

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»  
Факультет комп'ютерно–інтегрованих технологій, автоматизації,  
електроінженерії  
(повне найменування інституту, назва факультету)  
та радіоелектроніки

Кафедра Автоматики та телекомунікацій  
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ В.В. Поцєпаєв  
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 р.

## Випускна кваліфікаційна робота

магістра  
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Дослідження та розробка регулятора навантаження виконавчих органів комбайнів УКД 200-250»

Виконав : студент 2 курсу, групи

\_\_\_\_\_ СУАм-18  
(шифр групи)

напряму підготовки (спеціальності)

\_\_\_\_\_ 151  
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

\_\_\_\_\_ Коровін В.С. \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали) (підпис)

Керівник

\_\_\_\_\_ Поцєпаєв В.В. \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент

\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент

\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

*Засвідчую, що у цій випускній кваліфікаційній  
роботі немає запозичень з праць інших  
авторів без відповідних посилань.*

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Покровськ – 2018 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

Факультет Комп'ютерно–інтегрованих технологій, автоматизації,  
електроінженерії та радіоелектроніки

(назва)

Кафедра Автоматики тателекомунікацій

(назва)

Допустити до захисту:

Декан фКІТАЕР

Е.А. Петелін \_\_\_\_\_  
(підпис та дата)

Захист відбувся \_\_\_\_\_  
(дата)

з оцінкою \_\_\_\_\_

секретар ДЕК \_\_\_\_\_  
(підпис)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

на тему «Дослідження та розробка регулятора навантаження виконавчих  
органів комбайнів УКД 200-250»

Виконавець студент групи СУАм–18 \_\_\_\_\_ Коровін В.С.  
(підпис, дата) (ініціали, прізвище)

Керівник \_\_\_\_\_ Поцєпаєв В.В.  
(підпис, дата) (ініціали, прізвище)

Зав. кафедри «АТ» \_\_\_\_\_ Поцєпаєв В.В.  
(підпис, дата) (ініціали, прізвище)

Консультанти \_\_\_\_\_  
(підпис, дата) (ініціали, прізвище)

\_\_\_\_\_ (підпис, дата) (ініціали, прізвище)

Нормоконтролер \_\_\_\_\_ Жуковська Д.О.  
(підпис, дата) (ініціали, прізвище)

Покровськ– 2019 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Факультет комп'ютерно- інтегрованих технологій, автоматизації  
електроінженерії та радіоелектроніки

Кафедра автоматика та телекомунікації

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»  
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_/ \_Поцесаєв В.В./  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 року

## **З А В Д А Н Н Я** **НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Коровін Віктор Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження та розробка регулятора навантаження  
виконавчих органів комбайнів УКД 200-250

керівник роботи: Зав.каф., к.т.н., доцент кафедри АТ Поцесаєв В.В.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ року №

2. Строк подання студентом роботи \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи: Дослідження та розробка регулятора  
навантаження виконавчих органів комбайнів УКД 200-250

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1) Виконати аналіз основних характеристик САК видобувним комбайном УКД200-250.

2) Виконати аналіз структури та параметрів регулятора навантаження приводу виконавчих органів в апаратурі автоматизації комбайнів з ВСП КД-А та РЕТ.

3) Розробити математичну модель САК комбайном з ВСП та її реалізацію в середовищі моделювання.

4) Виконати дослідження, структурну та параметричну модернізацію регулятора навантаження приводу виконавчих органів комбайна УКД200-250.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

## 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи )	Примітка
1	Аналіз об'єкта керування та існуючої системи автоматизації	25.10.19	
2	Математична модель САК комбайном з ВСП	2.11.19	
3	Дослідження САК комбайном з ВСП	15.11.19	
4	Розробка заходів та розрахунки з охорони праці	20.11.19	
5	Оформлення магістерської роботи	25.11.19	
6	Підготовка до захисту магістерської роботи	10.12.19	
7	Захист магістерської роботи	20.12.19	

Студент

\_\_\_\_\_  
( підпис )

**Коровін В.С.**

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

\_\_\_\_\_  
( підпис )

**Поцєпасьєв В.В.**

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Лист зауважень

Посада П.І.Б.	Суть зауваження, оцінка та підпис

## АНОТАЦІЯ

Коровін В.С. Дослідження та розробка регулятора навантаження виконавчих органів комбайнів УКД 200-250 / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». ДВНЗ ДонНТУ, Покровськ, 2019.

Пояснювальна записка: 77 сторінок, 20 рисунків, 1 таблиця, 35 посилань на використану літературу.

Об'єкт розробки – система автоматичного керування видобувним комбайном з винесеною системою подачі.

Мета – побудова регулятора навантаження приводу виконавчих органів в системі автоматичного управління видобувним комбайном з винесеною системою подачі.

Методи й засоби розробки: Методи аналізу та синтезу теорії систем автоматичного керування; методи дослідження нелінійних систем автоматичного керування; методи математичного та імітаційного моделювання динамічних систем в середовищі Simulink; програмування в системі Matlab; методи створення мех- функцій в системі Matlab.

Результат розробки – регулятор навантаження приводу виконавчих органів в системі автоматичного керування видобувним комбайном з винесеною системою подачі.

**СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ, ВИДОБУВНИЙ КОМБАЙН,  
ВИНЕСЕНА СИСТЕМА ПОДАЧІ, РЕГУЛЯТОР НАВАНТАЖЕННЯ  
ПРИВОДУ ВИКОНАВЧИХ ОРГАНІВ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ЯКІСТЬ  
РЕГУЛЮВАННЯ**

Список публікацій здобувача:

Коровін В.С., Поцєпаєв В.В. Дослідження та розробка регулятора навантаження привода виконавчих органів комбайна УКД200-250 [Текст] / В.С. Коровін, В.В. Поцєпаєв // Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених «ТАК»: телекомунікації, автоматика, комп'ютерно-інтегровані технології, 28 листопада 2019 р.: збірник доповідей. – ДВНЗ «ДонНТУ», м. Покровськ 2019. – С. 228 – 231.

## **ABSTRACT**

Korovin V.S. Research and development of the load regulator of the executive bodies of combines UKD 200-250 / Final qualification work for the educational degree "Master" in specialty 151 "Automation and computer-integrated technology." DVNZ DonNTU, Pokrovsk, 2019.

Explanatory note: 77 pages, 20 figures, 1 table, 35 references to the used literature.

The object of development is an automatic control system for a mining combine with a remote feed system.

The goal is to build a load regulator for the drive of executive bodies in the automatic control system of a mining combine with a remote feed system.

Development methods and tools: methods of analysis and synthesis of the theory of automatic control systems; research methods of nonlinear automatic control systems; methods of mathematical and simulation modeling of dynamic systems in the Simulink environment; programming in the Matlab system; methods for creating mex- functions in the Matlab system.

The result of the development is the load regulator of the drive of the executive bodies in the automatic control system of the mining combine with a remote feed system.

**MINING COMBINE, CONTROL SYSTEM, REMOTE FEED SYSTEM,  
LOAD REGULATOR OF THE DRIVE OF THE EXECUTIVE BODY,  
MATHEMATICAL MODELS, QUALITY OF REGULATION**



Publisher publication list:

1. Korovin V.S., Potsepaiev V.V. Research and development of the load regulator of the executive bodies of combines UKD 200-250. [Text] / V.S. Korovin // Sb. reports of Allukr. science-practice conf. Young Scientists "TAC": Telecommunications, Automation, Computer-Integrated Technologies, 30 sheets. 2018. - Pokrovsk: State University "DonNTU", 2018. - P. 208 - 211.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	11
1 АНАЛІЗ ОБ’ЄКТА КЕРУВАННЯ ТА ІСНУЮЧОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ .....	14
1.1 Характеристики об’єкта керування.....	14
1.1.1 Характеристики видобувного комбайна УКД200-250.....	14
1.1.2 Характеристики електродвигуна приводу виконавчих органів....	16
1.1.3 Характеристики винесеної системи подачі.....	18
1.2 Аналіз існуючого регулятора навантаження.....	27
Висновки по розділу 1.....	29
1.3 Основні завдання дослідження.....	30
2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ САК КОМБАЙНОМ З ВСП.....	31
2.1 Еквівалентна схема та система рівнянь САК комбайном з ВСП.....	31
2.2 Математична модель формування навантажень на виконавчих органах комбайна.....	36
2.3 Реалізація математичної моделі САК комбайном з ВСП.....	39
Висновки по розділу 2.....	44
3 ДОСЛІДЖЕННЯ САК ВИДОБУВНИМ КОМБАЙНОМ УКД200-250.....	45
3.1 Вибір закону регулювання регулятора навантаження.....	45
3.2 Дослідження розробленого та промислового регулятора Навантаження.....	46
Висновки по розділу 3.....	54
4 ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ ИТУАЦІЯХ.....	55
4.1 Потенційні небезпеки і шкідливості на об’єкті дослідження.....	55
4.2 Заходи щодо поліпшення умов праці користувача ПК.....	61
4.2.1 Організація робочого місця користувача ПК.....	62
4.2.1.1 Освітлення робочого місця користувача ПК.....	62
4.2.1.2 Шум на робочому місці користувача ПК.....	63

4.2.1.3 Параметри мікроклімату робочого міста користувача ПК.....	64
4.2.2 Планування і оснащення робочого місця користувача ПК.....	66
4.2.3 Розрахунок системи загального рівномірного освітлення.....	67
4.2.4 Розрахунок рівня шуму на робочому місті користувача ПК.....	69
4.3 Забезпечення безпеки при надзвичайних ситуаціях.....	70
ВИСНОВКИ.....	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	73

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** Виїмка тонких пологих вугільних пластів потужністю 0,85...1,3 м в Україні здебільше ведеться видобувними комбайнами УКД200-250, оснащеними винесеною системою подачі. Головною перевагою цих комбайнів є те, що винесені з конструкції комбайна на штреки приводи подачі дозволяють суттєво зменшити довжину комбайна, що дуже важливо при виїмці тонких пластів з неспокійною гіпсометрією та порушеннями.

Обмеженість робочого простору в умовах тонкого пласта, а тому важкі умови праці обслуговуючого персоналу, вимагають максимальний рівень автоматизації технологічних режимів комбайна. Це насамперед стосується автоматичного режиму руйнування пласта, при якому швидкість подачі міняється автоматично в залежності від навантаження приводу виконавчих органів. В автоматичному режимі стабілізується потужність електродвигуна виконавчих органів на номінальному рівні, що забезпечує максимальну продуктивність комбайна при варіації міцності вугілля вздовж лави та в перерізі пласта.

В системі автоматичного керування комбайном (САК) функція автоматичного керування навантаженням здійснюється регулятором навантаження приводу різання, який входить до складу серійної апаратури автоматизації КД-А та більш пізнього її аналога РЕТ, в котрій регулятор навантаження залишився незмінним з початку 80-тих років. В зв'язку з викладеним, дослідження та модернізація регулятора навантаження приводу виконавчих органів є актуальним науково – технічним завданням.

**Метою роботи** є дослідження та розробка регулятора навантаження приводу виконавчих органів видобувних комбайнів з винесеною системою подачі.

**Методи дослідження.** Методи аналізу та синтезу теорії систем автоматичного керування; методи дослідження нелінійних систем автоматичного керування; методи дослідження динамічних систем в середовищі Simulink системи Matlab;

**Завдання роботи,** які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети:

Виконати аналіз структури та основних характеристик САК видобувним комбайном УКД200-250.

Виконати аналіз структури та параметрів серійного регулятора навантаження приводу виконавчих органів в апаратурі автоматизації комбайнів з ВСП КД-А та РЕТ.

Розробити математичну модель САК комбайном з ВСП та її реалізацію в середовищі моделювання.

Виконати дослідження, структурну та параметричну модернізацію регулятора навантаження приводу виконавчих органів комбайна УКД200-250.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Вперше побудована та досліджена повна математична модель САК видобувним комбайном з ВСП.

**Практичне значення отриманих результатів.** Розроблена структура та параметри регулятора навантаження привода виконавчих органів можуть бути використані при модернізації апаратури автоматизації комбайнів з винесеною системою подачі ВСПК УКД200-250, КА85, КА90, К200 та ГШ200В .

**Апробація роботи.** Основні положення магістерської роботи доповідалися та обговорювалися на Всеукраїнській науково- практичній конференції молодих вчених «ТАК»: телекомунікації, автоматика, комп'ютерно-інтегровані технології, 28 листопада 2019 року та

IV Всеукраїнській науково-технічній конференції молодих учених, аспірантів та студентів «Автоматизація, контроль та управління: пошук ідей та рішень» (АКУ-2019), 22-23 травня 2019 р., ДонНТУ, м. Покровськ.

**Публікації.** Результати досліджень, виконаних в рамках магістерської роботи, опубліковані в доповіді наукової конференції:

Коровін В.С., Поцесаєв В.В. Дослідження та розробка регулятора навантаження привода виконавчих органів комбайна УКД200-250 [Текст] / В.С. Коровін, В.В. Поцесаєв // Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених «ТАК»: телекомунікації, автоматика, комп'ютерно-інтегровані технології, 28 листопада 2019 р.: збірник доповідей. – ДВНЗ «ДонНТУ», м. Покровськ 2017. – С. 228 – 231.

**Структура та обсяг кваліфікаційної роботи .** Структура кваліфікаційної роботи магістра відповідає визначеному науковим керівником плану наукового дослідження, меті та завданням дослідження, методам досягнення мети. Робота містить анотацію, вступ, чотири розділи, основні висновки та перелік використаної літератури. Загальний обсяг роботи складає 77 сторінок машинописного тексту, 20 рисунків, 1 таблицю та 35 посилань на використану літературу.

## 1 АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ ТА ІСНУЮЧОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

### 1.1 Характеристики об'єкта керування

#### 1.1.1 Характеристики видобувного комбайна УКД200-250

Видобувний комбайн УКД200-250 з винесеною системою подачі ВСПК показано на рис. 1.1 [1].



Рисунок 1.1 – Видобувний комбайн УКД200-250 з винесеною системою подачі ВСПК

Комбайн УКД 200-250 призначений для застосування у складі механізованих комплексів типу 1МКДД, 1МДТ, МДМ, 1МКД80, 1МКД90, 2МКД90, 2МКД90Т, що можуть оснащуватися скребковими конвеєрами типу СПЦ26 (СПЦ163), СП26У (СП251). Комбайн має винесену систему подачі (ВСП), що керується апаратурою автоматизації КД-А або РЕТ [4,5] розробки НВО «Автоматгормаш» і виробляється Макіївським заводом шахтної автоматики. Ширина захвату комбайна 0,63 або 0,8 м, він може оснащуватися шнеками діаметром 800 або 900 мм з тангенціальними різцями типу РГ501 або радіальними різцями типу ЗР4.80.

Технічні та експлуатаційні переваги комбайна УКД200-250 визначаються:

- високою надійністю і підвищеним ресурсом, що забезпечуються конструкцією та параметрами комбайна, а також використанням високоміцних матеріалів;
- високою потужністю приводу виконавчих органів 220 кВт;
- забезпеченням мінімальної потужності пласта, що виймається від 0,85-0,9 м;



- зменшення матеріальних витрат на ремонти та невиробничих втрат часу на усунення відмов за рахунок підвищення надійності зубчастих передач редукторів й підшипникових вузлів.

Основними конструктивними особливостями комбайна УКД200-250 є:

- розташування корпусу комбайна в уступі вибою;
- безфланцеві з'єднання основних силових вузлів та агрегатів;
- розрахункова довговічність силових елементів редукторної групи складає не менше 15000 годин;
- наявність системи охолодження редукторів приводу різання;
- адаптована до верхняків кріпи комплексу конструкція порталу комбайна, що дозволяє краще вписуватись в гіпсометрію пласта при мінімальній потужності виїмки;
- оснащення шнеків досконалою системою пилоподавлення з захистом від фрикційного іскріння, що виключає ймовірність виникнення вибуху.

Технічні характеристики комбайна УКД200-250, що безпосередньо використовуються в роботі

Потужність пласта, що виймається, м	0,85-1,3
-------------------------------------	----------

Продуктивність, т / хв:

- при опірності вугілля різанню 120 кН /м	5,5
- при опірності вугілля різанню 240 кН /м	4,4
- при опірності вугілля різанню 360 кН /м	3,3

Потужність приводу виконавчих органів в режимі S1, кВт	220
Потужність приводів системи подачі, кВт	2x55
Номінальна напруга електромережі, В	600/1140
Максимальна робоча швидкість подачі, м / хв, не менше	5,0
Максимальне тягове зусилля системи подачі, кН, не менше	200
Маса, т,	14,4

#### 1.1.2 Характеристики електродвигуна приводу виконавчих органів

Наступним важливим пристроєм видобувного комбайна, що безпосередньо відноситься до цієї роботи, є електродвигун приводу виконавчих органів, оскільки головним регульованим параметром при автоматичному режимі роботи комбайна є струм або потужність приводу виконавчих органів. В комбайнах УКД200-250 в приводі різання застосовано вибухозахищений асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором ЕКВК4-220, що спеціально розроблений для комплектації названих комбайнів інститутом ДП «УкрНДІВЕ» [2], конструкцію якого показано на рис. 1.2.



Рисунок 1.2 – Електродвигун приводу різання ЕКВК4-220

Двигуни асинхронні ЕКВК4-220 призначені для роботи від трифазної мережі змінного струму в підземних виробках вугільних шахт, небезпечних за вмістом метану та вугільного пилу, в приводі виконавчих органів видобувних комбайнів УКД200-250.

Двигуни виконані по вибухозахисту - РВ-ЗВИа (РВExdib1 за міжнародною класифікацією).

Технічні характеристики електродвигунів:

Номінальна потужність, кВт	220
Основний режим роботи	S1
Номінальна напруга, В	1140/660
Номінальний струм, А	142/246
Частота обертання, об / хв	1470
Номінальне ковзання, %	1,5
Коефіцієнт корисної дії, %	92
Коефіцієнт потужності, відн. од.	0,85
Початковий пусковий струм, А	847/1463
Початковий пусковий крутний момент, Н · м	2844

Максимальний крутний момент, Н · м	3646
Номінальний крутний момент, Н · м	1424
Відношення початкового пускового струму до Номінальному	5,96
Відношення початкового пускового обертаючого моменту до номінального	2
Відношення максимального крутного моменту до номінального	2,56
Клас ізоляції	Н
Охолоджуюча рідина	вода
Мінімальна витрата води, м <sup>3</sup> / год.	1,2
Маса, кг	1384

### 1.1.3 Характеристики винесеної системи подачі

Винесена система подачі (ВСП або ВСПК) видобувних комбайнів УКД200-250 конструктивно виконана у вигляді двох симетричних приводів, змонтованих на рамах головок скребкового конвеєра. Кожний з приводів має можливість пересуватись вздовж рами за допомогою гідродомкратів, що дозволяє регулювати натягнення ланцюгового контуру. Вихідний вал кожного привода оснащується приводною зіркою, котра переміщує замкнений ланцюговий контур, розташований у вертикальній площині. В розрив верхньої частини ланцюгового контуру закріплено корпус комбайна.

