

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 171 Електроніка

(код та назва)

освітньо-професійної програми Електронні інформаційні системи

(освітньо-професійної / освітньо-наукової)

(назва програми)

на тему: **Автоматично регульоване запобіжне гальмування підйому зі шківом тертя**

Здобувача групи ЕІ - 91к

(шифр групи)

Іващенко Ярослава

(прізвище, ім'я, по батькові)

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

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник ст. викладач, к.т.н.

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

В.І. Васильєв /

Ім'я та ПРІЗВИЩЕ

(підпис)

Консультант¹⁾

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

Ім'я та ПРІЗВИЩЕ

(підпис)

Конотоп – 2023

Примітки:

1) Зазначається за наявності

АНОТАЦІЯ

Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи є аналіз проблем пов'язаних з безпекою експлуатації електромеханічних систем вертикального шахтного підйому зі шківом тертя. Складність системи пов'язана в комплексі, з її конструкцією, природними властивостями технічних рішень, а також з керуючими і збуджуючими впливами.

Мета роботи – пошук резервів для застосування відомих або розробки нових технічних рішень, способів та методів спрямованих на мінімізацію динамічних перевантажень системи, підвищення керованості, швидкодії, точності, безпеки у робочих і аварійних режимах експлуатації.

При виконанні роботи використовувалися сучасні методи технічної кібернетики, математичного аналізу, комп'ютерного моделювання, експериментальних досліджень натурних зразків і промислових випробувань дослідних зразків систем.

У результаті проведених досліджень встановлено, що сучасний розвиток технічної кібернетики і комп'ютерних методів аналізу і синтезу систем дає проектувальникам широкі можливості оптимізації динамічних параметрів системам, практично, будь якої складності і в тому числі мимтем з розподіленими параметрами. Крім відомих класичних методів параметричної і структурної оптимізації з застосуванням корегування ПД-регуляторами для демпфірування зручними і ефективним є оптимізація керування через багатокординатний вплив на основі частотних властивостей системи.

Робота викладена на 31 сторінках, у тому числі включає 14 рисунків, 1 таблицю, список цитованої літератури із 36 джерел.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: БЕЗПЕКА, ЗАПОБІЖНЕ ГАЛЬМУВАННЯ, ДИНАМІКА, ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ, ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ, НЕЛІНІЙНІСТЬ, ІНЕРЦІЙНІСТЬ, НЕЛІНІЙНИЙ ФІЛЬТР.

ЗМІСТ

	с.
ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕРТИКАЛЬНИХ ШПУ ЗІ ШКІВОМ ТЕРТЯ	6
1.1 Технічні характеристики ШПУ ЦШ4-4	6
1.2 Дослідження характеристик гальмівного приводу на ШПУ ЦШ4-4Р зі шківом тертя	7
РОЗДІЛ 2 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ АРЗГ ШПУ	12
2.1 Моделювання системи керування АРЗГ в функції заданої швидкості ...	12
2.2 Комп'ютерне моделювання перехідних режимів запобіжного гальма ...	13
2.3 Розробка структурної схеми математичної і комп'ютерної моделі удосконаленої системи АРЗГ	14
2.4 Комп'ютерне моделювання режимів запобіжного гальмування	15
РОЗДІЛ 3 ПРОМИСЛОВІ ВИПРОБУВАННЯ АРЗГ ШПУ ЗІ ШКІВОМ ТЕРТЯ	22
3.1 Осцилографування при налагодженні системи АРЗГ на ШПУ ЦШ4-4Р з радіальним гальмом.....	24
3.2 Випробування і дослідження системи АРЗГ з багато східчастим дисковим гальмом	23
ВИСНОВКИ	26
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	29

ВСТУП

За матеріалами зарубіжних джерел глибина шахтного підйому досягла 2000 м і більше, вантажопідіймальність судин зросла до 75 т, швидкість підйому - до 20 м / с, потужність електроприводів становить 5-10 тис. КВт. Наприклад, в шахтних підіймальних установках з висотою підйому 1000 м, при стопоренні підіймальної машини механічним гальмом амплітуда коливань кінцевих вантажів досягає 1 м.

Динамічні перевантаження, що виникають в режимі запобіжного гальмування, можуть призводити до прискорення зносу обладнання, а неконтрольовані прослизання канатів по шківів тертя – до аварійних ситуацій.

Підвищення продуктивності та безпеки експлуатації складних електромеханічних комплексів вимагає постійного вдосконалення способів керування та апаратури технічних систем. Ефективним інструментом для цього є сучасні методи експериментальних досліджень, зокрема, комп'ютерне моделювання сумісно з іншими експериментальними дослідженнями, лабораторними, натурними і промисловими випробуваннями. Математичні описи динамічних режимів сучасних складних електромеханічних систем, наприклад, шахтного підйому, з урахуванням безлічі інерційних елементів різної фізичної природи являють собою рівняння високого порядку. Зокрема, динаміка пружної частини врівноваженого шахтного підйому зі шківом, з урахуванням взаємодії всіх інерційних елементів, що рухаються, може бути описана диференціальними рівняннями не нижче 8-го порядку [2,3]. Крім того в механічній системі можуть бути нелінійні елементи, в тому числі і природні, як, наприклад холостий хід механічного гальма, або гистерес статичних фазових характеристик окремих елементів системи. Для запобігання умов виникання автоколивань і поліпшення динамічних властивостей необхідні компенсаційні заходи для описаних вище інерційних і нелінійних властивостей шляхом раціонального керування. Особливо це важливе в автоматизованому режимі роботи систем. Так, одним із складних за динамікою режимів шахтної підіймальної установки (ШПУ) є запобіжне (аварійне) гальмування, функцію якого здійснює механічне гальмо.

Запобіжне гальмування в сучасних підймальних установках, особливо потужних, швидкісних, глибоких виконується в автоматичному режимі. У сучасних ШПУ в якості запобіжного гальма використовуються механічні радіальні (колодкові) та дискретні (багатоступінчасті дискові) гальма. Механічна система гальма спільно з електромеханічним перетворювачем володіє природними нелінійними властивостями, зумовленими: холостим ходом (нечутливістю), люфтами в з'єднаннях, сухим тертям та ін..

За матеріалами зарубіжних джерел глибина шахтного підйому досягла 2000 м і більше, вантажопідймальність судин зросла до 75 т, швидкість підйому - до 20 м / с, потужність електроприводів становить 5-10 тис. квт. Наприклад, в шахтних підймальних установках з висотою підйому 1000 м, в момент стопоріння механічним гальмом амплітуда коливань кінцевих вантажів досягає 1 м.

Динамічні перевантаження, що виникають в режимі запобіжного гальмування, можуть призводити до прискорення зносу обладнання, а неконтрольовані прослизання канатів по шківів тертя – до аварійних ситуацій.

В процесі роботи ряду промислових установок відбуваються складні енергетичні взаємодії пружних елементів з рухомими масами (моментами інерції), що погіршує динаміку, безпеку і ресурс працездатності. При цьому маси і пружності окремих ділянок можуть бути зосередженими (орган навивки або шківів тертя, підймальні посудини: скіпи, кліті, вагонетки, противаги) і розподіленими (конвеєрна стрічка, сталеві тягові і гумовотросові врівноважують канати, штанги бурових установок глибокого буріння та ін.)

РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕРТИКАЛЬНИХ ШПУ ЗІ ШКІВОМ ТЕРТЯ

1.1 Технічні характеристики підіймальних установок ЦШ4-4Д(Р) односкипового підйому

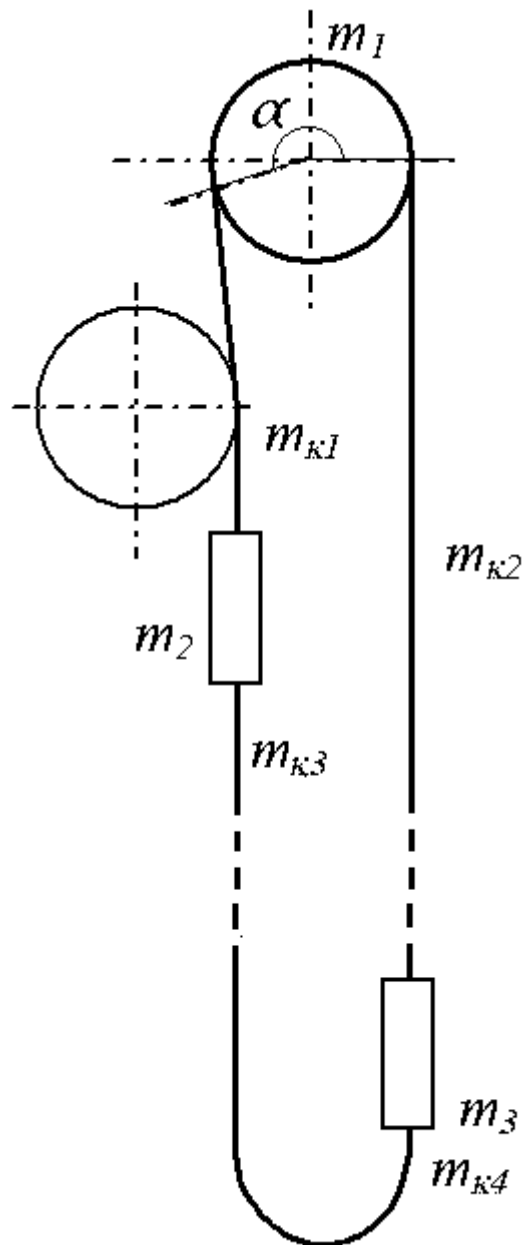


Рис. 1.1 Розрахункова схема підіймальної установки: ЦШ4-4Р (Д)

В залежності від типу гальмівної системи підіймальна установка має дві модифікації механічного гальма: Р – радіальне пружинно-пневматичне колодке,

Д – багато-модульне дискове. В роботі представлені дослідження обох типів: ЦШ4-4Д на ш/у ім. ІХ П'ятирічки ВО Радянськвігіль, п.Ханженково, Донецька обл. і ЦШ4-4Р на міднорудної ш. Северо-Пещанская, Богословского р/у, ПО Уралруда, г. Краснотурьинск

