

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
« КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Навчально - науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

" На правах рукопису"

УДК _____

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

Сергій БОЙЧЕНКО

« __ » _____ 2023 _р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою

«Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів» з

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» на тему: «Управління електроприводом

підйомно-транспортних установок з пружними ланками на базі фаззи-логіки»

Виконав :

студент VI курсу, групи ОА-21 мп

Пермяков Денис Дмитрович _____

Науковий керівник:

Доцент кафедри АЕМК , канд.техн. наук , доцент

Данилін Олександр Валерійович _____

Рецензент :

Директор ПП "УкрТех Енерго "

Олексієнко Геннадій Юрійович _____

Рецензент:

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент **Пермяков Денис Дмитрович** _____

Київ - 2023 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально - науковий інститут енергозбереження та
енергоменеджменту

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

Рівень вищої освіти - другий (магістерський)

Спеціальність - 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри АЕМК

___ **Сергій БОЙЧЕНКО**
« _ » _____ 2023 _р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Пермякову Денису Дмитровичу

1. Тема дисертації **«Управління електроприводом підйомно-транспортних установок с пружними ланками на базі фаззи логіки»**

Науковий керівник дисертації **Данилін Олександр Валерійович**
затверджені наказом по університету від «08» листопада
2023 р. №_5198-С

2. Термін подання студентом дисертації
25.12.2023 р. _____

3. **Об'єкт дослідження:** підйомно-транспортні установки

4. **Вихідні дані:** Н-450 м, А=500000 т/рік

5.Перелік питань, які треба розробити: Вибір підйомної установки, вибір типу електроприводу і розрахунок його параметрів; удосконалення системи керування ШПУ, реалізація системи в середі MATLAB

6.Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: Принципова схема установки, функціональна схема фаззи-контролера, результати моделювання, графіки перехідних процесів

7. Орієнтовний перелік публікацій. Міжнародна науково-технічна конференція "Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку - PEMS⁴ 2023"

Дата видачі завдання 01.09.2023 року

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АЕМК

Бойченко С.В.

“ “ _____ 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів виконання магістерської дисертації	Примітка
1	Загальні відомості про вантажні промислові (шахтні) підйомні установки (ШПУ)	02.09 - 15.09.2023 р.	
2	Розрахунок потужності електродвигуна та вибір його типу. Побудова тахограми швидкості та діаграми зусиль.	16.09 - 30.09.2023 р.	
3	Автоматизація скипової підйомної установки. Розробка принципової електричної схеми та функціональної схеми САК	01.10 - 15.10.2023 р.	
4.	Розробка структурної схеми САК.	16.10. - 31.10.2023 р.	
5.	Дослідження динамічних режимів роботи електромеханічної системи керування в різних режимах роботи.	1.11. - 15.11.2023 р.	
6.	Написання основної частини магістерської дисертації	16.11. - 30.11.2023 р..	
7.	Написання всіх інших частин магістерської дисертації	01.12. - 15.12.2023 р.	
8.	Оформлення графічної частини. Схема ШПУ, кінематична схема СПУ, тахограма та діаграма двигунових зусиль, принципова електрична схема автоматики, математична модель системи та графіки дослідження динамічних режимів.	16.12. - 25.12.2023 р.	
9.	Отримання відгуку та рецензій, захист магістерської дисертації	03.01. - 15.01.2024 р.	

Студент _____
Науковий керівник _____

Денис ПЕРМЯКОВ
Олександр ДАНИЛІН

Анотація

Магістерська дисертація складається із вступу, п'яти розділів, переліку використаної літератури (122 сторінок машинописного тексту, 54 рисунків, 17 таблиць, 21 бібліографічних джерел).

Актуальність теми. У теперішній час зберігається актуальність розробки нових енергоефективних об'єктно-орієнтованих систем регульованого асинхронного електроприводу підйомних установок та механізмів потоково-транспортних систем, які в основному оснащені асинхронними двигунами (АД), як короткозамкненим, так і з фазним ротором, часто з системами параметричного управління, які вимагають вдосконалення. У зв'язку зі зростаючими вимогами, в першу чергу щодо енергозбереження, все більша частина асинхронних регульованих параметричними способами електроприводів підйомних механізмів замінюється на частотно - регульовані електроприводи. Використання досягнень в області перетворювальної техніки, розвиток засобів і алгоритмів керування дозволяє створювати системи асинхронного електроприводу, які за своїми регульовальними характеристиками відповідають електроприводу постійного струму і задовольняють зростаючим вимогам. Розроблювальні системи управління повинні забезпечити поліпшені енергетичні показники частотних асинхронних електроприводів. Забезпечення енергозбереження в асинхронному електроприводі можливо за рахунок застосування коригувальних засобів, в тому числі враховують нелінійність магнітної системи АД. Недостатньо досліджені і потребують удосконалення системи електроприводу на базі асинхронного двигуна з фазним ротором, виконані в поєднанні принципів частотного та каскадного управління, для них необхідно провести вибір найбільш раціональних систем управління, що дозволить підвищити їх енергетичні та експлуатаційні характеристики. .

Метою дисертаційної роботи є підвищення енергоефективності та поліпшення динамічних властивостей однодвигунних та пружно пов'язаних дводвигунних частотно регульованих асинхронних електроприводів на базі короткозамкнутого двигуна та двигуна з фазним ротором з каскадним блоком.

Об'єктом дослідження є електромеханічні системи з частотними та частотно-каскадними асинхронними електроприводами, що використовуються на підйомних установках а механізмах потоково-транспортних систем, як систем з пружними ланками..

Предметом дослідження є коригувальні засоби та алгоритми управління, що дозволяють поліпшити енергетичні та динамічні властивості асинхронних електроприводів, в тому числі з пружними зв'язками.

Методи дослідження. Методи теорії електроприводу, теорії графів та аналізу стійкості систем автоматичного управління; моделювання з використанням програмних засобів; експериментального підтвердження результатів

Реферат

Сучасні промислові скіпові підйомні установки мають автоматичні режими керування. В підйомних установках найчастіше використовується електричний привід з двигунами різної потужності. До сучасних електроприводів пред'являються дуже високі вимоги по безпеці і комфортабельності. Система управління повинна здійснювати пуск із заданим прискоренням, підтримувати задану швидкість, здійснювати уповільнення і гальмування і забезпечувати точну зупинку підйомної посудини.

Для промислових скіпових підйомних установок можливі наступні режими: підйом вантажу, спуск вантажу та цілий ряд інших режимів. Вибір режиму роботи установки може суттєво впливати на величину та знак зусиль двигуна.

Метою даної роботи є розробка електромеханічної системи автоматизації промислової скіпової підйомної установки. Головними етапами розробки являються: вибір схеми підйомної установки; розрахунок потужності електропривода і обґрунтування вибору електродвигуна; розробка принципової електротехнічної та функціональної схем; розробка структурної схеми САК та дослідження динамічних (перехідних) режимів роботи ШПУ на основі моделювання в середовищі MATLAB.

Вирішення зазначеної задачі дозволить не лише підвищити точність, а й закладе основу для підвищення продуктивності підйомної установки в сучасних умовах добування корисних копалин із все більших глибин та переходом на більш важкодоступні горизонти.

Abstract

The automatic modes of management have the modern industrial skipovi liftings settings. In the liftings settings an electric occasion is more frequent all used with the engines of different power. To the modern electromechanics of predffiyavlyayutfsya very rigorisms are on safety and comfort. Control system must carry out starting with the set acceleration, to support the set speed, carry out deceleration and braking and provide the exact stop of lifting vessel.

For the industrial skipovikh liftings settings the followings modes are possible: getting up of load, lowering of load and a number of other modes. The choice of the mode of operations of setting can substantially influence on a size and sign of efforts of engine.

The purpose of this work is development of the electromechanics system of automation of the industrial skipovoy lifting setting. Appear main design times: choice of chart of the lifting setting; calculation of power of elektroprivoda and ground of choice of electric motor; development of principle electrical engineering and functional charts; development of flow diagram SAK and research of the dynamic (transitional) modes of operations of SHPU on the basis of design in the environment of MATLAB.

The decision of the noted task will allow not only to promote exactness but also will pawn basis for the increase of the productivity of the lifting setting in the modern terms of getting of minerals from all greater depths and passing to more difficult of access horizons.

ЗМІСТ

Вступ.....	11
1 Загальні відомості про вантажні підйомні (шахтні) установки	12
1.1 Загальні відомості про вантажні підйомні установки	12
1.2 Технологічна схема установки	14
1.3 Види електричного захисту	16
1.4 Електроустаткування і електропостачання	17
1.5.Розрахунок потужності електродвигуна і його вибір	18
1.6.Розрахунок і побудова шестиперіодної тахограми ШПУ	18
1.7.Побудова діаграми рушійних зусиль	21
1.8.Розрахунок потужності електродвигуна і його вибір	26
1.9.Перевірка правильності вибору електродвигуна.....	27
1.10.Вибір основного електроустаткування.....	27
2. Автоматизація скіпової ПУ та розробка схем	29
2.1.Автоматизація скіпової підйомної установки	30
2.2.Розробка принципової електротехнічної та функціональної схем ..	30
2.3.Розробка структурної схеми САК.....	36
2.3.1. Розрахунок параметрів елементів структурної схеми	40
2.3.2 Розробка системи регулювання швидкості з урахуванням внутрішнього зворотного зв'язку за швидкістю	42
2.3.3.Розрахунок електричних параметрів регулятора швидкості..	44
2.4. Дослідження динамічних режимів ЕМС автоматизації ШПУ	45
3 Основи побудови систем фаззі-управління	57
3.1.Поняття про інтелектуальні системи керування.....	57
3.2.Системи фаззі-управління	58
3.3.Етапи розробки фаззі-системи	60
3.4.Логічна обробка даних.....	67
3.5 Дефаззіфікація при декількох нечітких множин	73
4 Оптимізація по динамічним навантаженням електромеханічних систем з розподіленими параметрами.....	96

5 Розробка стартап-проекту впровадження автоматизовані системи управління електроприводом підйомно-транспортної установки з пружними ланками на базі фаззи-логіки.....	
5.1. Цілі та етапи реалізації стартап-проекту.....	106
5.2.Огрунтування актуальності та новизни інноваційної ідеї стартап-проекту.....	107
5.3. Аналіз конкурентного середовища.....	108
5.4 Обгрунтування ресурсного забезпечення проекту	110.
5.5 Ключові види діяльності та ключові партнери.....	..110
5.6 Прямі матеріальні витрати.....	111
5.7 Інші прямі витрати.....	111
5.8 Умовно-постійні витрати.....	112
5.9 Обгрунтування рівня рентабельності інноваційної ідеї.....	112
5.10 Обгрунтування собівартості інноваційної ідеї стартап-проекту.....	114
5.11 Обгрунтування вартості виробництва інноваційної техніки.....	114
5.12 Цільові групи потенційних споживачівгрупи	115..
5.13 Бізнес-модель проекту.....	115
5.14 Аналіз ризиків стартап проекту.....	116
Висновки	117
Список використаних джерел.....	120

ВСТУП

Шахтні підйомні механізми мають широке застосування у різних галузях. Вони використовуються для переміщення вантажів по визначеній траєкторії в спеціальних пристроях - підйомних посудинах.

Широке застосування підйомні установки знаходять для підйому корисних копалин з надр землі на поверхню. Як правило в даній сфері використовуються промислові скіпові підйомні установки, котрі мають підвищену вантажопідйомність та забезпечують значну висоту підйому. Бажано, щоб при виготовленні скипа практично не використовувався метод зварювання, котрий має нестійкі прочнісні характеристики .

Сучасні промислові скіпові підйомні установки мають автоматичні режими керування. В підйомних установках найчастіше використовується електричний привід з двигунами різної потужності. До сучасних електроприводів пред'являються дуже високі вимоги по безпеці і комфортабельності. Система управління повинна здійснювати пуск із заданим прискоренням, підтримувати задану швидкість, здійснювати уповільнення і гальмування і забезпечувати точну зупинку підйомної посудини. Для промислових скіпових підйомних установок можливі наступні режими: підйом вантажу, спуск вантажу та цілий ряд інших режимів. Вибір режиму роботи установки може суттєво впливати на величину та знак зусиль двигуна. Метою даної роботи є розробка електромеханічної системи автоматизації промислової скіпової підйомної установки. Головними етапами розробки являються: вибір схеми підйомної установки; розрахунок потужності електропривода і обґрунтування вибору електродвигуна; розробка принципової електротехнічної та функціональної схем; розробка структурної схеми САК та дослідження динамічних (перехідних) режимів роботи ШПУ на основі моделювання в середовищі MATLAB .Вирішення зазначеної задачі дозволить не лише підвищити точність, а й закладе основу для підвищення продуктивності підйомної установки в сучасних умовах добування корисних копалин із все більших глибин та переходом на більш важкодоступні горизонти.

1. Загальні відомості про вантажні підйомні (шахтні) установки

1.1 Загальні відомості про вантажні підйомні установки

Підйомні вантажні установки призначені для забезпечення транспортування вантажу у вертикальному напрямі.

Головними видами підйомних установок є:

- Ліфтові - призначені для транспортування з одного поверху будівлі на інший вантажів в кабінах, які переміщаються в захищеній з усіх боків шахті.

Шахтні - забезпечують транспортування корисних викопних матеріалів - руди, вугілля та ін., а також людей. В основному, шахтні підйомні установки є вертикальними, але зустрічаються також і похилі підйомні установки.

Загальна особливість підйомних установок - циклічний характер роботи.

Шахтні підйомні установки (ШПУ) забезпечують транспортування на поверхню корисних копалин, що добуваються під землею(вугілля, різні руди, сіль та інш.), а також людей, матеріалів, обладнання.

ШПУ є однією з найбільш важливих установок гірничних підприємств, від якої багато в чому залежить безпечність роботи підприємства та його техніко-економічні показники.

ШПУ відрізняють за:

- Функціональним призначенням: вантажні, людські, вантажно-людські; головні та допоміжні;
- Виглядом підйомного пристрою - ПП (посудини) : скипові, клітьові (в тому числі багатоповерхові);
- Виглядом ствола шахти: вертикальні та нахилені;
- Видом електропривідного двигуна: змінного та постійного струму;
- Характером участі обслуговуючого персоналу у керуванні: з ручним керуванням, напівавтоматичні (в тому числі з дистанційним керуванням), автоматичні;
- Видом підйомної машини: барабанні та із шківками тертя(подібні ліфтам) та ін.

Головні особливості ШПУ, які відрізняють їх від ліфтових підйомних установок, полягають у наступному:

- Великі висоти підйому (Н), які іноді перевищують 1,2 - 1,5 км, при важких умовах роботи обладнання у стволі шахти (велика вологість, різка зміна температури, пил, газ та ін.), значно утруднюють точність позиціонування та експлуатацію. Несприятливі умови у стволі шахти практично унеможливають розміщення в ньому електрообладнання. Завдяки цьому, як правило, виключається можливість керування із шахтної кліті. Виключення можуть становити не глибокі соляні шахти;

- Відносно великий вплив ваги та потужності підйомного канату, особливо при значній висоті(глибині) підйому та велика вантажопід'ємність підйомної посудини. Так, відомі підйомні установки з об'ємом скипів біля 55 м³. При значній висоті підйому канат може суттєво впливати як на статичні зусилля, так і на точність позиціонування підйомної установки;

- Значні потужності електродвигунів та можливість появи різноманітних режимів роботи електроприводу, що в першу чергу, стосується клітьових ШПУ. Для вантажних ШПУ головним режимом роботи є режим підйому вантажу. Завантаження скипа може контролюватись за вагою або за обсягом і бути відносно стабільним.

Потужність приводних електродвигунів може досягати величини, значно більше 1000 кВт, що обумовлює використання високовольтних електродвигунів змінного (з фазним ротором), а також постійного струму. Електродвигуни змінного струму в електродвигуновому виконанні використовуються на потужність до 1000- 1800 кВт, у електродвигуновому - до 2000-2400 кВт. При більшій потужності, звичайно, застосовують електроприводи з двигунами постійного струму (згідно існуючих норм);

- електропривод повинен забезпечувати необхідну точність позиціонування, яка складає:
- скипові ШПУ - $\pm (250-300)$ мм;
- клітьові установки з посадкою підйомної посудини на посадочні пристрої коливального типу - $\pm (50-200)$ мм;

- клітьові ШПУ з посадкою на кулаки - $\pm (50-100)$ мм.

1.2 Технологічна схема установки

По вигляду технологічної схеми ШПУ діляться на схеми з вертикальним стовбуром і під нахилом.

У сучасних ШПУ, в основному, застосовуються технологічні схеми з вертикальним стовбуром та кінематичні схеми з верхнім розташуванням приводу. При такому розташуванні досягаються наступні переваги:

- 1) зменшується число перегинів канатів, що збільшує їх довговічність;
- 2) підвищується ККД установки;
- 3) зменшується навантаження на опорні конструкції шахт;
- 4) знижується вартість ШПУ;
- 5) спрощується конструкція ШПУ унаслідок зменшення кількості відповідних блоків або повної їх відсутності.

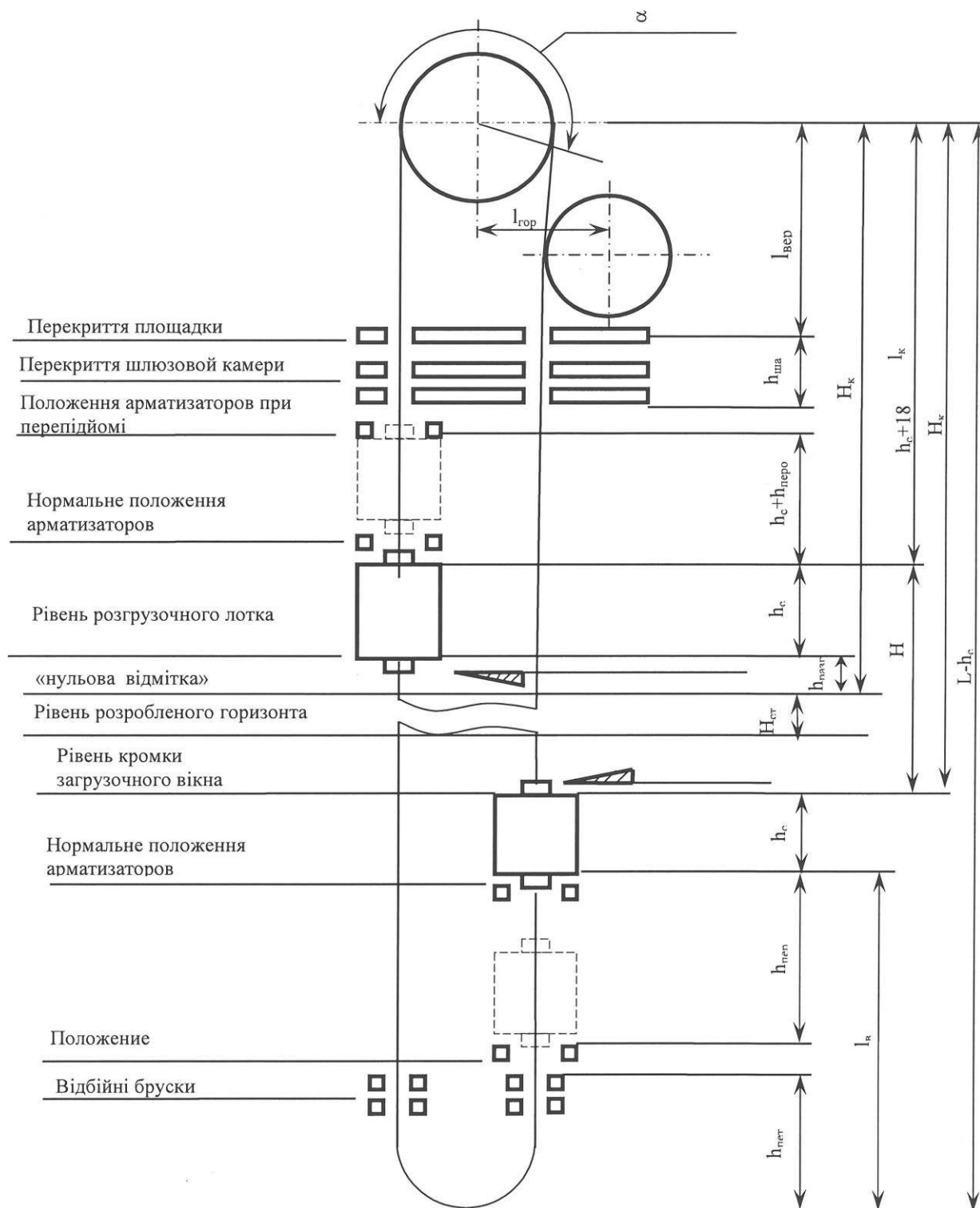


Рисунок 1.1- Схема з вертикальним стовбуром

Вибираємо схему з вертикальним стовбуром для розрахунку. Технологічна схема вибирається виходячи з таких параметрів:

--- призначення;

- вантажопідйомність;
- швидкість руху;
- висота підйому.

Згідно завданню висота підйому складає 450 м, річна продуктивність 500 тис. т скипова підйомна установка. Даним вимогам відповідає технологічна схема приведена на рис. 1.1.

Електропривод і система автоматичного управління знаходяться в машинному приміщенні. При даній конструкції машинне приміщення знаходиться у верхній частині шахти. Апаратура для управління ПУ розміщена в стаціонарних шафах управління.

Підйомною посудиною (ПП) є скипи, що перекидаються за допомогою спеціальних направляючих та приводу. Кабіна і противага, яка складається з другої підйомної посудини, мають вловлювачі, які повинні зупиняти і утримувати їх при аварійних режимах. Вловлювачі управляються від обмежувача швидкості і спрацьовують, якщо швидкість ПП перевищує номінальну більш ніж на 15%.

1.3 Види електричного захисту

Основні пристрої захисту розташовані на платі захисту, який призначений для оперативного включення і відключення електроприводу, забезпечення його захисту, сигналізації, автоматичного повторного включення (АПВ). Основні системи захисту і сигналізації, що становлять:

вузол струмового захисту (пристрої захисту від максимального струму, пристрої захисту від перевантаження і при порушенні охолодження вентилів, пристрої захисту при зниженні напруги мережі більше 15% і при зникненні напруги мережі, пристрої захисту при зниженні напруги мережі більше 30%);

вузол АПВ (пристрої усунення брязкоту контактора датчика зриву інвертора, пристрої відліку часу на повторне включення комутуючого пристрою головних ланцюгів, пристрої відліку часу, протягом якого можливо двохконтактне АПВ, лічильника числа зривів інвертора);

вузол живлення (параметричний стабілізатор, пристрій сіткового захисту при зниженні і зникненні напруги);

вузол сигналізації (основний пристрій включення і відключення електроприводу, канал відключення і включення електроприводу при зниженні напруги мережі більше 15%, канал відключення електроприводу при спрацьовуванні захисту від максимального струму, струму перевантаження і обриву фази двигуна, пристрій відключення електроприводу при натисненні кнопки "Откл.", пристрій відключення електроприводу при зниженні і зникненні напруги мережі, пристрій включення сіткового захисту, канал включення розчіплювача, канал включення силового струмообмеження (СТ), формувач затримки включення головних ланцюгів);

вузол захисту від обриву фази двигуна (інтегратори, компаратори, пристрої формування сигналу обриву фази, пристрої тимчасової затримки на відключення електроприводу при обриві фази двигуна);

1.4 Електроустаткування і електропостачання

1.4.1 Електроустаткування ШПУ

Електроустаткування є невід'ємною частиною ШПУ, органічно пов'язаною з її механічною частиною в єдину електромеханічну систему. Електроустаткування визначає характеристики і якість роботи вантажної підйомної установки.

Основними елементами електроустаткування ШПУ є:
приводні електродвигуни (розглянуті вище); - ввідні пристрої;

- приводні електродвигуни (розглянуті вище);
устаткування і апаратура управління, блокування, сигналізації і зв'язку;
- гальмівні пристрої;
- кінцеві, вимикачі і перемикачі;
- апаратура освітлення і електричного захисту і ін.

Електроустаткування також можна класифікувати по його розміщенню: електроустаткування машинного приміщення, кабіни, шахти. Величина

електричної напруги не повинна перевищувати в кабіні і шахті 380В; у машинному приміщенні - до 660В; напруга в апаратах управління - не вище 220В; аварійне освітлення в кабіні і живлення переносних ламп ремонтного освітлення - не вище 36В.

1.5. Розрахунок потужності електродвигуна і його вибір Визначення необхідної потужності електродвигуна здійснюється за наступними початковими даними:

1. Висота підйому $H=450$ м;
2. Річна продуктивність $A_r=500000$ тонн

1.6. Розрахунок і побудова шестиперіодної тахограми ІППУ Оскільки особливістю ІППУ є циклічний характер роботи, той час, необхідний для розгону, рівномірного руху і гальмування шахтної установки, супроводжується паузою, необхідною для виходу перекидання скипів, їх розвантаження. Після закінчення циклу він відразу повторюється.

Найбільш характерною для ІППУ при використанні скипів, що перекидаються, є шестиперіодна тахограма. Розрахунок її елементів базується на формулі годинної продуктивності, технологічних особливостях ІППУ і існуючих обмеженнях на величину прискорення і гальмування, які визначаються правилами безпеки (експлуатації) для різних типів ІППУ.

$$A_q = \frac{C_1 \cdot C_2 \cdot A_r}{n_d \cdot n_z} = \frac{1.25 \cdot 0.9 \cdot 500000}{300 \cdot 16.5} = 113600 \text{ кг}$$

У основі розрахунку елементів тахограми ІППУ, подібно ЛПУ, лежить формула годинної продуктивності установки - A_q

де A_r - річна номінальна продуктивність установки. $A_r = 500000$ тонн

C_x - коефіцієнт резерву продуктивності. C_x приймаємо рівним 1.15, оскільки використовується одну ІППУ. C_2 - коефіцієнт врахування домішок породи $C_2 < 1.1$. Приймаємо $C_2 = 0.9$. n_d - кількість робочих днів у році.

Приймаємо $n_d = 300$ оскільки в шахті буде перервний робочий тиждень, n , - розрахункова кількість годин роботи ШПУ за добу. Приймаємо $n_z = 16.5$, що відповідає тризмінній роботі шахти.

Знаючи A_q для розрахунку елементів тахограми ШПУ необхідно визначити величину вантажу, яку підніматиме підйомна установка за 1 цикл, - Одну і ту ж продуктивність A_q можна отримати при підйомних посудинах різної ємності за рахунок зміни швидкості підйому (кількості підйомних циклів за однаковий інтервал часу).

При збільшенні об'єму підйомної посудини і зменшенні кількості циклів підйому зменшуються втрати електричної енергії, але збільшуються втрати на електричне і механічне устаткування ШПУ. Тому, величина C) повинна бути вибрана, виходячи з мінімальних амортизаційних втрат і втрат на електричну

$$Q = A_q \cdot \frac{4 \cdot \sqrt{H} + t_n}{3600} = 113600 \cdot \frac{4 \cdot \sqrt{450} + 8}{3600} = 2931 \text{ кг}$$

енергію. Найвигідніша величина вантажу, який піднімається за один раз, може бути знайдена за допомогою формули професора Єланчика, яка має вигляд:

де H - висота підйому (м); У даній бакалаврській роботі $H=450$ м. t_n - тривалість паузи (с) на розвантаження скипа. Приймаємо $t_n = 8$ с оскільки використовуємо скип, що перекидається ємкістю менше 9000 кг. Вибираємо скип з типом-розміром 2СН 4-1 з вантажопідйомністю 3 т з [9]. Його шлях розвантаження складає 2.15 м. Вага скипа $t_0 = 4800$ кг

Розрахунок часу
урахуванням паузи $t_n=8$ с

$$K_q = \frac{A_q}{Q} = \frac{113600}{3000} = 37.879.$$

основі кількості підйомних

одного підйомного циклу з
на

циклів за одну годину

$$T_{\text{ц}} = \frac{3600}{K_{\text{ч}}}$$

$$T_{\text{ц}} = \frac{3600}{38} = 94.737 \text{ с}$$

Приймаємо $K_{\text{ч}} = 38$ под.цикл./ч.

Чистий час роботи ШПУ за один цикл підйому:

$$T_{\text{р}} = T_{\text{ц}} - t_{\text{п}} \quad T_{\text{р}} = 94.737 - 8 = 86.737 \text{ с.}$$

Для скиповых ШПУ - $a_{\text{max}} = 1.2 \text{ м/с}^2$. У розрахунку приймаємо $a_{\text{max}} = 1.0 \text{ м/с}^2$

Тривалість одного підйомного циклу, включаючи тривалість паузи:

Використовуватимемо шестиперіодную тахограму. Так як через технологічні особливості, вибраний скип, що перекидається, де передбачений рух в спеціальних направляючих, за допомогою яких підйомна посудина нахиляється і її вантаж висипається в накопичувальний бункер. Швидкість виходу з

$$V_{\text{max}} = 0.8\sqrt{H} = 0.8 \cdot \sqrt{450} = 16.971 \text{ м/с}$$

направляючих не повинна перевищувати 1.5 м/с.

Номінальна (максимальна) швидкість руху ППУ:

Напишемо систему рівнянь, вирішення якої дасть нам значення часу на

$$\left\{ \begin{array}{l} 2.15 = \frac{0.3 \cdot t_1^2}{2} \\ V_1 = 0.3 \cdot t_1 \\ t_n = 8 \quad t_6 = 1.5 \\ S_6 = \frac{1 \cdot t_6^2}{2} \\ V_5 = 1.5 \\ S_5 = 2.15 - S_6 \quad t_5 = \frac{S_5}{V_5} \\ T_{II} - (t_1 + t_5 + t_6 + t_n) = 80.768 \\ V_2 = V_1 + 1 \cdot t_1 \quad S_2 = \frac{1 \cdot t_1^2}{2} + V_1 \cdot t_1 \\ S_3 = 450 - (S_2 + S_4) \\ 1.5 = V_2 - 1 \cdot t_4 \\ S_4 = V_2 \cdot t_4 - \frac{1 \cdot t_4^2}{2} \\ S_3 = V_2 \cdot t_3 \\ 80.768 = t_2 + t_3 + t_4 \end{array} \right.$$

кожній ділянці шестиперіодної
тахограми і значення пройденого шляху і
швидкості на відповідних ділянках.

(1)

Початкову систему (1) вирішуємо за допомогою пакету MatLab

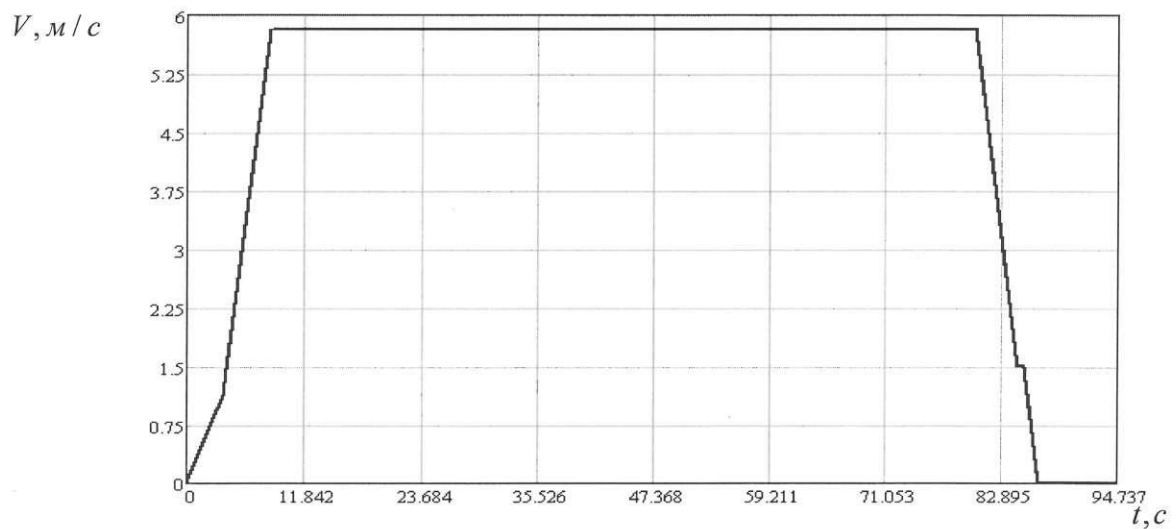


Рисунок 1.2. - Шестиперіодна тахограма ШПУ

1.7. Побудова діаграми рушійних зусиль

Діаграма рушійних зусиль є визначальною для розрахунку потужності приводного двигуна і визначення особливості роботи схеми автоматизації на окремих етапах.

Розрахункова кінематична схема наведена на рис.2.3. На ППУ врівноважуючі (хвостові) канати використовуються, якщо неврівноваженості $\delta = \frac{H \cdot q_k}{Q} > 0.5$ коефіцієнт статичної

Оскільки в нашому випадку

$$\delta = \frac{H \cdot q_k}{Q} = \frac{450 \cdot 6.35}{3000} = 0.953 > 0.5$$

то в системі присутній хвостовий врівноважуючий канат і система є статично стійкою.

