

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Класичний фаховий коледж

(повна назва інституту/факультету)

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

20__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

(бакалавр / магістр)

зі спеціальності 171Електроніка

(код та назва)

освітньо-професійної програми Електронні інформаційні системи

(освітньо-професійної / освітньо-наукової)

(назва програми)

на тему: Система автоматичного керування приводом гальма за режимом роботи

Здобувача групи

ЕІск2-01б

(шифр групи)

Розпутного Олексія Андрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Олексій РОЗПУТНИЙ

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник ст. викладач, к.т.н. Володимир Васильєв

(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Консультант¹⁾

(посада, науковий ступінь, вчене звання ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи є система автоматичного керування приводом гальма за режимом роботи.

Мета роботи полягає у дослідженні ефективності оптимізація системи автоматичного керування приводом гальма за режимом роботи.

Аналіз розвитку ШПУ показує тенденцію їх розвитку в напрямку підвищення швидкості, вантажопідіймальності, зниження металообкістки, і це неможливо здійснити без вдосконалення систем робочого і запобіжного гальмування.

Найбільш досконалими в даний час є замкнуті системи АРПТ, що дозволяють автоматично регулювати гальмівний момент так, щоб підтримувати з допустимою точністю заданого уповільнення незалежно від типу ШПУ, напрямки руху, статичного навантаження, змін власних параметрів гальма (стану коефіцієнта тертя колодок щодо гальмівного поля, відмов окремих елементів гальма).

Застосування систем АРПТ дозволяє при гальмуванні використовувати рівно стільки гальмівного моменту з усього запасу, скільки потрібно, що дає підстави переглянути підхід до вибору необхідного запасу гальмівного моменту, де він вибирається з можливого найгіршого випадку.

Робота викладена на 33 сторінках, у тому числі включає 7 рисунків, список цитованої літератури із 36 джерел.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПРИВОДОМ ГАЛЬМА ЗА РЕЖИМОМ РОБОТИ, ЗАМКНУТІ СИСТЕМИ, ЗАПОБІЖНЕ (ЕКСТРЕННЕ) ГАЛЬМУВАННЯ

ЗМІСТ

	с.
ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1 СИСТЕМИ ЗАПОБІЖНОГО ГАЛЬМУВАННЯ ШАХТНИХ ПІДЙМАЛЬНИХ МАШИН	6
1.1. Системи виборчого двоступеневого запобіжного гальмування для шахтних підймальних установок	6
1.2 Систему автоматичного регульованого запобіжного гальмування	8
РОЗДІЛ 2 СИСТЕМА ЗАПОБІЖНОГО ГАЛЬМУВАННЯ	11
2.1 Системи АРПТ по уповільненню.....	11
2.2 Замкнуті систем АРПТ.....	14
2.3 Великі підймальні машини.....	22
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АПТ В УМОВАХ ПРОМИСЛОВОГО ВИПРОБУВАНЬ ДЛЯ МАШИН З МАЛИМ КОЕФІЦІЄНТОМ МАСИВНОСТІ	26
3.1 Принцип роботи підймальної установки.....	26
3.2 Дослідження та випробування підймальної установки.....	27
ВИСНОВКИ	29
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	30

ВСТУП

Важливою частиною будь якого проекту вважається частина що забезпечує високу надійність, безпечність експлуатації в робочому або аварійному режимі розробляємої системи. В даній роботі досліджені технічні рішення для аварійного гальмування шахтного підйому.

Шахтна підймальна установка (ШПУ) є одним з найважливіших комплексів в технологічному циклі видобутку корисних копалин. При цьому більшість сучасних установок представляють собою складні електромеханічні комплекси, що включають пружні механічні ланки, електро-, пневмо- і гідравлічні приводи, перетворювачі, засоби захисту, систему керування та інше обладнання.

Система керування, захисту і контролю ШПУ повинна забезпечувати її експлуатацію з максимальною продуктивністю і безпекою. Застосування автоматичних і автоматизованих систем керування дозволяє підвищити ефективність використання ШПУ, підвищити надійність і довговічність електромеханічного обладнання. Довговічність роботи вузлів ШПУ залежить від якості роботи підйальної установки у всіх режимах експлуатації, від правильності настройки систем приводів рухового і гальмівного режимів. Деякі технологічні цикли підйальної установки накладають обмеження по безпеці, швидкодії і динамічності. [1]

Це особливо стосується роботи установки в аварійних режимах і, зокрема, в режимі запобіжного гальмування, які регламентуються Правилами безпеки. Застосування простих систем запобіжного гальмування не завжди дозволяють забезпечити необхідний рівень безпеки роботи підйальної установки, а виникаючі при цьому динамічні перевантаження підвищують знос устаткування, погіршують експлуатаційні характеристики. Виникнення таких перевантажень небезпечно для багатоканатних ШПУ глибоких шахт і похилих ШПУ. Наприклад, для багатоканатних установок динамічні перевантаження можуть викликати аварійні прослизання канатів щодо шківів

тертя (барабана підіймальної машини), а на похилих ШПУ динамічні перевантаження при підйомі вантажу можуть викликати небезпечне набігання вагонеток на канат. При цьому динамічні перевантаження можуть виникати як при взаємодії гальмівного зусилля і коливань в пружної частини системи підйому в початковій стадії гальмування, так і в кінці гальмування, при досягненні нульової швидкості. Це пояснюється також наявністю нелінійних і інерційних ланок в гальмівній системі підіймальної установки.

Особливістю сучасних підіймальних установок є постійне вдосконалення їх експлуатаційних характеристик, таких як вантажопідіймальність, швидкість і глибина підйому, зниження матеріаломісткості обладнання за рахунок підвищення ефективності, якості роботи і надійності системи керування. При цьому необхідно зберегти і навіть підвищити рівень надійності всього підйому. Цього неможливо досягти без вдосконалення параметрів систем підіймальних установок в аварійних режимах. [2]

Актуальність теми. Теоретичне обґрунтування та розробка раціональних параметрів запобіжного гальмування підіймальних установок дозволяє реалізувати ідею створення автоматизованих технологічних процесів запобіжного гальмування. Цьому також сприяє поява нових досягнень в галузі електронної та мікропроцесорної техніки, керуючих контролерів і мікро-ЕОМ.

РОЗДІЛ 1

СИСТЕМИ ЗАПОБІЖНОГО ГАЛЬМУВАННЯ ШАХТНИХ ПІДЙМАЛЬНИХ МАШИН

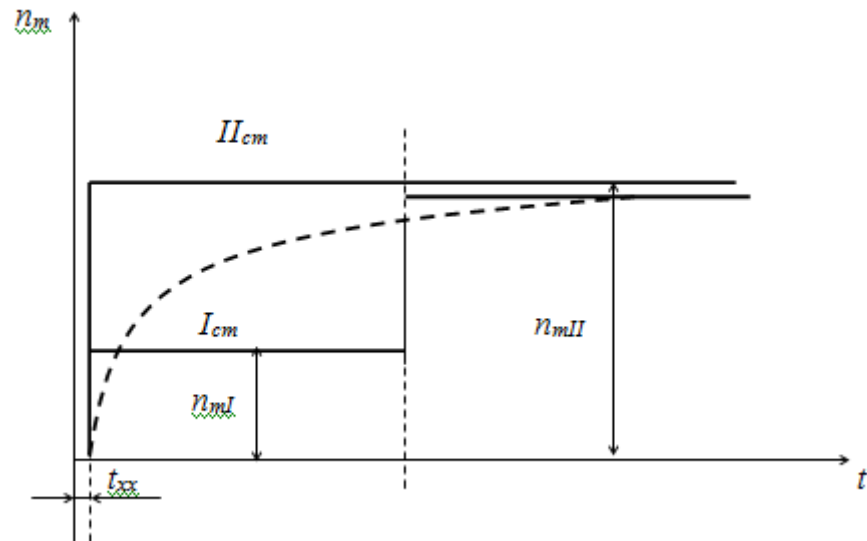
1.1. Системи виборчого двоступеневого запобіжного гальмування для шахтних підймальних установок

Дані системи мають два ступені гальмування. Відмінність від параметричних систем полягає в тому, що заздалегідь, до на-ступлення режиму гальмування визначається, яку з ступенів потрібно включати. Найпростішим варіантом застосування цієї системи є використання її на одноконцевої ШПУ. В цьому випадку датчик вибору режиму гальмування - це реле напрямки руху. Тимчасові діаграми зміни гальмівного зусилля і швидкості, при виборчої двоступеневою системою керування показані на рис. 1.1.