Загальну характеристику підйому ЦШ4-4 представлено в таблиці 1.1

Таблиця 1.1

1	Висота підйому з урахуван. висоти приймальн майданчика, м	1064 879
2	Вага корисного вантажу, що підіймається, кГ	15000
3	Вага скіпу, включаючи підвісні пристрої, кГ	16500
4	Вага противаги, кГ	24000
5	Максимальний статичний натяг канатів, кГ	80000
6	Коефіцієнт статичних натягів	1,17
7	Максимальна різниця статичних натягів, кГ	25000
8	Тип головного каната 42.0-Г-ІСС-ЛН 160 ГОСТ 7668-69	
	Кількість, шт	4
	Діаметр, мм.	42
	Погонна вага одного каната, кГ/м	6,75
	Розривне зусилля одного каната, кГ	109000
9	Тип хвостового (врівноважуючого) канату т 58.5-Г-ІСС-140 ГОСТ 7668-69	
10	Кількість	2
11	Переріз, см ²	13,145
12	Погонна вага одного каната, кГ/м.	13
Дані кінематики підйому		
13	Максимальна швидкість підймання, м/с	11,7
14	Діаметр шківів тертя, мм	4000
15	Діаметр шківів, що відхиляє, мм	3000
16	Відстань між осями підйомних судин, мм	2030
17	Розрахунковий коефіцієнт тертя каната про футерування	0,25
18	Кут охоплення канатів, α , град	188°
19	Маховий момент інерції підйомальної машини (без редуктора, ва, що відхиляє, та електродвигуна), тм ²	320
20	Розрахунковий коефіцієнт тертя	0,3
21	Маховий момент інерції шківів, що відхиляє, тм ²	45
22	Маховий момент інерції ротора підйомального двигуна, тм ²	35,2
23	Повний гальмівний момент, тм	75
24	Діаметр гальмівного поля, мм	4230

Розрахункові співвідношення для досліджень:

Повну вагу навантаженого скіпу приймаємо: $15+16,5 = 31,5$ т

Вагу противаги: 24 т

Погонна вага чотирьох головних канатів: $6,75 * 4 = 27$ кГ/м

Погонна вага двох врівноважуючих канатів: $13 * 2 = 26$ кГ/м

Наведена вага ведучого шківа: $320/4^2 = 20$ т

Наведена вага відхиляючого шківа: $45/3^2 = 5$ т

Наведена вага ротора підйомного двигуна: $Gd^2/D^2 = 35,2/4^2 = 2,2$ т

Наведена вага рухомих частин підйомної установки під час підймання противаги: $\Sigma G_1 = G_{ск} + G_{пв} + G_{гк} + G_{ук} + G_{ош} + G_p = 16,5 + 24 + 23,9 + 22,9 + 20 + 5 + 2,2 = 114,5$ т

При підйманні вантажу: $\Sigma G_2 = 129,5$ т.

Зосереджена маса m_1 , наведена до діаметру навивки:

$$m_1 = G_{вш} + G_{ош} + G_{пв} + m_{к2} + G_p = 20 + 5 + 24 + 0,92 + 2,2 = 52,11 \text{ т.}$$

Зосереджена маса m_2 , наведена до діаметру навивки: $m_2 = G_{ск} + m_{к1} = 17$ т.

Зосереджена маса головних та врівноважувальних канатів $m_{к1}$ і $m_{к2}$:

$$m_{к1} + m_{к2} = 23,139 + 21,19 = 44,329 \text{ т}$$

Сумарна маса всієї пружної системи: $\Sigma m_0 = m_1 + m_2 + m_{к1} + m_{к2} = 113,4$ т.

1.2 Дослідження технічних характеристик приводу запобіжного гальма підйомної установки ЦШ4×4Д(Р) з АРЗГ дисковим(радіальним) гальмом

Протягом 80-90х років серед цікавих и наукоємких тем в галузі автоматизації керування шахтними підймальними установками науково-дослідницькими інститутами “Автоматвуглерудпром” НВО ”Червоний металіст”, спільно з НДПКТІ ВО “Донецькгірмаш” проводилася розробка та впровадження в серійне виробництво ряду систем автоматично регульованого запобіжного гальмування (АРЗГ) і вибіркового (АВЗГ) ШПУ. Обидві гальмівні системи за існуючими Правилами безпеки мали клапанний привід одностороннього регулювання гальмівного зусилля у бік збільшення, тобто нелінійно. Тому системи АРЗГ технічним завданням передбачалася точність підтримки заданого уповільнення запобіжного гальмування у межах $\pm 20\%$. Основним фактором при цьому були високочастотні перешкоди від вібрації низькочастотні коливання в кпругій

частині підйому. Для забезпечення необхідної безпеки системою передбачалося двоканальне незалежне регулювання гальмування. Як електромеханічний перетворювач використовувалися по 3 електроклапани в кожному каналі з дросельованими отворами вихлопу. Причому один із клапанів використовувався для форсування часу холостого ходу (природна нелінійність на початку процесу) і в кінці для стопоріння, а два інших в замкнутій системі одностороннього автоматичного регулювання уповільнення. В процесі розробки декілька модифікацій апаратури успішно пройшли промислові випробування, за їх результатами було зроблене удосконалення системи. Зокрема, принцип одностороннього регулювання гальмівного зусилля за заданим уповільненням був з метою підвищення надійності, точності та безпеки був удосконалений технічними рішеннями регулювання уповільнення за заданою швидкістю з урахуванням впливу холостого ходу. Нелінійний регулятор дозволив забезпечити перерегулювання на заданому рівні. Було проаналізовано резерви вдосконалення системи та зроблено висновок, що у ШПУ глибокого підйому вплив низькочастотних коливань пружної частини може бути ефективно компенсований двостороннім регулюванням. Зокрема, на завершальній ділянці перед стопорінням незначне зниження гальмівного зусилля за параболічним законом дуже ефективно покращує динаміку підйомної установки. Що забезпечує додатковий ресурс обладнання. Тому було ухвалено рішення провести серію досліджень, пов'язаних із можливостями застосування близького до лінійного двостороннього регулювання гальмівного зусилля шляхом переходу від клапанних виконавчих механізмів до електромеханічних перетворювачів типу “струм – гальмівне зусилля”.

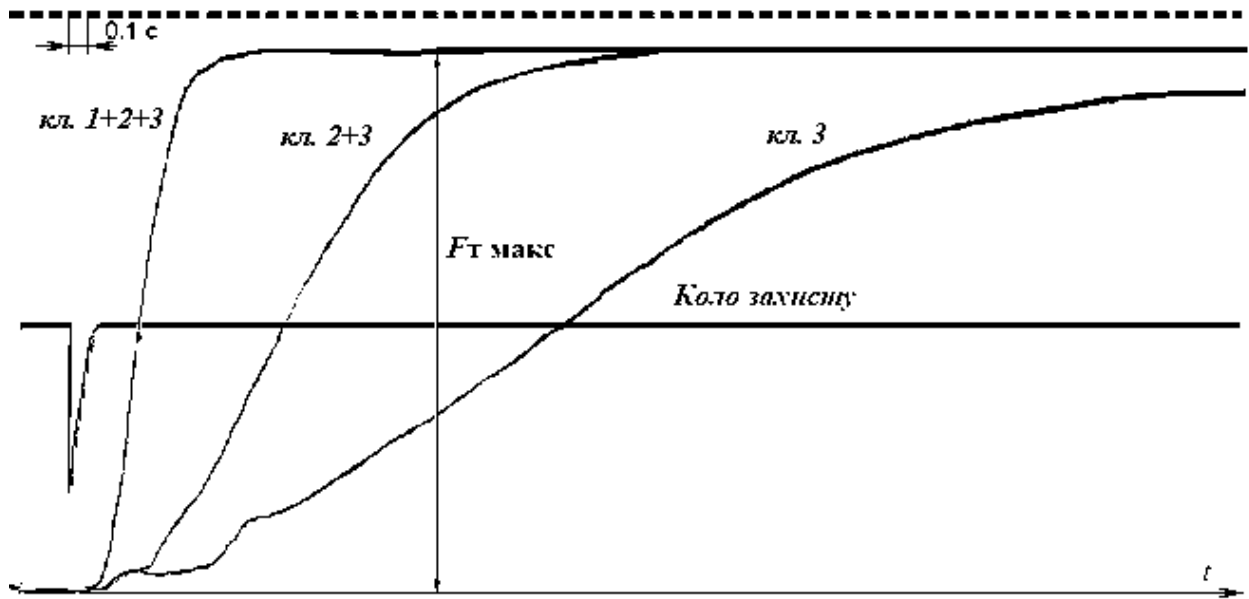


Рис. 1.2 Сімейство характеристик виходу робочого тіла з гальмівного пневмоциліндру через електромагнітні клапани приводу, установки ЦШ4-4Р, де представлені: спільна робота 1+2+3 клапанів (режим повного стопорення при нульовій швидкості); спільна робота 2+3 клапана (режим вктивного гальмування); робота тільки 3 клапана (режим регулювання при уповільненні)

В рамках по удосконаленню і розробки нових систем АРЗГ у лабораторії електричних машин та приводів автоматичного устаткування інститута "Автоматвуглерудпром" проводились дослідження динамічних характеристик електромеханічного перетворювача "струм-тиск" РДУЗ-3. Призначення перетворювача – керування приводами механічного гальма ШПУ в широкому діапазоні зусиль, при керуючому сигналі постійного струму в діапазоні значень до 100 мА. Пристрій представляє багатокаскадний перетворювач, до складу якого входить лінійний електромагнітний привід, сопло-заслінка, мембранний підсилювач та золотниковий механізм. Він був розроблений у двох модифікаціях, з падаючою та висхідною характеристикою. Перехідні і фазові характеристики пристрія зняті на відповідному лабораторному обладнанні лабораторії і наведені на рис. 1.3 і 1.4 .