$q_k = 6.35 \frac{\text{кґ}}{\text{м}}$ Вибираємо з канат ЛК-3 6*25(1+6,6+12)+1 о.с. з такими параметрами:

це d_k - вага погонного метра канату. $c_{i_k} = 0.042 \text{ м}$ де c_{i_k} - діаметр каната.

$$m_p = \frac{Q_{\text{раз}}}{g \cdot (Q + m_0 + q_k \cdot H_k)} \geq m$$

Перевіримо вибраний канат на міцність, використовуючи формулу (2).

Де $2pt''$ сумарне розривне зусилля всіх проволікав в канаті, Н; m_p - розрахунковий запас міцності. Для вибраного каната $Q_{\text{раз}} = 902000 \text{ Н}$. Умова

$$m \geq 6 \quad m_p = \frac{902000}{9.807 \cdot (3000 + 4800 + 6.35 \cdot (450 + 2.15))} = 8.62 > 6 \quad \text{необхідна умова міцності}$$

виконується.

забезпечення необхідної міцності каната для ППТУ по нормах безпеки складає:

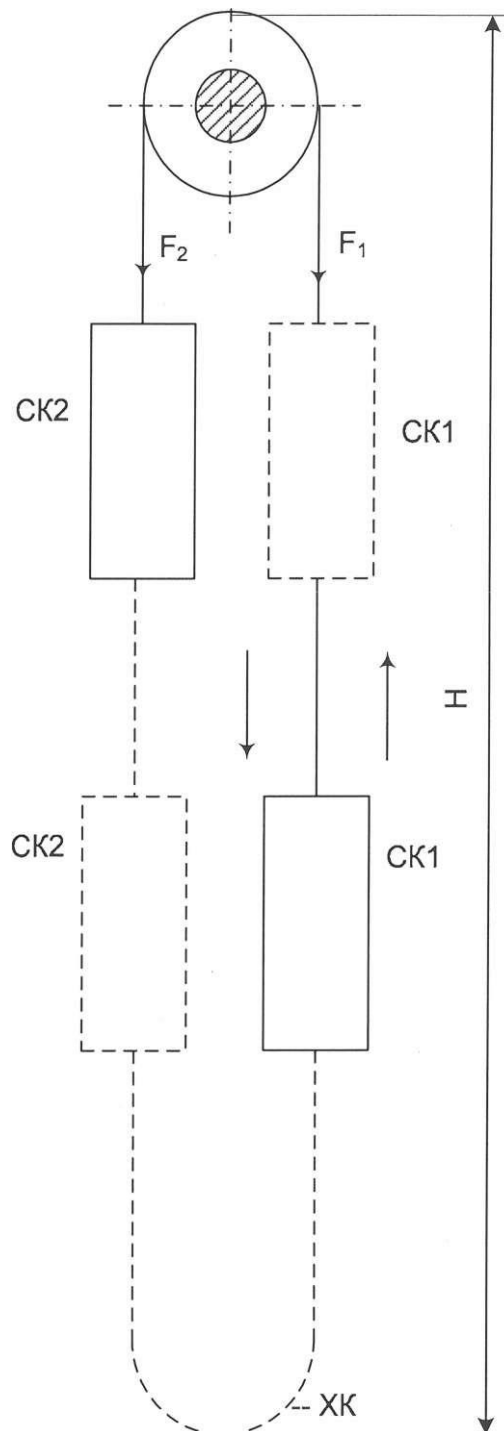


Рисунок 1.3- Розрахункова кінематична схема

На схемі вказані: Ш-шкив; СК1 і СК2 - перший і другий скип відповідно; ХК- врівноважуючі канати; статичні зусилля на канатах. Рушійне зусилля може бути знайдене на підставі рівняння динаміки ШПУ:

$$F_{\text{дин}} = F_{\text{дв}} - F_{\text{ст}}$$

$$F_{\text{дв}} = F_{\text{дин}} + F_{\text{ст}}$$

Де $P_{\text{дин}} = ta$ - динамічне зусилля ШПУ; t - приведена маса ШПУ; a - прискорення.

$P_{\text{ст}}$ - статичне зусилля, характер зміна якого залежить від кінематичної схеми, завантаженості кабіни і так далі.
Підйом вантажу (спуск вантажу).

$$F_{\text{ст}} = K \cdot g \cdot Q = 1.1 \cdot 9.807 \cdot 3000 = 32360 \text{ Н}$$

1. Рівняння статичних зусиль ШПУ на канаті:

Де K - коефіцієнт, що враховує тертя в системі (сухе та вязке).

$$F_{\text{дс1}} = F_{\text{ст}} + m_{\Sigma} \cdot a_1 = 32360 + 19740 \cdot 0.3 = 38280 \text{ Н}$$

де t_{Σ} - приведена маса до валу двигуна.

Рухальне зусилля на канаті, перша ділянка тахограми $a = 0.3 \text{ м/с}^2$:

$m_{\Sigma} = 2 \cdot q_k \cdot H + Q + 2 \cdot Q_0 + Q_{\bar{b}} = 2 \cdot 6.35 \cdot 450 + 3000 + 2 \cdot 4800 + 1423 = 19740$ кг це Q_6 - вага барабана

.

Рушійне зусилля на канаті, друга ділянка тахограми $a = 1 \text{ м / с}^2$:

$$F_{\partial 62} = F_{cm} + m_{\Sigma} \cdot a_2 = 32360 + 19740 \cdot 1 = 52100 \text{ Н}$$

Рушійне зусилля на канаті, третя ділянка тахограми $a = 0 \text{ м / с}^2$:

$F_{\partial 63} = F_{cm} = 32360 \text{ Н}$ Ділянка рівномірного руху.

Рушійне зусилля на канаті, четверта ділянка тахограми $a = -1 \text{ м / с}^2$:

$$F_{\partial 64} = F_{cm} + m_{\Sigma} \cdot a_4 = 32360 + 19740 \cdot (-1) = 12630 \text{ Н}$$

Рушійне зусилля на канаті, п'ята ділянка тахограми $a = 0 \text{ м / с}^2$:

$$F_{\partial 65} = F_{cm} = 32360 \text{ Н}$$

Рушійне зусилля на канаті, шоста ділянка тахограми $a = -1 \text{ м / с}^2$:

$$F_{0a6} = F_{cm} + m_{\Sigma} \cdot a_6 = 32360 + 19740 \cdot (-1) = 12630 \text{ Н}$$

F, H

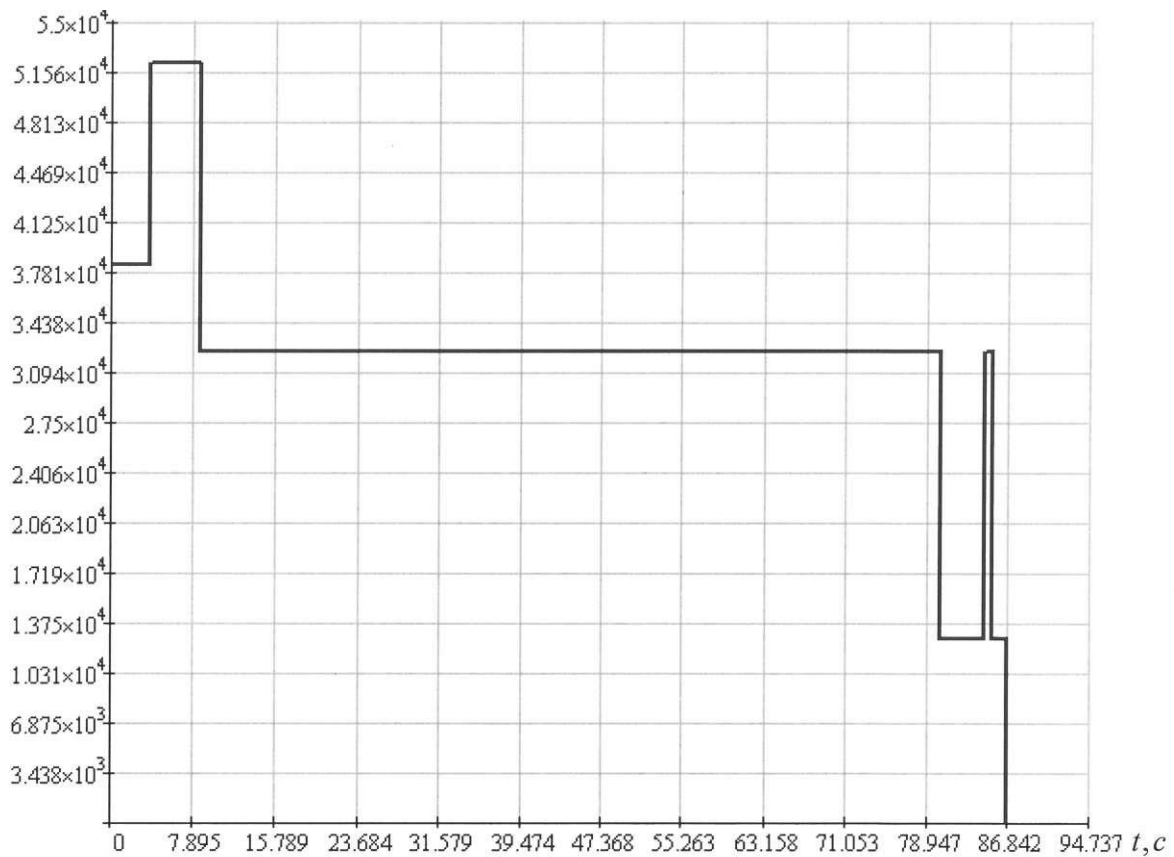


Рисунок 1.4 - Діаграма рушійних зусиль при підйомі

Оскільки роль протизаги в ШПУ грає друга підйомна посудина, в даному випадку скип, то діаграми рухових зусиль в режимі підйому і спуску будуть ідентичні, тому достатньо для повного представлення рухових зусиль в системі в різних режимах роботи.

1.8.. Розрахунок потужності електродвигуна і його вибір на підставі побудованої тахограми і діаграми зусиль

Для розрахунку потужності електродвигуна може бути використаний метод еквівалентного струму або метод "на підставі статичних характеристик".

Перший полягає в тому, що при розрахунках в приведеній масі (або приведену моменті) необхідно враховувати відповідні параметри двигуна, який ще не вибраний. Тому, цими параметрами задаються приблизно, враховуючи відповідні рекомендації.

При використанні другого методу будують графіки, які відповідають режиму підйому при номінальній завантаженості кабіни і підйому незавантаженої кабіни, а також при спуску номінального вантажу і порожньої кабіни.

Визначена на підставі обох методів потужність не враховує можливості відхилення фактичної ПВ, отриманого на підставі тахограми, від стандартної величини ПВ, вказаної в каталозі електродвигунів для повторно-короткочасних режимів роботи.

Це означає, що фактичний характер нагріву і охолодження двигуна в період паузи може відхилятися від цього процесу електродвигунів із стандартною ПВ. Тому потужність двигуна, вказана в каталозі для стандартного значення ПВ, не відповідатиме потужності двигуна, вибраного по розрахунковій величині, і повинна бути скоректована відповідним чином.

Потужність приводного двигуна визначимо, виходячи з формул еквівалентних зусиль при режимі підйом вантажу.

1. Еквівалентне значення зусилля:

$$F_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{F_1^2 t_1 + F_2^2 t_2 + F_3^2 t_3 + F_4^2 t_4 + F_5^2 t_5 + F_6^2 t_6}{T_{\text{ц}}}} =$$

$$= \sqrt{\frac{38280^2 \cdot 3.79 + 52100^2 \cdot 4.68 + 32360^2 \cdot 71.76 + 12630^2 \cdot 4.32 + 32360^2 \cdot 0.683 + 12630^2 \cdot 1.5}{94.737}} =$$

$$= 31680 \text{ Н}$$

Еквівалентне значення моменту на шківі. Вибираємо циліндровий барабан типу Ц-2.5*2 з $i_p = 30$ $r = 1.25 \text{ м}$. Вага даної підйомної машини 30 т без двигуна і електроустаткування. Визначимо вагу барабана, виходячи з того, що він порожнистий з товщиною стінок 30 мм.

$$Q_{\sigma} = Q_m \cdot \left(1 - \frac{(2 \cdot R_{\sigma} - 2 \cdot 0.03)^2}{(2 \cdot R_{\sigma})^2} \right) = 30000 \cdot \left(1 - \frac{(2 \cdot 1.25 - 2 \cdot 0.03)^2}{(2 \cdot 1.25)^2} \right) = 1423 \text{ кг}$$

3. Для визначення потужності двигуна необхідно привести M_e на шків до моменту на валу двигуна. Також, щоб врахувати 77 підйомної машини, в знаменник вводять ККД.

$$M_{\text{эв.дв}} = \frac{M_{\text{эв}}}{i_p \eta} = \frac{39600}{30 \cdot 0.95} = 1389 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

4. Необхідна кутова частота обертання ротора двигуна:

$$\omega_{\text{дв}} = \frac{0.4 \cdot V_{\text{max}} i_p}{R_6} = \frac{5.82 \cdot 30}{1.25} = 139.68 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

5. Еквівалентна потужність двигуна:

$$P_{\text{эв.дв}} = M_{\text{эв.дв}} \omega_{\text{дв}} k_3 / 1000 = 1389 \cdot 139.68 \cdot 1.3 / 1000 = 252.3 \text{ кВт}$$

Де $k_3 = 1,1\text{--}1,5$ - коефіцієнт запасу на динаміку, який враховує співвідношення тривалості пуску і рівномірного руху.

Знайдемо вищеприписане відношення:

$$M_{\text{эв}} = F_{\text{эв}} \cdot R_6 = 31680 \cdot 1.25 = 39600 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

оскільки

$$0.05 < \frac{t_1 + t_2}{t_3} < 0.2 \text{ то приймаємо } k_3 = 1.3$$

$$\frac{79 + 4.68}{71.76} = 0.118$$

6. Визначення необхідної потужності.

Виконаний раніше розрахунок проводиться на підставі дійсного значення тривалості включення $PВ_d$, яке визначається по розрахунковій шестиперіодній діаграмі:

$$PВ_d = \frac{T_p}{T_{\text{ц}}} 100 = \frac{86.737}{94.737} 100 = 91.56 \%$$

Найближча каталожна тривалість включення $PВ_n = 100\%$ тому перераховуємо потужність до цього значення:

$$P_{\text{ПВном}} = P_{\text{ЭКВ.ДВ}} \sqrt{\frac{\text{ПВ}_{\text{д}}}{\text{ПВ}_{\text{н}}}} = 252.3 \cdot \sqrt{\frac{91.56}{100}} = 241.4 \text{ кВт}$$

7. Вибір двигуна.

По каталогу вибираємо двигун типу 4А35584УЗ, який при $P_{Вн}=100\%$ має наступні номінальні дані:

Таблиця 1.1. Трифазний асинхронний електродвигун з короткозамкнутим ротором:

№	Параметри	Значення	Одиниця вимірювання
1	Число пар полюсів	2	-
2	Номінальна потужність	250	кВт
3	Момент інерції	6	кг·м ²
4	Індукція в повітряному зазорі	0.79	Тл
5	Лінійне навантаження	444	А/см
6	Коефіцієнт корисної дії	94.5	%
7	Коефіцієнт потужності	0.92	-
8	Індуктивний опір розсіювання	4.6	Від. од
9	Активний опір обмотки статора	0.013	Від. од
10	Індуктивний опір обмотки статора	0.09	Від. од
11	Активний опір обмотки ротора	0.013	Від. од
12	Індуктивний опір обмотки ротора	0.13	Від. од
13	Активний опір обмотки ротора при К.З.	0.024	Від. од
14	Критичний активний опір при К.З.	0.037	Від. од
15	Критичний індуктивний опір при К.З.	0.15	Від. од
16	Номінальне ковзання	1.0	%
17	Синхронна частота обертання	1500	об/хв
18	Кратність пускового моменту	1.2	-
19	Кратність максимального моменту	0.9	-
20	Кратність критичного моменту	2.0	-
21	Критичне ковзання	4	%
22	Лінійна напруга статора	380	В

1.9. Перевірка правильності вибору електродвигуна

Перевірка вибору двигуна по перевантажувальній здатності:

$$\lambda \cdot M_n = 2.0 \cdot 1608 = 3216 \text{ Н} \cdot \text{м} > M_{п2} = 2285 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

де $M_{п1}$ - момент на другій ділянці тахограми (найбільш важкий для ЕП).

$$M_{п2} = \frac{F_{\partial 2} \cdot R_{\partial}}{i_p \cdot \eta} = \frac{52100 \cdot 1.25}{30 \cdot 0.95} = 2285 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Двигун задовольняє умові перевантажувальної здатності.

Перевірка вибору двигуна по нагріву:

$$M_n = 1608 \text{ Н} \cdot \text{м} > M_{\text{экв. ПВ100\%}} = 1389 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Двигун задовольняє умові перевантаження по теплу.

1.10. Вибір основного електроустаткування

На підставі результатів розрахунку, проведеного в попередньому підрозділі, з каталога вибирається машину підйомну шахтну барабанну і перетворювач частоти. До складу машини входить електродвигун, редуктор, барабан.

Машина підйомна шахтна барабанна має наступні основні характеристики:

- 1) Трифазний асинхронний електродвигун з короткозамкнутим ротором (паспортні дані вказані вище)
- 2) Коефіцієнт передачі редуктора $i_p = 30$
- 3) Діаметр барабана = 2.5 м
- 4) Допустима швидкість підйому $V = 7 \text{ м/с}$
- 5) Лінійна швидкість на барабані $V = 5.8 \text{ м/с}$
- 6) Момент інерції редуктора $I_p = 1.2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
- 7) перетворюючий пристрій

Виходячи з розрахунків, проведених вище і умови бакалаврської роботи, виберемо мікроконтролер з каталога серії АТ8535 та ПЧ типу АС8800 - 02 0 320

Номинальний режим

Номинальна потужність P_n	250 кВт
Напруга живлення	380...4155
Частота живлення	48...63 Гц
Вихідний струм	320 А
Вихідна напруга	380...415 В
Вихідна частота	0...500Гц

Для важкого режиму

Номинальна потужність P_n	200 кВт
Вихідний струм	160 А

Перевантажувальна здатність В

номинальному режимі	1.1
В важкому режимі	1.5
В будь-яких режимах	

Висновки

1. Застосування на підйомних та потоково-транспортних установках систем асинхронного електроприводу вимагають вдосконалення в напрямку поліпшення їх енергетичних показників і динамічних властивостей.

2. Для електромеханічних систем підйомних установок характерним є наявність пружних зв'язків, що вимагає підвищення демпфуючої здатності систем асинхронного електроприводу.

3. Використання сучасної елементної бази силової перетворювальної техніки дозволяє розробляти системи асинхронного електроприводу з поліпшеними показниками щодо працездатності енергоефективності та динамічних властивостей.

4. Необхідно дослідити можливість підвищення демпфуючої здатності асинхронних двигунів та електроприводів на їх основі за рахунок застосування коригувальних засобів, дія яких спрямована на синхронізації швидкостей двигунів.

2. Автоматизація скіпової ПУ та розробка принципової електротехнічної та функціональної схем

2.1 Автоматизація скіпової підйомної установки

Підйомні установки гірських підприємств є найбільш відповідальною ланкою транспортного ланцюга, що забезпечує видачу корисної копалини на поверхню. Від їх надійної і безперебійної роботи багато в чому залежать безпека і техніко- економічні показники підприємства.

Автоматизація роботи підйомних установок дає можливість в порівнянні з ручним управлінням збільшити продуктивність за рахунок скорочення тривалості підйомного циклу, зменшити витрату електроенергії, понизити тривалість ремонтних робіт і простоїв підйому внаслідок аварій механічної частини установки, збільшить термін служби і зменшити витрату підйомних канатів. У результаті автоматизації підйомної установки зменшуються витрата експлуатаційних матеріалів, витрати на ремонт.

Основні вимоги до автоматизації скіпових підйомних установок полягають в тому, щоб забезпечити:

автоматичне, напіваавтоматичне, дистанційне управління підйомною машиною залежно від особливостей підйомної установки і поставленого завдання управління;

дистанційне керування з машинного залу перетворювачами живлення ланцюгів управління постійного струму;

при комплексній автоматизації - дозування завантаження і контроль розвантаження підйомних посудин, приймальних бункерів, блокування

роботи підйомної машини з датчиками завантаження верхньої і нижньої посудин;

автоматичний захист від перепідйомів, перевищення швидкості, захист від перегрівання підшипників і ін.

До системи автоматичного управління підйомною машиною пред'являють вимоги забезпечити :

1) досить точне виконання заданої тахограми незалежно від завантаження підйомної посудини (скипа). При цьому швидкість не повинна перевищувати номінальну величину більш ніж на 15%, оскільки інакше спрацює захист від перевищення швидкості. Величина прискорення і уповільнення не має бути більше нормованого значення, повинна забезпечуватися необхідна швидкість руху в розвантажувальних кривих і при дотягуванні підйомної машини. Точне виконання тахограми забезпечить розрахункову продуктивність і техніко-економічні показники роботи підйому;

2) достатню статичну і динамічну точність і якість процесів регулювання. Оскільки підйомна машина має великий момент інерції, то перехідний процес в системі регулювання має бути монотонним. Величина перерегулювання не повинно перевищувати 3-5%, тривалість перехідного процесу - до 1-1,8 с.

Висока якість процесів регулювання усуне появу пружних коливань в механічних вузлах підйомної установки, що підвищить термін їх служби, надійність і безпеку підйомної установки.

Оскільки для виконання процесу автоматизації скіпової ПУ необхідно мати принципову електротехнічну та функціональну схеми САК, тому у наступному пункті проведемо їх розробку.

2.2. Розробка принципової електротехнічної та функціональної схем

Сучасні тенденції розвитку електропривода у світі, потреба промислових підприємств України в оснащенні передовими енергозберігаючими технологіями, системами автоматичного керування (САК) і діагностики

визначають основні напрямки розвитку електропривода й САК підйомних машин.

В електроприводі - це перетворювачі частоти й електронні регулятори з мікропроцесорним керуванням.

В ЕМСАК на цей час найбільш простим і надійним є асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором й автоматизований регульований електропривод на його базі.

Регульований асинхронний електропривод в ЕМСАК механізмах підйомних машин дозволяє:

- забезпечити високу плавність руху;
- використати триперіодну тахограму двигуна (розгін - рівномірний рух гальмування) з виключенням режиму "дотягування";
- обрати оптимальну швидкість рівномірного руху;
- забезпечити точне позиціонування;
- знизити масогабарити та вартість приводного асинхронного двигуна;
- знизити сумарний момент інерції механічної системи;
- скоротити зношування механічних гальм;
- заощаджувати електроенергію;
- підвищити виробничу безпеку;
- мінімізувати витрати на обслуговування.

Для виконання автоматизованого електропривода на базі асинхронного електродвигуна використовується сучасна перетворювальна техніка (рис. 2.1) і мікропроцесорні засоби автоматизації.

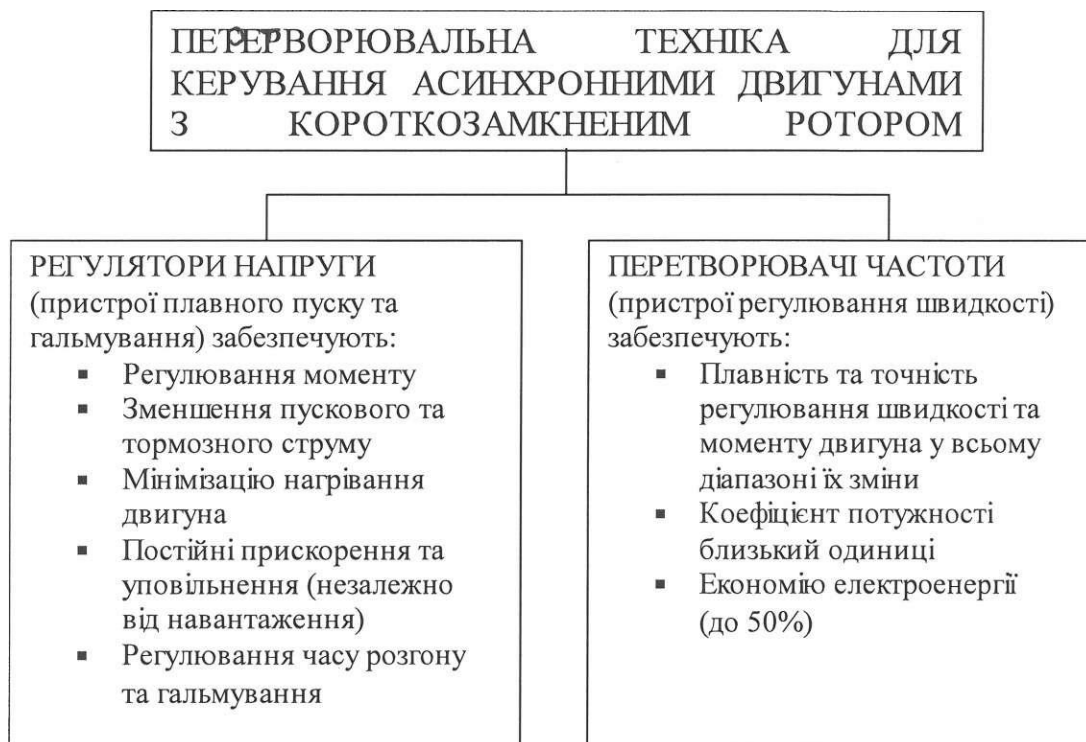


Рисунок 2.1 - Перетворювальна техніка для керування асинхронними приводами з короткозамкненим ротором

Мікропроцесорні системи регулювання таких електроприводів дозволяють одержати нові функціональні можливості, які не можна було досягти, застосовуючи старі аналогові системи керування.

Використання завдання швидкості, положення або моменту по аналоговому входу (± 10 В) або цифровим шляхом дає можливість гнучкої автоматизації без повної відмови від існуючих систем керування.

Сучасні цифрові системи електроприводу дають можливість використовувати режим нульової швидкості з максимальним моментом, що дозволяє зафіксувати вантаж у нерухомому стані до спрацьовування електромеханічного гальма. Причому вал двигуна при цьому залишається нерухомим (мікропереміщення вала становлять 1...2 кутові хвилини).

Також для режиму орієнтації застосовується додатковий імпульсний датчик положення. З його допомогою можливо здійснити точне позиціонування привода.

В нашому випадку використовується асинхронний двигун з короткозамкненим ротором, частотний перетворювач напруги для живлення цього

двигуна з заданою напругою та частотою та запрограмований вручну мікропроцесорний елемент, написаною заздалегідь програмою, для автоматичного відпрацювання тахограми швидкості.

Сигнал отриманий з ПК передається на запрограмований мікропроцесорний елемент, що працює для видачі завдання на частотний перетворювач.

Опрацьований сигнал з мікроконтролера подається на вхід ЦАП, звідки передається у аналоговій формі на ПЧ, де і безпосередньо відбувається процес автоматизації. Логічна схема САК є послідовною - тому відмова будь-якого елемента системи може викликати відмову всієї системи. Схема керування має вигляд рис. 2.2.

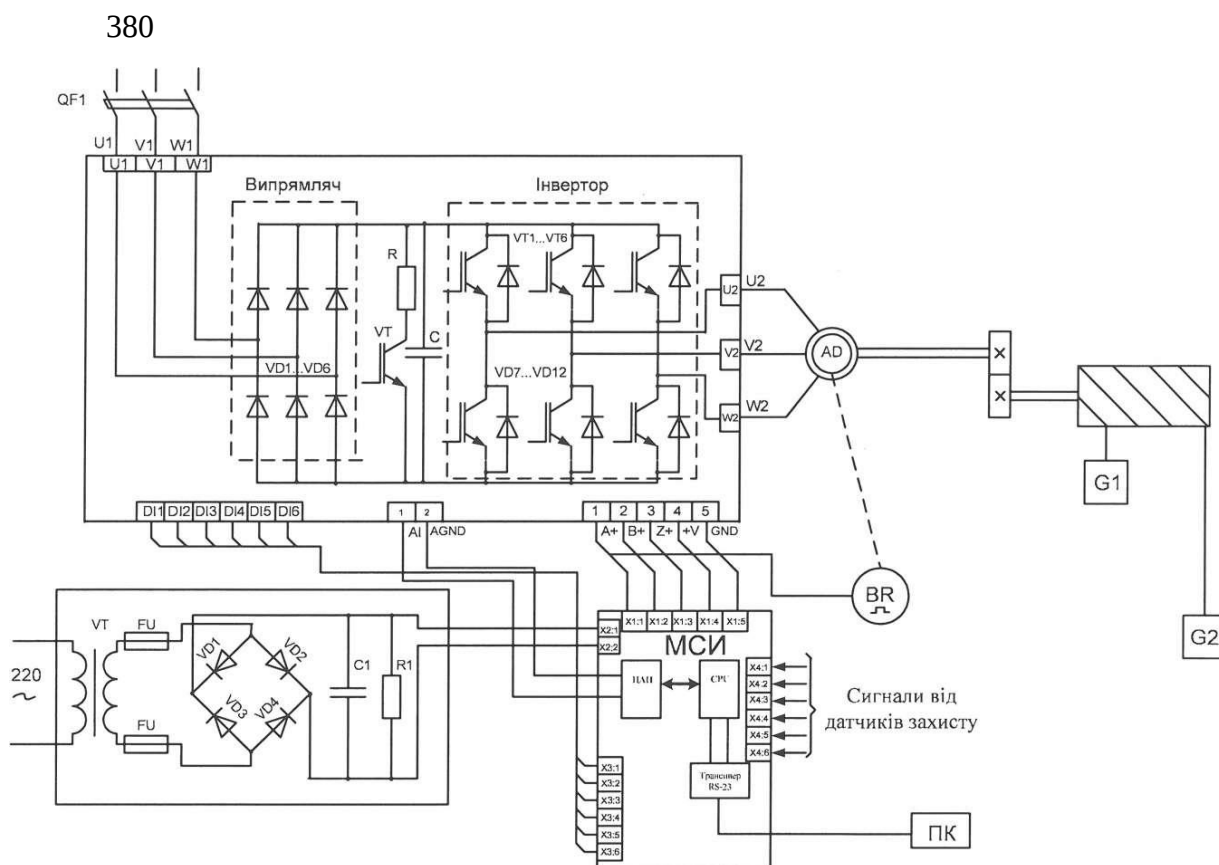


Рисунок 2.2 - Функціональна електротехнічна схема підйомної установки

Мікроконтролер AT8535 було запрограмовано згідно нижченаведеного тексту програми, написаного на мові програмування C++.

