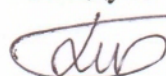


Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматики
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри


(підпис)

I. С. Білюк

«20» 12 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код та назва спеціальності)

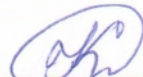
освітня програма Електромеханічні системи автоматизації та електропривод
(назва освітньої програми)

на тему: Аналіз системи керування електропривода скребкового
конвеєра

Виконав: студент групи 6371мз

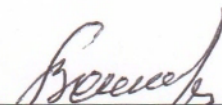
Коч Віктор Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

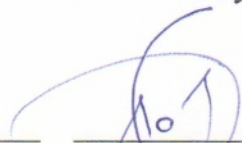
Керівник доц. каф. автоматики, к.т.н.,
доцент Васильєв О.Г.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)


(підпис)

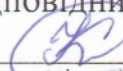
Рецензент доцент кафедри СЕЕС,
к.т.н., доцент С.М.Новогорецький

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)


(підпис)

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

Студент


(підпис)

м. Миколаїв – 2024 року

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра складається із 102 сторінок: з 91 сторінки тексту, 5 розділів, 7 таблиць, 20 рисунків, 12 літературних джерел, 1 додатку на 11 сторінках.

Ключові слова: аналіз динаміки, математична модель, скребковий конвеєр, тиристорний електропривод, транспортуючі машини, система керування.

Об'єкт дослідження – система керування електропривода скребкового конвеєра моделі ТЛС-200.

Мета роботи – вибір оптимальної системи керування електропривода скребкового конвеєра та дослідження її динамічних властивостей.

У розділі 1 наведений аналіз сучасного стану перетворювальної приводної техніки, проведений літературний огляд джерел з дослідження систем регулювання швидкості автоматизованого електропривода.

У розділі 2 обґрунтований та вибраний метод наукового дослідження, побудована структурно-логічна схема магістерського дослідження, обґрунтований метод вирішення поставленої задачі дослідження.

У розділі 3 виконаний аналіз існуючих видів електродвигунів, наведені основні вимоги до електроприводів, вибраний найбільш підходящий тип електродвигуна, а для керування ним вибраний перетворювач типу VFD-C2000, наведені його технічні дані.

В розділі 4 зроблений математичний опис елементів системи керування, проведені розрахунки по їх вибору, складені розрахункові динамічні моделі системи керування та проведений аналіз її динамічних властивостей при зміні законів керування.

Враховуючи отримані результати дослідження, остаточно для системи керування була обрана схема з ПІ-регулятором та фільтром на вході в систему.

Отримані результати підтверджують вирішення задач по вдосконаленню динамічних якостей системи керування скребкового конвеєра. Таким чином, основна мета роботи виконана.

В розділі 5 розглянуті питання охорони праці при експлуатації електрообладнання при роботі на скребкових конвеєрах.

Додаток містить 11 слайдів мультимедійної презентації.

ABSTRACT

The bachelor's qualification work consists of 102 pages: 91 pages of text, 5 sections, 7 tables, 20 figures, 12 literature sources, 1 appendix on 11 pages.

Keywords: **dynamics analysis, mathematical model, scraper conveyor, thyristor electric drive, conveying machines, control system.**

The object of the study is the control system of the electric drive of the scraper conveyor model TLS-200.

The purpose of the work is to select the optimal control system of the electric drive of the scraper conveyor and study its dynamic properties.

Section 1 provides an analysis of the current state of converter drive technology, a literature review of sources on the study of speed control systems of an automated electric drive is conducted.

Section 2 substantiates and selects the method of scientific research, builds a structural and logical scheme of the master's research, substantiates the method of solving the research problem.

In section 3, an analysis of existing types of electric motors is performed, the main requirements for electric drives are given, the most suitable type of electric motor is selected, and a VFD-C2000 converter is selected to control it, its technical data are given.

In section 4, a mathematical description of the elements of the control system is made, calculations are made for their selection, calculation dynamic models of the control system are compiled and an analysis of its dynamic properties when changing the control laws is performed. Taking into account the obtained research results, a scheme with a PI regulator and a filter at the input to the system was finally selected for the control system. The obtained results confirm the solution of the problems of improving the dynamic qualities of the control system of the scraper conveyor. Thus, the main goal of the work is achieved.

In section 5, occupational safety issues are considered when operating electrical equipment when working on scraper conveyors.

The appendix contains 11 slides of a multimedia presentation.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 СКРЕБКОВИЙ КОНВЕЄР ТИПУ ТЛС-200.....	8
1.1 Огляд літератури та розробок за темою	8
1.2 Опис об'єкту дослідження. Скребковий конвеєр.....	15
1.2.1 Види та способи транспортування сипких матеріалів скребковими конвеєрами.....	15
1.2.2 Опис та основні технічні характеристики скребкового конвеєра типу ТЛС-200	21
1.3 Існуюча система керування	23
1.4 Висновки до розділу 1	25
РОЗДІЛ 2 МЕТОДОЛОГІЯ МАГІСТЕРСЬКОГО ДОСЛІДЖЕННЯ	26
2.1 Вибір та обґрунтування методу наукового дослідження.....	26
2.2 Моделювання і його роль у дослідженні.....	29
2.3 Структурно-логічна схема магістерського дослідження	31
2.4 Висновки до розділу 2	34
РОЗДІЛ 3 ВИБІР ТИПУ ЕЛЕКТРОДВИГУНА ТА КОМПЛЕКТНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА	35
3.1 Аналіз існуючих видів електродвигунів	35
3.2 Основні вимоги до електроприводів та вибір типу електродвигуна	38
3.3 Аналіз існуючих систем керування двигунами перемінного струму	41
3.4 Загальна характеристика й основні технічні дані комплектного електропривода VFD-C2000	47
3.5 Висновки до розділу 3	51
РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ДИНАМІКИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА СКРЕБКОВОГО КОНВЕЄРА.....	52
4.1 Розробка функціональної схеми системи керування.....	52
4.1.1 Розрахунок механічних характеристик електродвигуна та вибір основних елементів системи частотного керування електропривода	55

4.2 Визначення параметрів регуляторів системи керування електропривода.....	66
4.2.1 Структурна схема електропривода з частотним керуванням	66
4.2.2 Формування та розрахунок параметрів елементів структурної схеми.....	70
4.3 Аналіз динамічних властивостей системи керування електропривода скребкового конвеєра	74
4.4 Висновки до розділу 4	80
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДА СКРЕБКОВОГО КОНВЕЄРА	81
5.1 Аналіз небезпек і шкідливостей при експлуатації електрообладнання скребкових конвеєрів	81
5.1.1 Дія та наслідки ураження електричним струмом.....	82
5.1.2 Шум та вібрації при експлуатації системи керування скребкового конвеєра	83
5.2 Захист від шкідливих та небезпечних факторів при експлуатації системи керування скребкового конвеєра.....	84
5.3 Висновки до розділу 5	87
ВИСНОВКИ	88
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	90
Додаток А. Мультимедійна презентація.....	92

ВСТУП

Актуальність теми. У сучасному світі промисловості та виробництва, де ефективність та надійність відіграють вирішальну роль, конвеєри стали невід'ємною частиною транспортування та переміщення матеріалів.

Конвеєри є складовою, невід'ємною частиною сучасного технологічного процесу, вони встановлюють і регулюють темп виробництва, забезпечують його ритмічність, сприяють підвищенню продуктивності праці й збільшенню випуску продукції. Поряд з виконанням транспортно-технологічних функцій конвеєри є основними засобами комплексної механізації й автоматизації вантажно-розвантажувальних і складських операцій.

Одним з найнадійніших і універсальних типів конвеєрів є **конвеєр скребковий**, який успішно застосовується у різних галузях, оскільки може працювати з великими обсягами вантажу безперервно, не пошкоджуючи його.

Транспортери ланцюгові зазвичай мають високі експлуатаційні характеристики, зокрема продуктивність і витривалість, незалежно від того, з яким матеріалом доводиться працювати. Тому вони широко використовуються в таких галузях: зернопереробні підприємства; прийомні відділення автомобільного та залізничного транспорту; транспортні галереї млинів та елеваторів; олійноекстракційні і комбікормові заводи; інші підприємства, які пов'язані з переробкою і прийомом насіння.

Тому актуальною є автоматизація виробничих процесів з використанням машин безперервної дії, що дозволяє значно збільшити економічний ефект за рахунок забезпечення раціональних режимів роботи всіх вузлів конвеєрів, скорочення часу пуску й зупинки конвеєрної лінії, зниження витрати електроенергії й простоїв устаткування.

Особливістю роботи конвеєрів є нерівномірність режимів роботи й навантажень. Підтримка рівномірності навантажень двигуна й швидкостей робочого органа конвеєра повинна здійснюватися безперервним регулюванням, що можливо тільки у випадку застосування систем регульованого електропривода.

У цей час спостерігається інтенсифікація процесу впровадження частотно-регульованих асинхронних електроприводів з керованими тиристорними випрямлячами або транзисторними широтно-імпульсними перетворювачами у транспортуючі машини. Схеми керування і підсилювачі будуються з застосуванням мікроелектроніки, що дозволяє одержати порівняно малогабаритні приводи з розширеними технічними можливостями.

Мета і завдання дослідження. Метою даної кваліфікаційної роботи магістра є аналіз системи керування електропривода скребкового конвеєра для транспортування сипучих вантажів. Для досягнення поставленої мети в роботі розглядаються й вирішуються наступні завдання:

- огляд сучасних систем керування електроприводів, умов їх роботи і методів розрахунку;
- розрахунки параметрів системи керування електропривода для наступного моделювання;
- моделювання в математичній програмі Simulink пакету Matlab системи керування конвеєра, як об'єкту керування;
- теоретичне і комп'ютерне дослідження значень основних показників якості роботи САК;
- аналіз результатів моделювання й обґрунтування правильності вибору системи керування.

Об'єкт дослідження - процеси, що відбуваються у енергозберігаючому електроприводі конвеєра.

Предмет дослідження: динамічні характеристики системи, параметри, що забезпечують підвищення надійності електропривода скребкового конвеєра.

Методи дослідження. Для розв'язання поставлених завдань були проведені теоретичні дослідження на основі теорії автоматичного керування, теорії електропривода, теорії лінійних електричних кіл з використанням математичного моделювання на основі диференційних рівнянь та структурних схем.

За допомогою програмного забезпечення для персональних комп'ютерів Simulink пакету Matlab були змодельовані математичні моделі системи керування, яка досліджувалася.

РОЗДІЛ 1

СТРІЧКОВИЙ КОНВЕЄР ТИПУ ТЛС-200

1.1 Огляд літератури та розробок за темою

Сучасні конвеєрні системи й аналіз підходів до їхнього керування.

Досягнення стійких позитивних тенденцій у розвитку промисловості України в чималому ступені пов'язане з розробкою й впровадженням сучасних засобів автоматизації виробництва, у тому числі автоматизованих ліній і комплексів, техніко-економічні показники яких у значній мірі визначаються застосуванням приводом. Важливу роль при цьому виконує широке впровадження перетворювачів і мікропроцесорної техніки для керування приводами конвеєрів, режими роботи яких, суттєво впливають на енергетичні показники, механічні характеристики й динамічні режими роботи конвеєра. Зупинка конвеєрної системи приведе до зупинки виробництва й зриву випуску продукції.

Значний вклад у створення наукових основ проектування і експериментальних досліджень конвеєрів та їх приводів здійснили В.К. Дячков, Б. М. Гевко, В.С. Ловейкін, А.А. Омельченко, Ю.А. Пертен, М.І. Пилипець, Р.М. Рогатинський, А.Я. Соколов, О.Л. Ляшук та багато інших.

У дослідженнях Б.М. Гевка, Р.М. Рогатинського, М.І. Пилипця, О.Л. Ляшука, І.Б. Гевка та ін. наведені наукові і практичні рекомендації з оптимального проектування транспортно-технологічних механізмів з розширеними функціональними можливостями та експлуатаційними показниками.

Наукові дослідження: Б.М. Гевка, Р.М. Рогатинського В.С. Ловейкіна, О.Л. Ляшука присвячені розгляду оптимальних конструктивних, кінематичних і динамічних параметрів конвеєрів та їх режимів роботи.

Питання підвищення продуктивності гнучких гвинтових конвейерів висвітлені в роботах д.т.н., проф. Б.М.Гевка.

У формування наукових основ теорії проектування скребкових конвеєрів суттєвий вклад внесли відомі вчені М.П. Василенко, Ю.А. Пертен, П.С. Кузьмін, Г.

Гафштенгель (Німеччина), Г.В. Корнеєв та ін.

Визначенню оптимальних і раціональних конструктивних, кінематичних і динамічних параметрів скребкових конвеєрів і режимів їх роботи залежно від реологічних властивостей транспортних сипких матеріалів присвячені роботи Р.Л. Зенкова, А.А. Вайсона, Г.А. Хайліса, А.О. Спиваковського, Ф.К. Іванченко та ін.

Класифікацією та визначенням галузей використання скребкових конвеєрів займався Ю.А. Пертен [9,14], обґрунтуванням режимів та умов роботи, розрахунками статичних, динамічних навантажень та розв'язання основних питань з надійності – Дацишин О.В. [9], з техніки безпеки, експлуатації конвеєрів Р.А. Волков та ін.

В роботах В.М. Булгакова, О.А. Бурлаки були висвітлені проблеми використання скребкових конвеєрів у зернозбиральних комбайнах. Питаннями застосування скребкових конвеєрів на заводах будівельних матеріалів займався Л.В. Євнєвіч. Причинами пошкодження зерна скребково-ланцюговим елеватором зернозбирального комбайна - В.І. Недовесов, Н.В. Матухно.

У 1964р. В.К.Дячковим запропонована конструкція скребкового конвеєра із закритим жолобом для забезпечення переміщення сипких вантажів під будь-якими кутами нахилу технологічних магістралей, в тому числі і вертикальних, а також дрібнодисперсних злежаних і пилоподібних вантажів.

У дослідницьких розробках Спиваковського А.О. [15] для трубчатих конвеєрів розглядається певна небезпека заклинювання вантажу в трубі. З чого випливає твердження, що швидкість переміщення робочого органу необхідно визначати враховуючи мінімальні енерговитрати на транспортування. Буде доцільним приймати розрахунок коефіцієнту опору вантажу, як 0,2, а на вертикальних ділянках розраховувати за допомогою формул для контурних скребоків. Важливу частку в енергобалансі скребкових конвеєрів займає зосереджений опір та сили тертя самого тягового органу по жолобу даного конвеєра.

В роботах Зенкова Р.Л. наведено ряд аналітичних залежностей для визначення продуктивності різних типів конвеєрів зазначених вище в залежності

реологічних властивостей сипких матеріалів, конструктивних параметрів робочих органів та розташування технологічних трас. Для визначення опору переміщення тягових скребкових ланцюгів встановлено залежності на різних ділянках транспортування, визначено величин тиску в шарнірах ланок тягових робочих органів, обґрунтовано крутні моменти на елементах приводу та потужностей на виконання технологічного процесу.

Керування електроприводами механізмів конвеєра. Безперервний, однонаправлений характер роботи конвеєрів визначає тривалий режим роботи їх електроприводів, які виконуються нереверсивними, за винятком окремих випадків, коли потрібно зміну напрямку руху.

До електроприводів механізмів транспортних засобів з безперервним режимом роботи пред'являються вимоги по забезпеченню плавності пуску і гальмування з надійним обмеженням прискорення і ривка, а також максимального моменту двигуна і його похідної [6,16].

Для скребкових конвеєрів великої протяжності ця вимога обумовлена наявністю великих мас поступально елементів, що рухаються, приведений момент інерції яких може в 10..20 разів перевищувати момент інерції двигунів, і значною податливістю канатів, що тягнуть, і транспортерної стрічки.

Зокрема, це завдання може бути вирішене за допомогою електропривода, виконаного за системою асинхронний двигун перетворювач частоти.

