

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КОНОТОПСЬКИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра електронних
приладів і автоматики

Кваліфікаційна робота бакалавра
**СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО ВИБІРКОВОГО ЗАПОБІЖНОГО
ГАЛЬМУВАННЯ ПІДЙІМАЛЬНОЇ МАШИНИ**

студента гр. ЕІ - 61к

Д.Л.Короц

Науковий керівник,
ст. викладач, к.т.н.

В.І.Васильєв

Нормоконтроль,
ст. викладач, к.т.н.

О.Д. Динник

2020

РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи є системи і способи запобіжного гальмування барабанних шахтних підіймальних машин.

Мета роботи полягає у дослідженні ефективності використання відомих систем забезпечення безпечного гальмування підіймальних машин з малим коефіцієнтом масивності для різних режимів роботи підйому (спуск, підйом) і статичних навантажень.

При виконанні роботи використовувалися методи математичного і фізичного аналізу, досліджень складних електромеханічних систем, а також аналіз даних результатів промислових випробувань дослідних зразків апаратури АВЗГ виробництва НВО Червоний металіст.

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 збурення.

Робота викладена на 34 сторінках, у тому числі включає 8 рисунків, таблиць, список цитованої літератури із 30 джерел.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: оптимальне керування, обмеження динамічних координат, частотні параметри системи, полюси передавальної функції, структурна стійкість і астатизм.

ЗМІСТ

	с.
ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1 СИСТЕМИ ЗАПОБІЖНОГО ГАЛЬМУВАННЯ ШАХТНИХ ПІДЙІМАЛЬНИХ МАШИН	6
1.1 Огляд технічних рішень для запобіжного гальмування ШПУ	6
1.2 Системи АРЗГ по уповільненню	8
1.3 Сучасні системи АРЗГ по уповільненню	18
РОЗДІЛ 2 СИСТЕМА АВЗГ ДЛЯ МАШИН З МАЛИМ КОЕФІЦІЄНТОМ МАСИВНОСТІ І ЇЇ ПРИСТРІЙ	23
2.1 Відчизняні системи для підйімальних машин з малим коефіцієнтом масивності	23
2.2 Система автоматичного вибіркового гальмування з нелінійним комбінованим зворотнім зв'язком	23
РОЗДІЛ 3 ВИПРОБУВАННЯ СИСТЕМИ АВЗГ ДЛЯ МАШИН З МАЛИМ КОЕФІЦІЄНТОМ МАСИВНОСТІ В ПРОМИСЛОВИХ УМОВАХ	26
3.1 Результати осцилографувань режимів гальмування в процесі випробувань системи АВЗГ	26
ВИСНОВКИ	30
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	31

ВСТУП

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. 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 підйальної 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 пружній 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 підйомальної установки.

Особливістю сучасних підйомальних установок є постійне вдосконалення їх експлуатаційних характеристик, таких як вантажопідйомність, 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 підйомальних установок в аварійних режимах.

РОЗДІЛ 1

СИСТЕМИ ЗАПОБІЖНОГО ГАЛЬМУВАННЯ ШАХТНИХ ПІДЙІМАЛЬНИХ МАШИН

1.1 Огляд технічних рішень для запобіжного гальмування ШПУ

Системи виборчого двоступеневого запобіжного гальмування для шахтних підйімальних установок мають два ступені гальмування. Відмінність від параметричних систем полягає в тому, що заздалегідь, до настання режиму гальмування визначається, яку з ступенів потрібно включити. Найпростішим варіантом застосування цієї системи є використання її на однокінцевий ШПУ. В цьому випадку датчик вибору режиму гальмування – це реле напрямку руху. Часові діаграми зміни гальмівного зусилля і швидкості, при виборчій двоступеневою системою керування показані на рис. 1.1 і 1.2.

У випадку руху ШПУ в сторону підйому вантажу дозволяється включення тільки 1 ступені. Уповільнення здійснюється по кривій $v_{\text{под}}$. 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 $v_{\text{сп}}$.

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, тобто. гальмування вантажем. Тоді, при підйомі максимального вантажу гальмо взагалі не включається, тобто $n_{ml} = 0$ (здійснюється затримка включення гальма). Зупинка ШПУ здійснюється в режимі

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

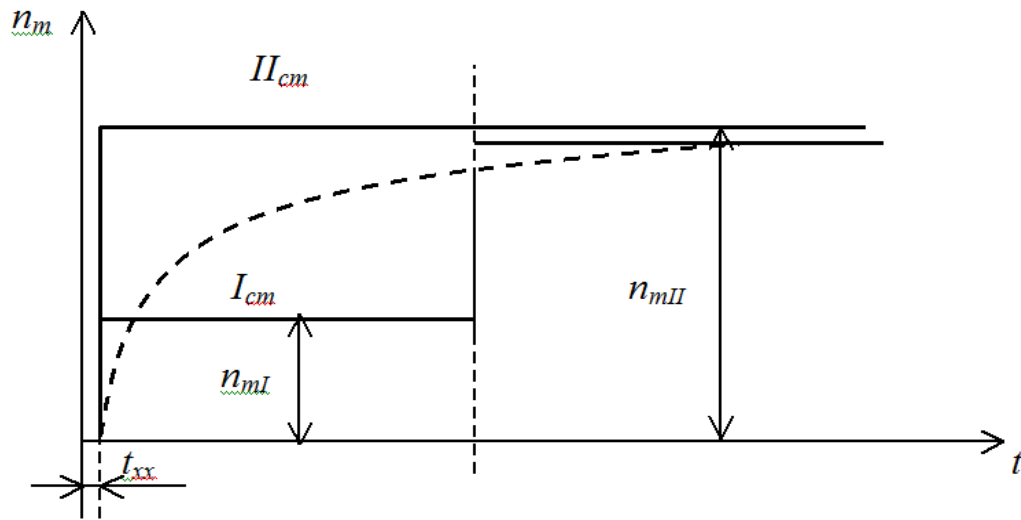


Рис. 1.1 - Часові діаграми зміни гальмівного зусилля при виборчому двоступеневому керуванні гальмом