Void TAXOGRAMA ()

{

If ($t > t_1$)

{

$V = a_1 t_1$;

}

If ($t \geq t_1 \quad \&\& \quad t \leq t_2$);

{

$V = a_1 t_1 + a_2 (t - t_1)$;

}

If ($t \geq t_2 \quad \&\& \quad t \leq t_3$)

{

$V = a_1 t_1 + a_2 (t - t_2)$;

}

If ($t \geq t_3 \quad \&\& \quad t \leq t_4$)

{

$V = a_1 t_1 + a_2 (t - t_2) - a_3 (t - t_3)$;

}

If ($t \geq t_4 \quad \&\& \quad t \leq t_5$)

{

$V = a_1 t_1 + a_2 (t - t_2) - a_3 (t - t_3) - a_4 (t - t_4)$;

}

If ($t \geq t_5 \quad \&\& \quad t \leq t_6$)

{

$V = a_1 t_1 + a_2 (t - t_2) - a_3 (t - t_3) - a_4 (t - t_4) - a_5 (t - t_5)$;

}

$a = \pm a_i$

$t = t_i + T_s$;

$T_s = lmc$

}

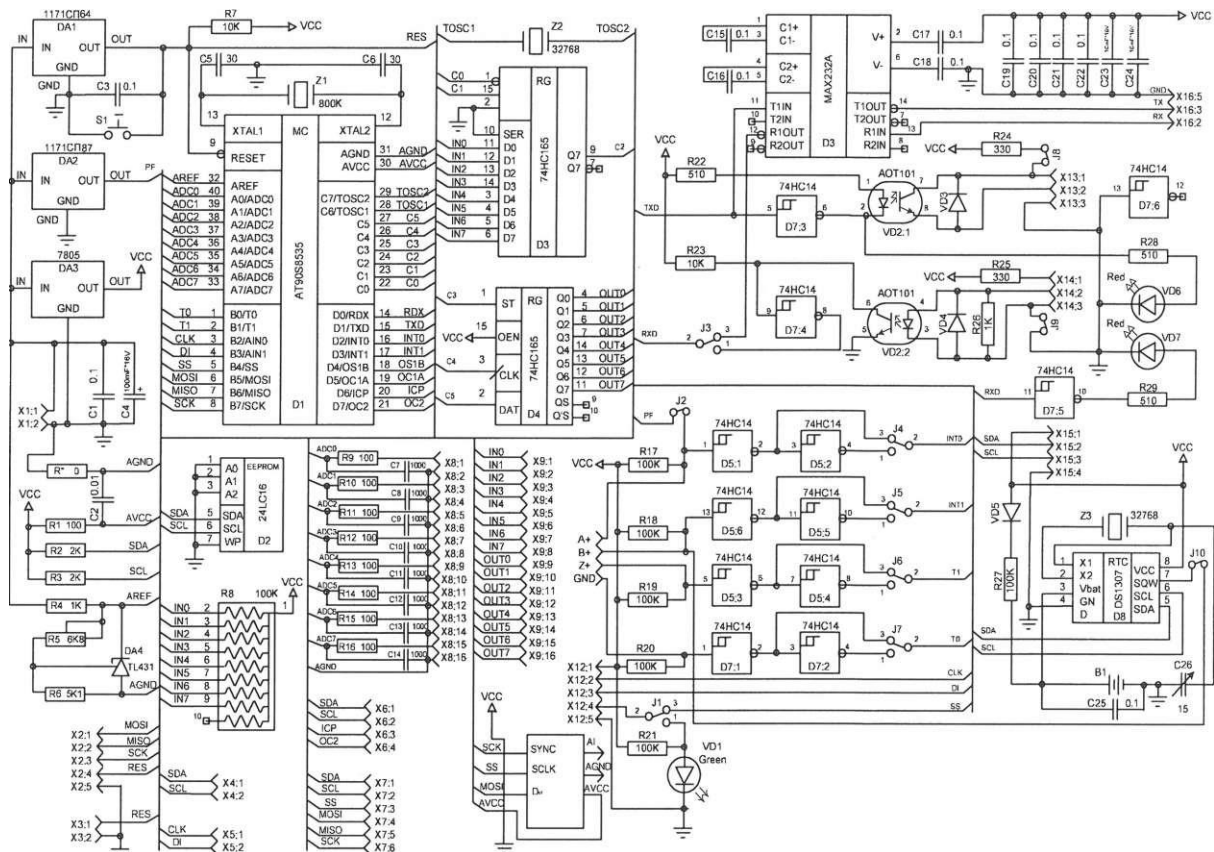


Рисунок 2.3 - Принципова електротехнічна схема мікропроцесорного елемента підйомної установки.

На рис.2.3 зображена принципова електротехнічна схема мікропроцесорного елемента. Ця схема має наступні технічні характеристики: о процесор - AVR AT90S8535/4434; о 12 входів, 8 виходів (TTL); о АЦП 8 каналів, 10 розрядів; о годинник реального часу, календар на DS 1307; о монітор живлення, контроль зниження живлення; о пам'ять програм 8/4КБт. (FLASH внутрішня); о пам'ять даних 512/256 Байт (внутрішня); о незалежна пам'ять даних 512/256 Байт (внутрішня); о незалежна пам'ять даних зовнішня до 64 КБт. (24LCXXX); о інтерфейс для зв'язку з комп'ютером RS232 або "струмова петля"; о програмний I2C; о Master/Slave апаратний SPI; о роз'єми для підключення ЖК і світлодіодних індикаторів; о внутрішньосхемна відладка програм по SPI за допомогою програматора AVRPROG або аналогічного; о живлення 9-16 Вольт, 50 мА.

Промисловий контроллер є друкованою платою розміром 100 x 110мм зі встановленими по краях роз'ємами входів/виходів під "гвинт" і штирьовими роз'ємами для підключення периферійних пристроїв і внутрішньосхемного програмування. Завантаження програм в контроллер здійснюється через роз'єм X2 за допомогою програматора AVRPROG або аналогічного - по інтерфейсу SPI. На платі, на колодці встановлений AVR -процесор D1(AT90S8535/4434) зі вбудованим АЦП.

Скидання процесора здійснюється від монітора DA1(1171СП73). Контроль за зниженням живлення здійснює монітор DA2 (1171СП87), по його сигналу, заведеному на переривання, є можливість запису в незалежну пам'ять необхідних установок, до відключення живлення (по живленню стоїть буфер з конденсатором великої ємності (C4), який дозволяє виконати цю операцію).

Живлення 9-16 V подається на контроллер через роз'єм XI і стабілізатор DA3 (7805, 5 Вольт). Аналогові сигнали від 0 до +5 В подаються на роз'єм X8. Регульоване джерело опорної напруги АЦП DA4 зібране на м/с TL431. Контроллер має 12 XTЛ входів (2 зовнішні переривання - XI1:1-XI1:2 і 2 тактові входи лічильника - XI 1:3-XI 1:4, і восьмирозрядний вхідний регістр D3 (X9:1-X9:8)) і 8 TTL виходів - реєстр D4 (роз'єм D9:9 - D9 :16) (підпрограма введення/виводу поставляється разом з бібліотекою підпрограм). Зовнішня незалежна пам'ять до 64 КБт. - 24LCXXX встановлюється в панель D2, зв'язок з контроллером здійснюється по шині I2C.

Шина I2C виведена на штирьовий роз'єм XI5 і може бути використана для підключення додаткових модулів. Зв'язок контроллера з IBM PC/AT або з іншими контроллерами може здійснюватися по Я8232 через роз'єм XI6 або по "струмовій петлі" через роз'єми X13, X14.

2.3. Розробка структурної схеми САК

Рівняння і передавальні функції ланок і системи. Механічну частину шахтної установки можна представити у вигляді одномасової розрахункової схеми, яку отримаємо при приведенні мас, які рухаються поступально і обертально, до обертального руху валу двигуна.

Здійснимо приведення моментів інерції до валу двигуна:

$$J_{\Sigma} = J_d + J'_m, \text{ де } J_d - \text{момент інерції двигуна.}$$

$$J'_m = J_p + J'_6 + J'_k + J'_{ck1} + J'_{ck2} + J'_{гр},$$

$$\text{де } J_p = 0.2 \cdot J_d = 0.2 \cdot 6 = 1.2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J'_m = J_p + J'_6 + J'_k + J'_{ck1} + J'_{ck2} + J'_{гр} = J_p + (Q_6 + 2 \cdot q_k \cdot H + 2 \cdot m_0 + Q) \cdot \left(\frac{R_6}{i_p} \right)^2 =$$

$$\text{Враховуючи, що } \omega = \frac{i_p}{R_{\kappa}} V,$$

$$\begin{aligned} \text{Сумарний момент інерції: } J_{i=\Gamma} &= 6 + 35.467 = 41.467 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; \\ &= 1.2 + (1423 + 5715 + 2 \cdot 4800 + 3000) \cdot \left(\frac{1.25}{30} \right)^2 = 35.667 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; \end{aligned}$$

J_6 - приведений момент інерції барабана. J_k - приведений момент інерції каната.

J_{ck1}, J_{ck2} - приведений момент інерції першого та другого скипа відповідно.

$J_{гр}$ - приведений момент інерції вантажу.

На барабан діє зусилля:

$$P_{\text{ст}} = 1.1 \cdot 9.807 \cdot 3000 = 32360 \text{ Н}$$

Приведення зусиль до валу двигуна здійснюється на підставі рівності елементарних робіт сили $B_{\text{ст}}$ при підйомі або спуску вантажу на елементарному переміщенні dx і моменту $M_{\text{ст}}$ на елементарному повороті валу двигуна $d\varphi$.

$$B_{\text{ст}} dx = M_{\text{ст}} d\varphi$$

$$M_{\text{ст}} = F_{\text{ст}} \frac{\partial x}{\partial \varphi} = F_{\text{ст}} \frac{\partial x}{\partial t} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial t} \right)^{-1} = F_{\text{ст}} \frac{V}{\omega} = F_{\text{ст}} \frac{R_6}{i_p} = k \cdot g \cdot Q \cdot \frac{R_6}{i_p}$$

З урахуванням ККД редуктора: При підйомі скипа №1, спуску - №2.

$$M_{\text{ст}} = g \cdot \frac{k \cdot Q \cdot R_6}{\eta \cdot i_p} = 9.807 \frac{1.1 \cdot 3000 \cdot 1.25}{0.95 \cdot 30} = 1419 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

При підйомі скипа №2, спуску - №1.

$$M_{\text{ст}} = g \cdot \frac{\eta \cdot k \cdot Q \cdot R_6}{i_p} = 9.807 \frac{0.95 \cdot 1.1 \cdot 3000 \cdot 1.25}{30} = 1281 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Шлях, який пройшов скіп при повороті двигуна на кут

$$x = \frac{R_{\phi}}{i_p} \varphi;$$

Асинхронний двигун є істотно нелінійною ланкою. Для повного аналізу використовують складні математичні моделі і ЕОМ.

А за умови ненасичення магнітного ланцюга двигуна, симетричності фаз і так далі найчастіше використовують еквівалентну двохфазову модель двигуна у векторній формі.

Але найбільш спрощену модель можна отримати при лінеаризації робочої ділянки механічної характеристики. При цьому передавальна функція

$$W(p) = \frac{M_d}{\omega_0 - \omega} = \frac{\beta}{T_{\omega} p + 1}$$

регульованого двигуна може бути записана у вигляді аперіодичної ланки:

У даному випадку вихідною координатою є момент на валу двигуна, тобто він розглядається як джерело моменту. У цьому випадку момент інерції самого двигуна доцільно віднести до передавального пристрою ЕП. Це дозволяє забезпечити зручність в узгодженості математичної моделі двигуна і ППЧ.

Якщо доповнити передавальну функцію двигуна $W(p)$ ланкою K_{ω} , що пов'язує управляючу дію, в нашому випадку частоту, з різницею $\omega - \omega_0$, а так

само передавальною функцією ми можемо отримати структурну схему асинхронного двигуна. А при доповненні схеми передавальною функцією перетворювача частоти, яка може бути представлена у вигляді: та ми отримаємо необхідну структурну схему об'єкту регулювання отримаємо необхідну структурну схему об'єкту регулювання

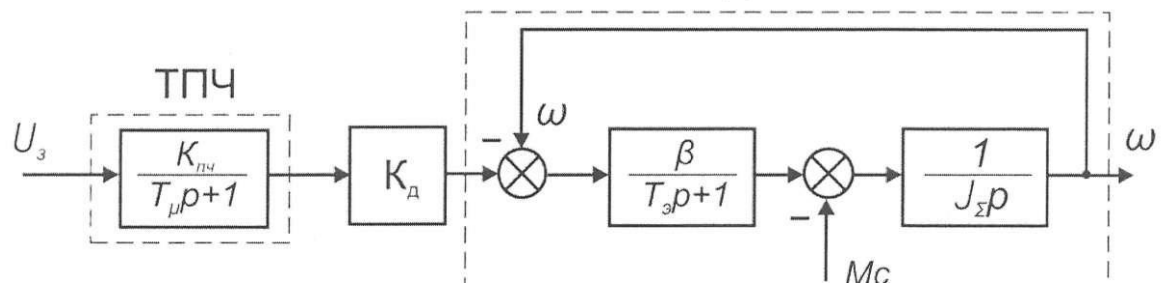


Рисунок 2.1 - Структурна схема ЕМСАУ регулювання

2.3.1. Розрахунок параметрів елементів структурної схеми

Передавальна функція перетворювача частоти матиме вигляд:

$$W_{ПЧ}(p) = \frac{K_{ПЧ}}{T_{\mu}p + 1} = \frac{5}{0.01p + 1}$$

Параметри математичної моделі вантажної підйомної установки розраховуються на підставі паспортних даних вибраного раніше

$$\omega_C = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_H}{p} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50}{2} = 157.08 \text{ } 1/c$$

$$\omega_{O.H} = 2 \cdot \pi \cdot f_H = 314.159 \text{ } 1/c$$

$$T_{\Sigma} = \frac{1}{\omega_{O.H} \cdot S_{KH}} = \frac{1}{314.159 \cdot 0.04} = 0.08 \text{ } c$$

$$\omega_H = \omega_C \cdot (1 - S_H) = 157.08 \cdot (1 - 0.01) = 155.5 \text{ } 1/c$$

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{250000}{155.5} = 1607.6 \text{ } H \cdot m$$

$$\beta = \frac{M_H}{\omega_C - \omega_H} = \frac{1607.6}{157.08 - 155.5} = 1023.3 \text{ } H \cdot m \cdot c$$

$$J_{\Sigma} = 41.467 \text{ } кг \cdot м^2$$

$$T_M = \frac{J_{\Sigma}}{\beta} = \frac{41.467}{1023.3} = 0.0405 \text{ } c$$

$M_C = 1419 \text{ } H \cdot m$ найбільш важкий режим (підйом скипа №1);

$$K_D = \frac{2\pi}{p} = \frac{2\pi}{2} = 3.14159 - \text{коефіцієнт передачі двигуна.}$$

електродвигуна

2.3.2 Розробка системи регулювання швидкості з урахуванням внутрішнього зворотного зв'язку за швидкістю.

З метою набуття необхідних динамічних властивостей системи використовуємо контур регулювання із зворотним зв'язком за швидкістю.

Коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю:

$$K_c = 0.0643 \text{ } \omega_n 155.5$$

Таким чином, узагальнена структурна схема частотного регулювання:

$$W_{OPC}(p) = \frac{K_{ПЧ} K_D}{(T_\mu p + 1) \cdot (T_M T_\Sigma p^2 + T_M p + 1)} = \frac{15.708}{(0.01p + 1) \cdot (0.003p^2 + 0.041p + 1)}$$



Рисунок 2.2 - Структурна схема ЕМС ШПУ з частотним регулюванням

Передавальна функція двигуна матиме вигляд:

$$W_D(p) = \frac{\beta \cdot K_D}{J_\Sigma p (T_\Sigma p + 1)} = \frac{\beta \cdot K_D}{J_\Sigma T_\Sigma p^2 + J_\Sigma p + \beta} = \frac{K_D}{T_M T_\Sigma p^2 + T_M p + 1} =$$

$$= \frac{3.14159}{0.003p^2 + 0.041p + 1}$$

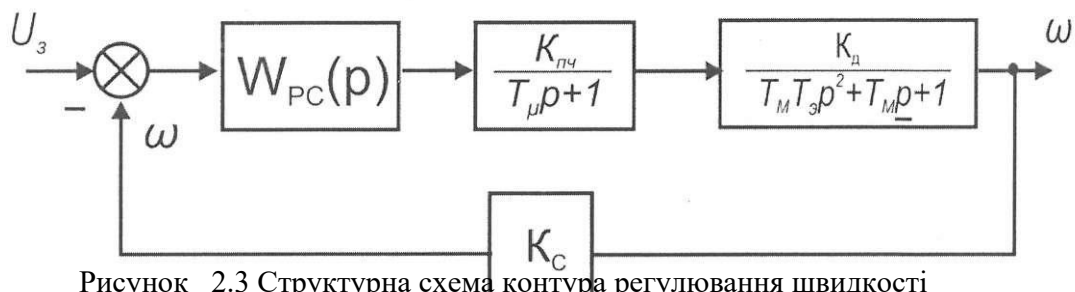


Рисунок 2.3 Структурна схема контура регулювання швидкості

$$W_{PA3C}(p) = W_{OPC}(p) \cdot W_{PC}(p) = \frac{1}{T_0 p \cdot \prod_{i=1}^m (T_i p + 1)} \quad (3.1)$$

$$W_{OPC}(p) = \frac{\Lambda_1 \Lambda_2 \dots \Lambda_n}{\prod_{i=1}^m (T_i p + 1)}$$

де T_0 постійна часу елементів об'єкту

регулювання.

Користуючись

$$X_i W_i \frac{1}{W_i} = X_i$$

співвідношенням:

де W_i і X_i - передавальна функція і змінна i -го ланки; можна компенсувати постійні часу, виключивши їх з розімкненого контура регулювання. Аналогічним шляхом можна виключити з розімкненого контура регулювання всі коефіцієнти $K_1 K_2 \dots K_n$ а для усунення статичної помилки ввести в нього інтегральний елемент з постійною часу T_0 .

Таким чином, початковий розімкнений контур регулювання вдається замінити бажаним контуром, що має загальний коефіцієнт підсилення, рівний одиниці (зворотний зв'язок представляється одиничним). Але що володіє астатизмом першого порядку і що забезпечує високу швидкодію завдяки малих постійних часу, що залишилися не компенсованими.

$$W_{PC}(p) = \frac{W_{PA3C}(p)}{W_{OPC}(p)} = \frac{T_M T_{\Sigma} p^2 + T_M p + 1}{T_U p}$$

Передавальна функція об'єкту регулювання швидкості рівна:

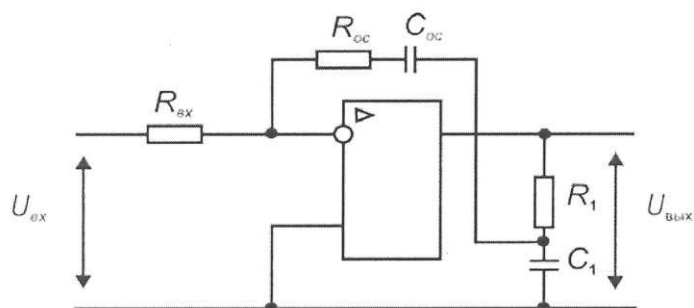
$$\text{де } T_{\Sigma} = a_c K_c K_{пч} K_d T_M$$

$a_c = 4$ - коефіцієнт демпфування, дане значення відповідає аперіодичному перехідному процесу (відсутність перерегулювання).

Підставимо чисельне значення, отримаємо: $T_{mm} = 0.04$ с

$$W_{PC}(p) = 1 + 0.08p + \frac{24.75}{p}$$

Отже, в даному випадку необхідний пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) регулятор.



2.3.3 Розрахунок електричних параметрів регулятора швидкості

Розрахуємо параметри ШД-регулятора швидкості (Y_{ex} , Y_{oc} , C_{oc} , C_1) на базі операційного підсилювача К 140удб.

$$W_{пид}(p) = \frac{(R_{oc}C_{oc}p + 1)(R_1C_1p + 1)}{R_{bx}C_{oc}p} = K_{\pi} + \frac{1}{T_I p} + K_D p$$

$$K_{\pi} = \frac{R_{oc} + R_1C_1}{R_{bx}C_{oc}} = 1 \quad (3.2)$$

$$K_D = \frac{R_{oc}R_1C_1}{R_{bx}} = 0.08 \quad (3.3)$$

$$K_I = R_{bx}C_{oc} = 0.04 \quad (3.4)$$

Приймемо: $C_{oc} = 1 \text{ мкФ}$, $C_1 = 1 \text{ мкФ}$ слідує:

$$R_{bx} = \frac{T_I}{C_{oc}} = \frac{0.02}{10^{-6}} = 4.04 \cdot 10^4 \text{ Ом}$$

Із стандартного ряду Е12 приймаємо $Y_{bx} = 3.9 \cdot 10^4$

Ом з (3.3) отримаємо

$$R_1 = \frac{K_D \cdot R_{BX}}{R_{OC} \cdot C_1}$$

Підставивши (4.5) в (4.3) отримаємо рівняння

$K_{OC} C_{OC} - K_{n\text{ } R_{BX}} C_{OC} C_{1R_{OC}} - K_{DR_{BX}} = 0$, вирішивши яке знаходимо $R_{OC} = (55775 - 55775) \text{ Ом}$ з ряду E12 приймаємо $R_{OC} = 5.6 \cdot 10^4 \text{ Ом}$

Тепер знаходимо опір з (4.5)

$$R_1 = \frac{K_D \cdot R_{BX}}{R_{OC} \cdot C_1} = 55551 \text{ Ом}$$

З ряду E24 приймаємо $R_1 = 5.6 \cdot 10^4 \text{ Ом}$.

Таким чином, розраховані всі параметри структурної схеми і можливий перехід до аналізу статичних і динамічних режимів роботи.

2.4 Дослідження динамічних режимів ЕМС автоматизації ШПУ

Дослідження динамічних режимів ЕМСАУ шахтної установки здійснюється шляхом моделювання на ЕОМ за допомогою середовища "SIMULINK" програмного пакету "MATLAB". На підставі структурної схеми асинхронного ЕП з частотним управлінням розроблені відповідні моделі:

— Спрощена модель рис(1) для налаштування регулятора швидкості;

Двофазна модель (рис.), для оцінки якості перехідних процесів.

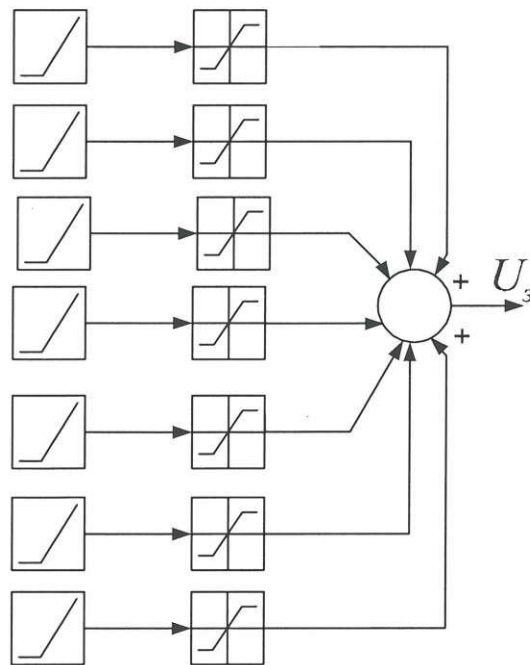
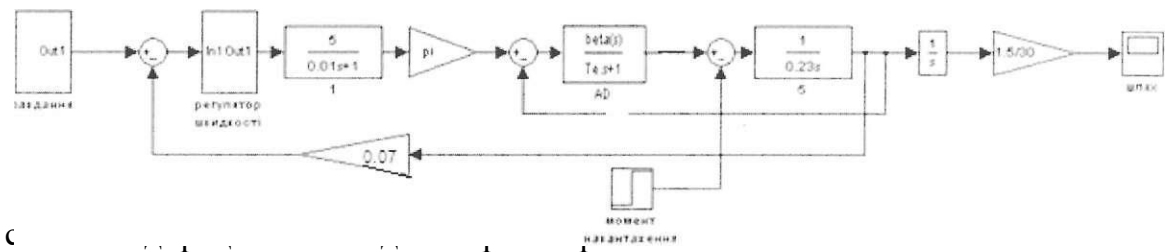


Рисунок 2.6 - Структура блока U_3

Структура блоку ПІД - регулятора представлена на рисунку 2.6. В ньому реалізовано внутрішнє обмеження напруги на виході на рівні ± 10 В, а також обмеження по напрузі інтегруючої ланки на рівні ± 10 В

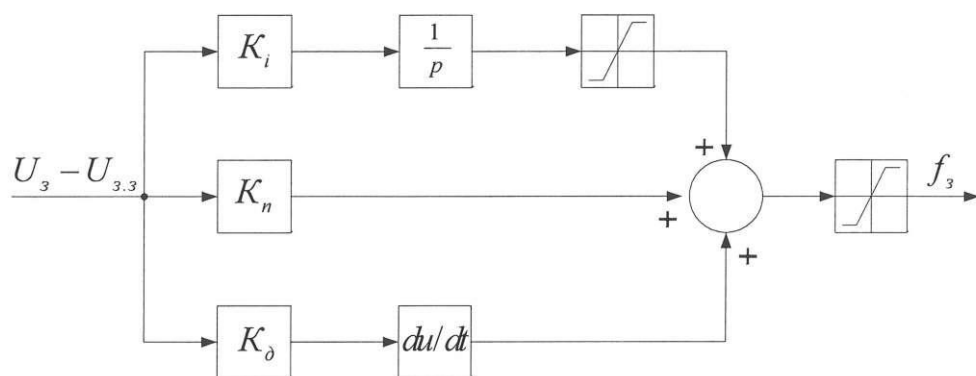


Рисунок 2.7 - Структура ПІД регулятора

Графіки перехідних процесів спрощеної моделі при відпрацюванні прямого пуску і заданої траєкторії наведені на рис. 2.4-2.5 Асинхронний двигун є істотно нелінійною ланкою. Для повного аналізу використовують складні математичні моделі і ЕОМ.

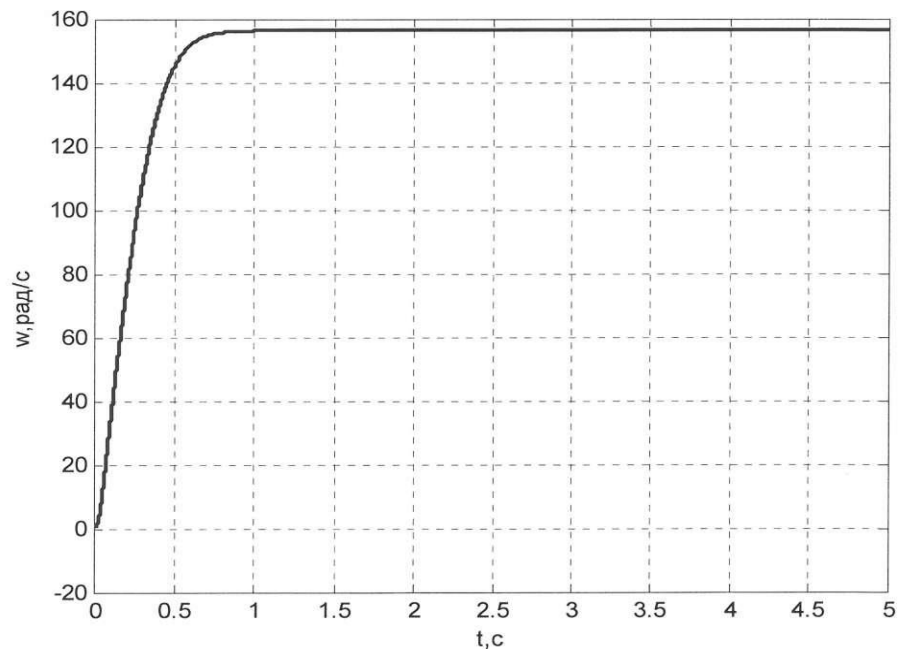


Рисунок 2.8 Графік швидкості при прямому пуску з накиданням моменту($0.5 \cdot M_n$)

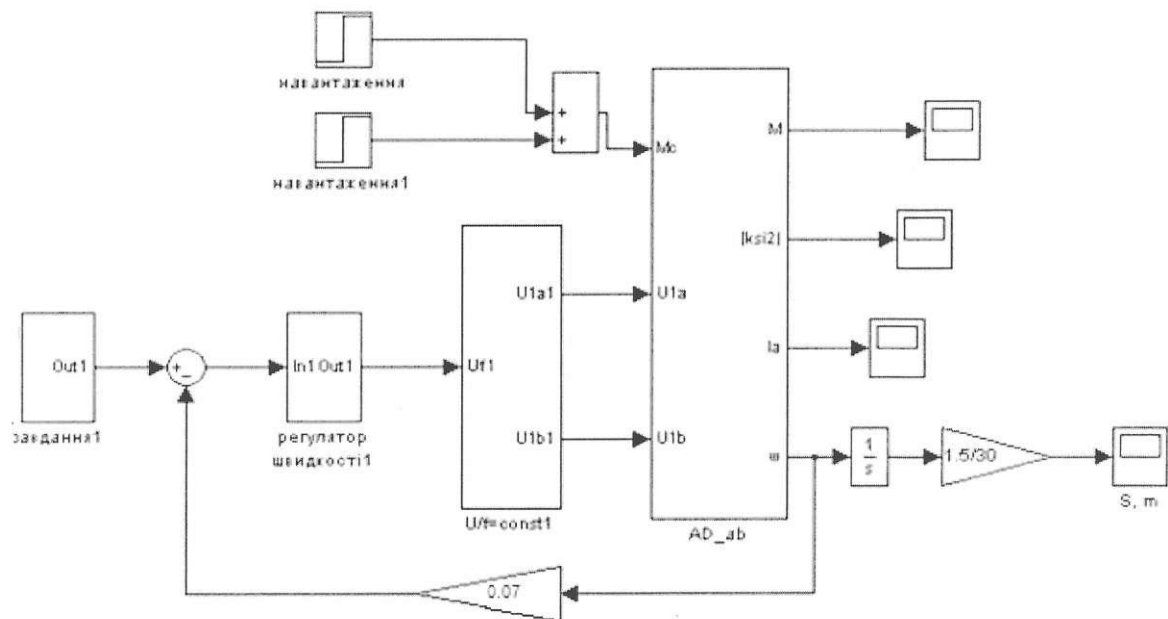


Рисунок 2.9 Модель електропривода шахтної установки

При прямому пуску двигун розганяється за 1 секунду, перерегулювання скл 5%.

При відпрацюванні трапеції двигун розганяється за заданий час, що складає 8 перерегулювання немає. Швидкість повертається на своє усталене значення, і накидання моменту навантаження за 1с.

Була зібрана модель шахтної підйомної установки.

