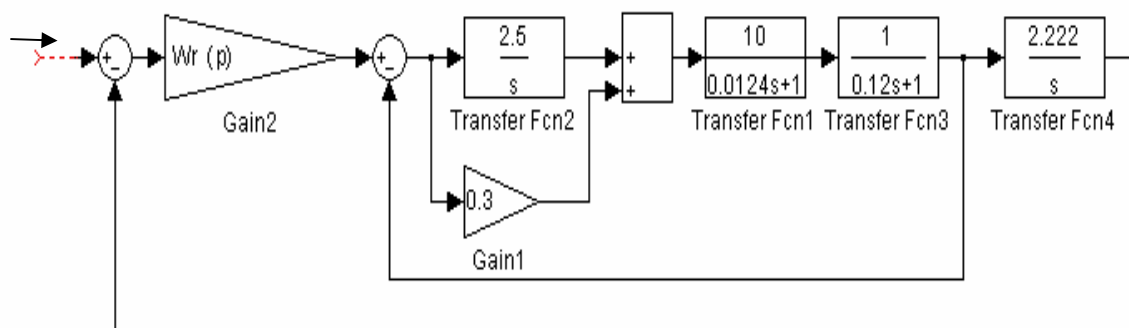


Рис. 6.36. Структурна схема досліджуваної системи

Далі для використання методу кореневого годографа за допомогою пакету Matlab складаємо програму Progr №6.

### Progr №6

```
w1=tf([2.5*0.12 2.5],[1 0]); w2=tf([10],[0.0124 1]); w3=tf([1],[0.12 1]);  
w4=feedback(w1*w2*w3,[1]); w5=tf([2.222],[1 0]); W=w4*w5.
```

Після виконання цієї програми та за допомогою команди `rltool` маємо кореневий годограф та перехідну характеристику, що наведені на рис. 6.36.

Як і в попередньому випадку, за регулятор швидкості приймаємо також PI-регулятор. Але його параметри прийнято іншими (рис. 6.37). Передатну функцію регулятора швидкості при цьому знайдемо з формули

$$Wr(p) = \frac{0,04(100p + 1)}{p} = 4 + \frac{0,04}{p}. \quad (6.57)$$

Час перехідного процесу при цьому значно зменшився (рис. 6.37).

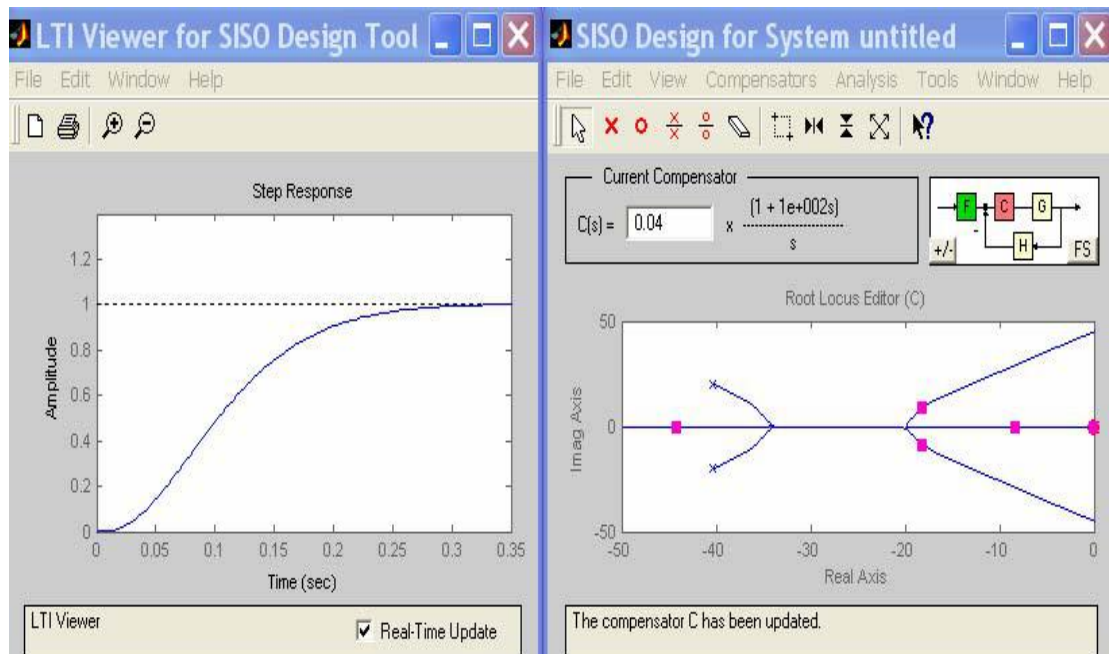


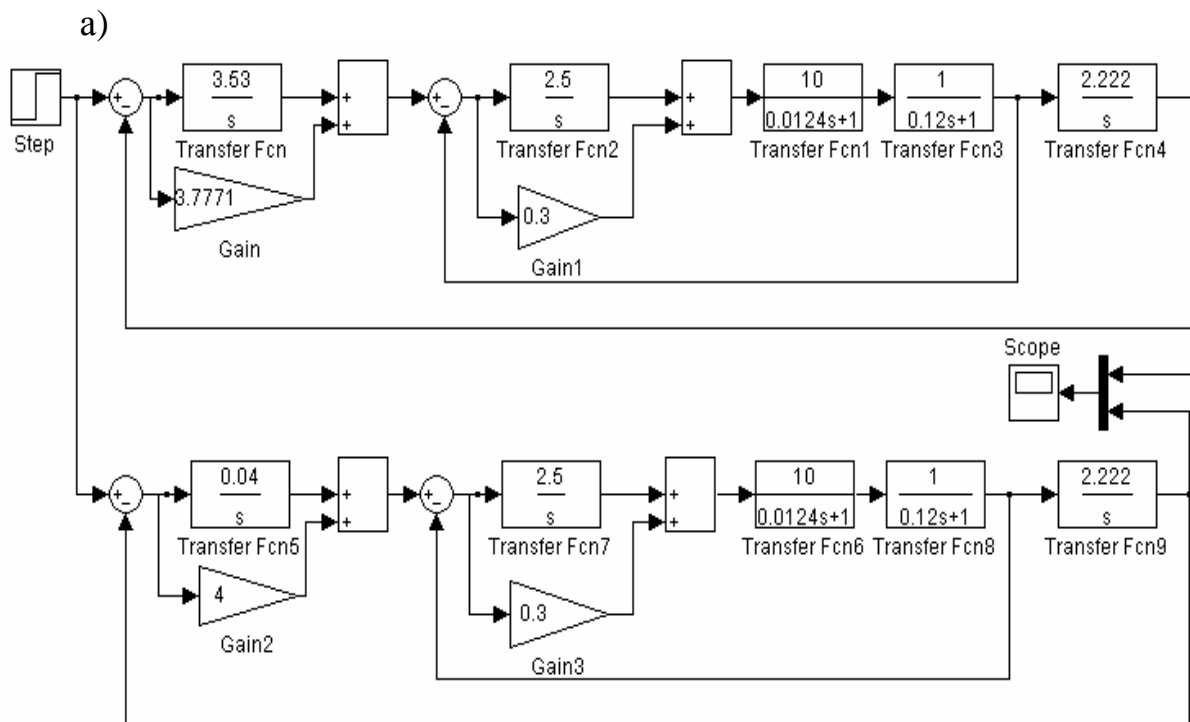
Рис. 6.37. Результати синтезу системи із застосуванням кореневого годографа

