

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно - інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету)

Автоматика та телекомунікації
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»
В.о. завідувача кафедри автоматичної
та телекомунікацій
_____ Валерій ПОЦЕПАЄВ
(підпис) (ім'я та прізвище)
«__» _____ 2024 р.

Випускна кваліфікаційна робота
бакалавра
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Модернізація системи автоматичного керування винесеним
приводом подачі видобувного комбайна»

Виконав : студент 3 курсу, групи АКТп-21
(шифр групи)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Денисенко В'ячеслав Дмитрович
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник в.о. зав. каф. АТ, к.т.н., доц.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я)

_____ Валерій ПОЦЕПАЄВ
(підпис)

Рецензент зав. каф. ЕІ, к.т.н., доц.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я)

_____ Олександр КОЛЛАРОВ
(підпис)

Нормоконтроль:
_____ ас. Дар'я ЖУКОВСЬКА
(підпис)
06.06.2024р.

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

Студент _____
(підпис)

Луцьк – 2024 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра автоматики та телекомунікацій
(повна назва кафедри)

Захист відбувся _____
(дата)

з оцінкою _____

Секретар ЕК _____
(підпис)

Випускна кваліфікаційна робота
бакалавра _____

Тема: «Модернізація системи автоматичного керування винесеним приводом
подачі видобувного комбайна» _____

Виконавець, студент

гр. АКТп-21

В'ячеслав ДЕНИСЕНКО

(підпис, дата, Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник

Валерій ПОЦЕПАЄВ

(підпис, дата, Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Консультанти:

Валерій ПОЦЕПАЄВ

(підпис, дата, Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)
Ганна Теличко

(підпис, дата, Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтроль

Дар'я ЖУКОВСЬКА

(підпис, дата, Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Луцьк 2024р.

**Державний вищий навчальний заклад
"Донецький національний технічний університет"**

Інститут, факультет Комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації

Кафедра Автоматика та телекомунікації

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

Галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування

(шифр і назва)

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри АТ

Валерій ПОЦЕПАЄВ

«____» _____ 2024 року

З А В Д А Н Н Я

НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Денисенку В'ячеславу Дмитровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Модернізація системи автоматичного керування винесеним приводом подачі видобувного комбайна

керівник роботи:

к.т.н., доцент Поцєпаєв В.В.

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

затверджені наказом від "25" квітня 2024 року № 164.

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи: НДРС, практика _____

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

- 1) Аналіз існуючих систем автоматичного керування видобувним комбайном.
- 2) Проектування системи стабілізації навантаження приводу виконавчих органів видобувного комбайна.
- 3) Структурний та параметричний синтез системи автоматичного керування.
- 4) Заходи з охорони праці.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень).
Структурний та параметричний синтез системи автоматичного керування, математична модель режиму холостого ходу комбайна, імітаційна Simulink модель руху комбайна

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1,2	Поцепаєв В.В., в.о. зав. каф. АТ		
3	Теличко Г.О., доц. каф. АТ		
нормо-			
контроль	Жуковська Д.О., ас. каф. АТ	-	06.06.2024 р.

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз систем автоматичного керування видобувним комбайном	03.05.2024	
2	Синтез САК та дослідження її ефективності	10. 05.2024	
3	Розробка імітаційної моделі САК привода подачі та режиму холостого ходу комбайна	17. 05.2024	
4	Дослідження режимів стопоріння комбайна	24.05.2024	
5	Розробка заходів з охорони праці	01.06.2024	
6	Оформлення роботи	05.06.2024	

Студент _____
(підпис)

В'ячеслав ДЕНИСЕНКО
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Валерій ПОЦЕПАЄВ
(прізвище та ініціали)

Лист зауважень

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

АНОТАЦІЯ

Денисенко В'ячеслав Дмитрович «Модернізація системи автоматичного керування винесеним приводом подачі видобувного комбайна» / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». – ДВНЗ ДонНТУ, Луцьк, 2024.

Пояснювальна записка до бакалаврської роботи містить: 59 сторінок тексту, 20 рисунків, 1 таблицю, 14 посилань на використані джерела.

Об'єкт розробки – система автоматичного керування швидкістю винесеного привода подачі з електромагнітним гальмом ковзання.

Мета роботи – модернізація системи автоматичного керування швидкістю винесеного привода подачі видобувного комбайна, яка підвищує захист привода та керованість комбайна.

Методи й засоби розробки: методи аналізу, та корекції систем теорії автоматичного керування, імітаційне моделювання в системі MATLAB.

Модернізація системи автоматичного керування швидкістю винесеного привода подачі видобувного комбайна спрямована на скорочення тривалості перехідних процесів швидкості за рахунок скорочення перехідних процесів струму в обмотці збудження електромагнітного гальма. Це досягається введенням негативного зворотного зв'язку по струму в контурі стабілізації швидкості, що охоплює обмотку збудження та керований випрямляч. Таке структурне рішення потребує мінімальної зміни конструкції системи автоматичного керування приводом при високій його ефективності з точки зору захисту привода від перевантажень та керованості комбайна.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ, ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ, ШВИДКІСТЬ, ВИДОБУВНИЙ КОМБАЙН, ПРИВОД ПОДАЧІ, ЕЛЕКТРОМАГНІТНЕ ГАЛЬМО КОВЗАННЯ, МОДЕЛЮВАННЯ

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ШВИДКІСТЮ ВИНЕСЕНОГО ПРИВОДА ПОДАЧІ З ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ГАЛЬМОМ КОВЗАННЯ ВИДОБУВНОГО КОМБАЙНА З ВИНЕСЕНОЮ СИСТЕМОЮ ПОДАЧІ	11
1.1 Керування видобувним комбайном з винесеною системою подачі	11
1.2 Огляд структурних та параметричних рішень системи автоматичного керування швидкістю винесеного привода подачі з ЕГК для скорочення тривалості перехідних процесів швидкості привода	15
Висновки до розділу 1.....	20
1.4 Мета та завдання роботи	21
2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТА СИНТЕЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ШВИДКІСТЮ ВИНЕСЕНОГО ПРИВОДА ПОДАЧІ З ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ГАЛЬМОМ КОВЗАННЯ ВИДОБУВНОГО КОМБАЙНА.....	22
2.1 Математична модель режиму холостого ходу комбайна з винесеним приводом подачі з ЕГК	22
2.2 Структурний та параметричний синтез системи автоматичного керування швидкістю винесеного привода подачі з ЕГК	26
2.2.1 Структурний синтез САК швидкістю винесеного привода з ЕГК.....	27
2.2.2 Параметричний синтез САК швидкістю винесеного привода з ЕГК	29
2.3 Оцінка структурних та параметричних рішень синтезованої системи автоматичного керування швидкістю винесеного привода подачі з ЕГК	30
Висновки до розділу 2.....	34
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАХИСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИНЕСЕНОГО ПРИВОДА ПОДАЧІ В РЕЖИМІ СТОПОРІННЯ КОМБАЙНА.....	36

3.1 Імітаційна Simulink модель руху комбайна з синтезованою С швидкістю привода	36
3.2 Дослідження САК швидкістю в режимах стопоріння комбайна.....	38
Висновки до розділу 3.....	44
ВИСНОВКИ.....	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	46
Додаток А. 4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	48

ВСТУП

Актуальність роботи. Енергетичний комплекс України на теперішній час має суттєвий дефіцит **кам’яно** вугілля. За інформацією компанії ДТЕК [1], яка відповідає за добуток вугілля та виробництво електроенергії, для стабільної роботи ТЕС компанія домовилась про імпорт додаткових 80 тисяч тон енергетичного вугілля з Польщі. Загальний обсяг контрактів на імпорт вугілля складає 357 тисяч тон [1]. За твердженням компанії це дозволить українській енергосистемі надійніше проходити зиму та піки споживання електроенергії. Другим потужним споживачем коксівного вугілля є металургійна промисловість, яка суттєво скоротилась через війну, але залишається важливою складовою української економіки.

Кам’яне вугілля також необхідне для вуглехімії продукти якої використовуються в багатьох галузях виробництва, в тому числі в оборонній промисловості.

Видобуток вугілля на шахтах України ведеться видобувними комбайнами, а зважаючи на те, що близько 90% розвіданих запасів вугілля зосереджено у тонких пологих пластах товщиною 0,8...1,3 метри, їх виїмка здійснюється здебільше комбайнами з винесеною системою подачі. З огляду на це, бакалаврська робота, в якій розглядається питання покращення динамічних характеристик винесеного привода подачі є актуальним завданням.

Об’єкт розробки – система автоматичного керування швидкістю винесеного привода подачі з електромагнітним гальмом ковзання.

Мета роботи – модернізація системи автоматичного керування швидкістю винесеного привода подачі видобувного комбайна, яка підвищує захист привода та керованість комбайна.

Методи й засоби розробки: методи аналізу, та корекції систем теорії автоматичного керування, імітаційне моделювання в системі MATLAB.

Завдання, котрі потрібно вирішити для досягнення мети:

1) Виконати аналіз систем автоматичного керування швидкістю винесеного привода подачі з електромагнітним гальмом ковзання та їх математичних моделей.

2) Розробити математичну та імітаційну модель системи автоматичного керування винесеним приводом подачі та синтезувати новий контур стабілізації швидкості в модернізованій системі.

3) Визначити ефективність та показники якості нової системи автоматичного керування швидкістю.

Практичне значення результатів роботи. Модернізовану систему автоматичного керування швидкістю видобувних комбайнів з винесеною системою подачі доцільно використати при модернізації серійної промислової системи або при створенні нової апаратури автоматизації.

Апробація роботи. Більшість результатів бакалаврської роботи доповідалася та обговорювалася на семінарах кафедри Автоматики та телекомунікацій ДонНТУ.

Структура та обсяг бакалаврської роботи. Робота містить: анотацію, вступ, три розділи з висновками, загальні висновки по роботі, перелік посилань та додаток. Обсяг роботи складає 59 сторінок, 20 рисунків, 1 таблицю, 20 посилань на використані літературні джерела.

1 АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ШВИДКІСТЮ ВИНЕСЕНОГО ПРИВОДА ПОДАЧІ З ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ГАЛЬМОМ КОВЗАННЯ ВИДОБУВНОГО КОМБАЙНА З ВИНЕСЕНОЮ СИСТЕМОЮ ПОДАЧІ

1.1 Керування видобувним комбайном з винесеною системою подачі

Функціональна схема керування видобувним комбайном, яка багатократно використовується різними авторами, наприклад, [2,3] для пояснення роботи системи автоматичного керування (САК) комбайном з винесеною системою подачі (ВСП), показана на рис. 1.1.

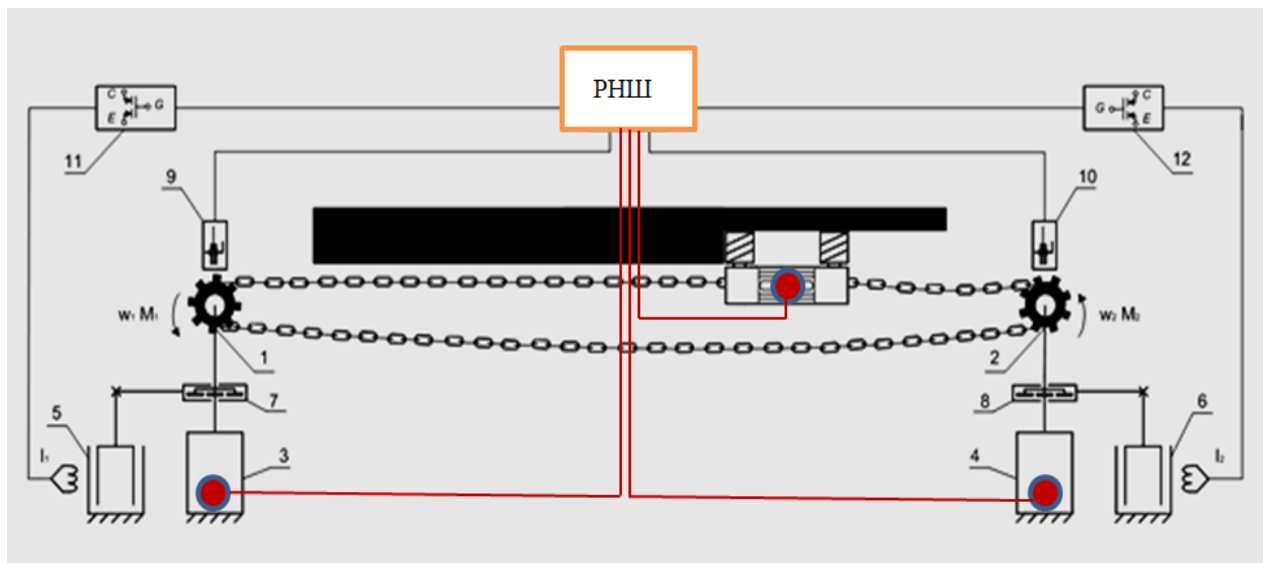


Рисунок 1.1 – Функціональна схема керування видобувним комбайном з винесеною системою подачі

ВСП складається з двох ідентичних винесених на штрек приводів подачі, приводні зірки яких об'єднані тяговим ланцюгом. У верхній частині таким чином утвореного замкнутого ланцюгового контуру закріплено комбайн. Являє собою замкнутий ланцюговий контур, у верхній частині якого знаходиться видобувний комбайн. Ділянка ланцюга між комбайном та приводом подачі, в напрямку якого рухається комбайн, називається робочою

гілкою. Ділянка ланцюга між комбайном та приводом подачі, від якого рухається комбайн, верхньою холостою гілкою, Нижня частина ланцюга між приводами називається нижньою холостою гілкою. Привод подачі за напрямком руху називається тягнучим, протилежний – приводом підтягування.

Швидкість подачі комбайна визначається кутовою швидкістю тягнучого привода. Привод підтягування призначений для переміщення нижньої холостої гілки тягового ланцюга і не має втручатися в роботу тягнучого привода при регулюванні швидкості останнього. При зміні напрямку руху комбайна на протилежний тягнучий привод та привод підтягування міняються місцями.