У цей час найпоширенішим типом привода стрічкових конвеєрів є нерегульований електропривод змінного струму на основі асинхронних машин переважно з короткозамкненим ротором [2]. Асинхронний електропривод при цьому повинен забезпечувати плавне економічне регулювання швидкості із широким діапазоном, велику частоту включень і реверсів з високою швидкодією в перехідних режимах.

При пуску асинхронного електродвигуна (АД) відбуваються складні динамічні процеси. Струми у двигуні не миттєво досягають значень, що встановилися, а тому й моменти, що розвиваються в цей перехідний період, суттєво відрізняються від розрахованих по статичних характеристиках, тому що

електромагнітний момент асинхронного двигуна визначається векторним добутком потокозчеплення статора на струм статора.

Магнітні поля від змушеної й вільної складових струму, взаємодіючи один з одним в умовах мінливості їх взаємного розташування, створюють електромагнітний перехідний момент асинхронного двигуна, що має, як правило, коливальний характер з максимальними значеннями, що набагато перевищують розраховані по статичних характеристиках [5].

Внаслідок чого величина динамічного моменту може в кілька разів перевищувати номінальну (максимальні ударні моменти перевищують пускові в 2-3 рази). При цьому рушання конвеєра з місця відбувається ривком, і виникають значні перенапруги в механічній частині, що позначається на скороченні термінів служби окремих елементів конвеєра. Крім того, у довгих конвеєрах наявність зазорів у вузлах приводить до значних механічних ударів.

Для плавного пуску й регулювання швидкості часто застосовується реостатне керування асинхронним двигуном з фазним ротором. Однак при реостатному способі керування двигуном плавність пуску забезпечується тільки за рахунок збільшення числа пускових ступенів, що змушує використовувати громіздкі релейно-контакторні панелі з великою кількістю важкої комутуючої апаратури.

Широко розповсюджений параметричний спосіб регулювання швидкості й моменту двигуна, здійснюваний за допомогою регуляторів напруги статора й струму ротора, дозволяє одержати досить жорсткі механічні характеристики привода. Зокрема, для приводів конвеєрів ця система керування дозволяє одержати низьку повзучу швидкість для вибірки величини зазорів у редукторі й у ланках ланцюга, здійснити пуск конвеєра з обмеженим прискоренням [10]. Однак даний спосіб не дозволяє одержати широкий діапазон регулювання швидкості конвеєра при використанні серійних асинхронних електродвигунів.

Для досягнення необхідних технологічних параметрів конвеєрів найбільш перспективними є методи частотного керування електроприводом. Дане керування дозволяє регулювати швидкість конвеєра залежно від параметрів технологічного процесу. Режим роботи асинхронного двигуна при заданій частоті визначається

напругою або струмом (поток)м статора й значенням абсолютного ковзання.

Частотно-регульований асинхронний електропривод стрічкових конвеєрів може бути задіяний у реалізації всіляких технологічних процесів, що вимагають плавного регулювання швидкості в широких межах. Головне полягає в тому, що при переході на частотне регулювання швидкості електродвигунів з'являється можливість оптимізувати режим роботи технологічного обладнання.

Частотне керування дає максимальний ефект енергозбереження й забезпечує щадний, ресурсозаощаджуючий режим експлуатації як технологічного, так і електричного обладнання при значно знижених навантаженнях і динамічних впливах, які у свою чергу, сприяють підвищенню в кілька разів ресурсу роботи й зниженню експлуатаційних витрат на ремонт.

Застосування керованих перетворювачів частоти дозволяє створювати установки з високими динамічними властивостями й мінімальними додатковими втратами [16].

Тенденції у сфері електропривода

Для розуміння перспектив розвитку електропривода вкажемо основні, найбільш виражені сучасні тенденції у цій сфері, які ґрунтуються на аналізі продукції провідних світових виробників систем привода і матеріалів опублікованих наукових досліджень:

- знижується частка систем привода із двигунами постійного струму й збільшується частка систем привода із двигунами змінного струму. Це пов'язано з низькою надійністю механічного колектора і високою вартістю двигунів постійного струму в порівнянні із двигунами змінного струму. За прогнозами фахівців на початку наступного сторіччя частка приводів постійного струму скоротиться до 10% від загального числа приводів;

- швидко збільшується частка частотно-керованих електроприводів за рахунок значного зниження вартості перетворювачів частоти (ПЧ);

- приводом наступного століття, за прогнозами більшості фахівців, стане привод на основі вентильно-індукторного двигуна. Двигуни цього типу прості у виготовленні, технологічні й дешеві. Разом з тим, високі динамічні та енергетичні

властивості привода можуть бути забезпечені тільки при застосуванні потужної мікропроцесорної системи керування в сполученні із сучасною силовою електронікою. Зусилля багатьох розробників у світі сконцентровані в цій області;

- ускладнення структур керування приводами вимагає різкого збільшення продуктивності центрального процесора й переходу до спеціалізованих процесорів зі специфічними системами команд, адаптованими до вирішення завдань цифрового регулювання в реальному часі. Ряд фірм (Intel, Texas Instruments, Analog Devices) випустили на ринок нові мікроконтролери для керування двигунами на базі процесорів для обробки сигналів (DSP-мікроконтролери). Вони не тільки забезпечують необхідну продуктивність центрального процесора (більше 20 мільйонів операцій на секунду), але й містять ряд вбудованих периферійних пристроїв, призначених для оптимального сполучення контролера з іншими елементами ПЧ (інвертор, генератор періодичних сигналів);

- ріст обчислювальних можливостей вбудованих систем керування приводів супроводжується розширенням їхніх функцій;

- перспективні системи керування електроприводів розроблюються з орієнтацією на комплексну автоматизацію технологічних процесів. Сучасні розробки направлені на злагоджену роботу декількох приводів у складі промислової мережі, керування якою виконує контроллер або керуюча ЕОМ високого рівня. Найбільш перспективні типи інтерфейсів: RS-485, CAN;

- прагнення максимально здешевити привод привело до відмови від електромеханічних датчиків і переходу до систем бездатчикового керування, де для оцінки координат привода (положення, швидкість, струм) використовуються спеціальні цифрові спостерігачі. Це можливо тільки при високій продуктивності центрального процесора, коли система диференціальних рівнянь (математична модель АД), що описують зміну показників привода, може бути розв'язана в реальному часі;

- основні фінансові витрати при розробці систем керування приводами припадають не на створення апаратної частини контролера, а на розробку алгоритмічного й програмного забезпечення. Тому роль фахівців в області теорії

електропривода істотно зростає.

Аналіз світового досвіду створення нового й модернізації діючого технологічного встаткування показує високу динаміку розвитку регульованих електроприводів, комп'ютерних засобів автоматизації, використання інформаційних засобів. Вона обумовлена прагненням до максимального підвищення продуктивності технологічного встаткування і якості виробленої продукції. Усі провідні електротехнічні корпорації випускають регульовані електроприводи комплектно з комп'ютерними засобами автоматизації у вигляді гнучких програмувальних систем, призначених для широкого використання. Окупність засобів, вкладених у такі системи, є найбільш швидкою. Крім застосування регульовані електроприводи разом з технологічними пристроями використовуються в якості засобів регулювання технологічних змінних - рівня, тиску, вологості, температури, дозування, продуктивності та ін [7].

Нині велика увага приділяється розширенню виробництва регульованих електроприводів, в першу чергу змінного струму. За даними різних джерел у промислово розвинених країнах 30- 40% усіх електроприводів є регульованими. В Україні ж їх налічується до 5%.

Регульований електропривод постійно вдосконалюється, особливо інтенсивно він розвивається після створення нових силових керованих напівпровідникових приладів та інформаційних технологій.

Світові лідери у виробництві частотних перетворювачів: ABB, Allen Bradley, Danfoss, Mitsubishi Electric, Schneider Electric, Siemens, Yaskawa.

Більш скромну нішу займають такі фірми як, наприклад, Control Techniques, Emotron, Lenze, Веспер-Автоматика, м. Москва й ін. Їхня продукція по якості практично не поступається лідерам.

У сучасних виробничих реаліях асинхронний двигун без перетворювача частоти не зустрічається. Навіть якщо враховувати найдешевші зразки перетворювачів частоти – вони коштують пристойних грошей, але при цьому витрати на покупку й установку окупляться менш чим через 2 роки, а у зв'язку з економічною ситуацією, можуть і ще швидше. Також на користь економії

перетворювачів частоти говорить і їх «внутрішній ресурс» - служать вони довго й надійно [7].

Тобто, сучасна приводна техніка динамічно розвивається, постійно удосконалюється, пропонуються нові технічні і алгоритмічні рішення.

1.2 Опис об'єкту дослідження. Скребковий конвеєр

1.2.1 Види та способи транспортування сипких матеріалів скребковими конвеєрами

Конвеєр скребковий - це транспортерна система, призначена для переміщення різних матеріалів та вантажів за допомогою спеціальних скребків, які рухаються по металевій або бетонній основі. Ці скребки, як правило, виконані із міцних матеріалів, що забезпечує довгий термін служби конвеєра навіть в умовах високого навантаження та агресивних сред.

Конвеєри скребкового типу застосовуються в різних галузях та сферах діяльності, де потрібен надійний та ефективний спосіб транспортування матеріалів та вантажів.

Області застосування конвеєрів скребкового типу:

- **сільське господарство:** для транспортування зерна, кормів, соломи та інших сільськогосподарських сипучих матеріалів, а також для завантаження сільськогосподарської техніки або переміщення врожаю з поля;
- **виробництво добрив:** забезпечує ефективний транспорт сировини та готової продукції;
- **харчова промисловість:** у деяких випадках їх можна застосовувати в харчовій промисловості для транспортування сипких продуктів, таких як зерно чи цукор;
- **хімічна промисловість:** для переміщення агресивних хімічних речовин та продуктів;
- **переробка відходів:** використовуються на підприємствах з утилізації та

переробці відходів для транспортування відходів та рециклованих матеріалів;

- **будівництво та будматеріали:** для переміщення будівельних матеріалів, таких як пісок, щебінь, цемент та цегла на будмайданчиках. та виробництва будматеріалів;

Загальна класифікація скребкових конвеєрів показана на рисунку 1.1 [12].

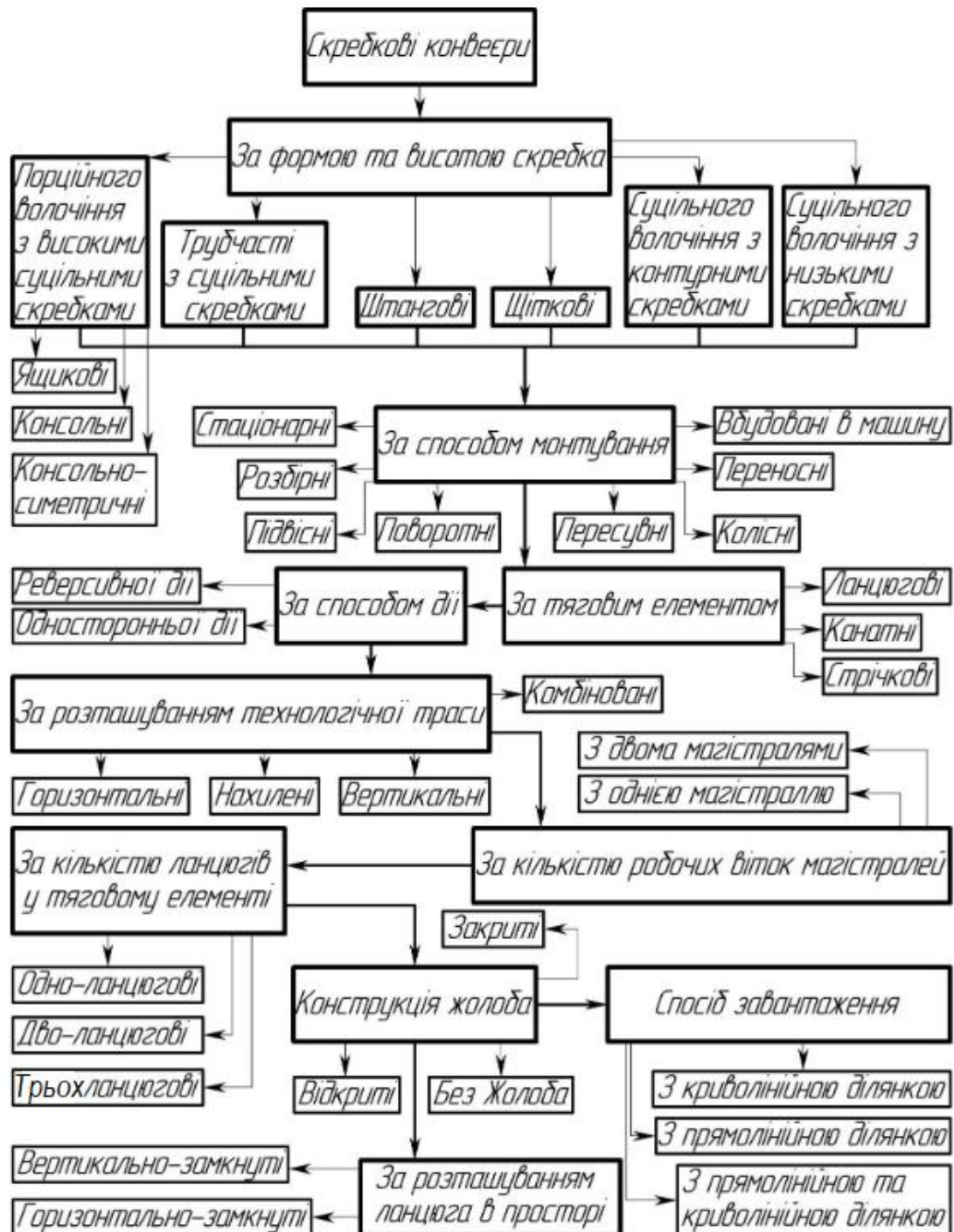


Рисунок 1.1 - Загальна класифікація скребкових конвеєрів

Переваги конвеєра скребкового типу:

- **надійність:** виготовляються з міцних і зносостійких матеріалів, що забезпечує їх тривалий термін служби. вони спроектовані для роботи в умовах з високим навантаженням та агресивними середовищем;
- **ефективність:** здатні переміщати як сипкі, так і великогабаритні матеріали, що робить їх універсальними та ефективними в різних галузях;
- **автоматизація:** їхній автоматизований характер зменшує необхідність у ручній роботі та знижує ймовірність людських помилок;
- **застосування в агресивних середовищах:** часто використовуються в агресивних середовищах, таких як гірничодобувна та хімічна промисловість, де інші типи конвеєрів можуть не впоратися.

Конвеєр скребкового типу - складна система, що складається з декількох ключових компонентів, що забезпечують його надійне та ефективне функціонування.

Застосування скребкових транспортерів

Пересувні скребкові конвеєри використовуються в різноманітних сферах виробництва, де необхідно переміщення кускових, зернистих і пилоподібних вантажів. Їх функціонування базується на такому принципі: вантажі з допомогою скребків переміщаються по нерухомому жолобу. При цьому саме скребки є рухомих елементом конструкції, оскільки закріплені на приводній частині.

Попри схожість конструкції, існують різноманітні типи та моделі скребкових конвеєрів, кожен з яких має специфічне призначення. Вся сукупність різновидів скребкових транспортерів ділиться на кілька основних груп:

- з високими скребками;
- з зануреними скребками.

Скребковий конвеєр першої групи найбільш ефективний при переміщенні вантажів на дистанції до 100 метрів. Пристрої даного типу порівняно легкі та мобільні – їх можна встановлювати практично в будь-якому місці, де є можливість прокладки жолобу. Сипучі або кускові вантажі занурюються допомогою завантажувальної воронки в жолоб транспортера.

Робота обладнання з зануреними скребками ґрунтується на суцільному волочінні – вантажі переміщуються безперервним потоком. Такі пристрої найбільш ефективні для транспортування дрібнокускових, зернистих, пилоподібних і порошкоподібних насипних вантажів. Особливість транспортерів зазначеного типу в тому, що переміщувані вантажі не повинні бути дуже міцними і не повинні втрачати свої якісні характеристики при дробленні.