Верхня гілка ланцюгового контуру між комбайном та приводом, в напрямку якого здійснюється рух, за усталеною термінологією є робочою.

Інші гілки ланцюгового контуру - холості, відповідно верхня холоста і нижня холоста гілка. Всі гілки тягового ланцюга рухаються в спеціальному захисному жолобі, ланки якого закріплені на рештаках скребкового конвеєра. Таким чином, ланцюговий контур є закритим, що усуває можливість травмування обслуговуючого персоналу. Але закритість цепного контуру спричиняє значні втрати потужності приводів на тертя тягового ланцюга при скривленнях конвеєрного ставу та переміщення мокрого штибу в жолобах та напрямних вздовж лави і може призвести до заштибовки ланцюга при тривалих простоях комбайна. До того ж тертя ланцюга є причиною його достатньо швидкого зносу та необхідності заміни приблизно двічі на рік.

Викладене свідчить, що зусилля, необхідне для переміщення ланцюгового контуру в ВСП, змінюється в широких межах і визначається довжиною лави, довжиною робочої гілки тягового ланцюга, ступенем скривлення машинної дороги при задвижці секцій кріпи, заштибованості ланцюга в жолобах, вологості вугілля. Це визначило технічні вимоги до гарантованих тягових зусиль, що має забезпечувати ВСП [3]. Зовнішній вигляд винесеного привода подачі з електромагнітним гальмом ковзання (ЕГК) в якості варіатора швидкості подачі у складі винесеної системи подачі ВСПК2, яка виробляється харківським заводом «Світло шахтаря», наведено на рис. 1.3.

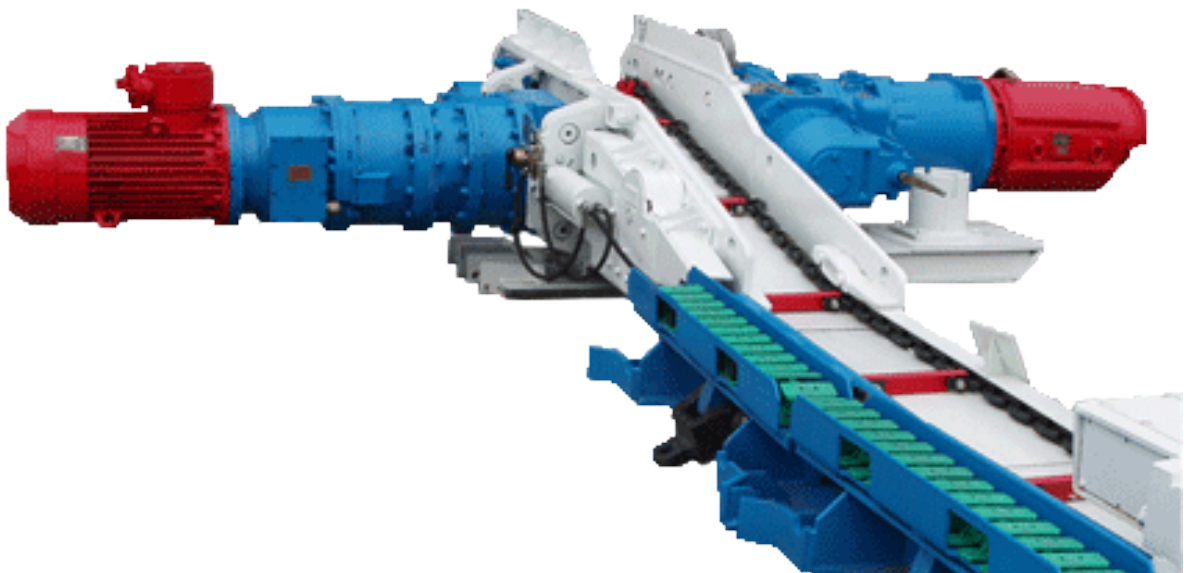


Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд винесеного приводу подачі з ЕГК у складі ВСПК2

### Привід винесеної системи подачі комбайна ВСПК

Привід винесеної системи подачі комбайна призначений для переміщення комбайнів К103М, 1К101УД, КА80, КА90, К200, УКД200, УКД200- 250 та ін., що застосовуються в забоях на тонких пологих пластах потужністю від 0,8 м і вище та відпрацьовуються по простяганню з кутами залягання до 35°, а також відпрацьовуються по повстанню або падінню з кутами залягання пласта до 10°.

Привід ВСПК може застосовуватися спільно з забійними конвеєрами типу СП250, СП251, СП301М, СПЦ163М, СП326 та їх аналогами.

Відмінними характеристиками приводу ВСПК2 є:

- диференційний планетарний механізм редуктора, що керується електромагнітним гальмом замість муфти ковзання;
- регулювання швидкості подачі комбайна від 0 до 6 або від 0 до 10 м / хв натомість від 0 до 5 м/хв;
- корпус електромагнітного гальма має систему водяного охолодження для більш ефективного відводу тепла, що виділяється при роботі

електромагнітного гальма, що дозволяє передавати більший крутний момент на приводну зірку;

- гарантоване підвищення тягового зусилля приводу до 30 т ;

- збільшено переміщення приводу уздовж рами головки конвеєра під дією гідродомкрата до 350 мм.

- Примітка: привід ВСПК, що має тягове зусилля не менше 30 т в порівнянні з зусиллям 20 т, що випускалися серійно в ВСП, дозволить забезпечити роботу в лавах довжиною до 300 м при максимальному використанні можливостей комбайнів. Це в свою чергу дозволить збільшити навантаження на забій до 3000 т на добу і більше, замість наявного нині навантаження до 1500 т на добу.

Технічні характеристики	
Найменування параметрів	Значення параметрів
Діапазон швидкостей подачі, м / хв	Від 0 до 6; від 0 до 10
Тягове зусилля подачі ВСПК, кН, не менше	300
Тяговий орган	Ланцюг з круглими ланками високоміцний для гірничого устаткування калібру 26х92 мм або 30х108 мм
Апаратура керування	типа КД-А*

регулюючий пристрій	Диференціальний механізм з ел. маг. гальмом ковзання (ЕГК)
Охолодження ЕГК	Водяне
Електродвигун приводу подачі:	
потужність, кВт	75; 90**
напруга, В	660/1140
число обертів, об/хв.	1475
охолодження	Повітряне
Основні розміри блоку приводу, мм:	
довжина	2500
ширина	770
висота	595

\* В апаратурі КД-А РНС (регулятор навантаження і швидкості) замінюється на РЕТ (регулятор управління електромагнітним гальмом).

\*\* У виконанні ВСПК при діапазоні швидкостей від 0 до 10, тяговому зусиллі не менше 400 кН і ланцюзі тягового органу 30x108 мм.

Винесений привід подачі для регулювання швидкості може бути обладнаний електромагнітною муфтою ковзання (ЕМК) або



електромагнітним гальмом ковзання. Принципово це один і той же устрій. ЕМК з загальмованою веденою частиною – у даному разі це якір, стає ЕГК.

Електромагнітні муфти і гальма ковзання забезпечують можливість автоматичного регулювання моменту і швидкості обертання вихідного валу електропривода при малій потужності управління, високій надійності та відносно низькій ціні. Головним недоліком муфт та гальм ковзання є те, що втрати ковзання виділяються в активному шарі якоря від протікання в ньому вихрових струмів і залежать від режиму роботи гальма, що характеризується величиною ковзання і його тривалістю. Втрати ковзання у вигляді тепла мають бути відведені системою охолодження. В указаному сенсі ЕГК має переваги перед ЕМК тому, що може мати більшу потужність (до 300 кВт) за рахунок можливості водяного охолодження нерухомої активної частини.

Однак, використання ЕГК в якості регулюючого варіатора вимагає застосування більш складного диференціального планетарного редуктора та супроводжується високодинамічним перехідним процесом крутного моменту при пуску електродвигуна приводу [6] при відсутності струму управління в обмотці збудження гальма.

Перехідний процес пуску привода показано на рис. 1.3 [3].

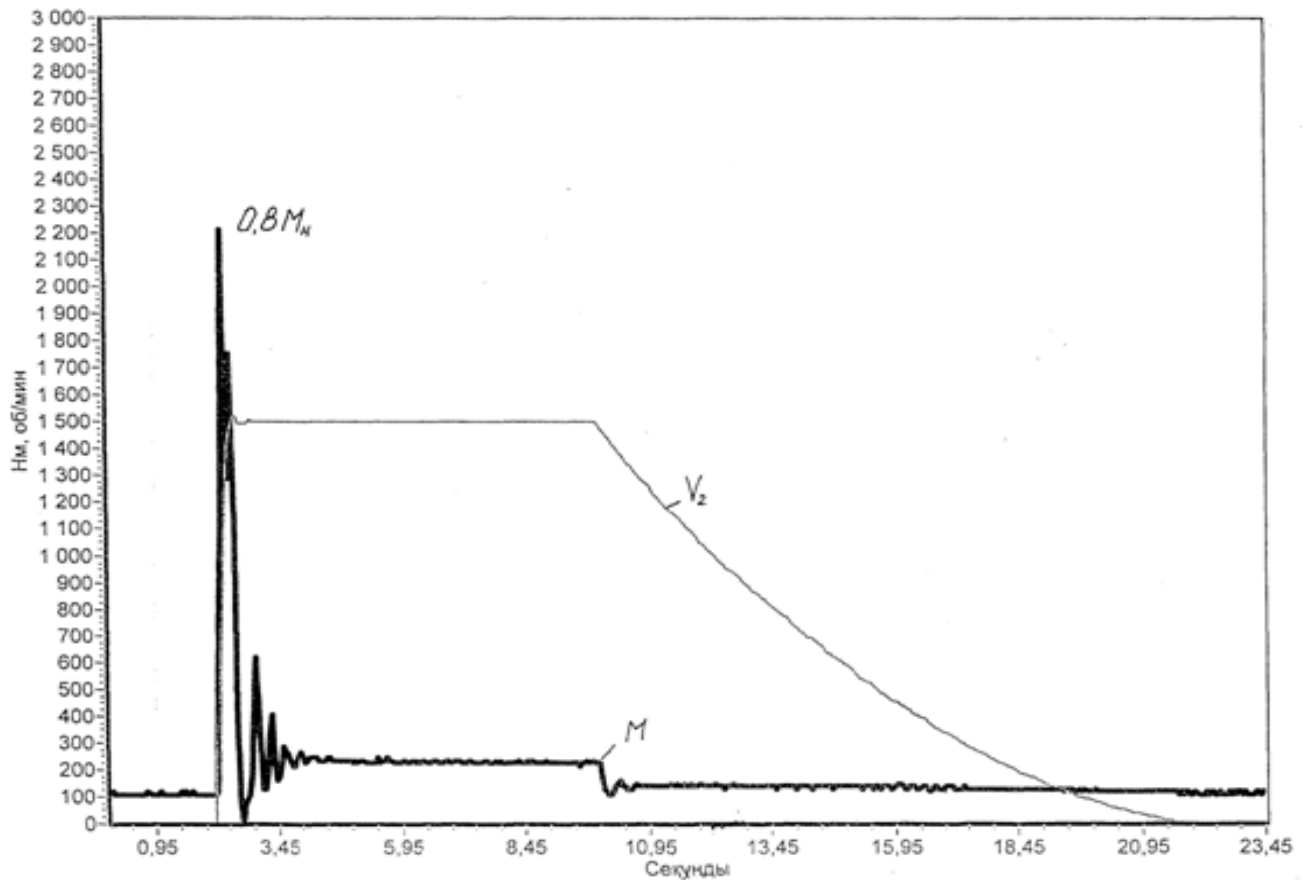


Рисунок 1.4 – Перехідний процес пуску та виключення привода з ЕГК при загальмованому вихідному валу привода: М - крутний момент на вихідному валу;  $V_2$  - швидкість обертання двигуна

Вказані пускові викиди крутного моменту є причиною стрибка кутової швидкості приводної зірки в приводах ВСП і, отже, в тяговому ланцюгу системи подачі. Такі динамічні навантаження в трансмісіях приводів негативно впливають на їх довговічність і небезпечні при малих довжинах робочої гілки тягового ланцюга.

Кінематична схема привода ВСПК (виробництва харківського заводу «Світло Шахтаря») для винесеної системи подачі комбайна і скребкового конвеєра містить асинхронний електродвигун, електромагнітне гальмо ковзання, планетарний диференційний редуктор (рис. 1.5).

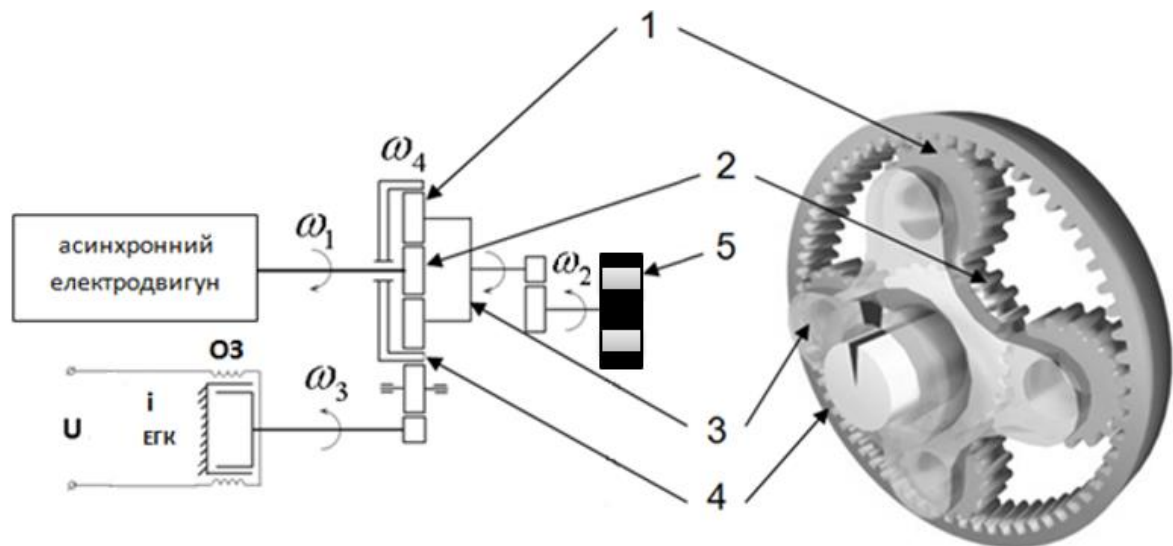


Рисунок 1.5 – Еквівалентна схема винесеного приводу подачі з ЕГК:  
 $\omega_1$  – кутова швидкість асинхронного двигуна,  $\omega_2$  – кутова швидкість приводної зірки,  $\omega_3$  – кутова швидкість гальма

Механічна система планетарного редуктора, складається з чотирьох планетарних шестерень 1, що обертаються навколо центральної сонячної шестерні 2. Планетарні шестерні фіксуються разом за допомогою водила 3. Планетарна передача містить додаткову зовнішню шестерню – епіцикл 4, що має внутрішнє зачеплення з планетарними шестернями і зовнішнє – з валом електромагнітного гальма. При загальмованому валі ЕГК обертання з валу електродвигуна через сонячну шестерню 2 передається сателітам 1 з водилом 3 на приводну зірку 5. При загальмованій зірці 5 обертання з валу електродвигуна через сонячну шестерню 2 передається сателітам 1, епіциклу 4 та валу ЕГК.

ЕГК є легко керованим передатним елементом приводу. Воно має невеликі габарити і вагу, не має ковзаючих контактів, що створюють іскріння, що полегшує його іскробезпечне виконання. Привід з ЕГК забезпечує можливість плавного регулювання крутного моменту приводу і регулювання швидкості подачі комбайна в потрібному діапазоні.

Еквівалентна схема винесеного привода подачі з ЕМК наведена на рис. 1.6.

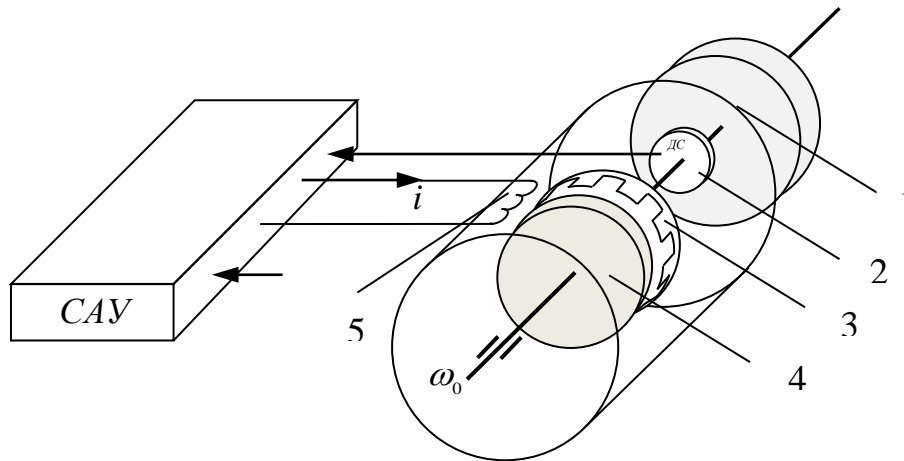


Рисунок 1.6 – Еквівалентна схема винесеного привода подачі з ЕМК

На рис. 1.6 позначено: 1 – планетарний редуктор, 2 – датчик швидкості, 3 – індуктор, 4 – якір, 5 – обмотка збудження;  $\omega_0$  – кутова швидкість проміжного редуктора.

Асинхронний двигун з постійною кутовою швидкістю  $\omega_0$  обертає ведучу частину ЕМК – якір 4. При відсутності струму в обмотці збудження 5 якір 4 не взаємодіє з веденою частиною ЕМК – індуктором 3 і обертання на приводну зірку не передається. При наявності струму в обмотці збудження, в зазорі між зубцями індуктора і поверхнею якоря проходить магнітний потік. Рух якоря 4 збуджує в зубцях індуктора вихрові струми і відбувається електромагнітна взаємодія між ведучою і веденою частиною ЕМК. На вихідний вал привода передається обертаючий момент, величина якого

залежить від величини струму в обмотці збудження. У приводі між двигуном та ЕМК встановлено проміжний редуктор для забезпечення найкращих параметрів роботи ЕМК, між ЕМК та приводною зіркою основний планетарний редуктор.

Після пуску електродвигуна привода подачі робота привода з ЕМК та ЕГК не відрізняється.

Механічні характеристики власне приводу з ЕГК (ЕМК) є м'якими (рис. 1.7).