Кожен винесений привод має наступний склад: приводна зірка 1 (2), асинхронний електродвигун 3 (4), електромагнітне гальмо ковзання (ЕГК) 5 (6) з обмоткою збудження I_1 (I_2), диференціальний планетарний редуктор 7 (8), датчик кутової швидкості привода 9 (10) [4], керований випрямляч 11 (12), що забезпечує зміну струму в обмотці збудження від 0 до 8 А. для виконання модернізації САК швидкістю привода послідовно з обмоткою збудження має бути включений датчик струму збудження з активним опором 1 Ом.

Крутний момент та кутова швидкість винесеного привода регулюється величиною струму в обмотці збудження ЕГК. Тобто, останнє є варіатором швидкості привода подачі і, отже, варіатором швидкості подачі комбайна.

Для контролю навантаження приводів подачі а також привода виконавчих органів комбайна їх електродвигуни оснащені датчиками струму [5], які на функціональній схемі позначені червоними колами.

Принциповою різницею в керуванні приводами є те, що тягнучий привод керується регулятором швидкості, а привод підтягування керується вручну шляхом виставлення струму у обмотці збудження електромагнітного гальма. Величина цього струму визначає зусилля витягування ланцюга у нижній холостій гілці ланцюгового контуру і змінюється декілька разів за

робочу зміну. Це є досить значним недоліком в керуванні винесеною системою подачі.

Привод підтягування працює на природних механічних характеристиках ЕГК, що наведені на рис. 1.2.

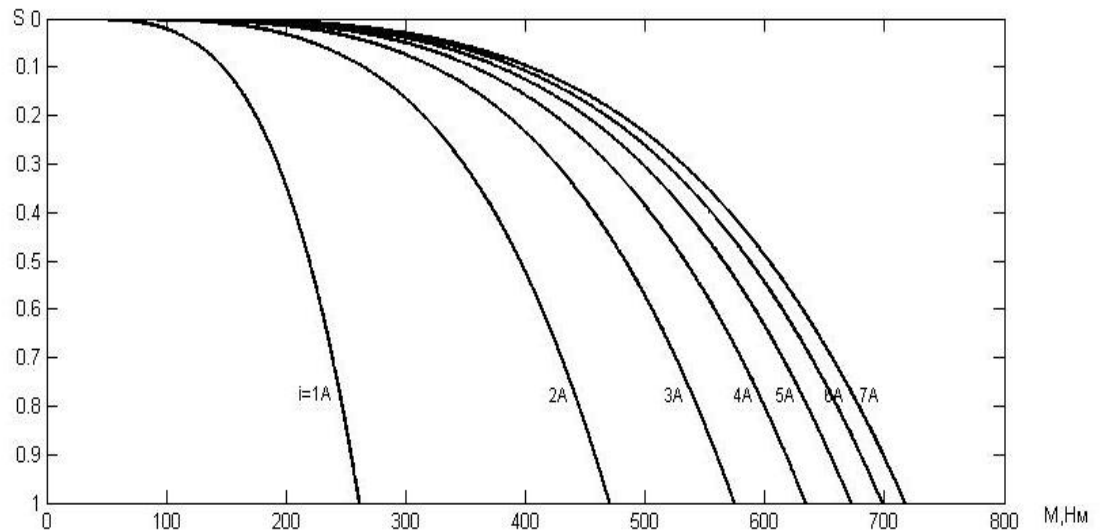


Рисунок 1.2 – Механічні характеристики ЕГК при різних струмах збудження

Вид механічних характеристик показує, що будь яке незначне збільшення сили спротиву в витягуванні нижньої холостої гілки приводить до суттєвого зменшення кутової швидкості привода підтягування. Це приведе до слабину ланцюга на тягнучому приводі з подальшим проковзуванням ланцюга відносно зірки тягнучого привода. Через це зусилля привода підтягування налаштовують з запасом, що заважає керувати регулятору швидкості тягнучого привода швидкістю подачі комбайна.

Регулятор швидкості входить до складу РНШ - регулятора навантаження та швидкості. Регулятор швидкості може працювати як окремий регулятор, коли швидкість тягнучого привода задається з пульта машиніста комбайна або зі штрекового пульта, або може бути підлеглим контуром регулювання швидкості, коли швидкість тягнучого привода задається від регулятора навантаження привода виконавчих органів в автоматичному режимі роботи комбайна [6,7].

Функції системи керування швидкістю тягнучого винесеного привода: стабілізація швидкості привода за рахунок створення жорстких механічних характеристик, іншими словами – відпрацювання збурень по моменту навантаження, відпрацювання впливу завдання по швидкості та захист привода та тягового ланцюга за рахунок виконання режиму відсічки.

Режим відсічки означає зупинку привода якщо навантаження будь якого з приводів перевищить номінальне значення. Особливо цей режим важливий при стопорінні комбайна, коли в приводі подачі виникають високодинамічні моменти навантаження, які перевищують номінальні значення, а в тяговому ланцюзі відповідно такі ж пружні зусилля [8,9]. Такі режими приводять до виходу з ладу перш за все підшипників планетарного диференціального редуктора та пориву тягового ланцюга, особливо, коли він вже зношений тертям об напрямні.

Один з приводів промислової винесеної системи подачі, що виробляється харківським заводом гірничого обладнання «Світло шахтаря», показано на рис. 1.3

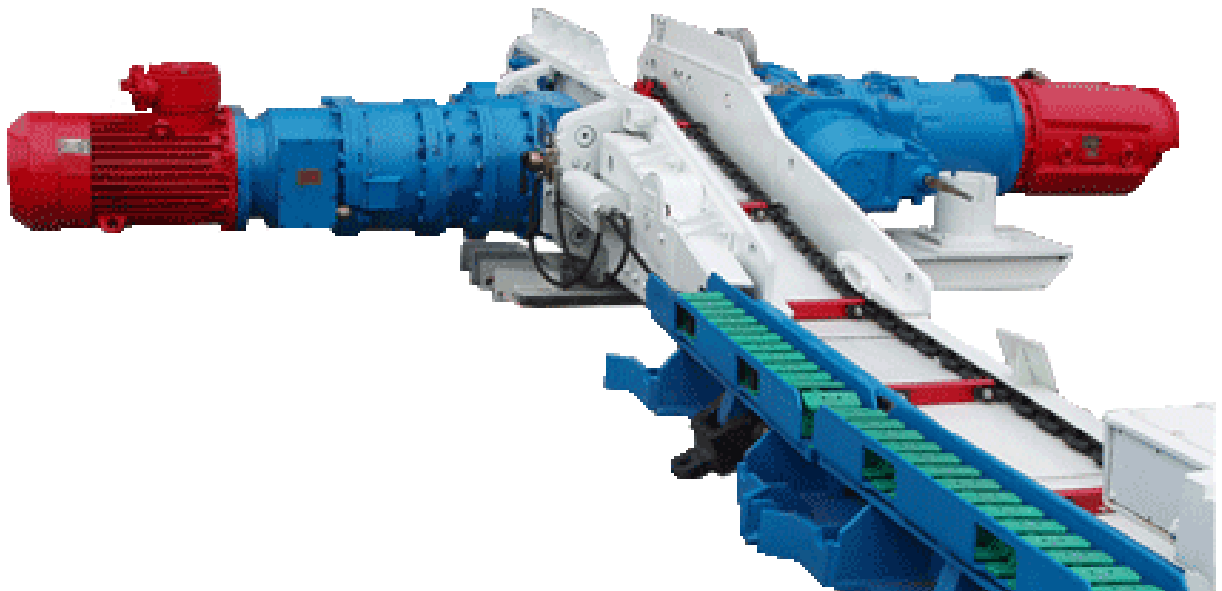


Рисунок 1.3 – Фрагмент винесеної системи подачі ВСПК

1.2 Огляд структурних та параметричних рішень системи автоматичного керування швидкістю винесеного привода подачі з ЕГК для скорочення тривалості перехідних процесів швидкості привода

Тривалість перехідних процесів швидкості привода є надважливим фактором, який визначає рівень перевантаження привода та тягового ланцюга при стопоріння комбайна через перекидання електродвигуна привода виконавчих органів або при наїзді на перешкоду при виконанні комбайном маневрових операцій чи в робочому режимі.

Єдиним елементом винесеного привода з ЕГК, на який може впливати розробник САК швидкістю привода, є обмотка збудження гальма ковзання, яка має значну інерційність та є головною причиною тривалих перехідних процесів при регулюванні швидкості привода.

З огляду на це в роботі [11] запропоновано ефективне рішення прискорення перехідних процесів зниження струму в обмотці збудження ЕГК застосуванням біполярного керованого випрямляча. Це означає, що при впливі завдання на зниження кутової швидкості привода, на обмотку збудження гальма подається зворотна, тобто, негативна напруга. Але при цьому напрям струму не повинен змінитися. Це відслідковується з допомогою датчика струму, який включається послідовно обмоткою збудження електромагнітного гальма ковзання.

Для оцінки ефективності вказаного способу зниження тривалості перехідних процесів зниження швидкості автор проводить порівняльне дослідження промислової та розробленої ним системи при постійному моменті навантаження. Порівняльні дослідження виконані для середнього моменту навантаження та максимальному моменті, який має розвивати привод за вимогами до технічних характеристик. В результаті досліджень встановлено, що САК швидкістю з біполярним керованим випрямлячем має зменшення тривалості перехідного процесу зниження швидкості на 1,5 с в

порівнянні з вихідною САК [11], що підтверджується результатами порівняльного моделювання, наведеними на рис. 1.4 та рис. 1.5.

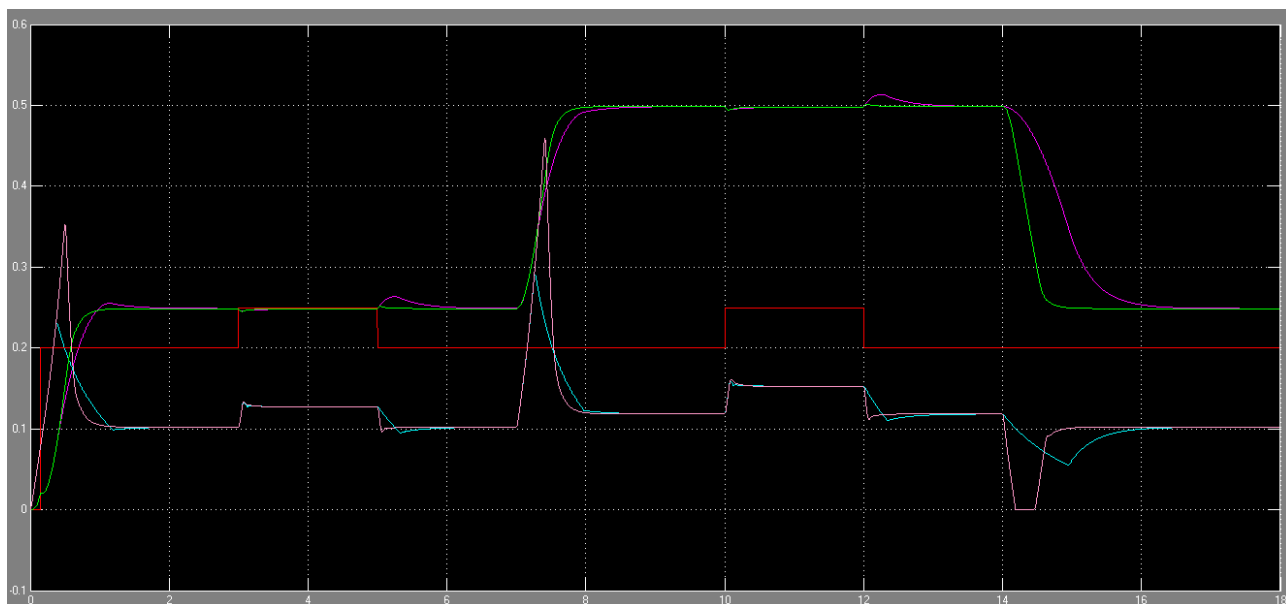


Рисунок 1.4 – Порівняльне дослідження перехідних процесів у вихідній та синтезованій САК приводом подачі при середньому моменті навантаження

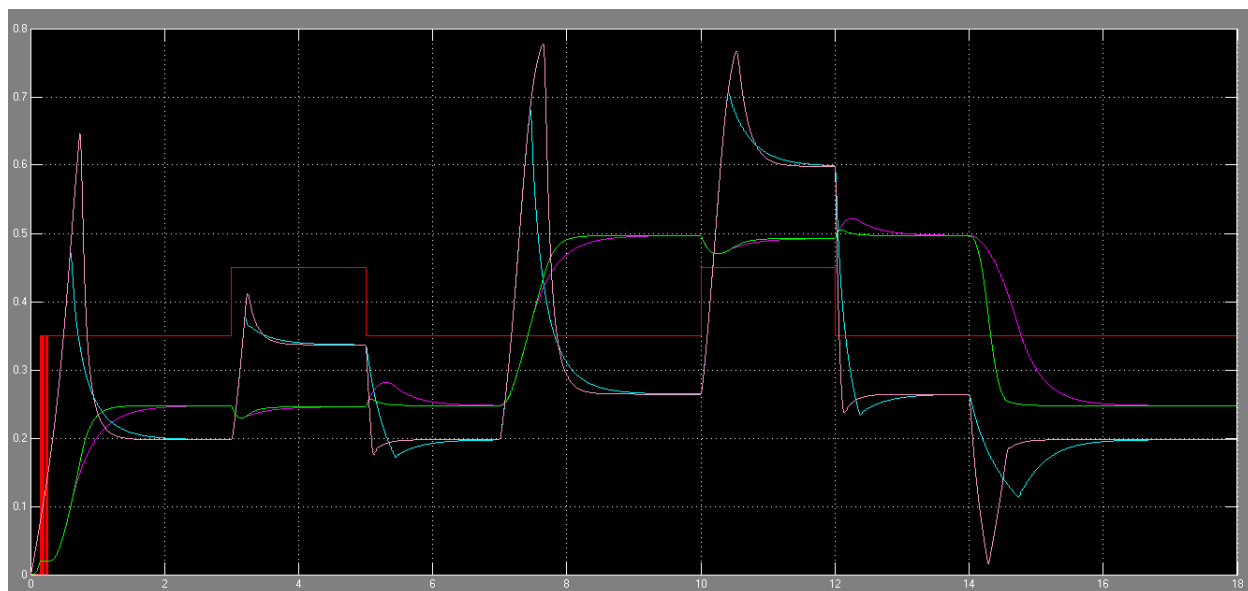


Рисунок 1.5 – Порівняльне дослідження перехідних процесів у вихідній та синтезованій САК приводом подачі при максимальному моменті навантаження

З характеру завершення перехідних процесів швидкості можна бачити, що в синтезованій автором системі налаштування ПД регулятора не ідеальні. А саме – завищений коефіцієнт при похідній сигналу помилки по швидкості, що затягує перехідний процес. Зменшення коефіцієнту при похідній дозволить ще скоротити тривалість перехідного процесу по швидкості при збереженні його монотонності.