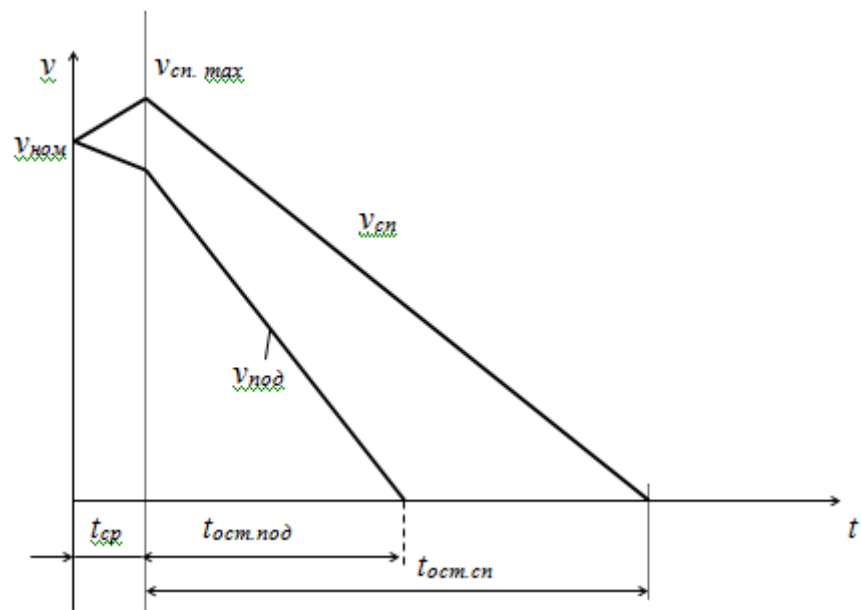
У разі руху ШПУ в сторону підйому вантажу дозволяється включення тільки 1 ступені. Уповільнення здійснюється по кривій $v_{под}$. Після зниження швидкості до нуля гальмівне зусилля повинне зростати до максимального значення, для чого в системі керування гальмом повинен бути датчик нульової швидкості. У разі руху ШПУ в сторону спуску вантажу відразу включається II ступінь. Уповільнення здійснюється по кривій $v_{сп}$. [3]

Перевагою виборчої системи перед параметричної є те, що під час спуску вантажу відразу діє ефективна II ступінь, відсутній її затримка і зона неефективного гальмування під дією тільки першого ступеня гальмування. При відсутності систем керування гальмом, чітко забезпечуючих два ступені гальмування, для запобігання набігання посудини на канат на похилих ШПУ допускається застосування модифікації виборчої системи гальмування з вільним вибігом при підйомі вантажу, т. Е. Гальмування вантажем. Тоді, при підйомі максимального вантажу гальмо взагалі не включається, т. Е. $NtI = 0$ (т. Е. Здійснюється затримка включення гальма). Зупинка ШПУ здійснюється

в режимі вільного вибігу. При досягненні нульової швидкості включається повне гальмівне зусилля.



а)



б)

Рис. 1.1 - Часові діаграми зміни гальмівного зусилля (а) і швидкості (б), при виборчій двоступеневою системою керування гальмом [4]

У режимі гальмування при спуску вантажу відразу включається максимальне гальмівне зусилля. Однак в цьому випадку потрібно прийняття

додаткових заходів, що виключають можливість перепідйому при вільному вибігу і неповному завантаженні судин.

1.2 Систему автоматичного регульованого запобіжного гальмування

Англійська фірма "Fullerton, Hodgart and Barclay Ltd." розробила систему автоматичного регульованого запобіжного гальмування, яка передбачає обладнання кожного барабана гальмівним механізмом, що містить датчики для безпосереднього контролю умов роботи кожної гілки под'ємного каната. Датчик шляху контролює довжину каната, змотаного з одного барабана або навитого на інший, вхідний. Сигнал цього датчика використовується для регулювання тривалості збільшення і величини гальмівного зусилля. Датчик шляху може видавати електричний або механічний сигнал, а також поєднання цих сигналів. Датчик швидкості реагує на напрям руху каната і на відхилення в ту або іншу сторону швидкості каната щодо передбаченої мінімальної швидкості. Це необхідно для надійного стопоріння барабанів на рівнях приймальних майданчиків.

Дана система керування гальмом виключає додаток ударних або надмірних навантажень на елементи підйомної установки в період уповільнення машини. Крім того, усуваються коливання підйомної посудини, що виникають при занадто швидкому додатку гальм. Недоліками системи є:

- регулювання гальмівного зусилля здійснюється лише при завантаженні судини номінальним вантажем. Зміна завантаження від циклу до циклу система не враховує;

- система може бути застосована лише на барабанних підйомних машинах, її принципово неможливо використовувати на машинах зі шківом тертя;

- система ніяк не реагує на зміну гальмівного зусилля при постійному тиску в гальмівному циліндрі внаслідок, наприклад, зміни коефіцієнта тертя гальмівних колодок об обід і інших причин.

Для обладнання, що серійно випускаються ПО Донецькгірмаш одноконцевих ШПУ з діаметром барабана до 3 м, оснащених гідропружинним гальмуванням, інститутами "НПКТІуглегормаш" і "АВТОМАТУГЛЕРУДПРОМ" розроблена система автоматично регульованого запобіжного гальмування виборчого дії типу СТП-1В у вибухонебезпечному виконні, що робить її придатною для застосування в підземних умовах. Система має те ж призначення, що і розглянуті раніше. Її перевага полягає в тому, що в режимі підйому вантажу гальмування відбувається не за рахунок піднімається вантажу, а плавно наростаючим гальмівним зусиллям, щоб виключити набігання под'ємної судини на канат. [5]

Однак система СТП-1В має недолік, що полягає у відсутності в ній можливості дублювання пристроїв запобіжного гальмування, що погіршує її надійність.

Для оснащення серійно випускаються ПО Донецькгірмаш малих двухконцевая підймальних установок, які з точки зору динаміки їх роботи, можна розглядати, як одномасової, була розроблена апаратура АПТ спільно інститутами "АВТОМАТУГЛЕРУДПРОМ" НВО Червоний металіст, "НПКТІуглегормаш" ПО Донецькгірмаш і Донецьким політехнічним інститутом.

Функціональна схема системи АПТ представлена на рис 1.2. Вона складається з датчика швидкості, розташованого на барабані підйальної машини, пристрої вибірки і зберігання (ПВЗ) для запам'ятовування дійсної швидкості в момент спрацьовування ланцюга захисту, формувача сигналу затримки (ФСЗ), пристрою порівняння, електронного ключа (ЕК), формувача гальмівного зусилля (ФТУ) першого ступеня гальмування, гальма (ПТ) і компаратора мінімальної швидкості. У момент спрацьовування ланцюга

захисту двигун відключається, запам'ятовується величина дійсної швидкості і підймальна установка, в залежності від режиму роботи, під час холостого ходу гальма починає розганятися або сповільнюватися під дією статичного навантаження. Через певний час, яке формується спеціальним пристроєм, відбувається порівняння дійсної швидкості з величиною швидкості, зафіксованої на початку запобіжного гальмування. За величиною і знаком неузгодженості швидкостей формується величина першого ступеня гальмівного зусилля. Далі відбувається уповільнення підйимальної установки під дією першого ступеня до досягнення мінімальної швидкості, при якій включається другий ступінь і накладається повне гальмівне зусилля.

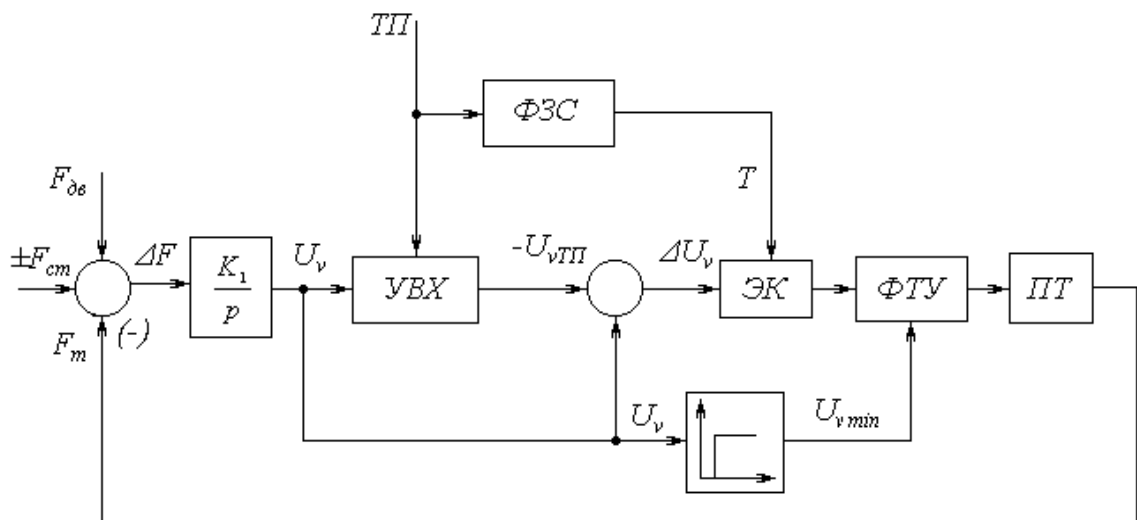


Рис. 1.2 - Функціональна схема системи АПТ [6]

Апаратура АПТ, побудована за викладеним принципом, успішно витримала промислові випробування на допоміжному барабанному клітьовому підйомі шахти "Батьківщина" ПО Первомайськвугілля і рекомендована до серійного випуску.[7]

РОЗДІЛ 2

СИСТЕМА ЗАПОБІЖНОГО ГАЛЬМУВАННЯ

2.1 Системи АРПТ по уповільненню

Найбільш досконалим типом систем запобіжного гальмування є замкнуті системи автоматичного регулювання [8], які забезпечують формування необхідного гальмівного зусилля в процесі запобіжного гальмування і підтримують заданий уповільнення в будь-якому режимі роботи ШПУ. Ці системи універсальні і придатні для всіх типів підймальних установок.