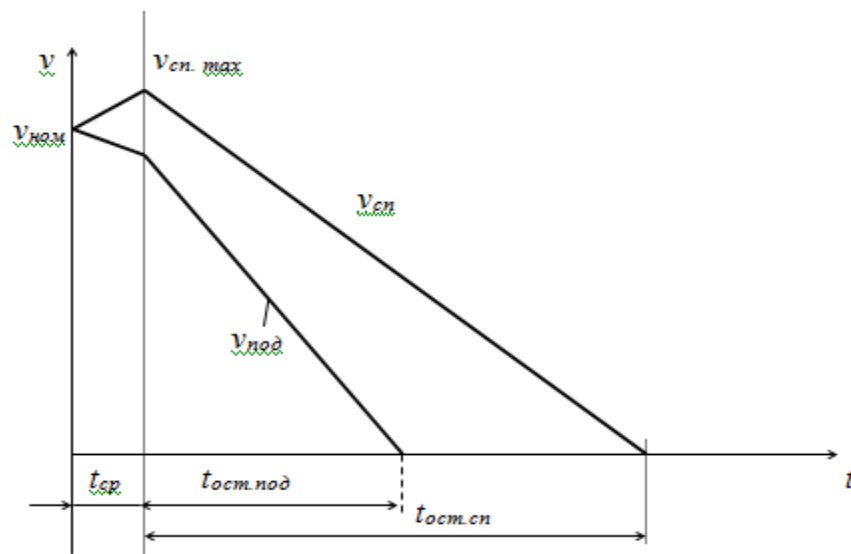


Рис. 1.2 - Часові діаграми зміни швидкості при виборчому двоступеневому керуванні гальмом

У режимі гальмування при спуску вантажу відразу вмикається максимальне гальмівне зусилля. Однак в цьому випадку потрібно прийняття додаткових заходів, що виключають можливість перепідйому при вільному вибігу і неповному завантаженні судин.

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 підйимального канату. Датчик переміщення 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 підйимальної установки в період уповільнення машини. Крім того, усуваються коливання підйимальної 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 підйимальних машинах, її принципово неможливо використовувати на машинах зі шківками тертя;

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

1.2 Системи АРЗГ 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 АРЗГ 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, тому потрібно тільки вибрати і встановити максимальне значення гальмівного моменту і задане 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.

До перших систем такого типу можна віднести регульований гальмо типу Перрі фірми "Метрополітен-Віккар". 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 АРЗГ розробки інститутами "Автоматвуглерудпром", "НІПКТуглеормаш", 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).

Підприємством "Цветметналадка" (Росія) і Свердловським гірським інститутом була розроблена система автоматичного керування запобіжним гальмуванням шахтних підймальних машин САУПТ, яка призначена для ШПУ, обладнаних електроприводом 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 замкнуту з гальмівного зусилля релейну систему одnobічної дії, що регулює гальмівне зусилля. Регулювання гальмівного зусилля здійснюється за допомогою додаткових електро-, пневмо- клапанів в функції сигналу неузгодженості 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 підйальної машини додаткові клапани забезпечують повний випуск повітря з гальмівних циліндрів і положення повного гальмівного моменту.

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

Для забезпечення надійної роботи підйальної 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 заборони подальшого пуску машини.

Живлення каналів керування САУПТ передбачено від двох незалежних блоків живлення. Блоки живлення рекомендовано 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 підймальних 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, тобто у 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 і 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.

Ряд замкнутих систем АРЗГ розроблений і поставляється замовникам закордонними фірмами.

Замкнута система АРЗГ 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.

При нормальній роботі підйальної 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 підйальної установки застосований принцип копіювання. Система АРЗГ 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 розробленої 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 АРЗГ, 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 огиначаюча швидкість-відстань - запобіжна і захисна тахограми, які виробляє запобіжний контролер (аналог випускається в Україні НВО Червоний металіст - апаратура АЗК).

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 АРЗГ показані на рис. 1.3, де зображені режими гальмування двохбарабанної підіймальної установки з рівноважуючими канатами.

Маса корисного вантажу до 20,4 т. Рівень гранично допустимого уповільнення (пряма 2) дорівнює $2,7 \text{ м/с}^2$ відповідно до вимог безпеки, що діють в Канаді.

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

При зупинці барабана система АРЗГ 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.