-

-

На рис 2.10 представлена структурна схема перетворювача частота



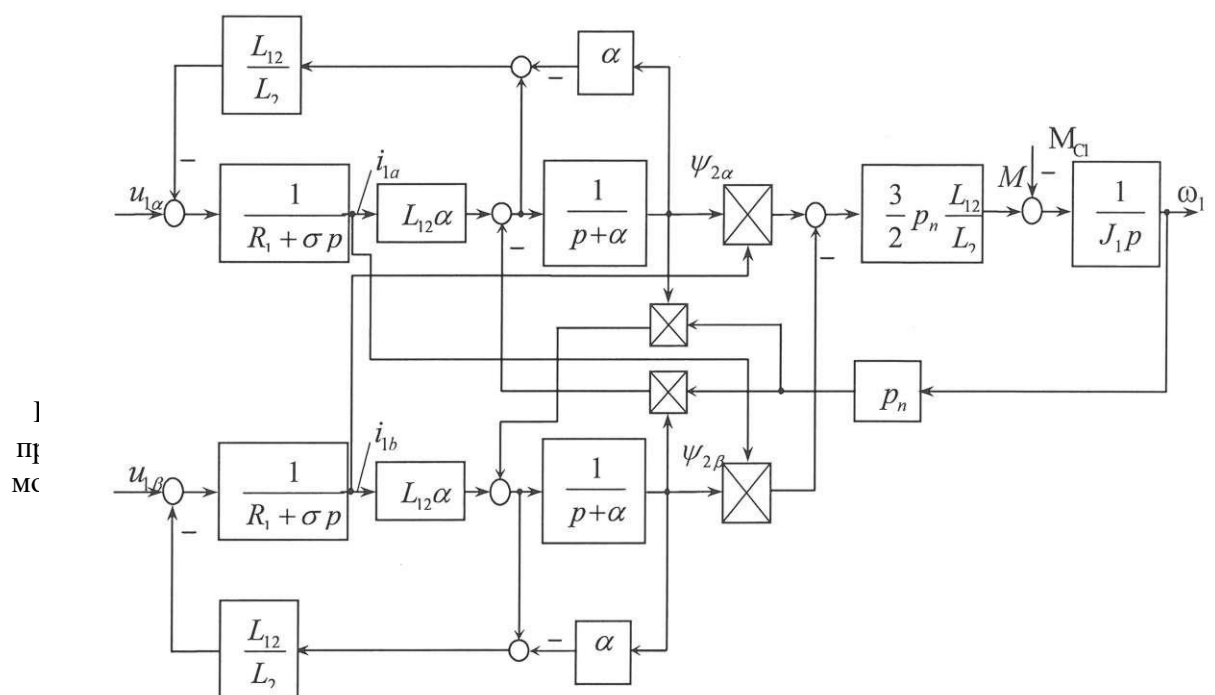
Рисунок 2.10 - Структурна схема перетворювача частоти

- B_γ, B_2, B_{i2} - індуктивності обмоток статора, ротора і їх взаємоіндуктивність;
- $a = (B_\gamma B_2 - \Psi_2) / B_2$ - коефіцієнт розсіювання;
- B_γ, B_2, B_{i2} - індуктивності обмоток статора, ротора і їх взаємоіндуктивність;
- $a = (B_\gamma B_2 - B_{i2}^2) / B_2$ - коефіцієнт розсіювання;

$$\alpha = \frac{R_2}{L_2}.$$

Структурна схема механічної частини шахтної підйо

Рисунок 2.11- Графік швидкості при прямому пуску під навантаження



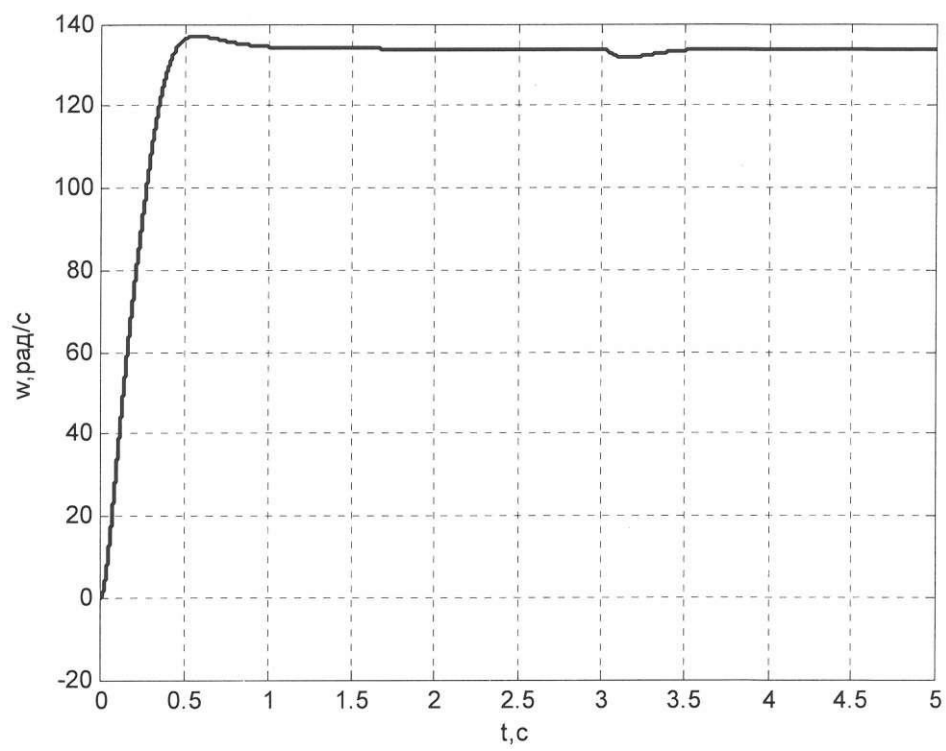


Рисунок 2.12 Графік швидкості при прямому пуску

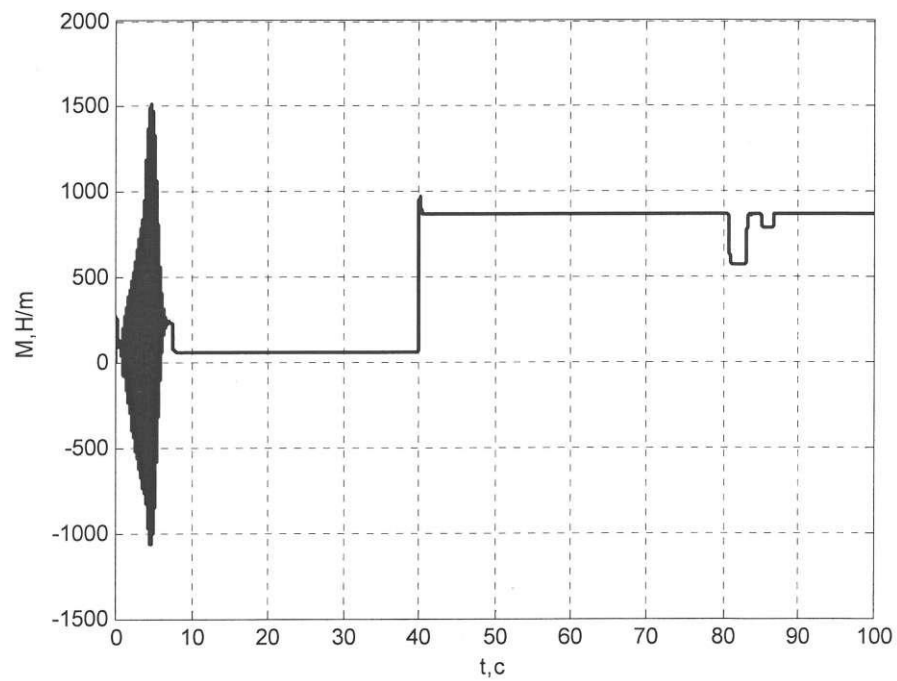


Рисунок 2.12- Графік моменту при прямому пуску під навантаження з
накиданням
моменту($0.2 \cdot M_n$)

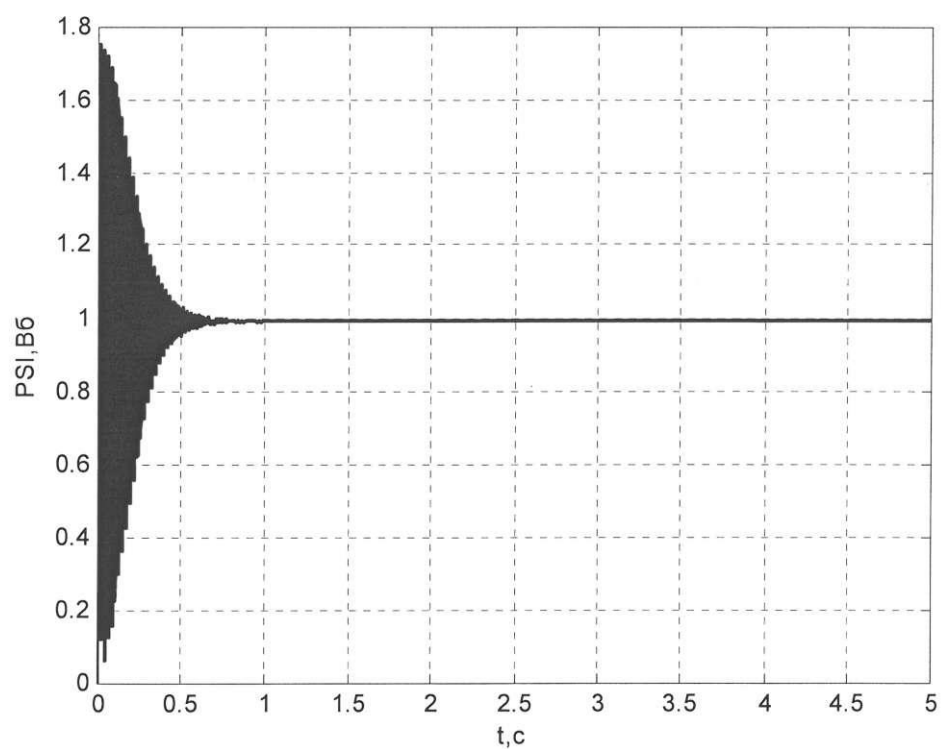


Рисунок 2.13- Графік потоку при прямому пуску під навантаження з накиданням моменту($0.2 \cdot M_n$)

З даних графіків можна зробити висновок, що при замкнутій системі, як і в розімкнутій двигун розганяється за 1 с, не має перерегулювання. За рахунок

наявності в регуляторі інтегральної ланки швидкість після накидання моменту навантаження повертається на своє значення за 1 с.

На рисунках 3.14. - 3.20. показані перехідні процеси швидкості, моменту, струму, потоку, лінійної швидкості і пройденого шляху при відпрацюванні трапеції.

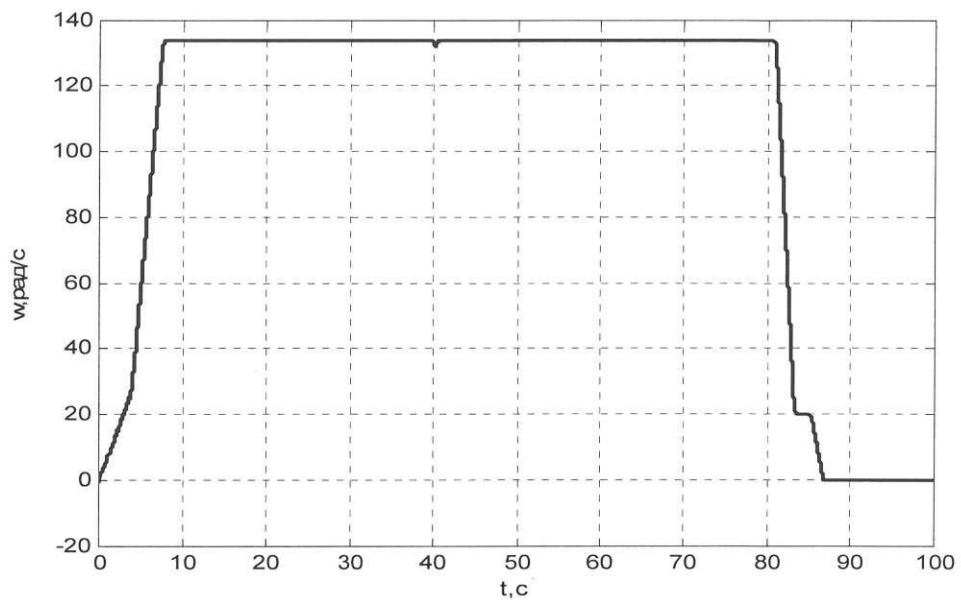


Рисунок 2.14- Графік швидкості при відпрацюванні трапеції під навантаження з накиданням моменту($0.2 \cdot M_H$)

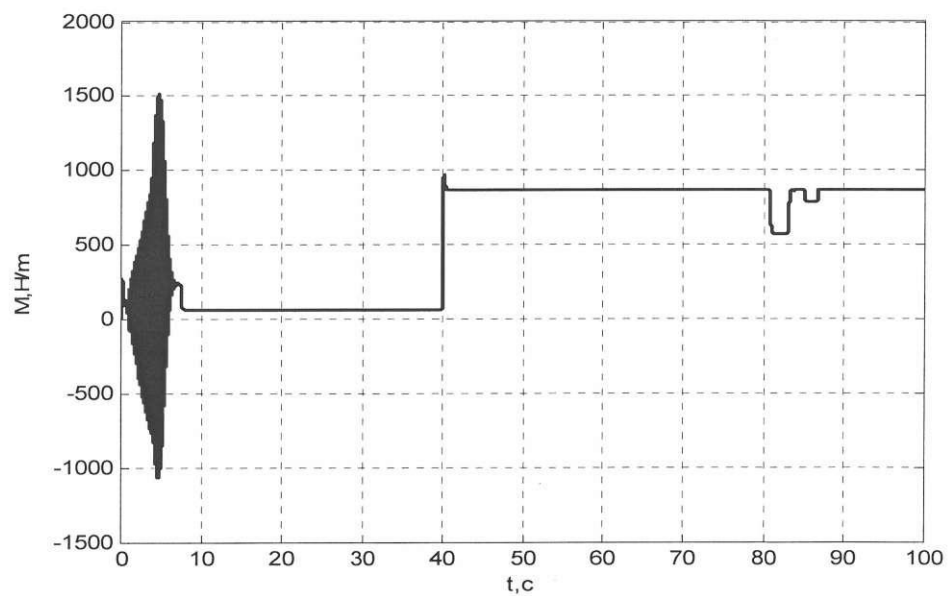


Рисунок 2.15- Графік моменту при відпрацюванні трапеції під навантаження з накиданням моменту($0.2 \cdot M_H$)

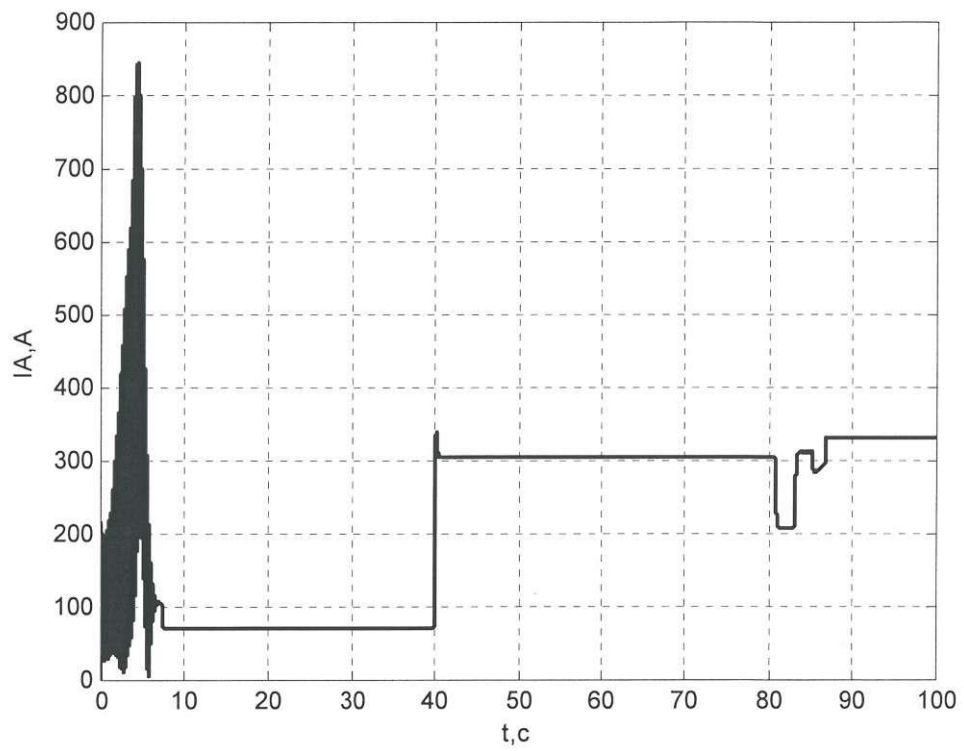


Рисунок 2.16- Графік струму при відпрацюванні трапеції під навантаження з накиданням моменту($0.2 \cdot M_n$)

На рис.2.18 і 2.19 зображений перехідний процес трьохперіодної тахограми і моменту двигуна за один цикл. Наявність ШД-регулятора забезпечує перехідний процес без

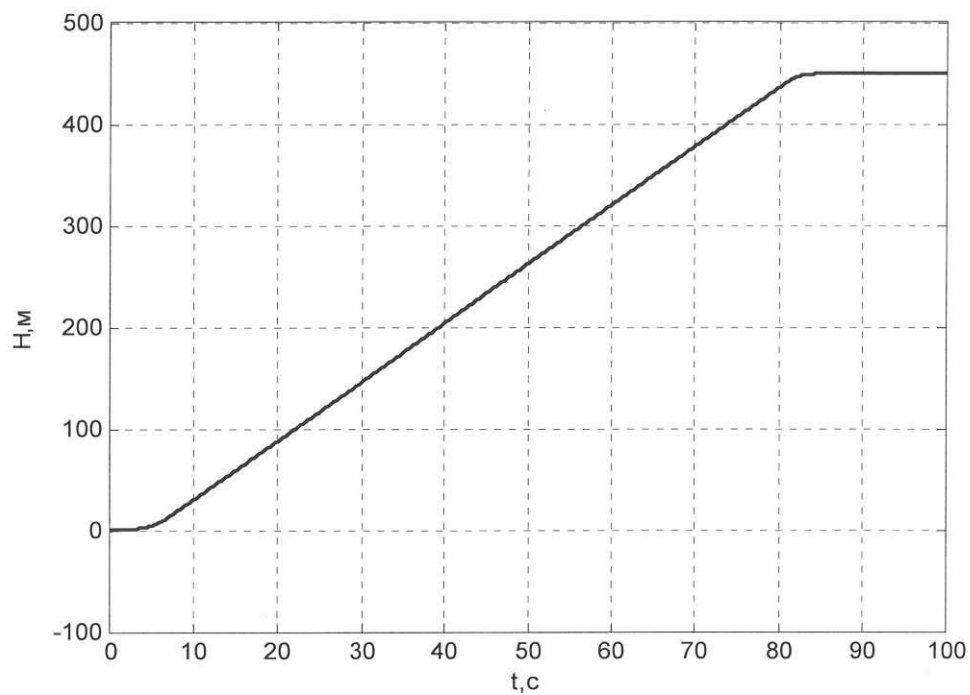


Рисунок 2.19- Графік шляху, пройденого скіпом

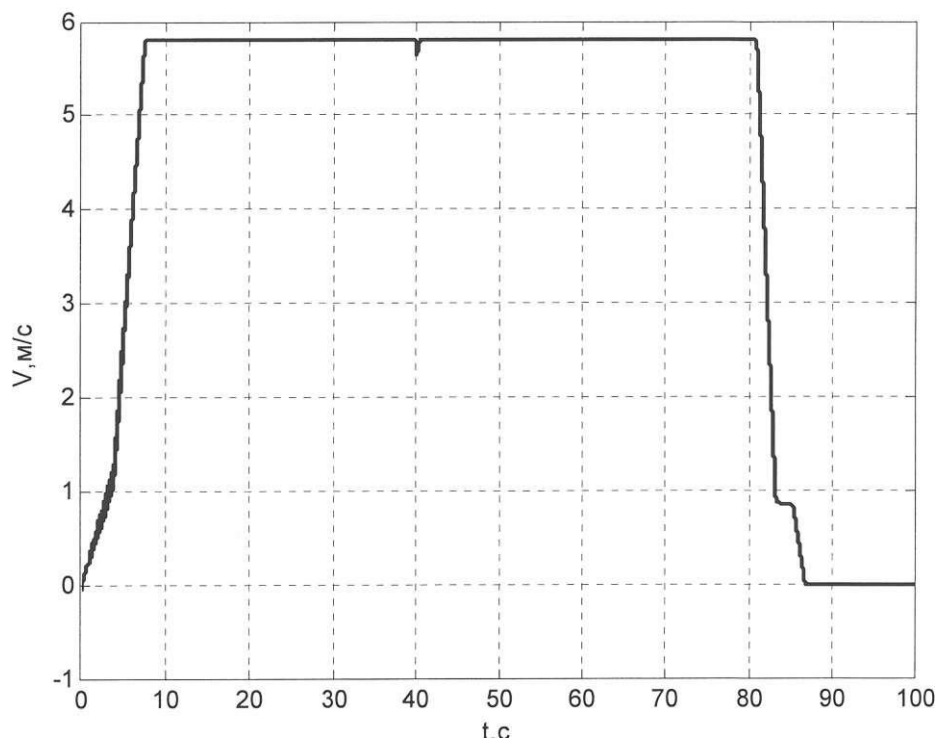


Рисунок 2.20- Графік лінійної швидкості

перерегулювання та відсутність помилки позиціонування

По графіках (рис. 2.19) видно, що система відпрацьовує заданий шлях, лінійна швидкість виходить на своє усталене значення. За рахунок наявності інтегральної складової під час накидання моменту на графіку шляху ми не спостерігаємо жодних коливань.

Висновок

1. Система ЧКЕ на базі АІН має кращі енергетичні показники, ніж система частотного асинхронного електроприводу на базі того ж АДФР, що працює з закороченим ротором, що обумовлено передачею енергії ковзання в системі ЧКЕ в ланку постійного струму перетворювача частоти і забезпечує зниження до 4% споживаної електроприводом електроенергії з мережі.
2. Система ЧКЕ, виконана на базі АІН з зустрічно-паралельно включеним каскадним вентиляно-трансформаторним блоком, що зв'язує ланцюги статора та ротора, що має скалярну систему частотно-струмового управління, забезпечує прийнятні для ПТМ пускові характеристики зі стабілізацією пускового моменту і виходом на робочу ділянку механічної характеристики.
3. Системи електроприводу із загальною ланкою постійного струму в ланцюгах ротора АДФР мають властивість синхронізації швидкостей двигунів при їх неузгодженні. В якості приймача енергії ковзання двигунів в загальній ланці постійного струму можуть бути застосовані: резистор, інвертор з індуктивно-активним опором на виході, а також каскадний блок.

3. Основи побудови систем фаззи управління

3.1. Поняття про інтелектуальні системи керування

Найбільш важливою властивістю людського інтелекту є здатність приймати правильні рішення в обстановці неповної або нечіткої інформації. Побудова моделей наближених міркувань людини й використання їх у комп'ютерних системах нових поколінь представляє сьогодні одну з найважливіших проблем науки.

Значний крок у цьому напрямку зробив професор математики Каліфорнійського Університету «Берклі» (США) Лотфи Заді (Lotfi A. Zadeh). Його основна робота «Fuzzy Sets», опублікована в 1965 р. у журналі «Information and Control» № 8, заклала основи моделювання інтелектуальної діяльності людини й з'явилася початковим поштовхом до розвитку нової математичної теорії створення систем штучного інтелекту [96].

Л. Заді розширив класичне поняття множини, допустивши, що характеристична функція (функція приналежності елемента множини) може приймати будь-які значення в інтервалі $[0, 1]$, а не тільки значення 0 або 1. Такі множини були названі їм нечіткими (Fuzzy Sets).

Увівши поняття лінгвістичної змінної, і допустивши, що в якості її значень (термов) виступають нечіткі множини, Заді створив апарат для опису процесів інтелектуальної діяльності, включаючи нечіткість і невизначеність виражень.

Математична теорія нечітких множин дозволяє описувати нечіткі поняття й знання, оперувати цими знаннями й робити нечіткі виводи. Нечітке керування виявляється особливо корисним, коли технологічні процеси є занадто складними для аналізу за допомогою загальноприйнятих методів або коли доступні джерела інформації інтерпретуються якісно неточно або невиразно.

Спектр додатків нечіткого керування широкий: від керування процесом відправлення й зупинки поїздів метрополітену, керування вантажними ліфтами й доменною піччю до моделювання роботи пральних машин, електробритов,

пилососів, Свч-печей і багатьох інших процесів. При цьому нечіткі системи⁵⁸ дозволяють підвищити якість продукції при зменшенні ресурсо - і енерговитрат і забезпечують більше високу стійкість до впливу факторів, що заважають, у порівнянні із традиційними системами автоматичного керування.

Системи з нечіткою логікою застосовують у наступних випадках:

- для складних процесів, коли важко або неможливо побудувати адекватну математичну модель об'єкта керування;
- якщо експертні знання про об'єкт або про процес можна сформулювати тільки в лінгвістичній, тобто в словесній формі.

Другий, крім фаззі-управління, теоретичною базою побудови інтелектуальних систем є використання апарата штучних нейронних мереж (нейрокібернетика).

Нейрокібернетика являє собою широке поле наук і технологій, пов'язаних з розумінням діяльності нейронних систем людини й застосування цих знань у техніку й медицині.

Та частина робіт, що пов'язана з розробкою пристроїв переробки інформації на основі принципів функціонування природних нейронних систем, ставиться до області нейроінформатики або нейровчислень (нейрокомп'ютинга). Терміни ці з'явилися недавно, у середині 80-х років. У теж час порівняння електронного й біологічного мозку ведеться постійно протягом всієї історії існування обчислювальної техніки.

3.2 Системи фаззі-управління

Стосовне до інтелектуальних систем керування, фаззі-управління, засноване на понятті фаззі-логіки (Fuzzy logic), що в перекладі з англійської мови означає нечітка, розмита логіка. Сам термін фаззі настільки міцно ввійшов у життя, що на багатьох мовах світу він просто не переводиться. Досить часто, замість терміна фаззі використовують його синонім - нечіткий: нечітка логіка, нечітке керування, нечіткий контролер (регулятор) і т.п.

Ідея використання нечіткої логіки в автоматизованих системах керування (АСУ) полягає в тому, що людський спосіб міркування, що опирається на природну мову, наприклад, ДОБРЕ, ПОГАНО, ДУЖЕ ПОГАНО й т.д. не може бути описаний у рамках традиційних математичних моделей, яким властива стругаючи однозначність міркувань. Тому перспективними є системи, здатні раціонально діяти

в ситуаціях, що змінюються, і виконувати нечіткі інструкції без зміни основної⁵⁹ програми поведіння.

Новий підхід припускає відмова від основного твердження класичної теорії множин, про те, що деякий елемент може належати, або не належати певній множині. Для нечітких множин уводиться спеціальна характеристична функція елемента множини μ функція приналежності, що приймає будь-які значення в інтервалі $[0,1]$, а не тільки значення 0 або 1, де 1 відповідає максимальній (повній) приналежності розглянутої змінної до даної множини, а 0 показує, що змінна цій множині не належить. Наявність проміжних значень між 0 й 1 відкриває можливість лінгвістичного формулювання знань людського інтелекту. Це означає, що методи фаззі-логіки застосовні для рішення як технічних, так й інших завдань (економіка, медицина, і т.д.). Нечітка логіка забезпечує ефективні засоби відображення невизначеностей і неточностей реального миру. Наявність математичних засобів дозволяє побудувати модель, адекватну реальності [99].

Нечітка множина $\tilde{B}$ визначається як множина упорядкованих пар $B = (x, \mu_{\tilde{B}}(x))$ з характеристичною функцією приналежності $\mu_{\tilde{B}}$ що приймає конкретні чисельні значення в деякому цілком реальній упорядкованій множині M

Наприклад, $\tilde{B} = \{(x_1; 0, 1); (x_2; 0, 7); (x_3; 0, 9); (x_4; 1, 0); (x_5; 0, 0)\}$ $\square$ нечітка множина.

Тут елемент x_1 належить множині $\tilde{B}$ зі ступенем приналежності $\mu_{\tilde{B}}(x_1) = 0, 1$.

Елемент x_2 належить множині $\tilde{B}$ зі ступенем приналежності $\mu_{\tilde{B}}(x_2) = 0, 7$.

Елемент x_3 належить множині $\tilde{B}$ зі ступенем приналежності $\mu_{\tilde{B}}(x_3) = 0, 9$.

Елемент x_4 належить множині $\tilde{B}$ зі ступенем приналежності $\mu_{\tilde{B}}(x_4) = 1, 0$

(числовому інтервалі), наприклад, $M = [0,1]$.

(тобто повна приналежність), а елемент x_5 не належить множині $\tilde{B}$ (ступінь приналежності $\mu_{\tilde{B}}(x_5) = 0, 0$).

Фаззі-системи становлять інтерес у першу чергу для керування об'єктами, які не піддаються формалізованому опису або піддаються йому з більшими труднощами й витратами. Важливої є така область застосування фаззі-систем, як формування впливів на класичні контури керування нижчих рівнів регулювання з боку вищестоящих рівнів АСУ. Сюди ставляться формування уставок, диктуемое

поточними ситуаціями, адаптація класичних регуляторів до мінливих умов,⁶⁰ оптимізація ходу процесу, а також виконання функцій контролю аж до розпізнавання образів.

Характерним для фаззи-управління є безпосереднє застосування якісне формованих експертних значень для реалізації керуючих впливів. Знання про взаємодію із процесом при цій методиці представляються у формі правил:

ЯКЩО (вихідна ситуація), ТО (відповідна реакція).

Такі правила ЯКЩО, ТО відповідають найпростішій формі людських міркувань. Причому вихідна ситуація й відповідна реакція являють собою нечіткі висловлення. Наприклад: ЯКЩО (динамічна помилка регулювання швидкості більша), ТО (потрібно збільшити коефіцієнт підсилення розімкнутої системи); ЯКЩО (температура висока) І (вентиль на батареї повністю відкритий), ТО (вентиль потрібно закрити) і т.п.

Додаючи до розглянутого поняття нечітких множин ПОМИЛКА РЕГУЛЮВАННЯ й ТЕМПЕРАТУРА, нечіткі множини, називані лінгвістичними змінними (величинами) помилки, що змінюється, регулювання або температури: БІЛЬША, СЕРЕДНЯ, МАЛА в першому випадку й ПЕКУЧЕ, ТЕПЛО, ХОЛОДНО в другому, одержимо групу нечітких множин.

За допомогою лінгвістичних величин діапазони зміни фізичних змінних окреслюються неоднозначно (суть нечітких множин), вони описуються тільки якісно замість конкретних числових значень.

Проте, як буде показано нижче, цей лінгвістичний спосіб подання змінних застосуємо для формування керуючих впливів сучасних програмувальних мікроконтролерів.

3.3.Етапи розробки фаззи-системи

Розробка системи керування на основі фаззи-логіки зводиться до роботи з експертом-технологом у досліджуваній області. Якщо є практичний досвід про характер процесу й взаємодію всіх істотних параметрів, то фаззи-логіка вносить нові функціональні можливості в існуючий процес розробки. При цьому значно скорочується цикл розробки всієї системи при використанні передових засобів інформаційних і комп'ютерних технологій.

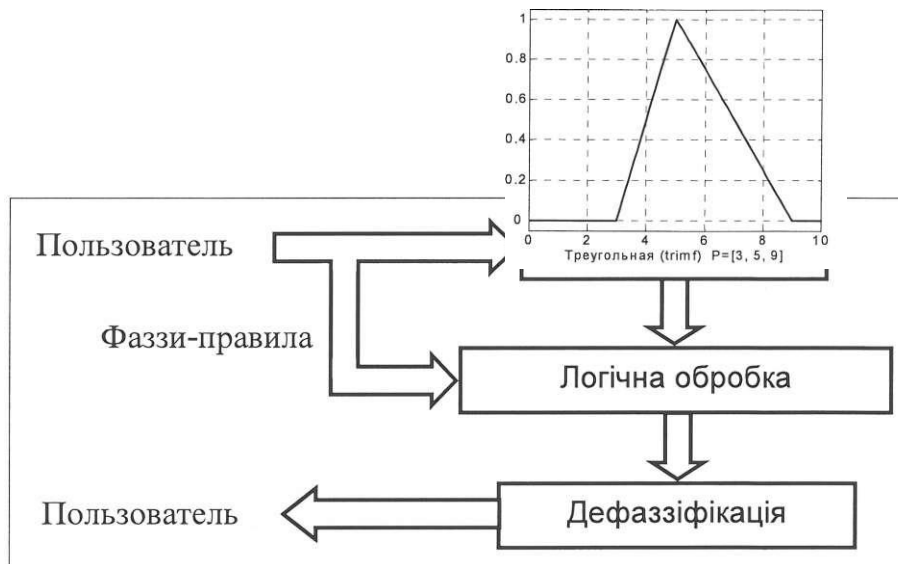


Рисунок 3.1. Структурна схема фаззі-проекта

При проектуванні різних систем керування, побудованих на основі теорії фаззі-логіки, розробляють фаззі-проект, структурна схема якого наведена на рисунку . 3.1

Фаззіфікація

Процес фаззіфікації (fuzzification) служить для подання нечітких характеристик реальних вхідних фізичних змінних у зрозумілій для комп'ютера формі за допомогою нечітких діапазонів (областей).

Нечіткі характеристики можуть мати форму трикутників, трапецій, гауссових, сигмоидальних й інших функцій й являють собою залежності функції приналежності від вхідної величини .

Розглянемо трикутну функцію приналежності.

Вона залежить від трьох параметрів, при цы параметри a й c визначають підставу трикутника параметр b — координату його вершини.

Аналітичний вираз для обчислення даної функції виглядає в такий спосіб:

$$\text{trimf}(x, a, b, c) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b}\right), 0\right). \quad (4.1)$$

Математична функція має вигляд:

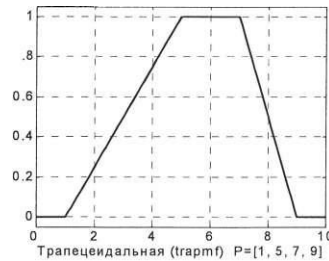
$$f(x, a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a; \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x \leq b; \\ \frac{c-x}{c-b}, & b < x \leq c; \\ 0, & x \geq c. \end{cases} \quad (4.2)$$

Структура запису такої функції принадності в системі MATLAB представлена у вигляді т-файлу: $y = \text{trimf}(x, [a, b, c])$.

Розглянемо
принадності.

трапецийдальну

функцію



Вона залежить від чотирьох параметрів, при цьому параметри a й c визначають Аналітичний вираз для обчислення даної функції виглядає в такий спосіб:

Математична функція має вигляд:

підставу криві (трапеції), а параметри b і d — положення верши фігури.

$$\text{trimf}(x, a, b, c, d) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{d-x}{d-c}\right), 0\right). \quad (4.3)$$

$$f(x, a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a; \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x \leq b; \\ 1, & b < x \leq c; \\ \frac{d-x}{d-c}, & c < x \leq d; \\ 0, & x \geq d. \end{cases} \quad (4.4)$$

Структура запису такої функції приналежності в системі MATLAB представлена у вигляді Т-файлу: $y=1 \text{ гартГ}(x,[a, b,c,ci])$.

Розглянемо процес фазифікації для системи керування, показаної на рисунку 3.2., де ФК – фаззі-контроллер (регулятор); ОУ – об'єкт керування; БП – блок перемножування; K_p – коефіцієнт підсилення розімкнутої системи

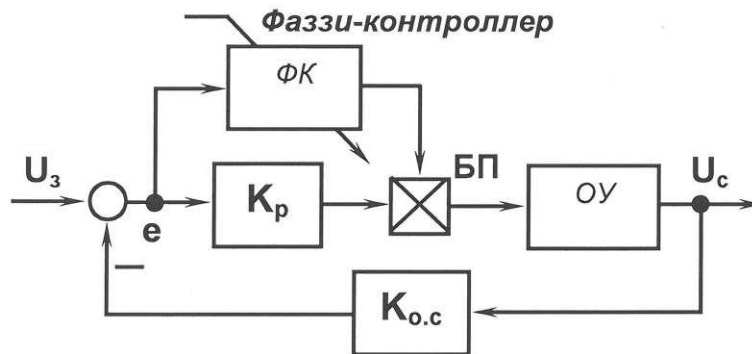


Рисунок 3.2- Структурная схема системы с фаззи-керуванням

K_{oc} – коефіцієнт зворотного зв'язку; Π_3 – сигнал завдання швидкості; u_c – сигнал дійсної (реальної) швидкості.