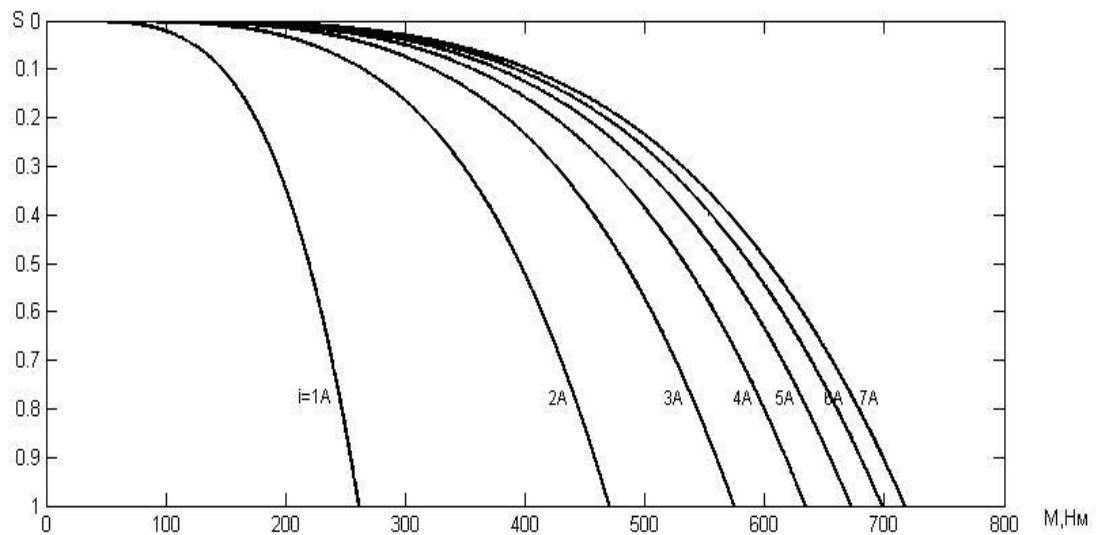


Рисунок 1.7 – Механічні характеристики ЕГК (ЕМК)

Це означає, що при малому збільшенні моменту навантаження швидкість вихідного валу істотно зменшується (ковзання зростає). Тому для забезпечення стабілізації швидкості привода на заданому рівні принципово необхідно наявність автоматичної системи стабілізації швидкості приводу.

Така система стабілізації швидкості винесеного приводу подачі була розроблена у вигляді регулятора швидкості та навантаження в складі апаратури автоматизації КД-А в НВО «Автоматгормаш» і виробляється по теперішній час.

Великий внесок в дослідження та створення САК винесеним приводом подачі з ЕМК та ЕГК в її сучасному вигляді та розробку регулятора швидкості й навантаження приводу різання в апаратурі КД-А та РЭТ, а також в розвиток управління комбайнами з ВСП зроблено автором великої кількості наукових робіт [6...12] й винаходів [13...15], науковим керівником цієї роботи Поцєпєвим В.В.

Сучасна структура та параметри промислової САК винесеним приводом з ЕМК в кінцевому вигляді вперше визначена в роботі [10], де через насичення магнітної системи вперше встановлено і враховано залежність індуктивності обмотки збудження муфти від струму управління, але це ніяк не вплинуло на корекцію САУ (рис.1.8). Врахування з адаптацією параметрів корегуючих ланок до положення робочої точки приводу по струму управління має місце в статті [16], де синтезовано адаптивний ПД регулятор контуру стабілізації швидкості та моделюванням показано необхідність адаптації параметрів корегуючих ланок при зміні навантажень приводу ВСП.

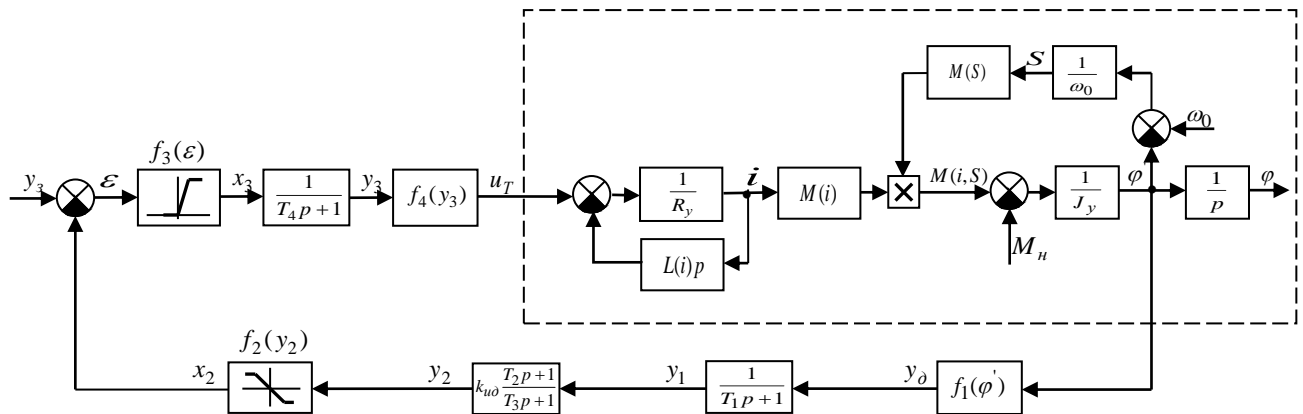


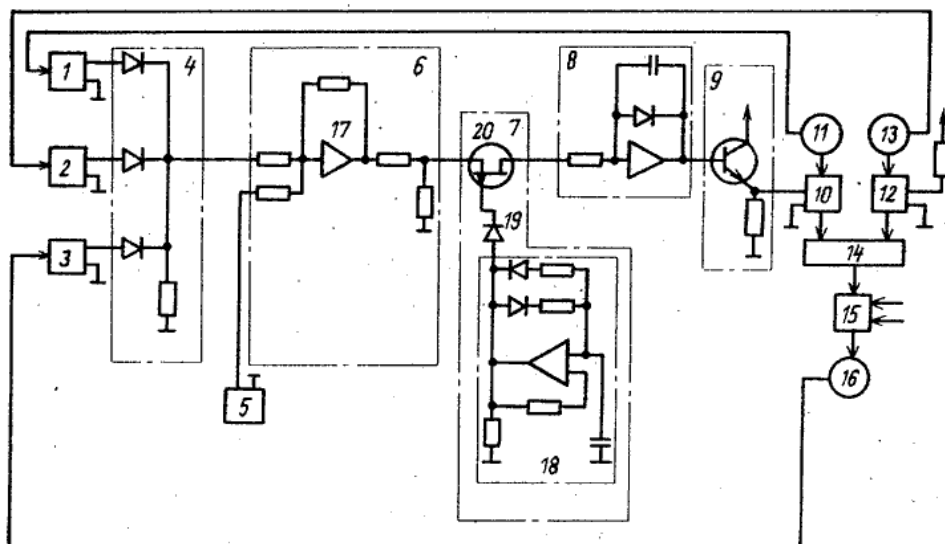
Рисунок 1.8 – Структурна схема існуючої САУ приводом ВСП в апаратурі КД-А та РЭТ

Значна увага до комбайнів для тонких пластів, зокрема УКД200-250, приділялася вченими ДонНТУ. В монографії [17] розглянуті електричні механізми переміщення видобувних комбайнів, виконано порівняльний аналіз їх переваг та недоліків. Висновок робиться на користь частотно-регульованого асинхронного приводу подачі.

У статті [20] наведено результати моделювання навантажень в частотно-регульованому приводі і тяговому органі винесеної системи переміщення очисного комбайна УКД200-250. Вказано на великі втрати тягового зусилля приводу подачі на тертя ланцюгового контуру. За результатами моделювання зроблено висновок, що ВСПК не забезпечує необхідних тягових зусиль при довгих до 300 м лавах, з чим важко погодитись.

Багато уваги та зусиль на дослідження динаміки та режимів роботи видобувних комбайнів докладено колективом авторів під керівництвом професора ДонНТУ Н.Г. Бойко . Для завдань цієї роботи важливим висновком з низки його робіт [18...21] є синхронізація коливань корпусу комбайна збуреннями з виконавчих органів.

## 1.2 Аналіз існуючого регулятора навантаження



ЗУ  
№ 1076578  
А

### Рисунок 1.9 – Структура регулятора навантаження в патенті 1076578

Найкращим чином структуру та ідеологію побудови існуючого регулятора навантаження приводів подачі та приводу виконавчих органів в промисловій апаратурі керування комбайнами УКД200-250 та іншими комбайнами з ВСП видно з опису патенту (авторського свідоцтва на винахід) [22]. Структура регулятора гірничої машини наведена на рис. 1.9.

На амплітудний селектор 4, виконаний на діодах, надходять три сигнали з датчиків струму 1, 2, 3, де пропускається більший з них по амплітуді. Датчики 1 і 2 передають сигнали, пропорційні струму електродвигунів подачі 11 та 13, датчик 3 передає сигнал, пропорційний струму електродвигуна приводу виконавчих органів 16, який встановлено на комбайні 15. На комбайн діють збурення – реакції вибою, що зображені двома стрілками.

З амплітудного селектора сигнал надходить на елемент порівняння 6, де порівнюється з сигналом завдання номінального струму (тобто номінального навантаження електродвигуна) від задатчика сигналу 5. Сигнал неузгодження через ключ, виконаний на польовому транзисторі 20, що належить імпульсному блоку 7, передається на інтегруючий елемент 8, з виходу якого через емітерний повторювач надходить на обмотку збудження електромагнітної муфти ковзання 10 електродвигуна 11 тягнучого привода. Обмотка збудження ЕМК привода, що підтягує нижню холосту гілку ланцюга, через регулюючий струм збудження резистор підключена до плюса джерела живлення.

Імпульсний елемент 7 представляє собою генератор 18 прямокутних імпульсів, вихід якого через діод 19 підключений до затвору польового транзистора 20, витоком з'єднаного з виходом елемента 6 порівняння, а стоком - зі входом інтегруючого елемента 8.



Різнопольярні прямокутні імпульси генератора 18 керують ключем таким чином, що польовий транзистор відкритий на час 0,5с, закритий на протязі 1с. Тобто, на протязі 0,5с система замкнена, а 1с – розімкнена.

Автори винаходу вважають, що така структура системи дозволяє при високому коефіцієнті передачі забезпечити високу якість регулювання навантаження при забезпеченні стійкості, оскільки керуючий вплив не змінюється на час перехідного процесу його відпрацювання інерційним об'єктом з запізненням. Викладене викликає великі сумніви щодо доцільності вводу запізнення в систему за рахунок пауз при закритому ключі і позитивному впливу цього на якість керування і особливо на стійкість системи.

В реальній реалізованій апаратно системі стабілізації навантаження приводу виконавчих органів у вигляді апаратури КД-А та РЕТ контур стабілізації навантаження побудовано описаним вище чином. Відміною від описаної схеми є реалізація ключа на герконовому реле замість польового транзистора в апаратурі КД-А, а вихід інтегруючого елемента створює вплив завдання  $u_z$  для підлеглого контуру стабілізації швидкості подачі, структура якого наведена на рис.1.8. З огляду на викладене, необхідні дослідження регулятора навантаження, що виробляється серійно у складі апаратури автоматизації КД-А та РЕТ для комбайнів з ВСП.

## Висновки по розділу

1. Дослідження, модернізація та розробка апаратури автоматизації комбайнів для тонких пластів є актуальним науковим та інженерним завданням.

2. Регулятор навантаження приводу виконавчих органів видобувних комбайнів з ВСП, що випускається серійно, потребує досліджень та модернізації як структури, так і елементної бази.

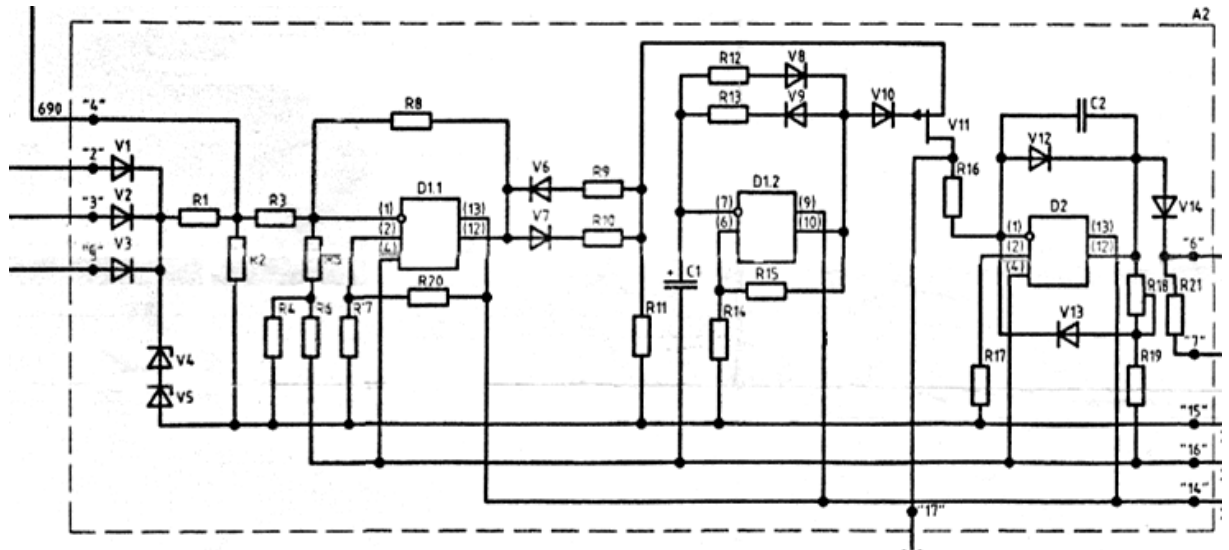
### 1.3 Основні завдання роботи

1. Виконати аналіз основних характеристик САК видобувним комбайном УКД200-250.

2. Виконати аналіз структури та параметрів регулятора навантаження приводу виконавчих органів в апаратурі автоматизації комбайнів з ВСП КД-А та РЕТ.

3. Розробити математичну модель САК комбайном з ВСП та її реалізацію в середовищі моделювання.

4. Виконати дослідження, структурну та параметричну модернізацію регулятора навантаження приводу виконавчих органів комбайна УКД200-250.

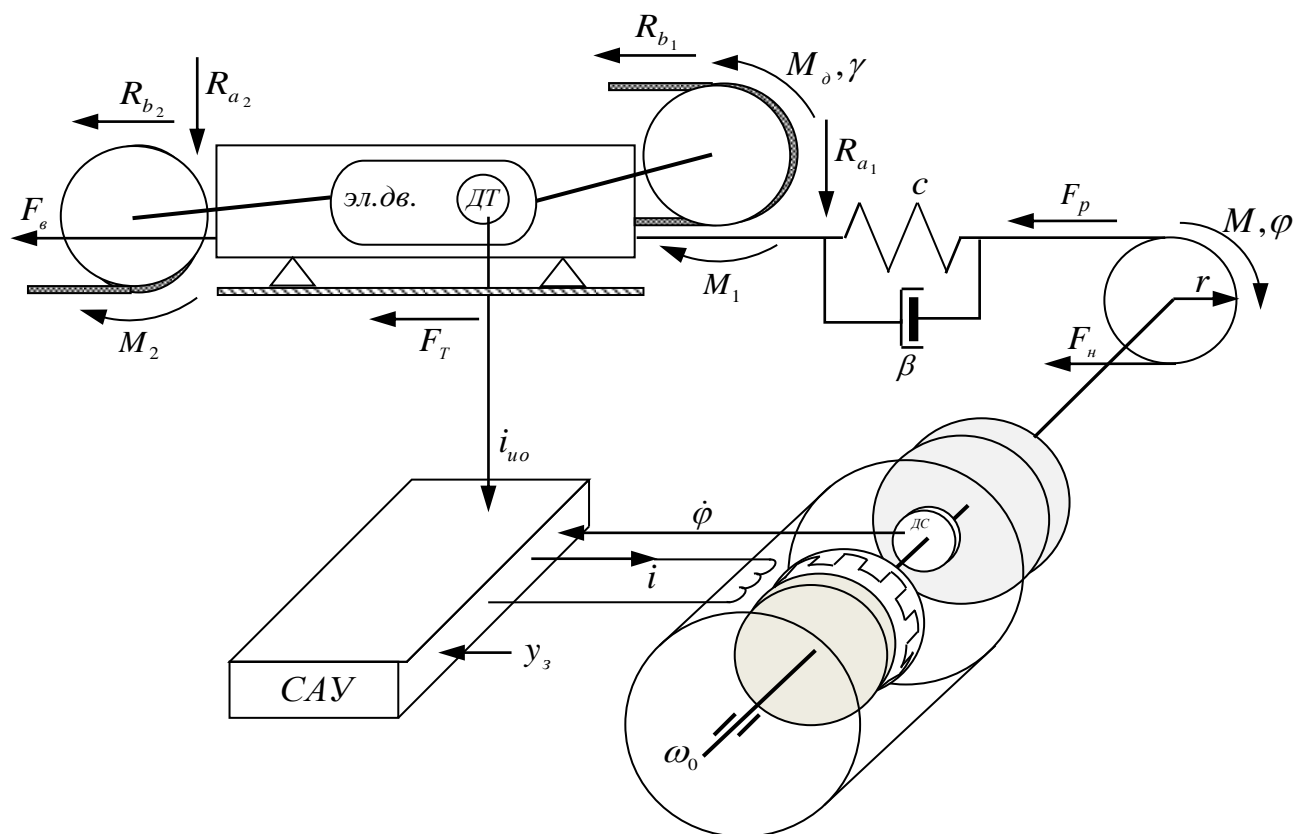


## 2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ САК КОМБАЙНОМ З ВСП

### 2.1 Еквівалентна схема та система рівнянь САК комбайном з ВСП

Найбільш відповідною до завдань цієї роботи є еквівалентна схема САК комбайном з ВСП, що розроблена й обґрунтована в дисертації [10]. Ця схема коректно та в достатній мірі відтворює необхідні зв'язки в системі та

вільна від надмірної деталізації, що ускладнює виконання поставлених завдань. Еквівалентна схема наведена на рис. 2.1.



## Рисунок 2.1 – Еквівалентна схема САУ комбайном з ВСП

На еквівалентній схемі зображено тільки тягнучий привід, підтягаючий привід відсутній відповідно до завдань роботи та прийнятих умов моделювання. Контур стабілізації швидкості, структура якого наведена на рис. 1.8, створює штучні жорсткі механічні характеристики тягнучого приводу. Підтягаючий привід працює на м'якій природній механічній характеристиці, що наведена на рис. 1.7. В умовах реальної лави струм управління підтягаючого приводу і, отже, зусилля в нижній холостій гілці ланцюга задається вручну так, щоб його було достатньо для витягання нижньої холостої гілки ланцюга, але щоб зусилля в нижній гілці не було надмірним і не створювало крутний момент збурення на зірці тягнучого приводу.

Пружне зусилля в верхній холостій гілці ланцюгового контуру відсутнє при коректному налаштуванні підтягаючого приводу. З огляду на низькочастотний характер зміни сили спротиву переміщенню верхньої холостої гілки, її дія на комбайн може бути прийнята у вигляді константи, що залежить від довжини верхнього холостого ланцюга в кожному окремому модельному експерименті. Беручи до уваги наведені аргументи, еквівалентна схема, і отже, математична модель ВСП в цій роботі може бути спрощена, відтворюючи рухи тільки тягнучого приводу, а наявність холостих гілок врахована у вигляді констант.

Наведена еквівалентна схема є універсальною як для досліджень приводів з електромагнітною муфтою, так і для приводів з гальмом тому, що після включення електродвигунів приводів подачі характеристики привода з гальмом ковзання еквівалентні характеристикам приводу з муфтою [11].