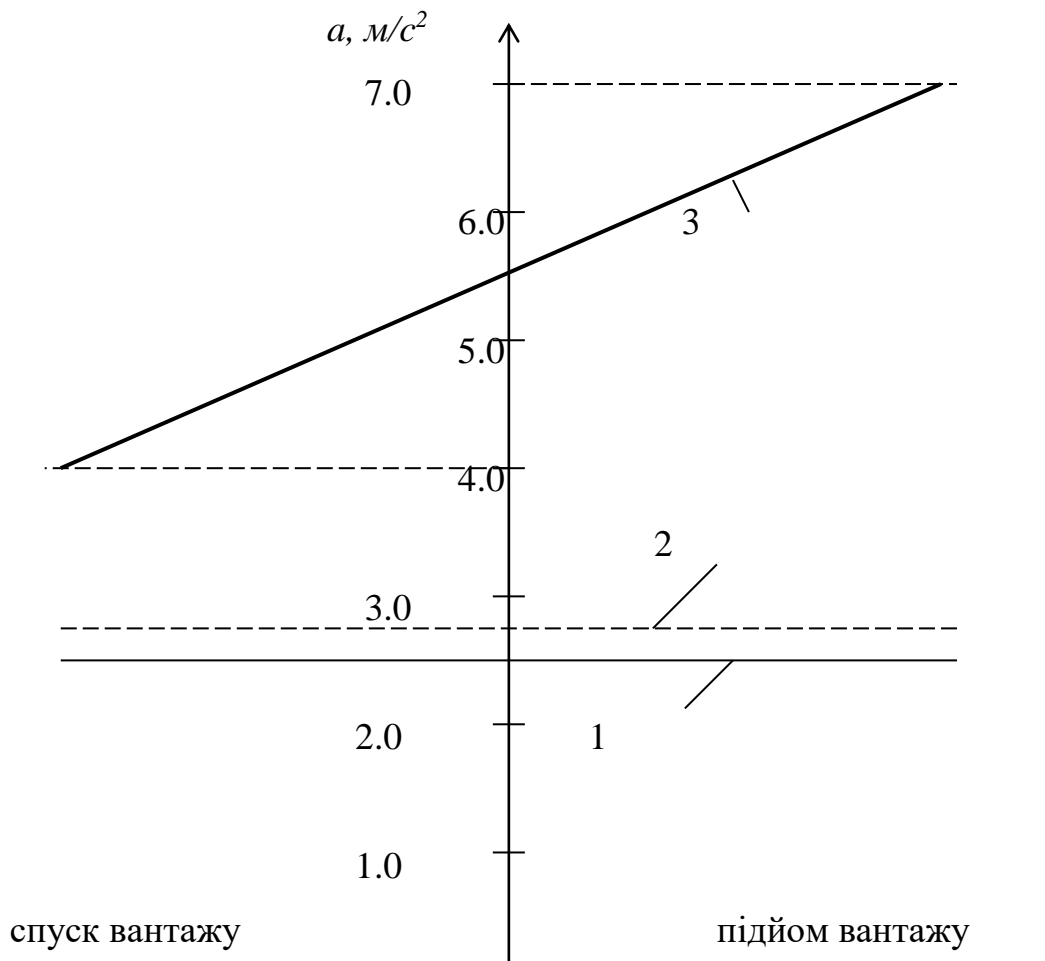


Рис. 1.3 - Діаграма вповільнень ШПМ при нерегульованій і регульовану систему запобіжного гальмування фірми CGE: 1 - фактичне уповільнення при використанні системи АРЗГ; 2 - гранично допустиме уповільнення; 3 - уповільнення при звичайній нерегульованій системі запобіжного гальмування

Система запобіжного гальмування для підйому з асинхронним приводом змінного струму розроблена фірмою LEC Electric Projects (Великобританія) [3].

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 - перепод'єм в будівлі копра, в цьому режимі від-ключається електроенергія від підйимального двигуна;
- категорія 2 - вихід з ладу будь-якого елемента електропривода, в цьому режимі також знеструмлюється двигун.

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 фактичної 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 1.4.

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.

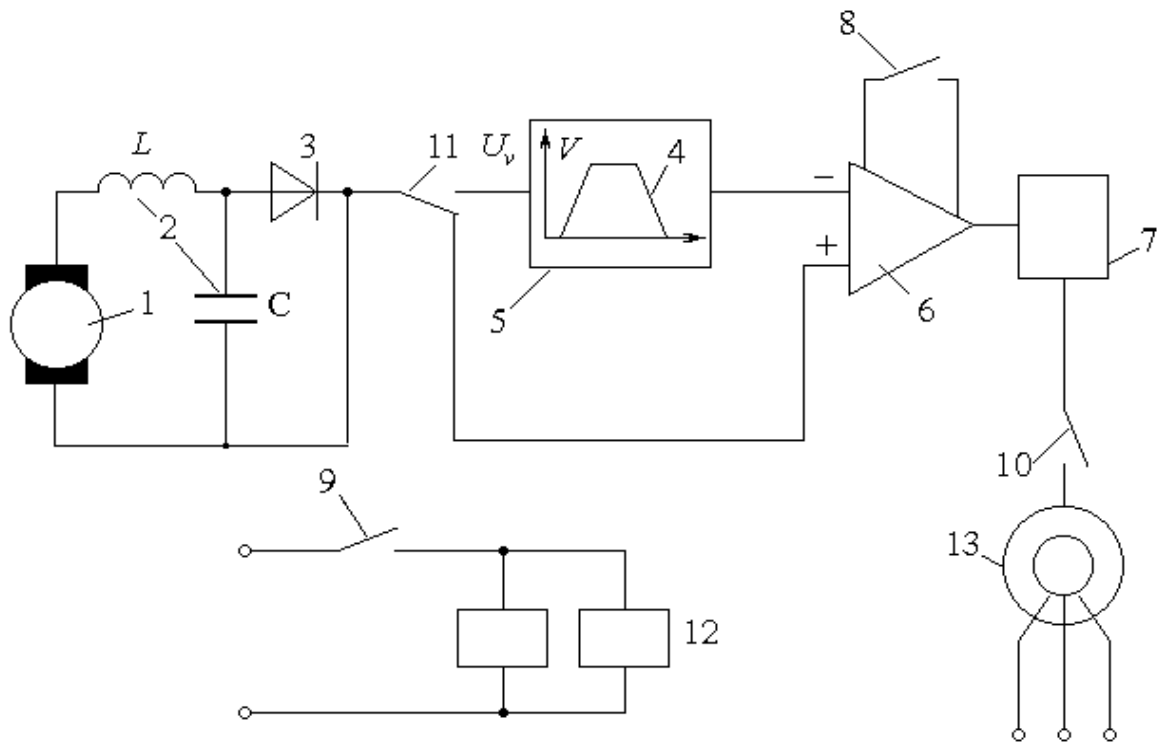


Рис. 1.4 - Схема керування запобіжним гальмуванням в системі фірми LEC EP: 1 - тахогенераторний датчик швидкості; 2 – LC – фільтр; 3 – випрямляч; 4 – задатчик тахограми запобіжного гальмування; 5 – контролер запобіжного гальмування; 6 – підсилювач; 7 – агрегат динамічного гальмування; 8 – 11-контакти вмикання запобіжного гальмування; 12 – котушка клапана запобіжного гальмування; 13 – двигун.

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, шунтируючий підсилювач 6. Вихідний сигнал задатчика 4 починає лінійно змінитися з заданим уповільненням.

Порівняння сигналу завдання і фактичної швидкості здійснюється на вході 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, пропорціональної 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 підйимальної 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.