У кожній з охарактеризованих груп скребкових конвеєрів є багато різновидів устаткування, а тому їх слід розглянути більш детально.

Ланцюгові скребкові конвеєри. Транспортер скребковий ланцюговий призначений для переміщення сипучих речовин в харчовій, хімічній, целюлозно-паперовій, деревообробній, металургійній та ін. промислових сферах. Крім того, конструкції даного типу можуть успішно застосовуватися в енергетиці, залізничному і водному транспорті, будівництві та ливарному виробництві.

Особливість ланцюгових конвеєрів – це ланцюги, які створюють тягове зусилля. Залежно від моделі, ланцюг може бути один або їх може бути кілька. Деякі моделі дозволяють установку різних ланцюгів для транспортування різного типу вантажів.

Скребкові ланцюгові конвеєри мають максимальний кут нахилу до 15 градусів, що робить їх незамінними при переміщенні таких вантажів, як сипучі, зернисті, пилоподібні. Найбільш популярне використання даного виду пристроїв для зерна – ланцюговими транспортерами оснащують зернопереробні підприємства, транспортні галереї на елеваторах і млинах.

Ланцюгові моделі призначені для транспортування вугілля і гірських порід (мас), рідше – для доставлення лісу, тому застосовуються найчастіше на шахтах, рідше – в котельнях, на будівельних роботах.

Конвеєри – моделі з автоматичним дистанційним управлінням, що дозволяють транспортувати зерно, борошно, комбікорми, висівки, насіння та ін. під кутом до 45 градусів. Трасу обладнання можна робити горизонтальною, похилою або полого-похилою.

Дальність переміщення вантажів ланцюговими конвеєрами становить

близько 50 метрів, а їх показники продуктивності знаходяться в межах від 10 до 200 т на годину – в залежності від моделі обладнання і типу речовини що переміщується.

Скребкові транспортери з перекидними клапанами. Перекидні скребкові транспортери отримали свою назву завдяки оснащенню спеціальним перекидним клапаном, за допомогою якого можна перемикаєти потік речовини, що транспортується.

Зміна напрямку руху потоку речовини, що транспортується здійснюється пневмоциліндром, що знаходяться всередині перекидного клапана. Найкраще вибирати обладнання з маятниковим клапаном, в якому немає центрального вала. В такому випадку буде виключена можливість висипання речовини, що транспортується і, крім того, елементи конструкції будуть застраховані від швидкого зносу.

Стрічкові скребкові конвеєри. Стрічкові скребкові транспортери призначені для транспортування сипучих речовин під необхідним ухилом. Відкриті скрепки на такому агрегаті закріплюються на стрічці, яка може бути харчового або нехарчового призначення – все залежить від сфери застосування обладнання. Областю застосування також визначається і висота скребоків. Щоб виключити можливість висипання стрічки, стрічково-скребкові конвеєри, як правило, оснащені гофробортами.

Кут нахилу даного виду транспортерів має дуже широкий діапазон – від 0 до 90 градусів. Те ж стосується і довжини транспортування, що робить їх незамінними в промисловості різних галузей, а особливо – харчової.

Основні сфери застосування стрічкових скребкових транспортерів в харчовій промисловості:

- перевантаження товарів з одного місця в інше;
- перевантаження насипних або дрібноштучних речовин між конвеєрами;
- відведення предметів від пакувальної машини;
- навантаження речовин в транспорт або вивантаження з нього;
- подача матеріалів, речовин, продукції в фасувальні бункери.

Стрічкові скребкові конвеєри зручно застосовувати і для тирси, тобто для переміщення відходів деревообробної промисловості та лісопилок з виробничих цехів у спеціальні приміщення.

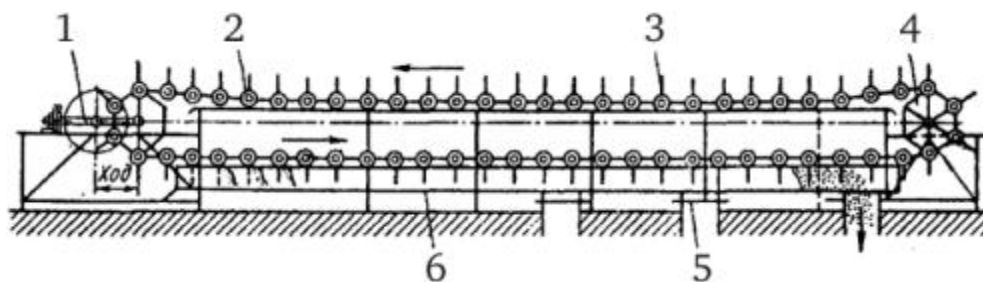
Ланцюговий конвеєр: особливості обладнання.

Механізм скребкових транспортерів має складну конструкцію. Він складається з: приводної станції, оснащеної електродвигуном, жолоба, тягового органа (ланцюга), кінцевої голівки, става, скребків. Запускається скребковий конвеєр після увімкнення приводного двигуна.

Принцип роботи. На відміну від стрічкових транспортерів, які переміщують вантажі за рахунок руху щільної стрічки, і шнекових конвеєрів, що транспортують продукти за допомогою спіралі або секційних відсіків, цей механізм має зовсім інший принцип дії:

- матеріал, який необхідно транспортувати, потрапляє в певний відсік жолоба ланцюгового транспортера;
- після запуску скребки починають рухатися, «розчищаючи» жолоб і переміщаючи вантаж у бункери або контейнери.

Принципова схема скребкового конвеєра наведена на рисунку 1.2.



- 1 - натяжний пристрій; 2 - тяговий ланцюг; 3 - скребки; 4 - приводні зірочки; 5 - завантажувальні люки; 6 - жолоб днища

Рисунок 1.2 - Принципова схема скребкового конвеєра

1.2.2 Опис та основні технічні характеристики скребкового конвеєра типу ТЛС-200

В якості об'єкту модернізації розглядається система керування електропривода скребкового ланцюгового транспортера ТЛС-200 [17].

Конвеєр скребковий - це одне з різновидів обладнання, призначене для транспортування зерна та інших матеріалів. Особливістю конвеєра ланцюгового є можливість його безперервної роботи, а також механізм роботи: переміщення вантажу здійснюється завдяки скребкам, які закріплені по тягових ланцюгах і занурені в насипний вантаж. Ланцюг зі скребками розташований в коробі, а завантаження транспортера скребкового може здійснюватися як в кінці конвеєра, так і через отвори в днищі.

На рисунку 1.3 показаний загальний вид транспортера моделі ТЛС-200 із зазначенням складових частин.

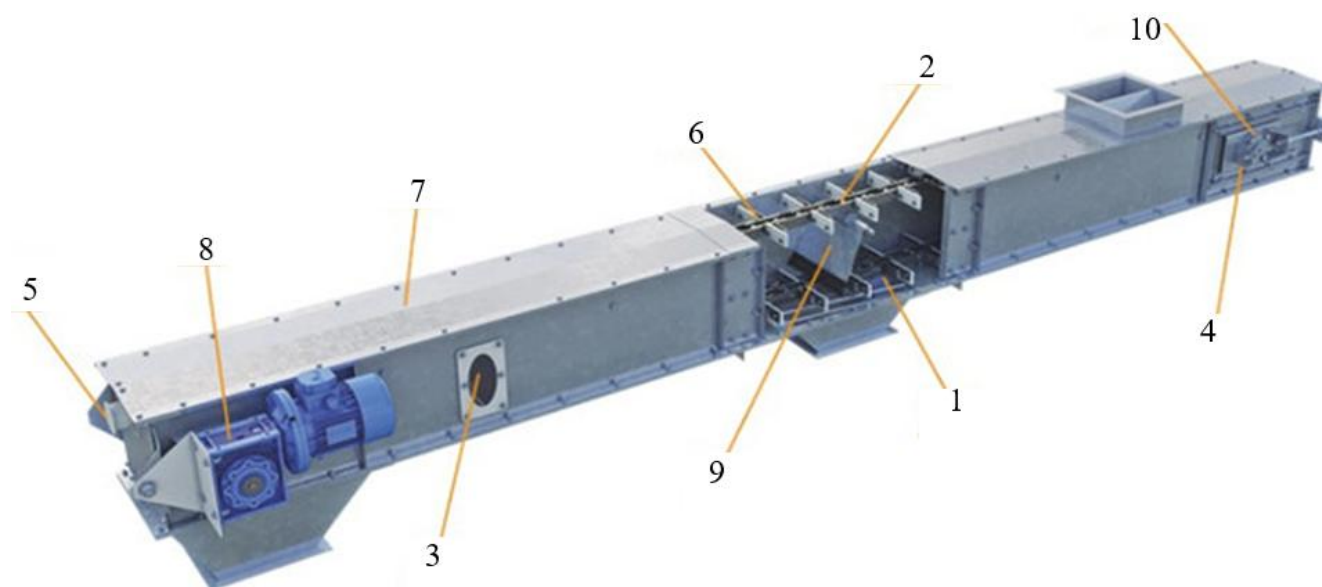


Рисунок 1.3 - Загальний вид транспортера моделі ТЛС-200

На рисунку позначено:

1. футероване полімером днище конвеєра товщиною 10 мм для найменшого травмування зерна та підвищеної зносостійкості конвеєра;
2. високоміцний ланцюг із пластиковими скребками із зусиллям розриву ланцюга не менше 4,6 тонн;
3. оглядове вікно з обох боків конвеєра для візуального контролю роботи та

завантаження конвеєра;

4. захищений від зовнішнього впливу датчик обриву ланцюга для безпечної роботи конвеєра;

5. датчик підпору зерна для уникнення пошкодження конвеєра при переповненні конвеєра або забивання вивантажувальної лійки;

6. зачистний скребок з гуми для самоочищення конвеєра від залишків матеріалу, що транспортується;

7. кришка транспортера з ущільнювачем для уникнення попадання атмосферних опадів у матеріал, що транспортується;

8. компактний та надійний мотор-редуктор з можливістю швидкого демонтажу та зміни робочого положення для зручного монтажу та обслуговування у стиснених умовах;

9. щітка для чищення ланцюга для запобігання проносу зерна в інші розвантажувальні воронки при проміжному розвантаженні конвеєра;

10. виносні підшипники, які не контактують з матеріалом, що транспортується, для підвищеної надійності підшипникових вузлів.

Скребки на ланцюгу захоплюють вантаж і переміщують його по дну короба від завантажувальної секції до розвантажувальної (рисунки 1.4).

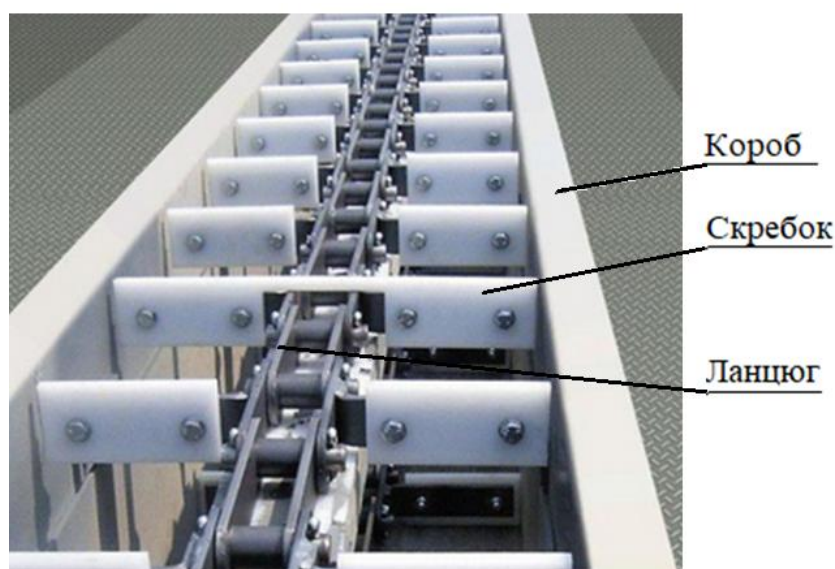


Рисунок 1.4 - Ланцюг із скребками

Технічні характеристики скребкового конвеєра мод ТЛС 200 наведені в таблиці 1.1 [17].

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики скребкового конвеєра мод ТЛС 200

Назва/маркування		ТЛС-200
Продуктивність по зерну при $Y=0,75\text{т/м}^3$	т/год	25
Максимальна довжина транспортера	м	50
Потужність електродвигуна	кВт	3-4
Швидкість руху ланцюга	м/с	0,2-0,9
Максимальний кут нахилу транспортера	град.	20
Відстань між скребками	мм	200
Ширина ланцюга	мм	180

1.3 Існуюча система керування

Електрообладнання конвеєра складається з електродвигуна, пускорегулювальної та захисної апаратури, кінцевих вимикачів, освітлювальної та сигнальної апаратури. кабелів і проводів .

Живлення електрообладнання здійснюється від 3 -х фазної мережі змінного струму напругою 380 В.

Схема автоматизації конвеєра забезпечує подачу акустичного сигналу перед пуском; одночасне відключення всіх конвеєрів, що транспортують вантаж на зупинений конвеєр; підготовку до пуску після відключення; видачу інформації про причини зупинки на пульт керування; аварійне відключення конвеєра в наступних випадках: при несправності електродвигуна під дією відповідних електричних захистів; при несправній механічній частині конвеєра (обрив або зупинка стрічки); при тривалому пуску конвеєра; при несправності ланцюгів керування, що веде до втрати керованості; при обриві заземлюючої жили (якщо вона використовується в ланцюзі керування); при зниженні швидкості стрічки до 75 % від нормальної (при пробуксовці) на деякий період часу; при сході стрічки убік; при підвищенні температури приводних барабанів (для запобігання запалення стрічки).

Система автоматичного керування електропривода скребкового конвеєра забезпечує:

- включення приводної станції;
- подачу по всій довжині конвеєра автоматичного попереджувального

сигналу перед пуском;

- підвищений пусковий момент;
- обмеження часу втримання зусилля при неуспішному запуску (6 - 8 секунд) для запобігання перегріву електроприводів;
- автоматичне відключення конвеєра при обриві тягового ланцюга;
- автоматичний захист приводів і тягового ланцюга конвеєра від динамічних перевантажень при заклинюванні ланцюга.

Конвеєр ТС комплектується апаратурою контролю скребкового конвеєра, яка, крім функції відключення електродвигуна при пориві тягового органу, має ряд додаткових діагностичних функцій, у т.ч. контроль навантаження на електродвигун, контроль зміни швидкості, світлову індикацію відмови зі збереженням інформації в пам'яті, контроль справності електричних кіл та ін.

На рисунку 1.5 наведена електрична схема включення асинхронного електродвигуна привода конвеєра [2].

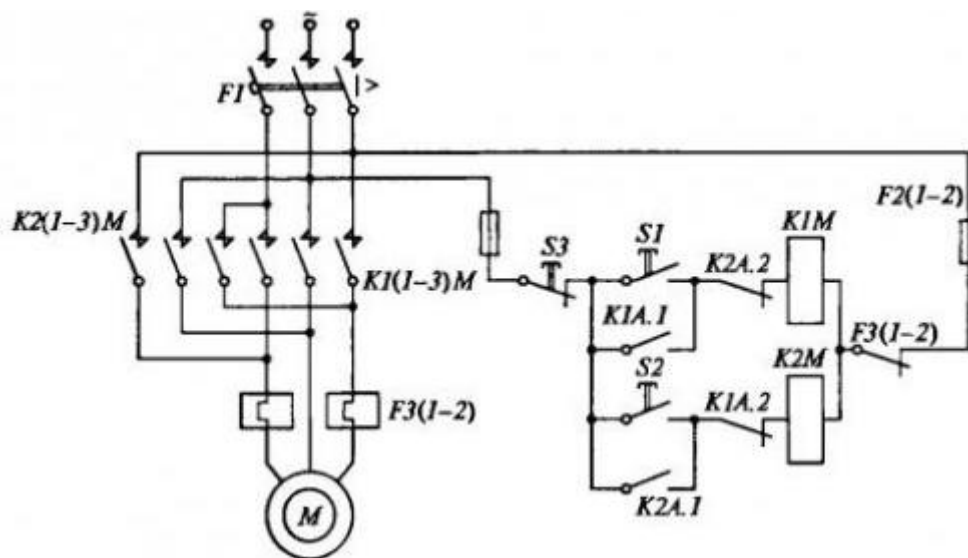


Рисунок 1.5 - Схема підключення асинхронного двигуна конвеєра з реверсивним пускатчем

Керування двигунами здійснюється реверсивним магнітним пускатчем. Включення двигуна для обертання «уперед» здійснюється натисканням кнопки S1. Котушка контактора K1M буде під напругою, головні контакти K1(1-3)M, що замикають, приєднують електродвигун до мережі.