Аналіз рис. 6.37 показує, що при використанні для дослідження системи кореневого годографа якість перехідного процесу в системі значно покращується – суттєво зменшуються час перехідного процесу та величина перерегулювання. Тому для подальшого дослідження будемо користуватися результатами, одержаними при використанні кореневого годографа.

Схеми моделей та перехідні характеристики за результатами синтезу двома прийнятими способами наведені на рис. 6.38, а, б.

Розглянуті методи розрахунку системи керування побудовані на тому, що моделі об'єкта та регулятора відомі та мають незмінні параметри. Однак на практиці часто цього не буває, бо математична модель реальної фізичної системи завжди буде неточною. Для шахтного підйому характерним є

непостійне завантаження скіпів аж до їх перегону не завантаженими. Внаслідок цього змінюється електро механічна постійна часу. При повному завантаженні скіпів вона для даної підйомної установки складає 0,12 с, при перегоні порожніх скіпів – 0,03 с.



б)

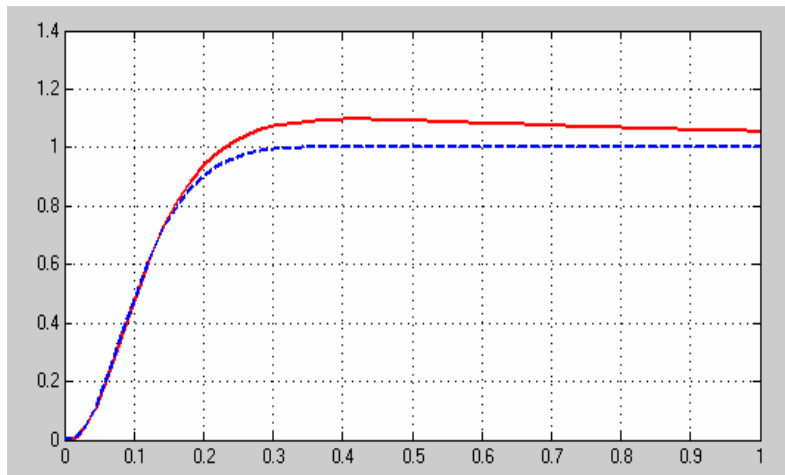


Рис. 6.38. Схеми математичних моделей та перехідні характеристики за результатами синтезу

Система автоматичного керування при цьому повинна забезпечувати прийнятну якість роботи. Відомо, що цього можна досягти, якщо система буде робастною. Автоматична система, що гарантує допустимі зміни якості при зміні або неточності її моделі, називається **робастною**. Робастна система забезпечує необхідну якість керування, незважаючи на суттєву невизначеність характеристик об'єкта керування.



Одним із простих способів установлення робастності системи є визначення запасу її стійкості за фазою. Якщо цей запас складає не менше як  $65^0$ , система буде робастною.

Для прийнятої системи визначимо запас стійкості за фазою та перехідні характеристики при піднятті завантажених скіпів та при їх перегоні не завантаженими (Progr №7). Результат виконання Progr №7 наведений на рис. 6.39.

#### % Progr №7

% Визначення запасу стійкості аналогової моделі САУ

w1=tf([0.3 2.5],[1 0]); w2=tf([10],[0.0124 1]); t=0:0.001:1;

w3=tf([1],[0.12 1]); w4=feedback(w1\*w2\*w3,[1]); w5=tf([2.222],[1 0]);

w6=tf([4 0.04],[1 0]); Wraz=w4\*w5\*w6; Wzam= feedback(Wraz,[1]); [y,t]=step(Wzam,t);

w31=tf([1],[0.03 1]); w41=feedback(w1\*w2\*w31,[1]); W1raz=w41\*w5\*w6;

W1zam= feedback(W1raz,[1]); [y1,t]=step(W1zam,t);

subplot(2,1,1), margin(Wraz),grid; subplot(2,1,2), plot(t,y,t,y1),grid;