Кутову швидкість ведучої частини приводу вважаємо константною, зважаючи на жорсткість механічної характеристики асинхронного

електродвигуна і її змінами можна знехтувати в порівнянні з варіацією кутової швидкості веденої частини приводу.

Кутову швидкість виконавчих органів приймаємо постійною. Таке припущення ґрунтується на жорсткій механічній характеристиці електродвигуна приводу різання з номінальним ковзанням у 1,5%, що розглянуто у попередньому розділі. Процеси, близькі до стопоріння двигуна приводу різання, в роботі не розглядаються.

Модель навантажень на виконавчих органах враховує переміщення комбайна й виконавчих органів тільки в напрямку подачі.

Оскільки головним завданням роботи є дослідження регулятора навантаження приводу виконавчих органів, модель формування навантажень має враховувати реальні процеси стружкоутворення на різцях виконавчих органів в залежності від переміщення комбайна з урахуванням конструкції виконавчих органів, характеристик руйнованого пласта та схеми роботи комбайна [26...30].

Масштаби сигналів, що обробляються модельним контролером, мають відповідати рівням аналогових сигналів, що надходять на аналогові входи та знімаються з виходів реального контролера.

З еквівалентної припущень та основних моделі комбайна з

$$\left\{ \begin{array}{l} m\ddot{x} = F_n + F_\delta - F_m - F_\varepsilon - R_b + F_{ck} \operatorname{sign}(\alpha_n); \\ J\ddot{\varphi} = M - M_n; \\ M = M_m \arctg^2(ai)(\sqrt[4]{S}), \quad S \in [0, 1]; \\ M_n = (F_n + F_\delta + F_p - F_n) \cdot r_3; \\ U_\tau = iR + L(i)\dot{i}, \quad L(i) = \frac{L_0}{1 + (ai)^2}, \\ U_\tau = \frac{U}{2} (1 + \cos(\pi - \frac{u}{u_m} \pi)); \\ T_2 \dot{u} = y - u; \\ y = \begin{cases} ku_{\text{ПД}}, & 0 < u_{\text{ПД}} < u_m/k, \\ u_m, & u_{\text{ПД}} \geq u_m/k, \\ 0, & u_{\text{ПД}} \leq 0; \end{cases} \\ u_{\text{ПД}} = \varepsilon + k_\delta \dot{\varepsilon} - T_I \dot{u}_{\text{ПД}}; \\ \varepsilon = v - \dot{\varphi}; \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{урахуванням} \\ \text{схеми, розглянутих} \\ \text{вимог, система} \\ \text{рівнянь математичної} \\ \text{видобувного} \\ \text{ВСП має вигляд:} \end{array}$$

(2.1)

В системі (2.1) прийняті позначення:

$m$  – маса комбайна, кг;

$x$  – узагальнена координата переміщення корпусу комбайна, м;

$F_n$  - пружне зусилля в робочій гілці тягового ланцюга, Н;

$$F_n = c(\varphi r - x), \quad c = \begin{cases} E / L_p, & \varphi r - x > 0; \\ 0, & \varphi r - x \leq 0; \end{cases}$$

$c$  – жорсткість робочої гілки тягового ланцюга, Н/м;

$r_3$  – радіус приводної зірки, м;

$\varphi$  - узагальнена координата вихідного валу привода подачі, рад;

$E$  – погонна жорсткість тягового ланцюга, Нм;

$L_p$  - довжина робочої гілки тягового ланцюга, м;

$F_\partial$  - дисипативна сила в робочій гілці тягового ланцюга, Н;

$$F_\partial = \beta(\dot{\varphi}r - \dot{x}), \beta = \begin{cases} \chi\sqrt{cm_l}, & \dot{\varphi}r - \dot{x} > 0, \\ 0, & \dot{\varphi}r - \dot{x} \leq 0; \end{cases}$$

$\beta$  - коефіцієнт дисипативних втрат, кг/с;

$\chi$  - коефіцієнт внутрішнього тертя;

$m_l$  - маса робочої гілки тягового ланцюга, кг;

$F_m$  - сила тертя в опорах комбайна, Н;

$$F_m = \mu(\dot{x})(m \cdot g + R_a); \quad R_a = R_{a_1} + R_{a_2};$$

$R_{a_1}, R_{a_2}$  сили вертикальних реакцій вибою на випереджаючому й відстаючому шнеках, Н;

$\mu(\dot{x})$  - коефіцієнт тертя в опора комбайна;

$$\mu(\dot{x}) = \text{sign}(\dot{x})(a_1 + a_2 e^{-a_3 \dot{x}} + a_4 \dot{x});$$

$a_1, a_2, a_3, a_4$  - позитивні константи;

$F_b$  - сила опору переміщенню верхньої холостої гілки тягового ланцюга в напрямних, Н;



$$F_{\epsilon} = L_{\epsilon} \kappa_{\epsilon};$$

$\kappa_{\epsilon}$  - коефіцієнт питомих втрат, що залежить від зігнутості конвеєра, конструкції напрямних, кількості та вологості штибу та попередньої натягнутості ланцюгового контуру, Н/м;

$L_{\epsilon}$  - довжина верхньої холостої гілки тягового ланцюга, м;

$R_b = R_{b_1} + R_{b_2}$  - сили горизонтальних реакцій вибою на відстаючому й

випереджаючому шнеках, Н;

$F_{ск} = m \cdot g \cdot \sin(\alpha_n)$ ; - сила, що скочує,  $\alpha_n$  - кут нахилу пласта;

$J$  - сумарний момент інерції ведених частин приводу подачі, кг·м<sup>2</sup>;

$M$  - обертаючий момент приводу подачі, Н·м; Значення  $J$ ,  $M$  приведені до вихідного валу приводу подачі.

$M_n$  - момент навантаження приводу;

$i$  - струм управління в обмотці збудження гальма;

$S = \frac{\omega_0 - \dot{\varphi}}{\omega_0}$  - ковзання гальма,  $\omega_0$  - кутова швидкість асинхронного двигуна

привода подачі з врахуванням редукції.

$F_p$  - сила опору переміщенню робочої гілки тягового ланцюга в напрямних,

Н;  $F_p = F_0 \kappa_p$ ;

$F_0$  - зусилля, необхідне для протягання незакріпленого ланцюга в

напрямних, Н, визначається експериментально ;

$\kappa_p$  - коефіцієнт, що враховує вигини конвеєра;

$F_n$  - зусилля в нижній гілці тягового ланцюга, Н;

$U_T$  - напруга на виході керованого випрямляча, яка подається на обмотку збудження ЕГК;

$U$  - напруга, що підводиться до керованого випрямляча;

$u$  - сигнал управління випрямлячем;

$u_m$  - рівень обмеження сигналу управління на виході ПД регулятора;

$y$  - сигнал на виході нелінійної ланки обмеження з коефіцієнтом передачі ПД регулятора  $k$  на лінійному інтервалі;

$u_{ПД}$  - сигнал управління ПД регулятора;

$k_\phi$  - коефіцієнт при похідній в сигналі ПД регулятора; При адаптивному ПД регулюванні є функцією струму управління

$\varepsilon$  - сигнал неузгодження по швидкості;

$v$  - завдання по швидкості подачі, яке в автоматичному режимі визначається законом управління регулятора навантаження приводу виконавчих органів, що розглядається нижче.

При адаптивному ПД законі управління в контурі стабілізації швидкості [16]:

$$u = \begin{cases} ku_{ПДА}, 0 < u_{ПДА} < u_m/k, \\ u_m, u_{ПДА} \geq u_m/k, \\ 0, u_{ПДА} \leq 0; \end{cases}$$

$$u_{ПДА} = k(1 + k_d(i')s)\varepsilon; \quad (2.2)$$

$$k_d = (0,1 + 0,35/(1 + (0,75i')^3));$$

$$i' = \frac{i}{Ts + 1};$$

при значеннях  $u_m = 10$ ,  $k = 50$ ,  $T = 2$  с.

Зміст математичної моделі досліджуваної системи визначено.

## 2.2 Математична модель формування навантажень на виконавчих органах комбайна

Огляд наукової літератури з моделювання навантажень на виконавчих органах видобувних комбайнів, а саме моменту сил опору на виконавчому органі  $M$  та сил реакції вибою  $R_a, R_b, R_c$ , дозволяє зробити висновок, що найбільш адекватною, універсальною та відповідною поставленим цілям цієї роботи є модель формування навантажень, що запропонована та докладно розроблена в роботах [26...30]. Ця модель обрана для реалізації, тому що повністю відтворює процес утворення стружки на кожному різці в залежності від його координат і формування моменту навантаження на шнеках обчислюється як сума зусиль на різцях, що контактують з вибоєм.

«Момент сил опору на виконавчому органі  $M$  і сили реакції вибою  $R_a, R_b, R_c$  в будь-який момент часу визначаються сумою моментів і сил, що діють на кожний  $i$ -тий різець, що перебуває в зоні різання:

$$M = R \sum_{i=1}^N z_i; \quad R_a = \sum_{i=1}^N a_i; \quad R_b = \sum_{i=1}^N b_i; \quad R_c = \sum_{i=1}^N c_i;$$

$$a_i = -y_i \cos \gamma_i + z_i \sin \gamma_i; \quad b_i = -y_i \sin \gamma_i - z_i \cos \gamma_i; \quad c_i = x_i;$$

тут  $z_i, y_i, x_i$  відповідно сила різання, сила подачі й бічна сила, діюча на  $i$ -тий різець,  $\gamma_i$  - кутове положення  $i$ -того різця;  $\gamma_i = \gamma_{0i} + \gamma$ , де  $\gamma$  - координата виконавчого органу, одержувана з розв'язку рівнянь динаміки приводу виконавчих органів,  $\gamma_{0i}$  - початковий кут установки  $i$ -того різця на

виконавчому органі. значення  $z_i, y_i, x_i$  визначаються залежно від товщини стружки на кожному  $i$ -тому різці.

Товщина стружки  $i$ -того різця  $h_i$  при його заданих кутових переміщенні  $\gamma_i$  визначається за виразом

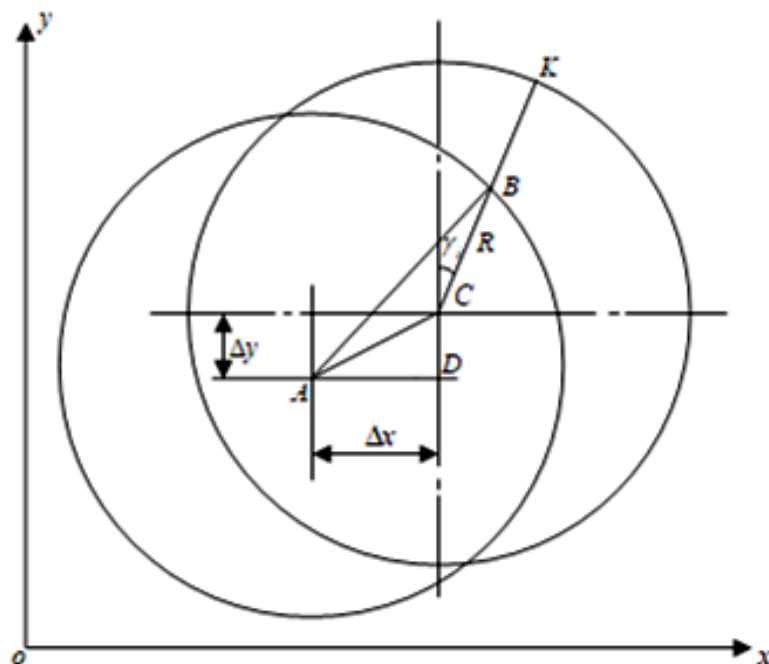
$$h_i = R - \sqrt{R^2 - ((\Delta x)^2 + (\Delta y)^2) \sin^2 \alpha_i} + (\text{sign}(\Delta y)) \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2} \cos \alpha_i, \text{ де}$$

$$\alpha_i = \gamma_i - \arctg \frac{\Delta x}{\Delta y}.$$

У формулі значення прирощень  $\Delta x, \Delta y, \gamma_i$  є функціями просторових координат виконавчого органу  $x, y, \gamma$ , отриманих з розв'язку рівнянь руху комбайна в просторі лави й рівнянь динаміки приводу виконавчих органів:

$$\Delta x = x - x_n, \Delta y = y - y_n, \gamma_i = \gamma + \gamma_{0i},$$

де  $x, y$  та  $x_n, y_n$  - відповідно абсциса й ордината виконавчого органу в даний момент часу  $t$  й у момент часу  $t_n$ , коли різець, що йде спереду та перебуває в одній лінії різання з розглянутим  $i$ -тим різцем, перетинає радіус, що має кут нахилу  $\gamma_i$ ;  $\gamma$  - кутова координата виконавчого органу в момент часу  $t$ .



## Рисунок – 2.2 Визначення товщини стружки на різці виконавчого органу

Для одного різця в лінії різання, різець, що йде спереду, буде сам же розглянутий різець, і для знаходження збільшень  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  необхідно знати його ж координати  $x_n$  й  $y_n$  на попередньому оберті виконавчого органу. Отже, при програмній реалізації формули на кожному кроці обчислення  $h_i$  у загальному випадку необхідно мати передісторію руху комбайна  $x_n$ ,  $y_n$  за один оберт виконавчого органу.

У реалізованому алгоритмі формування передісторії і обчислення  $h_i$  виконується через кут  $\Delta\varphi$ , що знаходиться як  $\Delta\varphi = 2\pi / p$ , де  $p$  - число положень за один оберт виконавчого органу, у яких обчислюються значення  $h_i$ . Значення  $p$  обумовлене збереженням частотних властивостей і форми спектра навантажень на виконавчому органі. По значенням  $h_i$  по формулам ГСТ обчислюються зусилля на різцях, що контактують з вибоєм, і далі на виконавчому органі. Розрахунок зусиль в кожному положенні шнеку закінчується занесенням поточних координат  $x$  і  $y$  в рядок масивів передісторії для подальшого використання на наступному оберті виконавчого органу.

Відповідно до припущень про відсутність просторових переміщень виконавчих органів, при визначенні товщини стружки координата  $y=0$ .»

## 2.3 Реалізація математичної моделі САК комбайном з ВСП

Розглянута вище математична модель САУ комбайном з ВСП є складною нелінійною системою високого порядку, в якій навантаження на виконавчих органах обчислюються програмно за складним алгоритмом. Тому методом досліджень системи та синтезу регулятора навантаження обрано моделювання в середовищі Simulink системи MATLAB.

Блок-діаграма повної моделі САУ комбайном з ВСП в Simulink наведена на рис. 2.3. В моделі в контурі стабілізації швидкості приводу використано адаптивний ПД регулятор, що налаштовує коефіцієнт при похідній до зміни індуктивності обмотки збудження внаслідок насичення магнітопроводу електромагнітного гальма або муфти. Адаптивний регулятор дозволяє скоротити час регулювання тим самим покращуючи динамічні властивості приводу. Докладно побудова адаптивного регулятора описана в [32].

Зміст моделі відповідає системі рівнянь (2.1). В процесі досліджень в модель було додано локальний компенсуючий зворотний зв'язок по струму управління з коефіцієнтом 0,5 – блок ios . Наявність такого контуру суттєво знижує амплітуду коливань струму управління  $i$ , отже, коливань крутного моменту приводу, що покращить його довговічність.

Блоки  $kd(i)$  1, Tf1, Tf3 Transfer Fcn2 реалізують адаптивний ПД регулятор. Функція блоку  $kd(i)$  1  $u(2)*(0.1+0.55/(1+(0.55*(u(1)-0.0))^2))$ .

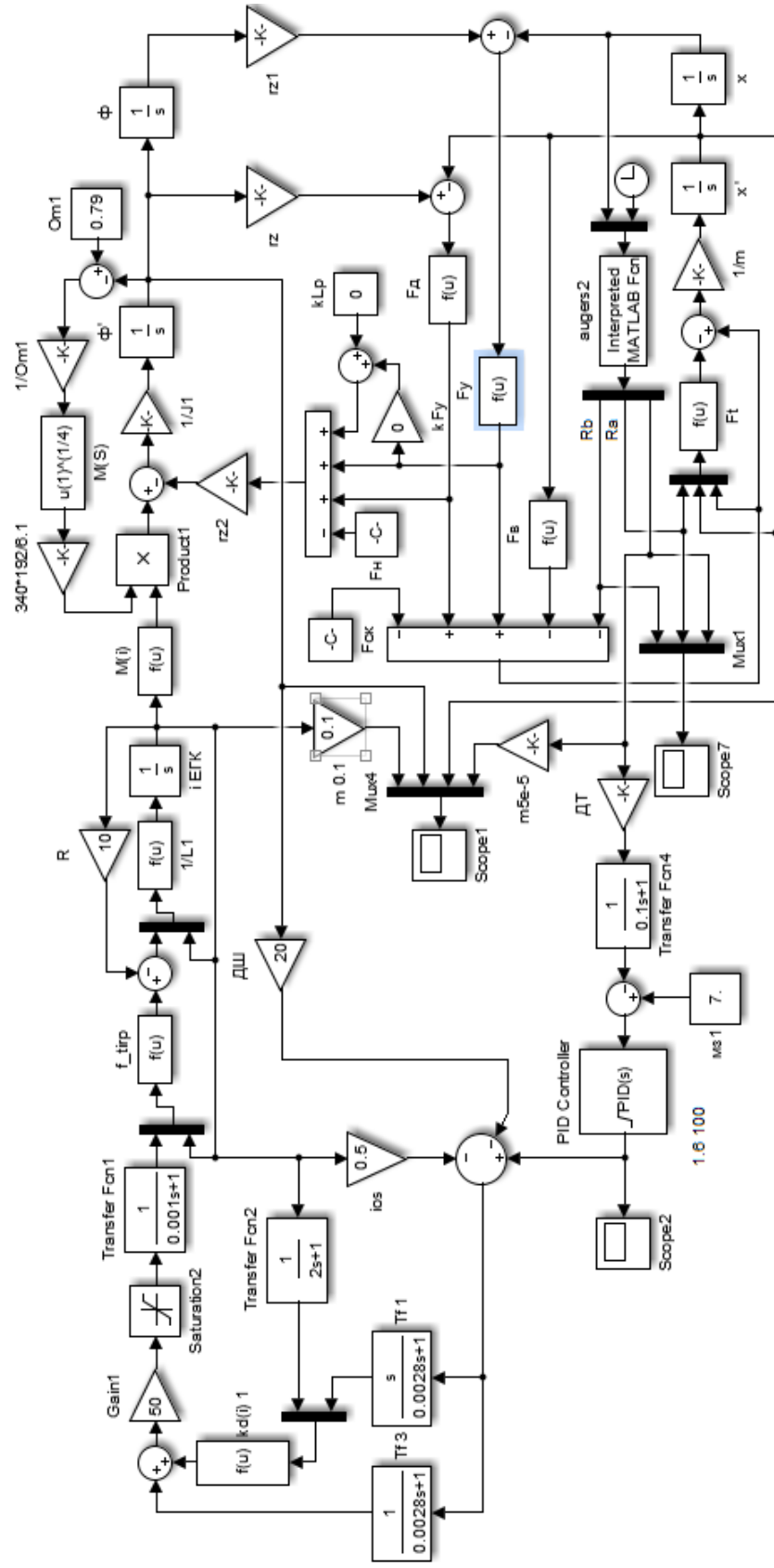


Рисунок – 2.3 Блок-діаграма моделі САК комбайном з ВСП в Simulink з И регулятором навантаження