Для перемикавання електродвигуна необхідно натиснути на кнопку S3 («стоп»), а потім на кнопку S2 («назад»), що викличе відключення контактора K1M

і включення контактора K2M. При цьому, як видно зі схеми, дві фази на статорі перемкнуться, тобто відбудеться реверс обертання електродвигуна. Щоб уникнути короткого замикання в ланцюзі статора між першою й третьою фазою внаслідок помилкового одночасного натискання на обидві пускові кнопки S1 і S2 реверсивні магнітні пускачі мають важільне механічне блокування (на схемі не показане), яке перешкоджає втягуванню одного контактора, якщо включений інший. Для підвищення надійності в схемі передбачене електричне блокування, яке здійснюється за допомогою розмикальних допоміжних контактів K1A.2 і K2A.2. Реверсивний магнітний пускач складається із двох контакторів, укладених в один корпус.

1.4 Висновки до розділу 1:

- виконаний огляд літератури та розробок за темою, розглянуті тенденції у сфері електропривода;
- надані дані щодо об'єкту дослідження (області застосування конвеєрів скребкового типу, переваги конвеєра скребкового типу, застосування скребкових транспортерів);
- наведений опис та основні технічні характеристики скребкового конвеєра типу ТЛС-200.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДОЛОГІЯ МАГІСТЕРСЬКОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Вибір та обґрунтування методу наукового дослідження

Наукове дослідження — це цілеспрямоване пізнання, результати якого виступають у вигляді системи понять, законів і теорій.

Основні засоби науково-теоретичного дослідження:

- сукупність наукових методів, всебічно обґрунтованих та зведених в єдину систему;
- сукупність понять, строго визначених термінів, пов'язаних між собою і утворюють характерну мову науки.

Результати наукових досліджень втілюються в наукових працях (статтях, монографіях, підручниках, дисертаціях і т. д.) і лише потім після їх всебічної оцінки використовуються в практиці, враховуються в процесі практичного пізнання і в знятому, узагальненому вигляді включаються в керівні документи.

Діяльність людей в будь-якій її формі (наукова, практична і т.д.) визначається цілим рядом факторів. Кінцевий її результат залежить не тільки від того, хто діє (суб'єкт) або на що вона спрямована (об'єкт), але і від того, як відбувається даний процес, які способи, прийоми, засоби при цьому застосовуються. Це і є проблеми методу.

Метод (грец. — спосіб пізнання) — в самому широкому сенсі слова — «шлях до чого-небудь», спосіб діяльності суб'єкта в будь-якій її формі.

Поняття «методологія» має два основних значення: система визначених способів і прийомів, застосовуваних у тій або іншій сфері діяльності (в науці, політиці, мистецтві і т. п.); вчення про цю систему, загальна теорія методу, теорія в дії.

Історія і сучасний стан пізнання і практики переконливо показують, що далеко не всякий метод, не будь-яка система принципів і інших засобів діяльності забезпечують успішне рішення теоретичних і практичних проблем. Не тільки результат дослідження, але і ведучий до нього шлях повинний бути щирим.

Основна функція методу — внутрішня організація і регулювання процесу пізнання або практичного перетворення того або іншого об'єкта. Тому метод (у тієї або іншій своїй формі) зводиться до сукупності визначених правил, прийомів, способів, норм пізнання і дії.

Кожний вид людської діяльності передбачає використання певних прийомів, способів, операцій з метою досягнення мети. Специфічними прийомами, способами послуговується і наука як один із видів діяльності людини. Сукупність цих прийомів позначають поняттям "метод". Метод з грецької означає шлях пізнання.

Метод – спосіб досягнення мети, розв'язання конкретної задачі; сукупність прийомів (операцій) практичного впливу чи теоретичного освоєння об'єктивної дійсності з метою її пізнання [3].

Методика дослідження – це система правил використання методів, прийомів та способів для проведення будь якого дослідження. Свідоме застосування науково обґрунтованих методів слід розглядати як найсуттєвішу умову отримання нових знань. Дослідник, який добре знає методи дослідження і можливості їх застосування, витрачає менше зусиль і працює успішніше, ніж той, хто у своєму дослідженні спирається лише на інтуїцію або діє за принципом «спроб і помилок».

Методологія – це концептуальний виклад мети, змісту, методів дослідження, які забезпечують отримання максимально об'єктивної, точної, систематизованої інформації про процеси та явища .

Методи дослідження – це спосіб дослідження явищ і процесів, інструментарій отримання фактичного матеріалу, необхідна умова досягнення поставленої мети у кваліфікаційній роботі.

Вибір конкретних методів дослідження диктується характером фактичного матеріалу, умовами і метою конкретного дослідження. Методи є упорядкованою системою, в якій визначається їх місце відповідно до конкретного етапу дослідження, використання технічних прийомів і проведення операцій з теоретичним і фактичним матеріалом у заданій послідовності.

Класифікація методів наукових досліджень наведена на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 - Класифікація методів наукових досліджень

Організаційна стадія забезпечує строгий порядок проведення наукового дослідження. На цьому етапі вивчається стан об'єкта дослідження та здійснюється організаційно-методична підготовка його наукового пізнання.

Дослідна стадія передбачає збір необхідної інформації про об'єкт дослідження, її аналіз та перетворення на нові інформаційні сукупності відповідно до теми дослідження. Особливу увагу необхідно звернути на вибір методики дослідження, що визначить умови досягнення мети дослідницького процесу. В загальному дослідна стадія включає такі елементи:

2.2 Моделювання і його роль у дослідженні

Моделювання – ґрунтується на використанні моделі, як засобу дослідження явищ і процесів природи та суспільства. Під моделями розуміють системи, що замінюють об'єкт пізнання.

Модель (від лат. *modulus* – «міра») – це певний умовний образ об'єкта дослідження, котрий замінює останній і перебуває з ним у такій відповідності, яка дозволяє отримати нове знання. Модель будується для того, щоб відобразити характеристики об'єкта (елементи, взаємозв'язки, структурні та функціональні властивості), суттєві з точки зору мети дослідження. Отже, моделювання пов'язане зі спрощенням узагальненням прототипу, абстрагуванням від низки його властивостей, ознак, сторін. Схема органу державного управління, наприклад, є її графічною моделлю, що відображує її структуру.

Серед відомих методів дослідження складних електромеханічних систем можна виділити фізичне, імітаційне, аналогове та математичне моделювання [3].

Метод фізичного моделювання передбачає дослідження на моделі, яка відтворює основні геометричні, фізичні, динамічні та функціональні характеристики та властивості оригіналу (але не обов'язково всі властивості) та має великі можливості з визначення різноманітних якостей електромеханічних систем ті їх елементів. Він базується на трьох теоремах аналізу подібності.

Практично необмежені можливості з виявлення ефективного функціонування складної електромеханічної системи має метод математичного

модельовання. Він ґрунтується на здатності математично описувати рівняннями різні за природою явища (процеси) та виявляти різні функціональні зв'язки між елементами системи.

Аналогове модельовання базується на однаковому для моделі та натури математичному описі та використовується для імітації на основі аналогової фізичної системи по її елементам. При цьому кожному з фізичних елементів натури в моделі відповідає певний еквівалент. У якості моделей використовуються електричні кола, складені з пасивних та активних елементів.

Імітаційне модельовання використовується частіше за всього при дослідженні складних електромеханічних систем та представляють собою процес формування моделі реальної системи та проведення над нею численних експериментів з метою виявлення шляхів її створення, вдосконалення та (або) ефективного використання.

При математичному модельованні застосовуються аналітичні та статистичні моделі. Аналітичні моделі більш грубі, враховують менше число факторів, завжди потребують деяких припущень та спрощень. Проте вони більше пристосовані для пошуку оптимальних рішень.

Статистичні моделі у порівнянні з аналітичними більш точні, але громіздкі та погано доступні для огляду.

В цій роботі проводиться дослідження впливу параметрів скребкового конвеєра на динамічні характеристики системи керування електропривода. Тому для модельовання перехідних процесів використовується комп'ютерна модель.

Комп'ютерна модель (або чисельна) – комп'ютерна програма, яка реалізує абстрактну модель деякої системи. Комп'ютерні моделі використовуються для отримання нових знань про об'єкт, що моделюється або для приблизної оцінки поведінки математичних систем, які досить складні для аналітичного дослідження. Комп'ютерне модельовання є одним з ефективних методів вивчення складних систем. Комп'ютерні моделі простіші та їх зручніше досліджувати в силу можливості проводити обчислювальні експерименти в тих випадках, коли реальні експерименти немає можливості проводити через фінансові труднощі або фізичні перешкоди. Для підтримки математичного модельовання розроблені системи

комп'ютерної математики, [Maple](#), [Mathematica](#), [Mathcad](#), [MATLAB](#), [VisSim](#) та інші. В даній роботі використовується програма Simulink пакету [MATLAB](#) [6].

2.3 Структурно-логічна схема магістерського дослідження

Основне призначення методики дослідження полягає у тому, щоб на основі відповідних принципів (вимог, умов, обмежень тощо) забезпечити успішне вирішення визначених мети і завдань наукового дослідження.

Структурно-логічна схема є однією з форм планування роботи і візуалізації процесу, яка дозволяє з одного боку описувати процедуру (алгоритм) дослідження і досягнення мети тобто сформулювати робочу гіпотезу дослідження, а з другого – установити логічну послідовність виконання структурних розділів і підрозділів магістерської роботи [4].

Спочатку вибирається тема дослідження та обґрунтовується її актуальність та складається індивідуальний календарний план роботи.

Ведеться пошук літератури за темою, її аналіз, складання бібліографії.

Розробляється перший варіант теоретичної частини: постановка мети і конкретних завдань дослідження; визначення об'єкту й предмета дослідження; вибір методів (методики) проведення дослідження.

Виконується опис процесу дослідження згідно з обраним методом. Моделювання процесів у електроприводі стрічкового конвеєра проводиться шляхом математичного моделювання з використанням пакету Simulink програми MATLAB.

Наводиться інтерпретація отриманих результатів дослідження.

На підставі виконаних розрахунків та отриманих характеристик проводиться узагальнення отриманих теоретичних результатів.

На заключному етапі роботи проводиться розробка заходів охорони праці та охорони навколишнього середовища, впровадження результатів магістерського дослідження у навчальний процес.

Алгоритм магістерського дослідження представлений структурно-логічною схемою у вигляді табличної інформаційної моделі (таблиця 2.3).

Данна схема складена на підставі головних завдань магістерського дослідження.

Таблиця 2.3 – Структурно-логічна схема магістерського дослідження

Аналіз системи керування електропривода скребкового конвеєра	
Складання індивідуального календарного плану роботи	
Пошук літератури за темою, її аналіз, складання бібліографії	
Підготовка теоретичної частини	Аналіз способів транспортування сипких матеріалів скребковими конвеєрами
	Класифікація транспортуючих машин
	Розгляд устрою, складу скребкового конвеєра
	Опис роботи об'єкту дослідження
	Аналіз існуючих типів приводів, вибір частотного перетворювача для керування електродвигуном скребкового конвеєра, опис перетворювача
Опис процесу дослідження	Моделювання перехідних процесів на базі функціональної та структурної схем системи керування електропривода.
	Математичне моделювання динамічних властивостей системи керування електропривода скребкового конвеєра
Узагальнення результатів моделювання	Інтерпретація отриманих результатів дослідження
	Формулювання висновків
Узагальнення науково-теоретичних результатів	
Розробка заходів з охорони праці при експлуатації конвеєрів	
Реалізація отриманих результатів у навчальний процес	

Данна схема складена на підставі головних завдань магістерського дослідження і наочно відображає його послідовність: мотивацію; формулювання проблеми дослідження; пошук теоретичної основи розв'язання проблеми; розв'язання проблеми. Вона показує процедуру (алгоритм) дослідження і

установлює логічну послідовність виконання структурних розділів і підрозділів магістерської роботи.

При математичному моделюванні свідомо відволікаються від конкретної фізичної природи об'єктів, процесів або систем і, в основному, зосереджуються на вивченні кількісних залежностей між величинами, що описують ці процеси.

Дана магістерська робота не передбачає проведення експериментальних досліджень, має теоретичний характер, тому основним методом для відображення отриманих результатів є моделювання.

Послідовність робіт при моделюванні виробничої системи.

- дослідження модельованої системи і постановка задачі - вивчення літературних джерел, проведення досліджень, тощо;
- формалізація задачі - уточнення змісту вивчаємої системи, яке б давало можливість оперувати нею за допомогою математичних методів. Суть формалізації у виявленні особливостей системи, виділенні головного, основного. На цьому етапі визначають, які параметри модельованої системи необхідно відобразити в моделі;
- розробка математичної моделі задачі і її запис в структурній формі.

Розробити математичну модель задачі - це означає побудувати спеціальну таблицю чи схему, у якій усі економічні, технологічні та інші виробничі умови і вимоги виражені у вигляді нерівностей і рівнянь і об'єднані цільовою функцією. Математична модель економіко-математичної задачі може бути подана у структурній, загальній символній чи числовій формі. Послідовність розробки моделі може бути різною, але зручніше спочатку скласти систему змінних величин, записати систему обмежень, а потім цільову функцію. В моделі виділяють змінні величини, константи і коефіцієнти. Змінні в моделі відображають невідомі величини;

- аналіз кількісних залежностей параметрів задачі;
- збір інформації і її обробка;
- побудова числової моделі;
- вибір математичного методу вирішення задачі;
- вирішення задачі на ЕОМ;
- аналіз результатів вирішення і коригування моделі;

- вирішення задачі на ЕОМ по скоригованій моделі.

Практично не обмеженими можливостями за виявленням ефективно функціональної складної електромеханічної системи має метод математичного моделювання. Цей метод заснований на здатності математично описувати рівняннями різноманітні за природою явища (процеси) і виявляти різні функціональні зв'язки між елементами системи.

Дослідження математичної моделі дає змогу отримати характеристики реального об'єкта чи системи. Вигляд математичної моделі залежить як від природи системи, так і від завдань дослідження. Математична модель системи містить, як правило, опис множини можливих станів системи та закон переходу з одного стану в інший. Математичне моделювання охоплює імітаційне, інформаційне, структурне, ситуаційне тощо.

Розрахунок задач магістерського дослідження проводиться за допомогою електронної обчислювальної техніки за допомогою програми Mathcad. На базі складених диференціальних рівнянь проводиться математичне моделювання системи керування електропривода. За допомогою програми Simulink досліджуються перехідні характеристики системи при зміні задаючих параметрів [6].

Метод моделювання – вивчення явищ за допомогою моделей – сьогодні має особливе значення для вирішення складних фізичних завдань, чому значною мірою сприяє зростання продуктивності комп'ютерної техніки. Саме тому в цьому магістерському дослідженні як основа використаний метод моделювання.

2.4 Висновки до розділу 2:

- вибраний та обґрунтований метод наукового дослідження.
- розглянуті види моделювання та його роль у дослідженні;
- побудована структурно-логічна схема магістерського дослідження.

РОЗДІЛ 3

ВИБІР ТИПУ ЕЛЕКТРОДВИГУНА ТА КОМПЛЕКТНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

3.1 Аналіз існуючих видів електродвигунів

Електродвигуни бувають змінного та постійного струму, також зустрічається універсальний електродвигун, але він частіше всього використовується у електроінструменті [5,7].

Електродвигун **постійного струму** живиться постійним струмом і відрізняється присутністю щіточно-колекторного вузла.