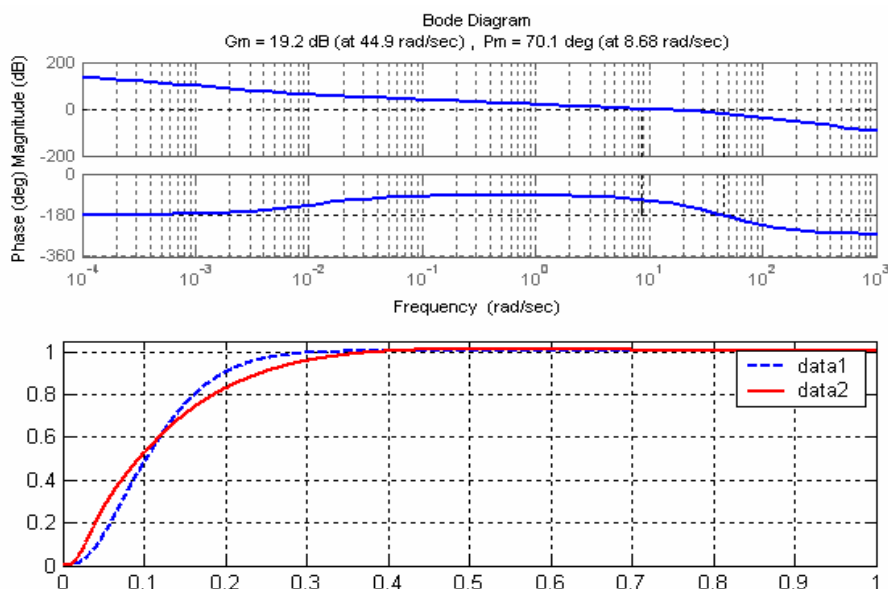


Рис. 6.39. Результат виконання програми ПР2

Як бачимо, запас стійкості системи складає  $70,1^0$ , що визначає синтезовану систему як робастну. Це також підтверджується перехідними характеристиками, які є достатньо близькими.

**Дослідження роботи системи при виконанні заданої діаграми швидкості.** Усі попередні розрахунки та їх результати одержані для аналогової моделі системи. Згідно із завданням система керування повинна бути цифровою. Тому переведемо її в цифрову форму. Для цього визначимо  $z$ -передатні функції регуляторів струму і швидкості, скориставшись таким приблизним співвідношенням:

$$\frac{1}{p} \approx \frac{Tz}{z-1}. \quad (6.58)$$

Складемо структурні схеми (рис. 6.40) та порівняємо перехідні характеристики аналогової та цифрової моделей системи (рис. 6.41).

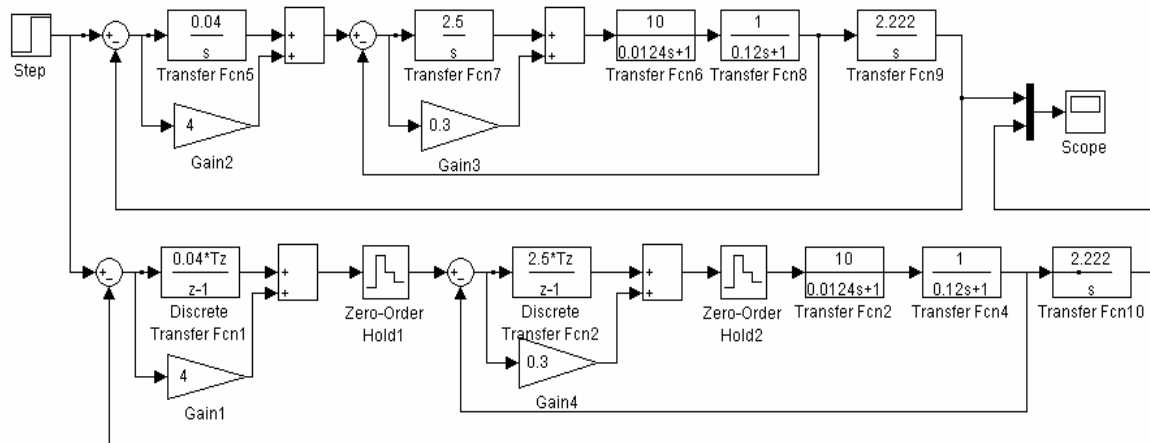


Рис. 6.40. Схеми моделей аналогової та цифрової систем

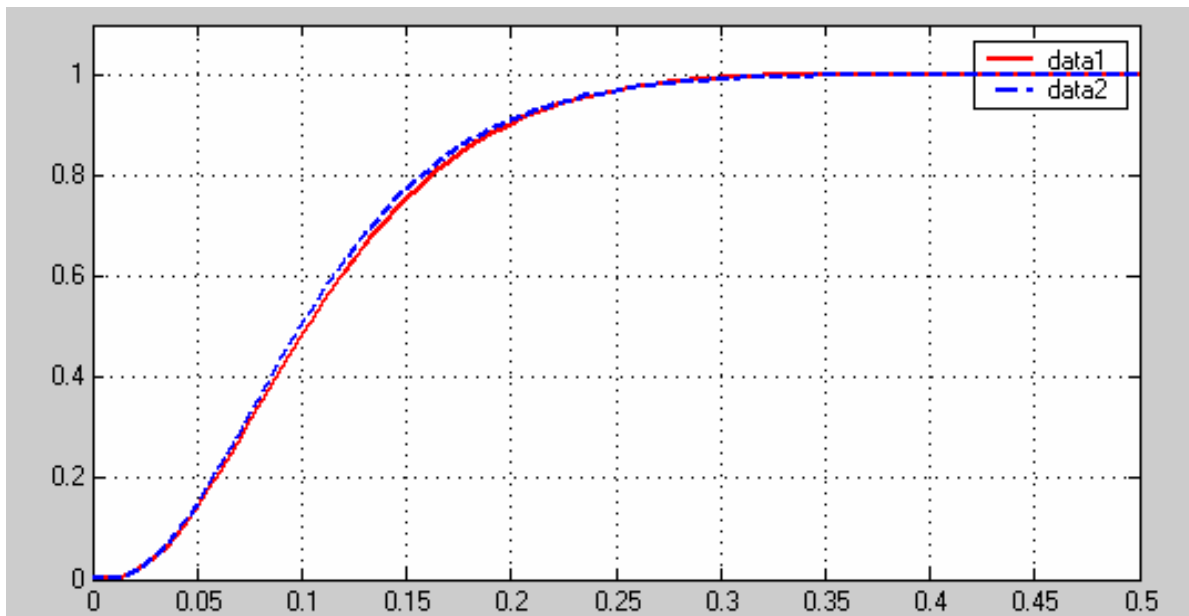


Рис. 6.41. Криві перехідних характеристик

Як бачимо, ці характеристики практично збігаються. Для повноти досліджень визначимо роботу системи при виконанні заданої тахограми. Схема моделі системи наведена на рис. 6.42.