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 підйимальних 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.

1.3 Сучасні системи АРЗГ по уповільненню

Компанія Rexnord (США) розробила і серійно випускає систему АРЗГ [3], 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 АРЗГ має жорсткий зворотний зв'язок по швидкості від барабана підйомальної машини. На підставі заданої величини запобіжного гальмування в регуляторі АРЗГ формується 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 АРЗГ 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 [3] систему АРЗГ 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.

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 АРЗГ.

При Запит на запобіжного гальмування маслonaсосів відключається, а система АРЗГ, 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 АРЗГ, а через нерегульовані дроселірованние клапани не відбувається швидкого зливу масла, накопиченого в акумуляторі. Система АРЗГ, керуючи включенням і відключенням електрогідроклапанов, прагнути підтримувати фактичне уповільнення підйимальної машини рівним заданому, виключаючи тим самим прослизання підйимальних канатів по приводним шківів тертя.

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

Фірма Dortyl Heavy Engineering (Великобританія) [3] 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) [3]. Система Escort забезпечує постійний рівень уповільнення машини в будь-якій точці стовбура при русі в будь-якому напрямку.

Компанія ABB Process Industries AB (Швеція) [12] активно працює останнім часом в цій галузі і виробляє підйимальні 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, незалежно від умов гальмування.

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 АВВ 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.

Додаткове пневматичне гальмо каната [4] призначене 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 підйомальника. Пристрій підйомальника, обладнаного гальмом каната [4], наведено на рис. 1.5.

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

В підсумку 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.

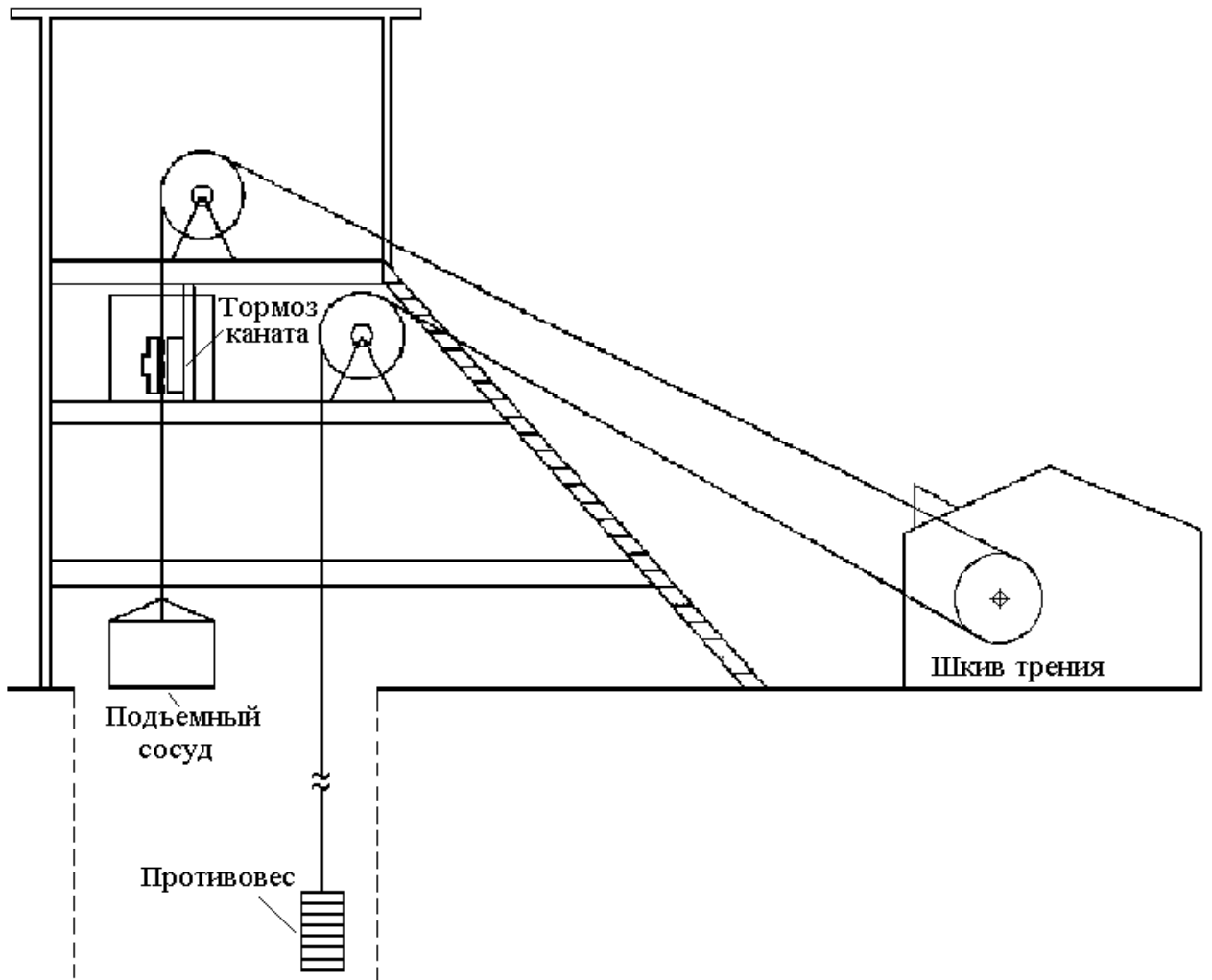


Рис. 1.5 - Пристрій підіймальної установки з гальмом каната

РОЗДІЛ 2

СИСТЕМА АВЗГ ДЛЯ МАШИН З МАЛИМ КОЕФІЦІЄНТОМ МАСИВНОСТІ І ЇЇ ПРИСТРІЙ

2.1 Відчизняні системи для підймальних машин з малим коефіцієнтом масивності

Для обладнання, однекінцевих ШПУ з діаметром барабана до 3 м, що серійно випускаються ПО Донецькгірмаш, оснащених гідропружінним гальмуванням, інститутами "НПКТІуглегормаш" і "Автоматвуглерудпром" розроблена система автоматично регульованого запобіжного гальмування виборчої 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 вантажу що підіймаються, а плавно наростаючим гальмівним зусиллям, щоб виключити набігання підйимальної судини на канат.