До переваг замкнутих систем АРПТ слід віднести те, що вони:

- забезпечують найбільш сприятливий динамічний процес при запобіжному гальмуванні, оскільки дозволяють підтримувати уповільнення у всіх випадках на оптимально низькому, допустимому рівні, що зменшує динамічні перевантаження в канатах і трансмісії ШПУ;
- знімають обмеження з боку гальма на розвиток ШПУ в напрямках підвищення вантажопідймальності, швидкості руху, зниження металоємності;
- автоматично компенсують розкид коефіцієнтів тертя гальмівних колодок про гальмівний обід, а при правильному резервуванні і відмови окремих елементів гальма;
- спрощують розрахунки при виборі гальм для конкретної ШПУ, бо, по суті, потрібно тільки вибрати і встановити максимальне значення гальмівного моменту і заданий уповільнення;
- формують самі необхідну для гальмування частину гальмівного зусилля в кожному випадку;
- здійснюють пряме (а не непряме, як у випадку параметричних і виборчих систем) регулювання.

Перераховані переваги таких систем визначили напрямок розробок в області автоматизації запобіжного гальмування та впровадження їх в практику шахтного підйому.[9]

До перших систем такого типу можна віднести регульований гальмо типу Перрі фірми "Метрополітен-Віккаре". Він мав механічний інерційний датчик уповільнення ШПУ, який впливав на гідравлічний регулятор гальмівного моменту в напрямку підтримання постійного уповільнення при гальмуванні.

Серійний комплекс замкнутої системи АРПТ розробки інститутами "АВТОМАТУГЛЕРУДПРОМ", "НІПКТІуглегормаш", ВНДІВЕ і переданий в серійне виробництво. Він призначений для керування приводом гальма підймальних машин в режимі запобіжного гальмування з підтриманням заданого рівня незалежно від величини статичного навантаження і напрямки руху судини (спуску або підйому).

Керуванням "Цветметналадка" (Росія) і Свердловським гірським інститутом була розроблена система автоматичного управління запобіжним гальмуванням шахтних підймальних машин САУПТ, призначена для ШПУ, обладнаних електро-приводом постійного струму. Вона забезпечує регулювання гальмівного зусилля механічним гальмом на барабані підйальної машини в процесі запобіжного гальмування в залежності від величини завантаження і напрямки руху підймальних посудин.

САУПТ являє собою замкнуту з гальмівного зусилля релейний систему однобічної дії, що регулюються параметром якої є гальмівне зусилля. Регулювання гальмівного зусилля здійснюється за допомогою додаткових електро- пневмоклапанов в функції сигналу рассогласованія між заданим і фактичним значеннями гальмівного зусилля. В процесі запобіжного гальмування при наростанні гальмівного зусилля до заданого значення додаткові клапани перекривають отвори патрубків клапанів запобіжного гальма пневмопанелі гальмівної системи підйальної установки, забезпечуючи встановлення проміжної величини тиску повітря в гальмових

циліндрах. При зупинці під'ємної машини додаткові клапани забезпечують повний випуск повітря з гальмівних циліндрів і положення повного гальмівного моменту.[10]

Заданий значення гальмівного зусилля безперервно формується в САУПТ в процесі нормального робочого циклу підйому-спуску в функції величини статичного навантаження на валу двигуна і з урахуванням її знака.

Для забезпечення надійної роботи підйомальної установки в разі виходу з ладу в процесі робочого циклу будь-якого вузла САУПТ в системі передбачені два ідентичних каналу керування запобіжним гальмуванням і два канали контролю за станом системи. У процесі контролю відбувається безперервне порівняння ряду параметрів сигналів в каналах керування. Неузгодженість контрольованих параметрів при виникненні несправності призводить до включення аварійної сигналізації, зменшення за допомогою електроприводу швидкості до безпечного значення і забороні подальшого пуску машини.

Харчування каналів керування САУПТ передбачено від двох незалежних блоків живлення. Блоки живлення рекомендується підключати до двох незалежних джерел змінної напруги 220 В.

Для виключення можливості виникнення аварії при одночасно включенні запобіжного гальма і появи несправності в САУПТ введено обмеження діапазону вимірювання гальмівного зусилля за час запобіжного гальмування. Мінімальна його значення обмежується відповідної налаштуванням пружин вихлопних пристроїв основних клапанів. Максимальне значення зусилля обмежується включенням в схему управління реле часу і налаштуванням його на час наростання зусилля до цього значення.

Ця система випробувана на одній з підйомальних установок рудника в Норильську. До істотних її недоліків можна віднести наступні:

- система є замкненою з гальмівного зусилля, а не по уповільненню;

- завдання значення гальмівного зусилля здійснюється у функції статичного навантаження, т. Е. В даному випадку система є розімкнутої, в якій величина гальмівного зусилля вибирається залежно від режиму роботи підйому, підтримуючи задану гальмівне зусилля в процесі запобіжного гальмування, В той же час САУПТ не забезпечує контролю за підтриманням безпечного уповільнення, нормованого ПБ, так як внаслідок зміни коефіцієнта тертя гальмівних колодок про гальмівне поле (при нагріванні колодок або барабана, попаданні вологи чи масла на гальмівне поле і т. д.) уповільнення може вийти за межі безпеки при підтримці системою заданого гальмівного зусилля;

- САУПТ не передбачає резервного електроживлення в разі аварійного відключення напруги живлення мережі;

- наявність чотирьох датчиків зусилля робить САУПТ громіздкою, незручною в експлуатації, вимагає ретельної настройки;

- область застосування даної системи обмежена підймальними установками з двигунами постійного струму.

Зазначені недоліки цієї системи роблять недоцільним орієнтуватися на неї при оцінці напрямків подальшого розвитку систем керування гальмами ШПУ. [11]

2.2 Замкнуті систем АРПТ

Ряд замкнутих систем АРПТ розроблений і поставляється замовникам зарубіжними фірмами.

Замкнута стежить система АРПТ розроблена фірмою ASEA (Швеція) [9]. Система призначена для підймальних установок, забезпечених дисковими гальмами, розробленими фірмою ASEA. Загальмування здійснюється за допомогою потужних пружин Бельвіля, а розгальмовування - подачею під тиском масла в циліндри дискових гальмівних елементів. Дискові виконавчі елементи (12 штук) діляться на дві групи, кожна з яких

управляється від окремої насосної установки і забезпечена власною електронною системою керування. Однією групи дискових елементів досить, щоб зупинити максимально допустимий спусковий вантаж з необхідним запасом гальмівного моменту. [12]

При нормальній роботі підйимальної установки гальмування машини аж до зупинки, здійснюється електроприводом, а механічні дискові гальма використовуються тільки як утримуючі гальма. У разі аварійної зупинки машини (запобіжного гальмування) дискові гальма повинні забезпечувати безпечне гальмування машини при підйомі і спуску вантажу незалежно від маси вантажу. Виходячи з необхідності виконання цієї вимоги, гальмівна система забезпечена спеціальною електронною системою керування запобіжним гальмуванням, що дозволяє автоматично регулювати гальмівне зусилля в залежності від величини фактичного уповільнення машини.

Для забезпечення необхідного рівня надійності та безпеки роботи підйимальної установки застосований принцип копіювання. Система АРПТ фірми ASEA забезпечує підтримання постійного уповільнення в процесі запобіжного гальмування з необхідною надійністю. Порівняння її з розробленою в нашій країні системою показує, що вона аналогічна розробленою в нашій країні, але є лінійною САУ і використовує для керування регулятор тиску. Вона призначена для роботи з дисковими гальмами. Особливістю цієї системи є наявність незалежних каналів регульованого запобіжного гальмування, є ще два канали нерегульованого гальмування, що забезпечує нехай не цілком ефективно, але хоч якесь гальмування, на випадок повної відмови автоматично регульованого гальмування.