За результатами виконаних досліджень (рис. 6.43) бачимо, що:

- система з високою точністю забезпечує виконання заданої тахограми;
- задана та дійсна діаграми швидкості практично збігаються;
- діаграми прискорень також збігаються, завдяки чому динамічні навантаження на механічні елементи підйомної установки є близькими до теоретичних.

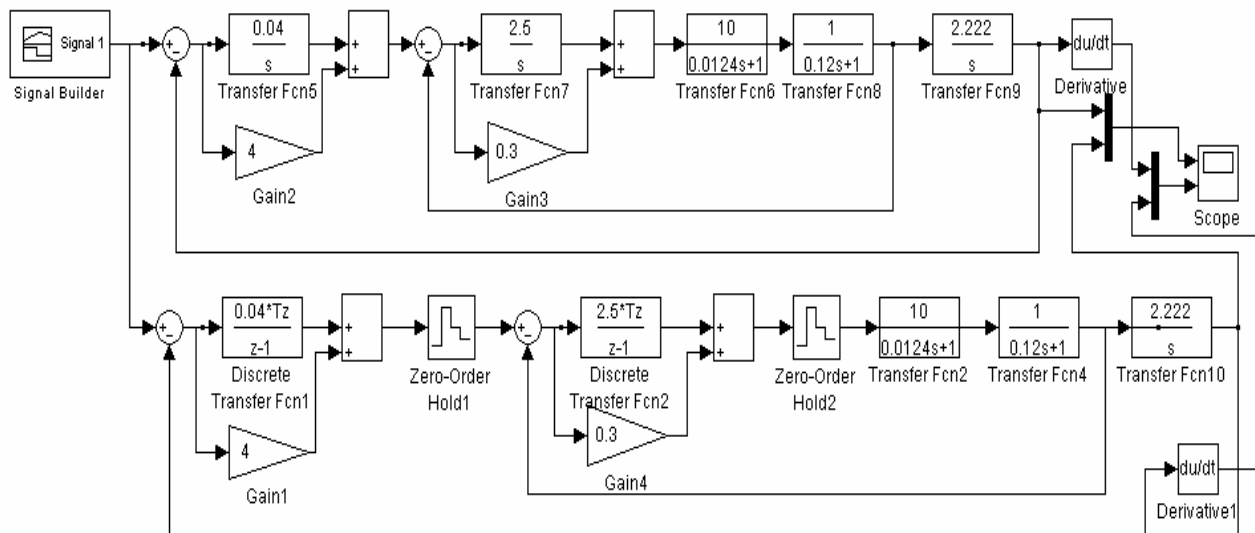


Рис. 6.42. Схема моделювання САУ при виконанні заданої тахограми

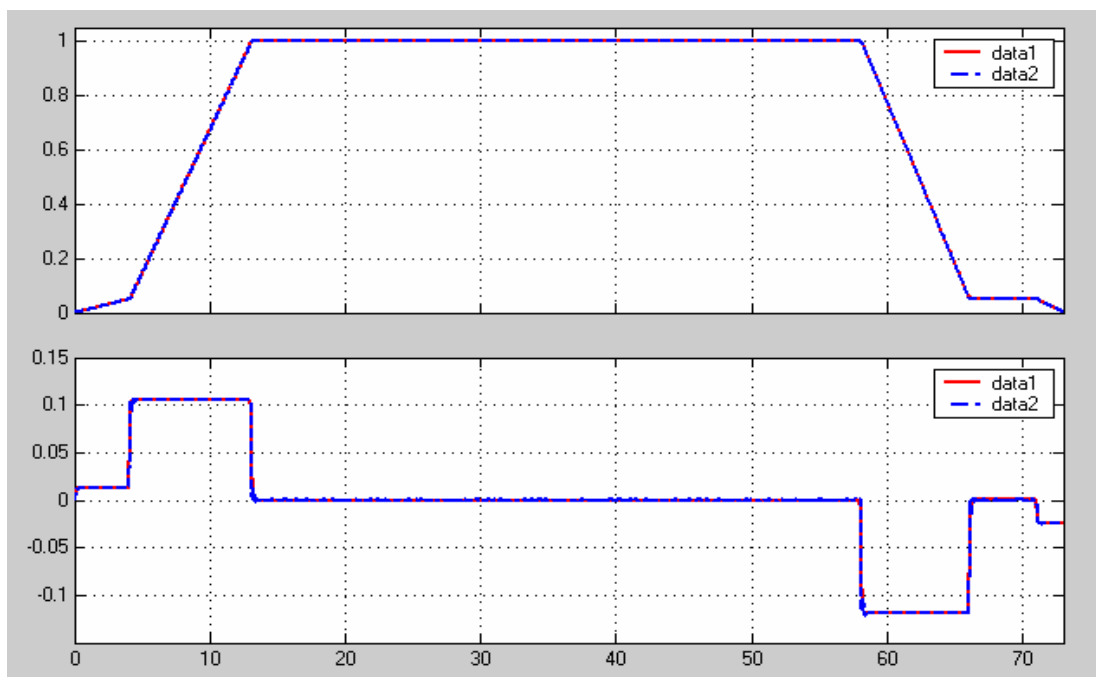


Рис. 6.43. Графіки виконання системою заданої тахограми

Отже, виконані дослідження дозволяють стверджувати, що прийнята система з високою точністю забезпечує якісну роботу автоматизованої системи шахтної підйомної установки.