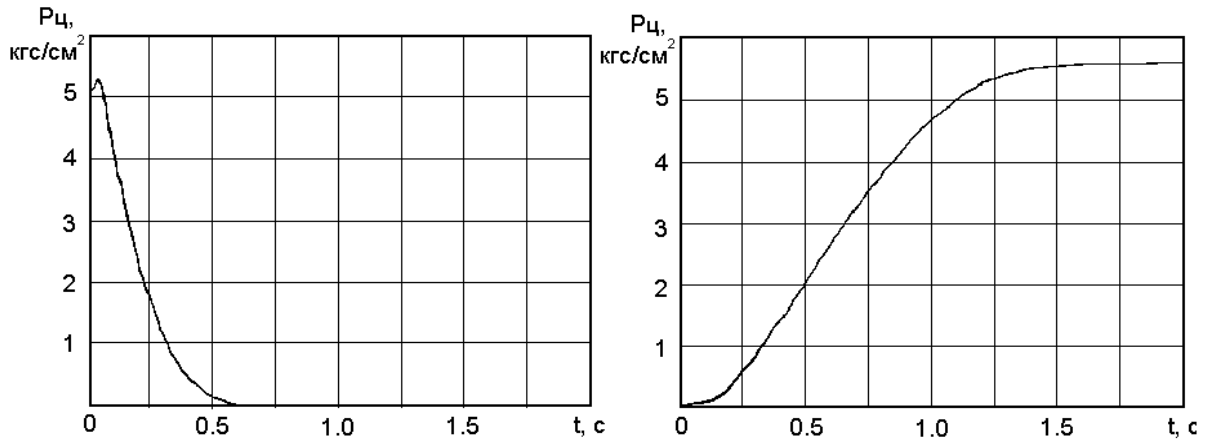


Рис. 1.3. Перехідні характеристики регулятора тиску РДУЗ-3

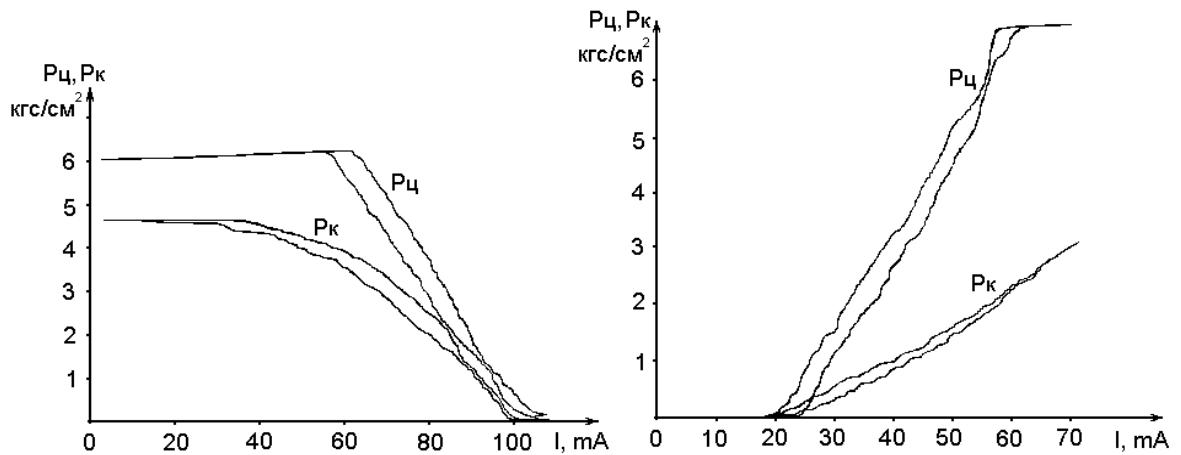


Рис. 1.4. Фазові характеристики регулятора тиску РДУЗ-3 з падаючою та висхідною характеристикою. P_k і P_c відповідно тиску в камері перетворювача і в гальмівному циліндрі.

Аналіз результатів показав напрямки досліджень, проблеми і резерви якості пристрою при використанні його в системі автоматичного керування.

РОЗДІЛ 2

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ АРЗГ ШПУ

2.1 Моделювання системи керування АРЗГ в функції заданої швидкості

Дослідний зразок системи АРЗГ був створений за вимогами технічного завдання розробленого сумісно фахівцями інститутів НДІВЕ і НППКТІгірмаш м.Донецьк. Дослідження динамічних властивостей роботи ШПУ сумісно з АРЗГ створеною і перевірено в умовах лабораторії показали недоліки пов'язані з використанням сигналу уповільнення отриманого шляхом диференціювання сигналу швидкості в якості зворотного зв'язку. Але диференціатор є фільтром високих частот і на будь який сигнал отриманий шляхом диференціювання має низьку завадозахищеність на високих частотах. Впливі вібрацій шестерень редуктору, та ін. додаються до корисного сигналу, що приводить до хибного спрацювання гальма. Також впливають на чутливий сигнал уповільнення низько частотні коливання пружної частини підйому. Тому для підвищення точності роботи системи було прийняте рішення контролювати процес не по уповільненню, а діаграмі заданої швидкості. При цьому діаграма швидкості повинна враховувати вплив холостого ходу на швидкість машини при спуску вантажу. Тому було прийнято рішення визначати діаграму швидкості за заданим уповільненням шляхом переключень двох законів швидкості, приростання на вільному вибігу V_{zn} (холостий хід і початок гальмування) і заданого уповільнення V_{zs} . Такі технічні рішення сприяють підвищенню завадозахищеності і точності. Спосіб и пристрій що реалізує його представлені на рис. 2.1.а, б., описані в [9,10,11]. Пристрій виконан на основі нелінійного фільтру.

Реалізація прийнятих технічних рішень дало ефективне зниження динамічних перевантажень в аварійних режимах і показало шлях для удосконалення системи безпеки від прослизання канатів для вертикальних підйомів зі шківом тертя на заключному етапі стопоріння.

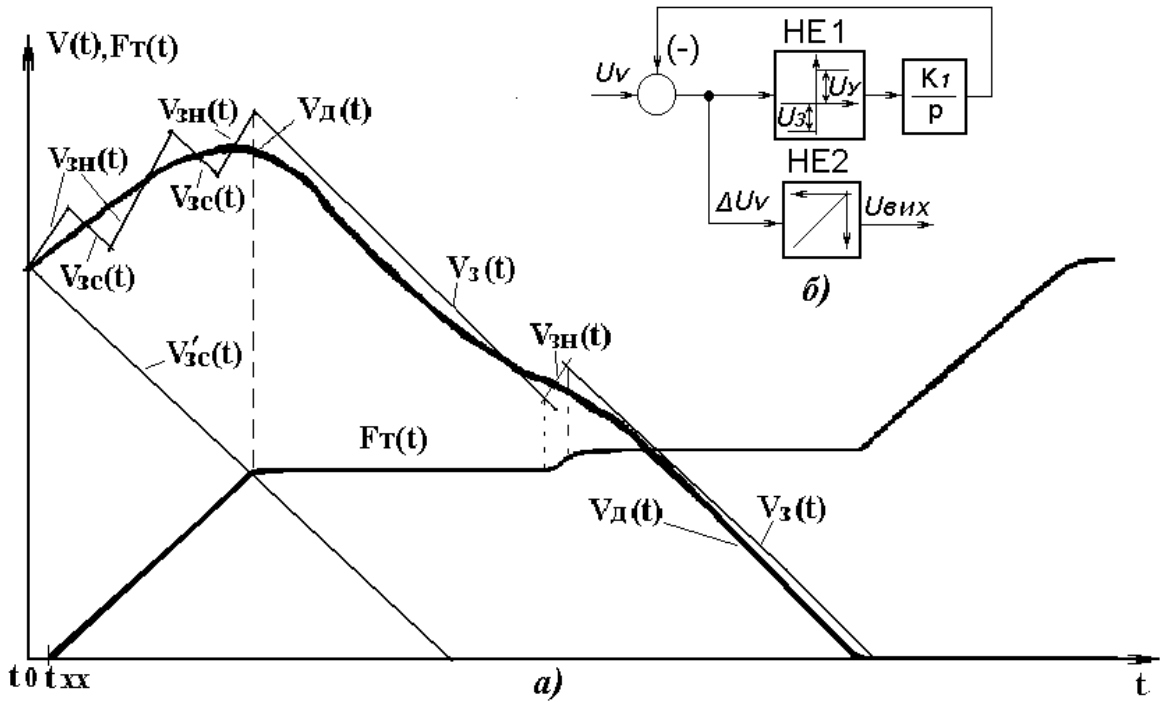


Рис 2.1. Спосіб керування в функції заданої швидкості, а) і його реалізації, б)

2.3 Розробка універсальної моделі пружної частини системи АРЗГ

Для розробки повної і адекватної комп'ютерної моделі властивостей складної системи необхідно враховувати усі фактори що впливають на динаміку процесів. За законами класичної механіки, математичному аналізу, методами структурного моделювання і граничних пружних зв'язків ШПУ може представлена як на рис. 2.2. Її розроблено за методом пружних зв'язків і структурного моделювання [2,3]

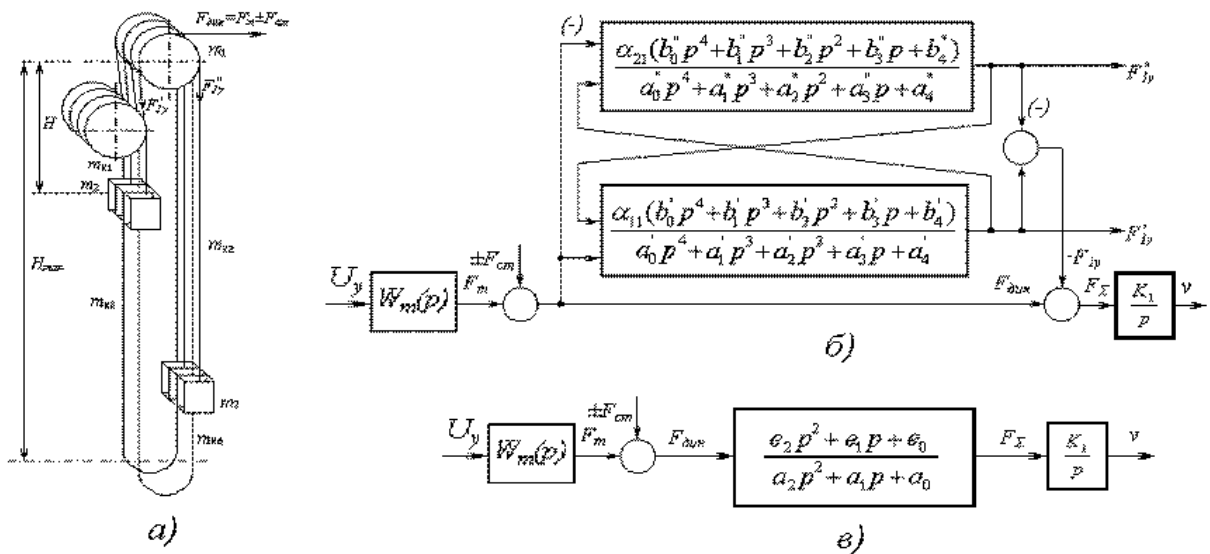


Рис. 2.2. Функціональна і структурна схема пружної частини ШПУ.