Для моделювання привода з ЕГК автор використовує математичну модель, відому ще з роботи [13]. Математична модель має вигляд:

$$\begin{aligned} J\dot{\omega} &= M - M_H, \\ M(i, S) &= M_M \arctg^2(ai) \sqrt[4]{S}, \\ U_T(u) &= Ri + \frac{L_0}{1+(ai)^2} \frac{di}{dt} \\ U_T(u) &= \frac{U}{2} \left(1 + \cos \left(\pi - \frac{u}{u_m} \pi \right) \right) \end{aligned} \quad (1.1)$$

Де U - напруга від трансформатора живлення, що підводиться до керованого випрямляча;

u - сигнал управління на вході керованого випрямляча;

u_m - максимальний рівень сигналу управління на вході керованого випрямляча;

ω – кутова швидкість привода подачі;

M_H – момент навантаження на вихідному валу привода;

R – активний опір обмотки збудження муфти.

J – приведений до вихідного валу момент інерції веденої частини привода.

А математична модель регулятора швидкості

$$\begin{aligned} \varepsilon &= w_z - k_{zz} w \\ \varepsilon_f &= \varepsilon - T \dot{\varepsilon} \\ u_{PD} &= k_r (\varepsilon + k_d \dot{\varepsilon}_f) \end{aligned} \quad (1.2)$$

$$u = \begin{cases} u_{PD}, & |u_{PD}| < u_m, \\ u_m \operatorname{sign}(u_{PD}), & |u_{PD}| \geq u_m \end{cases}$$

де позначено:

ε - сигнал розузгодження по швидкості;

w_z - задана швидкість приводу;

k_{zz} - коефіцієнт передачі зворотного зв'язку;

w - швидкість приводу;

ε_f - фільтрований сигнал розузгодження по швидкості;

k_r - коефіцієнт передачі ПД регулятора;

u_{PD} - сигнал на виході ПД регулятора;

u - сигнал на вході керованого випрямляча.

Таку модель доцільно використати у даній роботі.

Іншим ефективним способом зниження електромагнітної інерційності обмотки збудження ЕГК, є спосіб, застосований у бакалаврській роботі [12]. Тут для зменшення постійної часу використовується охоплення обмотки збудження негативним зворотним зв'язком. Це відомий з теорії автоматичного керування метод корекції аперіодичної ланки першого порядку.

Для визначення ефективності своєї системи автоматичного керування швидкістю приводу з ЕГК автор цієї роботи проводить порівняльні дослідження перехідних процесів струму збудження та кутової швидкості приводу не з вихідною системою, а з системою керування, що розроблена в роботі [11], де використовується біполярний керований випрямляч. Для порівняльних досліджень автором роботи [12] розроблено дві імітаційні моделі САК швидкістю приводу, що виконуються в одному вікні Simulink, представляючи одну модель. Ця модель показана на рис. 1.6. Зазначимо, що математична модель приводу з ЕГК в [12] ідентична моделі, що й в роботі [12].

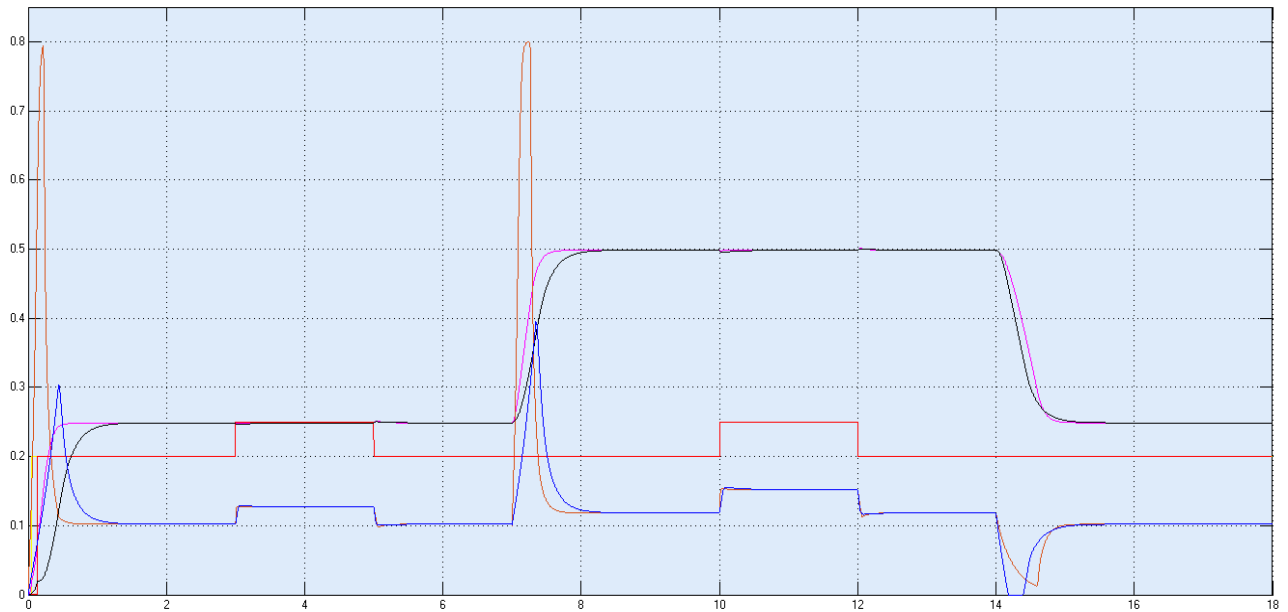


Рисунок 1.7 – Порівняльне моделювання перехідних процесів при двох способах керування швидкістю привода

За результатами моделювання можна сказати, що обидва способи ефективні приблизно в однаковій мірі. Для досягнення кращих результатів доцільно їх об'єднати.

Висновки до розділу 1

1. Виконано критичний огляд існуючих структурних та параметричних рішень САК видобувним комбайном з винесеною системою подачі.
2. Наукові праці останніх років з дослідження та розробці САК комбайнами з ВСП показують відсутність робіт з захисної функції привода подачі з ЕГК.
3. Зменшення тривалості монотонних перехідних процесів швидкості підвищить захист винесеного привода та тягового ланцюга від перевантажень.

1.4 Мета та завдання роботи

Мета роботи – модернізація системи автоматичного керування швидкістю винесеного привода подачі видобувного комбайна, яка підвищує захист привода та керованість комбайна.

Завдання, котрі потрібно вирішити для досягнення мети:

1) Виконати аналіз систем автоматичного керування швидкістю винесеного привода подачі з електромагнітним гальмом ковзання та їх математичних моделей.

2) Розробити математичну та імітаційну модель системи автоматичного керування винесеним приводом подачі та синтезувати новий контур стабілізації швидкості в модернізованій системі.

3) Визначити ефективність та показники якості нової системи автоматичного керування швидкістю.

2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТА СИНТЕЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ШВИДКІСТЮ ВИНЕСЕНОГО ПРИВОДА ПОДАЧІ З ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ГАЛЬМОМ КОВЗАННЯ ВИДОБУВНОГО КОМБАЙНА

2.1 Математична модель режиму холостого ходу комбайна з винесеним приводом подачі з ЕГК

Головною метою бакалаврської роботи є перевірка захисних властивостей системи автоматичного керування швидкістю винесеного привода подачі в режимах стопоріння комбайна при перекиданні привода виконавчих органів та стопорінні через перешкоду, якою може бути верхняк кріпи. При стопорінні комбайна немає принципової різниці в якому режимі перебував комбайн, в робочому чи в режимі холостого ходу під час виконання кінцевих операцій або інших видів робіт, при яких комбайн пересувається на швидкостях більших ніж у робочому режимі. Тому для дослідження режимів стопоріння доцільно використати модель холостого ходу комбайна, досліджуючи тільки пружне зусилля у тяговому ланцюгу та момент навантаження на вихідному валу привода подачі. Різниця в пружному зусиллі та моменті навантаження може бути через різну довжину робочої гілки тягового ланцюга, ступеню зігнутості конвеєра, ступінь зволоженості вугілля. Тобто, через всі чинники, що створюють спротив переміщенню тягового ланцюга.

Математична модель руху комбайна у режимі холостого ходу має вигляд

$$m\ddot{x} = F_{\Pi} + F_{\text{д}} - F_{\text{Т}} \quad (2.1)$$

де:

m – маса комбайна, кг;

x – переміщення корпусу комбайна, м;

F_{Π} - пружне зусилля в робочій гілці тягового ланцюга, Н;

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

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

r – радіус приводної зірки, м;

φ - кут повороту валу привода подачі, рад;

E – погонна жорсткість тягового ланцюга, Н;

L_p - довжина робочої гілки тягового ланцюга, м;

F_d - дисипативна сила в робочій гілці тягового ланцюга, Н;

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

β - коефіцієнт дисипативних втрат, кг/с;

χ - коефіцієнт внутрішнього тертя;

m_u - маса робочої гілки тягового ланцюга, кг;

F_T - сила тертя опор комбайна об напрямні, Н;

$$F_T = Q\mu(\dot{x}), \quad \mu(\dot{x}) = \text{sign}(\dot{x})a_1 e^{-a_2 \dot{x}^2 + a_3 |\dot{x}|}$$

Q - вага комбайна, Н;

$\mu(\dot{x})$ - коефіцієнт тертя опор комбайну об напрямні;

a_1, a_2, a_3 - позитивні константи;

a_2, a_3 - мають розмірності відповідно $\text{с}^2/\text{м}^2$ і $\text{с}/\text{м}$;

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

$$F_b = L_b \kappa_b;$$

κ_b - коефіцієнт питомих втрат, що залежить від зігнутості конвеєра, Н/м;

L_0 - довжина верхньої холостої гілки тягового ланцюга, м;

Математична модель винесеного привода з електромагнітним гальмом ковзання після пуску електродвигуна привода має вигляд

$$\begin{aligned} J\dot{\omega} &= M - M_n, \\ M(i, S) &= M_M \arctg^2(ai) \sqrt[4]{S}, \\ U_T(u) &= Ri + \frac{L_0}{1 + (ai)^2} \frac{di}{dt} \\ U_T(u) &= \frac{U}{2} \left(1 + \cos \left(\pi - \frac{u}{u_m} \pi \right) \right) \end{aligned} \quad (2.2)$$

Де

J – приведений до зірки момент інерції привода подачі;

ω – кутова швидкість приводної зірки;

$M(I, S)$ – приведений до зірки крутний момент на валу привода, Н · м;

$M_n = (F_y + F_\partial + F_p - F_n)r$ - момент навантаження на зірці тягнучого привода, Н · м;

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, що визначається експериментально ;

κ_p - коефіцієнт, що враховує вигини конвеєра;

F_n - зусилля в нижній гілці тягового ланцюга, Н;

i – струм збудження в обмотці гальма;

S – ковзання гальма;

M_M та a – позитивні константи;

$U_T(u)$ – напруга на виході моста керованого випрямляча $U_T(u)$ визначає нелінійну характеристику керованого випрямляча. При використанні лінійного керованого випрямляча, що краще, але не обов'язково

$$U_T(u) = k_{\text{KB}} \cdot u$$

u - сигнал управління від регулятора швидкості на вході керованого випрямляча;

R – активний опір обмотки збудження гальма;

L_0 – індуктивність при ненасиченому магнітопроводі;

k_{KB} – коефіцієнти передачі керованого випрямляча, значення якого буде визначено при синтезі САК.

Математична модель регулятора швидкості як для існуючої системи, так і для синтезованої може бути записана однаково, різниця тільки в рівнях та знаку обмеження u_n при використанні біполярного керованого випрямляча. Модель має вигляд:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \omega_z - k_{zz} \omega \\ u_{PD} &= k_r (\varepsilon + k_d \dot{\varepsilon}) \\ u &= \begin{cases} u_{PD}, & u_n < u_{PD} < u_m \\ u_m, & u_{PD} \geq u_m \\ u_n, & u_{PD} \leq u_n \end{cases} \end{aligned} \quad (2.3)$$

де позначено:

ε - сигнал розузгодження по кутовій швидкості;

ω_z - задана швидкість привода;

k_{zz} - коефіцієнт передачі головного зворотного зв'язку по кутовій швидкості;

ω - кутова швидкість привода;

u_{PD} - сигнал на виході ПД регулятора;

k_r - коефіцієнт передачі пропорційної складової ПД регулятора;

k_d – коефіцієнт при похідній від помилки ε ;

u_n – нижній рівень обмеження сигналу u_{PD} ;

u_m – верхній рівень обмеження сигналу u_{PD} ;

В існуючій САК $u_n = 0$, $u_m = 10$, в синтезованій САК з використанням біполярного керованого випрямляча $u_n = -10$, $u_m = 10$.

Таким чином, визначено математичну модель промислової системи автоматичного керування швидкістю подачі комбайна з винесеним приводом подачі з ЕГК.