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

2.2 Система автоматичного вибіркового гальмування з нелінійним комбінованим зворотнім зв'язком

Для оснащення малих двохкінцевих підймальних установок, що серійно випускаються ПО Донецькгірмаш, які з точки зору динаміки їх роботи, можна розглядати, як одномасові, була розроблена апаратура АПТ спільно інститутами "Автоматвуглерудпром" 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 підіймальної машини, пристрої вибірки і зберігання (УВХ) для запам'ятовування дійсної швидкості в момент спрацьовування ланцюга захисту, формувача сигналу затримки (ФСЗ), пристрою порівняння, електронного ключа (ЭК), формувача гальмівного зусилля (ФГУ) першого ступеня гальмування, гальма (ПТ) і компаратора мінімальної швидкості. У момент спрацьовування ланцюга захисту двигун відключається, запам'ятовується величина дійсної швидкості і підіймальна 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 знаку неузгодженості швидкостей формується величина першого ступеня гальмівного зусилля. Далі відбувається уповільнення підіймальної установки під дією першого ступеня до досягнення мінімальної швидкості, при якій включається другий ступінь і накладається повне гальмівне зусилля, яке складає, за вимогами Правил безпеки, значення не менш 3 статичних навантаження.

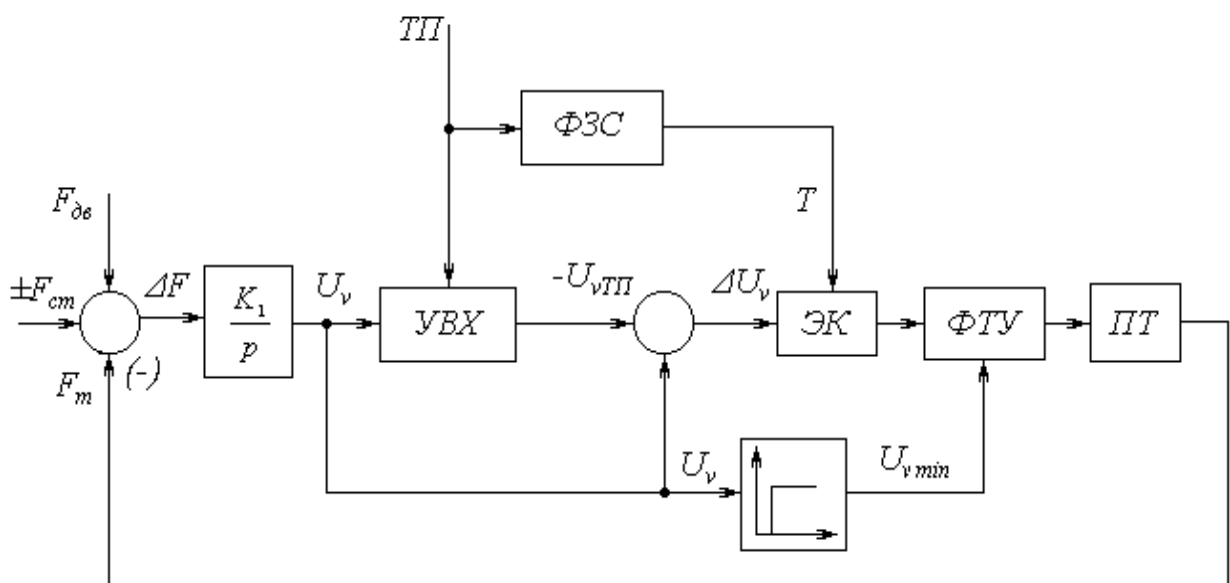


Рис. 2.1 - Функціональна схема для моделювання системи АВЗГ

Апаратура АВЗГ, була побудована за викладеним принципом, на досконалої на час розробки елементної бази на принципах аналого-цифрової схемотехніки. Це було обумовлено вимогами простоти, надійності, а також достатньо помірними вимогами до підтримання безпечного в межах безпеки уповільнення. Апаратура успішно витримала промислові випробування на допоміжній барабанної клітьової підіймальної установки шахти "Родина" ПО Первомайськвугілля і була рекомендована приймальною міжвидомчою комісією МВК до серійного випуску НВО Червоний металіст.

РОЗДІЛ 3

ВИПРОБУВАННЯ СИСТЕМИ АВЗГ ДЛЯ МАШИН З МАЛИМ КОЕФІЦІЄНТОМ МАСИВНОСТІ В ПРОМИСЛОВИХ УМОВАХ

3.1 Результати осцилографувань режимів гальмування в процесі випробувань системи АВЗГ

На підприємствах гірничої промисловості в даний час в експлуатації, особливо в підземних умовах, знаходиться велика кількість малих підймальних 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 АВЗГ.

Принцип роботи її полягає у визначенні режиму роботи підйальної 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 комбінованим нелінійним зворотним зв'язком по навантаженню і мінімальної швидкості.

Дослідний зразок апаратури АПТ був розроблений спільно фахівцями інститутів "Автоматвуглерудпром" НВО "Червоний металіст", НДПКТІ "Углегормаш" ПО "Донецькгірмаш", Донецького політехнічного інституту і успішно пройшов промислові випробування на допоміжному барабанному клітьовому підйомі шахти "Родина" ПО Первомайськвугілля.

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 і 3.2. 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 $t_{\text{хх}} = 0,18 - 0,22$ с. Час спрацювання гальма (досягнення гальмівним зусиллям значення, відповідного статичному навантаженні) $t_{\text{ср}} = 0,42 - 0,48$ с.

Проведені дослідження і випробування на різних режимах дослідного зразка апаратури АПТ підтвердили виконання системою заданих характеристик, відповідність Правилам безпеки [1] і можливість використання таких систем на малих підймальних установках. Система АВЗГ була рекомендована міжвідомчою комісією до серійного виробництва.