В даний час широко поширені високомоментні двигуни постійного струму із збудженням від постійних магнітів.

Їх достоїнства, що полягають у гарних регульовальних властивостях, помірних габаритних розмірах, високій швидкодії, невисокій складності живильного перетворювача, забезпечили їхнє широке застосування.

Основним недоліком високомоментних двигунів є наявність тертьового струмоз'ємного щітково-колекторного вузла, що знижує надійність машини. Зміна механічних і електричних властивостей щіткового контакту в процесі експлуатації, і як наслідок порушення процесу комутації. Крім того, за рахунок проникнення часток зносу щіткового контакту між витками зменшується опір ізоляції. Усе це приводить до зниження надійності і працездатності.

Безколекторні двигуни вимагають мінімального обслуговування, що дозволяє установлювати їх на механізми, які працюють у гнучких виробничих системах. Використання цих двигунів у безкорпусному варіанті із шихтованою станиною і "охолоджуваним" ротором дозволяє знизити їхні габаритні розміри і зменшити передачу тепла від електродвигуна на устаткування.

Електродвигун **змінного струму** живиться змінним струмом. Електродвигун змінного струму буває за принципом роботи синхронний та асинхронний.

Синхронний електродвигун – це електродвигун змінного струму, ротор якого обертається синхронно із полем живлячої напруги. Синхронний двигун буває наступних типів.

Типи синхронних двигунів:

- електродвигун з обмотками збудження. Використовуються при потужностях більше 100 кВт;
- синхронний реактивний електродвигун;
- електродвигун із постійними магнітами;
- кроковий електродвигун;
- гібридний синхронний електродвигун із постійними магнітами.

Асинхронний електродвигун - це електродвигун у якому частота обертання ротора не співпадає з частотою обертання поля живлючої напруги. Асинхронний електродвигун отримав найбільше розповсюдження. Асинхронний електродвигун буває однофазним, двофазним, трифазним, багатофазним. Найчастіше у промисловості зустрічаються трифазні асинхронні електродвигуни.

Асинхронний електродвигун - самий розповсюджений трифазний електродвигун загальнопромислового призначення. Його найчастіше можна зустріти із маркуванням АИР, що є аббревіатурою А - асинхронний, И - уніфікована серія інтерелектро, Р - погодження потужностей та установчо-з'єднувальних розмірів згідно до стандарту ГОСТ Р 51689-2000 [2].

Привод скребкового конвеєра призначений для передачі ланцюгу тягового зусилля, повідомлення йому необхідної швидкості й забезпечення режимів пуску й останову. Привод скребкового конвеєра складається з електродвигуна, редуктора, муфти й гальма. До складу привода конвеєра може бути введена гідравлічна або електромагнітна муфта.

Режим роботи конвеєра характеризується:

- тривалою роботою протягом значного проміжку часу, тому що завантаження, транспортування й розвантаження здійснюються без зупинок;
- рідкими пусками й остановами, що пояснюється тривалим режимом;
- сталістю напрямку руху тягового органа конвеєра, що обумовлює застосування неререверсивної схеми керування електродвигуном;

- нерівномірністю навантаження.

Вимоги, які застосовуються до електроприводів конвеєрів:

- регулювання швидкості потрібно в невеликому діапазоні.
- необхідний підвищений пусковий момент через значний за величиною момент тертя спокою щодо моменту тертя руху.

- забезпечення плавності перехідних процесів, обмеження ривка та прискорення, щоб запобігти пробуксовці або розгойдуванню механізму, а також при цьому зменшити динамічні навантаження;

- при роботі з декількома ланцюгами привід повинен забезпечити синхронізацію їх роботи, тобто встановити розрахунковий розподіл тягового зусилля між ланцюгами приводу;

- приводи конвеєрів малої потужності з більшою швидкістю руху повинні забезпечити понижену швидкість 2 м/с для можливості проведення огляду.

Основним видом привода конвеєрів і живильників у цей час служить електропривод змінного струму. Застосування асинхронного короткозамкненого електродвигуна дозволяє ліквідувати колектор, наявний у двигуна постійного струму й щітки - в асинхронного двигуна з фазним ротором, спростити конструкцію, підвищити надійність і зменшити (для однакових потужностей) масо-габаритні показники електропривода.

Електродвигуни перемінного струму простіші у виготовленні і надійніші в експлуатації, чим двигуни постійного струму (ДПС). При раціональній конструкції обертового ротора (малий діаметр і велика довжина) і зниженні його шорсткості шляхом заливання епоксидними смолами (з наступною обробкою) вдається одержати високий ККД двигуна – до 80%.

Параметри двигунів перемінного струму залежать від номінальної частоти живильної напруги. Так, з підвищенням частоти погіршуються електричні показники і ККД, але зате в значній мірі зменшуються їх масогабаритні показники.

Двигуни перемінного струму, а особливо асинхронний з короткозамкнутим ротором, давно стали популярними завдяки простоті у виготовленні й обслуговуванні, надійності і працездатності. Але в регульованих електроприводах вони уступали машинам постійного струму через складність системи керування. В

даний час, завдяки використанню нових схем і спеціальних імпульсних силових напівпровідникових приладів забезпечується зниження вартості і втрат електроенергії (особливо при застосуванні силових приладів). Таким чином, асинхронні машини усе більше витісняють ДПС у регульованих електроприводах.

Завдяки своїм конструктивним особливостям асинхронна машина позбавлена ряду недоліків, властивим машинам постійного струму. Зокрема, відсутність колектора і щіток в асинхронному короткозамкненому двигуні (АД) обумовлює велику граничну одиничну потужність, кращі масо-габаритні показники, більш високу перевантажувальну здатність і припустиму швидкість зміни моменту, більш високі швидкості обертання, ніж машини постійного струму.

Відомо, що переваги АД найбільш повно реалізуються при частотному керуванні, що обумовлює постійне витиснення регульованого електропривода постійного струму частотно-регульованим асинхронним електроприводом у всіх галузях промисловості [5,7].

3.2 Основні вимоги до електроприводів та вибір типу електродвигуна

До промислового електропривода пред'являються наступні вимоги [7,16]:

- висока експлуатаційна надійність, мінімальне технічне обслуговування при мінімумі персоналу, зайнятого ремонтом і налагодженням устаткування;
- можливість оперативного переналагодження (у тому числі автоматизованого) електроустаткування,
- забезпечення автоматизованого контролю функціонування устаткування за рахунок використання систем діагностики, індикації і захисту.

При розробці й створенні електропривода повинні зважуватися питання стандартизації й уніфікації конструкторських елементів, вхідних і вихідних параметрів електроавтоматики, вимірювальних пристроїв і т.п.

Електропривод повинний працювати при живленні від трифазної промислової мережі перемінного струму з лінійною напругою 380 В, частотою 50 Гц.

Складові частини електропривода, що розташовуються в окремих шафах (оболонках), повинні допускати вібрацію з частотою від 1 до 30 Гц, а встановлювані на агрегаті – вібрацію до 60 Гц. Ступінь захисту основних вузлів електропривода, а також шаф – не менш IP54 (у деяких випадках допускається конструкція шаф із ступенем IP23). Ступінь захисту пульта управління – IP44, електродвигуна IP44.

Основними умовами на вибір типу привода для розглянутої установки є:

- широкий діапазон регулювання кутової швидкості двигуна ;
- високі динамічні показники;
- високі показники надійності (довговічність, безвідмовність, ремонтпридатність);
- ступінь захисту двигуна IP44.

При виборі привода необхідно також враховувати, що привод працює в безупинному режимі, а також можливість довгострокової роботи привода на знижених обертах.

У регульованих електроприводах використовуються асинхронні електродвигуни з короткозамкненим чи фазним ротором, синхронні і вентильні електродвигуни.

Загальна запиленість не повинна перевищувати 10 мг/м³. Максимальна висота розміщення – 1000 м над рівнем моря.

В роботі розглядається скребковий конвеєр, в якому застосований асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором серії 4А потужністю 4 кВт.

Враховуючи характеристику даного транспортного засобу по пожежовибухонебезпечності, для подальшого дослідження системи керування електропривода конвеєра вибираємо більш сучасний електродвигун типу АІР зі ступенем захисту IP44.

Для існуючих потужності та частоти обертання з каталогу обираємо електродвигун асинхронний АІР100L4У3, основні технічні дані якого наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 -Технічні характеристики асинхронного електродвигуна [2]

Параметр	Значення
Типорозмір	АИР100L4У3
Потужність електродвигуна P_H , кВт	4
Число пар полюсів	4
Частота обертання поля статора (умовна), об/хв.	1500
Швидкість обертання валу (фактична), об/хв.	1435
Номінальна частота мережі f , Гц	50
Номінальна напруга U , В	380
Струм при 380 В, I_H , А	8,8
Ковзання S_H , %	4,3
Критичне ковзання S_{KP} , %	34,4
ККД %	84,2
Коефіцієнт потужності $\cos \varphi$,	0,82
Кратність пускового моменту, $M_{ПУСК} / M_H$	2,3
Кратність мінімального моменту, M_{MIN} / M_H	1,6
Кратність максимального моменту, M_{MAX} / M_H	2,3
Кратність пускового струму, I_{II} / I_H	7
Момент інерції ротора J_{σ} , кг·м ²	0,013

Електродвигуни серії АИР мають наступні основні характеристики:

- прив'язка потужності й настановних розмірів - ГОСТ Р51689-2000;
- ступінь захисту IP54, IP55 (електродвигун АИР) за ГОСТ17494-87;
- ступінь захисту IP23 (електродвигун АМН) за ГОСТ17494-87;
- ізоляція класу нагрівостійкості F за ГОСТ8865-93;
- кліматичне виконання У2, У3 за ГОСТ15150-69.
- режим роботи S1 за ДСТ183-74.
- спосіб охолодження 1С-0151 за ГОСТ20459-87.
- рівень шуму в режимі холостого ходу - 2 класу за ГОСТ16372-93.

3.3 Аналіз існуючих систем керування двигунами перемінного струму

Вимоги до електропривода скребкового конвеєра. Усі системи електроприводів відрізняються між собою за такими основними показниками: діапазон регулювання швидкості; жорсткість механічної характеристики; плавність регулювання; стійкість електропривода; характер зміни моменту; допустима за умовами нагріву перевантажувальна здатність двигуна та економічність.

Вибір певної системи електропривода визначається зокрема тією чи іншою обставиною, коли потребується регулювання продуктивності конвеєра.

Продуктивність конвеєра можливо регулювати декількома способами:

- зміною частоти обертання приводного двигуна (електричний спосіб);
- за рахунок спеціальних пристроїв, що має сам механізм (направляючі лопатки та інше);
- комбінований спосіб.

Вибір того чи іншого способу визначається такими факторами:

- потребою в відношенні діапазону і економічності регулювання;
- потужністю та конструкцією механізму.

Для підвищення економічності та надійності функціонування системи пропонується регулювати продуктивність конвеєра шляхом зміни частоти обертання приводного двигуна.

При застосуванні електричного способу регулювання з застосуванням сучасної техніки (частотні перетворювачі), значно знижуються втрати електроенергії при регулюванні, оскільки ККД таких перетворювачів становить 0,97-0,98.

У випадку реостатного регулювання частоти обертання асинхронного двигуна з фазним ротором, втрати енергії в роторному колі становлять 15 – 17% номінальної потужності на валу, і регулювання обертів відбувається ступінчасто. В поставленій задачі виникає необхідність регулювати швидкість обертання двигуна, і потрібно постійно підтримувати її сталою для визначеного режиму роботи обладнання. Тому варто застосовувати системи типу ТРН – АД, або ТПЧ –

АД. Не виключено також застосування двигуна постійного струму, але ця схема дещо застаріла. З точки зору сучасних технологій та можливості програмування найбільш прийнятною є схема ПЧ–АД. В нашому випадку можна обирати АД з короткозамкненим ротором.

Одним з ефективних засобів енергозбереження є частотно-регульовані приводи з асинхронними електродвигунами, що підтвердили результати їхнього впровадження на промислових електроприводах: забезпечується економія електроенергії від 20% до 45% у залежності від потужності електропривода і режимів його роботи; покращення якості вихідної продукції, значно менші витрати на ремонт обладнання. Строк окупності системи частотного регулювання швидкості двигуна від 2 до 4 років в залежності від фонду часу роботи конвеєра, термін експлуатації - від 10 до 15 років. При цьому не потрібна заміна існуючих асинхронних електродвигунів, що особливо актуально при реконструкції об'єктів

Застосування частотних перетворювачів дає велику можливість автоматизації технологічних процесів і їхньої оптимізації, а також вирішує проблеми, пов'язані з пуском електродвигунів. Виключаються високі пускові струми електродвигунів і ударні навантаження, притаманні керованим механічним та гідравлічним пристроям.

У приводі з частотним перетворювачем забезпечується надійний захист і електродвигуна, і самого перетворювача. Частотні перетворювачі прості в керуванні, можуть сполучатися з керуючими контролерами, іншими елементами і пристроями автоматики.

Отже, найбільш вигідним для застосування з економічної та технічної точки зору є система електропривода типу ПЧ-АД [5,7].

Частотне керування приводом стало свого роду технічним стандартом. Практично вийшли з використання такі способи регулювання асинхронного привода: зміною числа пар полюсів, введенням додаткових опорів у коло ротора, зміною напруги живлення двигуна тощо.

Таке широке розповсюдження частотно-керований привод отримав завдяки досягненням у області силовій електроніки і мікропроцесорної техніки.

Перетворювач частоти перетворює напругу мережі в напругу на електродвигуні зі змінною амплітудою й частотою. Двигун може працювати з будь-якою частотою обертання, навіть вище синхронної. Його перевантажувальна здатність і максимальний обертаючий момент при роботі з перетворювачем зберігаються. Система керування забезпечує обмін даними й регулювання. Кожний електродвигун має власний регулятор швидкості, щоб при виході з ладу одного інші продовжували працювати. Дійсне значення частоти обертання надходить від датчиків, які встановлюються на двигунах.

Найбільш поширені такі способи регулювання кутової швидкості асинхронного двигуна:

- частотне регулювання;
- частотно-струмове;
- векторне керування.

При **частотному керуванні** замість безпосередньої подачі на двигун стандартної змінної напруги з мережі (одно або трифазної) напруга спочатку проходить процес перетворення. При цьому міняються деякі її ключові параметри, зокрема:

- амплітуда напруги й струму;
- частота напруги й струму;
- кутова різниця між окремими фазами;
- вектор магнітного потоку усередині обмоток ротора й статора.

Процес такого перетворення здійснюється в особливому пристрої, який прийнято коротко називати частотним перетворювачем або перетворювачем частоти (ПЧ).

Принцип скалярного керування частотно-регульованого асинхронного електропривода базується на зміні частоти і поточних значень модулів змінних АД (напруг, магнітних потоків, потокозчеплення і струмів ланцюгів двигуна).

Розрізняють два основних способи частотного керування:

- частотне керування, при якому як керуючі впливи прийняті частоти f_1 і напруги U_1 статора;

- частотне керування, при якому як керуючі впливи прийняті частота f_1 і струм I_1 статора.

Принципова можливість регулювання кутової швидкості асинхронного двигуна зміною частоти живильної напруги впливає з формули

$$\omega = 2 \cdot \pi f_1 (1 - s) / p .$$

При регулюванні частоти також виникає необхідність регулювання амплітуди джерела напруги, що впливає з виразу

$$U_1 \approx E_1 = k \cdot \Phi \cdot f_1 .$$

Якщо при незмінній напрузі змінювати частоту, то потік буде змінюватися зворотно пропорційно частоті. Так, при зменшенні частоти потік зросте і це приведе до насичення сталі ротора машини і як наслідок до різкого збільшення струму і перевищенню температури двигуна; при збільшенні частоти потік буде зменшуватися і як наслідок буде зменшуватися припустимий момент [7].

Для найкращого використання асинхронного двигуна при регулюванні кутової швидкості зміною частоти необхідно регулювати напругу, одночасно у функції частоти і навантаження, що реалізовано тільки в замкнутих системах електропривода.