2.2 Структурний та параметричний синтез системи автоматичного керування швидкістю винесеного привода подачі з ЕГК

Метою структурного та параметричного синтезу, у чому і полягає модернізація САК швидкістю привода, є скорочення часу перехідних процесів швидкості привода, що по перше покращить керованість комбайна при автоматичному регулюванні навантаження на виконавчих органах, по друге – підвищить захищеність привода подачі та тягового ланцюга, що виникають при стопорінні комбайна під час руху у робочому режимі та при виконанні маневрових операцій у режимі холостого ходу.

Єдиним доступним способом, котрим можливо скоротити тривалість вказаних перехідних процесів, є прискорення перехідних процесів струму в обмотці збудження гальма ковзання. Поки є струм в обмотці, доти на вихідний вал привода гальма передається крутний момент, який уповільнює зменшення швидкості привода.

В регуляторі навантаження та швидкості, який існує, починаючи з першої промислової апаратури автоматизації комбайнів з винесеною системою подачі КД-А [2,3], є так званий режим відсічки. В цьому режимі відсікається керування швидкістю тягнучого привода подачі, тобто, вона знижується до нуля при перевантаженні електродвигуна подачі вище критичного рівня за сигналом датчика струму електродвигуна. При цьому крутний момент привода і, отже його швидкість, мають бути зменшені максимально швидко без відключення електродвигуна. Найшвидшому

зниженню моменту та швидкості заважає інерційність, тобто велика індуктивність, обмотки збудження.

При впливі завдання на збільшення крутного моменту з ціллю компенсації збурень по навантаженню привода збільшенню швидкості зростання крутного моменту також заважає електромагнітна інерційність обмотки збудження ЕГК. Отже, потрібно виконати синтез САК, що скорочує тривалість перехідних процесів струму в обмотці збудження гальма ковзання.

2.2.1 Структурний синтез САК швидкістю винесеного привода з ЕГК

Структурний синтез модернізованої системи заснований на двох методах прискорення перехідних процесів струму в обмотці збудження ЕГК. Перший з них – охоплення аперіодичної ланки першого порядку (інерційної ланки), якою по суті і є обмотка збудження, не зважаючи на залежність її індуктивності від струму, негативним зворотним зв'язком. Цей метод корекції використовувався в роботі [12], де доведено його ефективність для завдання скорочення тривалості перехідних процесів.

Для реалізації зворотного зв'язку по струму збудження необхідно встановити датчик його струму. Таким датчиком може бути відрізок високоомного дроту з опором 1 Ом. При такому опорі напруга на ньому при максимальному струмі 8 А буде 8 В, тобто коефіцієнт передачі такого датчика буде 1. Окрім нього потрібен пристрій гальванічної розв'язки, яким цілком може бути оптична пара.

З теорії автоматичного керування відомо, що в результаті охоплення інерційної ланки негативним зворотним зв'язком її статичний коефіцієнт передачі зменшується у $1 + k \cdot k k_{33}$, де k – коефіцієнт передачі цієї ланки до охоплення зворотним зв'язком, k_{33} – коефіцієнт передачі зворотного зв'язку. Таке зменшення необхідно компенсувати підсиленням сигналу відповідно у $1 + k \cdot k k_{33}$ разів.

Обмотка збудження підключена безпосередньо до виходу керованого випрямляча і охопити її одну зворотним зв'язком апаратно неможливо. Тому негативним зворотним зв'язком охоплюється послідовне включення керованого випрямляча та обмотки збудження. В такій схемі суматор, де до вхідного сигналу додається сигнал зворотного зв'язку по струму, легко реалізувати за допомогою операційного підсилювача.

Вхідним пристроєм керованого випрямляча є фазозсувний пристрій (СІФУ) з діапазоном вхідного сигналу $0 \dots 10$ В. Тому компенсувати послаблення сигналу у $1 + k \cdot k_{зз}$ разів за допомогою додаткового підсилювача з таким же коефіцієнтом передачі на вході керованого випрямляча вкрай небажано тому, що вихідний сигнал регулятора швидкості теж має діапазон $0 \dots 10$ В. Рішенням у цьому випадку є зміна коефіцієнта передачі керованого випрямляча.

Без зворотного зв'язку коефіцієнт передачі за струмом послідовного включення керованого випрямляча та обмотки збудження дорівнює 0,8. Тобто, при максимальному вхідному сигналі на вході керованого випрямляча 10 В струм в обмотці збудження 8 А. Таким же 0,8 він має залишитися після корекції зворотним зв'язком. Коефіцієнт передачі обмотки збудження визначається її активним опором $R=10$ Ом, дорівнює $1/R=0,1$ і є незмінним. Отже, змінити коефіцієнт передачі послідовно включеного керованого випрямляча та обмотки збудження можливо а рахунок зміни коефіцієнта передачі керованого випрямляча. Апаратно така зміна може бути зроблена підвищенням напруги, що підводиться до моста керованого випрямляча і, отже, його вихідної напруги. З огляду на викладене для визначення коефіцієнта передачі керованого випрямляча $k_{кв}$ з урахуванням зворотного зв'язку маємо

$$\frac{k_{кв} \cdot 0,1}{1 + k_{кв} \cdot k_{зз} 0,1} = 0,8 \quad (2.4)$$

Звідки при $k_{зз} = 1$ $k_{кв}=40$. Значення коефіцієнта зворотного зв'язку $k_{зз} = 1$ цілком достатньо, що буде показано далі у наступному підрозділі. При цьому постійна часу зменшується в $1+40*1*0,1=5$ разів.

Другим методом прискорення перехідних процесів струму в обмотці збудження гальма є використання біполярного керованого випрямляча замість однополярного. Під терміном біполярний випрямляч у даному випадку мається на увазі два керованих випрямляча, котрі паралельно підключені до обмотки збудження. Один з них керується позитивною напругою з виходу ПД регулятора, другий, підключений зворотною полярністю до обмотки, керується негативною напругою з виходу ПД регулятора. Застосування цього методу розглянуто в роботі [11], де показано його ефективність для прискорення перехідних процесів струму.

Викладене вище показує, що структура ПД регулятора також має бути змінена через застосування біполярного випрямляча. Умовний підсилювач з обмеженням, який стоїть на виході ПД регулятора, тепер має бути симетричним і мати верхній обмеження $+10$ В, а нижній рівень має бути -10 В.

2.2.2 Параметричний синтез САК швидкістю винесеного привода з ЕГК

Параметричний синтез керуючої структури швидкістю привода, що розглянуто вище, ставить за мету обґрунтування та уточнення її параметрів.

Запишемо вираз (2.4) в наступному вигляді

$$k_{кв} \cdot 0,1 = 0,8 \cdot (1 + k_{кв} \cdot k_{зз} \cdot 0,1) \quad (2.5)$$

Після розкриття скобок та перегрупування маємо

$$k_{кв} \cdot 0,1 - 0,8 \cdot k_{кв} \cdot k_{зз} \cdot 0,1 = 0,8 \quad (2.6)$$

Звідки

$$k_{\text{KB}} = \frac{8}{1-0,8 \cdot k_{\text{зз}}} \quad (2.7)$$

З виразу (2.7) витікає, що $k_{\text{зз}}$ має бути менше ніж 1,25. З огляду на те, що k_{KB} це множник вхідного сигналу керованого випрямляча з максимальним рівнем 10, тобто, вихідна напруга керованого випрямляча складає $10k_{\text{KB}}$, збільшувати $k_{\text{зз}}$ вище значення 1 недоцільно. При $k_{\text{зз}}=1$ $k_{\text{KB}}=40$ напруга на виході керованого випрямляча має бути 400 В. Подальше збільшення $k_{\text{зз}}$, наприклад до значення 1,2, дає незначне зменшення постійної часу обмотки збудження, але потребує напруги на виході моста керованого випрямляча вже 2000 В. Але при цьому подорожчає вартість високовольтних транзисторів керованого моста та й при пошкодженні зворотного зв'язку виникнуть проблеми з захистом від високої напруги постійного струму.

При зменшенні постійної часу у 5 разів зміни налаштувань потребує і ПД регулятор. В промисловій системі коефіцієнт при похідній $k_d=0,35$, який також потрібно відповідно зменшити у 5 разів, тобто, встановити $k_d=0,07$. Також доцільно збільшити коефіцієнт пропорційної складової сигналу помилки з 50 до 100, що також вплине на скорочення тривалості перехідних процесів. Звичайно, вказані нові налаштування необхідно перевірити та уточнити на імітаційній моделі системи автоматичного керування швидкістю привода через її нелінійність.

2.3 Оцінка структурних та параметричних рішень синтезованої системи автоматичного керування швидкістю винесеного привода подачі з ЕГК

Через суттєву нелінійність як власне привода з ЕГК, так і регулятора швидкості (обмеження вихідного сигналу ПД регулятора) є необхідність перевірки зроблених при синтезі структурних та параметричних рішень.

які відтворюють керований випрямляч в моделі синтезованої системи f_tirp та в моделі вихідної системи f_tirp2, показані відповідно на рис. 2.2 та рис. 2.3.

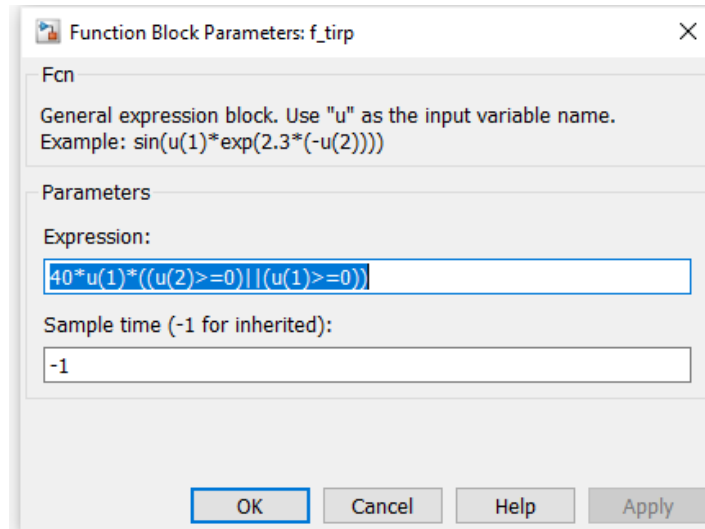


Рисунок 2.2 – Налаштування моделі керованого випрямляча в блоці f_tirp в моделі синтезованої системи

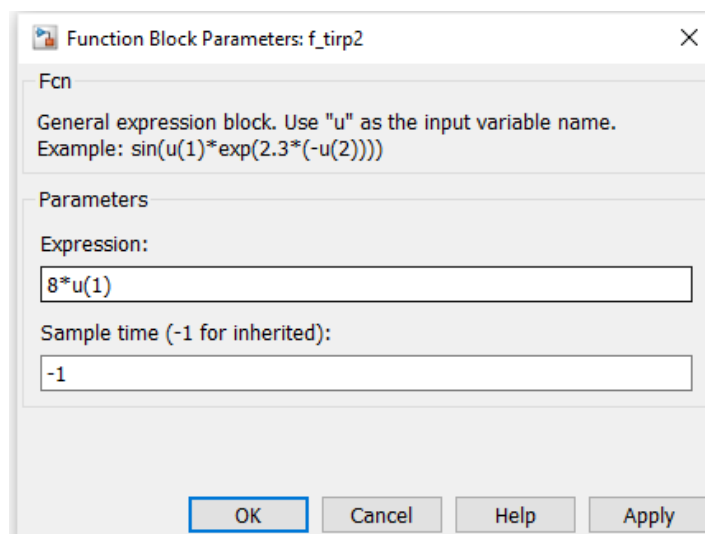


Рисунок 2.3 – Налаштування моделі керованого випрямляча в блоці f_tirp2 в моделі вихідної системи

Логічний вираз в блоці $((u(2) \geq 0) || (u(1) \geq 0))$ необхідний для недопущення негативних значень струму в обмотці збудження ЕГК оскільки останній є уніполярним щодо струму збудження.

Блоки Vzav1 та Vzav2 створюють переключення завдання по швидкості привода. В цих блоках викликається MATLAB функція Vzav для зміни завдання по швидкості у задані моменти часу. Така організація послідовності переключень усуває необхідність застосування багатьох блоків Step, що робить модель більш компактною та ручною, хоча сповільнює інтегрування моделі.

Оскільки в план порівняльних досліджень входило перевірка відпрацювання збурень за моментом навантаження привода в вихідній та синтезованій системі, в моделі використано m-функцію Mnav, яка задає зміну моменту навантаження привода у задані моменти часу. Про використання у даному випадку m-функції можна сказати те ж саме, що і про функцію Vzav.

Решта налаштувань блоків в блок-діаграмі відповідають описаній вище математичній моделі САК швидкістю винесеного привода подачі з ЕГК.

Результати порівняльного моделювання двох САК наведені на рис. 2.4.