У таких системах вхідний змінної звичайно є сигнал помилки регулювання по швидкості $e = \Pi_3 - \Pi_c \cdot K_{oc}$

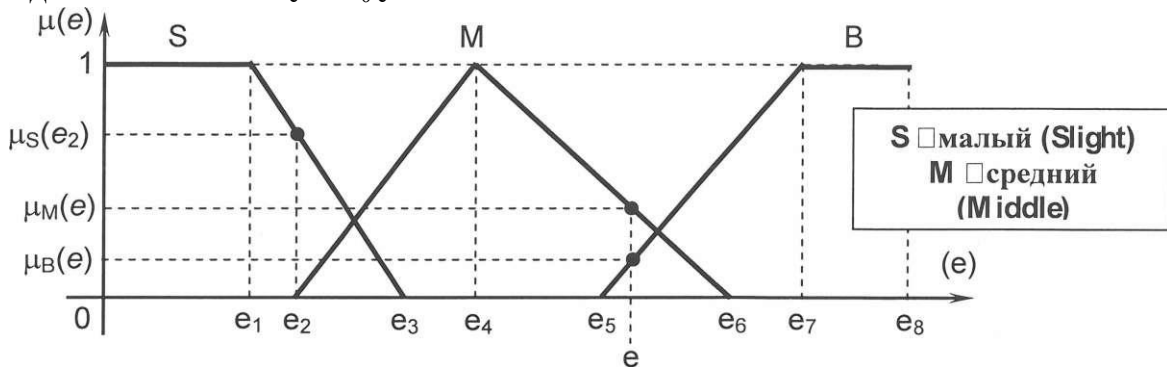


Рисунок 3.3- Нечіткі характеристики сигнал а помилки регулювання швидкості Нечіткі характеристики сигналу помилки регулювання з обліком експертних даних (яка помилка є малої, яка – великою й т.д.) можна представити трьома множинами, показаними на мал.

4.3.

Тут: $\mu(e)$ – функція приналежності помилки e до відповідної множини; S – нечітка множина трапеційдального типу малих помилок ($0 < e < e_3$); M – нечітка

множина трикутного типу середніх помилок ($e_2 < e < e_3$); В – нечітка множина трапеційдального типу більших помилок ($e_5 < e < e_8$).

Функції приналежності $\mu_S(e) = \mu_M(e) = \mu_B(e) = 1 \gg 0$ відповідають прийнятим номінальним значенням малої ($e = e_1$), середньої ($e = e_4$) й великої ($e = e_8$) помилок, чисельні значення яких визначаються експертами в даній області. Для забезпечення однозначної фазифікації характеристики функцій приналежності будуються таким чином, щоб суміжні області перекривалися. У випадку перетинання нечітких областей тому самому значенню вхідної змінної відповідає кілька ступенів приналежності, які утворюють нечіткі множини ступенів приналежності.

Залежності між функціями приналежності й вхідною величиною визначаються за логічним правилом ЯКЩО, ТЕ. Наприклад, якщо $e = e_4$ те

$$\mu_S(e_4) = 0,7; \mu_M(e_4) = 0,0; \mu_B(e_4) = 0,0.$$

Для всього діапазону зміни помилки регулювання функцію приналежності $\mu(e)$ можна записати у вигляді таких аналітичних виразів:

63

$$\mu_S(e) = \begin{cases} 1, & \text{если } 0 < e \leq e_1; \\ \frac{e_3 - e}{e_3 - e_1}, & \text{если } e_1 < e \leq e_3; \\ 0, & \text{если } e_3 < e < e_8. \end{cases} \quad (4.5)$$

$$\mu_M(e) = \begin{cases} 0, & \text{если } 0 < e \leq e_2; \\ \frac{e - e_2}{e_4 - e_2}, & \text{если } e_2 < e \leq e_4; \\ \frac{e_6 - e}{e_6 - e_4}, & \text{если } e_4 < e \leq e_6; \\ 0, & \text{если } e_6 < e < e_8. \end{cases} \quad (4.6)$$

$$\mu_B(e) = \begin{cases} 0, & \text{если } 0 < e \leq e_5; \\ \frac{e - e_5}{e_7 - e_5}, & \text{если } e_5 < e \leq e_7; \\ 1, & \text{если } e_7 < e < e_8. \end{cases} \quad (4.7)$$

Чисельні значення функції приналежності конкретній величині фізичної змінної помилки регулювання e називають ступенем приналежності даної змінної до відповідної нечіткої множини. Наприклад, помилка e (мал. 3.3) ставиться до множини V зі ступенем приналежності 0; до множини M — зі ступенем приналежності 0,45; до множини B — зі ступенем приналежності 0,2.

З огляду на, що сучасні комп'ютери роблять обчислення послідовно, де залежності (3.5) — (3.7) зручно представити структурною схемою алгоритму (рис. 3.4), з огляду на, що $e = |e|$.

Відповідно до структурної схеми алгоритму (мал. 3.4) для таких вихідних даних: $e_1 = 0,1$; $e_2 = 0,3$; $e_3 = 0,4$; $e_4 = 0,5$; $e_5 = 0,6$; $e_6 = 0,7$; $e_7 = 0,8$; $e_8 = 0,9$ будемо залежності функції приналежності від вхідної величини помилки e в середовищі MATLAB 6.1. На рис. 3.5 показана структура Т-файлу й результат комп'ютерного моделювання процесу фазифікації.

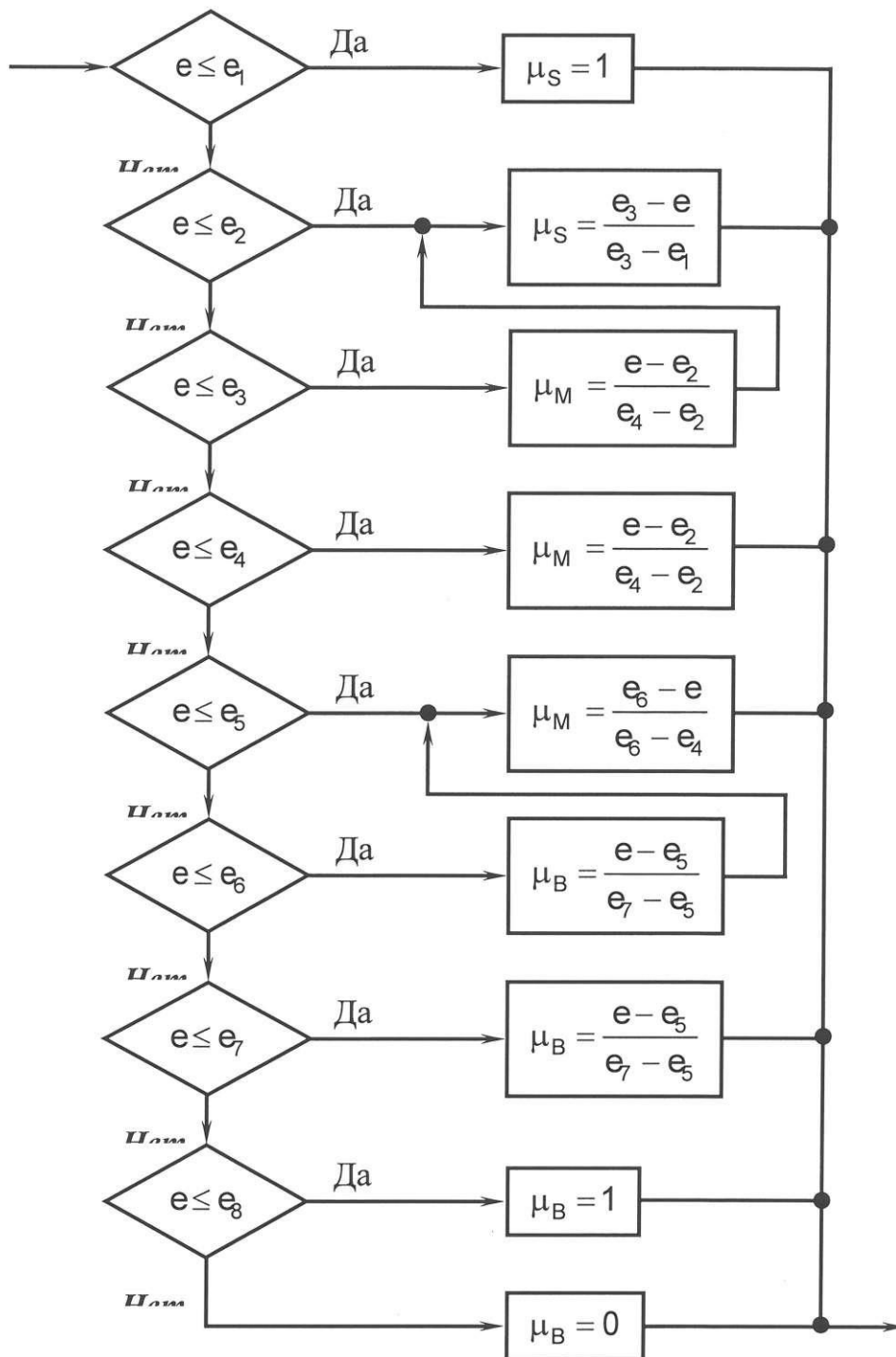


Рисунок 3.4- Структурна схема алгоритма фаззифікації

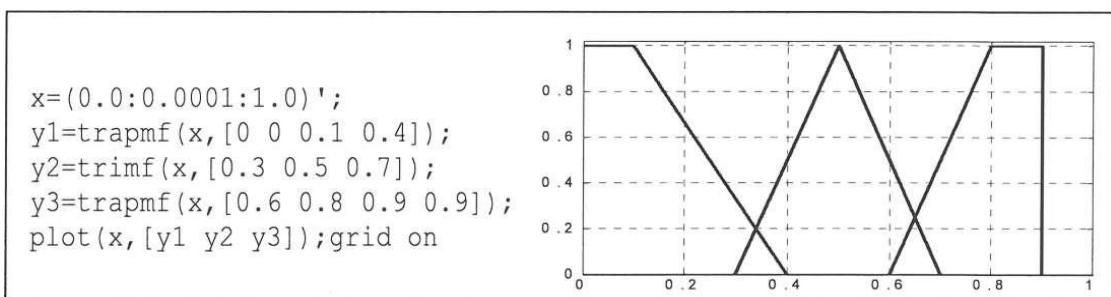


Рисунок 3.5- Структура Т-файла и результат моделирования в MATLAB

3.4. Логічна обробка даних

Системи фаззі-логіки реалізуються на програмувальних мікроконтролерах або керуючих мікро-ЕВМ. Тому, коли вхідна змінна одночасно належить декільком областям (нечітким множинам), те ступеня приналежності в цьому випадку поєднуються за допомогою відповідних логічних операторів.

Найбільше часто при рішенні завдань фаззі-логіки для обробки лінгвістичних змінних використовуються оператори І и АБО, причому оператор І має два способи реалізації:

□ оператор І-мінімум : $x_1 \text{ И } x_2 \rightarrow \min(x_1, x_2)$. При такому способі об'єднання нечітких множин результуюча величина буде мінімальним значенням із двох лінгвістичних змінних. Наприклад, $x_1 = 0,5$; $x_2 = 0,7$, тоді $y_1 = 0,5$.

□ оператор І-добуток: $y_1 = x_1 \text{ И } x_2 \rightarrow \text{prod}(x_1, x_2)$. При такому способі об'єднання нечітких множин результуюча величина буде добутком двох лінгвістичних змінних. Наприклад, $x_1 = 0,5$; $x_2 = 0,7$, тоді $y_1 = 0,35$.

□ оператор Ілі-максимум (maximum): $y_1 = x_1 \text{ ИЛИ } x_2 \rightarrow \max(x_1, x_2)$. При такому способі об'єднання нечітких множин результуюча величина буде максимальним значенням із двох лінгвістичних змінних. Наприклад, $x_1 = 0,5$; $x_2 = 0,7$, тоді $y_1 = 0,7$.

Жорсткий зв'язок з використанням операторів І и АБО в деяких випадках може дати недостатньо точні результати. Більше гнучку залежність можна одержати, допускаючи деяку компенсацію однієї величини (лінгвістичної змінної) іншої. Для цього застосовують Гамма-оператор.

Загальний вид запису цього оператора: $y_1 = X_j \text{ у } x_2$. При такому способі об'єднання нечітких множин результуюча величина буде визначатися так:

$$\mu(x_1, x_2) = \gamma \min(x_1, x_2) + (1 - \gamma) \max(x_1, x_2), \quad (4.8)$$

де γ — коефіцієнт оцінки

лежачий в інтервалі $[0,1]$ й, що показує в якому ступені виробляється компенсація. При $\gamma = 0$ операція у вироджується в операцію Ілі-максимум, а при $\gamma = 1$ у операцію І-мінімум.

Приклад: використання у-оператора вхідних величин: $x_1 = 0,5$; $x_2 = 0,7$,
відповідно до залежності (3.8) для таких продемонструємо простою таблицею.

y	0,0	0,25	0,5	0,75	1,0
y III	1,0	0,75	0,5	0,25	<u>0,0</u>
X ₁	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
X ₂	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7

Методи логічних рішень і композицій по фаззи-логике для заданих тимчасових величин вхідних змінних забезпечують як вихідна інформація бази правил функцію приналежності, тобто нечітку вихідну величину, наприклад, для двох функцій приналежності $\mu_S(e)$ й $\mu_M(e)$ використовуючи оператор И

$$\text{одержимо } \mu_{S, M}(e) = \min[\mu_S(e), \mu_M(e)]$$

Застосовуючи до фаззи-контролеру виникає неминуча необхідність цю нечітку інформацію перетворити в прийнятну числову величину, тому що виконавчий орган керованого механізму не пристосований до обробки функцій приналежності. Для визначення числової величини на виході контролера, що отримана функція приналежності характеризує найкращому образом, проводять процес зворотний фаззифікації (дефаззифікацію), тобто перетворення лінгвістичної величини в числову.

Дефаззифікація

Завданням дефаззифікації є зворотне перетворення лінгвістичних величин у фізичні. Як і для логічної обробки, при дефаззифікації також застосовуються різні методи. Найбільше поширення одержали наступні методи:

1. Мінімум-метод. У якості вихідний змінної процесу фаззифікації приймається значення найменшої лінгвістичної змінної.

2. Максимум-метод. У якості вихідний змінної процесу фаззифікації приймається значення найбільшої лінгвістичної змінної.

3. Гравітаційний метод (метод центра ваги). Даний метод є найбільше часто використовуваним й одночасно трудомістким у чисельному відношенні. Як вихідна величина тут служить значення абсциси положення центра ваги площі, що лежить під графіком залежності функції приналежності від вхідної величини.

4. Метод висот. Являє собою спрощений гравітаційний метод, що скорочуючи час обчислень, дає незначне відхилення від гравітаційного методу дефаззифікації.

У техніку побудови систем автоматики доцільно використати ті методи дефаззифікації, які мають найбільшу швидкодію й вимагають найменших витрат пам'яті. Вибір того або іншого методу визначається як особливістю розв'язуваного завдання, так і досвідом проектувальника .

Розглянемо процес дефазіфікації гравітаційним методом. При наявності декількох активних термов як вихід приймається проекція центра ваги фігури, отриманої шляхом накладення всіх усічених площин, що відповідають результату кожного правила.

Загальне правило розрахунку абсциси центра ваги ділянки площі охопленою функцією $y = f(x)$ в межах $x_A < x < x_B$ визначається зі співвідношення:

$$x_C = \frac{\int_{x_A}^{x_B} x f(x) dx}{\int_{x_A}^{x_B} f(x) dx}. \quad (4.9)$$

В окремому випадку, коли функція приналежності є кусочно-лінійною (трикутної або трапеційдальної), інтегрування можна виконати аналітично з використанням лінійних рівнянь.

У порівнянні з розрахунком властиво центра ваги фігури більше трудомістким є попереднє визначення крапок перетинання взаємно, що перекриваються функцій, приналежності для окремих фаззі-правил.

У багатьох застосуваннях дефазіфікація спрощується завдяки тому, що застосовувані для частин правил ТЕ функції приналежності на монотонних ділянках, відмінних від нуля, можуть стискуватися.

Якщо ввести позначення площі окремої ділянки Δ з координатою

Заключним етапом дефазіфікації є перехід від вихідної функції

(абсцисою) X_i для n обмежених монотонних значень функції $f(X_i)$, то координата центра

ваги визначиться по такому рівнянню

$$x_C = \frac{\sum_{i=1}^n x_i f(x_i) \Delta x}{\sum_{i=1}^n f(x_i) \Delta x}. \quad (4.10)$$

приналежності до чисельної величини вихідного сигналу. При визначенні абсцис центрів ваги площ під вихідною кусочно-лінійною функцією приналежності, ці площі можна представити із прямокутників і прямокутних трикутників.

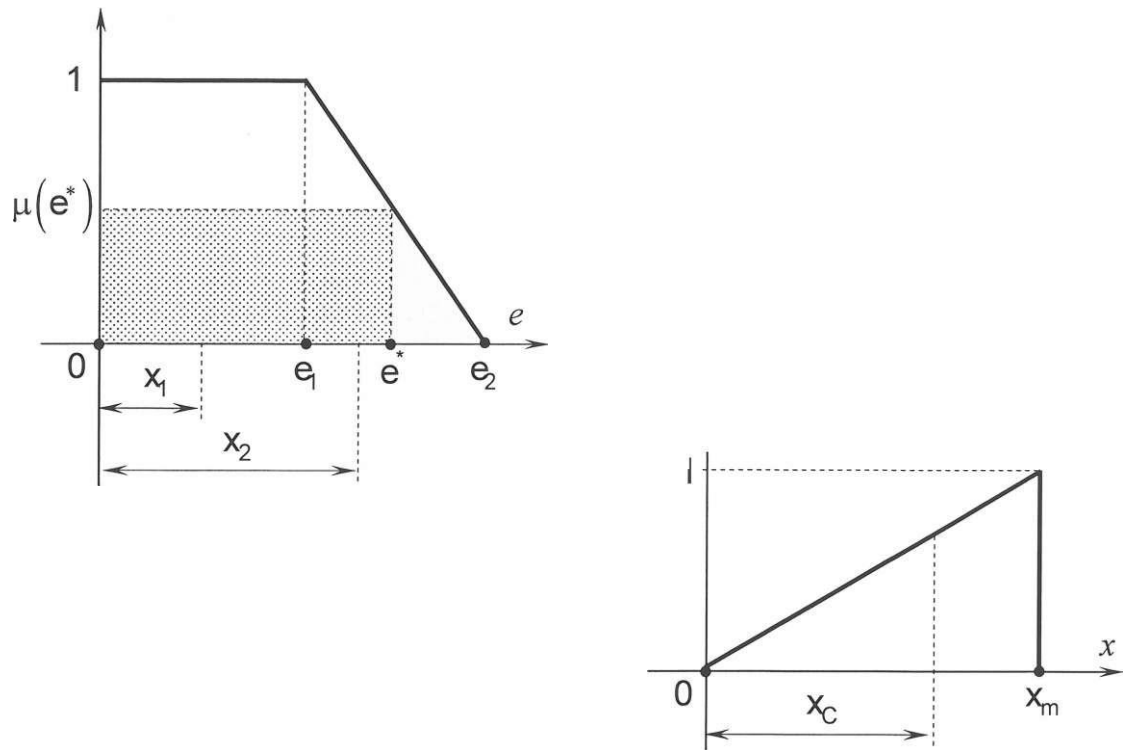


Рисунок 3.6-Визначення абсциси центра ваги прямокутного трикутника

Координата центра ваги прямокутника, як відомо, рівняється половині його підстави, а координата центра ваги прямокутного трикутника визначиться

$$x_C = \frac{\int_0^{x_m} x \cdot kx \cdot dx}{\int_0^{x_m} kx \cdot dx} = \frac{x_m^3/3}{x_m^2/2} = \frac{2}{3} x_m.$$

по формулі (3.9). Позначивши $l(x) = kx$ (рис. 3.6), одержимо:

Визначимо залежність абсциси центра ваги (вихідний змінної) x від вхідний змінної e для трапеційдальної функції приналежності.

При $e < e_1$, $\mu(e) = 1$ і форма вихідної функції приналежності, а отже, і центр ваги площі трапеції будуть постійними.

Функція приналежності в цьому випадку визначиться з вираження

При $e = e_1 > e$, величина $\mu(e)$ буде

$$\mu(e) = \begin{cases} 1, & 0 \leq e < e_1; \\ \frac{e_2 - e}{e_2 - e_1}, & e_1 \leq e < e_2; \\ 0, & e \geq e_2. \end{cases} \quad (4.11)$$

$$x_1 = e/2; \quad x_2 = e + \frac{1}{3}(e_2 - e).$$

зменшуватися. Координати центрів ваги прямокутника й трикутника відповідно будуть рівні:

Площа прямокутника й трикутника будуть відповідно рівні:

Координата центра ваги всієї заштрихованої площі залежно від величини e визначиться згідно (3.10) з рівняння:

$$x_c = \frac{x_1 S_1 + x_2 S_2}{S_1 + S_2}. \quad (4.12)$$

Для випадку, коли $0 < e < e_1$:

$$x_c = \frac{\frac{e_1}{2} \cdot \mu(e) e_1 + \left[e_1 + \frac{1}{3}(e_2 - e_1) \right] \cdot \mu(e) \frac{(e_2 - e_1)}{2}}{\mu(e) e_1 + \mu(e) \frac{(e_2 - e_1)}{2}} = \frac{e_1^2 + \left[e_1 + \frac{1}{3}(e_2 - e_1) \right] (e_2 - e_1)}{e_2 + e_1}.$$

Для випадку, коли $e_1 < e < e_2$:

$$x_c = \frac{\frac{e}{2} \cdot \mu(e) e + \left[e + \frac{1}{3}(e_2 - e) \right] \cdot \mu(e) \frac{(e_2 - e)}{2}}{\mu(e) e + \mu(e) \frac{(e_2 - e)}{2}} = \frac{e^2 + \left[e + \frac{1}{3}(e_2 - e) \right] (e_2 - e)}{e + e_2}.$$

Скористаємося реально заданими величинами помилки регулювання. Якщо $e_1 = 0,15$, а $e_2 = 0,8$, то зміна

координати центра ваги площі фігури під вихідною функцією приналежності відповідно до комп'ютерного моделювання буде представлено графіком.

3.5. Дефазифікація при декількох нечітких множин

При декількох нечітких множинах суміжні терми перетинаються, що істотно ускладнює визначення поточної координати центра ваги площі фігури під

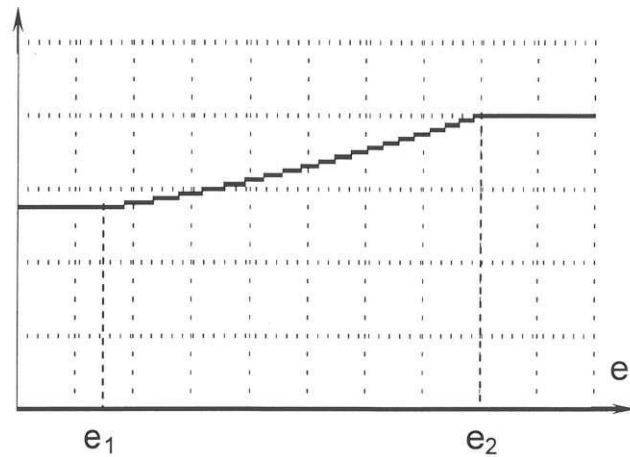


Рисунок 3.7- Результат дефазіфікації

вхідними функціями приналежності. При кусочно-лінійних функціях приналежності зручно представляти всю активну площу у вигляді сукупності прямокутників і прямокутних трикутників.

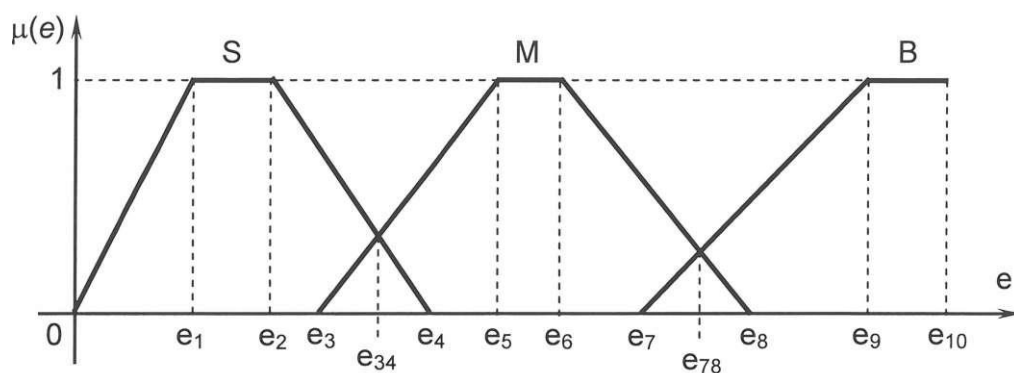


Рисунок 4.9. Три перетинаючих нечітких множин

Розглянемо процес дефазіфікації гравітаційним методом для трьох нечітких множин (в, М, В), показаних на мал. 3.9.

При заданих граничних значеннях вхідний змінної e ($e_1, \dots, e_0$) спочатку визначаються значення e в крапках перетинання сусідніх термов $e^{\wedge}$ й $e^{\vee}$ (відповідно до подоби суміжних трикутників):

$$e_{34} = (e_5 e_4 - e_3 e_2) / (e_5 + e_4 - e_3 - e_2);$$

$$e_{78} = (e_9 e_8 - e_7 e_6) / (e_9 + e_8 - e_7 - e_6).$$

Потім для кожного значення e визначаються функції приналежності, що відтинають площі, по яких обчислюються центри ваги. Найбільш складним є обчислення площ й їхніх центрів ваги для значення вхідний змінної $\% < e < e_4$ й $0 < e < e_d$.

На мал. 3.10 наведені графіки, що відповідають обчисленню площ для зазначених діапазонів зміни сигналу e .

М

Для можливості подання всієї заштрихованої площі у вигляді суми прямокутників і прямокутних трикутників перебувають допоміжні координати по осі абсцис:

$$e_{11} = \mu_S e_1; e_{41} = e_4 - \mu_S (e_4 - e_2); e_{42} = e_4 - \mu_M (e_4 - e_2); e_{81} = e_8 - \mu_M (e_8 - e_6);$$

$$e_{31} = e_3 + \mu_D (\% - e_3); \quad \% >$$

$$e_{71} = e_7 + (\% - e_7) -$$

Координати центра ваги площі, що відтинає відповідними значеннями функцій приналежності $\mu(e)$, для всіх значень вхідний змінної e визначається по рівняннях:

$$0 < e \leq e_1: \mu_S = e/e_{11}, X_C = Q_1/D_1;$$

$$e_1 < e \leq e_2: \mu_S = 1, 0, X_C = Q_2/D_2;$$

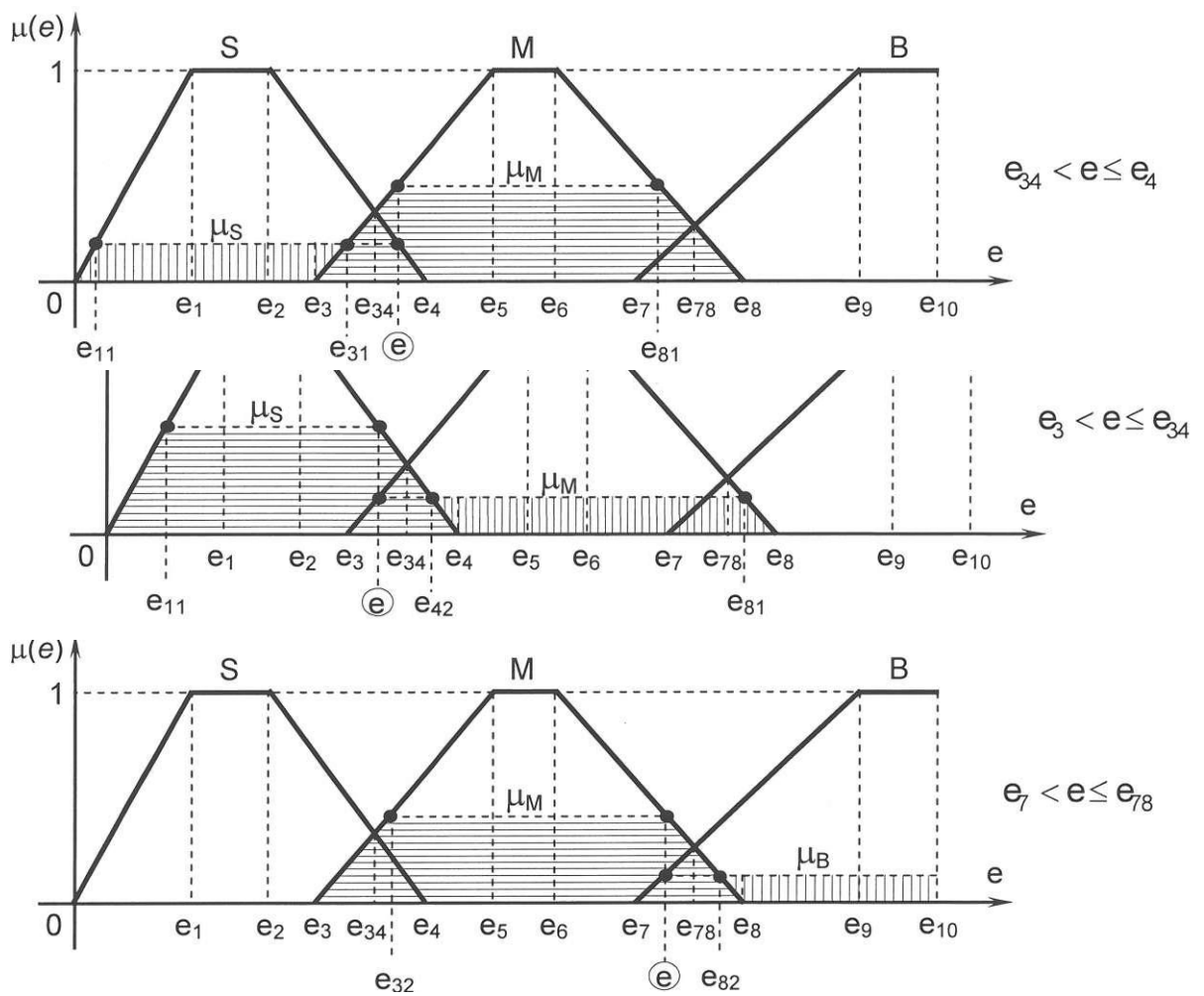
$$e_2 < e \leq e_3: \mu_S = \frac{e_4 - e}{e_4 - e_2}, X_C = Q_3/D_3;$$

$$e_3 < e \leq e_{34}: \mu_S = \frac{e_4 - e}{e_4 - e_2}, \mu_M = \frac{e - e_3}{e_5 - e_3}, X_C = Q_4/D_4;$$

$$e_{34} < e \leq e_4: \mu_S = \frac{e_4 - e}{e_4 - e_2}, \mu_M = \frac{e - e_3}{e_5 - e_3}, X_C = Q_5/D_5;$$

$$e_4 < e \leq e_5: \mu_M = \frac{e - e_3}{e_5 - e_3}, X_C = Q_6/D_6;$$

$$e_5 < e \leq e_6: \mu_M = 1, 0, X_C = Q_7/D_7;$$



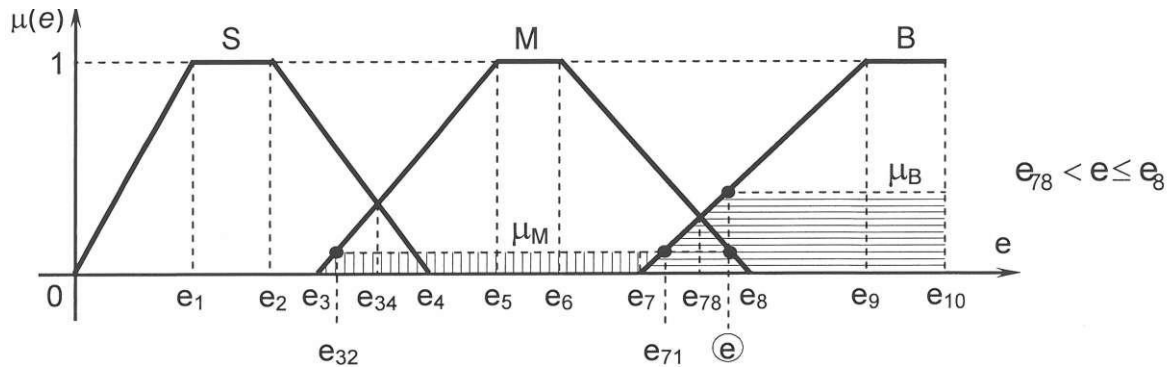


Рисунок 3.9- Обчислення координат центра ваги

$$e_6 < e \leq e_7: \mu_M = \frac{e_8 - e}{e_8 - e_6}, X_C = Q_8 / D_8;$$

$$e_7 < e \leq e_{78}: \mu_M = \frac{e_8 - e}{e_8 - e_6}, \mu_B = \frac{e - e_7}{e_9 - e_7}, X_C = Q_9 / D_9;$$

$$e_{78} < e \leq e_8: \mu_M = \frac{e_8 - e}{e_8 - e_6}, \mu_B = \frac{e - e_7}{e_9 - e_7}, X_C = Q_{10} / D_{10};$$

$$e_8 < e \leq e_9: \mu_B = \frac{e - e_7}{e_9 - e_7}, X_C = Q_{11} / D_{11};$$

$$e_9 < e \leq e_{10}: \mu_B = 1,0, X_C = Q_{12} / D_{12},$$

де відповідно до залежності (3.10) величини O_i й 0_i будуть рівні:

$$Q_1 = \frac{2}{3}e^2 + e_{41}^2 - e^2 + (e_4 - e_{41})\left[e_{41} + \frac{1}{3}(e_4 - e_{41})\right], D_1 = e_4 + e_{41} - e;$$

$$Q_2 = \frac{2}{3}e_1^2 + e_2^2 - e_1^2 + (e_4 - e_2)\left[e_2 + \frac{1}{3}(e_4 - e_2)\right], D_2 = e_4 + e_2 - e_1;$$

$$Q_3 = \frac{2}{3}e_{11}^2 + e^2 - e_{11}^2 + (e_4 - e)\left[e + \frac{1}{3}(e_4 - e)\right], D_3 = e_4 + e - e_{11};$$

$$Q_4 = \mu_S \left\{ \frac{2}{3}e_{11}^2 + e^2 - e_{11}^2 + (e_4 - e)\left[e + \frac{1}{3}(e_4 - e)\right] \right\} +$$

$$\begin{aligned}
& + \mu_M \left\{ e_{81}^2 - e_4^2 + (e_4 - e_{42}) \left[e_4 - \frac{1}{3}(e_4 - e_{42}) \right] + (e_8 - e_{81}) \left[e_{81} + \frac{1}{3}(e_8 - e_{81}) \right] \right\}, \\
D_4 &= \mu_S(e_4 + e - e_{11}) + \mu_M(e_8 + e_{81} - e_4 - e_{42}); \\
Q_5 &= \mu_S \left\{ \frac{2}{3}e_{11}^2 + e_3^2 - e_{11}^2 + (e_{31} - e_3) \left[e_3 + \frac{1}{3}(e_{31} - e_3) \right] \right\} + \\
D_7 &= e_8 + e_6 - e_5 - e_3; \\
Q_8 &= e^2 - e_{32}^2 + (e_{32} - e_3) \left[e_{32} - \frac{1}{3}(e_{32} - e_3) \right] + (e_8 - e) \left[e + \frac{1}{3}(e_8 - e) \right], \quad e_{81} \Bigg\}, \\
D_8 &= e_8 + e - e_{32} - e_3; \quad \mu_S(e_3 + e_{31} - e_{11}) + \mu_M(e_8 + e_{81} - e - e_3); \\
Q_9 &= \mu_M \left\{ e^2 - e_{32}^2 + (e_8 - e) \left[e + \frac{1}{3}(e_8 - e) \right] + (e_{32} - e_3) \left[e_{32} - \frac{1}{3}(e_{32} - e_3) \right] \right\} + \\
& + \mu_B \left\{ e_{10}^2 - e_8^2 + (e_8 - e_{82}) \left[e_8 - \frac{1}{3}(e_8 - e_{82}) \right] \right\}, \quad \kappa \left[\min \left(\frac{e - e_7}{e_9 - e_7}, 1 \right), 0 \right], \quad e \leq 1, 0 \\
D_9 &= \mu_M(e_8 + e - e_{32} - e_3) + \mu_B(2e_{10} - e_8 - e_{82}); \\
Q_{10} &= \mu_M \left\{ e_7^2 - e_{32}^2 + (e_{32} - e_3) \left[e_{32} - \frac{1}{3}(e_{32} - e_3) \right] + (e_{71} - e_7) \left[e_7 + \frac{1}{3}(e_{71} - e_7) \right] \right\} + \\
& + \mu_B \left\{ e_{10}^2 - e^2 + (e - e_7) \left[e - \frac{1}{3}(e - e_7) \right] \right\}, \\
D_{10} &= \mu_M(e_7 + e_{71} - e_{32} - e_3) + \mu_B(2e_{10} - e_7 - e); \\
Q_{11} &= e_{10}^2 - e^2 + (e - e_7) \left[e - \frac{1}{3}(e - e_7) \right], \quad D_{11} = 2e_{10} - e - e_7; \\
Q_{12} &= e_{10}^2 - e_9^2 + (e_9 - e_7) \left[e_9 - \frac{1}{3}(e_9 - e_7) \right], \quad D_{12} = 2e_{10} - e_9 - e_7.
\end{aligned}$$