На основі отриманих результатів при комп'ютерному моделюванні і проведених експериментальних дослідженнях в умовах промислових випробувань системи АРЗГ з клапанним приводом гальма, що описано в розділі 3 розроблено структурну схему системи двобічного регулювання запобіжним гальмуванням з лінеаризованою характеристикою регулятора тиску в якості приводу.

2.3 Розробка структурної схеми математичної моделі системи АРЗГ

Отримані моделі підсистем дозволяють враховувати вплив основних збурень на підймальну машину в процесі аварійного гальмування: час природного холостого ходу гальмівного пристрою на початку процесу, вплив пружної частини підйому в процесі уповільнення, можливість зниження динамічних перевантажень в момент зупинки. На її основі розроблено повну структурну схему системи ШПУ в режимі запобіжного гальмування, яку представлено на рис.2.3.

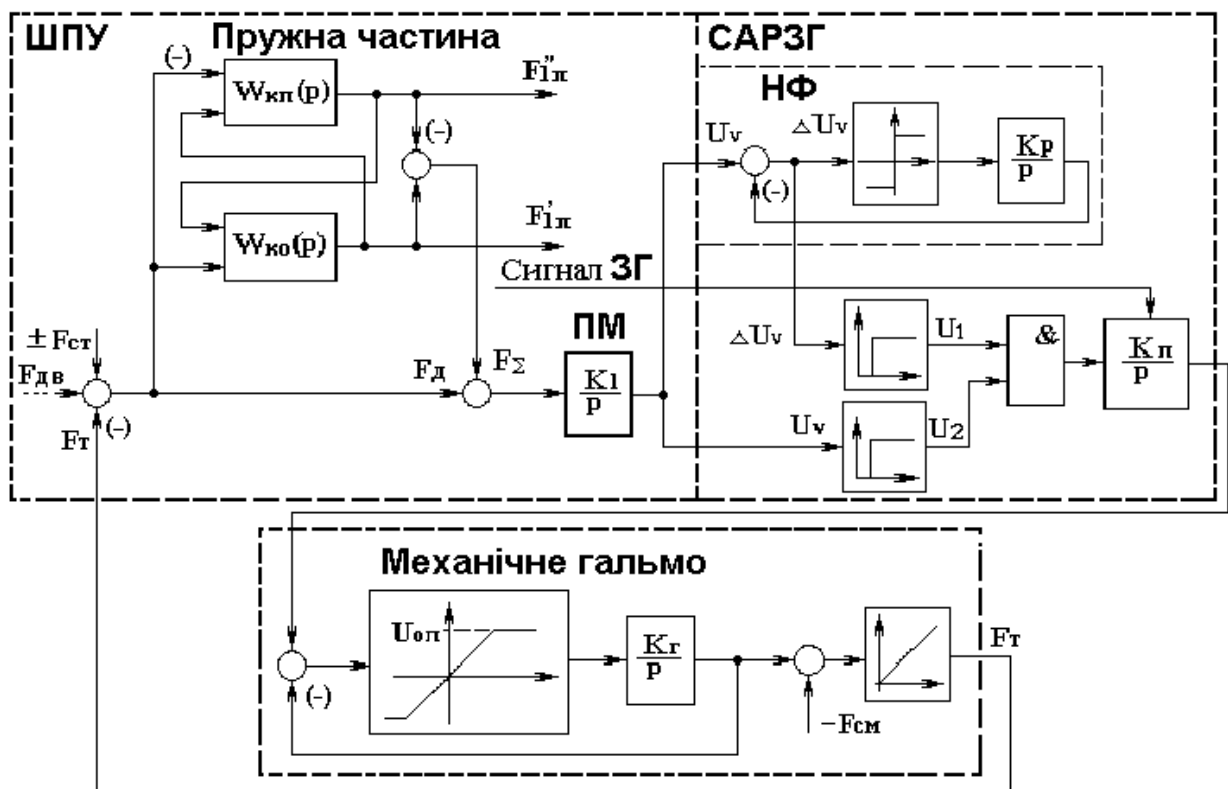


Рис. 2.3. Структурна повна схема математичного опису моделі замкнутої системи АРЗГ ШПУ

На ній відображені усі підсистеми і зв'язки. Це підймальна машина (ПМ) яка представлена інтегруючою ланкою, на вхід якого впливає результуюче зусилля:

гальмівного F_t , статичного навантаження $\pm F_{ст}$, результуючого зусилля впливу пружної частини системи F_{Σ} . Вихідним параметром системи є сигнал швидкості руху підйомної установки U_v . До структурної схеми також включені моделі підсистем: пружної частини підйомальної установки (система канатів); запобіжного гальма (нелінійна і лінійна частини) і блок автоматичного керування (апаратура АРЗГ).

2.4. Комп'ютерне моделювання режиму стопоріння ШПУ АРЗГ двосторонньої дії

Діаграми випробувань АРЗГ для врівноважених ШПУ зі шківом тертя в порівнянні з похилими підйомами показали, що динаміка цих машин менш схильна до умов виникнення динамічних перевантажень в процесі робочого руху. Це пояснюється врівноваженістю конструкції та якісним управлінням у робочих режимах, що ефективно оберігає інерційні елементи рухомої маси та пружну систему канатів до створення умов для реактивних процесів. Тим не менш, у цих підйомах є слабе місце. Це випадок, коли підйомні судини перебувають у близьких до крайніх положень. При цьому довжини гілок канатів максимальне, і за певних умов управління можуть створити умови для виникнення стрибка сил у точці сполучення каната зі шківом тертя. Це пояснюється, наприклад, у разі завантаженої судини або противаги з порожньою судиною при гальмуванні з постійним уповільненням досягає кінцевої точки шляху і підйом зупиняється. Стрибком до нуля змінюється уповільнення, починаються коливання, які при застопоренні гальмом шківа тертя та вільно підвішеному вантажі можуть викликати умови для прослизання канатів по шківу тертя.

Цей випадок можна змодельовати на комп'ютерній моделі [22] і синтезувати спосіб оптимізації, або повної компенсації динамічних перевантажень.

Кінематичні схеми об'єкта досліджень та структурна схема замкнутої системи АРЗГ з клапанним приводом запобіжного гальма наведено на рис. 2.4. Структурна схема моделі включає: підйомну машину ПМ з пружною частиною, механічне гальмо, систему АРЗГ

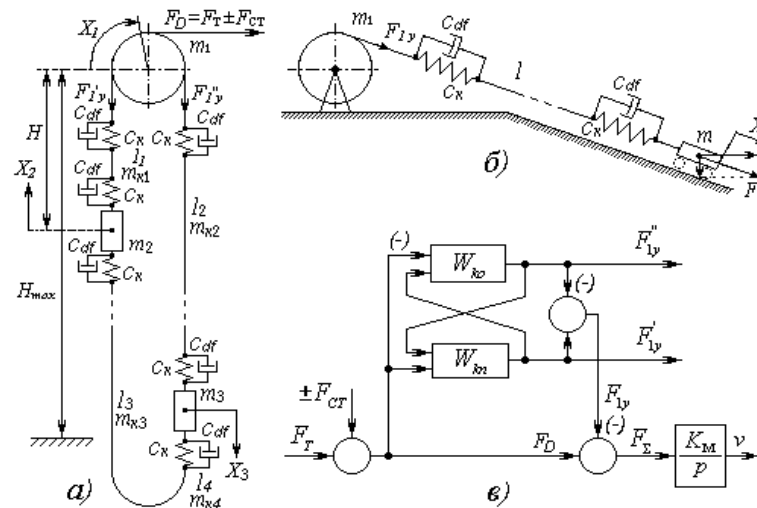


Рис. 2.4 Кинематичні і структурна схеми пружної частини підйомів: а) вертикального зі шківом тертя, б) нахилоного, в) структурна схема динамічної моделі замкнутої системи АРЗГ з клапанним приводом запобіжного гальма.