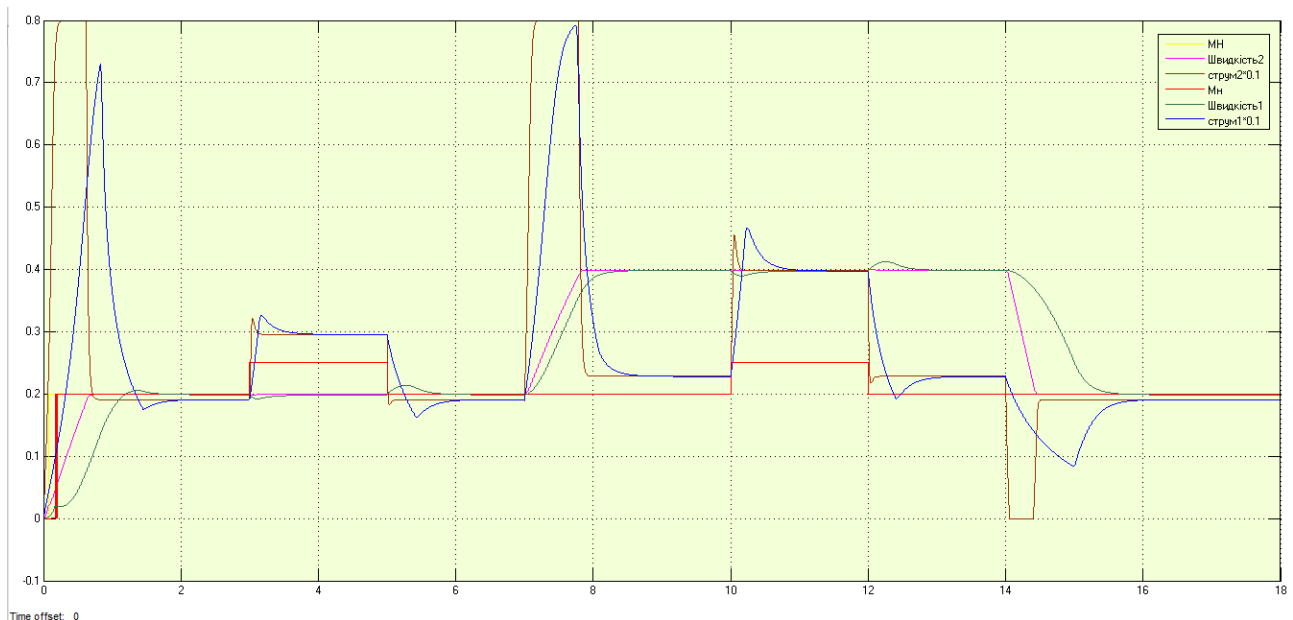


Рисунок 2.4 – Результати порівняльного моделювання синтезованої та вихідної САК швидкістю винесеного привода

На рисунку (див. легенду) позначено: пурпурова лінія – швидкість привода у синтезованій системі Швидкість2, коричнева лінія – струм у синтезованій системі у масштабі 1:0,1 струм2, червона лінія – момент

навантаження привода у масштабі $1:1e-5$, зелена – швидкість привода у вихідній системі Швидкість₁, синя лінія – струм у синтезованій системі у масштабі $1:0,1$ струм₁.

Після виходу привода на усталений режим з кутовою швидкістю $0,2$ рад/с (швидкість подачі комбайна 1.8 м/хв) на 3 секунді здійснюється стрибок моменту навантаження з 20000 Нм до 25000 Нм. На 5 с момент навантаження зменшується до попереднього. При цьому мають місце перехідні процеси стабілізації швидкості в обох системах, але в синтезованій системі перехідний процес відпрацювання збурення практично непомітний, що говорить про значну перевагу якості синтезованої системи.

На 7 с здійснюється переключення завдання а швидкістю з $0,2$ рад/с до $0,4$ рад/с. У синтезованій системі перехідний процес зростання швидкості куди більш чіткий та коротший на $0,25$ с.

На 10 та 12 с знову виконується східчаста зміна моменту навантаження привода. Сказане вище про перехідні процеси відпрацювання збурень справедливе і в даному випадку.

На 14 с виконується переключення завдання по швидкості з $0,4$ рад/с на $0,2$ рад/с. як показують точні вимірювання, перехідний процес зниження швидкості в синтезованій системі триває $0,46$ с, в вихідній – $1,71$ с. Різниця складає $1,25$ с. Перехідний процес струму в синтезованій системі триває $0,056$ с, в вихідній – $0,99$ с. Різниця складає $0,934$ с.

Таким чином, доведено високу ефективність синтезованої системи керування швидкістю у порівнянні з вихідною системою.

Висновки до розділу 2

1. Розроблено математичну модель вихідної системи автоматичного керування швидкістю винесеного привода подачі ЕГК.
2. Синтезовано ефективну нову систему автоматичного керування швидкістю винесеного привода подачі ЕГК.

3. Розроблено імітаційну Simulink модель для порівняльного аналізу синтезованої та вихідної системи.

4. Моделюванням доведено високу ефективність синтезованої системи. Перехідний процес відпрацювання зниження швидкості привода вдвоє в синтезованій системі триває 0,46 с, в вихідній – 1,71 с. Різниця складає 1,25 с, перехідний процес струму в синтезованій системі триває 0,056 с, в вихідній – 0,99 с. Різниця складає 0,934 с.

З ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАХИСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИНЕСЕНОГО ПРИВОДА ПОДАЧІ В РЕЖИМІ СТОПОРІННЯ КОМБАЙНА

3.1 Імітаційна Simulink модель руху комбайна з синтезованою САК швидкістю привода

Для дослідження захисних властивостей САК швидкістю привода розроблено її імітаційну модель у системі Simulink, блок-діаграма якої наведена на рис. 3.1.

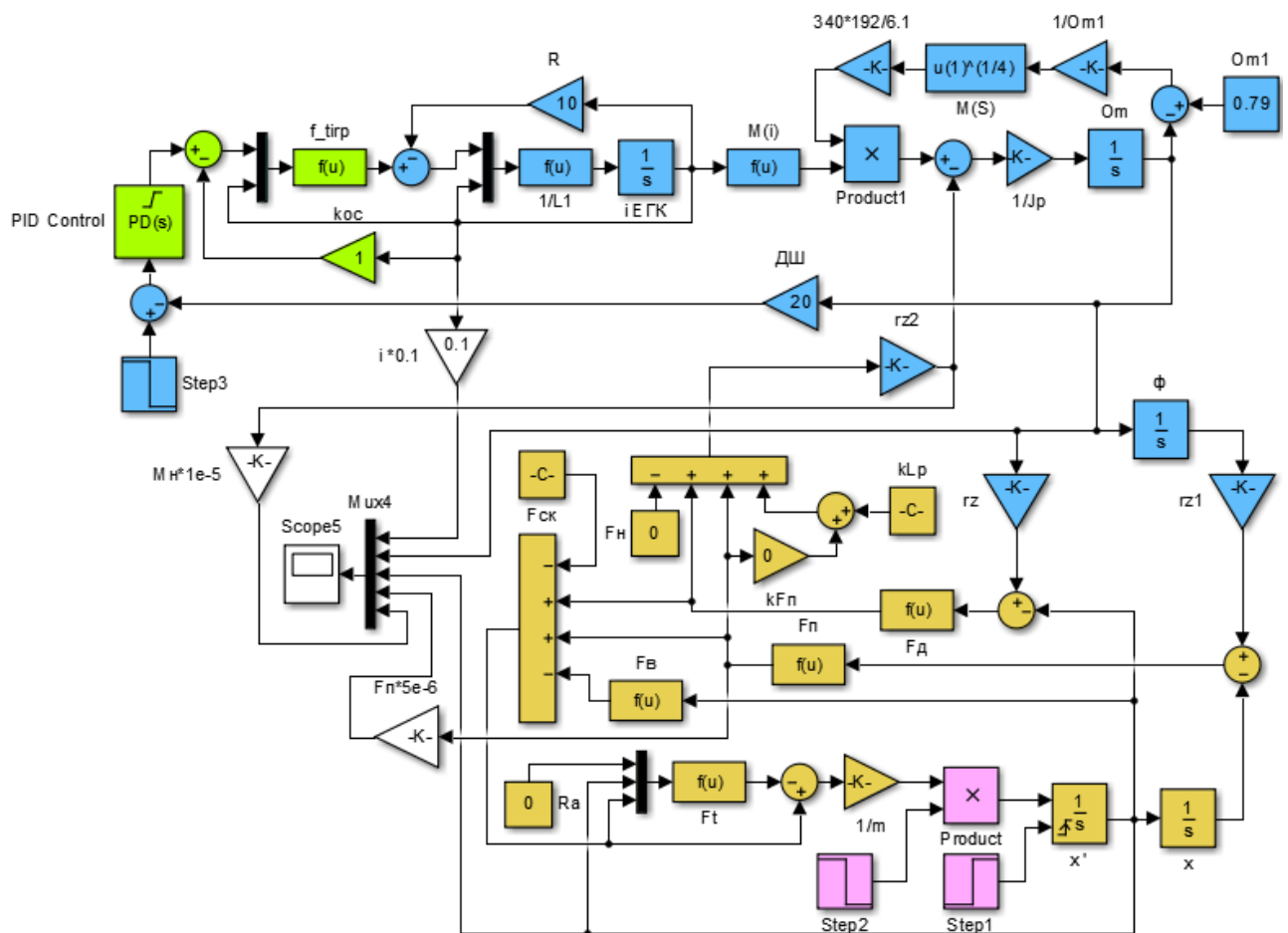


Рисунок 3.1 – Блок-діаграма моделі дослідження процесів стопоріння комбайна

У наведеній на рис. 3.1 блок-діаграмі блакитним кольором зафарбовані блоки, які відносяться до САК швидкістю привода подачі, а серед них зеленим кольором зафарбовані елементи моделі, які синтезувались. Блоки rz , $rz1$, $rz2$ мають значення коефіцієнтів, що дорівнюють радіусу приводної зірки привода подачі 0,15 м.

Жовтим кольором зафарбовані блоки, які відносяться до моделі холостого ходу комбайна. Серед них рожевим кольором виділені блоки, що створюють режим стопоріння корпусу комбайна на 20-й секунді його руху зі швидкістю подачі 7 м/хв для всіх представлених нижче модельних експериментів.

Стопоріння комбайна, при якому його швидкість миттєво стає рівною 0, створюється обнуленням інтегратора x' , який обчислює швидкість комбайна, від блока Step1 з подальшою подачею нульового сигналу на цей інтегратор від блока Produkt. На останній подається нульовий сигнал з блока Step2 синхронно з спрацьовуванням Step1. На цій же 20-й секунді, тобто синхронно з стопорінням комбайна, завдання по швидкості привода за допомогою блока Step3 стає рівним 0. Таким чином моделюється захисна функція САК приводом, що зветься «відсічка».

Блоки, що обчислюють сили діючі на комбайн: F_d – дисипативна сила, F_n – пружне зусилля в робочій гілці тягового ланцюга, F_b – сила спротиву переміщенню верхньої холостої гілки тягового ланцюга, F_T – сила тертя в опорах комбайна, F_{ck} – сила, що скочує комбайн через нахил пласта. Назви цих блоків співпадають з позначеннями цих блоків в математичній моделі. Вони обчислюються відповідно до виразів, наведених у математичній моделі.

Незабарвлені блоки моделі є допоміжними, вони виконують функції масштабування при виводі інформації.

3.2 Дослідження САК швидкістю в режимах стопоріння комбайна

Результати моделювання режимів стопоріння комбайна для різних довжин тягового ланцюга при захищеному та незахищеному приводі подачі наведені на рис. 3.2 – 3.9.

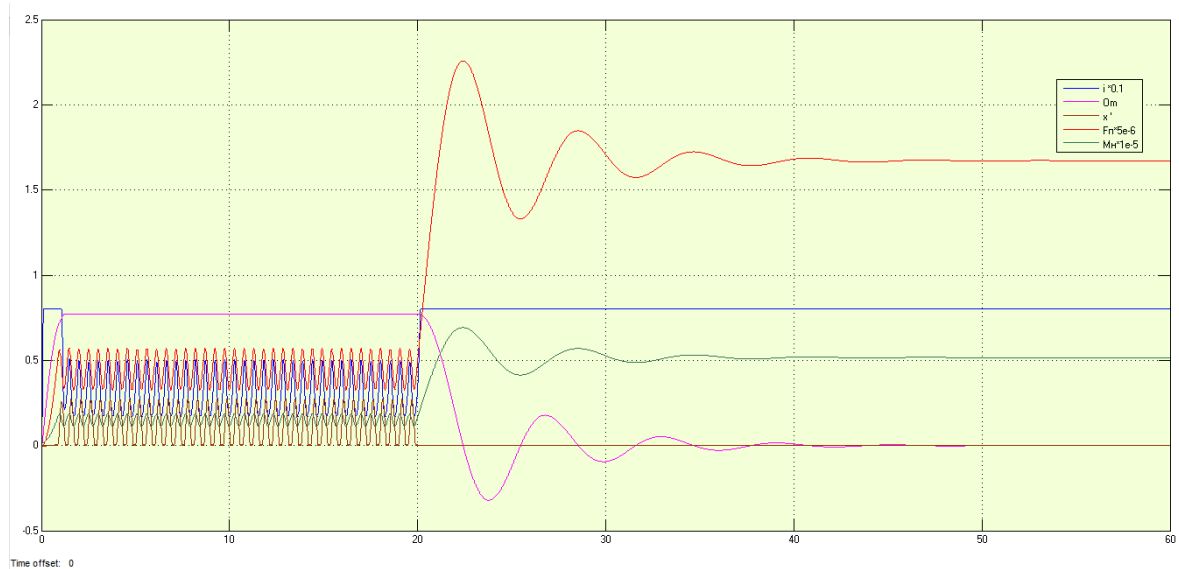


Рисунок 3.2 – Стопоріння комбайна в режимі холостого ходу при довжині тягового ланцюга 50 м без захисту привода при швидкості подачі 7 м/хв