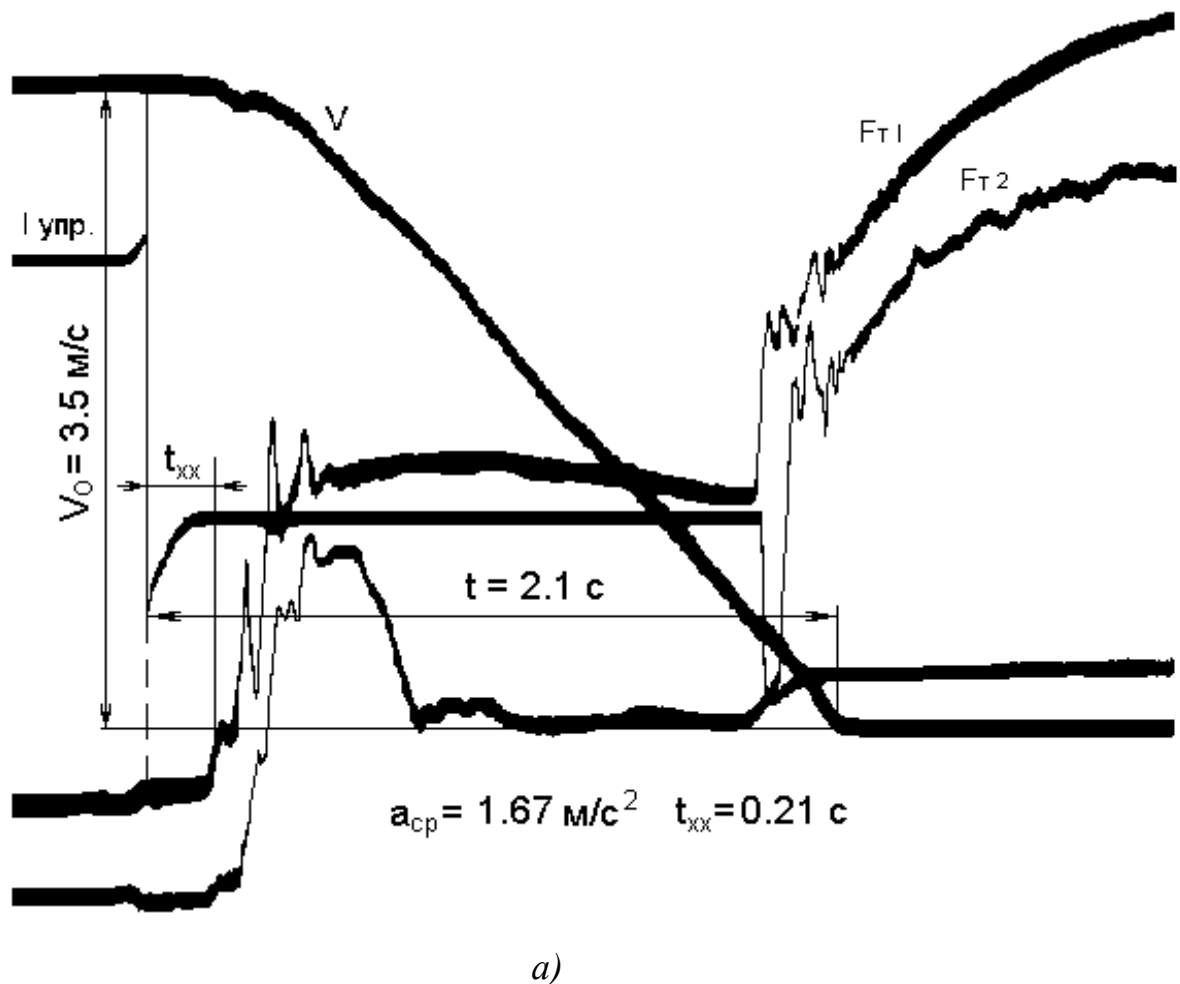
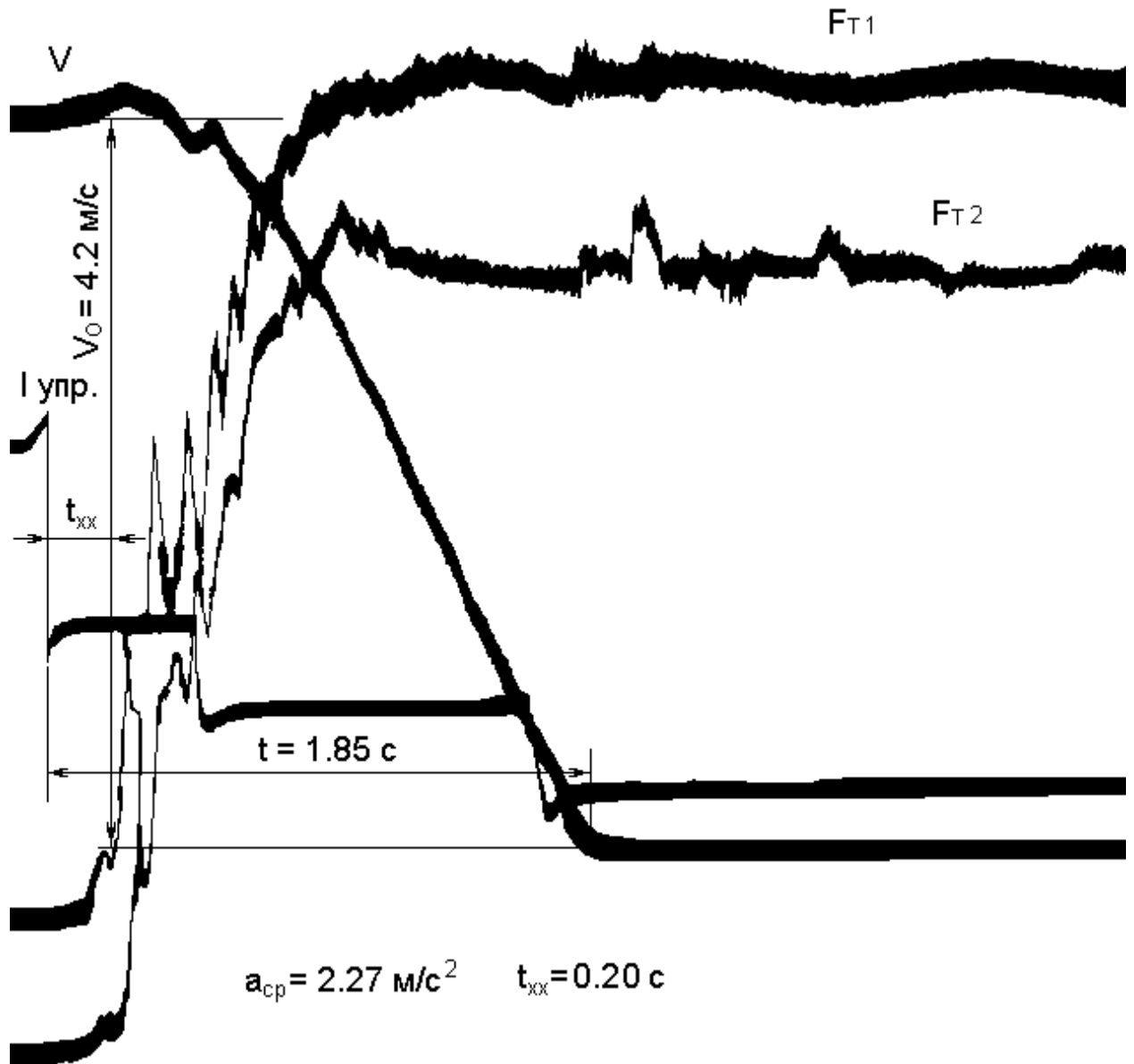