Фірмою Canadian General Electric (CGE) розроблена електронна система АРПТ, яка встановлюється в стовбурах середньої і великої глибини де, при нерегульованій жорсткій установці гальмівного моменту уповільнення машини при підйомі вантажу стає занадто великим, якщо гальма були побудовані на безпечне допустиме гальмування при спуску вантажу.

У цій системі використовується подвійна огинача швидкість - відстань - запобіжна і захисна тахограми, які виробляє запобіжний контролер (аналог випускається в Україні апарату АЗК). [13]

При запобіжному гальмуванні швидкість підіймальної машини повинна підтримуватися в проміжку між двома тахограми. Це досягається шляхом відкриття і закриття клапанів, випускаючих повітря з гальмівних циліндрів. Вихід швидкості машини за зовнішню тахограми в процесі запобіжного гальмування означає відмову в системі керування. В цьому випадку відкриваються всі клапани і формується повне гальмівне зусилля.

Режими роботи даної системи АРПТ показані на рис. 2.1, де зображені режими гальмування двохбарабанної підіймальної установки з урівновешиваючими канатами. Маса корисного вантажу 20,4 т.

Рівень гранично допустимого уповільнення (пряма 2) дорівнює $2,7 \text{ м / с}^2$ відповідно до вимог безпеки, що діють в Канаді. [14]

При зазначеній масі корисного вантажу повне гальмівне зусилля приводило до гальмування машини з уповільненням 4 м / с^2 - у разі спуску вантажу і 7 м / с^2 при підйомі - це при нерегульованому запобіжному гальмуванні (пряма 3).

Регульоване запобіжне гальмування, здійснюване системою АРПТ, забезпечує постійне уповільнення запобіжного гальмування близько $2,5 \text{ м / с}^2$ (пряма 1) незалежно від навантаження і напрямки руху.

При зупинці барабана система АРПТ формує повне гальмівне зусилля, щоб запобігти рух машини в протилежну сторону під дією вантажу. Система живиться від джерела постійної напруги 24 В, що складається з зарядного пристрою і двох незалежних батарей акумуляторів по 12 В.

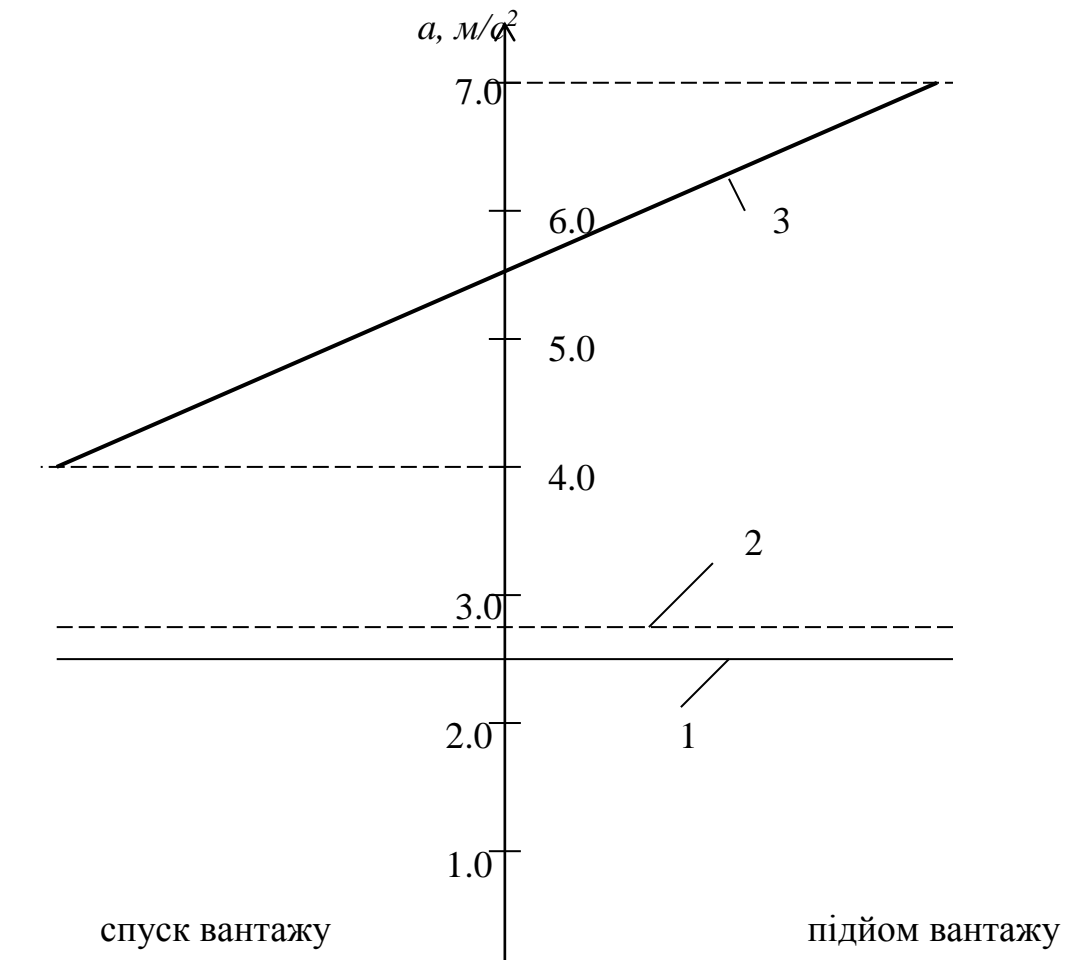


Рис. 2.1 - Діаграма вповільнень ШПМ при нерегульованій і регульованій системі запобіжного гальмування фірми CGE:

- 1 - фактичне уповільнення при використанні системи АРПТ;
- 2 - гранично допустимий уповільнення; 3 - уповільнення при звичайній нерегульованій системі запобіжного гальмування [15]

Система запобіжного гальмування для підйому з асинхронним приводом змінного струму розроблена фірмою LEC Electric Projects (Великобританія) [16].

Система побудована, виходячи з наступної класифікації режимів запобіжного гальмування:

- категорія 1А - запобіжне гальмування включено апаратами для захисту від небезпеки людей в кліті або на підйомі;

- категорія 1В - перепад'єм в будівлі копра, в цьому режимі відключається електроенергія від підйимального двигуна;
- категорія 2 - вихід з ладу будь-якого елемента електропривода, в цьому режимі також знеструмлюється двигун. [17]

Система запобіжного гальмування (режим 1А) прикладає постійне гальмівне зусилля за допомогою механічного гальма і контролює уповільнення барабана машини в процесі гальмування шляхом порівняння заданої тахограми запобіжного гальмування з фактичною швидкістю машини, додає гальмівне вплив за допомогою приводного двигуна - переводить двигун в режим динамічного гальмування 1А. У режимах 1В і 2 машина гальмується постійним гальмівним моментом незалежно від напрямку руху і маси вантажу, т. Е. Це режим нерегульованого запобіжного гальмування.

Система запобіжного гальмування, представлена на рис 2.2

Система працює наступним чином. При нормальній роботі підйому вихід задатчика 4 відповідає сигналу тахогенератора зворотного зв'язку по швидкості, але підсилювач керування 6 замкнутий накоротко контактом 8 таким чином, що на його виході нульове напруга. При цьому машиніст керує гальмом за допомогою приводу робочого гальмування. [18]