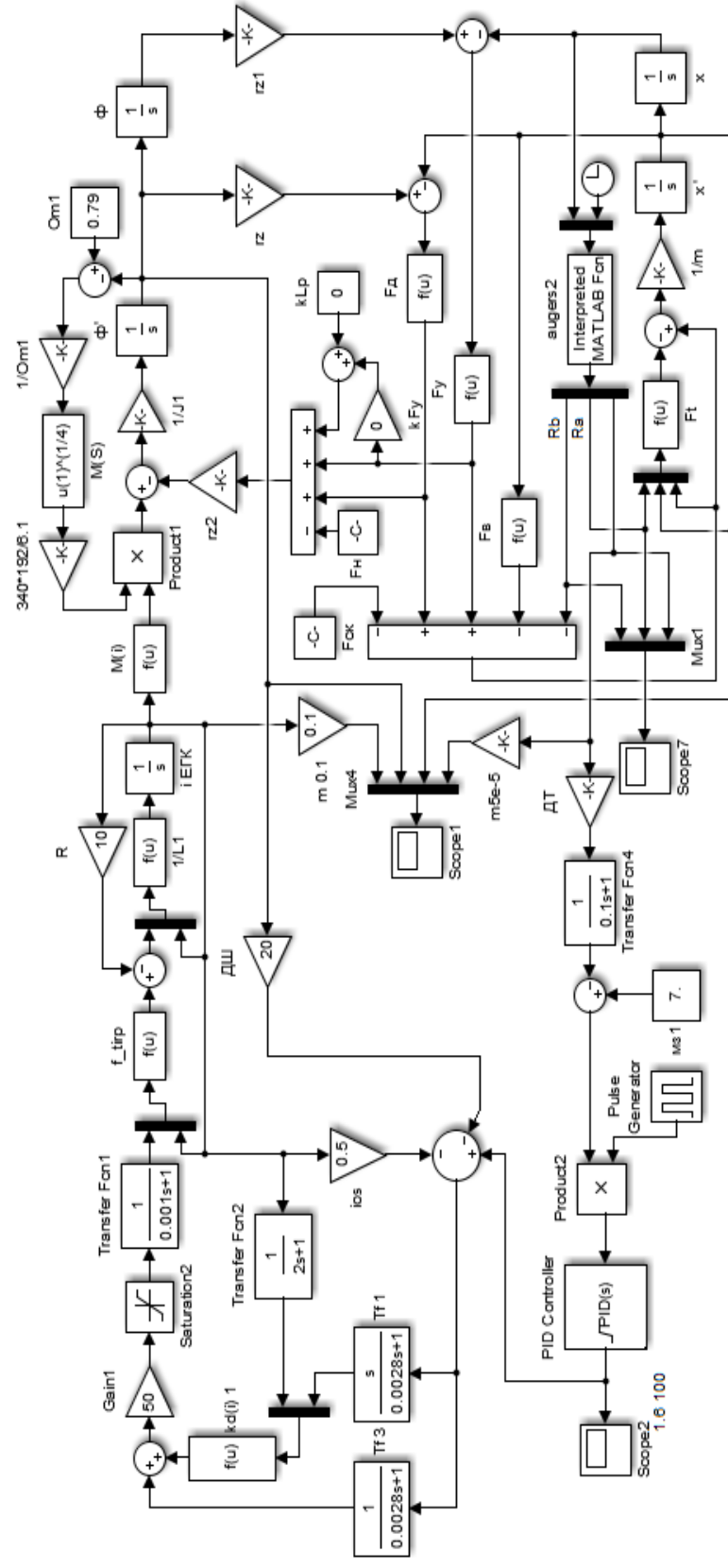


Рисунок – 2.4 Блок-діаграма моделі САК комбайном з ВСП в Simulink з промисловим регулятором навантаження з імпульсним елементом

Функція блоку  $f\_tirp$  є  $40 \cdot (1 + \cos(\pi \cdot u(1) \cdot 0.1 \cdot \pi))$ , функція блоку  $1/L1$  є  $u(1) \cdot (1 + (0.75 \cdot u(2))^2) / 14$ , функція блоку  $M(i)$  є  $\text{atan}(1.2 \cdot u) \cdot \text{atan}(1.2 \cdot u)$ , функція блоку  $M(S)$  є  $u(1)^{(1/4)}$ .

Блоки, що обчислюють зусилля:

$F_d$  обчислює дисипативну силу:  $5600 \cdot u(1) \cdot (u(1) > 0.0)$ .

$F_u$  обчислює пружне зусилля в робочій гілці тягового ланцюга:  $250000 \cdot u(1) \cdot (u(1) > 0)$  (250000 жорсткість ланцюга при його довжині 200м).

$F_t$  обчислює силу тертя в опорах комбайна за виразом

$(12000 \cdot 9.81 + u(1)) \cdot (0.16 + 0.14 \cdot \exp(-30 \cdot u(2)) + 0.12 \cdot u(2)) \cdot (u(2) > 0.002) -$

$(12000 \cdot 9.81 + u(1)) \cdot (0.16 + 0.14 \cdot$

$\exp(-30 \cdot u(2)) + 0.12 \cdot u(2)) \cdot (u(2) < 0.002) + u(3) \cdot (\text{abs}(u(2) < 0.002) \&\&$

$u(3) \leq (12000 \cdot 9.81 + u(1)) \cdot (0.16 + 0.14 \cdot \exp(-30 \cdot u(2)) + 0.12 \cdot u(2)))$ .

Блок `augers2` призначений для звертання до функції `augers`, в якій планується модельний експеримент та викликається функція-обгортка (Мех-функція) `[res] = k103xcrr(x,gs,0.8,18,vr,ar)`. В якій  $x$  – переміщення комбайна,  $gs$  – кут повороту шнеків,  $0,8$  – потужність пласта,  $18$  – число положень виконавчих органів, в котрих обчислюються зусилля,  $vr$  – початкова швидкість подачі, необхідна для розрахунку початкового змісту масивів передісторії,  $ar$  – опірність вугілля різанню.

Лістинг функції `augers` наведено нижче

```
function [dat] = augers(x,t)

% Формування навантажень на шнеках для ВСП

% Detailed explanation goes here
```

```

ap=350;

if t>=20
    ap=250;
end
if t>=40
    ap=200;
end
if t>=60
    ap=250;
end
if t>=80
    ap=350;
end

vp=-3/60;
gs(1)=-98/60*2*pi*t;
gs(2)=98/60*2*pi*t;

%tic;
[res]= k103xcpp(x,gs,0.8,18,vp,ap);
%toc;

% mc(1)=res(1);
% mc(2)=res(2);
% ras(1)=res(3);
% ras(2)=res(4);
% rbs(1)=res(5);

```

```

% rbs(2)=res(6);

dat(1)=-res(5)+res(6);

% if t>=20

% dat(1)=(-res(5)+res(6)-1.25e4)*3;

%     if dat(1)<0

%         dat(1)=0;

%     end

% end

% -rbs(1)+rbs(2);

dat(2)=res(3)-res(4);      % ras(1)-ras(2);

dat(3)=res(1)+res(2);      % mc(1)+mc(2);

%dat(:)=0; % холостий хід !

% if t<=15

%     dat(1)=0;

%     dat(2)=0;

%     dat(3)=0;

% end

end

```

Мех-функція наведена нижче

```

#include "mex.h"

void k103xcpp(double *a, double *b, float hp, int npo,
float vp, float ap,
            double *res )
{
    res[0]=hp;
    res[1]=npo;
    res[2]=vp;
    res[3]=ap;
    res[4]=a[0];
    res[5]=b[0];
}

void mexFunction(int nlhs, mxArray *plhs[],
                int nrhs, const mxArray *prhs[])
{
    double *xt, *gs, *hp, *vp, *ar, *res;
    int np;

    plhs[0]=mxCreateDoubleMatrix(1,6, mxREAL);
    xt=mxGetPr(prhs[0]);
    gs=mxGetPr(prhs[1]);
    hp=mxGetPr(prhs[2]);
    np=(int)mxGetScalar(prhs[3]);
    vp=mxGetPr(prhs[4]);
    ar=mxGetPr(prhs[5]);
    res=mxGetPr(plhs[0]);

    k103xcpp(xt,gs,*hp,np,*vp,*ar,res);
}

```

}

Реалізацію в Simulink математичної моделі з промисловим регулятором навантаження, що описаний в патенті №1076578 наведено на рис. 2.4. Ключ, що керується імпульсним елементом, між елементом неузгодження та інтегратором реалізовано за допомогою блоку множення та генератора прямокутних імпульсів. Генератор має період 1,5 с з тривалістю імпульсу 1с, як описано в патенті. В іншому моделі ідентичні.

#### Висновки по розділу

1. Розроблено математичну модель системи автоматичного керування видобувним комбайном УКД200-250 з винесеною системою подачі, яка повністю відтворює процеси формування навантажень в системі.

2. Відповідно до мети та завдань досліджень побудовано в Simulink розроблену модель САК з інтегральним регулятором навантаження та адаптивною системою стабілізації швидкості подачі, а також САК з промисловим регулятором навантаження, що побудований на основі патенту.

### 3.1 Вибір закону регулювання регулятора навантаження

Особливістю контуру регулювання навантаження є висока питома вага періодичної складової в сигналі зворотного зв'язку по струму управління, що визначається кінематичною неврівноваженістю виконавчого органа та його конструкцією, а також коливаннями корпуса комбайна зважаючи на наявність пружного тягового органу. Причому період основної гармоніки (1,63 Гц) практично співпадає з часовими характеристиками об'єкта керування, що унеможливорює фільтрацію сигналу датчика струму електродвигуна привода різання при прийнятній швидкодії регулювання. Тому практично єдиним законом регулювання є інтегральний, який мінімізує періодичну складову в сигналі завдання швидкості подачі, до того ж забезпечить мінімальну помилку регулювання в умовно усталеному режимі. Сигнал на виході інтегрального регулятора з модельного експерименту при довжині ланцюга 100 м, що описаний нижче наведено на рис. 3.1.

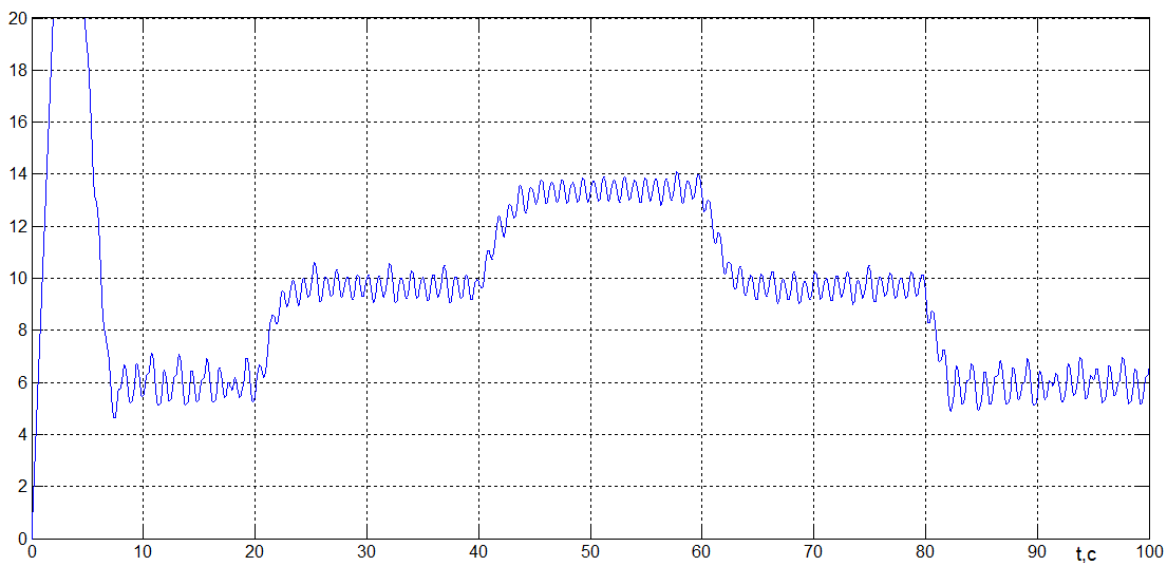


Рисунок – 3.1 Сигнал на виході інтегрального регулятора навантаження

### 3.2 Дослідження розробленого та промислового регулятора навантаження

Першим завданням дослідження було визначення коефіцієнта передачі інтегрального регулятора навантаження, який з одного боку забезпечує мінімальний час регулювання, з другого – перехідні процеси як по збуренню, так і по впливу завдання без перерегулювання по струму електродвигуна виконавчих органів. В процесі моделювання було встановлено значення коефіцієнта 1,6. Малі відхилення від вказаного значення не змінювали показників якості регулювання, що свідчить про робастність системи.

На динамічні процеси в системі суттєво впливає довжина тягового ланцюга. В зв'язку з цим дослідження рухів системи проводилося для різних довжин тягового ланцюга та досліджувались відпрацювання збурень по зміні опірності вугілля різанню в автоматичному режимі роботи комбайна. В цьому режимі стабілізується потужність приводу виконавчих органів при відсутності обмежень на вплив завдання швидкості подачі.

Для порівняння розробленого та промислового регуляторів модельні експерименти проводилися для ідентичних умов.

В усіх розглянутих модельних експериментах робота комбайна починалася при опірності вугілля різанню 350Н/мм. На 20-тій секунді опірність зменшувалась стрибком до значення 250Н/мм, на 40-вій секунді опірність знову стрибкоподібно зменшувалась до 200Н/мм. Починаючи з 60-тої секунди, опірність підвищувалась стрибком до рівня 250Н/мм, а з 80-тої – знову підвищувалась до значення 350Н/мм.

Результати моделювання автоматичного режиму роботи комбайна по відпрацюванню збурень для наведених вище умов розробленим регулятором навантаження та промисловим регулятором при довжині тягового ланцюга 20м показані відповідно на рис. 3.2 та рис. 3.3.



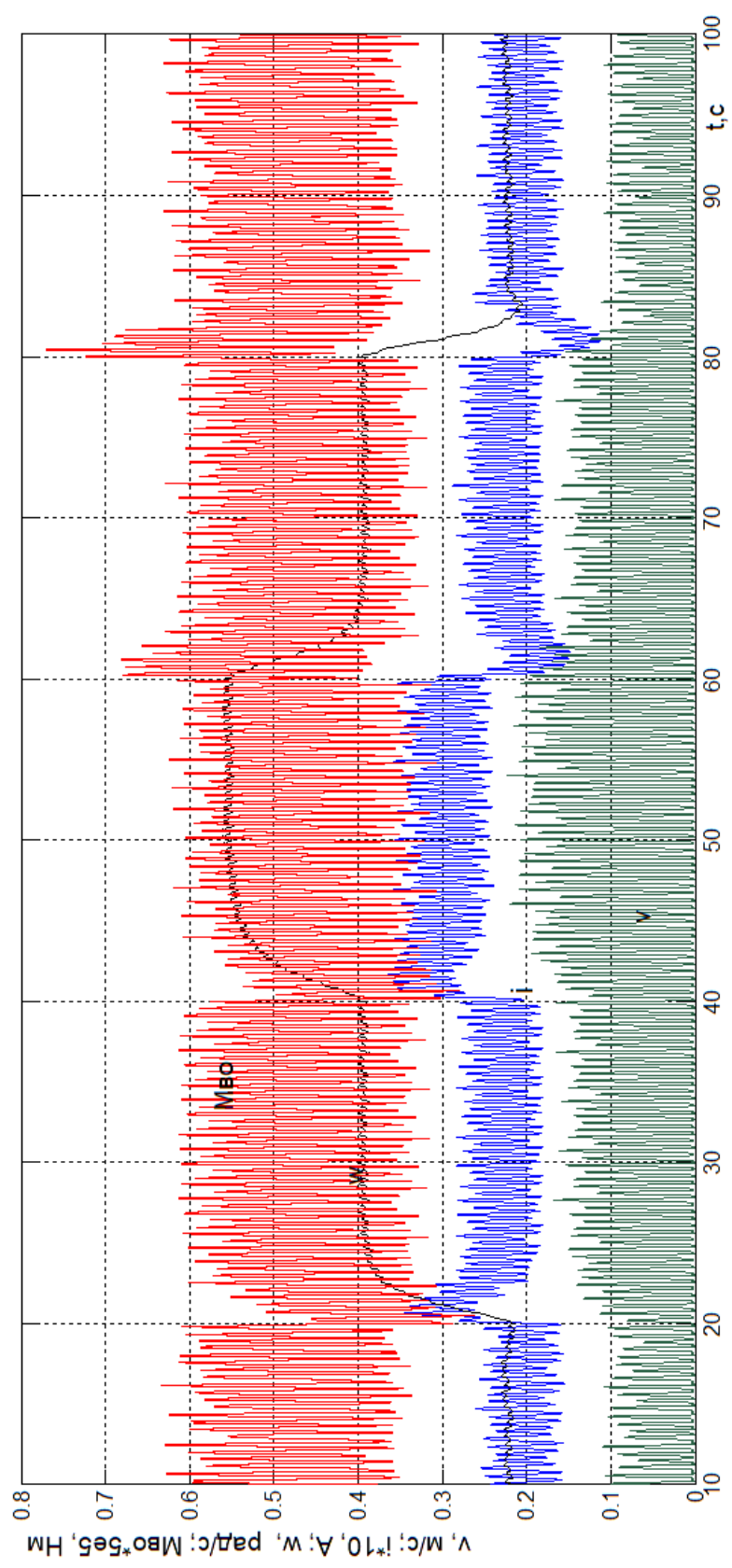


Рисунок – 3.2 Автоматичний режим роботи комбайна з розробленим регулятором при довжині ланцюга 20м