Рис. 3.1 - осцилограми запобіжного гальмування системою АВЗГ на барабанної клітьової ШПУ МПБ 3,15-1,6-1,6, в режимі підйому завантаженої кліті

Де, $I_{\text{упр}}$ – сигнал кола керування: комбінований сигнал, включає сигнали: спрацювання кола захисту і датчику мінімальної швидкості; V – сигнал швидкості; $F_{\text{т1}}$ і $F_{\text{т2}}$ (масштабований) – сигнали обох каналів гальмівного зусилля



б)

Рис. 3.2, б – Осцилограми запобіжного гальмування системою АВЗГ на барабанній клітьовою ШПУ МПБ 3,15-1,6-1,6, в режимі спуску завантаженої кліті

$I_{\text{упр}}$ – сигнал кола керування. Комбінований сигнал, включає сигнали: спрацювання кола захисту і датчику мінімальної швидкості; V – сигнал швидкості; $F_{\text{т1}}$ і $F_{\text{т2}}$ (масштабований) – сигнали обох каналів гальмівного зусилля

В результаті проведення промислових випробувань систем автоматично вибіркового запобіжного гальмування з нелінійним зворотним зв'язком по швидкості показали відповідність параметрів їх характеристик працездатності на нахилених, вертикальних, барабанних підймальних установках. Нелінійні властивості двоступеневих 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.

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 збурення

Питання, які поставлені і вирішені в цій роботі достньо актуальні в наш час. Зокрема, в Україні і світі продовжують займатись розробкою систем безпеки ШПУ в аварійних режимах. Зокрема, роботи в цьому напрямку ведуть підрозділ київської компанії УЛІС в Конотопі і НПФ МІДІЕЛ м. Харків. Обидві компанії розробляють зазначені вище системи в комплексі автоматизованого керування підймальної установкою з урахуванням специфіки вимог автономності, надійності і безпеки. З використанням новітніх електронних і комп'ютерних технологій, в тому числі і для систем по технології АРЗГ для підймальних машин з малим коефіцієнтом масивності. При цьому забезпечується висока надійність з використанням багатоканальності і незалежності каналів керування гальмами.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз розвитку ШПУ показує тенденцію їх розвитку в напрямку підвищення швидкості, вантажопідіймальності, зниження металоємності. Перелічені тенденції неможливо здійснити без вдосконалення систем захисту і безпеки, а також робочого і запобіжного гальмування.

2. Найбільш досконалими в даний час є замкнуті системи АРЗГ, 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).

3. Застосування систем АРЗГ 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.

4. Використання систем АРЗГ дає ще один позитивний ефект, що полягає в тому, що якщо при нерегульованому запобіжному гальмуванні уповільнення змінюється від мінімального при спуску вантажу до максимального при підйомі вантажу, то при використанні систем АРЗГ уповільнення завжди підтримується поблизу допустимого нижньої межі, що сприяє зменшенню динамічних перевантажень.

5. Двосторонні системи, у яких гальмівний момент в процесі гальмування може не тільки збільшуватися, але при необхідності, зменшується, позбавлені недоліків, властивих нелінійним системам одностороннього регулювання. Збільшення глибини підйому вимагає вдосконалення систем АРЗГ в напрямку компенсації інерційності, викликаній впливом пружної частини системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Правила безпеки у вугільних шахтах. – Інформ.-аналітичн. центр «ЛІГА», 2010. – 187 с.
2. Траубе Е. С. Тормозные устройства и безопасность шахтных подъемных машин / Е. С. Траубе, И. С. Найденко // – М. : Недра, 1980, – 256 с.
3. Алистратова И. Е. Системы автоматически регулируемого предохранительного торможения шахтных подъемных машин // И. Е. Алистратова, Н. Л. Беликов, В. И. Васильев, И. П. Ковалевский, В. Е. Католиков, С. Н. Шапочка / : Обзор ЦНИЭИуголь. – М.: 1987. – Вып. 22. – 42 с.
4. 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/>
5. 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>
6. Киричок Ю. Г. Привод шахтных подъемных установок большой мощности / Ю. Г. Киричок, В. М. Чермалых // – М. : Недра, 1972. – 336 с.
7. Чермалых В. М. Исследование сложных электромеханических систем / В. М. Чермалых // – К.: КПИ, 1979. – 63 с.
8. А. с. № 716960 СССР, МКИ В 66 В 1/24 / Способ торможения подъемных машин. / Найденко И. С. // Открытия. Изобретения. - 1980. Бюл. № 7.