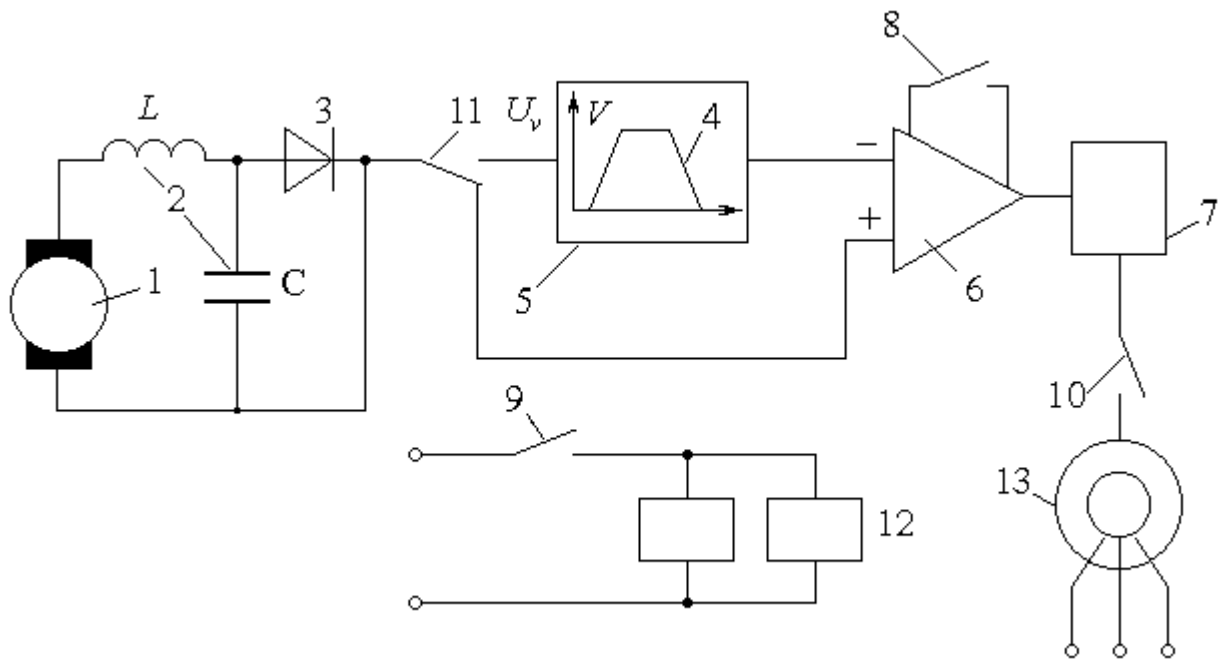


Рис. 2.2 - Схема керування запобіжним гальмуванням в системі фірми LEC EP: 1 - тахогенераторний датчик швидкості; 2 - LC - фільтр; 3 - випрямляч; 4 - задатчик тахограми запобіжного гальмування; 5 - контролер запобіжного гальмування; 6 - підсилювач; 7 - агрегат динамічного гальмування; 8 - 11- контакти вмикання запобіжного гальмування; 12 - котушка клапана запобіжного гальмування; 13 – двигун [19]

При розмиканні ланцюга захисту включається запобіжне гальмування, привід робочого гальма відключається, контактом 9 обесточиваються клапани запобіжного гальмування, випускається повітря з гальмівних циліндрів і до барабану прикладається гальмівний момент. Одночасно контактором 10 агрегат динамічного гальмування 7 підключається до двигуна 13.

Для того щоб механічний гальмо міг бути ефективним (сформувати необхідний гальмівний момент), контакти запобіжника гальмування 8 і 11 включаються з тимчасовою затримкою. Після затримки контакт 11 відключає від задатчика і підключає до входу підсилювача 6 сигнал фактичної швидкості. Одночасно з цим розмикається контакт 8, шунтуючий підсилювач 6. Вихідний сигнал задатчика 4 починає лінійно змінюватися з заданим уповільненням. [20]

Порівняння сигналу завдання і фактичної швидкості здійснюється на виході підсилювача 6. Якщо гальмівний момент, що прикладається механічним гальмом, недостатній для забезпечення заданого уповільнення машини, то сигнал фактичної швидкості буде більше вихідного сигналу задатчика 4. На виході підсилювача 6 з'являється сигнал, пропорційної різниці, і цей сигнал є керуючим для агрегату динамічного гальмування. В результаті до машини шляхом динамічного гальмування двигуном прикладається гальмівне зусилля, що забезпечує в сумі з гальмівним зусиллям механічного гальма заданий тахограммой уповільнення під'ємної машини.

Передбачена сигналізація машиністу про включення динамічного гальмування при запобіжному гальмуванні і передбаченого блокування подальшого пуску машини в тому випадку, якщо гальмівний момент двигуна становив більше 70% сумарного гальмівного моменту при запобіжному гальмуванні, що свідчить про несправності механічного гальма. [21]

На думку фірми, до переваг описаної системи предохранительного гальмування відносяться надійне підтримання заданого уповільнення при зносі гальмівних колодок, зниженні коефіцієнта тертя колодок об обід і будь-яких інших несправності механічного гальма, а також виключення роботи гальма проти двигуна при запобіжному гальмуванні.

Система запобіжного гальмування підймальних машин з приводом постійного струму (як тиристорним, так і по системі Г-Д), аналогічна описаної вище, була створена і випробувана фірмою LEC Electric Projects. Обидві зазначені системи гальмування з використанням приводного двигуна в гальмівному режимі при запобіжному гальмуванні знайшли застосування на шахтах Великобританії. Однак, орієнтуватися на використання двигуна в системі запобіжного гальмування недоцільно, так як одне з призначень цієї системи - гальмування ШПУ при відмові двигуна.

Компанія Rexnord (США) розробила і серійно випускає систему АРПТ [11], що містить електронний регулятор, керуючий виконавчими

гальмівними елементами. Для кожного конкретного підйому регулятор налаштовується на необхідну в даному випадку величину уповільнення запобіжного гальмування в межах від уповільнення вільного вибігу до максимального, дозволеного правилами безпеки. Фірма рекомендує для вертикальних підйомів налаштовувати регулятор на величину уповільнення $a \leq 4,9 \text{ м / с}^2$.

Система АРПТ має жорстку зворотний зв'язок по швидкості від барабана підйомальної машини. На підставі заданої величини запобіжного гальмування в регуляторі АРПТ виробляється сигнал необхідного миттєвого значення швидкості. Цей сигнал необхідної величини швидкості порівнюється з фактичною швидкістю підйомальної машини. Якщо швидкість машини стає більше заданої, то регулятор, впливаючи на виконавчі гальмівні елементи, збільшує гальмівне зусилля пропорційно різниці заданої і фактичної швидкостей; якщо швидкість машини стає менше заданої, то регулятор зменшує гальмовий момент на величину, пропорційну різниці сигналів швидкостей.

Таким чином, система АРПТ фірми Rexnord працює в режимі двостороннього (лінійного) регулювання гальмівного зусилля, забезпечуючи запобіжне гальмування підйомальної машини з заданим уповільненням, хоча оцінка уповільнення проводиться побічно по швидкості.

Якість регулювання гальмуванням системою забезпечується вибором і налаштуванням регулятора, відповідно до інерційними властивостями механічної частини підйомальної установки, виконавчих гальмівних елементів і каналу зворотного зв'язку.

Фірма Siemag Transplan (ФРН) розробила [12] систему АРПТ для шахтних підйомальних машин з дисковими гальмами. Гальмівна система складається з двох незалежних каналів, які містять по шість дискових гальмівних елементів. Загальмування в цій системі здійснюється гальмівним зусиллям, що розвивається тарілчастими пружинами, розгальмовування - подачею в циліндри дискових елементів масла під високим тиском. [22]

Електрично керований регулятор тиску забезпечує повну керованість тиску в гідросистемі від нуля до максимуму. Логічно керовані за допомогою спеціальної системи керування, електрогідроклапани відокремлюють контур робочого гальмування від гідравлічних елементів системи запобіжного гальмування АРПТ.

При Запит на запобіжного гальмування маслonaсосів відключається, а система АРПТ, автоматично керуючи електрогідроклапанами, регулює в функції уповільнення тиск в циліндрах дискових гальмівних елементів. У перший момент після відключення маслonaсоса не відбувається швидкого додатка гальмівного зусилля тому, що певна частина електрогідроклапанов живиться системою АРПТ, а через нерегульовані дроселірованние клапани не відбувається швидкого зливу масла, накопиченого в акумуляторі. Система АРПТ, керуючи включенням і відключенням електрогідроклапанов, прагнуть підтримувати фактичне уповільнення підйимальної машини рівним заданому, виключаючи тим самим прослизання під'ємних канатів по приводним шківів тертя. [23]

Дана система АРПТ була змонтована і випробувана на трьохканатної підйимальної машини людського підйому шахти Грімберген-2.

2.3 Великі підйимальні машини

Фірма Dortyl Heavy Engineering (Великобританія) [11] виготовляє великі підйимальні машини для вугільних шахт з гальмами радіального типу з нейтральним шарніром і пружинно-гідравлічним приводом. Розгальмовування машини відбувається шляхом подачі масла під тиском у гальмівні циліндри.

Керування гальмуванням машини, в тому числі запобіжним, здійснюється системою електронного керування сповільнює моментом - Electronic Sensing Control of Retard Torque (Escort) (ПАР) [13]. Система Escort

забезпечує постійний рівень уповільнення машини в будь-якій точці стовбура при русі в будь-якому напрямку.

Компанія ABB Process Industries AB (Швеція) [24] активно працює останнім часом в цій галузі і виробляє підймальні установки з керованим уповільненням, де інтенсивність гальмування управляється так, щоб воно відбувалося з заданим уповільненням, у всіх у всіх можливих ситуаціях (напрямок руху, швидкість, вантаж і стан гальма). Ці системи встановлені на більш ніж 25 підймальних установках і використовуються як для підйомів зі шківом тертя, так і для барабанних підймальних установок.