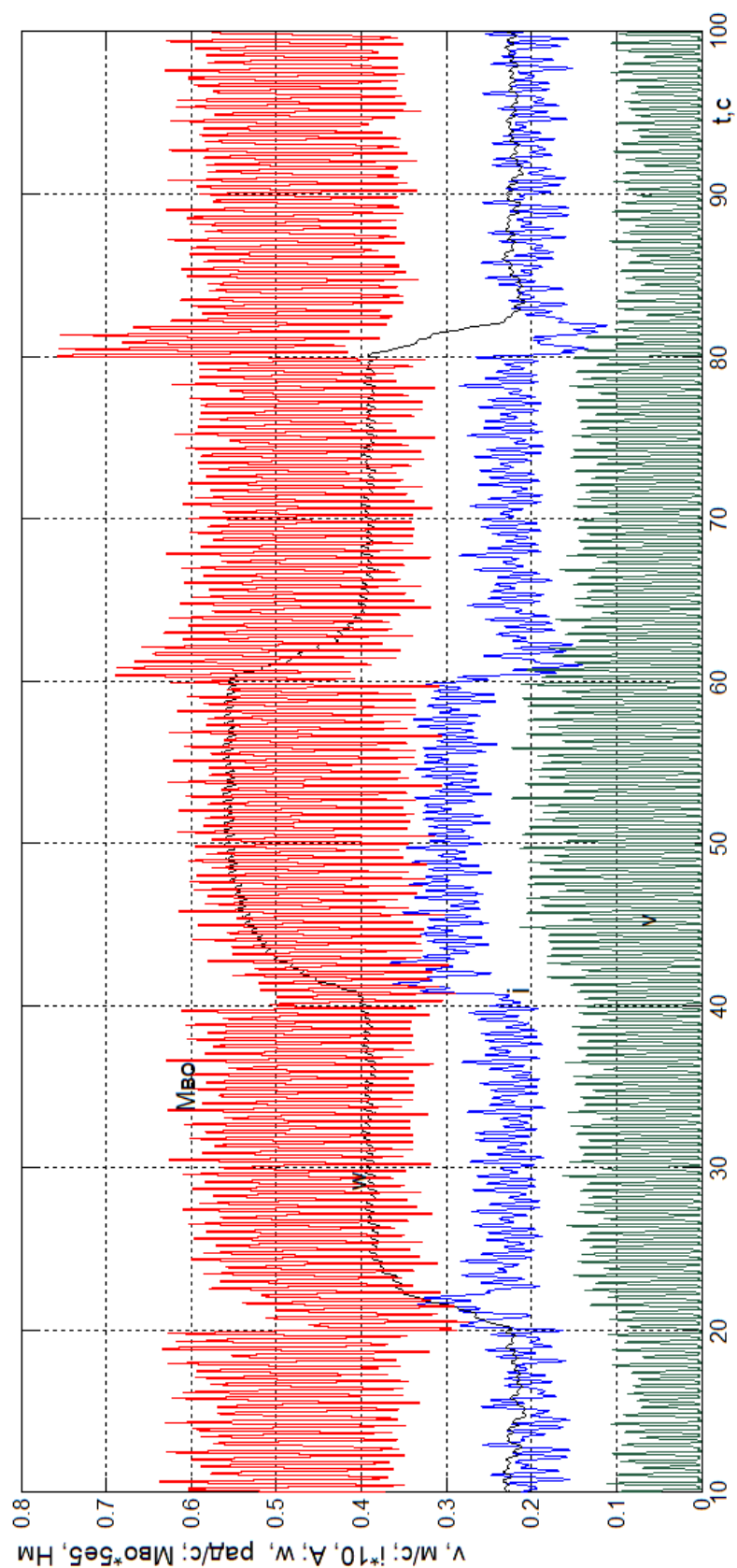


Рисунок – 3.3 Автоматичний режим роботи комбайна з промисловим регулятором при довжині ланцюга 20м

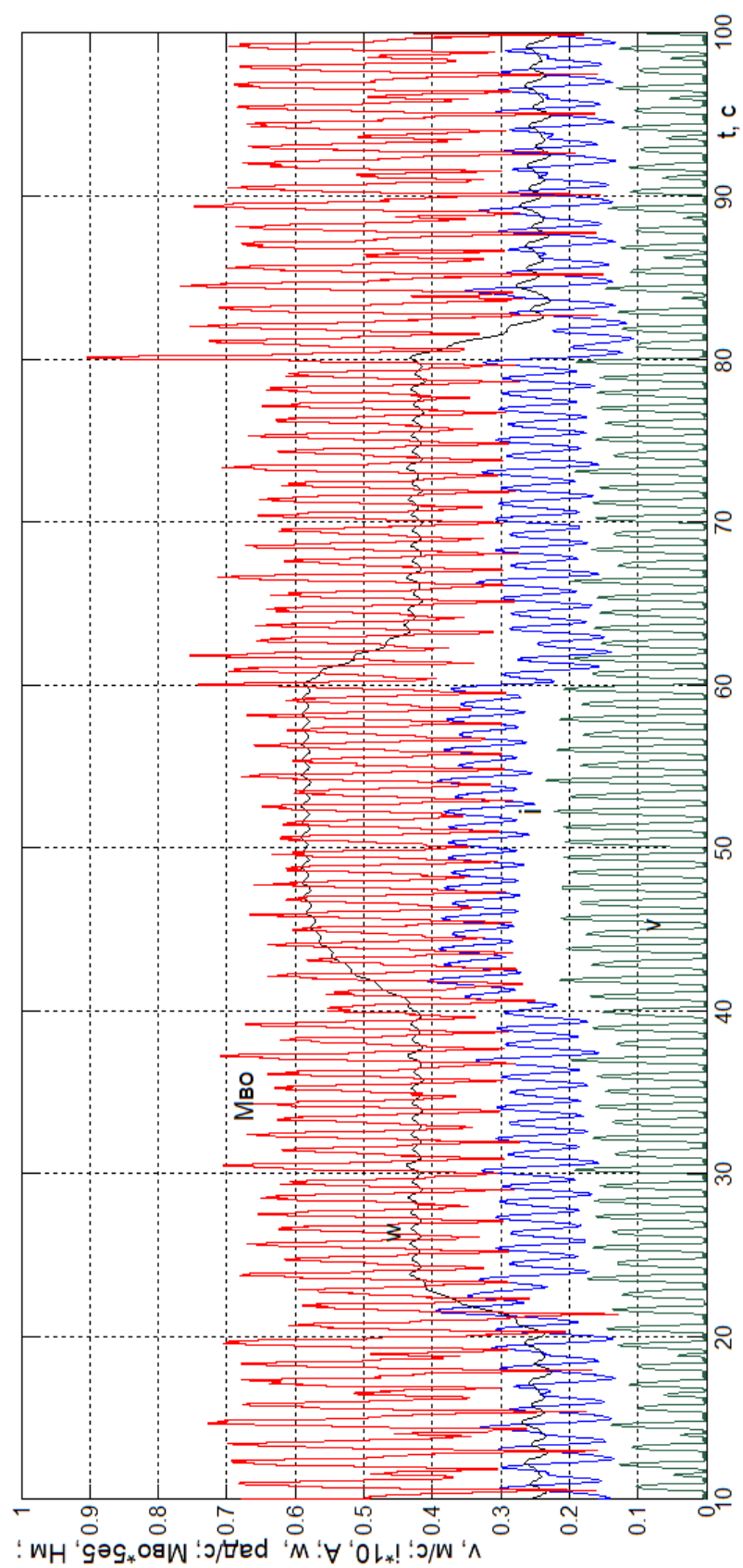


Рисунок – 3.4 Автоматичний режим роботи комбайна з розробленим регулятором при довжині ланцюга 100м

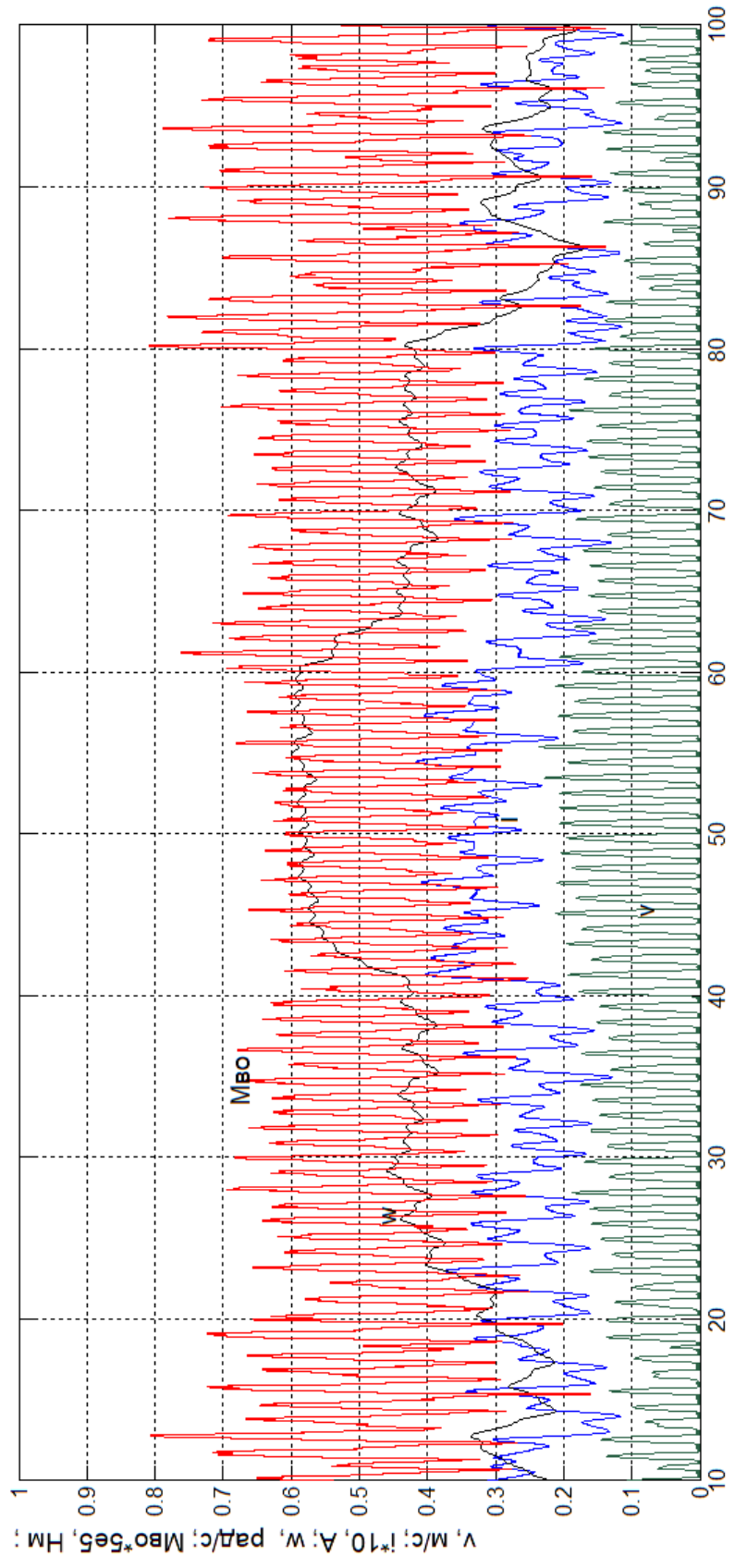


Рисунок – 3.5 Автоматичний режим роботи комбайна з промисловим регулятором при довжині ланцюга 100м

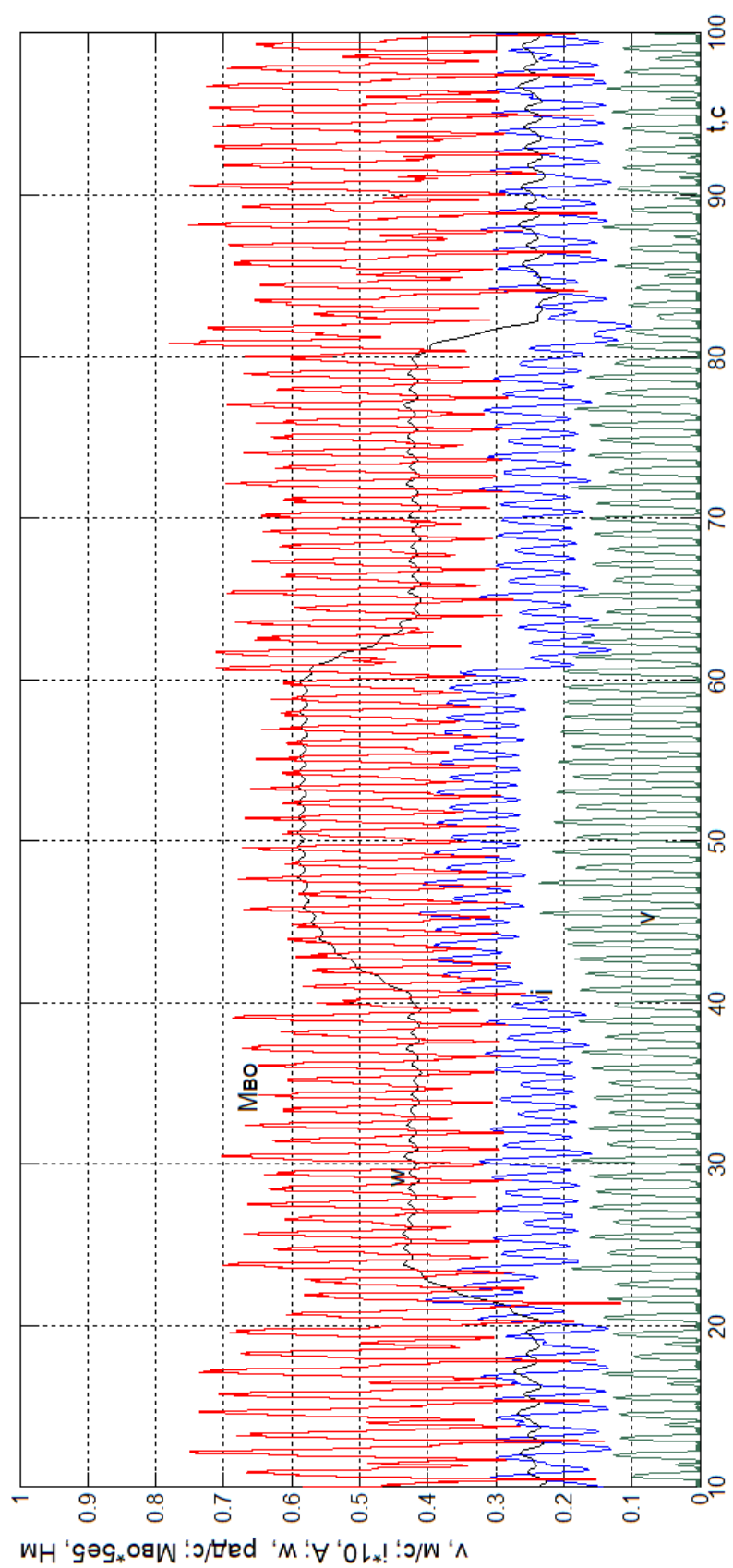
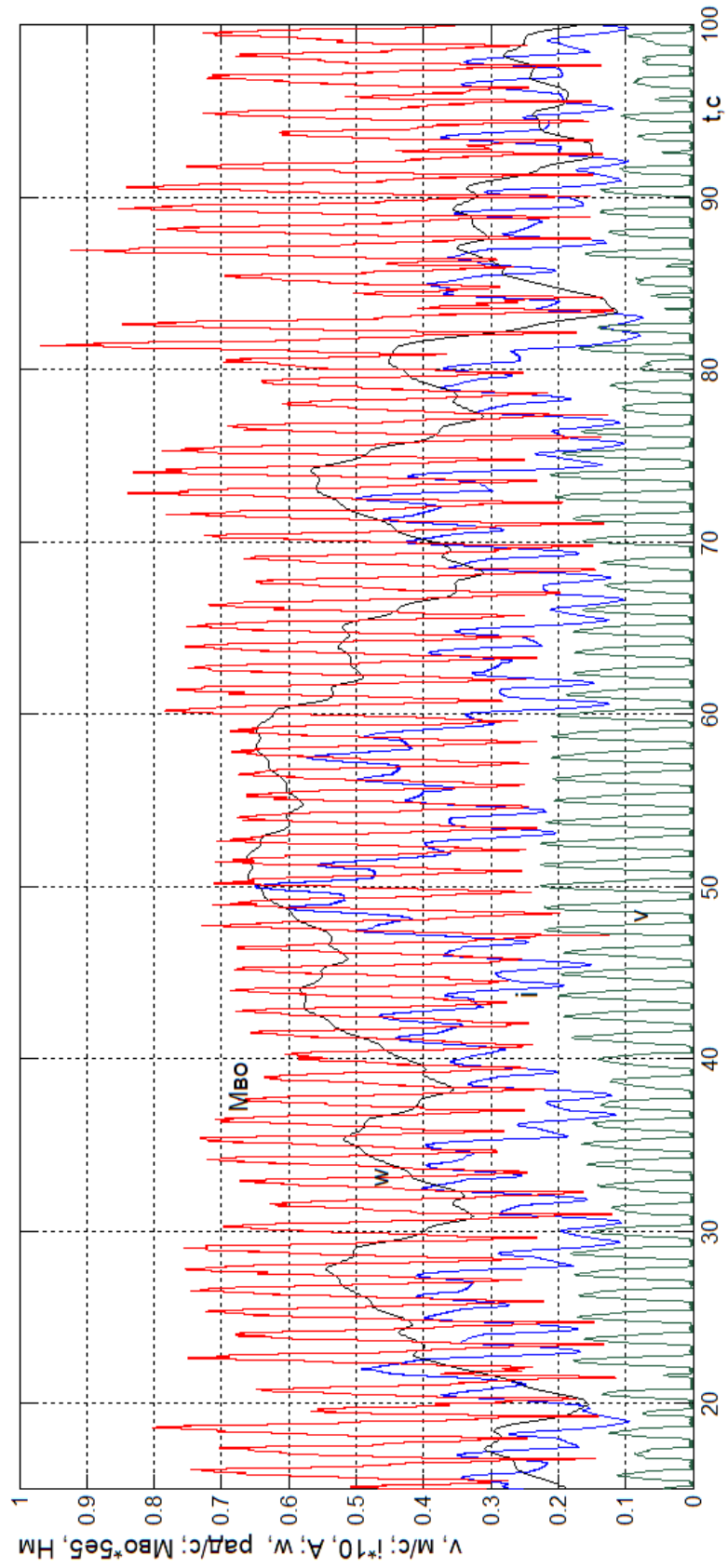


Рисунок – 3.6 Автоматичний режим роботи комбайна з розробленим регулятором при довжині ланцюга 200м





### Рисунок – 3.7 Автоматичний режим роботи комбайна з промисловим регулятором при довжині ланцюга 200м

При вказаному досить жорсткому ланцюзі розробленим регулятором забезпечуються стійкі перехідні процеси без перерегулювання та коливань як при позитивних, так і при негативних стрибках опірності вугілля різанню. В системі з промисловим регулятором наявні невеликі за амплітудою коливання кутової швидкості приводу подачі і, отже, навантаження виконавчих органів, котрі найбільш явно виражені при усталеній кутовій швидкості приводу  $\omega$  0,22 та 0,38 рад/с.

Той же самий модельний експеримент при довжині тягового ланцюга 100 м наведено на рис. 3.4 та рис. 3.5. Робота розробленого регулятора забезпечує якісну стабілізацію навантаження при всіх збуреннях. Збільшена амплітуда коливань кутової швидкості при її значенні 0,25 рад/с (відповідає середній швидкості комбайна 2,25 м/хв.) є наслідком більшої амплітуди коливань пружного зусилля при довжині ланцюга 100м в порівнянні з 20м в попередньому експерименті.