На мал. 3.10 наведені графіки залежності функції приналежності від вхідного

сигналу й координата центра ваги, отримані на комп'ютері (повний текст

$\underline{e_1}$	$\frac{<2}{2}$	$\frac{<?3}{4}$	$\frac{<2}{4}$	<25	$\underline{e_6}$	<27	<28	<29	<210
0,1	<u>0,15</u>	0,2	<u>0,35</u>	<u>0,4</u>	0,6	<u>0,65</u>	<u>0,75</u>	<u>0,85</u>	1,0

$$\mu_S = \max \left[\min \left(\frac{e}{e_1}, 1, \frac{e_4 - e}{e_4 - e_2} \right), 0 \right];$$

$$\mu_M = \max \left[\min \left(\frac{e - e_3}{e_5 - e_3}, 1, \frac{e_8 - e}{e_8 - e_6} \right), 0 \right];$$

програми комп'ютерного моделювання наведений у прил. В) для наступних граничних значень вхідної величини $e \setminus$

Функції приналежності отримані по таких аналітичних залежностях:

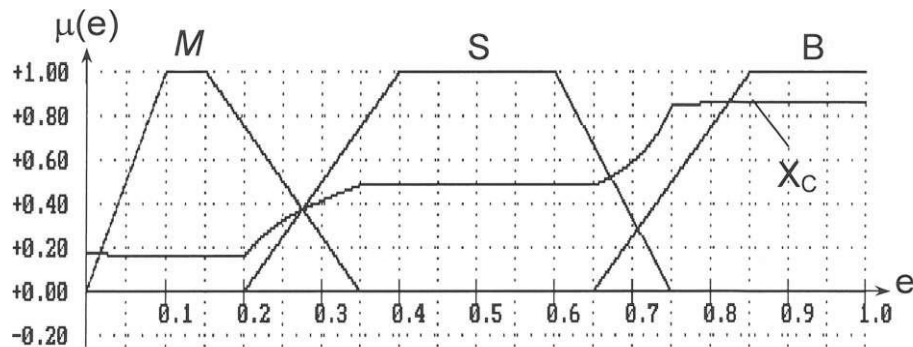


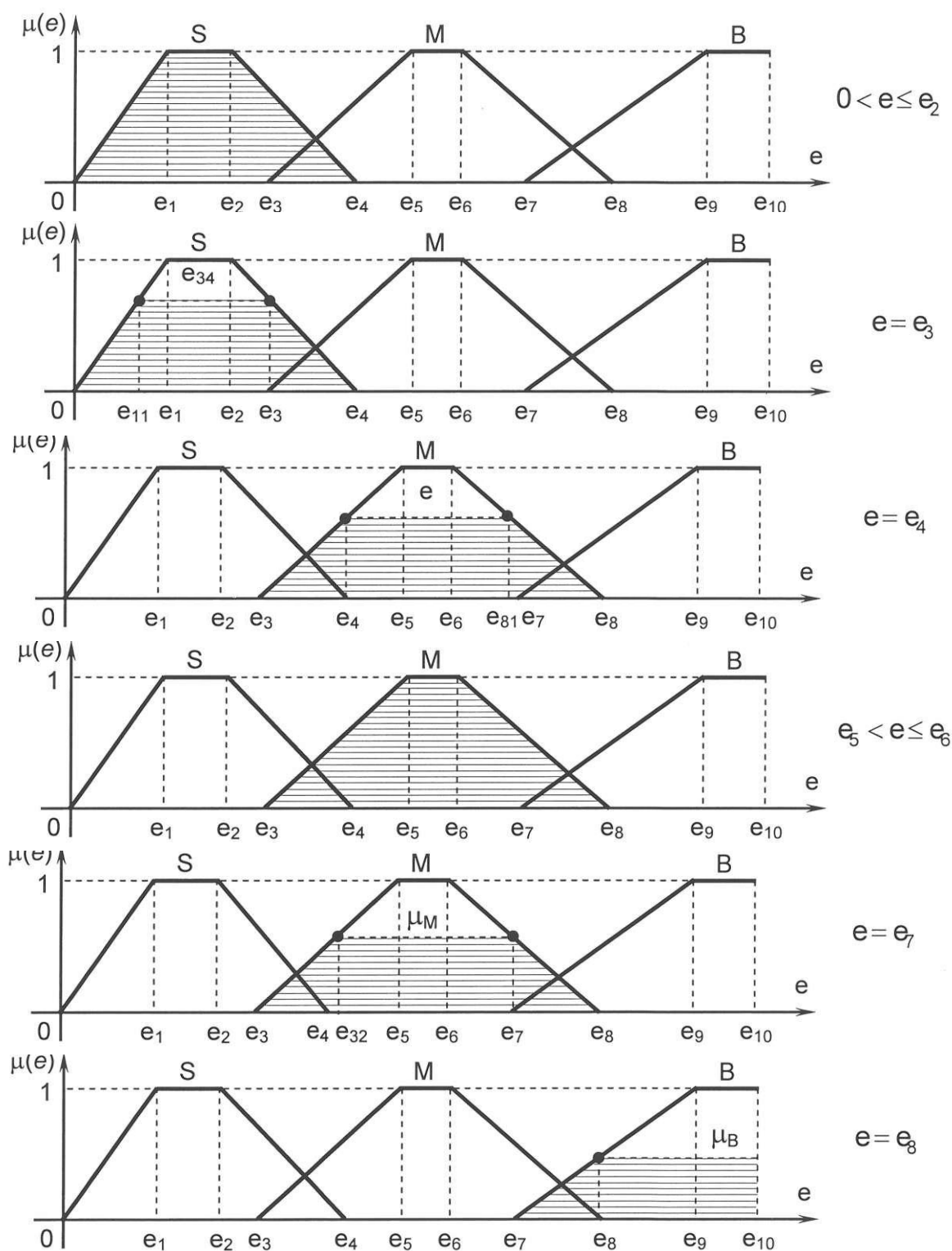
Рисунок 3.11- Результати комп'ютерного моделювання дефазифікації гравітаційним методом

Наближене визначення координати центра ваги методом границь і висот нечітких множин

З рис. 3.11 видно, що на інтервалах вхідний змінної e , що належить одночасно двом суміжним безлічам, залежність координати центра ваги від сигналу e мало відрізняється від лінійної. Тому з метою спрощення можна в зонах перетинання

сусідніх термов, а також при переході від одного постійного значення до іншого вважати лінійної залежності координати центра ваги від вхідної величини e .

У загальному випадку по першому етапі необхідно обчислити центри ваги для семи станів, показаних на рис. 3.12 (активні площі, для яких обчислюються координати центрів ваги заштриховані):



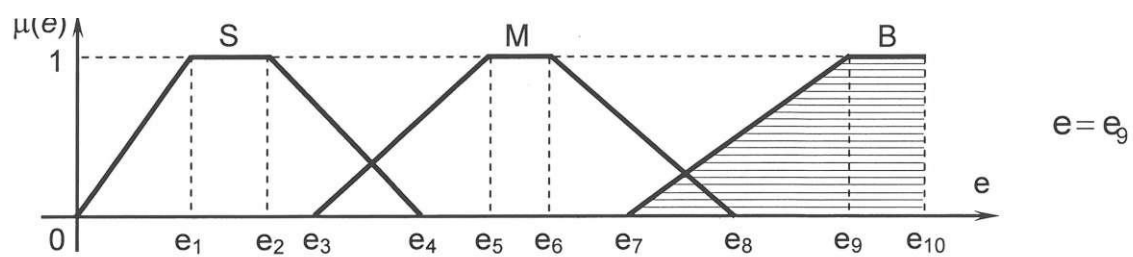


Рисунок 3.12- Дефаззифікація методом границь

На мал. 3.13 наведені графіки залежності функції приналежності від вхідного сигналу й координата центра ваги, отримані на комп'ютері й

$$X_C = X_5 + (X_6 - X_5) \frac{e - e_7}{e_8 - e_7}, \quad e_7 \leq e < e_8;$$

$$X_C = X_6 + (X_7 - X_6) \frac{e - e_8}{e_9 - e_8}, \quad e_8 \leq e < e_9.$$

текст програми комп'ютерного моделювання наведений у прил. Г) для таких же значень вхідної величини $e_{\text{л}}$ як і при гравітаційному методі дефазифікації.

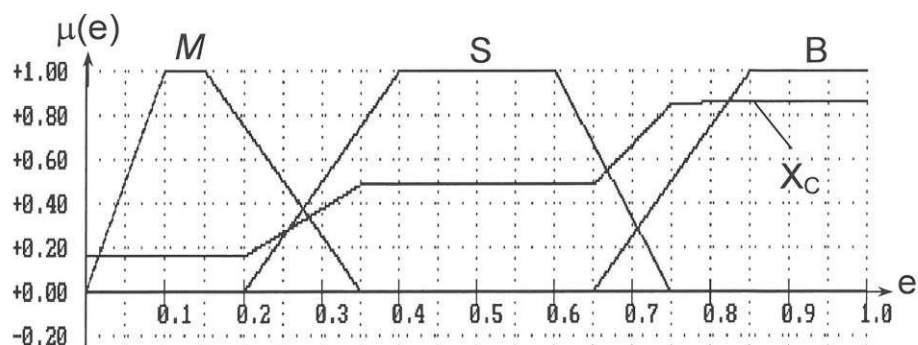


Рисунок 3.13- Результати комп'ютерного моделювання дефаззифікації методом границь та висот

■ Наближене визначення координати центра ваги методом висот нечітких множин

З рис. 3.13 видно, що на інтервалах:

$$e_2 \leq e < e_3 \quad (X_C = X_1 \approx X_2),$$

$$e_4 \leq e < e_5, \quad e_6 \leq e < e_7 \quad (X_C = X_4 \approx X_3 \approx X_5),$$

$$e_8 \leq e < e_9 \quad (X_C = X_7 \approx X_6)$$

відповідні значення координат центрів ваги практично однакові.

У цьому випадку необхідно обчислити центри ваги для трьох станів, показаних на рис.3.14 (активні площі, для яких обчислюються координати центрів ваги заштриховані):

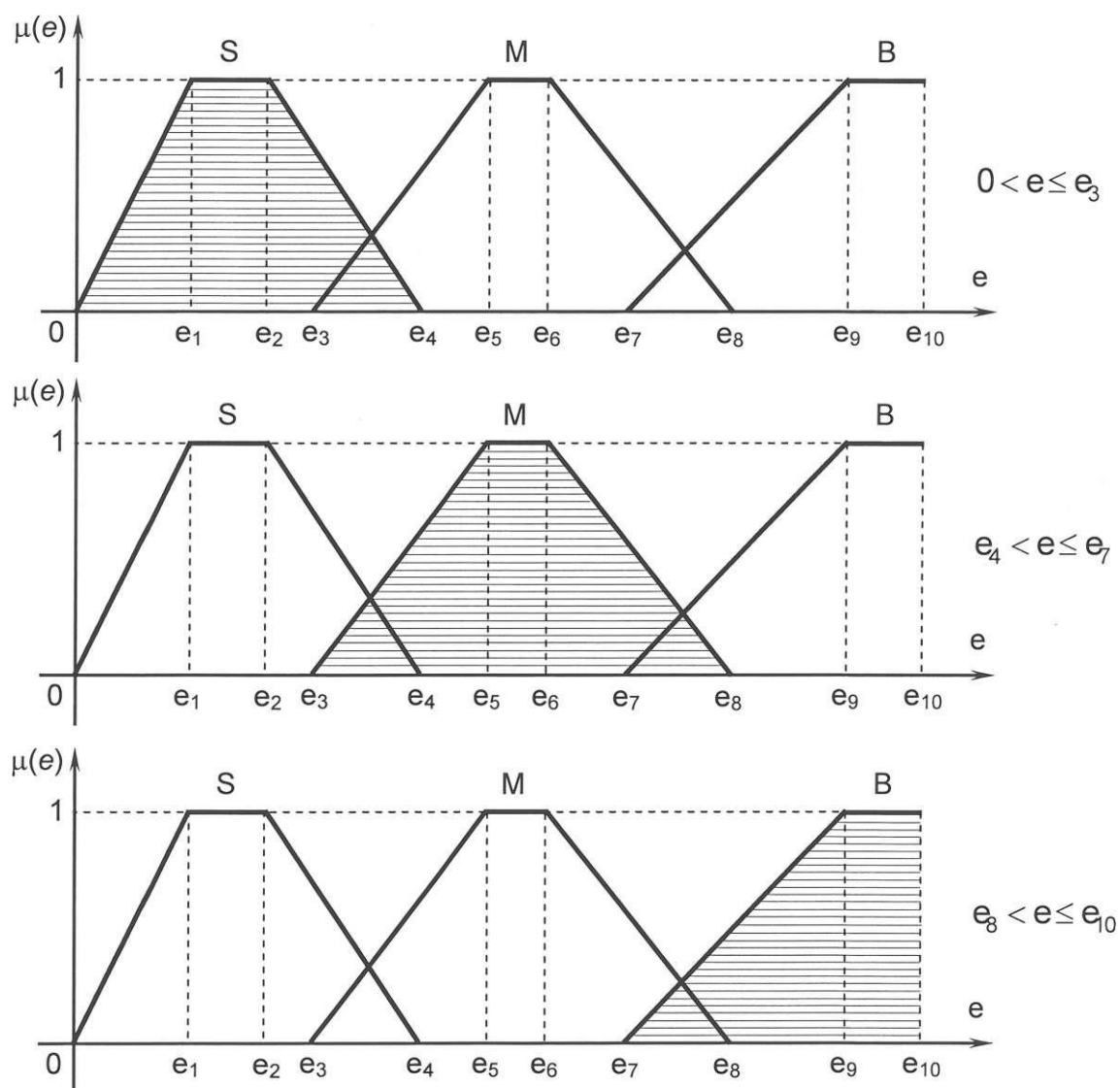


Рисунок 3.14- Дефаззифікація методом висот

$$0 < e \leq e_3: X_C = M_1/N_1;$$

$$e_4 < e \leq e_7: X_C = M_2/N_2;$$

$$e_8 < e \leq e_{10}: X_C = M_3/N_3,$$

де величини M_i й N_i будуть рівні:

$$M_1 = \frac{2}{3}e_1^2 + e_2^2 - e_1^2 + (e_4 - e_2) \left[e_2 + \frac{1}{3}(e_4 - e_2) \right], \quad N_1 = e_4 + e_2 - e_1;$$

$$M_2 = e_6^2 - e_5^2 + (e_5 - e_3) \left[e_5 - \frac{1}{3}(e_5 - e_3) \right] + (e_8 - e_6) \left[e_6 + \frac{1}{3}(e_8 - e_6) \right],$$

$$N_2 = e_8 + e_6 - e_5 - e_3;$$

$$M_3 = e_{10}^2 \quad X_C = X_1 + (X_2 - X_1) \frac{e - e_3}{e_4 - e_3}, \quad e_3 \leq e < e_4;$$

$$X_C = X_2 + (X_3 - X_2) \frac{e - e_7}{e_8 - e_7}, \quad e_7 \leq e < e_8.$$

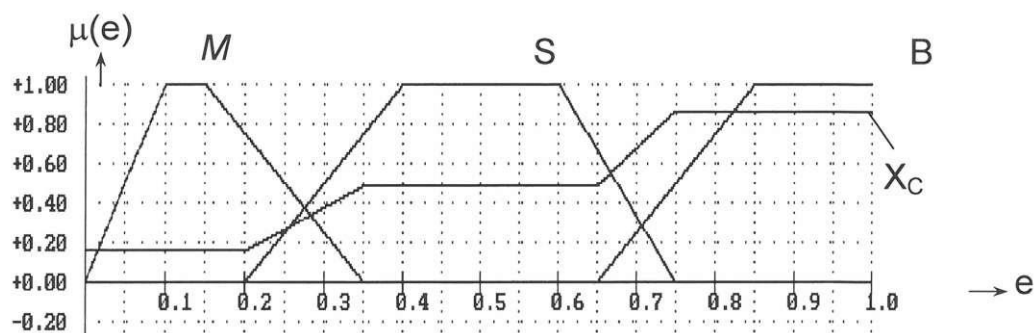


Рисунок 3.15-

Результати комп'ютерного моделювання дефазіфікації методом висот

Проміжні значення координат (лінійні ділянки) визначаються по таких рівняннях:

На рис. 3.15 наведені графіки залежності функції приналежності від вхідного сигналу й координата центра ваги, отримані на комп'ютері (повний текст програми комп'ютерного моделювання наведений у прил. Д) для таких же

значень вхідної величини e , як і при гравітаційному методі дефазифікації й методі границь і висот нечітких множин.

Як видно із графіків, показаних на мал.3.11, 3.13, 3.15, різні методи дефазифікації дали практично однаковий результат. Тому в розрахунках доцільно використати досить простий метод висот, що не уступає в точності одержання результатів.

3.7. Визначення структури й параметрів фаззи-контролера в системі керування динамічним об'єктом

Як система керування розглянемо схему, представлену на мал. 3.16.

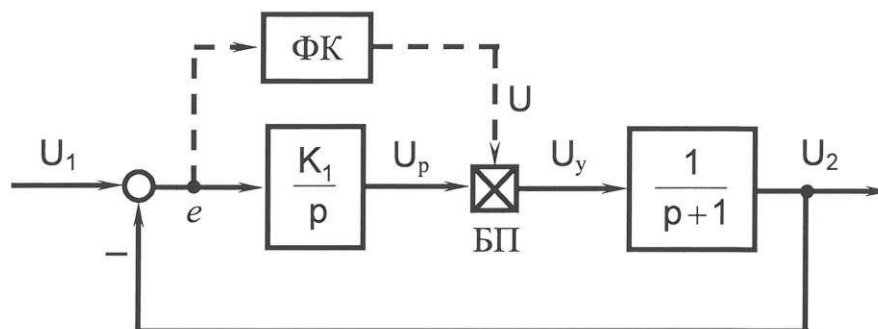
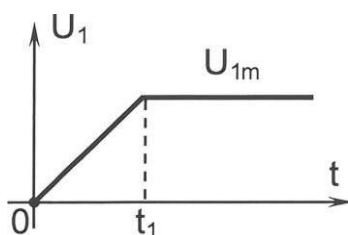


Рисунок 3.16- Структурна схема системи

При відсутності фаззи-контроллера (ФК) поведіння даної системи визначається коефіцієнтом K_1 інтегруючого регулятора имеющего передатну функцію $u_p(p)/e(p) = K_1 / p$, де U_p вихідний сигнал регулятора, e помилка

регулювання. З урахуванням вихідного сигналу ФК коефіцієнт передачі розімкнутої системи $K = K^{\wedge}$ (відсутності ФК відповідає $K = 1$, $U_y = u_p$).

Прийmemo як вхідний вплив u_1 лінійно, що збільшується в часі сигнал, з обмеженням u_{1T} , показаним на мал. 3.17.



$$\varepsilon = \frac{dU_1}{dt} = \frac{U_{1m}}{t_1} = 5, \quad U_{1m} = 10.$$

$$e = \varepsilon \frac{1}{p} \left(1 - \frac{K}{p^2 + p + K} \right) = \varepsilon \frac{p+1}{p^2 + p + K}.$$

Стала динамічна помилка $\epsilon_{\text{ст}}^{\wedge} = \epsilon/K$. При $K = K_1 = 2,5$ й $\delta = 5$ $\epsilon_{\text{уст}} = 2$.

Потрібно вибрати так ФК, щоб $\epsilon_{\text{уст}} = 0,5$, а наприкінці перехідного процесу коливань не було. Перше може бути забезпечено, якщо прийняти $K = K^{\wedge} = 10$,

однак у цьому випадку передатна функція буде відповідати коливальному процесу:

$$W_3(p) = \frac{K}{p^2 + p + K} = \frac{10}{p^2 + p + 10}.$$

Тому структура ФК повинна забезпечувати зменшення коефіцієнта підсилення K зі зменшенням сигналу помилки e .

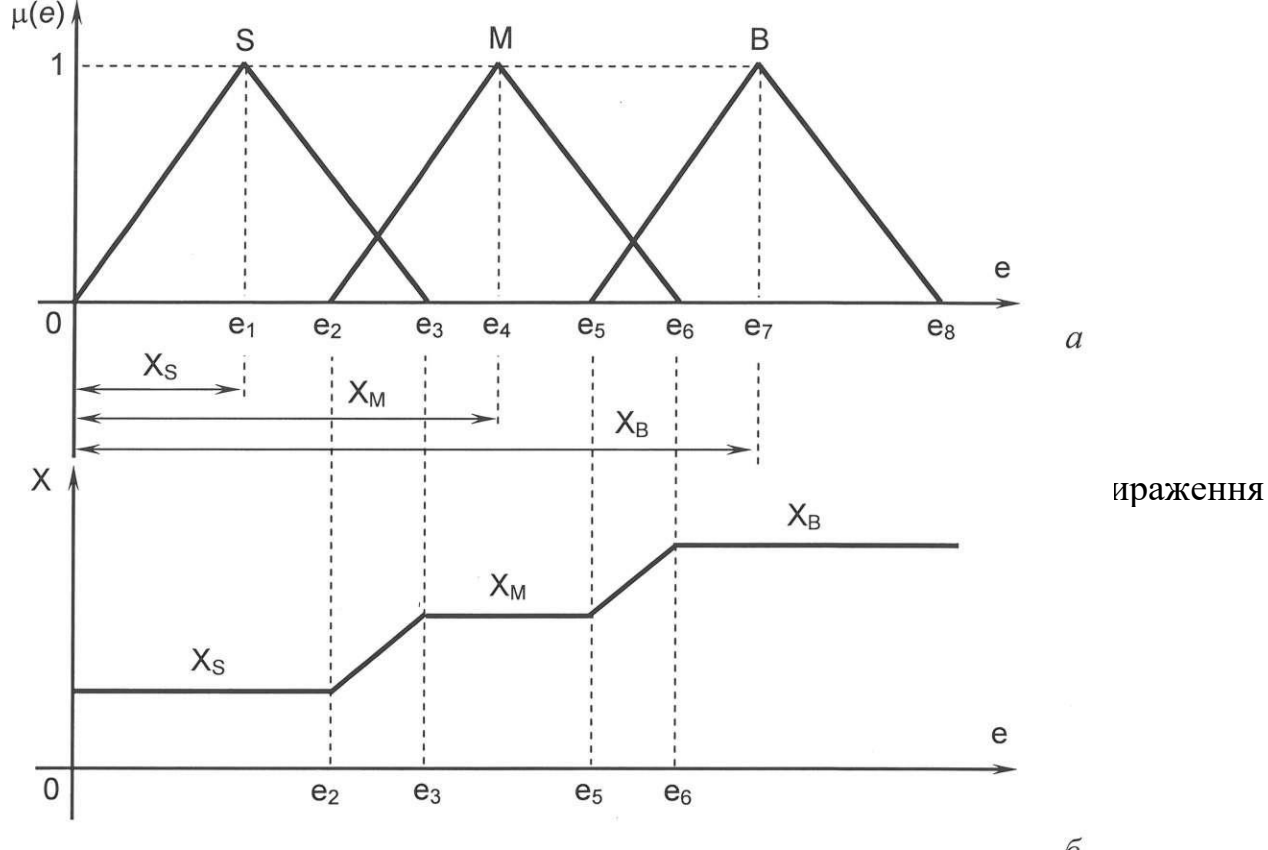


Рисунок 3.18- Функції приналежності нечетких множин і значення вихідного сигналу ФК при $K_B = 1,0$

Представимо помилку регулювання трьома нечіткими множинами з однаковими термами у вигляді рівнобедрених трикутників (мал. 3.18, а)

У якості граничних чисельних значень сигналу помилки регулювання e візьмемо

наступні:

$$e_1 = 0,5; e_2 = 0,75; e_3 = 1,0; e_4 = 1,25; e_5 = 1,5; e_6 = 1,75; e_7 = 2,0; e_8 = 2,5.$$

Дефаззифікацію виконаємо методом висот нечітких множин. Координати центрів ваги нечітких множин в, М, В відповідно рівні: $X_5 = 0,5$; $X_M = 1,25$; $X_B = 2,0$.

В областях перетинання суміжних множин $e_2 < e < e^i$ $e_5 < e < e^i$ координати центрів ваги X визначаються відповідно до структурної схеми алгоритму (рис.3.19)

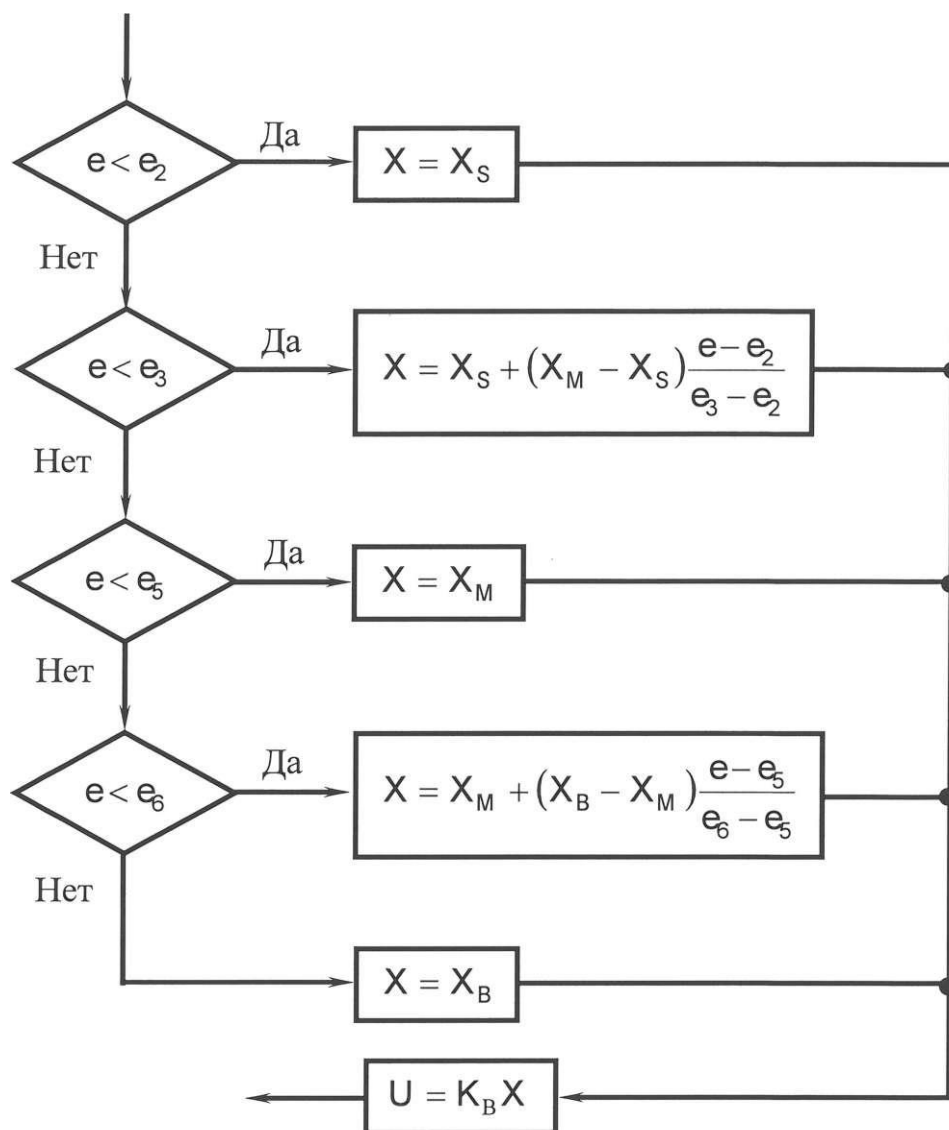


Рисунок 3.19- Структурна схема алгоритма побудови координати центра ваги

На рис. 3.20, а й рис.3.20, б наведені відповідно розрахункова схема й результати комп'ютерного моделювання трикутних функцій приналежності й координати центра ваги, виконані в середовищі імітаційного моделювання MATLAB 6.1.