Кероване гальмування працює за такими двома варіантами:

- гальмування в нормальному режимі, з регулюванням по відхиленню з метою забезпечення плавної зупинки;

- гальмування в аварійному режимі, з керуванням, що дає постійне заданий уповільнення, незалежне від умов гальмування. [25]

Для забезпечення ефективності гальмування в разі відмови енергопостачання, система включає аварійне живлення. І навіть у разі відмови батареї аварійного живлення, підймальник зупиниться з уповільненням в межах безпечних норм.

Шахтні підймальники, обладнані системами керування електроприводом компанії ABB і оснащені надійними системами приводів АС або DC, працюють безпосередньо, через редуктор або гнучке зчеплення. Щоб мінімізувати динамічні перевантаження в канатах, системи приводів розроблені так, щоб формувати плавні зміни в рушійний момент і швидкості.

Роботи зі створення надійних систем запобіжного гальмування останнім часом ведуться в США. Так, крім згаданої раніше компанії Rexnord в [14, 15] описаний проект і результати досліджень пасивного динамічного гальма спільно з механічним гальмом підймальника, а також наведені результати досліджень на вертикальному підйомі зі шківом тертя додаткового пневматичного гальма каната.

Наведені описи та результати випробувань системи аварійного гальмування шахтним підймальником зі шківом тертя і електроприводом постійного струму з використанням трьох систем гальмування: пасивного динамічного гальмування двигуном, переведеним в режим генератора, механічним гальмом шківа тертя і гальмом каната. Описується принцип спільного гальмування двох систем механічного та динамічного гальма.

Барабанний механічний і динамічний гальмо вступають в роботу одночасно, коли відключається електрична енергія, яка живить привід і здійснюють спільне гальмування. Однак, механічний гальмо не може відразу вступати в дію через властивого йому холостого ходу. Після цієї початкової затримки, машинний гальмо забезпечує плавне лінійне уповільнення.

Система динамічного гальмування починає уповільнення підйому негайно, т. К. Відповідний контактор підключає резистор динамічного гальмування таким чином, що електропривод перемикається з рухового в генераторний режим замість створення умови прискорення під дією вантажу. Однак гальмівне зусилля створюване динамічним гальмом зменшується при зниженні швидкості руху. Тому гальмування динамічним гальмом - дуже корисна система, призначена, щоб допомогти механічному гальма в початковий момент часу холостого ходу гальма. Вона забезпечує незначне уповільнення, оскільки основну функцію, зупинку підйому, виконує механічне гальмо.

Додатковий пневматичний гальмо каната [25, 26] призначений для поліпшення надійності підйому зі шківом тертя в разі неефективної або неправильної роботи механічного гальма, а також в разі виникнення проковзування каната по шківа. При цьому він вступає в дію від датчика перевищення швидкості і діє безпосередньо на канат підймальника. Пристрій підймальника, обладнаного гальмом каната [26, 27], наведено на рис. 2.3.

Випробування, проведені з додатковим гальмівним пристроєм каната, показали його хорошу ефективність. Такі системи рекомендовані для використання на підйомальниках зі шківом тертя. [28,29]

На закінчення необхідно відзначити, що системи регульованого гальмування останнім часом знайшли застосування на людських ліфтових підйомальниках, конвеєрних установках та ін. Наприклад, в 1995 році північний підйомальник Ейфелевої вежі в Парижі був обладнаний гальмівною системою CRD фірми SIME-Stromag (Франція) [16]. Ця система забезпечує в аварійному режимі плавну зупинку підйомальника, підтримуючи в процесі запобіжного гальмування заданий уповільнення.

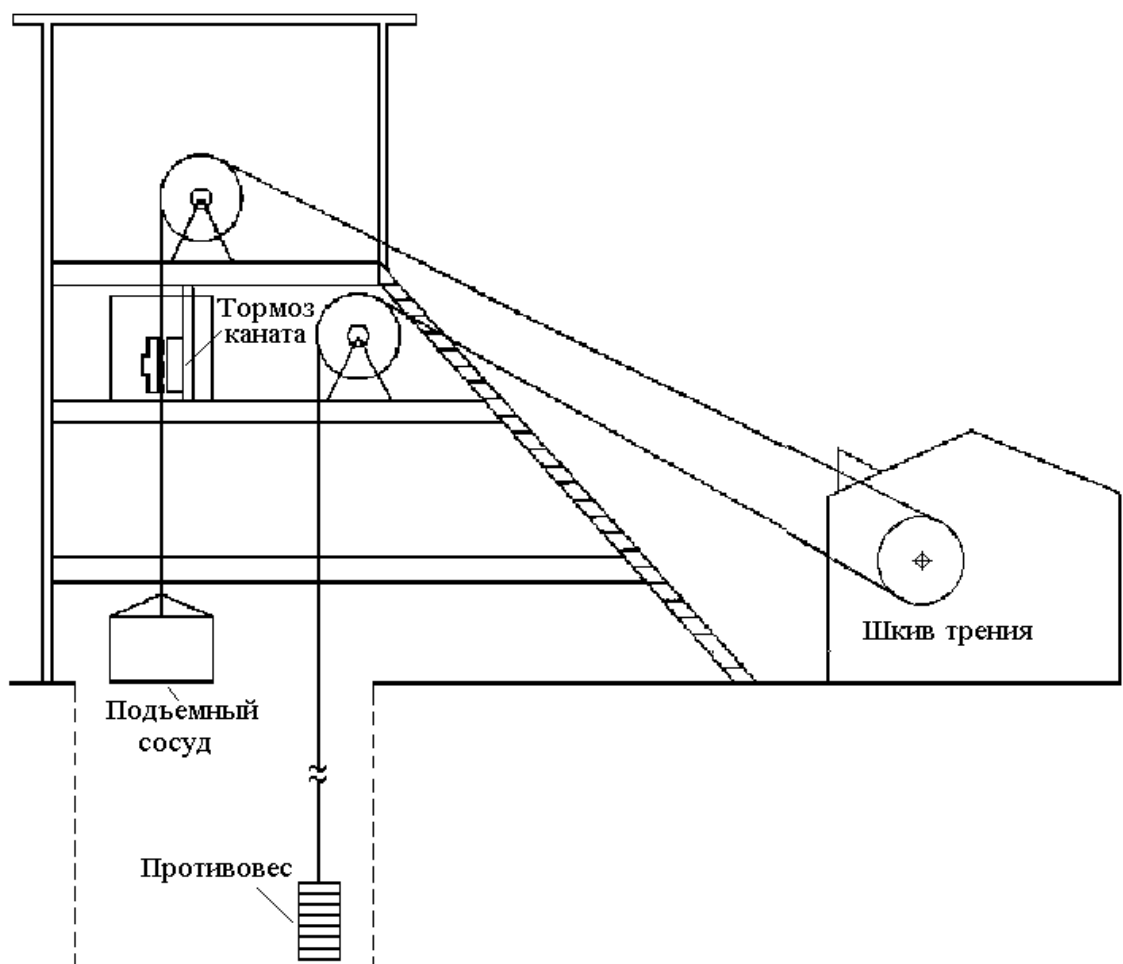


Рис. 2.3 - Пристрій підйомальної установки з гальмом каната [30]

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АПТ В УМОВАХ ПРОМИСЛОВОГО ВИПРОБУВАНЬ ДЛЯ МАШИН З МАЛИМ КОЕФІЦІЄНТОМ МАСИВНОСТІ

3.1 Принцип роботи підіймальної установки

На підприємствах гірничої промисловості в даний час в експлуатації, особливо в підземних умовах, знаходиться велика кількість малих підіймальних установок, які з точки зору динаміки їх роботи можна розглядати як одномасової і, отже, процес автоматично регульованого запобіжного гальмування у них може здійснюватися за спрощеною технологією. Саме для таких установок була розроблена апаратура виборчого запобіжного гальмування АПТ.

Принцип роботи її полягає у визначенні режиму роботи підіймальної установки: "підйом" або "спуск" вантажу, а потім формування відповідного режиму роботи гальмівного зусилля першого ступеня. Після закінчення процесу, коли дійсна швидкість досягає мінімального значення, відбувається накладення другого ступеня (залишок до повного гальмівного зусилля). Таким чином, система являє собою замкнуту систему автоматичного регулювання з комбінованої нелінійної зворотним зв'язком по навантаженню і мінімальної швидкості.