При використанні промислового регулятора мають місце значні коливання кутової швидкості приводу подачі особливо при кутовій швидкості в усталеному режимі 0,25 рад/с та 0,42 рад/с. Такі коливання суттєво знижують втомний знос редукторів приводів подачі й різання.

Модельний експеримент досліджень роботи розробленого та промислового регулятора при довжині тягового ланцюга 200м представлено відповідно на рис. 3.6 та рис. 3.7.

В цих умовах розроблений регулятор забезпечує високі показники якості регулювання навантажень на виконавчих органах комбайна, коливальність відсутня при всіх збуреннях та в усьому діапазоні швидкостей подачі.

З промисловим регулятором має місце високодинамічний коливальний процес на грані втрати системою стійкості при будь яких збуреннях та в усьому діапазоні швидкостей подачі, що робить неприйнятним його використання.

## Висновки по розділу

1. В якості регулятора навантаження привода виконавчих органів комбайна УКД200-250 найбільш доцільно використовувати інтегральний регулятор з коефіцієнтом передачі 1,6. Такий регулятор забезпечує високі показники якості регулювання.

2. Виконані порівняльні дослідження розробленого регулятора та промислового регулятора, що використовується у складі апаратури автоматизації КД-А та РЕТ.

3. Використання промислового регулятора є неприйнятним внаслідок створення ним високодинамічних автоколивальних режимів на грані стійкості САК навантаженням.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1 Потенційні небезпеки і шкідливості на об'єкті дослідження

В даній магістерській роботі досліджується і розробляється система автоматичного управління видобувним комбайном з винесеною системою подачі на основі електромагнітних гальм ковзання.

Видобувні комбайни є основною і важливою вуглевидобувною технікою на шахтах України.

Вугільна шахта – це гірниче підприємство підвищеної небезпеки, під час виробничої діяльності в підземних виробках якої можуть виникнути

небезпечні та шкідливі виробничі чинники (НШВЧ), від дії яких працівники мають бути захищені.

До НШВЧ на підприємстві відносяться:

- рухомі частини виробничого обладнання;
- підвищена температура поверхонь обладнання;
- підвищена температура повітря робочої зони (несприятливий мікроклімат);
- підвищений рівень шуму та вібрації від обладнання;
- підвищене значення напруги в електромережі;
- підвищений вміст метану, вугільного пилу;
- значна фізична напруга;
- відсутність або нестача природного освітлення.

Комбайн експлуатується згідно з вимогами «Правил техніки безпеки, що діють, для вугільних шахт», технічних стандартів для експлуатації електрообладнання у вугільних шахтах.

При виїмці пластів небезпечних по раптових викидах вугілля і газу застосовується дистанційне управління комбайном.

Перевірку стану вузлів комбайна, ремонт і інші регламентні роботи на комбайні робляться лише після виключення машини, відключенні енергії на головному роз'єднувачі, виключенні механічної муфти зчеплення, а в похилих виробках після закріплення комбайна від випадкового сповзання, наприклад опусканням поворотних редукторів на ґрунт лави.

При експлуатації, реалізації регламентних робіт і наладці комбайна дотримуються наступні заходи:

— комбайн застосовується лише згідно з його призначенням, умовами вживання, і керівництвом з експлуатації;

— обслуговуючий персонал проходить спеціальне навчання, знає керівництво з експлуатації комбайну, конструкцію комбайну і правила обслуговування і догляду за машиною;

— обслуговуючий персонал комбайна навчається і перевіряється з теоретичних знань і практичних здібностей, необхідних для управління і обслуговування машини;

— обслуговуючий персонал доказовим способом ознайомлений з Правилами по техніці безпеки для вугільних шахт;

— обслуговуючий персонал дотримується Правил по техніці безпеки для вугільних шахт і застосовує призначені для цього засоби особистого захисту (індивідуальні захисні пристосування);

— комбайн приводиться в рух лише після перевірки стану робочого місця і посвідчення, що це безпечно в усіх відношеннях: можливість травми людей і пошкодження обладнання;

— технічний стан комбайна періодично перевіряється, а результати кожної перевірки записуються в журналі перевірок;

— експлуатація комбайна з пошкодженими електричними або механічними модулями і деталями строго забороняється;

— для ремонту використовуються лише оригінальні запасні частини виготовлені виробником комбайна.

Комбайном управляє лише оператор (машиніст або його помічник). Підключення, ремонт або наладку електрообладнання виконує лише спеціально навчений електрослюсар.

Змашувальні роботи виконує спеціально навчений гірник. Напірні шланги і інші елементи гідравліки захищаються від механічного пошкодження, оскільки це може бути небезпечним для людей і системи управління.

При доповненні, випуску або заміні гідрорідини застосовуються індивідуальні засоби захисту: окуляри, гумові рукавички, фартухи і так далі.

В більшості випадків травматизму очисним комбайном відбувається при раптовому включенні комбайна. Включення комбайна без попередження строго забороняється!

При ремонті електрообладнання вимикається несподіване включення енергії, наприклад роз'єднанням ланцюга в 2-х місцях: на пускачі і головному вимикачі. У пускача знаходиться черговий, а на його важелі таблиця: «Не включати – працюють люди!».

Експлуатація комбайна без справної і включеної системи охолодження електродвигунів і системи зрошування для подавлення вугільного пилу і можливості займання газу суворо забороняється.

Всі попереджувальні таблиці мають бути помітними, однозначними і зрозумілими.

При роботі гірських машин і механізмів виникають виробничі шуми і вібрації. Робота вугільних і прохідницьких комбайнів і врубових машин супроводжується високо і середньочастотним шумом з інтенсивністю 90-105 дБ. Значний шум і вібрація відзначаються при роботі ручних пневматичних і електричних інструментів.

Повітря вугільних шахт може забруднюватися різними газами і отруйними речовинами, що зазвичай утворюються при вибухових роботах. Це в першу чергу окисел вуглецю і оксиди азоту.

При порушенні встановленого режиму провітрювання забоїв концентрація цих газів може у багато разів перевищувати гранично допустимі величини. При застосуванні детонаторів, що містять гримучу ртуть і азид свинцю, в атмосферу вугільних шахт можуть поступати з'єднання свинцю і ртуті в кількостях, що перевищують допустимі нормативи.

Рівні освітленості, що створюються переносними акумуляторними світильниками, якими користуються робітники в лавах і підготовчих забоях, непостійні і знаходяться в межах від 7 до 12 лк.

Вимушене напружене положення тіла, іноді в мокрих виробках, багато в чому визначає і захворюваність підземних робітників : простудні й гнійничкові хвороби, захворювання м'язів, суглобів і периферичної нервової системи, травматизм.

Основним засобом оздоровлення умов праці є впровадження нових, передових технологій видобутку вугілля (безлюдна виїмка), а також повна механізація і автоматизація основних робіт з дистанційним управлінням, застосування нових машин, що зменшують дію на працюючих пилу, шуму, вібрації та ін.

Боротьба з основною професійною шкідливістю – пилом – має йти по лінії впровадження на шахтах комплексного знепилювання. Комплекс включає: нагнітання води у вугільний пласт (при роботі комбайнів і врубових машин), гідрогатку, водяні завіси і туманозрошувачі при вибухових роботах, мокре буріння, застосування пилозмочуючих добавок, зрошування форсунки при навантажувально-перевантажувальних роботах та ін. Важливе значення має раціональна вентиляція з оптимальними швидкостями провітрювання (0,8-1,6 м/сек). У ряді випадків доцільне застосування протипилових респіраторів «Астра- 2, РПК, Лепесток».

Для зменшення виробничих шумів і вібрацій потрібні конструктивні і спеціальні заходи: звуко і віброізоляційні амортизуючі прокладення, що гасять вібрації каретки на перфораторах, глушники на пневматичних машинах і інструментах та ін.

Велике значення мають попередні і періодичні медичні огляди, що дозволяють виявити ранні стадії професійних захворювань.

Дослідження САУ системою подачі очисного комбайна з винесеним приводом подачі, що розробляється в магістерській роботі, на стадії свого проектування, моделювання та програмування передбачає застосування персонального комп'ютера (ПК) – ноутбука або стаціонарного комп'ютера, тому необхідно створити сприятливі умови роботи та робоче місце для користувача ПК.

До основних шкідливих та небезпечних факторів, пов'язаних з роботою на персональному комп'ютері відповідно ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы», НПАОП 0.00–1.28-10 «Правила охорони праці при експлуатації ОМ» належать: напруга зорових органів та пов'язане з нею перевтомлення; значне навантаження на кисті рук та пальці; тривале знаходження в сидячій позі, що викликає застійні явища в організмі; випромінювання різного виду (рентгенівське, електромагнітне, інфрачервоне, статистичні поля); механічні шуми, пов'язані з роботою кулера, дискового приводу, оргтехніки; іонізація повітря; виділення в повітря робочого приміщення різних хімічних речовин (озон, триметілфосфат, біфеніли).

До психологічно шкідливих факторів, які впливають на людину при роботі з комп'ютером можна віднести розумову напругу та нервово-емоційне перевантаження, які виникають внаслідок підвищеної концентрації уваги.



Усі ці фактори негативно впливають на здоров'я користувачів ПК та сприяють виникненню професійних захворювань:

- комп'ютерний зоровий синдром;
- радіохвильова хвороба;
- синдром висихання рогівки ока;
- кистьовий тунельний синдром;
- захворювання шкіри;
- захворювання кишкового тракту;
- серцево-судинні захворювання.

#### 4.2 Заходи щодо поліпшення умов праці користувача ПК

Для зменшення шкідливого впливу негативних факторів на користувачів ПК проектом пропонується вжити заходів щодо поліпшення їх умов праці. Розміщення робочих місць з ПК у підвальних приміщеннях та на цокольних поверхах заборонено. Кімната, у якій розташоване робоче місце з ПК має природне освітлення, яке здійснюється через світлові прорізи, орієнтовані переважно на північ чи північний схід. Віконні прорізи такого приміщення обладнані регульованими пристроями (жалюзі, завіски, зовнішні козирки).

Також приміщення обладнане системою опалення, кондиціонування повітря, або припливно-витяжною вентиляцією для забезпечення оптимальних показників мікроклімату.

Загальний контур заземлення будівлі виводиться через розетку на кожне робоче місце з ПК.

Забороняється для оздоблення інтер'єру приміщень з ПК застосовувати полімерні матеріали (деревинно-стружкові плити, шпалери, що миються, рулонні синтетичні матеріали, пластуватий паперовий пластик тощо), що виділяють у повітря шкідливі хімічні речовини.

У приміщеннях, де розташовано монітори, потрібно виконувати заходи щодо боротьби зі статичним полем.

Найбільш простим способом відповідно до рекомендацій є підтримка відносної вологості повітря на рівні 50-60%, заземлення усіх приладів, а також використання для підлоги антистатичного ліноліуму.

Площа на одне робоче місце з ПК відповідно ГОСТ 12.2.032-78, ССБТ. «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» має становити не менше ніж 6,0 м<sup>2</sup>, а об'єм не менше ніж 20,0 м<sup>3</sup>. Відстань від робочого місця з ПК до стіни з вікном повинна становити не менше ніж 1,5 м; від інших стін – на відстані 1 м, а відстань між столами – 1,5 м.

#### 4.2.1 Організація робочого місця користувача ПК

Проектування робочих місць ПК відноситься до числа важливих проблем ергономічного проектування в області обчислювальної техніки. Планування робочого місця здійснюється на основі ГОСТ 12.2.032-78 і СанПіН 2.2.2./2.4.1340-03 [4.2, 4.3]. Правильна організація робочого місця, може знизити або звести нанівець більшу частину небезпечних і шкідливих факторів, що впливають на користувача ПК.

Існують певні ергономічні вимоги, що стосуються обстановки, що оточує робоче місце користувача ПЕВМ, такі як – вимоги до освітленості, рівня шуму, температури навколишнього середовища, вологості.

#### 4.2.1.1 Освітлення робочого місця користувача ПК

Правильно спроектоване і виконане освітлення покращує умови зорової роботи, знижує стомлюваність, сприяє підвищенню продуктивності праці, благотворно впливає на виробниче середовище, надаючи позитивну психологічну дію на працюючого, підвищує безпеку праці і знижує травматизм.

Згідно СНіП 11-4-79 в приміщеннях, де встановлені комп'ютери необхідно застосувати систему комбінованого освітлення.

При виконанні робіт категорії високої зорової точності (найменший розмір об'єкта розрізнення 0,3 ... 0,5 мм) величина коефіцієнта природного освітлення (КПО) повинна бути не нижче 1,5%, а при зоровій роботі середньої точності (найменший розмір об'єкта розрізнення 0,5 ... 1,0 мм) КПО повинен бути не нижче 1,0%. В якості джерел штучного освітлення звичайно використовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ або ДРЛ, які попарно об'єднуються в світильники, які повинні розташовуватися рівномірно над робочими поверхнями.

Вимоги до освітленості в приміщеннях, де встановлені комп'ютери, наступні: при виконанні зорових робіт високої точності загальна освітленість повинна складати 300лк, а комбінована – 750лк. Аналогічні вимоги при виконанні робіт середньої точності – 200 і 300лк відповідно.

Крім того все поле зору повинне бути освітлено достатньо рівномірно – це основна гігієнічна вимога. Іншими словами, ступінь освітлення приміщення і яскравість екрану комп'ютера повинні бути приблизно однаковими, тому що яскраве світло в районі периферійного

зору значно збільшує напруженість очей і, як наслідок, призводить до їх швидкої стомлюваності.

При необхідності, залежно від вирішуваних завдань, робоче місце користувача ПК оснащується індивідуальним джерелом освітлення.

Розрахунок освітленості для робочого міста користувача ПК представлений у розділі 4.2.3

#### 4.2.1.2 Шум на робочому місті користувача ПК

Шум погіршує умови праці, чинячи шкідливу дію на організм людини. Працюючі в умовах тривалої шумової дії випробовують дратівливість, головні болі, запаморочення, зниження пам'яті, підвищену стомлюваність, зниження апетиту, біль у вухах і т.д. Такі порушення в роботі ряду органів і систем організму людини можуть викликати негативні зміни в емоційному стані людини аж до стресових. Під впливом шуму знижується концентрація уваги, порушуються фізіологічні функції, з'являється втома у зв'язку з підвищеними енергетичними витратами і нервово-психічним напруженням, погіршується мовна комутація. Все це знижує працездатність людини і її продуктивність, якість і безпеку праці. Тривала дія інтенсивного шуму (вище 80 дБ) на слух людини приводить до його часткової або повної втрати.

Шум, що виробляється яким-небудь пристроєм, що входить до складу робочої станції враховується і обмежується на рівні, що не приводить до втрати уваги користувача ПК на робочому місці і не заважає сприйняттю голосу. У місцях, де важливо підвищену увагу або можливість спілкування голосом, максимальний рівень шуму обмежений – 55 дБ, а для звичайних робочих місць – 60 дБ.

Шумляче обладнання (АЦПУ, принтери і т.д.) встановлюються на віброізолюючі поверхні автономно від робочого місця користувача ПК. Як віброізолююча поверхня використовується гума, повсть, пробка, м'які килимки з синтетичних матеріалів.

Також для зниження рівня шуму стіни і стеля приміщень, де встановлені комп'ютери, облицьовані звукопоглинальними матеріалами.

Розрахунок рівня шуму на робочому місці користувача ПК представлений у розділі 4.2.4

#### 4.2.1.3 Параметри мікроклімату робочого міста користувача ПК

Обчислювальна техніка – є джерелом істотних тепловиділень, що може привести до підвищення температури і зниження відносної вологості в приміщенні, де встановлені комп'ютери. У таких приміщеннях повинні дотримуватися певні параметри мікроклімату.

На робочому місці користувачів ПК забезпечуються оптимальні параметри мікроклімату відповідно до СанПіН 2.2.2./2.4.1340-03.

Роботи на ПК по тяжкості і енерговитратам належать до категорії – легкі фізичні роботи (1а, 1б). До категорії 1а належать роботи вироблювані сидячи і що не вимагають фізичної напруги, при яких енерговитрати складають до 120 ккал/ч. При виконанні таких робіт, температура повітря в холодний період року не більше 22–24°C, в теплий період року не більше 23–25°C. До категорії 1б належать роботи, вироблені сидячи, стоячи або які пов'язані з ходьбою і супроводжуються деякою фізичною напругою, при яких енерговитрати становить від 120 до 150 ккал/г. При виконанні таких робіт, температура повітря в холодний період року 21-23 ° С, в теплий період 22-24 °С. Відносна вологість на робочих місцях – 40-60 відсотків, а

швидкість руху повітря – не більше 0,1 м/с. Для забезпечення достатнього постійного і рівномірного нагрівання повітря в приміщеннях в холодний період року використовується опалення. Для опалення приміщень, де розташовуються ПК використовуються водяні, повітряні і панельно-променисті системи центрального опалення. Місцеве опалення в приміщеннях з ПК не застосовують.

Для підвищення вологості повітря в приміщеннях з ПК слід застосовувати зволожувачі повітря, що заправляють щодня дистильованою або прокип'яченою питною водою.

Для забезпечення встановлених норм метеорологічних параметрів і чистоти повітря в приміщеннях з ПК обладнуються системи вентиляції або кондиціонування повітря.

Приміщення для роботи з ПК обладнуються ефективною припливно-втяжною вентиляцією. З метою підтримки параметрів мікроклімату в допустимих межах, що забезпечують надійну роботу ПК, а також комфортні умови роботи користувачів ПК застосовується кондиціонування повітря. У приміщеннях, де виробляють роботи з ПК, виділяється більша кількість теплоти. Тому кондиціонери, обслуговуючі приміщення з ПК, працюють постійно тільки на охолодження.

#### 4.2.2 Планування і оснащення робочого місця користувача ПК

Робоче місце це оснащене технічними засобами (засобами відображення інформації, органами управління, допоміжним обладнанням) простір, де здійснюється діяльність користувача ПК.

Необхідно щоб робоче місце людини, що працює на ПК відповідало наступним заходам:

- обладнання робочого місця (стіл, стілець, підставка для ніг) – спеціальної конструкції, що забезпечує можливість індивідуального регулювання;

- сидіння і спинка стільця покриваються напівм'якими матеріалами, що не електризуються;

- розташування робочих поверхонь забезпечує узгодженість компонування робочого місця і маршруту рухів, а також достатню легкість для стеження за робочими операціями;

- освітленість на поверхні столу в зоні розміщення робочого документу – 300-500 лк (при комбінованому освітленні).

Для зменшення шкідливого впливу негативних факторів проектом пропонується щоб робоче місце з ПК відповідало наступним гігієнічним заходам:

- екран та клавіатура розташовуються на оптимальній відстані від очей користувача, що становить 600...700 мм;

- висота робочої поверхні робочого столу – 800 мм;

- робочий стіл має простір для ніг заввишки не менше ніж 600 мм, завширшки не менше ніж 500 мм, завглибшки (на рівні колін) не менше ніж 450 мм, на рівні простягнутої ноги – ніж 650 мм.