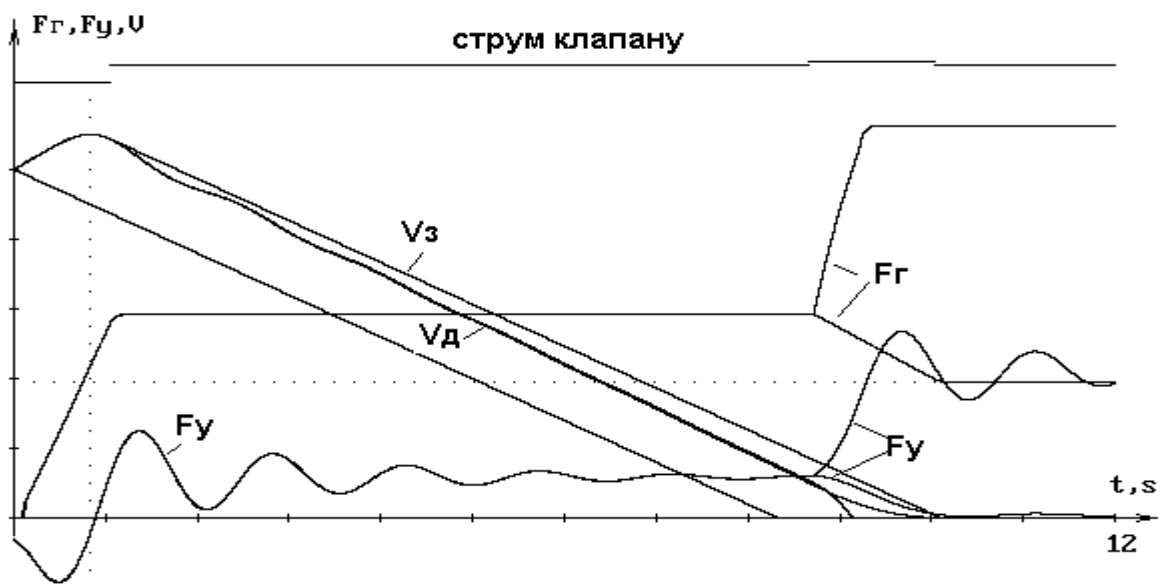
Як вихідні дані для моделювання були прийняті параметри підйомної установки однокінцевого похилого підйому 1-3-2У шахти “Бутівка-Донецька” ВО Донецьквугілля, на якому за участю автора проводилися промислові випробування системи АРЗГ та накопичено достатній експериментальний матеріал різних режимів роботи АРЗГ.

При дослідженні комп'ютерної моделі великий інтерес становлять параметри пружної частини підйому і їх вплив на безпеку та надійність запобіжного гальмування, а також шляхи та можливості покращення цих параметрів. Особливо це важливо для багатоканатних підйомних установок, зокрема, в режимі спуску при крайніх положеннях судин, коли довжина пружних гілок максимальна і за певних умов може підвищуватися ймовірність прослизання канатів по футеровці.

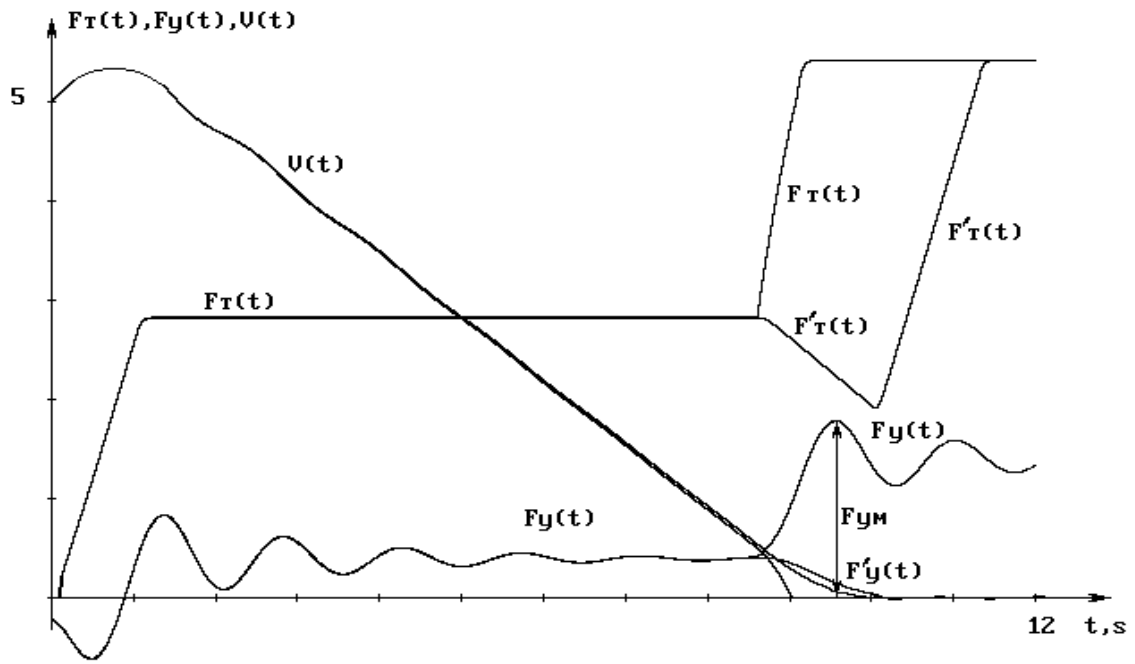
Результати моделювання процесу запобіжного гальмування в режимі спуску вантажу наведено на рис. 2.5 На наведеній діаграмі фіксувалися швидкість підйомної машини $V(t)$, гальмівне зусилля $F_T(t)$ та сумарне зусилля, що виникає в пружній частині системи $F_y(t)$, що впливає на орган навивки канатів.

Як видно з діаграми найбільші динамічні навантаження в пружній частині виникають у початковий момент гальмування при наростанні гальмівного зусилля

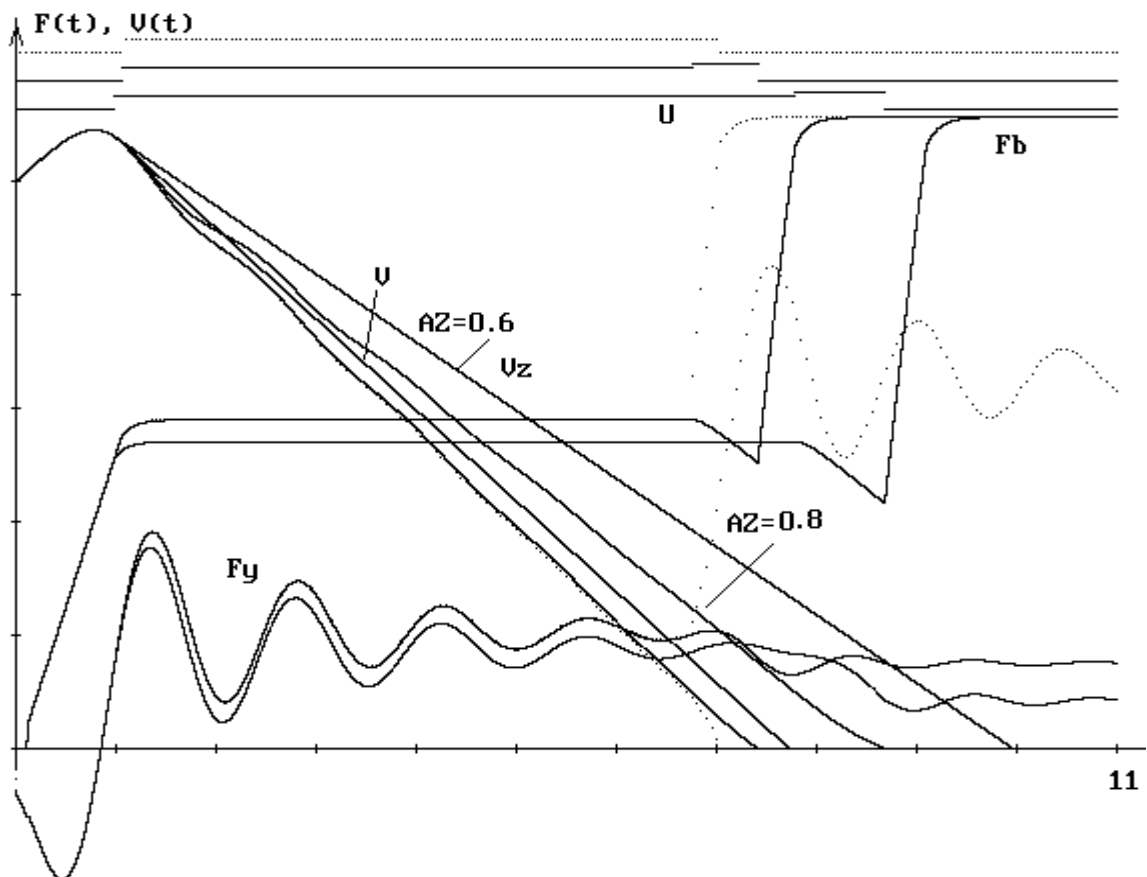
до необхідного значення i в кінці гальмування, після досягнення мінімальної швидкості зусилля в пружній частині досягають максимальної величини $F_{ум}$ при стопоренні машини. У цьому перевантаженні пояснюються як зміною гальмівного зусилля, а й законом цієї зміни. Для покращення динамічного режиму на заключному етапі діаграму швидкості раціонально здійснювати за параболічним законом [2,3,16]. Реалізувати це практично можна, якщо при досягненні мінімально безпечної швидкості (наприклад, 0.3-0.5 м/с) підйомної машини лінійно зменшити зусилля гальма протягом невеликого проміжку часу до величини не менше статичного навантаження $F_{ст}(t)$. При цьому лінійний характер діаграми швидкості зміниться на параболічний, що сприятливо позначиться на характері перехідних процесів у пружній частині підйому. При досягненні нульової швидкості гальмівне зусилля знову наростає до значення, що відповідає трьом статичним моментам. Таким чином, якщо такий режим буде регламентований Правилами безпеки, то це може суттєво покращити надійність, довговічність та безпеку підйомної установки за рахунок суттєвого зниження динамічних перевантажень у режимі запобіжного гальмування. У цьому процес гальмування дещо збільшується у часі, що суперечить сучасним вимогам. І ця особливість може бути врахована при налаштуванні системи роботи на різних ділянках підйому.



a)



б)



в)

Рис. 2.5 Часові діаграми комп'ютерної моделі екстреного гальмування системи АРЗГ в режимі спуску вантажу і для різних параметрів ШПУ і функцій розгальмування..