Дослідний зразок апаратури АПТ був розроблений спільно інститутами "АВТОМАТУГЛЕРУДПРОМ" НВО Червоний металіст, НДПКТІ Углегормаш ПО Донецькгірмаш, Донецького політехнічного інституту і успішно пройшов промислові випробування на допоміжному барабанному клітьовому підйомі шахти "Батьківщина" ПО Первомайськвугілля. [30,31]

Результати Осцилографування процесів запобіжного гальмування, зняті в процесі промислових випробувань дослідного зразка системи АПТ на барабанній клітьовою ШПУ МПБ 3,15-1,6-1,6, представлені на рис 3.1. Аналіз осцилограм показав, що значення середнього уповільнення при підйомі і спуску завантаженої

кліті практично незмінні і становили від 1,8 до 2,1 м / с². Час холостого ходу гальма $t_{XX} = 0,18 - 0,22$ с. Час спрацювання гальма (досягнення гальмівним зусиллям значення, відповідного статичному навантаженні) $t_{cp} = 0,42 - 0,48$ с.

3.2 Дослідження та випробування підйомної установки

Проведені дослідження і випробування на різних режимах дослідного зразка апаратури АПТ підтвердили виконання системою заданих характеристик, відповідність Правилам безпеки [31,32] і можливість використання таких систем на малих підйомних установках. Система АПТ була рекомендована міжвідомчою комісією до серійного виробництва. [33,34]

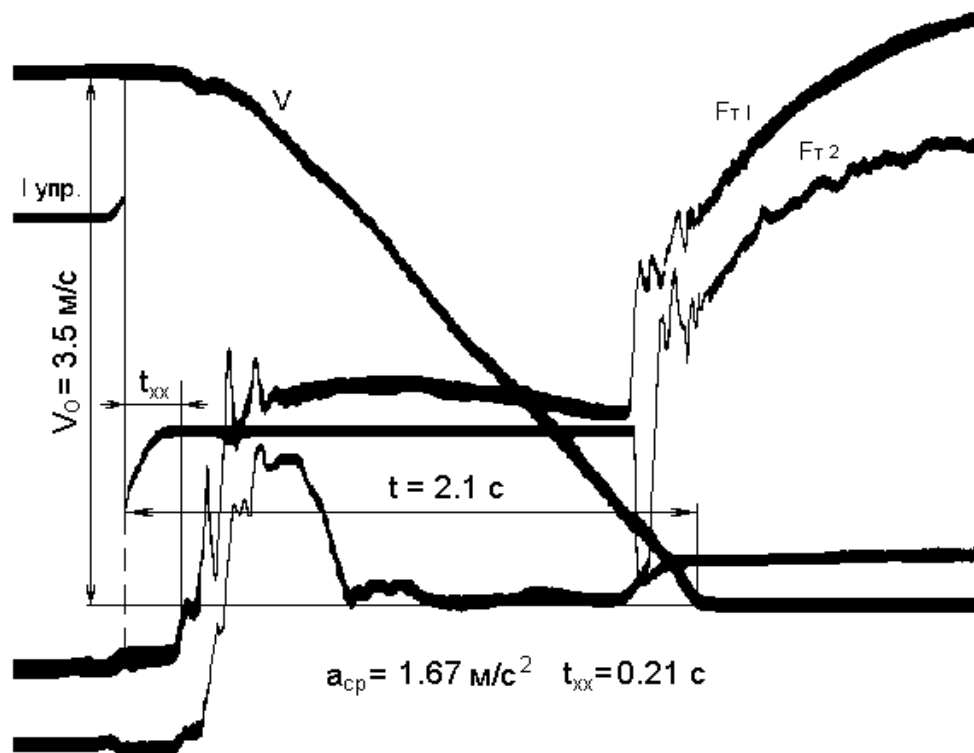


Рис. 3.1, а - Осцилограми запобіжного гальмування системою АПТ на барабанній клітьовою ШПУ МПБ 3,15-1,6-1,6, в режимі підйому завантаженої кліті [35]

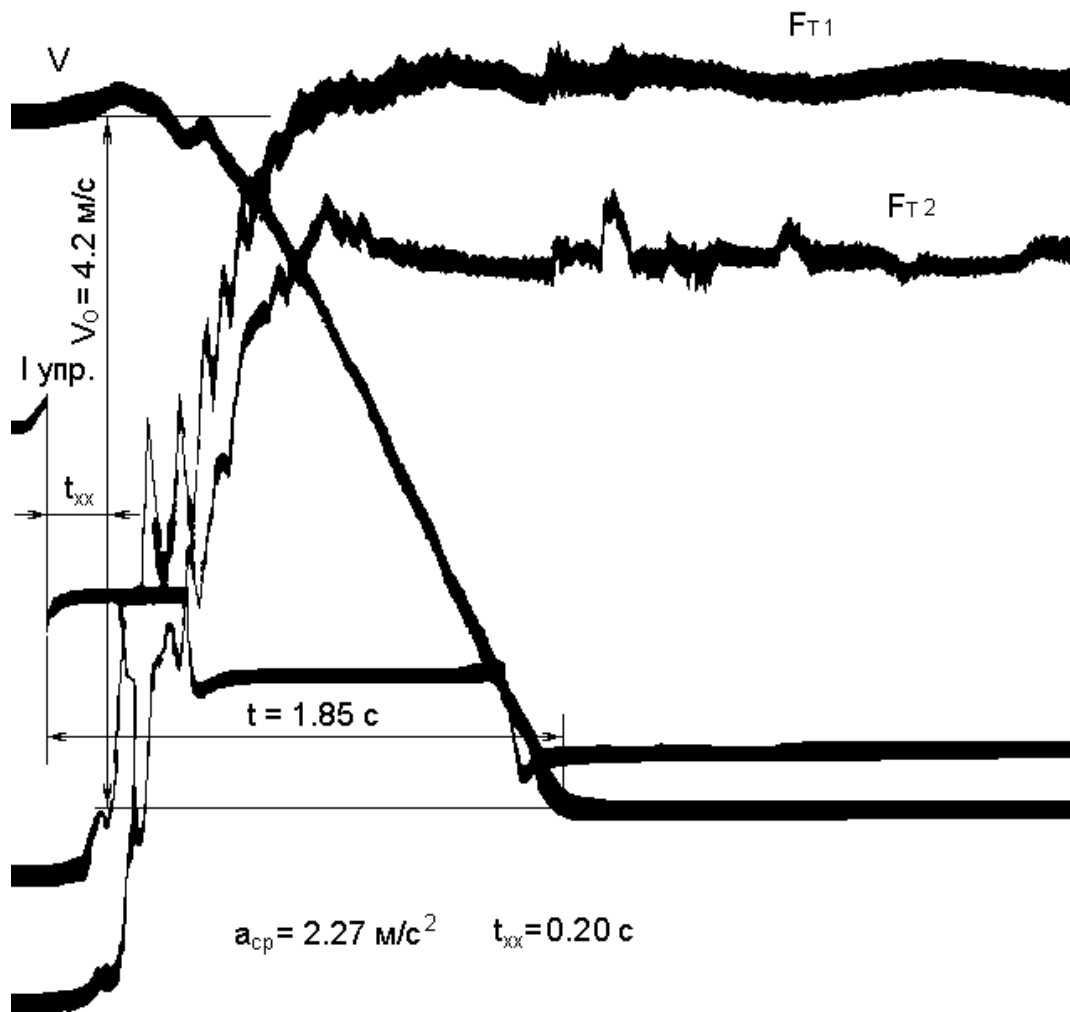


Рис. 3.2 Осцилограми запобіжного гальмування системою АПТ на барабанній клітьовою ШПУ МПБ 3,15-1,6-1,6, в режимі спуску завантаженої кліті [36]

ВИСНОВКИ

1. Проведені випробування систем автоматично регульованого запобіжного гальмування показали відповідність параметрів їх характеристик працездатності на похилих, вертикальних, барабанних і багатоканатних підймальних установках з радіальним і дисковим гальмом заданим вимогам.

2. Нелінійні властивості систем автоматично регульованого запобіжного гальмування шахтних підймальних установок, що працюють за принципом одностороннього регулювання гальмівного зусилля обмежує їх точність через відсутність можливості компенсації надлишкового гальмівного зусилля в процесі регулювання і вимагає підвищення завадостійкості.

3. Підвищення точності автоматично регульованого запобіжного гальмування однобічної дії підймальної установки ЦШ4-4Д, обладнаної вісьмома дисковими модулями, не більше $\pm 20\%$, забезпечується часом квантування при вимірюванні уповільнення, не менше 0.64 с. і рознесенням у часі дій по вимірюванню уповільнення і введенню чергової сходинки (групи модулів) гальмування. Аналіз осцилограм дав можливість вибрати раціональні значення кроку квантування вимірюваного сигналу уповільнення.

4. В результаті теоретичних і експериментальних досліджень і подальшого доопрацювання вдалося поліпшити технічні характеристики систем АРПТ. Зокрема, поліпшити стійкість шляхом зниження порядку похідної сигналу зворотного зв'язку, регулюванням по закону заданої швидкості і введенням гістерезису на включення і відключення клапанів.