4.2.3 Розрахунок системи загального рівномірного освітлення з люмінесцентними лампами для приміщення, в якому використовуються зорові роботи високої точності

Розрахунок освітленості робочого місця користувача ПК зводиться до вибору системи освітлення, визначенню необхідного числа світильників, їхнього типу і розміщення. Виходячи з цього, розрахуємо параметри штучного освітлення.

Розрахунок освітлення проводиться для кімнати площею 15м<sup>2</sup>, довжина якої 5м, ширина – 3 м. Для розрахунку освітлення скористаємося методом світлового потоку [32].

Для розрахунку загального рівномірного освітлення горизонтальної робочої поверхні використовують метод світлового потоку, що враховує світловий потік, відображений від стелі та стін.

Для визначення кількості світильників визначимо світловий потік, падаючий на поверхню за формулою:

$$F = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{n}, \quad (4.1)$$

де F – світловий потік, що розраховується, Лм;

E – нормована мінімальна освітленість, Лк (визначається по таблиці).

Роботу користувача ПК, відповідно до цієї таблиці, можна віднести до розряду точних робіт, отже, мінімальна освітленість буде E = 300Лк;

S – площа освітлюваного приміщення (у нашому випадку S = 15м<sup>2</sup>);

Z – відношення середньої освітленості до мінімальної (зазвичай приймається рівним 1,1...1,2, нехай Z = 1,1);

K – коефіцієнт запасу, що враховує зменшення світлового потоку лампи в результаті забруднення світильників в процесі експлуатації (його значення залежить від типу приміщення і характеру робіт, що проводяться в ньому, і в нашому випадку K = 1,5);



$n$  – коефіцієнт використання, (виражається відношенням світлового потоку, що падає на розрахункову поверхню, до сумарного потоку всіх ламп і обчислюється в частках одиниці; залежить від характеристик світильника, розмірів приміщення, фарбування стін і стелі, які характеризуються коефіцієнтами відображення від стін ( $R_c$ ) і стелі ( $R_{ст}$ )), значення коефіцієнтів  $R_c$  і  $R_{ст}$  визначимо по таблиці залежностей коефіцієнтів відображення від характеру поверхні:  $R_c = 40\%$ ,  $R_{ст} = 60\%$ . Значення  $n$  визначимо по таблиці коефіцієнтів використання різних світильників. Для цього вичислимо індекс приміщення по формулі:

$$I = \frac{S}{h \cdot (A+B)}, \quad (4.2)$$

де  $S$  – площа приміщення,  $S = 15 \text{ м}^2$ ;

$h$  – розрахункова висота підвісу,  $h = 2.92 \text{ м}$ ;

$A$  – ширина приміщення,  $A = 3 \text{ м}$ ;

$B$  – довжина приміщення,  $B = 5 \text{ м}$ .

Підставивши значення у формулу (4.2) отримаємо:

$$I = \frac{15}{2,92 \cdot (3+5)} = 0,64$$

Знаючи індекс приміщення  $I$ ,  $R_c$  і  $R_{ст}$  за таблицею 7 [22] знаходимо  $n = 0,22$ . Підставимо всі значення у формулу (4.1) для визначення світлового потоку  $F$ :

$$F = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 15 \cdot 1,1}{0,22} = 33750 \text{ Лм}$$

Для освітлення вибираємо люмінесцентні лампи типу ЛБ40-1, світловий потік яких  $F_{л} = 4320 \text{ Лк}$ .

Розрахуємо необхідну кількість ламп за формулою:

$$N = \frac{F}{F_l}, \quad (4.3)$$

де  $N$  – визначуване число ламп;

$F$  – світловий потік,  $F = 33750$  Лм;

$F_l$  – світловий потік лампи,  $F_l = 4320$  Лм.

Підставивши значення  $F = 33750$  Лм і  $F_l = 4320$  Лм у формулу (4.3) знайдемо  $N$ :

$$N = \frac{33750}{4320} = 8 \text{ шт.}$$

При виборі освітлювальних приладів використовуємо світильники типу ОД. Кожен світильник комплектується двома лампами.

#### 4.2.4 Розрахунок рівня шуму на робочому місці користувача ПК

Одним з несприятливих факторів при роботі користувача на ПК є високий рівень шуму, створюваний друкованими пристроями, обладнанням для кондиціонування повітря, вентиляторами систем охолодження в самих ПК.

Для вирішення питань про необхідність і доцільність зниження шуму необхідно знати рівні шуму на робочому місці користувача ПК.

Рівень шуму, що виникає від декількох некогерентних джерел, працюючих одночасно, підраховується на підставі принципу енергетичного підсумовування випромінювань окремих джерел [23] за формулою:

$$L_{\Sigma} = 10 \lg \sum_{i=1}^{i=n} 10^{0,1L_i}, \quad (4.4)$$

де  $L_i$  – рівень звукового тиску  $i$ -го джерела шуму;

$n$  – кількість джерел шуму.

Отриманий результат розрахунку порівнюється з допустимим значенням рівня шуму для даного робочого місця. Якщо результати розрахунку вище припустимого значення рівня шуму, то необхідні спеціальні заходи щодо зниження шуму. До них відносяться: облицювання стін і стелі залу звукопоглинальними матеріалами, зниження шуму в джерелі, правильне планування обладнання і раціональна організація робочого місця користувача ПК.

Рівні звукового тиску джерел шуму, що діють на користувача ПК на його робочому місці представлені в табл. 4.1

Таблиця 4.1 – Рівні звукового тиску різних джерел

Джерело шуму	Рівень шуму, дБ
Жорсткий диск	40
Вентилятор	45
Монітор	17
Клавіатура	10
Принтер	45
Сканер	42

Зазвичай робоче місце користувача ПК оснащено наступним обладнанням: вінчестер в системному блоці, вентилятор(и) систем охолодження ПК, монітор, клавіатура, принтер і сканер.

Підставивши значення рівня звукового тиску для кожного виду обладнання у формулу (4.4), отримаємо:

$$L_{\Sigma}=10 \cdot \lg(104+104,5+101,7+101+104,5+104,2)=49,5 \text{ дБ.}$$

Отримане значення не перевищує допустимий рівень шуму для робочого місця людини яка працює на ПК, рівний 65 дБ (ГОСТ 12.1.003-83). І якщо врахувати, що навряд чи такі периферійні пристрої як сканер і принтер будуть використовуватися одночасно, то ця цифра буде ще нижче. Крім того при роботі принтера безпосереднє присутність користувача ПК не обов'язкова, тому що принтер забезпечений механізмом автоматичної подачі аркушів.

#### 4.3 Забезпечення безпеки при надзвичайних ситуаціях

Надзвичайні ситуації в шахтах виникають через відсутність або збої в роботі систем, що обмежують або запобігають виникненню аварійної ситуації, неефективність методів усунення якої може мати тяжкі наслідки. Таким чином, надзвичайну ситуацію можна визначити як непередбачену подію, загрозливу здоров'ю і благополуччю персоналу або роботі шахти і що вимагає ефективних і своєчасних заходів у відповідь для відвертання або пом'якшення його наслідків.

На шахті можливе виникнення аварійної ситуації з ряду причин:

— аварії в шахтах (вибухи метану і вугільного пилу, пожежі і обвалення гірських порід, недостатньо кваліфіковане кріплення різного

обладнання і заміна кріпів, а також складні умови роботи комбайнів в забоях);

— пожежі в шахтах, викликані займанням конвеєрної стрічки, електрообладнання, а також підриваннями вугілля;

— інші аварійні ситуації, які можуть привести до дуже тяжких наслідків (інверсія повітря у вугільний розріз, відключення електроенергії в шахтах).

В шахті, де можливе раптове надходження у повітря великих кількостей шкідливих або вибухонебезпечних речовин, передбачені системи аварійної вентиляції. Продуктивність аварійної вентиляції спільно з основною при необхідності забезпечує повітрообмін в шахті.

У разі викиду хімічних речовин працівники шахти одягають протигази і респіратори, в терміновому порядку евакуюються за межі шахти.

Основними причинами вибухів в шахті є: порушення правил технічної експлуатації, режимів роботи, а також посадових інструкцій, вимог техніки безпеки внаслідок недотримання трудової та виробничої дисципліни обслуговуючим персоналом, дефекти і несправності конструкторських вузлів обладнання, підриванням вугілля.

Таким чином, на шахті з метою попередження вибуху обладнання та очисного комбайну здійснюється технічний огляд до пуску в роботу, періодично в процесі експлуатації і позапланово. При аварійному порушенні роботи комбайну, він вимикається.

## ВИСНОВКИ

1. В результаті аналізу стану питання встановлено, що існуючий промисловий регулятор навантаження комбайна УКД200-250 має в контурі ключ, котрий здійснює періодичну затримку сигналу управління, що може стати причиною нестійкої роботи САК.

2. Розроблено математичну модель системи автоматичного керування видобувним комбайном УКД200-250 з винесеною системою подачі, яка повністю відтворює процеси формування навантажень в системі.

3. Відповідно до мети та завдань досліджень побудовано в Simulink розроблену модель САК з інтегральним регулятором навантаження та адаптивною системою стабілізації швидкості подачі, а також САК з промисловим регулятором навантаження, що побудований на основі патенту.

4. В якості регулятора навантаження привода виконавчих органів комбайна УКД200-250 найбільш доцільно використовувати інтегральний регулятор з коефіцієнтом передачі 1,6. Такий регулятор забезпечує високі показники якості регулювання.

5. Виконані порівняльні дослідження розробленого регулятора та промислового регулятора, що використовується у складі апаратури автоматизації КД-А та РЕТ.

6. Використання промислового регулятора є неприйнятним внаслідок створення ним викокодинамічних автоколивальних режимів на грані стійкості САК навантаженням.

7. За типовою методикою виконані розрахунки з охорони праці проектувальника систем, що використовує комп'ютерні технології.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Комбайн очистной УКД200-250 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті:  
[http://www.coal.dp.ua/index.php?option=com\\_content&view=article&id=333](http://www.coal.dp.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=333):

gimli&catid=77:2009-05-26-19-58-06

2. Двигун асинхронний вибухозахисний типу ЕКВК 4-220 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті: <http://ukrniive.com.ua/ua/product/ekvk4220.htm>
3. Вынесенная система подачи комбайна УКД200 – 250 типа ВСПК [Електронний ресурс] // ХМЗ «Свет шахтера». – 2008. – Режим доступу до статті: [http://www.shaht.kharkov.ua/files/index\\_1.html](http://www.shaht.kharkov.ua/files/index_1.html).
4. Комплекс технических средств управления очистными комбайнами с вынесенной системой подачи (КТС-М.УХЛ5): [руководство по эксплуатации]. – Донецк: ОАО «Автоматгормаш» им. В.А. Антипова, 2007. – 39 с.
5. Апаратура РЭТ УХЛ5 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті: <http://elektro-mehanik.ru/files/file/45-apparatura-ret-ukhl5/>
6. Ковальчук А.Н. Протокол заводских испытаний блока вынесенной системы подачи БП ВСП за 24.08.2006 г., / А.Н. Ковальчук - ОАО «ХМЗ «Свет шахтера», г. Харьков. 2006. – 35с.
7. Поцепаев В.В. Математическая модель вынесенного привода подачи комбайнов для тонких пластов. – Науч. тр. / ИГД им. А.А. Скочинского, 1983, вып. 218. Механизмы и автоматизация подземной добычи угля, с. 56 – 62.
8. Поцепаев В.В., Хургин З.Я. Исследование динамики комбайнов с вынесенным приводом. – Науч. тр. / ИГД им. А.А. Скочинского, 1985, вып. 234. Средства комплексной механизации подземной разработки угольных месторождений, с. 40 – 45.
9. Хургин З.Я., Поцепаев В.В. Оптимизация параметров автоматизированного вынесенного привода подачи комбайнов. – Науч. тр. / ИГД им. А.А. Скочинского, 1985, вып. 237. Техническое обслуживание и повышение эффективности применения горных машин, с. 17 – 26.
10. Поцепаев В.В. Исследование динамики и выбор рациональных



параметров вынесенного привода подачи очистных комбайнов: дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. / Поцепаев В.В. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1986. – 16 с.

11. Дубинин С.В., Поцепаев В.В. Система автоматической стабилизации скорости вынесенного привода подачи с электромагнитным тормозом скольжения для горных машин. // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Обчислювальна техніка та автоматизація». – 2012. – Вип. 22 (200), с.6 – 10.
12. Поцепаев В.В., Шмидт Ю.Б. Исследование форсированного управления встроенной системой подачи с электромагнитными тормозами скольжения очистных комбайнов// Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Обчислювальна техніка та автоматизація». – 2016. – Вип. №1(29), с.18 – 27.
13. А.с. 1134711 (СССР). Устройство управления вынесенной системой подачи очистного комбайна / Донавтоматгормаш. Авт. изобрет. В.В. Поцепаев, Л.Я. Косяковский, С.В. Дубинин, А.И. Пурис. Заявл. 05.10.83, № 3650336. опубл. в Б.И. 1985, № 2.
14. А.с. 1377386 (СССР). Устройство управления вынесенной системой подачи очистного комбайна / Донавтоматгормаш. Авт. изобрет. С.В. Дубинин, В.В. Поцепаев, Н.Т. Кривущенко, Р.Л. Невлер, Заявл. 15.08.86, № 4106981. опубл. в Б.И. 1988, № 8.
15. А.с. 1461919 (СССР). Способ управления вынесенной системой подачи очистного комбайна / Донавтоматгормаш. Авт. изобрет. С.В. Дубинин, В.В. Поцепаев, Л.Я. Красик, И.Т. Сидоренко Заявл. 04.03.87, № 4204123. опубл. в Б.И. 1989, № 8.
16. Поцепаев В.В., Шмидт Ю.Б., Мамедов Р.Р. Адаптивна система автоматичного управління приводом подачі з електромагнітним гальмом ковзання / В.В. Поцепаев, Ю.Б. Шмидт, Р.Р. Мамедов // Наукові праці ДонНТУ. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. - 2017. - № 1 (00). - С.16-26.

17. Кондрахін В.П. Електричні механізми переміщення очисних комбайнів / В.П. Кондрахін, В.В. Косарєв, М.І. Стаднік. – Під заг. ред. В.П. Кондрахіна. – Донецьк: Технопарк ДонНТУ УНІТЕХ, 2010. – 257 с.
18. Бойко Н.Г. Динамика очистных комбайнов. – Донецьк: РВА ДонНТУ, 2004. – 206 с.
19. Бойко Н.Г. Математическая модель динамической системы очистных комбайнов с вынесенными механизмами подачи // Известия вузов. Горный журнал, 1983. — №3. — С. 71 – 76.
20. Бойко Н.Г. Очистные комбайны для тонких пологих пластов. - Донецьк: ДНВЗ «ДонНТУ». 2010. - 476 с.
21. Бойко Н.Г. Перемещение очистных комбайнов с гибким тяговым органом/ Бойко Н.Г.// Наукові праці ДонНТУ. Серія: Гірничо-електромеханічна. - 2012. - № 23 (196). - С.11-18.
22. А.С. 1076578 СССР. Автоматический регулятор нагрузки горной машины / Л.Я. Косяковский, В.В. Поцепаяев, А.А. Иванин. Научно-производственное объединение по созданию и выпуску средств автоматизации горных машин «Автоматгормаш».- заявл. 28.10.81; опубл. 28.02.84, Бюл. № 8.
23. Цуканов В.Г., Ставицкий В.Н. Регулятор нагрузки для комбайнов с электрической встроенной системой подачи / В.Г. Цуканов, В.Н. Ставицкий // Автоматизація технологічних об'єктів та процесів. Пошук молодих. Збірник наукових праць XII міжнародної науково-технічної конференції аспірантів та студентів в м. Донецьку 17-20 квітня 2012 р. - Донецьк, ДонНТУ, 2012. – с. 256-258
24. Ставицкий В.М., Капустняк Д.Л. Математична модель видобувного комбайну / Д.Л. Капустняк, В.Н. Ставицкий // Автоматизація технологічних об'єктів та процесів. Пошук молодих. Збірник наукових праць XIV міжнародної науково-технічної конференції аспірантів та студентів в м. Донецьку 22-24 квітня 2014 р. - Донецьк, ДонНТУ, 2014. – с. 123-128.

25. Гуляев, В. Г., Жуков К. В. Имитационное моделирование рабочего процесса и обоснование параметров очистного комбайна нового технического уровня // Донбас-2020: наука і техніка - виробництву : Матеріали наук.-практ. конф., 5-6 лютого 2002р., м. Донецьк / Донец. нац. техн. ун-т. - Донецьк, 2002. - С. 156-161.
26. Позин Е.З. Моделирование разрушения углей режущими инструментами / Е.З. Позин, З.Я. Хургин, В.Е. Бурдин и др.: Под ред. Ю.Д. Красникова. – М.: Наука, 1981. – 181 с.
27. Усовершенствованный метод имитации динамических нагрузок привода резания очистного комбайна / В.Е. Бурдин, Б.Д. Либерман, В.В. Поцепаев, В.Л. Советов. - Науч. тр. / ИГД им. А.А. Скочинского, 1984, вып. 228. Параметры и надежность машин для подземной добычи угля, с. 57 – 65.
28. Поцепаєв В.В Математична модель навантажень на виконавчих органах видобувного комбайна / В.В. Поцепаєв // Матеріали сьомої міжнародної науково-технічної конференції "Моделювання і комп'ютерна графіка" 18-24 вересня 2017 року, м. Покровськ, м. Київ . – м. Покровськ: ДонНТУ, 2017. – 285 с. С. 263-266.
29. Кондрахин В.П., Головин В.Л. Математическая модель процесса стружкообразования, учитывающая осевые перемещения исполнительного органа горного комбайна / В.П. Кондрахин, В.Л. Головин // Наукові праці ДонНТУ. Серія: Гірничо-електромеханічна. - 2004. - Вип. 83. – 263с.
30. Кондрахин В.П., Хиценко А.И. Имитационное моделирование усилий резания и подачи при резании горных пород / В.П. Кондрахин, А.И. Хиценко // Вісті Донецького гірничого ін-ту / Донецький національний технічний університет. – Донецьк, 2010. – №2. – С. 150-154
31. ОСТ 12.44.258-84 «Комбайны очистные. Выбор параметров и расчет сил резания и подачи на исполнительных органах. Методика».
32. Куш Г.І. Дослідження та розробка адаптивної системи автоматичного управління приводом в винесеній системі подачі видобувного комбайна:

кваліфікаційна робота магістра / Г.І. Кущ. – Покровськ: ДонНТУ, 2018. – 76с.

33. Подключение С кода к MATLAB посредством MEX-функций.  
[Електронний ресурс] // Режим доступу  
<https://www.youtube.com/watch?v=2ocfAPMwh3M> Дата доступу  
10.03.2017.
34. Костюченко М.П. “Основи охорони праці”, “Охорона праці в галузі”. Ч.1.  
Загальні питання та менеджмент охорони праці: Навч.-методичний  
посібник. – Донецьк: Вид-во ДУІ і ШІ, 2010. – 158с.
35. Безпека промислових підприємств. Загальні положення та вимоги. ДСТУ  
3273-95// Наказ Держстандарту України від 19 грудня 1995 р. № 434.