Прийняті позначення: $V(t)$ – дійсна швидкість; $F_y(t)$, $F'_y(t)$ – результуючі зусилля в пружній частині підйому за різних режимах гальмування на заключній ділянці; $F_T(t)$ – гальмівне зусилля з жорстким стопорінням при досягненні мінімальної швидкості; $F'_T(t)$ – гальмівне зусилля із створенням параболічної діаграми швидкості на заключній ділянці гальмування.

Результати комп'ютерного експерименту допомогли отримати раціональне рішення по запобіганню небезпечних динамічних перевантажень в кінці гальмування і визначити ресурси з метою подовження строку експлуатації обладнання і підвищення динамічних якостей системи.

Наступні два комп'ютерні експерименти дають можливість визначення і оцінки реакції системи на різні форми і параметри однобічних на рис. 2.6 і оптимальних за динамічністю двобічних (збільшення-зменшення) керуючих впливів на складну систему. Як, наприклад, на рисунку 2.7

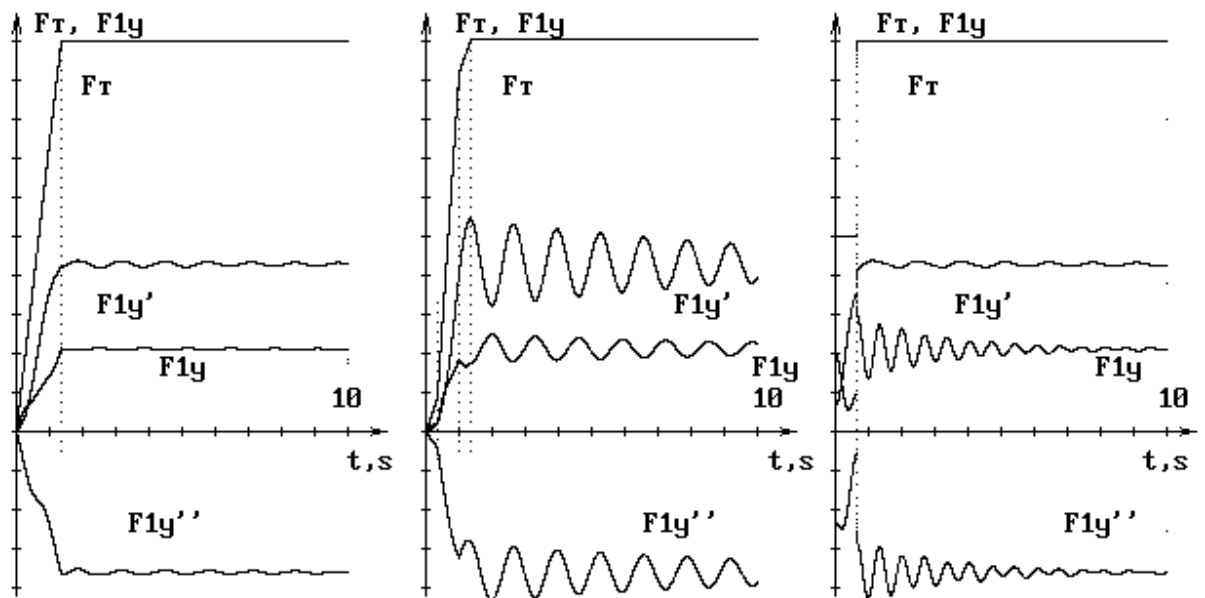


Рис. 2.6 Визначення реакції складної системи вище 2-го порядку інерційності на деякі закони впливу. а) на лінійну функцію з часом наростання кратному періоду власних коливань, б) теж саме, але з більш природним згладженим впливом, і двох східчастим з затримкою включення на півперіоду.

На рисунку 2.7 представлений результат комп'ютерного моделювання і синтезу оптимальною за динамічністю керування складною системою вище 2-го порядку інерційності. Шляхом багатокординатного впливу на систему через її

основну координату руху і дві її похідних. При умові досягнення в будь якій період процесу обмеження тельки однієї координатою. Моделювання проводилось на комп'ютерній моделі врівноваженої ШПУ зі шківом тертя

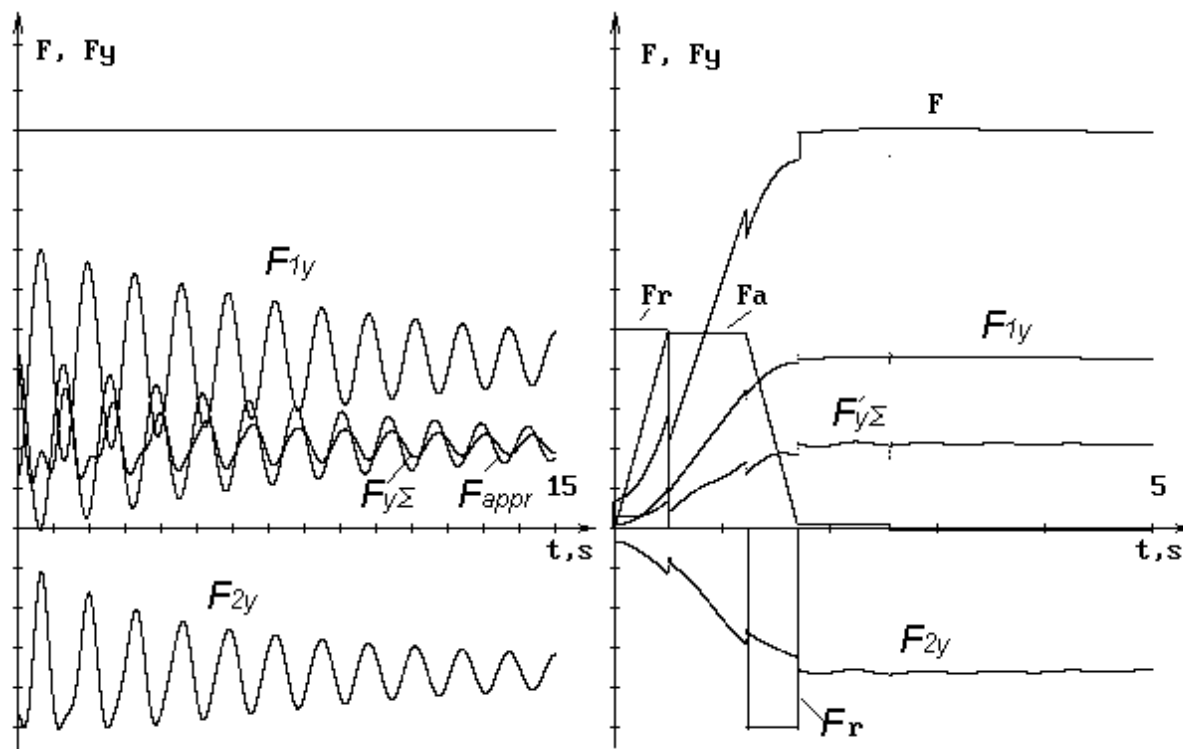


Рис. 2.7 Оптимальне за динамічністю керування складною системою

РОЗДІЛ 3

ПРОМИСЛОВІ ВИПРОБУВАННЯ АРЗГ ШПУ ЗІ ШКІВОМ ТЕРТЯ

3.1 Осцилографування при налагодженні системи АРЗГ на ШПУ ЦШ4-4Р з радіальним гальмом.

В процесі випробувань система АРЗГ за рекомендаціями МВК удосконалювалась в бік підвищення її заводо захищеності, блок обробки інформації був вдосконалений на принципах, описаних в розділі 2, основою яких стало регулювання у функції заданої швидкості [3,4,9]. Вдосконалені зразки настановної серії апаратури були виготовлені за описаним принципом. Робота одного з них була досліджена на скиповом підйомі шахти "Северопесчанская" Богословського р/у ПО Уралруда (РСФСР). Об'єктом випробувань була багатоканатні ШПУ ЦШ4-4 з пружинно-пневматичним радіальним гальмом, технічні характеристики, якої багато в чому відповідали характеристикам підйому аналогічної підйомної установки ЦШ4-4Д з багатомодульним дисковим гальмом ш/у ім. ІХ-ї п'ятирічки ПО Советскуголь. Отримані при цьому результати підтвердили технічні характеристики, задані технічним завданням, а внесені зміни поліпшили експлуатаційні характеристики системи АРЗГ.

Контрольні осцилограми автоматично регульованого запобіжного гальмування за допомогою вдосконаленої промислової системи АРЗГ, отримані під час налагоджувальних робіт на шахті "Северопесчанская" Богословського р/у ПО Уралруда, наведені на рис. 3.1

Як видно з осцилограм процес АРЗГ проходять більш плавно без повторних спрацювань клапанів. Але як зауважено вище, для врівноважених установок підйому слабким місцем є випадок находження судин в протилежних кінцях стволую Цей випадок розглянемо в кінці розділа 3. Аналогічна машина, але обладнана дисковим багатомодульним гальмом проходила випробування на Донбасі яку представлено в наступном підрозділі.