Основний принцип скалярного керування – зміна частоти і амплітуди напруги живлення за законом: $U / f = const$.

Частотне регулювання кутової швидкості електроприводів змінного струму з двигунами з короткозамкненим ротором знаходить все більше застосування в різних галузях техніки. Наприклад, в установках текстильної промисловості, де за допомогою одного перетворювача частоти, що живить групу асинхронних двигунів, що знаходяться в однакових умовах, плавно і одночасно регулюються їх кутові швидкості. Прикладом іншої установки з частотно-регульованими асинхронними двигунами з короткозамкненим ротором можуть служити транспортні рольганги в металургійній промисловості, деякі конвеєри та ін

Частотне регулювання кутової швидкості асинхронних двигунів широко застосовується в індивідуальних установках, коли потрібне отримання досить

високих кутових швидкостей (для приводу електрошпінделем в металорізальних верстатах з частотою обертання до 20 000 об/хв).

Економічні вигоди частотного регулювання особливо істотні для приводів, що працюють в повторно-короткочасному режимі, де має місце часта зміна напрямку обертання з інтенсивним гальмуванням.

Для здійснення частотного регулювання кутової швидкості знаходять застосування перетворювачі, на виході яких по необхідному співвідношенню або незалежно міняється як частота, так і амплітуда напруги. Перетворювачі частоти можна розділити на електромашинні і вентильні. У свою чергу електромашинні перетворювачі можуть бути виконані з проміжною ланкою постійного струму і безпосереднім зв'язком. В останніх використовують колекторних машину змінного струму, на вхід якої подають змінну напругу з постійною частотою і амплітудою, а на виході її отримують напругу з регульованою частотою і амплітудою.

У замкнених системах частотного керування можуть бути отримані характеристики необхідної якості в діапазоні регулювання 10000 : 1 і більш. Частотне регулювання кутової швидкості є економічним, тому що керування двигуном виробляється при малих ковзаннях. Крім того, у замкнутих системах можна керувати двигуном, досягаючи мінімуму втрат у ньому, чи мінімуму споживаного двигуном струму, чи екстремуму інших енергетичних показників, тому що є можливість регулювати напругу у функції навантаження.

Частотне регулювання кутової швидкості звичайно плавне, безступінчасте. Але воно вимагає застосування складного перетворювача.

Регулювання вихідної частоти і напруги перетворювача асинхронного електропривода здійснюється за допомогою керуючого сигналу, зміна якого визначає зміну частоти обертання асинхронного двигуна [7].

Другий спосіб називається **частотно-струмовим** керуванням. Формування механічних характеристик асинхронних двигунів при частотному керуванні, як і при керуванні двигунами постійного струму, служить задачам забезпечення необхідної перевантажувальної здатності і жорсткості характеристик у всьому діапазоні регулювання швидкості.

Задана перевантажувальна здатність забезпечується шляхом виконання визначених співвідношень між частотою і напругою статора.

Жорсткість механічних характеристик може бути як завгодно високою при використанні зворотних зв'язків по швидкості. І без зворотних зв'язків по швидкості жорсткість механічних характеристик частотно-керованих електроприводів перемінного струму виявляється більш високою, ніж у приводів постійного струму. Ця обставина сприяє застосуванню простих систем керування асинхронними електроприводами, не оснащеними датчиками швидкості і контурами регулювання швидкості.

Система векторного керування. Роздільне керування швидкістю й потокозчепленням асинхронного короткозамкненого електродвигуна можна ефективно робити, використовуючи принцип векторного керування. Координати електропривода, обмірювані в нерухомій системі координат, можуть бути перетворені до обертової системи координат, і з них можуть бути виділені постійні значення, пропорційні складовим векторам в обертовій системі координат. По цих координатах і виконується керування.

Вихідною інформацією для побудови системи векторного керування є інформація про миттєві значення й просторове положення вектору потокозчеплення в повітряному зазорі, миттєвих значеннях струмів або напруг статора й швидкості ротора двигуна. Обертова система координат приймається певним чином орієнтованою щодо вектору потокозчеплення двигуна. Зручні алгоритми керування мають місце при орієнтації координатної системи щодо вектору потокозчеплення ротора.

Недоліком системи векторного керування є складність керуючих і функціональних пристроїв при реалізації перетворення координат і фаз, виконання компенсаційних зв'язків при широкому діапазоні регулювання швидкості й навантаження електропривода.

Переваги систем із частотними перетворювачами (ПЧ):

- енергозбереження. Впровадження системи керування на базі ПЧ замість традиційних систем, реалізованих на релейно-контакторному устаткуванні, дозволяє знизити споживання електроенергії від 1,5 до 2 рази залежно від

номінальної потужності електродвигунів. Поліпшення енергетичних показників електропривода;

- плавний запуск і зупинка електропривода конвеєра. Це забезпечує зменшення ударних навантажень (коливань пускового моменту) при запуску й зупинці, обмеження пускових струмів електродвигунів. Гальмування механізму відбувається електродвигуном. Гальма використовуються тільки для втримання механізму під час стоянки;

- надійність. Повний захист електродвигунів від перевантажень по струму перегріву, обриву фаз і втрати на землю. Збільшення строку використання електроустаткування й механічних частин електропривода (гальм, редукторів, валів і муфт) . Зменшення витрат на технічне обслуговування й ремонт, як електричних так і механічних частин конвеєра.

Проаналізувавши наявні засоби і системи керування швидкістю обертання асинхронного електродвигуна, приходимо до висновку, що для керування електропривода гвинтового конвеєра доцільно використати принцип частотного регулювання із зворотнім зв'язком по швидкості [16].

На основі проведеного аналізу існуючих типів керування двигунів перемінного струму для керування електродвигуном конвеєра вибраний тиристорний перетворювач типу VFD-C.

3.4 Загальна характеристика й основні технічні дані комплектного електропривода серії VFD-C2000

Для реалізації структурної і функціональної схеми скористаємося готовим електроприводом, що серійно випускається, VFD-C2000 [13].

Даний електропривод структурно і функціонально рекомендований для використання асинхронного електродвигуна.

Перетворювачі частоти Delta Electronics серії VFD-C2000 є на сьогодні однією із самих досконалих і перспективних лінійок універсальних частотних перетворювачів для електродвигунів і не мають аналогів у номенклатурі більшості інших іменитих виробників.

Перетворювачі частоти даної серії оснащені широким спектром функцій і режимів керування, що дозволяє їх з успіхом використовувати не тільки як частотні перетворювачі для асинхронних двигунів, але й у якості частотних перетворювачів синхронних двигунів.

Така універсальність роботи перетворювача частоти VFD-C для керування різними типами двигунів і вбудований режим позиціонування дозволяють створювати економічні за ціною системи під різні вимоги до точності переміщення.

У перетворювачі частоти для синхронних і асинхронних двигунів VFD-C2000 були закладені всі самі останні розробки в області частотного регулювання електропривода. Конструкція даної серії частотних перетворювачів ретельно продумана й перелічена за допомогою комп'ютерного моделювання теплових режимів роботи класичних частин частотних перетворювачів, результатом чого став поділ силової і керуючої частин і зниження загального тепловиділення.

Перетворювач частоти Delta VFD-C з векторним керуванням - частотник, розроблений для контролю роботи електродвигунів в устаткуванні де необхідно точне позиціонування момента на валу:

- устаткування для хімічної й деревопереробної промисловості;
- верстатне устаткування;
- піднімально-транспортне встаткування;
- текстильне, компресорне, насосне, вентиляційне та ін. устаткування.

Серія VFD-C використовує Фос-Векторне керування як базову технологію керування двигуном, за рахунок чого досягаються безпрецедентно високі характеристики привода, такі як пусковий момент, точність підтримки швидкості й моменту в широкому діапазоні регулювання.

Відмінні риси перетворювачів частоти VFD-C:

- режими керування швидкістю, моментом, положенням;
- модульний дизайн із великою кількістю плат розширення;
- вбудований ПЛК із Ld-Програмуванням і годинник реального час;
- моделі із двома наборами номінальних даних (для нормального/важкого робочого циклу);
- керування/обмеження моменту в 4-х квадрантах;

- керування стандартними асинхронними двигунами й синхронними сервомоторами в розімкнутому й у замкненому контурі швидкості;

- крім традиційного **Пі-регулятора** в контурі швидкості, в VFD-C використовується Pdf-Керування, яке усуває перерегулювання й поліпшує відгук системи.

Технічні характеристики частотного перетворювача моделі VFD-C для вибраного електродвигуна наведені в таблиці 3.2 [13].

Таблиця 3.2 – Технічні дані перетворювача частоти моделі VFD040C43A/E

Модель VFD040C43A (від 0,75 до 30 кВт)			040
Потужність двигуна, кВт			4
Вихідні хар-ки	Важкий режим	Вих. струм, А	9,5
		Перевантажувальна здатність	150% номінального струму протягом 1 хв., 180% номінального струму протягом 2 сек.
		Вих. частота	300 Гц
		Несуча частота	2~15 кГц
	Нормальний режим	Вих. струм, А	1,5
		Перевантажувальна здатність	120% номінального струму протягом 1 хв., 160% номінального струму протягом 3 сек.
		Вих. частота	600 Гц
		Несуча частота	2~15 кГц
Вхідні хар-ки	Вхідний струм (А) для важкого. режиму		14,5
	Вхідний струм (А) для нормального режиму		15,5
	Номальна напруга/ частота		3-фазна 380В -15%~480В +10% (323~528В змінного струму), 50/60Гц
	Діапазон частоти живлення		47~63Гц
Метод охолодження			Природне

Загальні характеристики частотного перетворювача моделі VFD-C наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Загальні характеристики перетворювача моделі VFD-C

Загальні характеристики керування	
Методи керування	1: U/f, 2: UF+PG, 3: FOC, 4: SVC
V/f характеристика	Що настроюється по 4 точках і квадратична
Характеристики моменту	Важкий режим роботи. Нормальний режим роботи (висока частота ШІМ, навантаження зі змінним моментом): макс. частота ШІМ, залежно від потужності ПЧ, перевантаження 120% протягом 1 хв.
Пусковий момент	Для розімкнутого векторного керування й режиму роботи з постійним моментом (СТ): до 150% або вище на 0.5Гц Для замкненого векторного керування й режиму роботи з постійним моментом (СТ): до 150% на 0Гц протягом 1 хв.
Діапазон регулювання швидкості	1:40 (U/f керування) 1:100 (Розімкнуте векторне керування) 1:1000 (Замкнене векторне керування)
Точність регулювання швидкості	±0.3% (U/f керування) ±0.03% (U/f+PG керування) ±0.2% (Розімкнуте векторне керування) ±0.02% (Замкнене векторне керування)
Смуга пропускання	5Гц (при векторному керуванні до 40Гц)
Обмеження моменту	Макс. 200%
Точність по моменту	±5%
Макс. вих. частота (Гц)	Важкий режим: 0.00~300.00Гц; Нормальний режим: 0.01 ~ 600.00Гц
Точність вих. частоти	Цифрове завдання: ±0.01%, -10°C ...+40°C, Аналогове завдання: ±0.1%, 25±10°C
Дозвіл завдання частоти	Цифрове завдання: 0.01Гц, Аналогове завдання: 0.03 x Макс. вих. частота/60Гц (±11 біт)
Дозвіл вих. частоти	0.01Гц
Перевантажувальна здатність	Важкий режим: 150% номінального струму протягом 1 хв. (не доступний у моделях 400В 220 ... 300 кВт) Нормальний режим: 120% номінального струму протягом 1 хв.

На рисунку 3.1 показана загальна схема перетворювача частоти лінійки VFD- C.

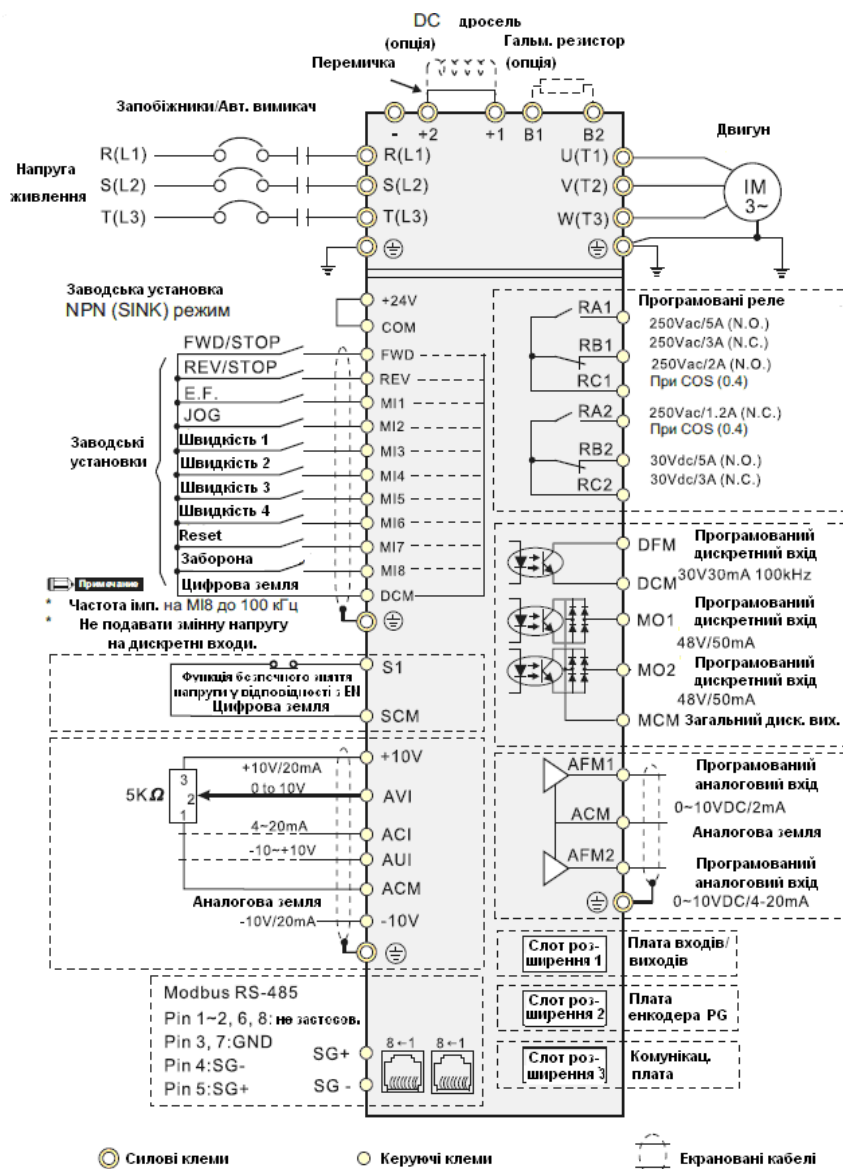


Рисунок 3.1 - Блок-схема перетворювача частоти лінійки VFD-C

3.5 Висновки до розділу 3:

- виконаний аналіз існуючих видів електродвигунів;
- наведені основні вимоги до електроприводів та проведена заміна існуючого електродвигуна більш сучасний електродвигун типу АІР;
- проведений аналіз існуючих систем керування двигунами перемінного струму, розглянуті способи керування швидкістю асинхронного двигуна, вибраний **частотний** спосіб регулювання;
- на основі проведеного аналізу для керування електродвигуном конвеєра вибраний перетворювач типу VFD-C, наведені його технічні дані та характеристики, показана блок-схема перетворювача.

РОЗДІЛ 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ДИНАМІКИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА СКРЕБКОВОГО КОНВЕЄРА

4.1 Розробка функціональної схеми системи керування

Узагальнена функціональна схема замкнутої системи частотного керування наведена на рисунку 4.1 [16].