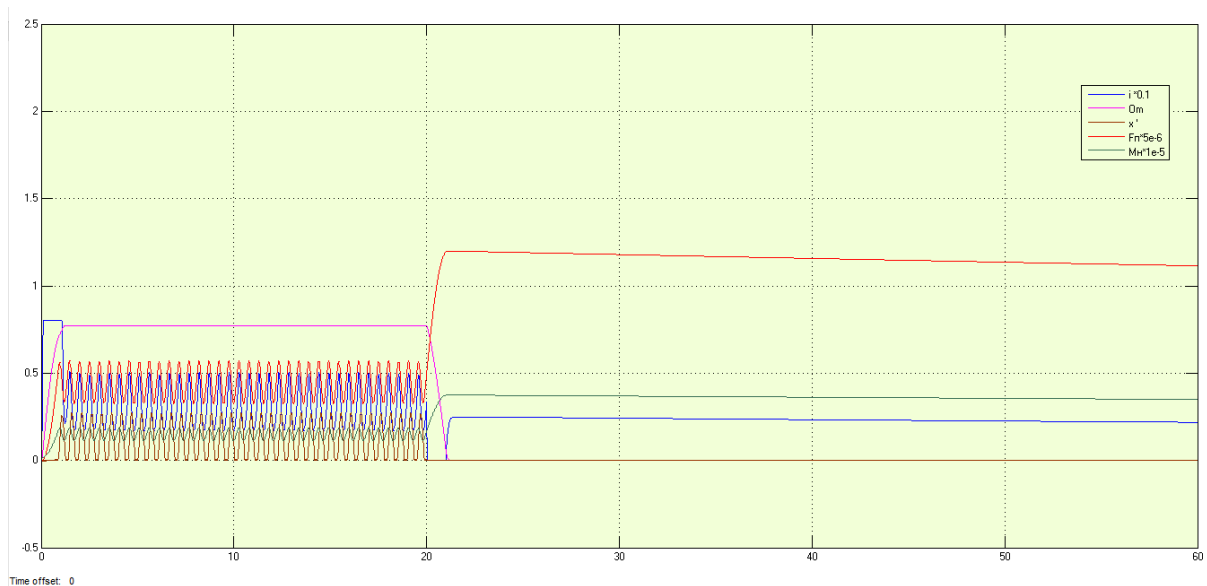


Рисунок 3.3 – Стопоріння комбайна в режимі холостого ходу при довжині тягового ланцюга 50 м з захистом привода при швидкості подачі 7 м/хв

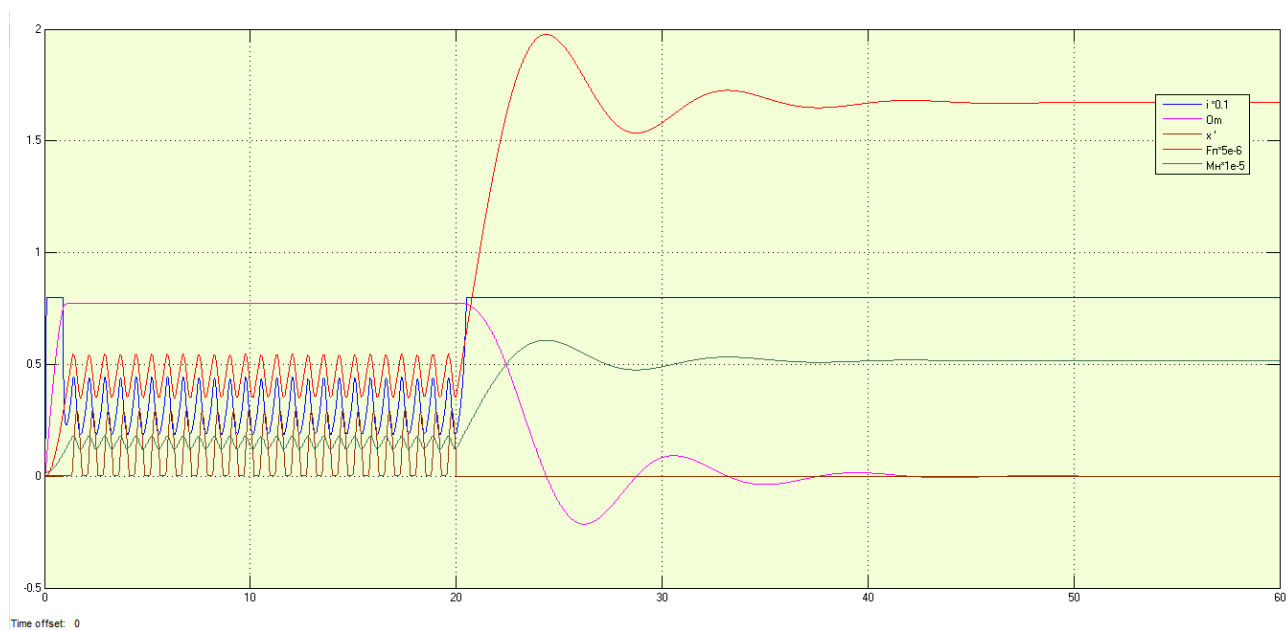


Рисунок 3.4 – Стопоріння комбайна в режимі холостого ходу при довжині тягового ланцюга 100 м без захисту привода при швидкості подачі 7 м/хв



Рисунок 3.5 – Стопоріння комбайна в режимі холостого ходу при довжині тягового ланцюга 100 м з захистом привода при швидкості подачі 7 м/хв

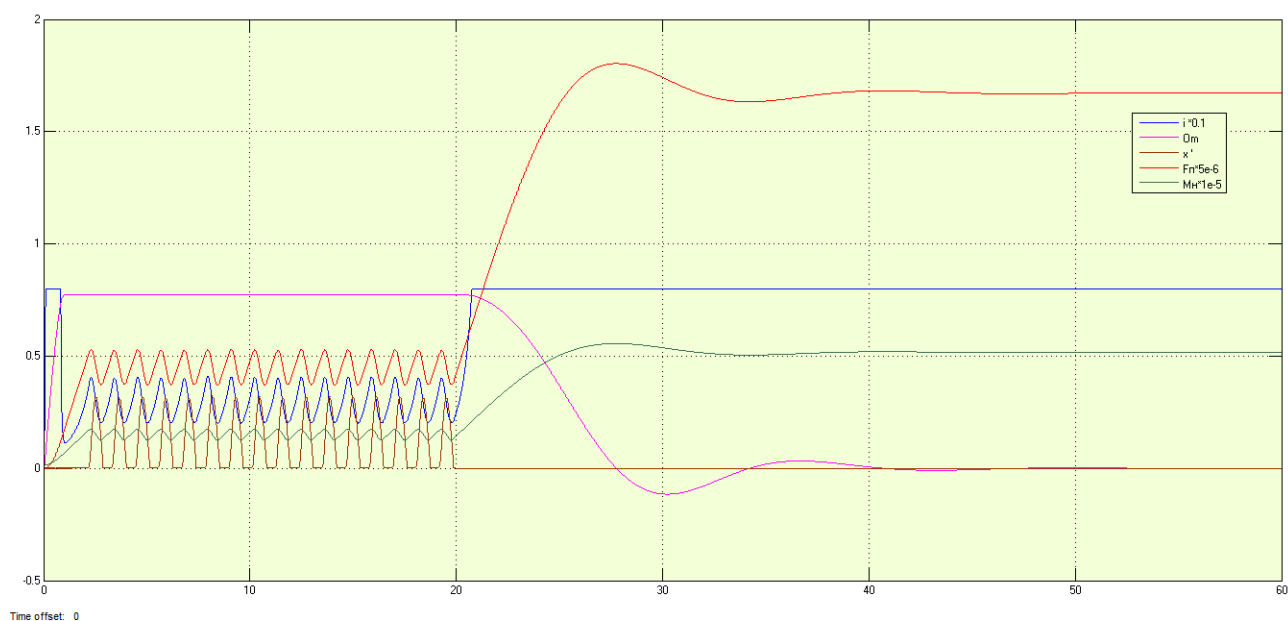


Рисунок 3.6 – Стопоріння комбайна в режимі холостого ходу при довжині тягового ланцюга 200 м без захисту привода при швидкості подачі 7 м/хв

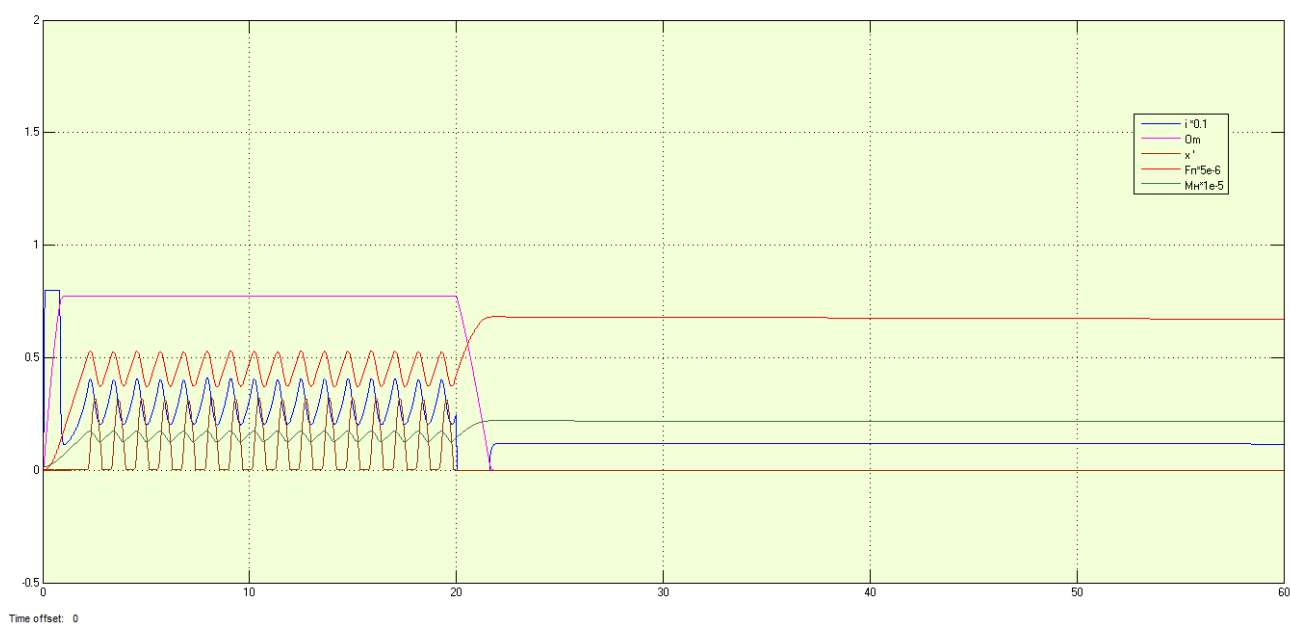


Рисунок 3.7 – Стопоріння комбайна в режимі холостого ходу при довжині тягового ланцюга 200 м з захистом привода при швидкості подачі 7 м/хв

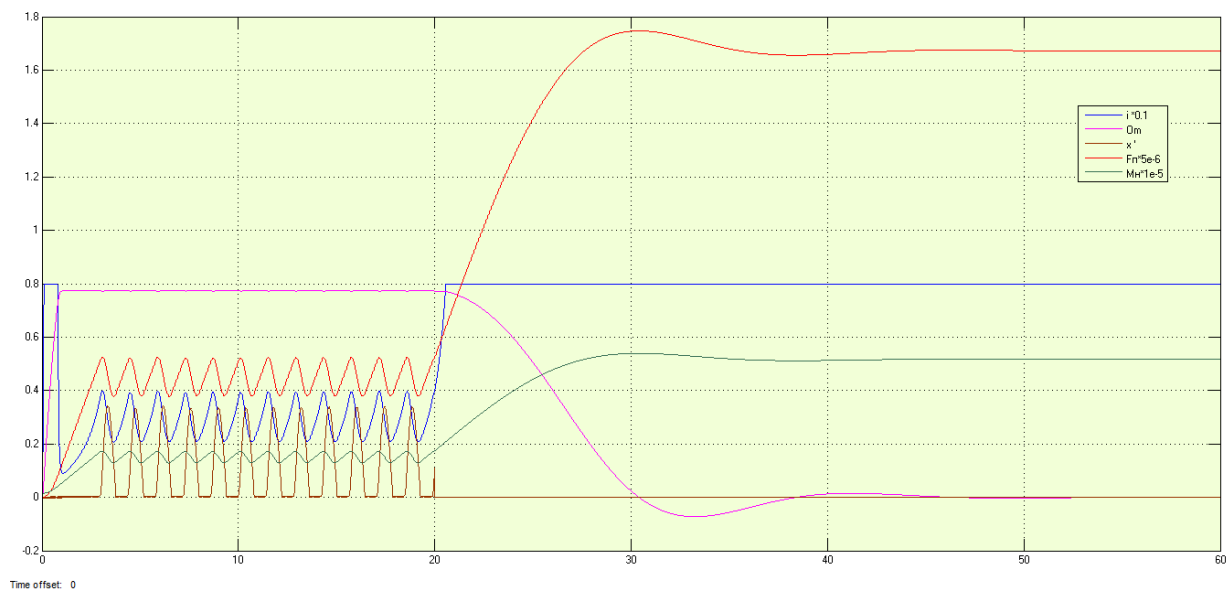


Рисунок 3.8 – Стопоріння комбайна в режимі холостого ходу при довжині тягового ланцюга 300 м без захисту привода при швидкості подачі 7 м/хв

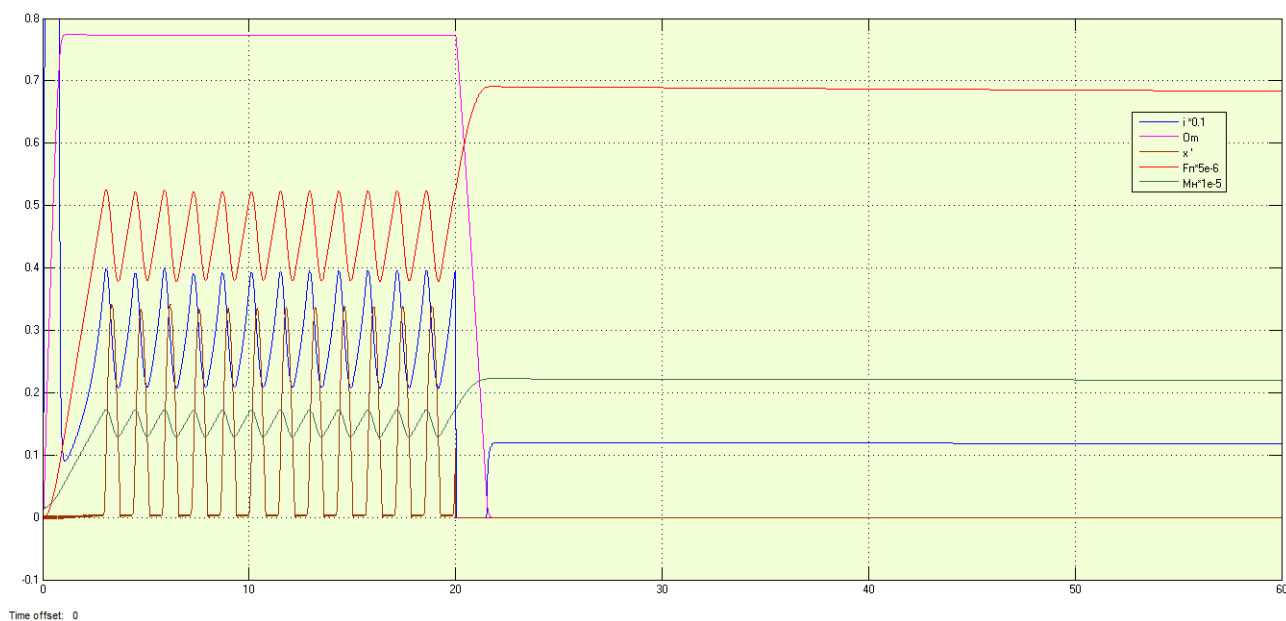


Рисунок 3.9 – Стопоріння комбайна в режимі холостого ходу при довжині тягового ланцюга 300 м з захистом привода при швидкості подачі 7 м/хв

Для розуміння результатів моделювання важливо зазначити, що значення тягового зусилля та моменту навантаження, прикладені до привода подачі, набагато більше пружного зусилля, оскільки до нього додається сила спротиву переміщенню тягового ланцюга, яка тим більше, чим більше довжина останнього.