### **Контрольні питання**

1. Які підйомні установки частіше підлягають автоматизації? Якими причинами це викликано?
2. Сформулюйте вимоги до автоматизованої підйомної установки.
3. Які ви знаєте види захисту та блокувань у схемі автоматизації підйомної установки?
4. Як здійснюється автоматизація завантаження та розвантаження гірничої маси на скіпових підйомних установках?
5. Наведіть діаграму швидкості руху підймальних посудин?
6. Як здійснюється пуск шахтного підйому з асинхронним приводом?
7. Сутність автоматичного пуску асинхронного двигуна за струмом з коригуванням у часі.
8. Як здійснити пуск асинхронного двигуна за струмом та прискоренням?
9. Узагальнена структурна схема автоматизації уповільнення з механічним гальмуванням. Поясніть принцип її роботи.
10. У чому полягає сутність автоматизації уповільнення скіпів при динамічному гальмуванні?
11. Яка вам відома умова реалізації принципу частотного керування асинхронним двигуном?
12. Як здійснюється автоматичне керування підймальною машиною з приводом постійного струму?
13. Поясніть принцип автоматизації шахтного підйому за допомогою асинхронно-вентильного каскаду.
14. У чому полягає сутність розрахунку системи уповільнення скіпів з використанням механічного гальмування?
15. Як визначити параметри регулятора уповільнення скіпів за умови одержання мінімуму середньоквадратичної похибки?
16. Як виконується цифровий закон керування при наявності аналогової моделі системи автоматичного керування?
17. Як розрахувати систему уповільнення скіпів з використанням динамічного гальмування?
18. На якому принципі створена система автоматизації шахтного підйому з приводом постійного струму?
19. Поясніть сутність підпорядкованого регулювання.
20. На чому базується розрахунок автоматичних систем за принципом параметричної автоматизації?
21. Як з допомогою ЕОМ розрахувати автоматичну систему за методом кореневого годографа?
22. Яка автоматична система вважається робастною?

## **7. АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОВІТРЮВАННЯ ШАХТ І РУДНИКІВ**

### **7.1. Система провітрювання шахт як об'єкт автоматизації**

Система провітрювання призначена для того, щоб подавати у шахту повітря у кількості, необхідній для забезпечення комфортних та безпечних умов праці гірників на робочих місцях і в транспортних виробках при існуючих параметрах рудникової атмосфери: газовиділення, пилоутворення, виділення тепла і вологості.

Для безпечних умов праці підземних робітників рудникова атмосфера повинна мати такий склад:

- кисень – не менше 20 %;
- вуглекислий газ у вихідних струменях ділянок – не більше 0,5 %, а у вихідних виробках шахт 0,75 %;
- метан, що обчислюється як середня концентрація в поперечному перерізі вентиляційного струменя, не повинний бути більше:
  - 1% на вихідному струмені очисних і підготовчих виробок і ділянок;
  - 0,75% на вихідному струмені крила або шахти в цілому;
  - 0,5% на свіжому струмені, що надходить в очисні виробки;
  - не більше 2% у скупченнях якої-небудь точки виробки.

В систему провітрювання сучасної шахти входять головні вентиляторні установки і вентилятори місцевого провітрювання, калориферні установки, вентиляційна мережа (гірничі виробки), пристрої розподілу повітряних потоків, засоби контролю параметрів рудникової атмосфери та засоби зв'язку.

Згідно з Правилами безпеки головні вентиляторні установки на вугільних шахтах не можуть бути вимкнені. Допускається тільки їх регулювання: поворотом лопаток спрямовального апарату для відцентрових вентиляторів і поворотом лопаток робочого колеса для осьових, а також зміною швидкості обертання двигуна з використанням частотних перетворювачів.

Керування процесом провітрювання шахти визначається декількома факторами:

- великим споживанням електроенергії (до 35%) на видобуту тонну вугілля;
- забезпеченням свіжим повітрям для нормальної життєдіяльності робітників;
- керуванням аерогазовим режимом шахти.

На шахтах України використовуються підсистеми та пристрої, які частково вирішують проблеми контролю стану параметрів шахтної атмосфери. Загальний контроль газової обстановки на шахті здійснює стаціонарна, централізована система газового захисту «Метан», контроль швидкості та напрямку руху повітря забезпечує система ІСНВ, для керування вентиляторами місцевого провітрювання ВМП використовують апаратуру АПТВ спільно із системою телемеханіки і сигналізації «Вітер».

Останнім часом розроблені та продовжують удосконалюватися локальні системи автоматичного керування окремими підсистемами системи провітрювання шахти, причому ступінь їх розробки дуже різний. Однак проблеми при керуванні провітрюванням у масштабах усієї шахти так і не

вирішені. Побудова системи автоматичного керування провітрюванням (САУП) шахти – завдання складне й обумовлене безперервними випадковими нестационарними змінами параметрів рудникової атмосфери і вентиляційної мережі. Необхідно збирати та аналізувати великі потоки інформації про оперативний стан параметрів шахтної атмосфери і своєчасно приймати рішення щодо нормалізації провітрювання гірничих виробок.

У даний час це завдання намагаються вирішити шляхом контролю концентрації метану в усіх гірничих виробках. І якщо є перевищення – проводиться вимикання електроенергії на цій ділянці. Після розгазування виробки електропостачання відновлюється. В цьому випадку неминучі простой видобувних ділянок. Відомо й інший, більш перспективний, підхід, який полягає у здійсненні контролю як концентрації метану, так і швидкості повітря в усіх гірничих виробках. І на підставі аналізу отриманої інформації виробляються керуючі впливи, які приведуть до зниження концентрації метану на даній ділянці. Реалізація цього способу, в першу чергу, вимагає створення надійної і швидкодіючої системи збору інформації та великих обчислювальних можливостей пристрою керування.

## **7.2. Автоматизація головних вентиляторних установок**

Головні вентилятори оснащуються відцентровими (ВЦ, ВЦД, ВШЦ) та осьовими (ВОД) вентиляторами.

Способи провітрювання: усмоктувальний (найпоширеніший), нагнітальний і комбінований.

Для реверсування струменя можуть використовуватися реверсивні й неревверсивні вентилятори головного провітрювання (ВГП). У неревверсивних реверс здійснюється спеціальною системою обвідних вентиляційних каналів з лядами, що змінюють напрямок потоку повітря.

Режим реверсу струменя здійснюється допоміжним устаткуванням: це приводи ляд і спрямовувальних дверей і апаратів, приводи маслосистем і гальмівної системи.

У процесі функціонування системи положення ляд, дверей і гальм контролюється магнітними вмикачами, датчиками ДПМГ, ДКПУ, температура підшипників – апаратами КТТ-1, АКТ, ДКТЗ-8М. В станціях керування використовують КТТ-1 з восьмима термодатчиками ТД.