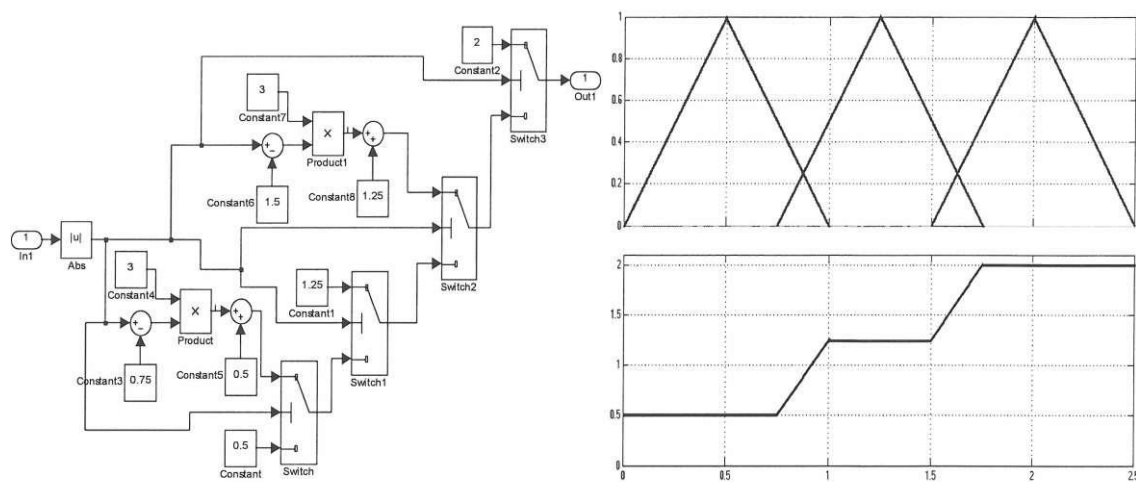


Рисунок 3.20- Розрахункова схема і результати побудови функцій приналежності і координати центра ваги в сфері МАТЬ А В
Необхідно відзначити, що вагарні коефіцієнт K_v вибирається з умови одержання

бажаного значення вихідного сигналу и ФК (мал. 316). У нашому прикладі для прийняти $K_B = 2$. Тоді $и_{\text{тах}} = K_B X_B = 4$ й, отже, $K = K_p = 2,5 \cdot 4 = 10$.

Комп'ютерне моделювання досліджуваної системи (мал. 3.16) можна здійснювати як у середовищі імітаційного моделювання MATLAB, розрахункова схема наведена на рис. 3.21, так і з використанням будь-яких мов програмування високого рівня, відповідно до структурної схеми алгоритму, представленої на рис. 3.22.

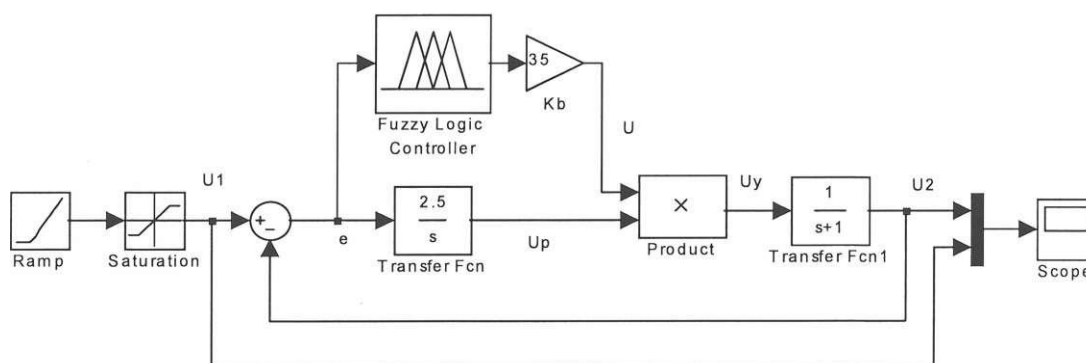
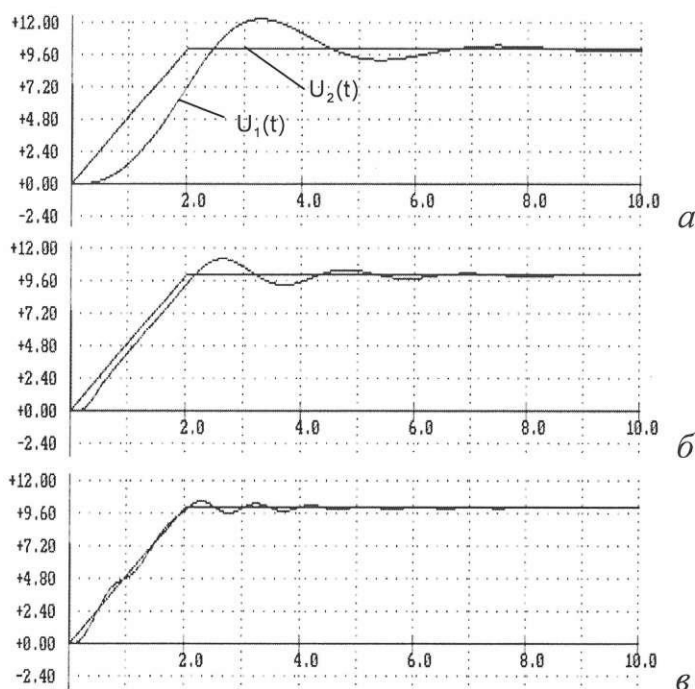


Рисунок 3.21- Розрахункова схема моделювання системи в сфері MATLAB



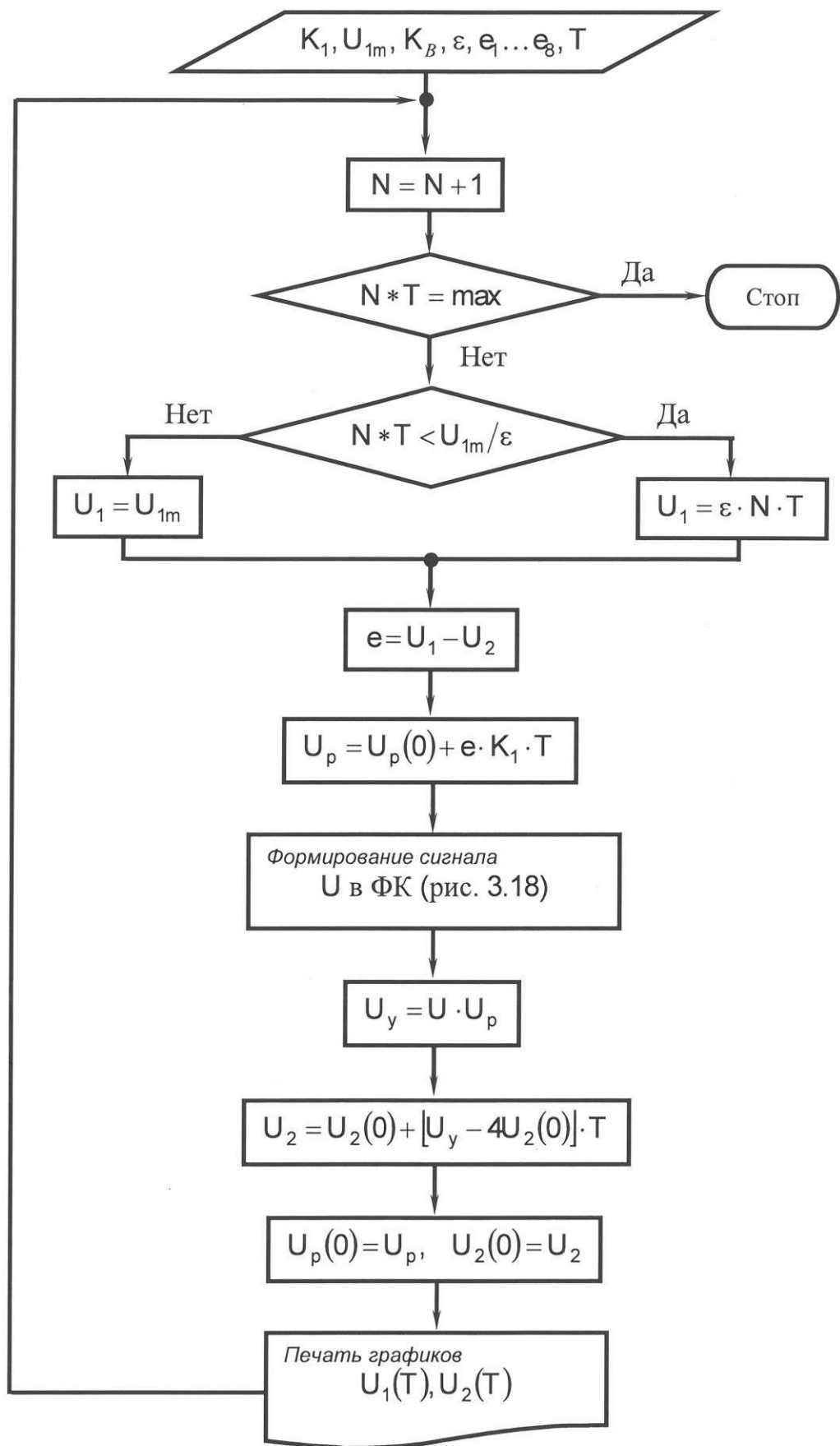


Рисунок 3.23 Структурна схема алгоритма моделювання системи

Рисунок 3.23 - Результата моделювання

На мал. 3.23 представлені результати комп'ютерного моделювання (графіки зміни вхідного $u_1(t)$ і вихідного $u_2(t)$ сигналів системи), де мал. 3.23, а відповідає система без фаззі-контролера, мал. 3.23, б □ система з ваговим коефіцієнтом ФК $K_v = 2$, мал. 3.23, в □ система з ваговим коефіцієнтом ФК $K_v = 35$.

Результати комп'ютерного моделювання системи показують, що при правильному й точному синтезі фаззі-контролера з відповідним налаштуванням вагових коефіцієнтів, перерегулювання в системі керування динамічним об'єктом практично відсутній.

4. Оптимізація по динамічних навантаженнях електромеханічних систем з розподіленими параметрами

До складних промислових електромеханічних систем в основному відносять машини й установки, що містять електродвигуни й спеціальні механізми (трансмисії), що передають рух виконавчому органу. Реальні трансмісії відрізняються великою складністю розподілу мас (моментів інерції). При цьому маси й пружності окремих ділянок можуть бути як зосередженими, так і розподіленими (сталеві^{^^^} підйомних машин, конвеєрні стрічки, штанги бурових установок глибокого буровлення й т.п.).

У цьому зв'язку структурі реальної трансмісії відповідає звичайно складна еквівалентна схема, що має, як правило, кілька ступенів волі. Рішення й дослідження рівнянь руху систем з розподіленими параметрами зводиться до інтегрування диференціальних рівнянь у частинних похідних й являє собою громіздке завдання. Зневага розподіленою масою істотно спрощує розрахункову схему системи, тому що при цьому зменшується число ступенів волі. Але таке допущення вносить у ряді випадків (наприклад, коли маси галузей канатів піднімальної машини порівнянні з масою кінцевих вантажів)

помітну погрішність. Ця погрішність може бути істотно зменшена, якщо ланка з розподіленою масою представити пружною дискретною ланцюговою системою, що складається з великої кількості зосереджених мас, з'єднаних ідеальними пружними зв'язками. Величини дискретних мас можуть бути легко полічені, якщо відомо закон поширення деформації ланки з розподіленими параметрами уздовж його довжини. Комп'ютерне моделювання такої системи при будь-якому числі дискретних мас не представляє труднощів як при дослідженні окремо пружної ланки, так й у складі електромеханічної системи.

\| Однієї з основних завдань побудови систем керування електромеханічними установками із пружними ланками є оптимізація режиму по динамічних навантаженнях. Під таким режимом розуміється зниження до мінімуму коливань динамічних зусиль.

Розглянемо типову структурну схему шахтної піднімальної установки, механічна частина якої складається із трьох зосереджених мас G_1, G_2 і ІЛЗ з'єднаних між собою пружними ланками (сталевими канатами) довжиною l_1, l_2 із загальною розподіленою масою m_0 (рис. 4.10, а).

загальною розподіленою масою t_0 (рис. 4.10, а).

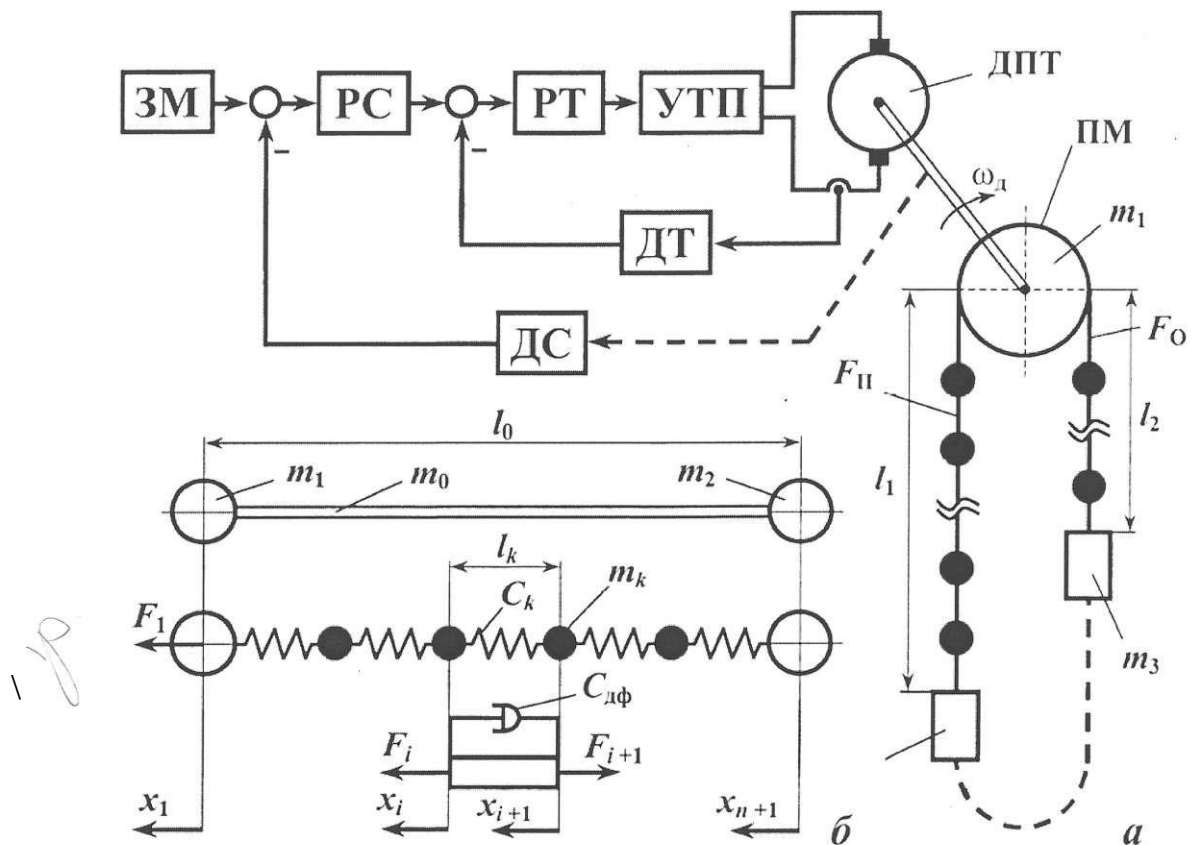


Рисунок 4.1- Функціональна схема піднімальної установки як електромеханічної системи

Для визначення величин дискретних мас виділимо ділянку пружної системи довжиною $l_k = l_0 / p$ й масою $m_k = t_0 / p$, де p — число ділянок пружної дискретної системи, який замінена реальна система ($p = 2, 3, \dots$): $l_0 = l_1 + l_2$ (мал. 4.10, б). Тут зовнішня сила, прикладена до зосередженої маси m_k ; P_i , P_{i+1} — внутрішні сили реакції системи на виділену елементарну ділянку довжиною l_k ; x_i , x_{i+1} — переміщення крайніх перетинів елементарної ділянки. Коефіцієнт $C_{дф}$ чисельно рівний одиничній різниці швидкості крайніх перетинів елементарної ділянки, є розподіленим параметром і визначає загасання хвильових процесів у реальній пружній ланці.

Для опису динаміки пружної ланцюгової системи скористаємося методом Лагранжа, рівняння якого для узагальненої координати x при $C_{df} = 0$ має такий

вигляд:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T_k}{\partial \dot{x}_i} - \frac{\partial T_k}{\partial \dot{x}_i} = F_i - \frac{\partial \Pi_k}{\partial \dot{x}_i} \quad (5.1)$$

Кінетична енергія виділеної елементарної ланки дорівнює:

$$T_k = \frac{m_k}{3} \frac{\dot{x}_i^2 + \dot{x}_i \dot{x}_{i+1} + \dot{x}_{i+1}^2}{2}.$$

Зміна потенційної енергії елементарної ланки при пружній деформації

$\Pi_k = 0,5 C_k (x_i - x_{i+1})^2$, де $C_k = C \cdot \rho$ — дискретний коефіцієнт пружності; C_y

коефіцієнт пружності ланок з розподіленими параметрами, загальною довжиною

l_0 , $C = T_0 a_k / l_0$, a_k — швидкість поширення пружної деформації по довжині

ланки.

Визначимо члени рівняння Лагранжа (4.19) для узагальнених координат системи x_i й x_{i+1} :

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \dot{x}_i} &= \frac{m_k}{3} \left(\dot{x}_i + \frac{\dot{x}_{i+1}}{2} \right); \quad \frac{\partial}{\partial \dot{x}_{i+1}} = \frac{m_k}{3} \left(\dot{x}_{i+1} + \frac{\dot{x}_i}{2} \right); \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial}{\partial \dot{x}_i} &= \frac{m_k}{3} \left(\ddot{x}_i + \frac{\ddot{x}_{i+1}}{2} \right); \quad \frac{d}{dt} \frac{\partial}{\partial \dot{x}_{i+1}} = \frac{m_k}{3} \left(\ddot{x}_{i+1} + \frac{\ddot{x}_i}{2} \right); \\ \frac{\partial \Pi_k}{\partial x_i} &= C_k (x_i - x_{i+1}); \quad \frac{\partial \Pi_k}{\partial x_{i+1}} = -C_k (x_i - x_{i+1}). \end{aligned}$$

Підставляючи отримані значення похідних у рівняння Лагранжа (5.1) і зневажаючи загасанням коливань, одержимо наступні рівняння руху

$$\left. \begin{aligned} \frac{m_k}{3} \left(\ddot{x}_i + \frac{\ddot{x}_{i+1}}{2} \right) &= F_i - C_k (x_i - x_{i+1}); \\ \frac{m_k}{3} \left(\ddot{x}_{i+1} + \frac{\ddot{x}_i}{2} \right) &= -F_{i+1} + C_k (x_i - x_{i+1}). \end{aligned} \right\}$$

дискретних мас елементарної ланки:

У рівняннях (4.2) відповідно до еквівалентної дискретної схеми (мал. 4.1, б), реакції

$$F_i = C_k(x_{i-1} - x_i); F_{i+1} = C_k(x_{i+1} - x_{i+2}).$$

Наведені зосереджені маси на кінцях пружних ланок будуть дорівнюють сумі власної зосередженої маси по, (t_2) й наведених мас суміжних елементарних ділянок $m_k/3$, тобто

$$m'_3 = m_3 + \frac{m_k}{3}; m'_1 = m_1 + 2\frac{m_k}{3}; m'_2 = m_2 + \frac{m_k}{3},$$

Відповідно до отриманих залежностей поведінки пружної дискретної системи в перехідних режимах буде описуватися наступною системою диференціальних рівнянь без обліку загасання коливань:

$$\left. \begin{aligned} \left(m_1 + \frac{m_k}{3}\right) \ddot{x}_1 + \frac{m_k}{6} \ddot{x}_2 &= F_1 - C_k(x_1 - x_2); \\ \frac{2m_k}{3} \ddot{x}_2 + \frac{m_k}{6} (\ddot{x}_1 + \ddot{x}_3) &= C_k(x_1 - x_2) - C_k(x_2 - x_3); \\ &\vdots \\ \frac{2m_k}{3} \ddot{x}_i + \frac{m_k}{6} (\ddot{x}_{i-1} + \ddot{x}_{i+1}) &= C_k(x_{n-1} - x_n) - C_k(x_n - x_{n+1}); \\ \left(m_2 + \frac{m_k}{3}\right) \ddot{x}_{n+1} + \frac{m_k}{6} \ddot{x}_n &= C_k(x_n - x_{n+1}). \end{aligned} \right\} \quad (5.3)$$

Запишемо рівняння (4.3) в операторній формі, приймаючи в якості вихідних змінні координати X_i , а в якості вхідних й пружні $P_i = C_k(X_i - x_{i+1})$, де $i = 1, 2, \dots, n$. Для спрощення запису зображення змінні позначимо

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \frac{3}{(3m_1 + m_k)p^2} \left[F_1 - C_k(x_1 - x_2) - \frac{m_k}{2(3m_1 + m_k)} x_2 \right]; \\ x_2 &= \frac{3}{2m_k p^2} \left[C_k(x_1 - x_2) - C_k(x_2 - x_3) - \frac{1}{4}(x_1 - x_3) \right]; \\ &\vdots \\ x_n &= \frac{3}{2m_k p^2} \left[C_k(x_{n-1} - x_n) - C_k(x_n - x_{n+1}) - \frac{1}{4}(x_{n-1} - x_{n+1}) \right]; \\ x_{n+1} &= \frac{3}{(3m_2 + m_k)p^2} \left[C_k(x_n - x_{n+1}) - \frac{m_k}{2(3m_2 + m_k)} x_n \right]. \end{aligned} \right\} \quad (5.3)$$

однаково $X_i(p) = \hat{}$:

пружні-грузлі сили .

Про дану структурну схему виконані дослідження динамічних процесів у пружній системі при східчасто прикладеному рушійному зусиллі $P_{дв} = 1,0 \text{ кН}$, $C_y = 1600 \text{ Н/м}$, $\gamma = 13$, $\zeta = 3$ і $a_{11} = \text{пп}^\wedge / \text{пгц} = 0,3$; $a_{12} = \text{гт}^\wedge / \text{п}^\wedge = 1,25$; $a_{21} = \text{Щ} / \text{тм} = 0,09$; $a_{23} = \text{під} / \text{тз} = 0,75$, де $t_{п}$ й t_0 — маси що піднімається й опускається галузей пружної ланки ($t_{п} + t_0 = t_0$).

Графіки 1 й 2, показані на мал. 5.3, представляють динамічні зусилля P_0 й $P_{п}$ у верхніх крапках відповідно що опускається й піднімається галузей пружної ланки. Перевагою подання ланок з розподіленими параметрами дискретною ланцюговою системою є можливість визначення частот коливань при довжинах, що $\wedge$ змінюються, $I_2 i$, що необхідно при побудові систем керування, оптимізуючих процеси по динамічних навантаженнях.

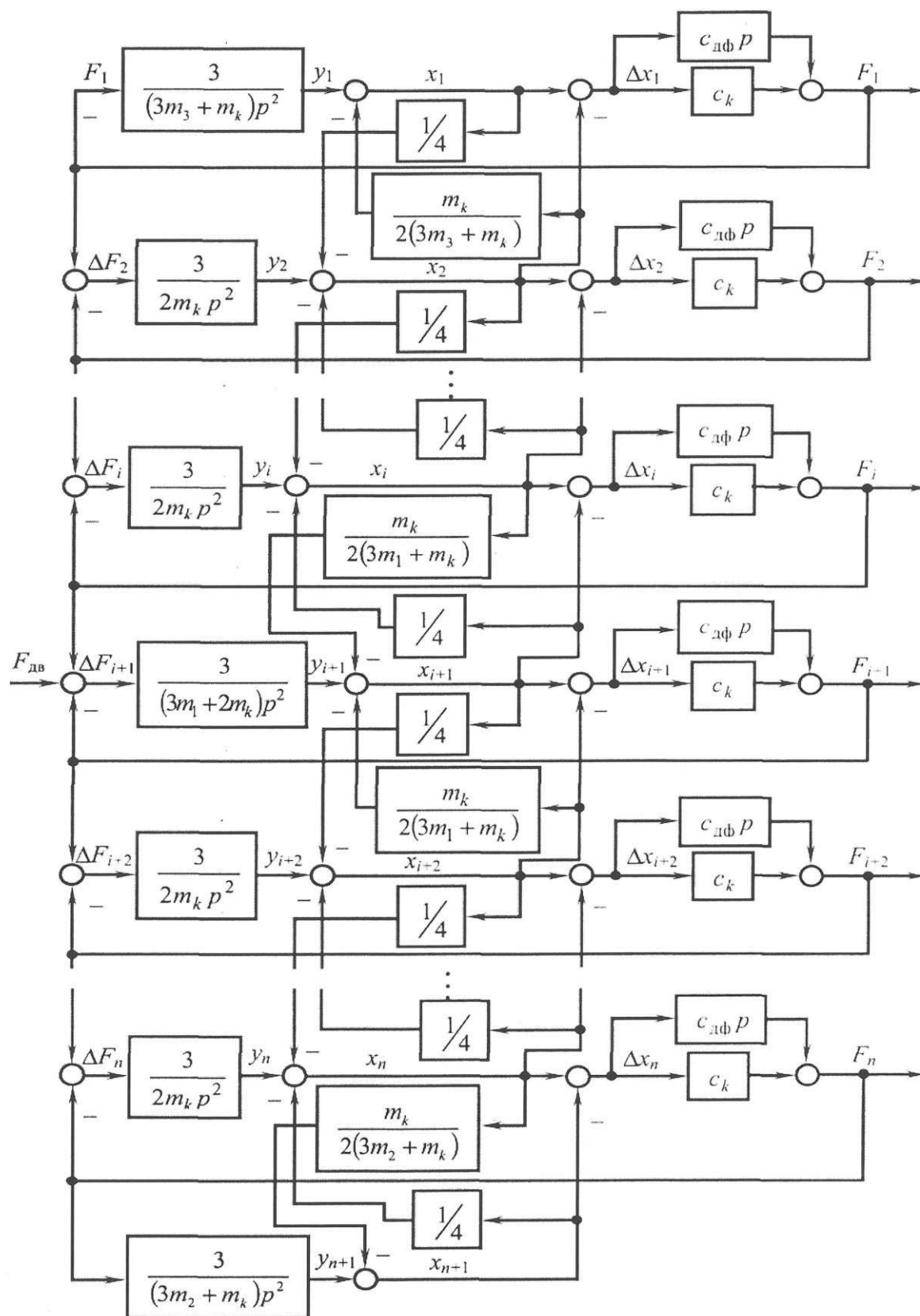


Рисунок 4.2- Структурна схема пружної системи с розподіленими параметрами

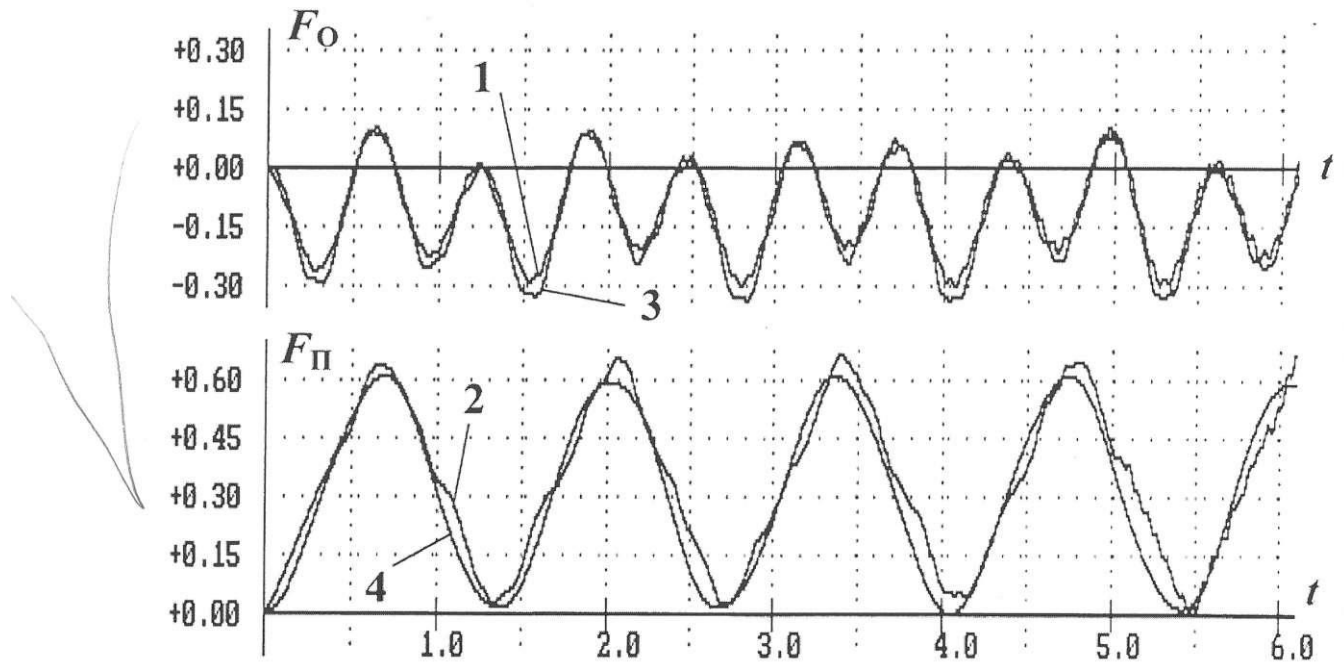


Рисунок 4.3- Графіки динамічних зусиль P_{Π} й P_0

Для порівняння визначимо динамічні зусилля P_0 й P_{Π} , користуючись методом граничних пружних зв'язків. Відповідно до цього методу зусилля P_0 й

$$\frac{F_{\Pi}}{F_{\text{дв}} + F_0} = \frac{k_{\text{мп}}(T_{\text{п}2}^2 p + T_{\mu} p + 1)}{T_{\text{п}1}^2 p^2 + T_{\mu} p + 1} = W_{k1};$$

$$\frac{F_0}{-F_{\text{дв}} + F_{\Pi}} = \frac{k_{\text{м}0}(T_{02}^2 p + T_{\mu} p + 1)}{T_{01}^2 p^2 + T_{\mu} p + 1} = W_{k2};$$

$$; \quad T_{\text{п}1}^2 = \frac{1}{b_{k1}^2} \left(1 + \frac{4 + \alpha_{11} + \alpha_{12}}{\alpha_{11} + \alpha_{11}\alpha_{12} + \alpha_{12}} \frac{\pi^2}{4} \right); \quad T_{\text{п}2}^2 = \frac{1}{b_{k1}^2} \left(1 + \frac{1}{1 + \alpha_{12}} \frac{\pi^2}{4} \right);$$

$$T_{01}^2 = \frac{1}{b_{k2}^2} \left(1 + \frac{4 + \alpha_{21} + \alpha_{23}}{\alpha_{21} + \alpha_{21}\alpha_{23} + \alpha_{23}} \frac{\pi^2}{4} \right); \quad T_{02}^2 = \frac{1}{b_{k2}^2} \left(1 + \frac{1}{1 + \alpha_{23}} \frac{\pi^2}{4} \right);$$

$$k_{\text{мп}} = (m_{\Pi} + m_2)/(m_{\Pi} + m_2 + m_1); \quad k_{\text{м}0} = (m_0 + m_3)/(m_0 + m_3 + m_1); \quad b_{k1} = \pi a_k / l_1;$$

$$b_{k2} = \pi a_k / l_2; \quad a_k = 4000 \text{ м/с}; \quad l_1 = 1000 \text{ м}; \quad l_2 = 300 \text{ м}.$$

P_{Π} пов'язані з параметрами системи й рушійним зусиллям $P_{\text{дв}}$ залежностями:

Зусилля P_0 й P_n , отримані в результаті комп'ютерного моделювання рівнянь і при колишніх значеннях параметрів, представлені відповідно графіками 3 й 4 на рис. 4.3.

Порівняння наведених графіків показує, що обидва методи дають практично однакові результати. Тому якщо розглядати процес при постійних довжинах галузей l_1 й l_2 , те можна користуватися другим методом, як більше простим. При цьому частоти коливань визначаються по формулах:

$$\omega_{k1} = \sqrt{\frac{d - \sqrt{d^2 - 4q}}{2}}; \quad \omega_{k2} = \sqrt{\frac{d + \sqrt{d^2 - 4q}}{2}},$$

$$\text{де } d = \frac{T_{n1}^2 + T_{01}^2 - k_{mn} k_{m0} (T_{n2}^2 + T_{02}^2)}{b_0}; \quad q = \frac{1 - k_{mn} k_{m0}}{b_0}; \quad b_0 = T_{n1}^2 T_{01}^2 - k_{mn} k_{m0} T_{n2}^2 T_{02}^2.$$

Виключення низькочастотних коливань пружних сил можливо шляхом забезпечення трапеційдального закону зміни динамічної складової рушійного моменту з періодами наростання й зниження його рівними періоду власних коливань системи.