На наведених рисунках відображено пружне зусилля в робочій гілці тягового ланцюга, момент навантаження на зірці привода, кутова швидкість вихідного валу привода та струм в обмотці збудження гальма. Масштаби виведених змінних вказані у легенді.

Для наочності максимальні значення пружного зусилля та моменту навантаження в САК без захисту та з захистом наведені в табл. 3.1. Червоним кольором показано значення пружного зусилля та моменту навантаження у вихідній промисловій САК при наявності захисту, які свідчать про те, що промислова САК не забезпечує достатнього захисту привода від перевантажень. Розроблена ж система забезпечує куди більше ефективний захист привода та тягового ланцюга у порівнянні з промисловою системою.

Модернізована САК у найбільш жорсткому стопорінні при довжині тягового ланцюга 50 м забезпечує зниження максимального пружного зусилля у $295000/240000=1,23$ рази, моменту навантаження у $45850/37500=1,22$ рази.

У розробленій модернізованій САК швидкістю значення пружного зусилля та моменту навантаження під час стопоріння не перевищують номінальних значень для робочого режиму. Це означає, що привод подачі взагалі не перевантажується.

На рис. 3.2 показано холостий хід та режим стопоріння комбайна при довжині тягового ланцюга 50 м без захисту в САК привода подачі. Як видно з рисунка, стопоріння без захисту створює високодинамічні коливальні процеси пружного зусилля, моменту навантаження на зірці привода та кутової швидкості. При цьому максимум амплітуди пружного зусилля у 5,6 рази перевищує середнє зусилля холостого ходу і складає 453000 Н, що більш ніж у 1,5 перевищує номінальне значення 300000 Н.

Стопоріння з захистом у синтезованій системі на рис. 3.3 показує, що максимум амплітуди пружного зусилля в цьому випадку перевищує середнє зусилля холостого ходу у 3 рази і складає 240000 Н, що менше номінального значення 300000 Н.

Подібний аналіз результатів моделювання для всіх довжин тягового ланцюга показує, що при відсутності захисту спостерігається перевищення пружним зусиллям та моментом навантаження номінального значення. В модернізованій системі вказані перевищення відсутні.

На основі отриманих результатів можна стверджувати, що модернізована САК швидкістю привода подачі забезпечує ефективний захист від перевантажень привод подачі та тяговий ланцюг. Це скоротить витрати на ремонти привода, ремонти та заміну тягового ланцюга та простої комбайна і тим самим підвищить продуктивність лави.

Таблиця 3.1 – Захисні властивості розробленої САК швидкістю привода

L ланцюга, м	Fп незахищ., Н	Mн незахищ., Нм	Fп захищ., Н	Mн захищ., Нм
50	453000	6920	240000 295000	37500 45850
100	396000	60700	167000	26600
200	361000	55000	136000	22000
300	350000	53900	138000	22000

Завдання по модернізації системи автоматичного керування швидкістю винесеного привода подачі з електромагнітним гальмом ковзання виконані, мета роботи досягнута.

Висновки до розділу 3

1. Розроблено імітаційну модель дослідження захисних властивостей САК швидкістю в режимі стопоріння комбайна.

2. Виконано дослідження динамічних процесів навантаження винесеного привода подачі з електромагнітним гальмом ковзання в режимі стопоріння комбайна.

3. Модернізована САК швидкістю забезпечує відсутність перевантажень привода та тягового ланцюга при стопорінні комбайна при довжинах тягового ланцюга від 50 до 300 м через скорочення тривалості перехідних процесів струму та швидкості за рахунок структурних та параметричних рішень, виконаних в роботі.

4. Модернізована САК у найбільш жорсткому стопорінні при довжині тягового ланцюга 50 м забезпечує зниження максимального пружного зусилля та моменту навантаження привода у 1,22 рази у порівнянні з існуючою промисловою САК швидкістю.

5. Ефективний захист скоротить витрати на ремонти привода, ремонти та заміну тягового ланцюга та простої комбайна і тим самим підвищить продуктивність лави.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз останніх робіт з вдосконалення динамічних характеристик САК швидкістю винесеного привода комбайна свідчить: тема роботи є актуальною, зменшення часу перехідних процесів швидкості подачі при їх аперіодичній та монотонній формі дасть можливість зменшити динамічність навантажень в приводі подачі та тяговому ланцюзі при стопорінні комбайна.

2. Виконано структурний та параметричний синтез модернізованої САК швидкістю привода подачі, в якій перехідний процес відпрацювання зниження швидкості привода вдвоє в синтезованій системі триває 0,46 с, в вихідній – 1,71 с.

3. Розроблено імітаційну модель дослідження захисних властивостей САК швидкістю в режимі стопоріння комбайна.

4. Модернізована САК у найбільш жорсткому стопорінні при довжині тягового ланцюга 50 м забезпечує зниження максимального пружного зусилля та моменту навантаження привода у 1,22 рази у порівнянні з існуючою промисловою САК швидкістю.

5. Модернізована САК швидкістю забезпечує відсутність перевантажень привода та тягового ланцюга при стопорінні комбайна при довжинах тягового ланцюга від 50 до 300 м через скорочення тривалості перехідних процесів струму та швидкості, що досягнуто структурними та параметричними рішеннями цієї роботи.

6. Ефективний захист в модернізованій САК швидкістю привода скоротить витрати на ремонти привода, ремонти та заміну тягового ланцюга та простої комбайна і тим самим підвищить продуктивність лави.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДТЕК імпортує додаткові 80 тис. тон вугілля з Польщі. 16.01.2024 - 11:48. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті:
<https://usm.media/dtek-importue-dodatkovyi-80-tis-tonn-vugillya-z-polshhi/>
2. Коршиков О.О. Дослідження та розробка системи автоматичного керування видобувним комбайном з асинхронним винесеним приводом подачі / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». ДВНЗ ДонНТУ, Луцьк, 2023. – 104с.
3. Ткаченко О.І. Дослідження вимог до швидкодії та розробка системи автоматичного керування швидкістю видобувного комбайна з винесеною системою подачі / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». ДВНЗ ДонНТУ, Луцьк, 2023. – 101с.
4. KLASCHKA GMBH & CO. Датчик швидкості. [Електронний ресурс] – Режим доступу до статті <https://pe-ko.com.ua/uk/catalogue/klaschka-gmbh-n-co/?letter=K>.
5. Гуревич Л.С. Електрослесарю добычного и проходческого оборудования: Справочник\ под общ. ред. В.А. Антипова. – 2-е изд. перераб. и доп. – Донецк: Донбасс, 1989. – 159с.
6. Апаратура КД-А [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті:
<http://mzsha.inf.ua/>
7. 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.
8. Кондрахин В.П., Мельник А.А., Косарев В.В., Стадник Н.И., Мезников А.В. Моделирование рабочих режимов вынесенной системы

- перемещения очистного комбайна, оснащенной частотно-регулируемым приводом// Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Гірничо-електромеханічна». – 2008. – Вип. №16 (142), с.18 – 27.
9. Дубинин С.В. Исследование переходных процессов в двухприводной автоматизированной вынесенной системе подачи очистного комбайна при аварийном заклинивании тяговой цепи // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Гірничо-електромеханічна». – 2012. – Вип. №23 (196), с.86 – 91.
 10. 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.
 11. Савенко Д.І. Модернізація системи автоматичного керування швидкістю винесеного привода подачі видобувного комбайна: кваліфікаційна робота бакалавра / Д.І. Савенко. – Покровськ: ДонНТУ, 2022. – 68 с.
 12. Тараненко О.В. Розробка модернізованої системи автоматичного керування видобувним комбайном: кваліфікаційна робота бакалавра / О.В. Тараненко. – Луцьк: ДонНТУ, 2023. – 63 с.
 13. Поцепаев В.В. Математическая модель вынесенного привода подачи комбайнов для тонких пластов. – Науч. тр. / ИГД им. А.А. Скочинского, 1983, выпуск 218. Механизмы и автоматизация подземной добычи угля, с. 56 – 62.
 14. 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.

Додаток А ОХОРОНА ПРАЦІ

А.1 Потенційні небезпеки і шкідливості на об'єкті дослідження

В даній бакалаврській роботі досліджується і розробляється система автоматичного управління видобувним комбайном з винесеною системою подачі з приводами 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.

А.2 Основні шкідливі виробничі фактори, що впливають на умови праці робітників відділу АСУ ТП

До основних шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища, пов'язаних з роботою на персональному комп'ютері належать: напруга зорових органів та перевтомлення очей; навантаження на кисті рук та пальці; тривале знаходження в статичному стані, 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); небезпека статичної електрики.

До психологічно шкідливих факторів можна віднести розумову напругу та нервово-емоційне перевантаження, які виникають внаслідок підвищеної концентрації уваги. Усі ці фактори негативно впливають на здоров'я працівників відділу АСУ ТП 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; комп'ютерна алергія.

А.3 Заходи щодо поліпшення умов праці робітників відділу АСУ ТП

Для зменшення шкідливого впливу негативних факторів виробничого середовища на працівників відділу АСУ ТП необхідно вжити заходів щодо поліпшення їх умов праці: при облаштуванні робочих місць з ПК не допускати розміщення комп'ютеру у підвальних приміщеннях; приміщення має бути обладнане системою опалення, кондиціонування повітря, вентиляцією; для боротьби зі статичним полем підтримувати відносну вологість повітря на рівні

50-60% за допомогою кондиціонування, для підлоги використовувати матеріали з антистатичного матеріалу; дотримуватися параметрів: площа на одного працюючого – 6 м², об'єм – 20 м³; 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; не застосовувати для обробки приміщення полімерні матеріали, що виділяють шкідливі хімічні речовини; відстань від екрану комп'ютера до очей повинна складати 50-70 см; час праці за ПК не повинен перевищувати 20 годин на тиждень, при цьому робити перерву кожні 45 хвилин на 5 хвилин.

Для зменшення шкідливого впливу негативних факторів виробничого середовища робоче місце з ПК повинно відповідати наступним гігієнічним вимогам: екран та клавіатура повинні розташовуватись на оптимальній відстані від очей користувача, що становить 600...700 мм; висота робочої поверхні робочого столу має регулюватися в межах 680...800 мм; робочий стіл повинен мати 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.

Для зменшення негативного впливу мобільного апарату необхідно: скоротити до мінімуму час розмови по телефону; обирати мобільний телефон з мінімальним значенням SAR (Specific Absorbtion Rate). SAR – одиниця виміру питомої величини поглинання випромінювання організмом людини; максимальна потужність випромінювання телефону. Максимальне значення SAR у Європі складає 2 Вт/кг;[4] підносити термінал до вуха після з'єднання з абонентом. Під час здійснення з'єднання збільшується потужність випромінювання телефону.

Згідно з приведеними вимогами можемо розробити схему необхідного розташування робочих місць, яка приведена на рис. 4.1:

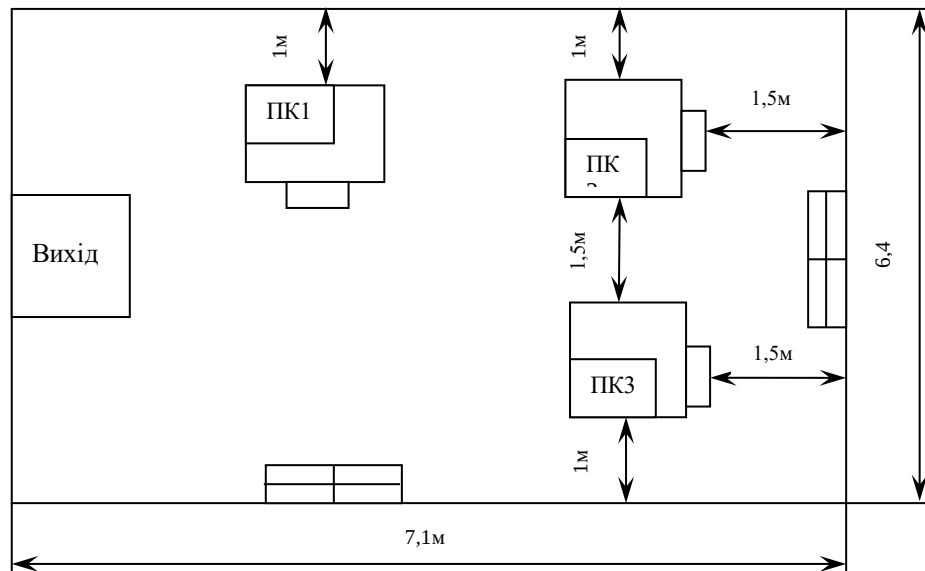


Рисунок А.1 – Облаштованість робочих місць із ПК відділу

Таким чином, дотримано всіх вимог. При цьому працюючі не звернені обличчям до вікна при роботі за комп'ютером.