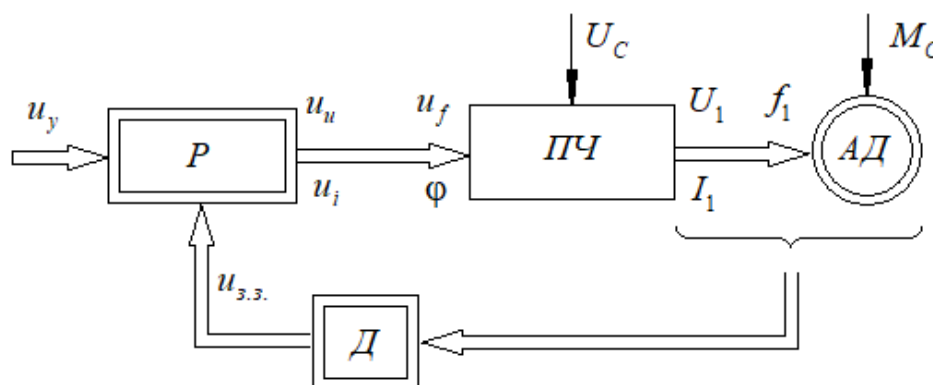


Рисунок 4.1 - Узагальнена функціональна схема замкнутої системи частотного керування

Узагальнена функціональна схема містить керований перетворювач частоти (ПЧ), регулятори P і датчики $Д$ змінних електропривода. Керуючими впливами u_y на вході регуляторів можуть бути сигнали завдання будь-яких координат електропривода - швидкості, кута повороту ротора АД, струму статора, магнітного потоку і т.п. Збурюючими впливами на електропривод можуть бути моменти сил опору M_c на валу АД або коливання напруги живильної електропривод мережі U_c . Вхідними сигналами датчиків є змінні АД, доступні для безпосереднього їх вимірювання (частота, напруга і струм статора, швидкість ротора, магнітний потік в повітряному зазорі АД) або визначені розрахунковим шляхом за допомогою математичної моделі АД (ЕРС, потокозчеплення статора, ротора і т.п.). Вихідні сигнали регуляторів, що залежать від керуючих дій, сигналів зворотних зв'язків $u_{з.з.}$ і прийнятих алгоритмів регулювання, є сигналами керування частотою u_f , вихідною напругою u_u і струмом i_i перетворювача

частоти.

Функціональна схема частотного регулювання зі зворотнім зв'язком по швидкості при живленні від ПЧ, як джерела напруги, наведена на рисунку 4.2.

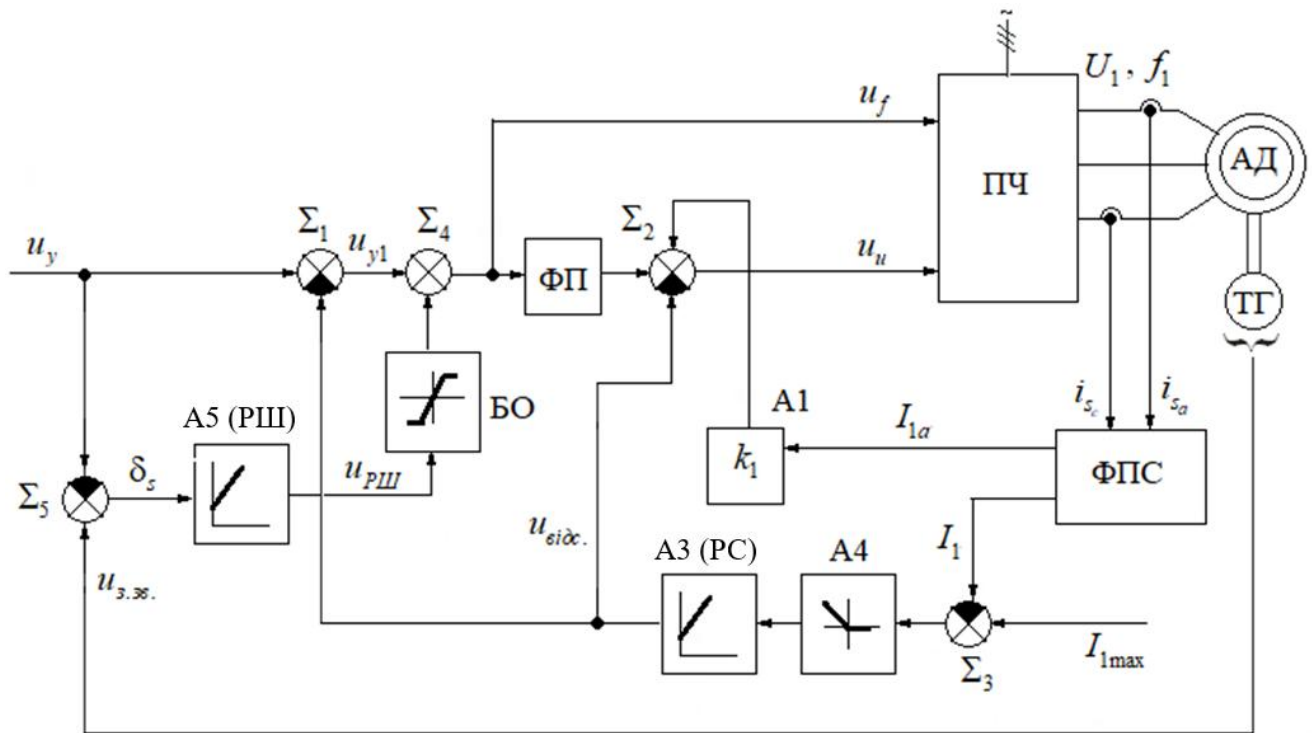


Рисунок 4.2 - Функціональна схема системи частотного регулювання ПЧ -АД зі зворотним зв'язком по швидкості

Тут канал негативного зворотного зв'язку по швидкості включає в себе тахогенератор ТГ, як датчик зворотного зв'язку, вузол Σ_5 підсумовування напруг керування швидкістю АД u_y і зворотного негативного зв'язку за швидкістю $u_{3.3.}$, регулятор абсолютного ковзання АЗ (РС), блок БО обмеження його вихідної напруги $u_{PШ}$, а також вузол Σ_4 підсумовування напруги $u_{PШ}$ і результуючої напруги u_{y1} з виходу суматора Σ_1 .

У міру збільшення навантаження на валу АД (від моменту M_1 до моменту M_2 на рисунку 4.3) за рахунок зменшення швидкості АД і, отже, сигналу $u_{3.3.}$ збільшується сигнал неузгодженості $\delta_s = u_y - u_{3.3.} \equiv \omega_{00} - \omega \equiv s_a$, пропорційний абсолютному ковзанню двигуна. Тут ω_{00} - задана швидкість ідеального холостого ходу АД, відповідна вихідному сигналу управління u_y ; ω - реальна швидкість АД при заданому навантаженні на його валу. При $\delta_s \neq 0$

сигнал $u_{PШ}$ на виході регулятора ковзання, підсумовуючись з сигналом $u_{y1} = u_y$ (при $I_1 < I_{1max}$), за рахунок інтегральної складової передавальної функції регулятора А5 (РШ) забезпечує таке прирощення сигналу керування u_f перетворювачем частоти, при якому частота вихідної напруги ПЧ стає рівною $f_{10}(1 + s_a)$.

Одночасно зі зміною частоти за рахунок функціонального перетворювача ФП змінюється в порівнянні з початковою напругою U_{10} і вихідна напруга перетворювача U_1 (рисунок 4.3, б). При цьому швидкість двигуна відновлюється до заданого значення ω_{00} , тобто забезпечується абсолютна жорсткість механічної характеристики АД (лінія 1 на рисунку 4.3, а).

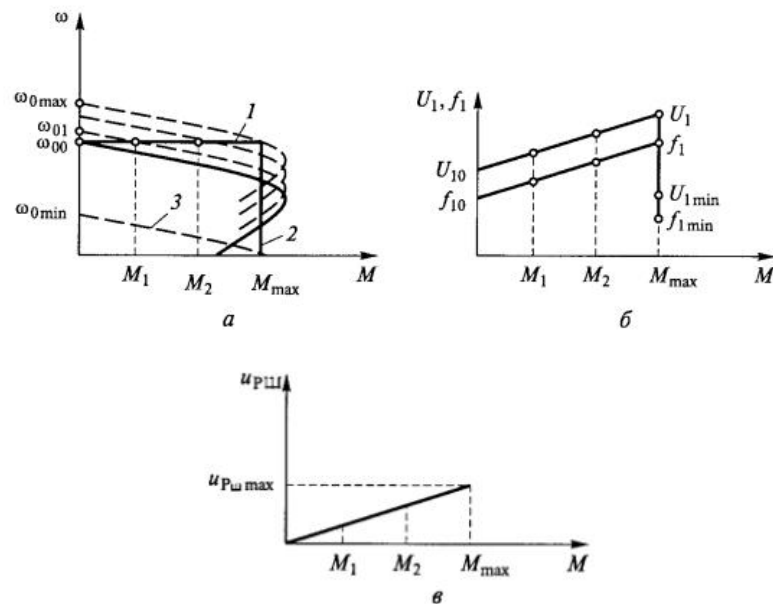


Рисунок 4.3 – Механічні характеристики (а), залежності вихідної напруги і частоти ПЧ (б), напруги регулятора швидкості (в) від моменту в системі ПЧ-АД із зворотним зв'язком за швидкістю

При перевищенні максимально допустимого струму статора АД ($I_1 > I_{1max}$ і відповідно, $M > M_{max}$), регулятор ковзання має бути виключений з роботи, наприклад, шляхом обмеження його вихідного сигналу $u_{PШ}$ на рівні $u_{PШmax}$ (рисунок 4.3, в). Пристрій А4 забезпечує проходження сигналу I_1 на вхід АЗ (РС) лише при його перевищенні на суматорі Σ_3 сигналу I_{1max} , пропорційного діючому значенню максимально допустимого струму статора АД.

При цьому вступають в роботу негативні зворотні зв'язки по струму статора з регулятором А4, забезпечуючи за рахунок одночасного зменшення частоти і напруги статора АД до їх мінімальних значень $f_{1\min}$ і $U_{1\min}$ обмеження моменту АД при $\omega = 0$ на рівні $M_{\max}$ (лінія 2 на рисунку 1.5, а). Мінімальна синхронна швидкість двигуна $\omega_{0\min}$ буде відповідати значенням $f_{1\min}$ і $U_{1\min}$, а механічна характеристика - лінії 3 (рисунок 1.5, а).

Стійкість і динамічні показники якості регулювання швидкості АД визначаються вибором параметрів пропорційної і інтегральної складових передавальних функцій регуляторів А5 (РШ) і А3 (РС) [16].

4.1.1 Розрахунок механічних характеристик електродвигуна та вибір основних елементів системи частотного керування електропривода

Для аналізу процесів в АД звичайно використовують найпростішу схему заміщення з контуром намагнічування X_μ , винесеним на затискачі, побудовану для однієї фази (рисунок 4.4) [11,21].

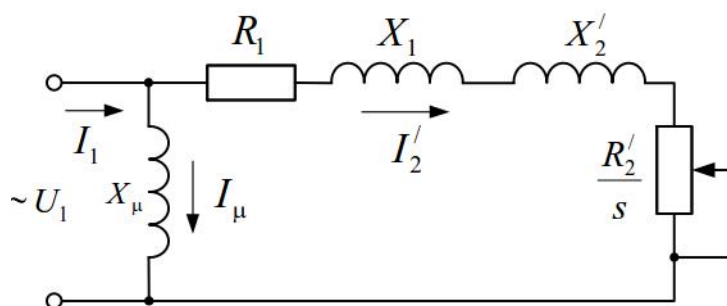


Рисунок 4.4 - Схема заміщення однієї фази АД

У цій схемі:

R_1 , R_2' - первинний (статорний) та вторинний (роторний) приведені активні опори;

X_1 , X_2' - первинний та вторинний приведені індуктивні опори розсіювання;

X_μ - індуктивний опір контуру намагнічування;

I_1 , I_2' , I_μ - відповідно струм статора, приведений струм ротора і струм

намагнічування;

U_1 - діюче значення фазної напруги мережі.

Схема заміщення дозволяє на якісному рівні оцінити вид основних характеристик двигуна, тобто залежностей I_2' і M від ковзання s .

Механічною характеристикою АД називається залежність частоти обертання або ковзання від обертового моменту двигуна $n = f(M)$ чи $s = f(M)$.

Механічна характеристика (МХ) називається **природною**, якщо вона побудована за паспортними даними двигуна. За умови змін напруги живлення двигуна, активного опору ротора чи інших параметрів можна отримати так звані **штучні** характеристики, які різняться від природної [16].

Частота обертання n , при якій АД розвиває максимальний момент $M_{\max}$, називається критичною частотою. Відповідно ковзання, при якому досягається $M_{\max}$, також називається критичним ковзанням $s_{кр}$.

Для побудови механічної характеристики можна скористатися формулою для електромагнітного моменту через параметри схеми заміщення, задавшись значеннями ковзання s [11,21].

$$M = \frac{3U_1^2 R_2'}{\omega_0 s \left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + (X_1 + X_2')^2 \right]}.$$

Ковзання, при якому момент двигуна досягає максимального значення, називається критичним $s_{кр}$ і для природної МХ дорівнює

$$s_{кр} = \pm \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}}.$$

Визначаємо номінальний струм статора I_H , А

$$I_H = \frac{P_H}{m \cdot U_H \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H},$$

де m - кількість фаз, $m = 3$;

U_H - номінальна напруга, $U_H = 220$ В.

$$I_H = \frac{4000}{3 \cdot 220 \cdot 0,82 \cdot 0,842} = 8,8 \text{ А}$$

Базисний опір Z_{ϕ} , Ом,

$$Z_{\phi} = \frac{U_H}{I_H},$$

де I_H – номінальний струм статора, $I_H = 11,1 \text{ А}$.

$$Z_{\phi} = \frac{220}{8,8} = 25 \text{ Ом.}$$

Струм статора двигуна при частковому навантаженні I'_s , А,

$$I'_s = \frac{p' \cdot P_H}{m \cdot U_{\phi} \cdot \eta' \cdot \cos \varphi'},$$

де p' – коефіцієнт завантаження двигуна, приймаємо, $p' = 0,75$;

η' – КПД при частковому завантаженні двигуна, $\eta' = \eta_H = 0,842$;

$\cos \varphi'$ – коефіцієнт потужності при частковому навантаженні двигуна, розраховується з залежності $\cos \varphi_{0,75} / \cos \varphi_H$, що показана на рисунку 4.5.