9. А. с. № 763229 СССР, МКИ В 66 В 1/32 / Способ предохранительного торможения шахтного подъемника и устройство для его осуществления / А. Н. Шатило // Открытия. Изобретения. - 1980. Бюл. № .
10. Беликов Н.Л. Динамические явления при регулируемом предохранительном торможении / Н.Л. Беликов, В.И. Васильев, С.Н. Шапочка, И.Е. Траубе // Уголь Украины – 1983. – № 1. – С. 26 – 27.
11. Давыдов В.Л. Динамика горных машин / В.Л. Давыдов, Б.А. Скородумов / В.Л. Давыдов, Б.А. Скородумов //– М. : Госгортехиздат, 1961. – 335 с.
12. Ажогин В.В., Згуровский М.З. Моделирование на цифровых, аналоговых и гибридных ЭВМ / В. В. Ажогин, М. З. Згуровский // – К. : Вища школа., 1982. – 280 с.
13. Чермалых В.М. Многоканальные системы оптимального управления электроприводом промышленных установок / В.М. Чермалых // – Изв. Вузов “Горный журнал”, 1982, №7. – С. 123-129.
14. А. с. № 1447743 СССР, МКИ В 66 В 5/00 / Устройство для управления приводом шахтной подъемной машины / Васильев В. И., Дубовик В. Г., Чермалых В. М. // Открытия. Изобретения. - 1988. Бюл. № 48.
15. Подлесный Н. И., Рубанов В. Г. Элементы систем автоматического управления и контроля / Н. И. Подлесный, В. Г. Рубанов //– К.: Вища школа., 1982. – 472 с.
16. А. с. № 1715705 СССР, МКИ В 66 В 1/32 / Способ дискретного управления тормозом шахтной подъемной машины / Васильев В.И., Чермалых В.М., Матвиенко Н.П. // Открытия. Изобретения. - 1992. Бюл. № 8.
17. Чермалых В.М. Динамика многоканатных подъемных установок в период предохранительного торможения / В.М. Чермалых, Е.А. Ильин // – Изв. Вузов. “Горный журнал”, 1966, № 5.
18. Васильев В.И. Формирование рациональных воздействий для управления предохранительным торможением шахтных подъемных

установок / В.И. Васильев // Гірнича електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – 2002. – Вип. 68. – С. 96-100.

19. Васильев В.И. Устройство автоматически регулируемого предохранительного торможения АРПТ / В. И. Васильев // Труды I-й конференции молодых ученых и специалистов института “Гипроуглеавтоматизация” с участием других организаций ВПО “Союзуглеавтоматика” “Научно-техническое творчество молодежи – прогрессу в автоматизации угольной промышленности” – М : 05.02.81. №2189/1 – Деп. в ЦНИЭИуголь – Ук // Общеотраслевые вопросы, №1, 1982.

20. Васильев В.И. Применение нелинейных фильтров в системе управления предохранительным торможением подъемных установок / В. И. Васильев, Л. А. Козьякова, Е.И. Алтухов // Вестн. Киев. политехн. ин-та. Горная электромеханика и автоматика. - К.: 1984. – Вып. 15. – С. 13 – 15.

21. А.с. № 1296500 (СССР) Устройство для управления приводом шахтной подъемной машины / Чермалых В.М., Васильев В.И., Матвиенко Н.П. // Открытия. Изобретения. - 1987. Бюл. № 10.

22. Васильев В.И. Регуляторы давления для систем регулируемого предохранительного торможения / В.И. Васильев, Н.П. Матвиенко // Механизация и автоматизация производства., 1990, № 11.– С. 25-27.

23. А.с. № 1680614 СССР, МКИ В66В 1/32 5/00 / Устройство для управления приводом тормоза шахтной подъемной машины / Чермалых В. М., Васильев В.И., Матвиенко Н.П. // Открытия. Изобретения. - 1991. Бюл. № 36.

24. Литягин В.Ф. Построение системы управления предохранительным торможением ШПМ с многоступенчатым дисковым тормозом / В.Ф. Литягин, В.И. Васильев // Уголь Украины – 1989. – № 7. – С. 23 – 24.

25. Васильев В.И. Компьютерное моделирование предохранительного торможения шахтной подъемной установки / В. И. Васильев // АСУ и приборы автоматики: Всеукр. межвед. н.-техн. сб. – 2002. – Вып. 121. – С. 48-51.

26. Васильев В.И. Выбор рациональных законов управления методом цифрового моделирования / В.И. Васильев // Сб. научных трудов по материалам 8-й Международной научной конференции “Теория и техника передачи, приема и обработки информации” “ИИСТ-2002” – 17-19 сентября 2002 г.:– Харьков: ХНУРЭ, 2002. – С. 429-431.
27. Сиденко А.Ф. Аппаратура управления тормозными приводами шахтных подъемных машин / А.Ф. Сиденко, А.П. Солоха, Б.С. Роженцов //– М. : Недра, 1974. – 226 с.
28. Беликов Н.Л. Устройство для предотвращения набегания подъемного сосуда на канат / Н. Л. Беликов, В. Н. Литвинов, Л. Г. Маломуд // – Уголь Украины, 1983, № 5. – С. 26-27.
29. Васильев В.И. Пути снижения динамических нагрузок в канатах шахтных подъемных установок системами автоматически регулируемого предохранительного торможения / В. И. Васильев // Стальные канаты: Сб. науч. тр. / МАИСК. – Одесса: “Астропринт”, 2010, №8. – С. 18-29.
30. Васильев В.И. Компьютерное исследование динамики остановки ШПУ при предохранительном торможении / В. И. Васильев // Вісник Сум ДУ. Серія Технічні науки, 2011, №1 – С. 84-88.