А.4 Розрахунок кондиціонування та вентиляції для відділу АСУ ТП

У відділі АСУ ТП є джерела екстремальних температур, тому необхідно визначити необхідні умови їх вентильовання. Витрату повітря у відділі з додатковим тепловиділенням визначаємо по формулі:

$$L = \frac{Q_{над}}{c \cdot p (t_b - t_n)}, \quad (A.1)$$

де $Q_{над}$ - надлишкове виділення тепла в робочому приміщенні, ккал/год.;

c - теплоємність повітря (0,237 ккал/кг);

p - обсягова вага повітря (1,226 кг/ м³);

t_b - температура витяжного повітря (26°С);

t_n - температура повітря, що притікає (18°С).

Розрахуємо надлишкове надходження тепла по формулі:

$$Q_{над} = Q_{уст} + Q_{пер} + Q_{осв} + Q_{ср}, \quad (A.2)$$

де $Q_{уст}$ - виділення тепла від устаткування;

$Q_{пер}$ - виділення тепла робітниками;

$Q_{осв}$ - надходження тепла від електричного освітлення;

$Q_{ср}$ - надходження тепла від сонячної радіації через вікна.

Визначимо виділення тепла від устаткування по формулі:

$$Q_{уст} = P \cdot K_a \cdot K_b \cdot 860 \text{ ккал/год}, \quad (A.3)$$

де P - сумарна потужність устаткування, кВт/год;

K_a - коефіцієнт установленної потужності (0,95);

K_b - коефіцієнт одночасної роботи (1,0).

$$Q_{уст} = [(x_1 \cdot k_1) + (x_2 \cdot k_2) + (x_3 \cdot k_3) + (x_4 \cdot k_4)] \cdot K_a \cdot K_b \cdot 860 \text{ ккал/год}, \quad (4.4)$$

де x - кількість системних блоків, моніторів, принтерів, кондиціонерів відповідно; k - потужність системних блоків, моніторів, принтерів, кондиціонерів відповідно.

Розрахуємо:

$$Q_{уст} = [(3 \cdot 0,5) + (3 \cdot 0,1) + (1 \cdot 0,4) + (1 \cdot 6,3)] \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 860 = 490,2 \text{ ккал/год}. \quad (A.5)$$

Визначимо виділення тепла від обслуговуючого персоналу за допомогою формули:

$$Q_{пер} = n \times g, \quad (A.6)$$

де n - кількість працюючих;

g - кількість тепла, що виділяє один працівник за годину (100 ккал/год.)

Розрахуємо:

$$Q_{\text{пер}} = 6 \times 100 = 600 \text{ ккал/год.} \quad (\text{A.7})$$

Визначимо надходження тепла від електричного освітлення по формулі:

$$Q_{\text{осв}} = E_{\text{м}} \cdot g_1 \cdot S, \quad (\text{A.8})$$

де $E_{\text{м}}$ – нормована освітленість для цієї зорової роботи, приймаємо рівним 400 лк;

g_1 – питоме тепловиділення на 1 м² підлоги при 1 лк освітленості (для люмінесцентних ламп – 0,05 ккал/год.);

S – площа приміщення, м².

Розрахуємо:

$$Q_{\text{осв}} = 400 \cdot 0,05 \cdot 45,44 = 908,8 \text{ ккал/год.} \quad (\text{A.9})$$

Визначимо надходження тепла від сонячної радіації через вікна по формулі:

$$Q_{\text{ср}} = F \cdot g_2 \cdot K_{\text{осл}}, \quad (\text{A.10})$$

де F - площа віконних прорізів (1,55 м²);

g_2 - кількість тепла, що надходить через 1 м² віконного прорізу (65 ккал/год.);

$K_{\text{осл}}$ - коефіцієнт ослаблення, приймаємо - 0,4.

Розрахуємо:

$$Q_{\text{ср}} = 1,55 \cdot 65 \cdot 0,4 = 40,3 \text{ ккал/год.} \quad (\text{A.11})$$

Визначимо кількість надлишкового тепла:

$$Q_{\text{над}} = 490,2 + 600 + 908,8 + 40,3 = 2039,3 \text{ кал/год.} \quad (\text{A.12})$$

Визначимо витрати повітря в приміщенні:

$$L = \frac{2039,3}{0,237 \cdot 1,226 \cdot (26 - 18)} = 877,31 \text{ м}^3 / \text{год} \quad (\text{A.13})$$

Існуюча в наявності система вентилявання має продуктивність 600 куб. м./годину, але це не задовольняє необхідним нормативам. Потрібно замінити функціонуючу систему вентилявання на більш потужнішу. Параметри мікроклімату на робочих місцях регламентуються ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень». Відповідно доданих санітарних норм температура повітря, швидкість руху повітря і відносна вологість у холодні періоди року повинна складати 22-24 градуса по Цельсію, 0,1 метра в секунду і 40-60 % відповідно. У теплі періоди року температура повітря повинна складати 23-25 градусів Цельсія, рухливість повітря 0,1-0,2 метрів секунду, вологість 40-60 %. Температура може коливатися від 22 до 26 градусів Цельсія при збереженні всіх інших параметрів мікроклімату. Вище зазначені норми цілком відповідають фактичним відділу АСУ ТП.

А.5 Розрахунок системи загального рівномірного освітлення з лампами розжарювання

Розміри відділу: довжина ($a=7,1$ м), ширина ($b=6,4$ м), висота ($h=3$ м). Визначимо норми освітлення для та розрахункову висоту для виділених зон. Мінімальна освітленість за нормами $E=400$ лк. Приміщення має світлу побілку: коефіцієнт відбиття - $P_{\text{стелі}} = 70\%$, $P_{\text{стін}} = 50\%$. Висота робочих поверхонь (столів) $h_p = 0,7$ м. Для освітлення прийнято світильники типу

УПМ-15, які підвищуються до стелі, відстань від світильника до стелі $h_c = 0,5$ м. Мінімальна освітленість за нормами $E=400$ лк.

1) Визначимо висоту підвісу світильників над підлогою:

$$h_0 = H - h_c = 3 - 0,5 = 2,5 \text{ м.} \quad (\text{A.14})$$

Для світильників загального освітлення з лампами розжарювання потужністю до 200 Вт мінімальна висота підвісу над підлогою відповідно до СНіП П-4-79 повинна бути у межах 2,5 - 4,0 м, залежно від характеристики світильника. В нашому випадку по відповідає цій вимозі.

2) Визначимо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = h_0 - h_p = 2,5 - 0,7 = 1,8 \text{ м.} \quad (\text{A.15})$$

Рівномірність освітлення досягається при відповідному співвідношенні відстані між світильниками (L) і висоти їх підвісу (h).

3) Визначимо рекомендовану відстань між світильниками:

$$L = 0,7h = 0,7 \cdot 1,8 = 1,26 \text{ м.} \quad (\text{A.16})$$

4) Розрахуємо необхідну кількість світильників:

$$N = \frac{ab}{L^2} = \frac{7,1 \cdot 6,4}{1,16^2} = 33,77 \approx 35 \quad (\text{A.17})$$

Приймаємо 35 світильників, враховуючи розміри приміщення розміщуємо їх у 3 ряди по 7 штук.

5) Світловий потік лампи світильника визначається за формулою:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta} \text{ ккал/год}, \quad (\text{A.18})$$

де E - нормативна освітленість, лк;

K_3 - коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп (1,5);

S - площа приміщення, що освітлюється, м²;

Z - коефіцієнт нерівномірності освітлення для ламп розжарювання (=1,15);

N - кількість світильників;

n - кількість ламп у світильнику;

η - коефіцієнт використання світлового потоку, який визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення (i) та коефіцієнтів відбиття стін та стелі.

6) Визначимо показник приміщення для кожної зони:

$$i = \frac{ab}{h(a+b)} = \frac{7,1 \cdot 6,4}{1,8 \cdot (7,1 + 6,4)} = 1,8. \quad (\text{A.19})$$

7) З таблиці 3.25 [2] знаходимо коефіцієнт використання ($\eta = 0,52$) для світильників УПМ-15 (при $P_{\text{стелі}} = 70\%$, $P_{\text{стін}} = 50\%$).

8) Світловий потік одного світильника, а значить і лампи, оскільки за конструктивним виконанням у світильнику цього типу встановлена лише одна лампа, дорівнює:

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{400 \cdot 45,44 \cdot 1,5 \cdot 1,15}{35 \cdot 0,52} = 1722,73 \text{ лм}. \quad (\text{A.20})$$

9) З таблиці 3.27 [2] обираємо лампу БК (біспіральна криптонова) потужністю 100 Вт, світловий потік якої становить 1450 лм. Хоча це значення менше

розрахованого на 14%, однак не перевищує встановлену норму ($0\% < \Delta\Phi_{\text{л}} < +20\%$). Сумарна електрична потужність усіх світильників, встановлених у приміщенні становить:

$$\Sigma P_{\text{св}} = P \cdot N = 100 \cdot 35 = 3,5 \text{ кВт.} \quad (\text{A.21})$$

А.6 Пожежна безпека

У приміщенні відділу АСУ ТП основні міри для забезпечення пожежної безпеки визначає Інструкція про заходи пожежної безпеки для службових приміщень. Вона є обов'язковою для виконання всіма співробітниками. В інструкції про засоби пожежної безпеки для службових приміщень забороняється: улаштовувати тимчасові електромережі, застосовувати саморобні плавкі вставки в запобіжниках, прокладати електричні проводи безпосередньо по пальній основі, експлуатувати світильники зі знятими ковпаками (розсіювачами), використовувати саморобні подовжувачі, що не відповідають вимогам Правил пристрою електроустановок; пристосовувати вимикачі, штепсельні розетки для підвішування одягу й інших предметів, обгортати електролампи і світильники, заклеювати ділянки електромережі пальною тканиною, папером; використовувати побутові електрокип'ятильники, чайники тощо без непалених підставок, залишати без нагляду включеними в електромережу кондиціонери, комп'ютери, рахункові і друкарські машинки і т.п.; захаращувати підступи до засобів пожежогасіння, використовувати пожежні крани, рукави і пожежний інвентар не за призначенням, зберігати документи, різні матеріали, предмети й інвентар у шафах (нішах) інженерних комунікацій; курити (крім спеціально відведених для цього адміністрацією місць, позначених написом «Місце для паління» і забезпечених урною чи попільницею з непаленого матеріалу), проводити зварювальні й інші вогневі

роботи без оформлення відповідного дозволу, застосовувати легкозаймисті рідини.

А.7 Безпека при надзвичайних ситуаціях на підприємстві

Меблі й устаткування повинні розміщатися таким чином, щоб забезпечувався вільний евакуаційний прохід до дверей виходу з приміщення (шириною не менше 1 м). Евакуаційні шляхи і виходи необхідно постійно держати вільними, нічим не захащувати. Засоби протипожежного захисту в приміщеннях потрібні триматися у справному стані.

У випадку виявлення пожежі слід: негайно повідомити державну пожежну охорону за телефоном «101», вказати при цьому адресу, кількість поверхів, місце виникнення пожежі, наявність людей, своє прізвище; повідомити про пожежу керівництву, а в нічний час черговому охоронцю;

У разі можливості почати гасіння пожежі наявними засобами, організувати зустріч пожежних підрозділів.

При виникненні пожежі у початковій стадії його розвитку випромінюється тепло, токсичні продукти згоряння, імовірні руйнування будівельних споруд. Тому слід як можна швидше провести евакуацію людей із палаючої будівлі. Показником ефективності евакуації є час, протягом якого працівники можуть при необхідності залишити окремі приміщення і будівлю в цілому. Безпека евакуації досягається тоді, коли час евакуації не перевищує час настання критичної фази розвитку пожежі, тобто часу від початку пожежі до досягнення граничних для людини впливів факторів пожежі (критичних температур, ступені задимлення, зниження концентрації кисню и т.п.). Число евакуаційних виходів повинно бути не менш двох. Вони повинні розташовуватися розосереджено.

Двері на шляхах евакуації повинні відкриватися у напрямку виходу із будівлі. У кожному приміщенні на видному місці повинен бути вивішений план евакуації при пожежі. При пожежі обов'язково необхідно враховувати

небезпечні чинники і механізм їх дії на людину. Користуватися ліфтом категорично забороняється. Шахта ліфта є шляхом для поширення диму і отруйних продуктів горіння, до того ж при пожежі ліфт часто відключають і можна опинитися в пастці при пожежі.

Якщо ви знаходитесь в приміщенні де немає пожежі, но відрізани вогнем, димом, високою температурою від головних шляхів евакуації, то в першу чергу необхідно заважити доступу диму и продуктів горіння в це приміщення. Для чого необхідно негайно закрити усі щілини у дверях та під ними змоченими водою ганчірками, рушниками, робочими халатами та іншим.

Якщо приміщення все ж заповнено димом, необхідно підповзти до вікна, закрити при цьому рот та ніс змоченою тканиною, яка грає роль фільтру та в певної мірі захищає від продуктів горіння.

Рухатись у задимленій зоні поповзом або максимально пригнувшись, необхідно тому що більшість нагрітих газоподібних отруйних речовин та дим збираються у верхній зоні приміщення, окрім цього, в приміщенні при горінні температура на рівні очей людини у 6 разів вище за температуру на рівні полу, до того ж внизу завжди зберігається більша концентрація кисню. Коли ви опинились біля вікна трохи відкрийте його та дихайте через щілину, очікуючи прибуття пожежників. При їх прибутті негайно зверніть на себе увагу. Ніколи не стрибайте через вікно без відомої на це необхідності (кожний другий стрибок з 4-го поверху при пожежі - смертельний).