Вентилятори головного провітрювання оснащуються двома однаковими вентиляторами, один з яких – резервний. Він вмикається не пізніше ніж через 10 хв після вимикання того, що працював. Вентилятори головного провітрювання в основному оснащені нерегульованим електроприводом. Якщо потужність вентилятора до 150 кВт, то використовують низьковольтні асинхронні електродвигуни з короткозамкнутим ротором, при 150 – 350 кВт – синхронні низьковольтні двигуни, а якщо потужність понад 350 кВт, застосовують високовольтні двигуни (3 – 6 кВ).

Для автоматизації головних вентиляторних установок випускається апаратура УК АВ-2 (УКАВ-М), що забезпечує керування вентиляторними установками, виконаними за будь-якою технологічною схемою та обладнаними

вентиляторів будь-якого типу. Ця апаратура дозволяє: вибирати керування вентиляторною установкою з машинного залу або з приміщення диспетчера, встановлювати режим роботи вентилятора (нормальний і реверсивний) з машинного залу або також з приміщення диспетчера, вести автоматичний контроль за роботою установки, частково регулювати продуктивність вентилятора поворотом лопаток спрямовального апарату на ходу (якщо це дозволяє конструкція вентилятора); автоматично вмикати резервний вентилятор у разі аварійного вимикання робочого агрегату, а також автоматично вмикає привід ляд, положення яких контролюється кінцевими вимикачами.

Між подачею команди і її виконанням задається витримка часу. Якщо протягом її не надійде сигнал, що підтверджує виконання команди, то пуск припиняється, всі елементи ВГП приводяться до початкового стану, вмикається сигналізація та автоматично здійснюється аварійне вмикання резервного вентилятора.

У посібнику з експлуатації можна знайти більш детальний опис роботи системи автоматизації. Останнім часом для оптимізації режимів провітрювання на вентиляторах головного провітрювання почали застосовувати частотні перетворювачі, які забезпечують регулювання продуктивності у міру розвитку гірничих виробок.

### **7.3. Автоматизація провітрювання тупикових виробок**

Провітрювання тупикових виробок здійснюється вентиляторів місцевого провітрювання (ВМП) залежно від вмісту метану в тупиковій виробці. Приводом ВМП є асинхронний двигун з короткозамкненим (КЗ) ротором. Тому зазначена вимога може бути виконана у випадку регулювання швидкості потоку повітря від ВМП зміною швидкості обертання ротора цього двигуна.

На більшості вугільних шахт України вентиляторів місцевого провітрювання встановлені з нерегульованою швидкістю провітрювання. Тому якщо кількість метану у виробці перевищує допустиме значення скупчення 1%, то завдання системи керування полягає у вимиканні електропостачання всього встаткування прохідницького вибою, крім самого вентилятора. При зниженні концентрації метану в тупиковій виробці до допустимих значень можливе поновлення робіт у прохідницькому вибої. Для спрацьовування захистів і блокувань відповідно до вимог безпеки при провітрюванні тупикових виробок на шахтах використовується раніше розроблені модернізовані системи АКВ-2П, АПТВ, АКТВ. Апаратура АКТВ заміняє апаратуру АПТВ і забезпечує дистанційне керування пускачами ВМП, а також телемеханічне (через систему телемеханіки) й автоматизоване (за допомогою мікропроцесорної системи керування).

У цей час створені умови для впровадження частотно регульованих приводів вентиляторів місцевого провітрювання.

Для зміни швидкості обертання вентилятора використовується пристрій, що дозволяє змінювати частоту напруги, яка подається на двигун, за допомогою напівпровідникових перетворювачів частоти.

Розрізняють два основні типи перетворювачів частоти: з безпосереднім зв'язком і з проміжним контуром постійного струму. У першому випадку вихідна напруга синусоїдальної форми формується з ділянок синусоїд перетвореної вхідної напруги. Найбільше поширення одержали перетворювачі частоти з проміжним контуром постійного струму, виконані на базі інверторів напруги. Структурна схема такого перетворювача наведена на рис. 2.19.

Змінна напруга мережі перетворюється в постійну за допомогою діодного випрямляча й згладжується в проміжному колі індуктивно-ємнісним фільтром. Інвертор, вихідний каскад якого звичайно виконується на основі IGBT-модулів, здійснює зворотнє перетворення (з постійного струму в змінний), забезпечуючи формування вихідного сигналу з необхідними значеннями напруги й частоти.

В інверторах використовується метод високочастотної широтно-імпульсної модуляції (ШІМ). Вихідний сигнал являє собою послідовність імпульсів напруги постійної амплітуди й мінливої тривалості, яка на індуктивному навантаженні (обмотка статора) формує струми синусоїдальної форми (рис. 7.1).

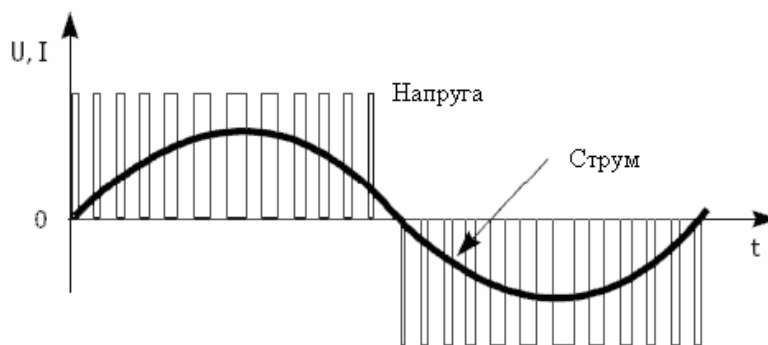


Рис. 7.1. Графік вихідного сигналу перетворювача частоти

Можливий діапазон регулювання частоти ШІМ – від 0 до декількох тисяч герців.

Для вентиляторів залежність між швидкістю обертання й моментом опору в усьому діапазоні зміни швидкості описується рівнянням квадратичної параболи, а споживана потужність пропорційна кубу швидкості обертання. Із цього випливає, що навіть при невеликому зниженні швидкості електропривода можна зекономити електроенергію. З точки зору енергоефективності це і є головною перевагою використання керованого електропривода для вентиляторів. Теоретично зниження швидкості на 10% дає 30% економії електроенергії.