5. Дослідження, виконані в процесі випробувань системи виборчого гальмування, показали обґрунтованість принципів, покладених в основу побудови систем запобіжного гальмування з нелінійним зворотним зв'язком по швидкості. Дані системи за принципом роботи можуть бути віднесені до систем регулювання з компенсацією обурення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Правила безпеки у вугільних шахтах. - Інформ.-аналітичн. центр «ЛІГА», 2010. - 187 с.
2. Правила технічної експлуатації вугільних і сланцевих шахт. - М.: Недра, 1976. - 303 с.
3. Траубе Є. С. Гальмівні пристрої і безпеку шахтних підйомних машин / Є. С. Траубе, І. С. Найдено // - М.: Недра, 1980, - 256 с.
4. Алістратова І. Е. Системи автоматично регульованого запобіжного гальмування шахтних підйомних машин // І. Е. Алістратова, Н. Л. Беліков, В. І. Васильєв, І. П. Ковалевський, В. Є. Католиків, С. Н. Шапочка /: Огляд ЦНІЕУголь. - М.: 1987. - Вип. 22. - 42 с.
5. Barkand T. D. Investigation of the accident and installation and testing of dynamic braking on the main elevator at Duquesne Light, Warwick Mine, # 3 North Portal / T. D. Barkand // MSHA. Mine Electrical Systems Division Investigative Report C-052287-12. May 1987. URL: <http://www.msha.gov/>
6. Barkand T. D. Emergency braking systems for mine hoists / T. D. Barkand // MSHA. United States Department of the Interior. Bureau of Mines. Mineral Commodity Summaries 1992. p.5. U.S. Government Printing Office. 1992-619-434 / 41349. URL: <http://www.msha.gov/s&hinfo/techrpt/hoist/paper6.htm>
7. Федоров М. М. Вибрані праці / М. М. Федоров // - К.: АН УРСР, 1960. - Т.2. - 463 с.
8. Киричок Ю. Г. Привід шахтних підйомних установок великої потужності / Ю. Г. Киричок, В. М. Чермалих // - М.: Недра, 1972. - 336 с.
9. Чермалих В. М. Дослідження складних електромеханічних систем / В. М. Чермалих // - К.: КПІ, 1979. - 63 с.
10. Католиків В. Є. Автоматизований електропривод підйомних установок глибоких шахт / В. Є. Католиків, А. Д. Дінкель, А. М. Седунін // - М.: Недра, 1983. - 270 с.

11. Мурзін В. А. Захист рудничних підйомних установок від перевищення швидкості / В. А. Мурзін, В. І. Решетніков, А. Н. Шатило // - М. Недра, 1974 -176 с.
12. Шатило О. М. Вплив процесу запобіжного гальмування ШПУ на вимоги, що пред'являються до швидкодії апаратури від перепідйому / А. Н. Шатило //: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. 05.05.06 - Дніпропетровськ, 1969.
13. Шатило А. Н. Забезпечення безаварійної експлуатації шахтних підйомних установок системами захисту і запобіжного гальмування (Розвиток теорії, розробка вимог, способів і засобів): / А. Н. Шатило //: Автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.05.06 - Дніпропетровськ, 1985.- 44с.
14. Білобров В. І. Динаміка, нагрів і знос гальм шахтних підйомних машин / В. І. Білобров // - К.: Наукова думка., 1981. - 198 с.
15. Білобров В. І. Динаміка шахтних підйомних установок. / В. І. Білобров, В. А. Дзензерський, В. І. Самуся, С. Р. Ільїн // - Дніпропетровськ: Вид. Дніпропетровського університету, 2000 - 379 с.
16. Білобров В. І. Гальмівні системи шахтних підйомних машин / В. І. Білобров, В. Ф. Абрамовський, В. І. Самуся // - К.: Наукова думка., 1990, - 172 с.
17. Степанов А. Г. Динаміка шахтних підйомних установок - М.: Наука., 1994, - 203 с.
18. Траубе Є. С. Побудова системи запобіжного гальмування шахтних підйомних машин / Є. С. Траубе // Вугілля України, 1993 № 2. - С. 29-31.
19. А. с. № 716960 СРСР, МКІ В 66 В 1/24 / Спосіб гальмування підйомних машин. / Найденко І. С. // Відкриття. Винаходи. - 1980. Бюл. № 7.
20. А. с. № 763229 СРСР, МКІ В 66 В 1/32 / Спосіб запобіжного гальмування шахтного підйомника і пристрій для його здійснення / А. Н. Шатило // Відкриття. Винаходи. - 1980. Бюл. №.
21. Беліков Н. Л. Динамічні явища при регульованому запобіжному гальмуванні / Н. Л. Беліков, В. І. Васильєв, С. Н. Шапочка, І. Е. Траубе // Вугілля України - 1983. - № 1. - С . 26 - 27.

22. Чермалих А. В. Управління складними електромеханічними системами з задає моделлю і фази контролером / А. В. Чермалих, А. В. Данілін, С. Л. Прядко // Наукові праці. Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. - Кременчук, 2001 (11) - Вип. 2. С. 7 - 12.

23. А. с. № 289505 СРСР, МКІ G05b 5/01 / Нелінійний фільтр для систем автоматичного управління / Алексєєв О. Г., Бойчук Д. І. // Відкриття. Винаходи. - 1970. Бюл. № 1.

24. Чермалих В. М. Багатоканальні системи оптимального керування електроприводом промислових установок / В. М. Чермалих // - Изв. Вузів "Гірський журнал", 1982, №7. - С. 123-129.

25. А. с. № 1447743 СРСР, МКІ В 66 В 5/00 / Пристрій для управління приводом шахтної підйомної машини / Васильєв В. І., Дубовик В. Г., Чермалих В. М. // Відкриття. Винаходи. - 1988. Бюл. № 48.

26. А. с. № 1715705 СРСР, МКІ В 66 В 1/32 / Спосіб дискретного управління гальмом шахтної підйомної машини / Васильєв В. І., Чермалих В. М., Матвієнко Н. П

27. Васильєв В. І. Формування раціональних дій для управління запобіжним гальмуванням шахтних підйомних установок / В. І. Васильєв // Гірнична електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. - 2002. - Вип. 68. - С. 96-100.

28. Васильєв В. І. Цифрове моделювання замкнутої системи запобіжного гальмування шахтної підйомної установки / В. І. Васильєв // Тез. допов. науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів и студентів фізико-технічного факультету Сумського державного університету - 15-26 квітня 2002 р .: - Суми: СумДУ. - 2002. - С. 36.

29. Васильєв В. І. Застосування нелінійних фільтрів в системі управління запобіжним гальмуванням підйомних установок / В. І. Васильєв, Л. А. Козьякова, Е. І. Алтухов // Укр. Київ. політехн. ін-ту. Гірнична електромеханіка та автоматика. - К .: 1984. - Вип. 15. - С. 13 - 15.

30. А.с. № 1296500 (СРСР) Пристрій для управління приводом шахтної підйомної машини / Чермалих В. М., Васильєв В. І., Матвієнко Н. П. // Відкриття. Винаходи. - 1987. Бюл. № 10.

31. Васильєв В. І. Регулятори тиску для систем регульованого запобіжного гальмування / В. І. Васильєв, Н. П. Матвієнко // Механізація і автоматизація виробництва., 1990, № 11.- С. 25-27.

32. А. с. № 1680614 СРСР, МКІ В 66 В 1/32 5/00 / Пристрій для управління приводом гальма шахтної підйомної машини / Чермалих В. М., Васильєв В. І., Матвієнко Н. П. // Відкриття. Винаходи. - 1991. Бюл. № 36.

33. Литягин В. Ф. Побудова системи управління запобіжним гальмуванням ШПМ з багатоступеневим дисковим гальмом / В. Ф. Литягина, В. І. Васильєв // Вугілля України - 1989. - № 7. - С. 23 - 24.

34. Васильєв В. І. Комп'ютерне моделювання запобіжного гальмування шахтної підйомної установки / В. І. Васильєв // АСУ та прилади автоматики: Всеукр. Міжвід. н.-техн. зб. - 2002. - Вип. 121. - С. 48-51.

35. Васильєв В. І. Вибір раціональних законів керування методом цифрового моделювання / В. І. Васильєв // Зб. наукових праць за матеріалами 8-й Міжнародній науковій конференції "Теорія і техніка передачі, прийому і обробки інформації" "ИИСТ-2002" "- 17-19 вересня 2002 г.: - Харків: ХНУРЕ, 2002. - С. 429-431.

36. Сіденко А. Ф. Апаратура управління гальмівними приводами шахтних підйомних машин / А. Ф. Сіденко, А. П. Солоха, Б. С. Роженцов // - М.: Недра, 1974. - 226 с.