Такий режим найбільше просто досягається застосуванням моделі, що задає, формуючого оптимального керуючого впливу, пропорційні бажаним діаграмам швидкості й прискорення (динамічного складового рушійного моменту) у сполученні з фаззі-контроллером (ФК), що забезпечує відтворення з максимальною точністю керуючих впливів.

На рис. 4.4 представлена структурна схема керування електроприводом системи ТП-Д піднімальної установки зі ЗМ і двухканальним фаззі-контроллером. Прийнято позначення: u_T — сигнал заданого переміщення підйомних посудин; УТП — керований тиристорний перетворювач; ДЗ — Планка, що диференціює; R — опір обмотки якірного ланцюга; T_3 — електромагнітна постійна двигуна; C_d — коефіцієнт пропорційності ЗДС (моменту) двигуна; K_c — коефіцієнт зворотного зв'язку по

швидкості $R_{\text{ш}}$; r - радіус канатоведучого шківу; $\frac{1}{R_{\text{я}}}$ - передаточне число редуктора; $\frac{R_{\text{ш}} i_{\text{п}}}{J_1 p}$ - наведений до вала канатоведучого шківу момент інерції всіх обертових ланок системи; $\frac{1}{T_3 p + 1}$ і $\frac{C_{\text{д}} i_{\text{п}}}{R_{\text{ш}}}$ - передатні функції.

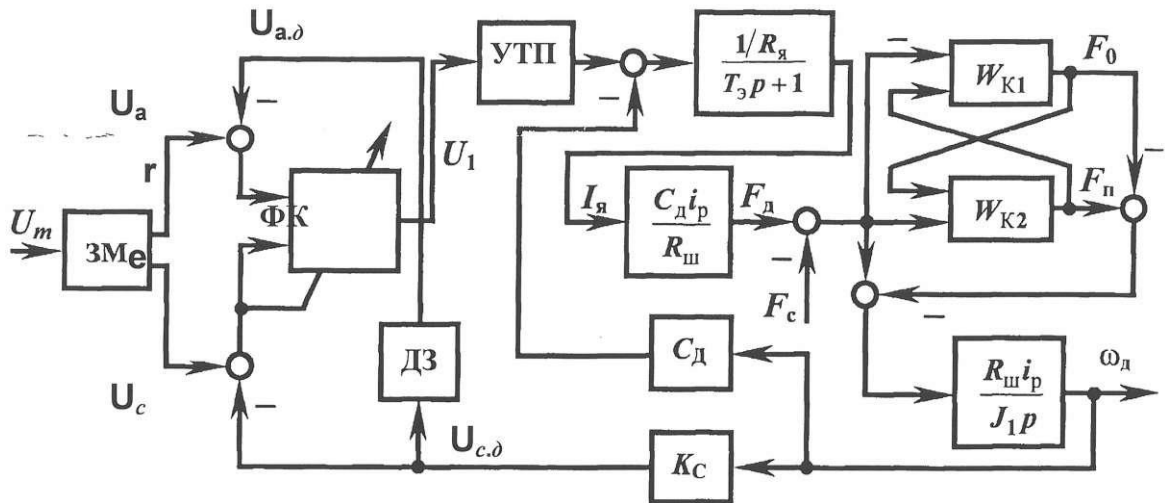


Рисунок 4.4- Структурна схема керування пружної електромеханічною системою

Масштабовані входи ФК у дискретній формі відповідно до залежностей (3.5) і (3.6) мають вигляд:

$$K_e \cdot e(nT) = K_e \cdot (U_c(nT) - U_{c,\delta}(nT));$$

$$K_r \cdot r(nT) = K_r \cdot (U_a(nT) - U_{a,\delta}(nT));$$

ФК являє собою адаптивний фаззі-регулятор зі змінним, залежним від помилки регулювання $e(nT)$ коефіцієнтом передачі

$$K_{\text{РЕГ}} = \frac{0,5 \cdot H}{2L - K_e \cdot |e(nT)|}.$$

Зі зменшенням помилки регулювання наприкінці перехідного процесу зменшується $K_{\text{РЕГ}}$, що перешкоджає процесу перерегулювання.

На мал. 5.5 показані діаграми дійсної швидкості U_c , заданого прискорення U_a й пружної сили P_n , отримані в результаті комп'ютерного моделювання пружної електромеханічної системи (мал. 5.4) при неоптимальному сигналі прискорення U_a , коли час t наростання й зменшення прискорення не дорівнює періоду вільних пружних коливань системи $t_y = 2\pi c / \omega_{k1}$ (мал. 5.5, б).

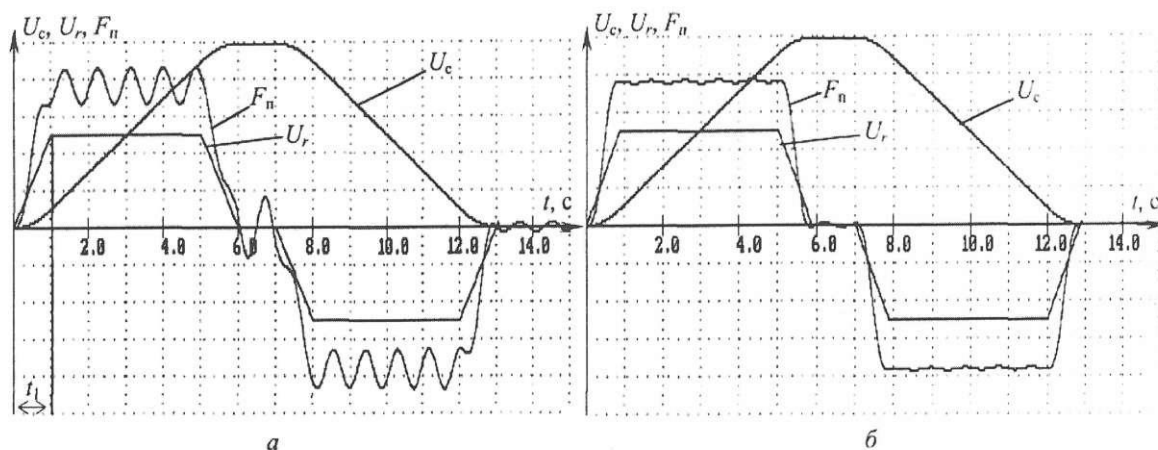


Рисунок 4.5- діаграми швидкості U_c , заданого прискорення U_a й пружної сили P_n

5 Розробка стартап-проекту впровадження автоматизовані системи управління електроприводом підйомно-транспортної установки з пружними ланками на базі фаззі-логіки

5.1.Цілі та етапи реалізації стартап-проекту

На початку розроблення стартап-проекту доцільно обґрунтувати цілі етапів його реалізації (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Цілі основних етапів реалізації стартап-проекту

Етапи реалізації стартап-проекту	Цілі етапів реалізації стартап-проекту
Початковий етап стартап-проекту	Дослідження потреб та запитів споживачів, суперечностей та технологічних недосконалостей діючих продуктів-аналогів конкурентного середовища
Етап обґрунтування актуальності інноваційної ідеї	Задоволення нових потреб споживачів, вдосконалення діючих технологій та устаткування
Етап аналізу	Виявлення можливих конкурентів-виробників, які

конкурентного середовища	виготовляють схоже обладнання або пропонують схожі технології та здійснення порівняльного аналізу техніко-економічних переваг та недоліків реалізації пропонованої ідеї
Етап обґрунтування ресурсного забезпечення проєкту	Визначення необхідних матеріальних, трудових, капітальних ресурсів, ключових процесів, технології, обладнання та реалізації проєкту в часі і просторі
Етап фінансового забезпечення реалізації проєкту	Обґрунтування собівартості та ціни реалізації інноваційної ідеї
Інвестиційний етап реалізації стартап-проєкту	Пошук потенційних інвесторів фінансування стартап-проєкту
Маркетинговий етап реалізації проєкту	Обґрунтування каналів збуту продукту стартап-проєкту, залучення потенційних споживачів, формування необхідних сегментів ринку

5.2 Обґрунтування актуальності та новизни інноваційної ідеї стартап-проєкту

Початковий етап стартап-проєкту спирається на попередні розділи, в яких виявлені та узагальнені наявні суперечності та недосконалості діючих систем керування електроприводами ШПУ та ПТС, обладнання, які потребують розвитку, доопрацювання. Водночас, на початковому етапі доцільно виявити та дослідити нові потреби та запити споживачів означеного виду діяльності. Окреслення нерозв'язаних проблем, виявлених суперечностей дозволить обґрунтувати доцільність їх вирішення за допомогою створеного обладнання або технології.

Обґрунтування інноваційної ідеї зумовлює необхідність окреслення її актуальності для подолання виявлених на попередньому етапі суперечностей, вивчення та характеристики нових потреб і запитів споживачів, які будуть покладені в основу розроблення інноваційної ідеї, технології, обладнання, їх виробництва та продажу в ході реалізації стартап-проєкту. Водночас доцільно охарактеризувати основні переваги пропонованого обладнання або технології, а також вигоди від їх використання споживачами. Результати узагальнені в табл. 6.2.

Таблиця 5.2 – Актуальність та новизна ідеї стартап-проєкту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Переваги та вигоди споживача
Сучасна система керування електроприводами змінного струму потоково-транспортних систем з метою зниження споживання електроенергії в процесі функціонування	Електромашинобудування	Підйом і опускання важких заготовок
	Гірнича промисловість	Забезпечення плавності керування
	Транспортування (Підйом, опускання грузів та людей)	Підвищення ресурсу

5.3. Аналіз конкурентного середовища

Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів передбачає:

- визначення кола конкурентів, що вже існують на ринку, та проводиться збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проєкту та проєктів-конкурентів;
- визначення переліку техніко-економічних переваг ідеї.

Результати аналізу узагальнені в табл. 6.3.

Таблиця 6.3 – Переваги ідеї проєкту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики	Стартап-проєкт	Підприємства гірничої промисловості
1.	Розрахункова продуктивність, т / год	680	
2.	Споживання електричної енергії агрегатом, кВт * год	213	211
3.	Сумарна економія електроенергії за рік, кВт * год	457,026	430,521
4.	Річна економія електроенергії в грошовому еквіваленті, тис. грн.	160,36	151,06
5.	Витрати на придбання насосного агрегату тис. грн.	654,5	858,84

Водночас, в ході реалізації стартап-проєкту доцільно здійснити SWOT-аналіз потенційних загроз та можливостей реалізації стартап-проєкту,

визначивши сильні та слабкі сторони, а також його можливості та загрози. SWOT-аналіз (табл. 6.4) дозволяє упорядкувати процес формування бізнес-ідеї.

Таблиця 5.4 – Матриця SWOT-аналізу

S (strength) – Сильні сторони	W (weaknesses) – Слабкі сторони
1.Сприяння зростанню чисельності цільових груп споживачів. 2.Можливість постановки задач під широкий спектр застосування. 3. Кращі показники енергетичної ефективності. 4. Автоматизована система управління	1.Рентабельність проєкту. 2.Вузька продуктова лінійка 3.Відставання в використанні інформаційних систем 4.Конкурентноспроможність продукту
O (opportunities) – Можливості	T (threats) – Загрози
1.Обслуговування додаткових груп споживачів. 2.Використання інтернет та e-mail маркетингу для реклами 3.Побудова сильного локального бренду 4. Можливість швидкого розвитку в зв'язку з ростом попиту на ринку	1.Великі фірми, що складають конкуренцію. 2.Залежність від наших співробітників і постачальників, з якими укладені договори. 3.Неможливість швидкого продажу нової технології через її невідповідність технічним умовам виробництва нової техніки.

Таблиця 5.4 – Матриця SWOT-аналізу

S (strength) – Сильні сторони	W (weaknesses) – Слабкі сторони
1.Сприяння зростанню чисельності цільових груп споживачів. 2.Можливість постановки задач під широкий спектр застосування. 3. Кращі показники енергетичної ефективності. 4. Автоматизована система управління	1.Рентабельність проєкту. 2.Вузька продуктова лінійка 3.Відставання в використанні інформаційних систем 4.Конкурентноспроможність продукту
O (opportunities) – Можливості	T (threats) – Загрози
1.Обслуговування додаткових груп	1.Великі фірми, що складають конкуренцію.

споживачів.	2.Залежність від наших співробітників і постачальників, з якими укладені договори.
2.Використання інтернет та e-mail маркетингу для реклами	3.Неможливість швидкого продажу нової технології через її
3.Побудова сильного локального бренду	невідповідність технічним умовам
4. Можливість швидкого розвитку в зв'язку з ростом попиту на ринку	виробництва нової техніки.

5.4 Обґрунтування ресурсного забезпечення проєкту

Обґрунтуємо та узагальнимо в табл. 5.4 величину необхідних капіталовкладень на реалізацію стартап-проєкту.

Таблиця 5.5 – Капіталовкладення на реалізацію проєкту

Статті капіталовкладень	Величина, тис. грн.
Прямі матеріальні затрати	
– витрати купівельних комплектуючих виробів	300
Прямі затрати на оплату праці виробничих працівників	
заробітна плата виробничих працівників	70
Вартість основних фондів та нематеріальних активів виробничого призначення	
– початкова вартість задіяних у виробничому процесі основних засобів та необоротних нематеріальних активів (разом із транспортуванням, установкою та демонтажем)	60
Інші прямі витрати:	
– витрати на дослідження та розробку інноваційних технологій	30
– витрати на послуги сторонніх підприємств (реклама)	5
Загальновиробничі витрати	
– витрати на охорону праці, техніку безпеки	10
Всього капіталовкладень на реалізацію проєкту	235

5.5 Ключові види діяльності та ключові партнери

Для досягнення мети проєкту покладені наступні види діяльності: інноваційна, реалізація та сервіс. Для кожного виду діяльності наведемо опис і результат, які запишемо в табл. 5.6.

Таблиця 5.6 – Ключові види діяльності

Назва діяльності	Опис діяльності	Результат діяльності
Інноваційна	Впровадження	Продукт, пристосований до

	розробленої системи керування у продукт введений на ринок, наладка параметрів під конкретну ціль	індивідуальних потреб
Реалізація	Впровадження системи керування на ринку	Продаж системи та задоволення потреб споживачів
Сервіс	Установка, інструктаж по експлуатації; продажі додаткового або допоміжного обладнання та пристроїв	Взаємодія виконавців і споживачів

На сьогодні на ринку пристроїв автоматизації та енергоефективних систем управління електроприводом поточно-транспортних систем.. Вибір пристроїв та засобів цих підприємств залежить від конкретної ситуації, яка пов'язана з умовами в яких перебувають споживачі пропонованої системи керування електроприводом, тому окреслити ключових партнерів достатньо складно.

Серед присутніх на ринку виробників пристроїв автоматизації та енергоефективних систем керування електроприводом можна виділити наступні: Siemens, Schneider Electric, Schindler.

5.6 Прямі матеріальні витрати

Відповідно до П(С)БО 16 «Витрати» обґрунтуємо прямі матеріальні витрати на одиницю продукції – витрати на сировину, матеріали, комплектуючі.

Означені витрати узагальнимо в табл. 6.7:

Таблиця 5.7 – Прямі матеріальні витрати

№ п/п	Назва ресурсу	Одиниця вимір.	Ціна	Кількість ресурсу	Потреба на місяць	Потреба на рік
1.	НМА	грн.	20000	5	100 000	1200 000
2	Витрати комплектуючих виробів(засобів автоматизації)	грн.	10 000	10	100 000	1200 000
Всього:					200 000	1320

5.7 Інші прямі витрати

До прямих інших прямих витрат належать витрати на дослідження та розробку, послуги сторонніх організацій, комунальні послуги та оренду, кредити та їх обслуговування, втрати від браку з технологічних причин, безнадійної дебіторської заборгованості, операційної курсової різниці, витрати штрафів, пені, утримання об'єктів соціально-культурного призначення тощо. Узагальнимо інші прямі витрати в табл. 6.8.

Таблиця 5.8 – Обґрунтування прямих інших витрат

Види послуг	Джерело даних	Вартість послуг, грн.	
		на місяць	на рік
1. Реклама	Угода	5 000	60 000
2. Транспортні витрати	Розрахунки	2 000	24 000
всього:		7 000	84 000

5.8 Умовно-постійні витрати

До умовно-постійних виробничих витрат відносять витрати на обслуговування і управління виробництва, які залишаються незмінними або майже незмінними при зміні обсягів діяльності. До них відносять: амортизаційні відрахування, Фонд оплати праці адміністративно-технічного персоналу з нарахуваннями, орендну плату підприємства, комунальний податок, збір за забруднення навколишнього природного середовища, витрати на пожежну сигналізацію, тощо. Розрахунок умовно-постійних витрат підприємства записують у табл. 4.9.

Таблиця 5.9 – Умовно-постійні витрати підприємства

Статті витрат	Витрати, тис.грн	
	на місяць	на рік
1. ФОП адміністративно-технічного персоналу	40 000	480 000
2.Реклама	5 000	60 000
всього:	45 000	540 0

5.9 Обґрунтування рівня рентабельності інноваційної ідеї

Відповідно до розділу 3 «Податок на прибуток підприємства» Податкового кодексу України, прибуток – це частина валового доходу підприємства (фірми) за винятком усіх витрат на виробничу та комерційну діяльність. за винятком усіх витрат на виробничу та комерційну діяльність.

Відносна величина прибутку підприємства характеризується рівнем рентабельності. Рівень рентабельності це співвідношення прибутку до витрат виробництва, розрахованих у відсотках:

$$N_{\text{пр.}} = \frac{\Pi}{ВВ} * 100\%, \quad (4.1)$$

де Π – прибуток підприємства, $ВВ$ – валові витрати.

Прибуток – це не арифметична ймовірність, яка визначається лише наприкінці звітного періоду (місяця, кварталу, року). Це специфічна мета підприємства, яка вимірюється кількісно, тому величину прибутку доцільно планувати та визначати з самого початку.

В умовах ринкової економіки величина прибутку повинна відображати відносини власності або інші фінансові зобов'язання, наприклад, оплату дивідендів власникам акцій або залучення кредиту, тощо. Рекомендований розподіл прибутку підприємства за фондами такий:

- фонд розвитку виробництва (ФРВ) – 50%;
- фонд соціального розвитку (ФСР) – 25%;
- преміальний фонд (ПФ) – 10%;
- дивіденди засновникам – 15%

Дані обґрунтування необхідного рівня прибутку інноваційної ідеї, для якої розраховується ціна узагальнюємо в табл. 4.10.

Таблиця 5.10 – Обґрунтування рівня рентабельності товару (послуги)

Статті витрат	Джерело даних	Од. вимір.	Значення показників.
1. Собівартість одиниці продукції	табл. 17	грн.	150 000
Обсяг виробництва в рік	Прогноз		10

2. Необхідний прибуток	пп.2,1+2,2+2,3+2,4+ 2,5+ 2,6	грн.	3 000 000
2.1. Засоби ФРВ	Колективна угода	грн.	1 500 000
2.2. Засоби ФСР	Колективна угода	грн.	750 000
2.3. Засоби ПФ	Колективна угода	грн.	300 000
2.4. Грошові виплати власникам підприємства	Колективна угода	грн.	450 000
2.5. Фінансовий резерв	$(2.1+2.2+2.3+2.4)*$ $*0.05/0.95$	грн.	157 894
2.6. Податок на прибуток	$(2.1+2.2+2.3+2.4+$ $+2.5)*0.18$	грн.	540 000
3. Необхідний рівень рентабельності продукції	п.2 / п.1*100%	%	50

5.10 Обґрунтування собівартості інноваційної ідеї стартап-проекту

Собівартість інноваційної ідеї складається з умовно-змінних та умовно-постійних (накладних) витрат. Розрахунок собівартості узагальнимо в табл. 5.11.

Таблиця 5.11 – Обґрунтування собівартості товару (послуги), грн.

Статті витрат	Джерела даних	Витрати, тис.грн	
		на місяць	на рік
1.Умовно-змінні витрати	табл. 4.7	110 000	1 320 000
2 Умовно-постійні (накладні) витрати	табл.4.9	45000	540 000
3. Собівартість	стр.1+стр.2	155 000	1860

5.11 Обґрунтування вартості виробництва інноваційної техніки

Враховуючи необхідність наповнення виробничих фондів підприємства, підтримання належного рівня рентабельності, обґрунтуємо вартість обладнання . Зазначимо, що саме податок на додану вартість (ПДВ), який сплачується всіма суб'єктами господарської діяльності відповідно до розділу 5 Податкового кодексу України перетворює вартість товару (послуги) на його ціну. Величина ПДВ становить 20% доданої вартості товару (послуги). Визначимо величину ПДВ та ціни техніки (технології). Узагальнимо результати обґрунтування в табл. 4.12.

Таблиця 5.12 – Обґрунтування вартості та ціни

Статті витрат	Джерело даних	Одиниці вимірювання	Значення показників
1. Собівартість одиниці товару (послуги)	табл. 4.11	грн.	155 000
2. Норма рентабельності	табл. 4.10	%	50
3. «Нормальний» питомий прибуток	п.1 * п.2 / 100%	грн.	77 500
4. Вартість виробництва одиниці продукції	п.1 + п.3	грн.	232 500
5. ПДВ	п.4*0,2	грн.	46 500
6. Відпускна ціна товару (послуги)	п.4+п.5	грн.	279 0

5.12 Цільові групи потенційних споживачів групи

В обґрунтуванні потенційних споживачів доцільно виявити цільові групи, яким будуть пропонуватися створені технології:

Таблиця 5.13 - Характеристика потенційних клієнтів

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Оптимізація режимів роботи обладнання з метою зменшення витрат електричної енергії	Компанії, роботи яких пов'язана з використанням автоматизованих систем керування складних технологічних комплексів	Відмінності у сферах діяльності компаній, підходи до створення продукції	Легкість застосування, покращення енергетичних показників

5.13 Бізнес-модель проєкту

Розробка стартап-проєкту - це створення бізнес-моделі комерціалізації науково-технічних розробок. Побудова конкурентної бізнес-моделі є ефективним інструментом вирішення поставлених у роботі задач і представляє структуру найважливіших елементів бізнес-проєкту та є джерелом інноваційних ідей і підходів, які можуть бути застосовані в унікальному поєднанні компонентів. В табл. 5.14 представляємо структуру бізнес-моделі інноваційного обладнання або технології.

Таблиця 5.14 – Структура бізнес моделі обладнання (технології)

Ключові партнери Підприємства-виробни ки і компанії у сфері автоматизації та енергоефективних технологій ООО«Високі інженерні технологии» Praskom innovation ООО Компанія «Інтегратор»	Ключові види діяльності • Наладка параметрів під конкретну ціль • Впровадженнсистеми управління електроприводом підйомно-транспортних установок з пружними ланками на ринку • Установка, інструктаж по експлуатації • Продажі додаткового або допоміжного обладнання та пристроїв	Цінність пропозиції Сучасна система керування електроприводо м змінного струму ПТС з пружними ланками з метою зниження споживання електроенергії	Споживчі сегменти • Видобувні підприємства • Логістичні фірми • Машинобудівні заводи
	Ключові ресурси • Витрати на роботу персоналу • Витрати на комплектуючі вироби		Канали збуту Прямий канал збуту
Структура собівартості 1.Витрати разові (капітальні): 2350000 2.Витрати постійні: 45000 3.Витрати змінні: 110000		Потоки надходження доходу Економія електроенергії при переміщенні корисних копалин	

5.14 Аналіз ризиків стартап проєкту

Впровадження та реалізація стартап-проєкту може мати значні ризики, тому необхідно проводити обґрунтування ризиків, які залежать від факторів невизначеності.

Таблиця 5.15 - Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
Конкуренція	Поява на ринку кращих рішень від конкурентів	Вдосконалення технічних моментів власного продукту. Пошук нових методів оптимізації методу

Інноваційні ризики визначаються ймовірністю втрат підприємства від інвестування засобів у виробництво нового обладнання (технологій), які можуть не знайти очікуваного попиту у споживачів на ринку.

Аналіз тенденцій енергозберігаючої політики та енергетичної стратегії в Україні показує, що в умовах ринку посилюється значимість енергозберігаючих технологій в усіх галузях промисловості. У зв'язку з цим, енергоефективне управління підприємством при комплексному методологічному підході до проблеми енергозбереження в цілому має значення для всього народного господарства країни.

Метою стартап-проєкту є підвищення техніко-економічних показників процесів транспортування і зниження електроспоживання комплексом, за рахунок побудови систем управління, які базуються на використанні адекватної моделі комплексу, що враховує його внутрішні зв'язки.

У табл. 6.16 приведені результати підготовки інноваційного стартапу та узагальнюються основні техніко-економічні показники.

Таблиця 5.16 - Узагальнюючі техніко-економічні показники

Показники	Значення
Річний випуск продукції, од.	10
Капіталовкладення, тис. грн.	235
Собівартість продукції, тис. грн.	150
Ціна продукту, тис. грн	300
Прибуток, тис. грн.	150
Рентабельність, %	50
Період повернення капіталовкладень, років	2

Висновки

У даній роботі розглянуті технічні вимоги до ШПУ і їх систем управління. На основі виданого завдання вибраний двигун 4A35584УЗ. Проведений вибір основного електроустаткування, розроблена еквівалентна математична модель

асинхронного двигуна, яка представляється у вигляді відповідної структурної схеми. Вибрана принципова схема ланцюга управління, складена структурна схема автоматичної системи управління електроприводом, розраховані її передавальні функції. Розрахована передавальна функція регулятора швидкості. Модель механічної частини вантажної підйомної установки представлена одномасовою розрахунковою схемою.

Виконано моделювання в програмі MATLAB отримані графіки перехідних процесів, з яких видно, що виконані всі вимоги щодо швидкості і положення.

Аналіз осцилограм показує, що перерегулювання при пуску відсутнє, що досягається завдяки ПД регулятора. Відсутність помилки позиціонування досягається введенням ШД-регулятора.

Таким чином, можна зробити висновок про те, що система автоматизації ШПУ з ПЧ-АД забезпечує показники якості перехідних процесів, які знаходяться в межах норми.

Промодельовавши спрощену структуру шахтної підйомної установки було перевірено, що параметри регулятора швидкості розраховані вірно. Параметри відповідають налаштуванню на модульний оптимум.

Проведений математичний опис САУ ШПУ. Визначені параметри математичної моделі асинхронного двигуна і електроприводу, розраховані на підставі паспортних даних вибраного електродвигуна і машини шахтної підйомної барабанної, а також початкових даних роботи. Розраховані параметри ШД-регулятора швидкості. Дані розрахунки дозволяють провести дослідження динамічних характеристик САК.

Інтелектуальні системи автоматичного керування з нечіткою логікою (фаззі-логікой) доцільно застосовувати для складних процесів і систем, коли важко або неможливо побудувати адекватну математичну модель, а також коли в системі присутня велика кількість параметрів, у тому числі нелінійних або залежних від часу.

Розробка системи керування на основі нечіткої логіки зводиться до роботи з експертом-технологом у досліджуваній області, що формує бази нечітких даних, і складається із трьох етапів: фаззифікації, логічної обробки даних і дефаззифікації.

При побудові фаззі-контроллера основним завданням фаззифікації є відображення вхідних чітких даних (вимірюваних величин) у вигляді залежності функції приналежності від вхідного сигналу. Функція приналежності обробляється певним чином і представляється для дефаззифікації, у процесі якої нечітка інформація перетворює в прийнятну числову величину, тому що виконавчий орган керованого механізму не пристосований до обробки функцій приналежності.

Найбільш складним і трудомістким етапом створення фаззі-системи є процес дефаззифікації, якому можна виконати різними методами (мінімум, максимум метод, гравітаційний і метод висот). Аналіз отриманих результатів показав, що при побудові системи доцільно використати метод висот, що характеризується досить простим математичним апаратом і незначно уступає в точності трудомісткому гравітаційному методу.

Дослідження системи керування з фаззі-контроллером показало, що при правильному й точному синтезі фаззі-контроллера з відповідним настроюванням вагових коефіцієнтів, перерегулювання в системі керування динамічним об'єктом практично відсутній.

До достоїнств системи керування з фаззі-контроллером ставиться те, що такі системи застосовні для будь-якого типу привода, тому що використовують тільки вихідні координати системи й на якість регулювання практично не впливають нелінійності ланок і параметри, що змінюються в часі, системи.

До найбільш складних електромеханічних систем ставляться частотно-частотно-регульований електропривод на базі асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором, а також машини й установки із пружними механічними передавальними ланками. Мінливість структури й параметрів цих систем утрудняє вибір регуляторів для оптимізації динамічних режимів.

Моделювання системи керування частотно-частотно-регульованим електроприводом показало, що застосування фаззі-контролера, вибір структури якого не вимагає знання аналітичного опису об'єкта, забезпечує висока якість регулювання, управляючи системою помилково між сигналом заданої й дійсної швидкості. Комп'ютерне моделювання САУ частотно-частотно-регульованим асинхронним електроприводом із двухмасовим об'єктом із пружним зв'язком виконано в додатку SIMULINK, що є ядром інтерактивного програмного комплексу MATLAB.

При оптимізації по динамічних навантаженнях систем керування об'єктами із пружними ланками для побудови моделі об'єкта розподілені маси й пружності можна замінити еквівалентною системою з ідеальними пружними зв'язками, що підтверджено комп'ютерним моделюванням системи керування піднімальною установкою.

Виконані дослідження підтвердили ефективність використання адаптивного фаззі-регулятора, структура якого визначена в розділі 3, для виключення коливальної складової динамічних навантажень у системах із пружними ланками.

Список використаних джерел

1. Тишевич, Б. Л. (2020). Застосування нейронних мереж в інтелектуальних системах управління електроприводом підйомних установок. *ВВК 91*, 129.
2. Гого, В., & Михайлов, О. (2019). Обґрунтування напряму підвищення ефективності систем шахтних підйомних установок. *Молодий вчений*, (2 (66)), 225-229.
3. Хорольський, В. П., & Шпанько, М. І. (2015). Інтелектуальна система управління електроспоживанням стаціонарних установок шахт. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*, (4), 173-179.
4. Бешта, О. С., Балахонцев, О. В., Худолій, С. С., & Худий, Є. Г. (2009). Енергетичні характеристики електропривода шахтних підйомних установок.

5. Петруша, В. М. (2020). Розробка електронного пристрою управління приводом скіпової підйомної установки шахти «Скіпова» об'єднання «Казцинк».
6. Сальников, І. Г. (2018). Аналіз показників енергозбереження систем електропривода підйомних машин вугільних шахт.
7. Чермалих, О. В., Данілін, О. В., Босак, А. В., & Торопова, Л. В. (2021). Автоматизований електропривод машин та установок.
8. Сєдєнков, А. С., & Ільїна, І. С. (2022). Динамічні процеси у ланках шахтних підйомних установок вертикальних стволів.
9. Антіпов, М. Д., & Холоменюк, М. В. (2022). Обґрунтування технічних рішень, спрямованих на підвищення експлуатаційної надійності допоміжної підйомної установки шахти ім. Героїв Космосу.
10. Сінчук, О. М., Філіпп, Ю. Б., & Кутовий, Ю. М. (2018). Тенденції розвитку і удосконалення електрообладнання скіпових підйомних установок шахт. *Вісник Криворізького національного університету*, (47), 20-26.
11. Печеник, М. В., Бур'ян, С. О., & Воят, Г. Я. (2019). Аналіз точності відпрацювання заданої швидкості переміщення скіпа в точці входу в розвантажувальні криві. *Міжнародний науково-технічний журнал "Сучасні проблеми електроенергетехніки та автоматики"*, 422-426.
12. Ільчук, О. С., & Бондар, Б. Ю. (2016). Безпечна експлуатація шахтних підйомних установок.
13. Онищенко, С. В. (2021). Обґрунтування методу розрахунку головних гумотросових канатів шахтних підйомних установок з урахуванням порушеної геометрії стовбурів.
14. Шовковий, В. П., & Шовковий, В. П. (2019). Виконання зворотного інженеренгу приводу АЗК шахтної підйомної машини.
15. Сухарева, М. Г. (2021). Розробка блоку керування складною електромеханічною системою.

- 16.Александрова, І. В. (2018). *Нейромережева система управління електроприводом ліфтової підйомної установки* (Master's thesis, Київ).
- 17.Бабич, Д. В. (2021). Синтез керування електроприводом оптимальним за швидкодією.
- 18.Зарицький, Б. В. (2023). *Електропривод та автоматизація шахтної клітьової підйомної установки* (Bachelor's thesis, КПІ ім. Ігоря Сікорського).
- 19.Герасименко, Д. (2019). Модернізація електропривода шахтної підйомної установки 2Ц-4х1, 8.
- 20.Хорольський, В. П., & Шпанько, М. І. (2015). Інтелектуальна система управління електроспоживанням стаціонарних установок шахт. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*, (4), 173-179.
- 21.Темченко, В. В., & Темченко, В. В. (2021). Розробка технічного проекту барабана багатоканатної шахтової піднімальної машини МК 5х4.