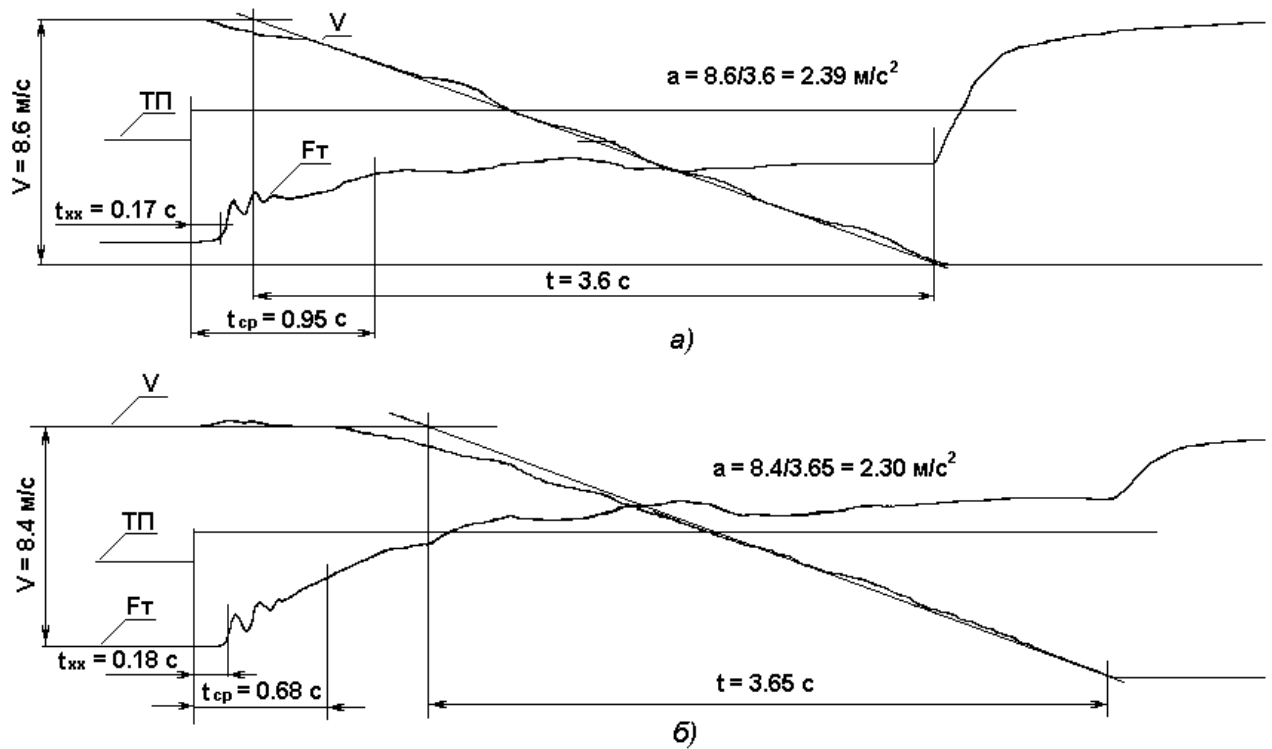


Рис. 3.1 - Осцилограми запобіжного гальмування системою АРЗГ ШПУ ЦШ4-4Р на шахті "Северопесчанская" Богословського р/у ПО Уралруда (РСФСР) при підйомі вантажу (а) і спуску противаги (б)

3.2 Випробування і дослідження системи АРЗГ з багато східчастим дисковим гальмом

Застосування дискових багатоелементних гальм на шахтних підйомних установках підвищує швидкодію гальмівної системи, безпеку експлуатації, дозволяє уніфікувати конструкцію гальмівного пристрою. На скиповом підйомі ш/у ім. ІХ-ї п'ятирічки ПО Советскуголь проводилися промислові випробування першої вітчизняної серійної ШПУ ЦШ4-4Д обладнаною дисковими гальмами [10,16]. В основу побудови системи АРЗГ був покладений той же принцип автоматично регульованого запобіжного гальмування з одностороннім регулюванням зусилля (на збільшення) до досягнення заданого уповільнення. Як сигнал зворотного зв'язку використовувався сигнал дійсного уповільнення, отриманий шляхом подвійного диференціювання сигналу датчика колійних імпульсів. Особливістю підйомної установки з дисковим багатоступеневим

гальмом, як об'єкта регулювання, було істотно високе значення мінімально регульованого гальмівного зусилля, т. К. Підйомна установка була обладнана вісьмома гальмівними модулями, що створюють в сукупності триразове статичну гальмівне зусилля $F_{ст}$. Отже, величина гальмівного зусилля створюваного одним модулем наближалася до $0,4F_{ст}$. Це зумовило роботу системи з перерегулюванням, навіть при низькій інерційності об'єкта регулювання. Тому, в цих умовах, отримання високої точності регулювання визначалося раціональним формуванням команд введення чергової групи модулів після закінчення перехідного процесу, викликаного введенням попередньої групи. Досвід, отриманий в ході попередніх досліджень, показав значення впливу високочастотних вібрацій в механічній частини системи на сигнал уповільнення. Тому для більш точного регулювання необхідно було користуватися середнім значенням вимірюваного дійсного уповільнення. Для цифрових систем таке усереднення виражається у виборі раціонального періоду квантування сигналу. В даному випадку ця раціональність полягає у виборі компромісного рішення, що враховує обов'язковість виконання вимог Правил безпеки, що стосується часу наростання гальмівного зусилля до величини, що відповідає одному статичному зусиллю і власних частотних властивостей системи підйому. Виходячи з цих умов, в процесі досліджень і розробки системи управління був прийнятий наступний алгоритм її роботи [16,34]: 1) за сигналом спрацювання ланцюга захисту відразу вводиться в роботу перша група гальмівних елементів, призначених для врівноваження статичного навантаження, при забезпеченні необхідної швидкодії; 2) після закінчення перехідного процесу, викликаного включенням елементів першої групи за величиною неузгодженості заданого і дійсного уповільнення, формується керуючий вплив на включення чергової групи елементів, кількість яких пропорційно величині неузгодженості; 3) повторюється попередній пункт і заповнює недолік гальмівного зусилля; 4) при досягненні величини швидкості, при якій можливе накладення повного гальмівного зусилля включаються залишилися елементи. Для реалізації такого алгоритму були проведені експериментальні дослідження гальмівної системи: перехідна

характеристика, швидкодія спрацювання модулів і т.п. Перехідні характеристики випробуваної ШПМ на вплив групи елементів з різними періодами квантування наведені на рис. 3.2. На рис. 3.3. представлено результат осцилографування запобіжного гальмування ШПУ в режимі спуску вантажу в середній частині стволу.

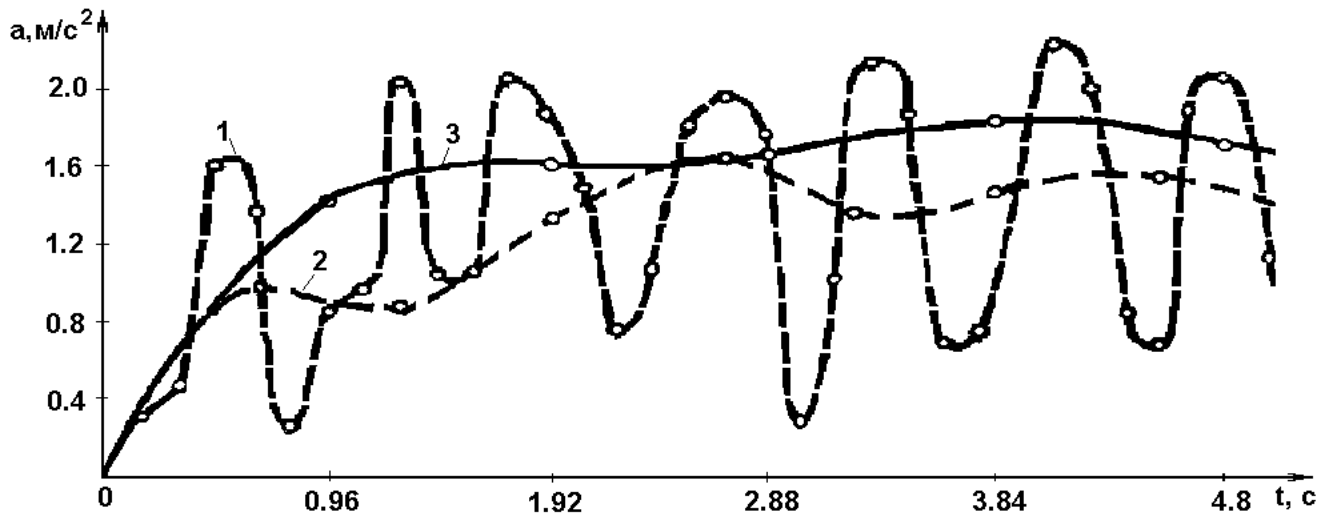


Рис. 3.2 Перехідні характеристики уповільнення $a_d = f(t)$, багатоканатної ШПУ ЦШ4-4Д скипового підйому ш/у 9-ї п'ятирічки ВО Советскуголь, при східчастому накладанні гальмівного зусилля і різних інтервалах виміру (квантуванню): а) 0,16 с; б) 0,64 с; в) 0,96 с

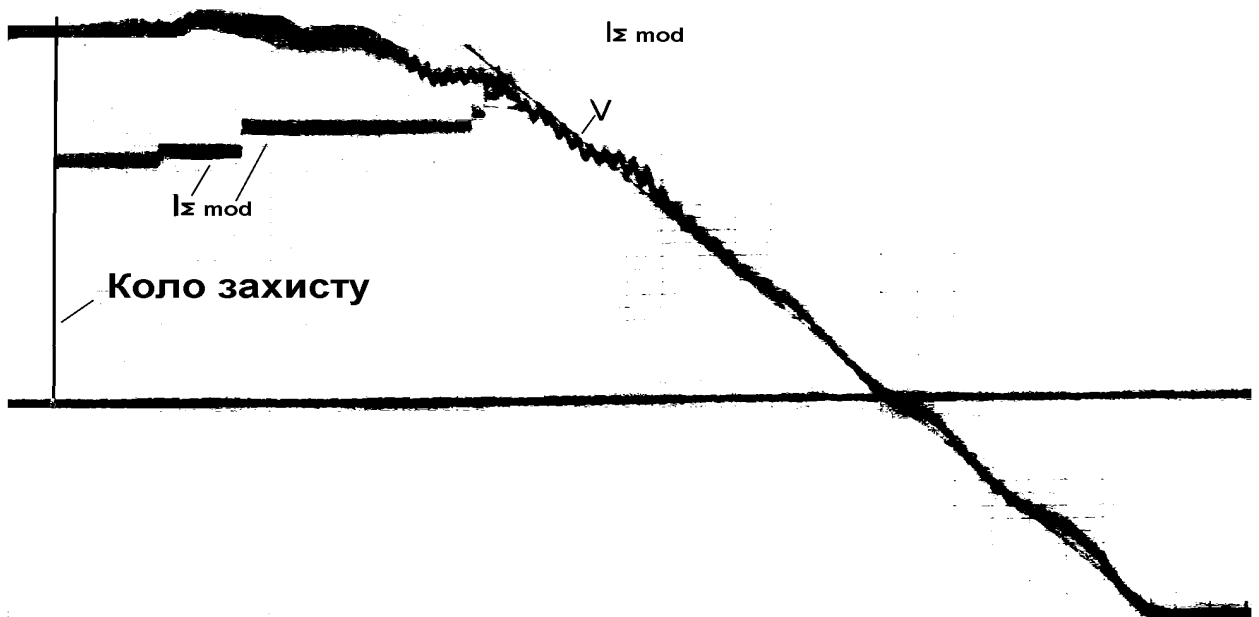


Рис. 3.3 Осцилограми випробувань запобіжного гальмування з системою АРЗГ на ШПУ ЦШ4-4Д скипового підйому, в режимі спуску вантажу

Осцилограми що зняті на промислових випробуваннях системи АРЗГ з ШПУ ЦШ4-4Д скипового підйому ш/у ІХ-ї п'ятирічки ВО Советскуголь, в режимі спуску вантажу шляхом східчастого накладання гальмівного зусилля дисковими модулями (5 з 8). Де V – осцилограма швидкості; $I_{\Sigma \text{ mod}}$ – сигнал сумарного споживання струму дисковими модулями гальма.