Залежно від характеру навантаження перетворювач частоти забезпечує різні режими керування електродвигуном, виконуючи ту або іншу залежність між швидкістю обертання електродвигуна й вихідною напругою. Для



регулювання вентиляторних електроприводів використовується квадратична залежність напруга/частота ( $U / f^2 = const$ ).

Структурна схема системи автоматичного керування провітрюванням залежно від концентрації метану у виробці наведена на рис. 7.2. Для провітрювання використовується вентилятор осьовий електричний ВМЕ-6 одноступінчастий з двигуном у вибухозахищеному виконанні, призначений для провітрювання тупикових гірничих виробок у шахтах, у тому числі небезпечних за викидом газу й пилу. Система містить частотний перетворювач ПЧ; програмувальний мікроконтролер МК; датчик контролю швидкості повітря ДШП і датчик метану ДМ.

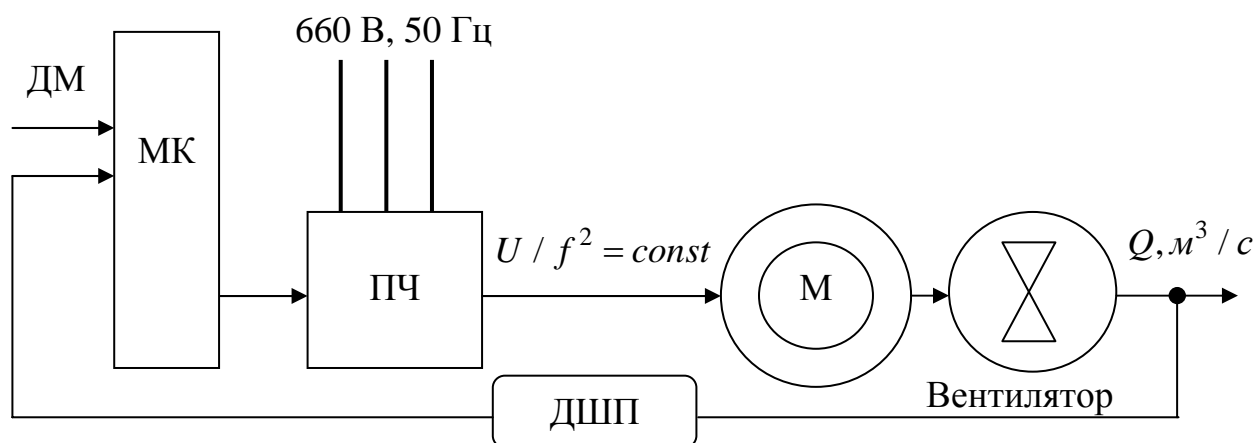


Рис. 7.2. Структурна схема системи автоматичного керування провітрюванням тупикової виробки

Від датчиків контролю метану ДМ і датчика швидкості провітрювання ДШП надходять сигнали на мікроконтролер МК і на пульт гірничого диспетчера.

Для контролю швидкості провітрювання використовується стаціонарний датчик швидкості руху повітря (СДСВ01), який призначений для безперервного виміру швидкості руху повітряних потоків у гірничих виробках. Це ультразвуковий датчик, що вимірює час посилення й відбиття ультразвукових коливань (УЗК) за напрямком потоку повітря. Основні параметри датчика: діапазон виміру  $\pm(0,1-30)$  м/с; основна абсолютна похибка в діапазонах:  $I(0,1 < v < 0,6 \text{ м/с})$  становить  $\pm 0,1$  м/с, а  $II(0,6 < v < 30 \text{ м/с}) - \pm(0,09 + 0,02 v)$  м/с.

Датчики метану – аналізатори метану АТ-1 і АТЗ-1 – призначені для безперервного місцевого й централізованого контролю вмісту об'ємної частки метану у вугільних шахтах: АТ-1 для контролю в одній точці, АТЗ-1 – у трьох точках.

Принцип дії заснований на безполум'яному спалюванні метану на поверхні каталізатора і вимірі кількості тепла, яке виділяється в результаті хімічної реакції. Як каталізатор використовується платиновий дріт.

Основні параметри датчиків метану: межа вимірів об'ємної частки метану 2,5%; припустимі значення – 0,5; 0,7; 1,0; 1,3 і 2,0 %; припустима абсолютна похибка становить 0,2 %; витримка часу на видачу попереднього сигналу  $(17 \pm 3)$  хв.

Мікроконтролер МК аналізує стан провітрювання й концентрацію метану у виробці. За відповідним алгоритмом керує частотним перетворювачем ПЧ, змінюючи частоту живильної напруги приводу вентилятора.

Однак алгоритм керування буде в значній мірі залежати від режиму газовиділення, який у кожному конкретному випадку визначатиметься конкретними гірничо-геологічними умовами. Отже, необхідно знати діапазон регулювання швидкості вентилятора й закон адаптації для конкретних гірничо-геологічних умов.

Для широкого застосування таких систем регулювання вентиляторів місцевого провітрювання потрібно накопичити значний досвід експлуатації.

Економічний ефект при повній автоматизації прохідницьких робіт може бути досягнутий за рахунок скорочення чисельності обслуговуючого персоналу, більш якісного проходження виробок, підвищення темпів проходки й росту продуктивності праці.

Крім того, автоматизація прохідницьких робіт дозволить вивести робітників із зони, яка має надзвичайно несприятливі умови праці.

#### **7.4. Автоматизація калориферних установок**

Калориферні установки призначені для підігріву в зимовий час атмосферного повітря, що надходить у шахту, щоб запобігти обмерзанню вентиляційного ствола, розстрілів, провідників, підйомних посудин, канатів. Повітря, що проходить через калорифер, нагрівається до  $75^{\circ}\text{C}$  і потім у вентиляційному каналі змішується з холодним, що йде повз калорифера. Температура повітряної суміші в усті ствола відповідно до Правил безпеки для вугільних і сланцевих шахт повинна бути не нижче  $+2^{\circ}\text{C}$ , а в цілях економії енергії – не вище  $+6^{\circ}\text{C}$ .