Результат показує що при правильно визначеному часі квантування вимірів і включень модулів врівноважена система показує достатньо задовільну динаміку гальмування. Але більш суттєвого результату східчастого гальмування можна досягти збільшенням кількості модулів з 8 до 12, або приводом двостороннього регулювання.

ВИСНОВКИ

Розглянуто методику розробки апаратури для покращення систем автоматично регульованого запобіжного гальмування. На підставі результатів експериментальних досліджень і промислових випробувань, знайдені закономірності, розроблені способи і технічні рішення для компенсації природних інерційних властивостей виконавчого механізму. Проаналізовані можливості застосування апаратури для замкнених і розімкнених систем автоматики, в також двостороннє регулювання гальмівного зусилля електромеханічним приводом,

Проаналізовані перспективи і резерви застосування багатомодульного дискового гальма. Аналіз дозволив зробити наступні висновки:

- при часу вимірювання (квантування) уповільнення менше 0,6 с різко падає точність, викликана перешкодами при диференціюванні сигналу;
- тривалість перехідного процесу для даної підйомної установки становить величину більше 2 с.

Для досягнення прийнятної точності регулювання був обраний раціональний для даних умов період квантування, що становить 0,64 с.

Подальші дослідження, проведені в ході випробувань підйомної установки, показали, що:

- необхідна точність регулювання визначається кількістю гальмівних модулів і способом їх введення;
- для зниження динамічних ударів, при ступінчастому накладення гальмівних елементів, їх необхідно вводити послідовно, з інтервалом 0,1 до 0,2 с;
- вилучення диференціуючої ланки з ланцюга зворотного зв'язку і перехід на регулювання в функції швидкості дозволяє поліпшити стійкість системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Правила безпеки у вугільних шахтах. – Інформ.-аналітичн. центр «ЛІГА», 2010. – 187 с.
2. Чермалых В. М. Исследование сложных электромеханических систем. – Киев, КПИ, 1979. – 63 с.
3. Васильев В.І. Обґрунтування раціональних динамічних параметрів запобіжного гальмування шахтних підймальних установок : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.02.09 – “Динаміка та міцність машин” / Васильев Володимир Іванович; Сумський держ. ун-т. – Суми, 2012. – 20с.: іл. – Бібліогр.: с. 17-18.
4. Протокол осциллографирования режимов предохранительного торможения подъемной машины 1×3×2У с АРПТ к "Акту приемки комплекса автоматически регулируемого предохранительного торможения шахтных подъемных машин (АРПТ)". ПО Донецкгормаш, Донецк, 13.09.1983 г.
5. А. с. № 1715705 СРСР, МКІ 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.
6. Васильев В.І. Компенсация нелинейной петлевой инерционности для систем предохранительного торможения шахтных подъемных установок / В.И. Васильев // Вісник національного технічного університету України "КПІ". Серія - Радіотехніка. Радіоапаратобудування, 2012. - вип. 48. - С. 126-133.
7. Зайцев Г.Ф. Компенсация естественных нелинейностей автоматических систем / Г. Ф. Зайцев, В. К. Стеклов //– М.: Энергоиздат., 1982. – 94 с.
8. Спосіб гальмування шахтної підймальної установки. Патент України на винахід UA114179 / В.І.Васильєв, Є.В.Васильєв // – Київ.:ДП “УІПВ” (Укрпатент), опубл. 10.05.2017, бюл. № 9.

9. 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. - № 48.
10. А.с. № 1296500 СССР, МКИ В 66 В 5/00 / Устройство для управления приводом шахтной подъемной машины / Чермалых В.М., Васильев В.И., Матвиенко Н.П. Открытия. Изобретения.- 1987. - № 10.
11. Васильев В.І. Застосування нелінійних фільтрів в системі управління запобіжним гальмуванням підйомних установок / В.І. Васильев, Л. А. Козьякова, Е. І. Алтухов // Укр. Київ. політехн. ін-ту. Гірнична електромеханіка та автоматика. - К .: 1984. - Вип. 15. - С. 13 - 15.
12. 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: <https://arlweb.msha.gov/s&hinfo/paper5.htm>
13. 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>
14. Траубе Е.С. Тормозные устройства и безопасность шахтных подъемных машин / Е. С. Траубе, И.С. Найденко // – М. : Недра, 1980, – 256 с.
15. 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.
16. 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.

17. Васильев В.И. Оптимизация управления сложной электромеханической системой с распределенными параметрами [Текст] // Адаптивні системи автоматичного керування. Міжвідомчий науково-технічний збірник – 2013. – 1(22). – С. 95-101 – Реж. дост.: <http://asac.kpi.ua/article/view/29085> .
18. Васильев, В.И. Дослідження способів оптимального керування динамічними системами. [Текст] / В.И. Васильев, Є.В. Васильев // Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи (теорія, практика, історія, освіта) РТПСАС'2014: Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції (Київ, 11–16 березня 2014 р.) – Київ: 2014. — С. 51-53. http://conf.rtf.kpi.ua/attachments/article/260/RTPSAS_2014_s2_t2.pdf
19. Васильев В.И. Оптимальное управление сложными динамическими системами / В.И. Васильев, Е.В. Васильев // East European Scientific Journal #5(45), 2019, p.32-44. Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warsaw, Poland (Східноєвропейський науковий журнал #5(45), 2019, С.32-44) — https://eesa-journal.com/wp-content/uploads/EESA_may1.pdf
20. Блэкборн Дж. Ф. Гидравлические и пневматические системы управления. / Дж. Ф. Блэкборн, Г. Ритхоф, Дж. Л. Шерер //– М.: ИИЛ, 1962. – 612 с.
21. Васильев В.И. Формирование рациональных воздействий для управления предохранительным торможением шахтных подъемных установок / В.И. Васильев // Гірничя електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – 2002. – Вип. 68. – С. 96-100.
22. Васильев В. І. Комп'ютерне дослідження динаміки зупинки ШПУ при запобіжному гальмуванні / В. І. Васильев // Вісник Сум ДУ. Серія Технічні науки, 2011, №1 - С. 84-88.
23. Солодовников В.В. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования / В.В. Солодовников, В.Н. Плотников, А.В. Яковлев // М.: Машиностроение, 1985. – с. 155.
24. Ажогин В.В. Моделирование на цифровых, аналоговых и гибридных ЭВМ / В.В. Ажогин, М.З. Згуровский // – К. : Вища школа., 1982. – 280 с.

25. <http://nuclphys.sinp.msu.ru/enc/e082.htm>
26. Абакумов В.Г. Электронные промышленные устройства. Киев, изд. "Вища школа", 1978, 376 с.
27. Васильев В.И. Оптимизация управления сложной электромеханической системой с распределенными параметрами [Текст] // Адаптивні системи автоматичного керування. Міжвідомчий науково-технічний збірник – 2013. – 1(22). – С. 95-101 – Режим доступу: <http://asac.kpi.ua/article/view/29085> .
28. Дорф Р. К., Бишоп Р. Х. Современные системы управления. М : Лаборатория базовых знан., 2004. 832 с.
29. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического регулирования. В.А. Бесекерский, Е.П. Попов // М., Наука, Гл. ред. ф.-м. литер. / 1975. –768 с.
30. Католиков В.Е. Автоматизированный электропривод подъемных установок глубоких шахт / В.Е. Католиков, А.Д. Динкель, А.М. Седуни // – М. : Недра, 1983. – 270 с.
31. Степанов А.Г. Аварийное торможение подъемных установок сверхглубоких шахт. Горное оборудование и электромеханика №7, 2014 г., с. 33-41.
32. Васильев В.И. Формирование рациональных воздействий для управления предохранительным торможением шахтных подъемных установок / В.И. Васильев // Гірничя електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – 2002. – Вип. 68. – С. 96-100.
33. Васильев В.И. Регуляторы давления для систем регулируемого предохранительного торможения / В. И. Васильев, Н. П. Матвієнко // Механізація і автоматизація виробництва., 1990, № 11.- С. 25-27.
34. Литягин В.Ф. Построение системы управления предохранительным торможением ШПМ з многоступенчатым дисковым тормозом / В. Ф. Литягин, В. І. Васильєв // Уголь Украины - 1989. - № 7. - С. 23 - 24.

35. Васильев В. И. Компьютерное моделирование запобіжного гальмування шахтної підйомної установки / В.И. Васильев // АСУ та прилади автоматики: Всеукр. Міжвід. н.-техн. зб. - 2002. - Вип. 121. - С. 48-51.
36. <https://www.controlsdrivesautomation.com/Altra-soft-braking-mine-hoists>
Soft braking makes mine hoists strong
37. Сиденко А. Ф. Аппаратура управления тормозными приводами шахтных подъемных машин / А. Ф. Сиденко, А. П. Солоха, Б. С. Роженцов // - М.: Недра, 1974. - 226 с.