На шахтах застосовуються головним чином вентиляторні калориферні установки, в яких спеціальний вентилятор засмоктує холодне повітря з атмосфери і продуває його через калорифер.

На деяких шахтах поширені безвентиляторні калориферні установки, у яких холодне повітря надходить у калорифери за рахунок загальношахтної депресії.

Безвентиляторні калориферні установки – більш простіші, економічніші й надійніші.

Автоматична система керування повинна забезпечувати: для вентиляторних калориферних установок – автоматичну стабілізацію температури повітря в стволі шахти в заданих межах; автоматичне керування двома вентиляторами; блокування, що забороняє вмикання вентилятора при перекритому вентиляційному каналі; для безвентиляторних калориферних установок – автоматичну стабілізацію температури повітря в стволі шахти в

заданих межах; автоматичне закриття ляд і припинення подачі холодного повітря через водяні калорифери при зниженні температури конденсату на їхньому виході нижче припустимої межі; для калориферних установок будь-якого типу – світлову і звукову сигналізацію (у диспетчера – про нормальну роботу або про аварійний стан установки; в приміщенні котельні – про недостатній тиск пари; контроль температури в стволі та приміщенні калориферних установок з передачею показань диспетчеру).

Для автоматизації калориферних установок серійно випускається апаратура АКУ-63, яка може застосовуватися для калориферних установок будь-якого типу. Регулюється температура повітря в стволі шахти для вентиляторних калориферних установок зміною продуктивності вентиляторів, а для безвентиляторних – зміною ступеня відкриття ляди, що стоїть на шляху підігрітого повітря.

### **Контрольні питання**

1. Назвіть функцію призначення систем автоматизації провітрювання шахт.
2. Які завдання вирішує автоматизація головних вентиляторних установок?
3. Принцип дії систем автоматизації тупикових гірничих виробок.
4. Призначення систем автоматизації калориферних установок.
5. Наведіть принцип дії датчиків вимірювання концентрації метану.

## Список літератури

1. Бойко, Н.Г. Разрушение угольных пластов режущим инструментом очистных комбайнов [Текст] / Н.Г. Бойко. – Донецк: ДонНТУ, 2007. – 126 с.
2. Васильев, Ф.П. Методы оптимизации [Текст] / Ф.П. Васильев. – М.: Факториал Пресс, 2002. – 824 с.
3. Горные машины и комплексы для подземной добычи угля / С.С. Гребёнкин, А.В. Агафонов, В.В. Косарев и др.; под ред. С.С. Гребёнкина. – Донецк: Норд-Пресс, 2006. – 353 с.
4. Климов, Б.Г. Исследования выемочно-транспортных комплексов угольных шахт с целью повышения эффективности их функционирования [Текст]: автореф. дис. на соискание учен. степени д-ра техн. наук / Б.Г. Климов. – М.: МГИ, 1979. – 30 с.
5. Косарев, В.В. Створення та освоєння серійного виробництва високопродуктивних вуглевидобувних комплексів нового покоління [Текст]: моногр. / В.В. Косарев, Ю.І. Варшавський, І.І. Вассерман та ін. – Д.: НГУ, 2009. – 200 с.
6. Курносов, В.Г. Научные основы автоматизации в угольной промышленности: опыт и перспективы развития [Текст]: моногр. / В.Г. Курносов, В.И. Силаев; Междунар. ин-т независимых пед. исслед. МИНПИ-ЮНЕСКО, ОАО «Автоматгормаш» им. В.А. Антипова. – Донецк: Вебер, 2009. – 422 с.
7. Лихачев, В.Л. Электродвигатели асинхронные [Текст] / В.Л. Лихачев. – М.: Солон-Пресс, 2003. – 303 с.
8. Методика визначення економічної ефективності витрат на наукові дослідження і розробки та їх впровадження у виробництво: [затв. наказом Міністерства фінансів України № 218/446 від 25.09.2001 р. ]. – К., 2001. – 32 с.
9. Ніколаєнко, А.М. Мікропроцесорні та програмні засоби автоматизації [Текст]: навч. посіб. / А.М. Ніколаєнко, Н.О. Міняйло. – Запоріжжя: ЗДІА, 2011. – 444 с.
10. Півняк, Г.Г. Децентралізоване керування [Текст]: моногр. Г.Г. Півняк, В.В. Ткачов, М.І. Стаднік, С.М. Проценко. – Д.: НГУ, 2007. – 107 с.
11. Рекляйтис, Г. Оптимизация в технике [Текст] / Г. Рекляйтис, А. Рейвиндран, К. Рэгсдел; пер. с англ. В.Я. Алтаева, В.И. Моторина. – М.: Мир, 1986. – Кн. 1. – 320 с.
12. Modelowanie komputerowe i obliczenia współczesnych układów automatyzacji [Text] / R. Tadeusiewicz, G. Piwniak, W. Tkaczow, W. Szaruda, K. Oprzędkiewicz. – Kraków, 2004. – 335 p.
13. Ткачов, В.В. Технічні засоби автоматизації [Текст]: навч. посіб. / В.В. Ткачов, В.П. Чернишев, М.М. Одновол. – Д.: НГУ, 2008. – 174 с.

Навчальне видання

**БУБЛІКОВ** Андрій Вікторович,  
**КОЗАРЬ** Микола Володимирович,  
**ПРОЦЕНКО** Станіслав Миколайович,  
**СТАДНІК** Микола Іванович,  
**ТКАЧОВ** Віктор Васильович,  
**ЧЕРНИШЕВ** Віктор Павлович,  
**ШАРУДА** Володимир Гаврилович

## **АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПІДЗЕМНИХ ГІРНИЧИХ РОБІТ**

Навчальний посібник

Під загальною редакцією професора В.В. Ткачова

Редактор Ю.В. Рачковська

Комп'ютерний набір та верстка Н.М. Безгінова

Підп. до друку 30.05.2012. Формат 30х42/4.  
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 18,9  
Обл.-вид. арк. 18,9. Тираж 200 пр. Зам. №

Підготовлено до друку та видруковано  
у Державному вищому навчальному закладі  
«Національний гірничий університет».  
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842 від 11.06.2004.

49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.