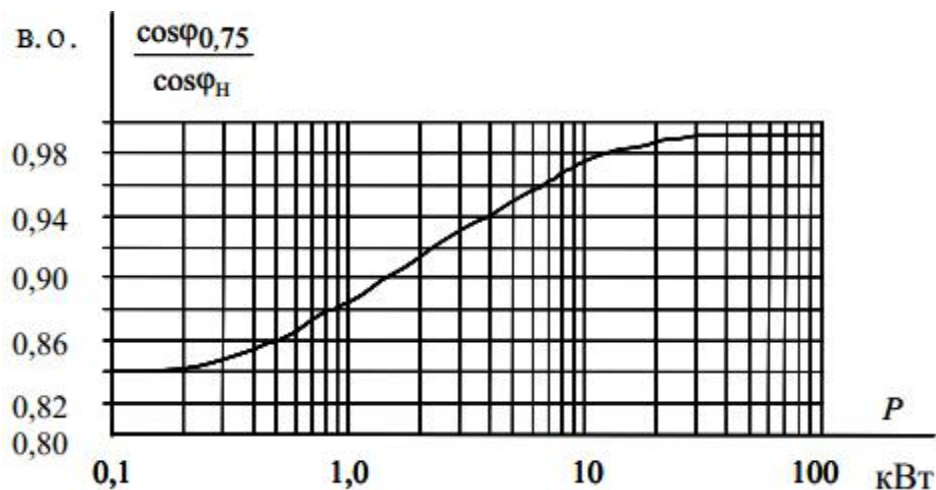


Рисунок 4.5 – Залежність $\cos \varphi_{0,75} / \cos \varphi_H$ від потужності асинхронного двигуна

$$\cos \varphi' = 0,94 \cdot \cos \varphi_H,$$

$$\cos \varphi' = 0,94 \cdot 0,82 = 0,77.$$

Струм статора двигуна при частковому навантаженні I'_s , А

$$I'_s = \frac{0,75 \cdot 4000}{3 \cdot 220 \cdot 0,842 \cdot 0,77} = 7,0 \text{ А.}$$

Струм холостого ходу двигуна I_0 , А,

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_s'^2 - \left(\frac{p' \cdot I_H \cdot (1 - S_H)}{1 - p' \cdot S_H} \right)^2}{1 - \left(\frac{p' \cdot (1 - S_H)}{1 - p' \cdot S_H} \right)^2}}; \quad (4.8)$$

$$I_0 = \sqrt{\frac{7^2 - \left(\frac{0,75 \cdot 8,8 \cdot (1 - 0,046)}{1 - 0,75 \cdot 0,046} \right)^2}{1 - \left(\frac{0,75 \cdot (1 - 0,046)}{1 - 0,75 \cdot 0,046} \right)^2}} = 3,77 \text{ А.}$$

Критичне ковзання двигуна $S_{кр}$,

$$S_{кр} = S_H \cdot \frac{\frac{M_{\max}}{M_H} + \sqrt{\left(\frac{M_{\max}}{M_H} \right)^2 - \left(1 - 2 \cdot S_H \cdot \beta_\delta \cdot \left(\frac{M_{\max}}{M_H} - 1 \right) \right)}}{1 - 2 \cdot S_H \cdot \beta_\delta \cdot \left(\frac{M_{\max}}{M_H} - 1 \right)},$$

де β_δ – коефіцієнт, згідно [29], знаходиться в межах $0,6 \div 2,5$. Приймаємо $\beta_\delta = 1,2$.

$$S_{кр} = 0,046 \cdot \frac{2,3 + \sqrt{2,3^2 - (1 - 2 \cdot 0,046 \cdot 1,2 \cdot (2,3 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,046 \cdot 1,2 \cdot (2,3 - 1)} = 0,28.$$

Визначаємо опір ротора, приведений до обмотки статора асинхронного двигуна R_p , Ом

$$R_p = \frac{A}{\left(\beta + \frac{1}{S_{кр}} \right) \cdot C},$$

де $C = 1 + \frac{I_0}{2k_i I_H}$;

k_i - кратність пускового струму. $k_i = \frac{I_{II}}{I_H} = 7,0$;

$$\beta = 1,5$$

$$C = 1 + \frac{3,77}{2 \cdot 7,5 \cdot 8,8} = 1,028.$$

Коефіцієнт

$$A = \frac{m \cdot U_H^2 \cdot (1 - S_H)}{2 \cdot C \cdot k_{\max} \cdot P_H};$$

$$A = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,046)}{2 \cdot 1,028 \cdot 7 \cdot 4000} = 16,84.$$

Опір ротора

$$R_p = \frac{16,84}{\left(1,5 + \frac{1}{0,28}\right) \cdot 1,028} = 3,23 \text{ Ом.}$$

Активний опір обмотки статора R_{cm} , Ом

$$R_{cm} = C \cdot R_p \cdot \beta,$$

$$R_{cm} = 1,028 \cdot 3,23 \cdot 1,5 = 5 \text{ Ом.}$$

Опір короткого замикання $X_{\kappa 3}$, Ом

$$X_{\kappa 3} = \gamma \cdot C \cdot R_{cm},$$

де $\gamma = \sqrt{\frac{1}{S_{\kappa p}^2} - \beta^2},$

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{0,28^2} - 1,5^2} = 3,24.$$

$$X_{\kappa 3} = 3,24 \cdot 1,028 \cdot 5 = 16,65 \text{ Ом.}$$

Індуктивний опір розсіювання фази роторної обмотки, приведений до статорної X_{pp} , Ом

$$X_{pp} = \frac{0,58 \cdot X_{\kappa 3}}{C},$$

$$X_{pp} = \frac{0,58 \cdot 16,65}{1,028} = 9,4 \text{ Ом.}$$

Індуктивний опір розсіювання фази статорної обмотки X_{pc} , Ом

$$X_{pc} = 0,42 \cdot X_{кз},$$

$$X_{pc} = 0,42 \cdot 16,65 = 7 \text{ Ом.}$$

ЕРС кола намагнічування, що наведена потоком повітряного зазору в обмотці статора у номінальному режимі E_m , В.

$$E_m = \frac{E_{p.n}}{\sqrt{3}} \cdot k_e,$$

де $E_{p.n} = 200 \text{ В};$

k_e - коефіцієнт трансформації напруги, $k_e = 1,84$.

$$E_m = \frac{200}{\sqrt{3}} \cdot 1,84 = 212,5 \text{ В}$$

Тоді індуктивний опір контуру намагнічування X_{mn} , Ом

$$X_{mn} = \frac{E_m}{I_0},$$

$$X_{mn} = \frac{212,5}{3,77} = 56,4 \text{ Ом.}$$

Визначимо частоти ПЧ, що відповідають максимальній та мінімальній швидкостям механізму f , Гц

$$f_1 = \frac{\omega_1 \cdot i_{cm.p} \cdot p}{2 \cdot \pi},$$

де $i_{cm.p}$ - передаточне відношення редуктора, $i_{cm.p} = 10$;

$\omega_1 = 10 \text{ рад/с.}$

$$f_1 = \frac{10 \cdot 10 \cdot 2}{2 \cdot 3,14} = 31,8 \text{ Гц.}$$

для $\omega_2 = 5 \text{ рад/с.}$

$$f_2 = \frac{\omega_2 \cdot i_{cm.p} \cdot p}{2 \cdot \pi}, \quad f_2 = \frac{5 \cdot 10 \cdot 2}{2 \cdot 3,14} = 15,9 \text{ Гц.}$$

для $\omega_3 = 2$ рад/с.

$$f_3 = \frac{\omega_3 \cdot i_{cm.p} \cdot p}{2 \cdot \pi}, \quad f_3 = \frac{2 \cdot 10 \cdot 2}{2 \cdot 3,14} = 6,3 \text{ Гц.}$$

Визначимо коефіцієнти розсіювання для статора, ротора τ_1, τ_2

$$\tau_1 = \frac{X_{pc}}{X_{mn}},$$

де X_{pc} - індуктивний опір розсіювання фази статорної обмотки, $X_{pc} = 8,3$ Ом.

$$\tau_1 = \frac{7}{56,4} = 0,124.$$

$$\tau_2 = \frac{X_{pp}}{X_{mn}},$$

де X_{pp} - Індуктивний опір розсіювання фази роторної обмотки, приведений до статорної, $X_{pp} = 9,4$ Ом.

$$\tau_2 = \frac{9,4}{56,4} = 0,17.$$

Визначимо загальний коефіцієнт розсіювання τ

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_1 \cdot \tau_2,$$

$$\tau = 0,124 + 0,17 + 0,124 \cdot 0,17 = 0,315.$$

Визначимо коефіцієнти, що залежать від параметрів двигуна b_1, c_1, d_1, e_1

$$b_1 = R_{cm} \cdot (1 + \tau_2), \quad b_1 = 5 \cdot (1 + 0,17) = 5,85;$$

$$c_1 = X_{mn} \cdot \tau, \quad c_1 = 56,4 \cdot 0,315 = 17,8;$$

$$d_1 = \frac{R_{cm}}{X_{mn}}, \quad d_1 = \frac{5}{56,4} = 0,088;$$

$$e_1 = 1 + \tau_1, \quad e_1 = 1 + 0,124 = 1,124.$$

Визначаємо відносні напруги статора a_1, a_2, a_3

$$a_1 = \frac{f_1}{f_{мер}},$$

де $f_{мер}$ - частота мережі, $f_{мер} = 50$ Гц,

$$a_1 = \frac{63,7}{50} = 1,27;$$

$$a_2 = \frac{f_2}{f_{\text{мер}}}, \quad a_2 = \frac{31,8}{50} = 0,64;$$

$$a_3 = \frac{f_3}{f_{\text{мер}}}, \quad a_3 = \frac{12,7}{50} = 0,25.$$

Визначаємо відносні напруги на статорі $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$.

$$\gamma_1 = \sqrt{\frac{R_{cm} \cdot a_1 + \sqrt{(b_1^2 + c_1^2 \cdot a_1^2) \cdot (d_1^2 + e_1^2 \cdot a_1^2)}}{R_{cm} + \sqrt{(b_1^2 + c_1^2) \cdot (d_1^2 + e_1^2)}}},$$

$$\gamma_1 = \sqrt{\frac{5 \cdot 1,27 + \sqrt{(5,85^2 + 17,8^2 \cdot 1,27^2) \cdot (0,088^2 + 1,124^2 \cdot 1,27^2)}}{5 + \sqrt{(5,85^2 + 17,8^2) \cdot (0,088^2 + 1,124^2)}}} = 2,4;$$

$$\gamma_2 = \sqrt{\frac{R_{cm} \cdot a_2 + \sqrt{(b_1^2 + c_1^2 \cdot a_2^2) \cdot (d_1^2 + e_1^2 \cdot a_2^2)}}{R_{cm} + \sqrt{(b_1^2 + c_1^2) \cdot (d_1^2 + e_1^2)}}},$$

$$\gamma_2 = \sqrt{\frac{5 \cdot 0,64 + \sqrt{(5,85^2 + 17,8^2 \cdot 0,64^2) \cdot (0,088^2 + 1,124^2 \cdot 0,64^2)}}{5 + \sqrt{(5,85^2 + 17,8^2) \cdot (0,088^2 + 1,124^2)}}} = 1,34;$$

$$\gamma_3 = \sqrt{\frac{R_{cm} \cdot a_3 + \sqrt{(b_1^2 + c_1^2 \cdot a_3^2) \cdot (d_1^2 + e_1^2 \cdot a_3^2)}}{R_{cm} + \sqrt{(b_1^2 + c_1^2) \cdot (d_1^2 + e_1^2)}}},$$

$$\gamma_3 = \sqrt{\frac{5 \cdot 0,25 + \sqrt{(5,85^2 + 17,8^2 \cdot 0,25^2) \cdot (0,088^2 + 1,124^2 \cdot 0,25^2)}}{5 + \sqrt{(5,85^2 + 17,8^2) \cdot (0,088^2 + 1,124^2)}}} = 0,706.$$

Звідси знаходимо критичні моменти $M_{\text{кр}1}, M_{\text{кр}2}, M_{\text{кр}3}$, Н·м

$$M_{\text{кр}1} = \frac{3 \cdot (U_{d \max} \cdot \gamma_1)^2}{2 \cdot \omega \left[R_{cm} \cdot a_1 + \sqrt{(b_1^2 + c_1^2 \cdot a_1^2) \cdot (d_1^2 + e_1^2 \cdot a_1^2)} \right]},$$

де $\omega = 2 \cdot \pi \cdot 50 = 314,16$;

$$M_{\text{кр}1} = \frac{3 \cdot (220 \cdot 2,4)^2}{2 \cdot 314,16 \left[5 \cdot 1,27 + \sqrt{(5,85^2 + 17,8^2 \cdot 1,27^2) \cdot (0,088^2 + 1,124^2 \cdot 1,27^2)} \right]} =$$

$$= 33,6 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{kp2} = \frac{3 \cdot (U_{d \max} \cdot \gamma_2)^2}{2 \cdot \omega \left[R_{cm} \cdot a_2 + \sqrt{(b_1^2 + c_1^2 \cdot a_2^2) \cdot (d_1^2 + e_1^2 \cdot a_2^2)} \right]},$$

$$M_{kp2} = \frac{3 \cdot (220 \cdot 1,34)^2}{2 \cdot 314,16 \left[5 \cdot 0,64 + \sqrt{(5,85^2 + 17,8^2 \cdot 0,64^2) \cdot (0,088^2 + 1,124^2 \cdot 0,64^2)} \right]} =$$

$$= 33,87 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{kp3} = \frac{3 \cdot (U_{d \max} \cdot \gamma_3)^2}{2 \cdot \omega \left[R_{cm} \cdot a_3 + \sqrt{(b_1^2 + c_1^2 \cdot a_3^2) \cdot (d_1^2 + e_1^2 \cdot a_3^2)} \right]}$$

$$M_{kp3} = \frac{3 \cdot (220 \cdot 0,706)^2}{2 \cdot 314,16 \left[5 \cdot 0,25 + \sqrt{(5,85^2 + 17,8^2 \cdot 0,25^2) \cdot (0,145^2 + 1,124^2 \cdot 0,25^2)} \right]} =$$

$$= 33,79 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Знаходимо критичне ковзання s_{kp}

$$s_{kp1} = R_p \cdot \sqrt{\frac{d_1^2 + e_1^2 \cdot a_1^2}{b_1^2 + c_1^2 \cdot a_1^2}},$$

$$s_{kp1} = R_p \sqrt{\frac{0,088^2 + 1,124^2 \cdot 1,27^2}{5,85^2 + 17,8^2 \cdot 1,27^2}} = 0,197;$$

$$s_{kp2} = R_p \cdot \sqrt{\frac{d_1^2 + e_1^2 \cdot a_2^2}{b_1^2 + c_1^2 \cdot a_2^2}},$$

$$s_{kp2} = 3,23 \sqrt{\frac{0,088^2 + 1,124^2 \cdot 0,64^2}{5,85^2 + 17,8^2 \cdot 0,64^2}} = 0,18;$$

$$s_{kp3} = R_p \cdot \sqrt{\frac{d_1^2 + e_1^2 \cdot a_3^2}{b_1^2 + c_1^2 \cdot a_3^2}},$$

$$s_{kp3} = 3,23 \cdot \sqrt{\frac{0,088^2 + 1,124^2 \cdot 0,25^2}{5,85^2 + 17,8^2 \cdot 0,25^2}} = 0,129.$$

$$q_1 = \frac{R_{cm} \cdot a_1}{R_p \cdot (d_1^2 + e_1^2 \cdot a_1^2)},$$

$$q_1 = \frac{5 \cdot 1,27}{3,2 \cdot (0,088^2 + 1,124^2 \cdot 1,27^2)} = 0,97;$$

$$q_2 = \frac{R_{cm} \cdot a_2}{R_p \cdot (d_1^2 + e_1^2 \cdot a_2^2)},$$

$$q_2 = \frac{5 \cdot 0,64}{3,2 \cdot (0,088^2 + 1,124^2 \cdot 0,64^2)} = 1,96;$$

$$q_3 = \frac{R_{cm} \cdot a_3}{R_p \cdot (d_1^2 + e_1^2 \cdot a_3^2)}$$

$$q_3 = \frac{5 \cdot 0,25}{3,2 \cdot (0,088^2 + 1,124^2 \cdot 0,25^2)} = 4,54.$$

За допомогою розгорнутої формули Клосса знаходимо моменти електродвигуна для побудови механічних характеристик

$$M_{s1}(s_t) = \frac{2 \cdot M_{kp1} \cdot (1 + q_1 \cdot s_{k1})}{\frac{s_t}{s_{k1}} + \frac{s_{k1}}{s_t} + 2 \cdot q_1 \cdot s_{k1}},$$

де s_t - табличне значення ковзання для розрахунків, $s_t = 0,0001$ до $0,9995$.

$$M_{s2}(s_t) = \frac{2 \cdot M_{kp2} \cdot (1 + q_2 \cdot s_{k2})}{\frac{s_t}{s_{k2}} + \frac{s_{k2}}{s_t} + 2 \cdot q_2 \cdot s_{k2}},$$

$$M_{s3}(s_t) = \frac{2 \cdot M_{kp3} \cdot (1 + q_3 \cdot s_{k3})}{\frac{s_t}{s_{k3}} + \frac{s_{k3}}{s_t} + 2 \cdot q_3 \cdot s_{k3}}.$$

Визначимо частоти обертання для побудови механічних характеристик $\omega_{s1}(s_t)$, $\omega_{s2}(s_t)$, $\omega_{s3}(s_t)$, рад/с

$$\omega_{s1}(s_t) = \omega_1 \cdot (1 - s_t),$$

$$\omega_{s1}(s_t) = 10 \cdot (1 - s_t);$$

$$\omega_{s2}(s_t) = \omega_2 \cdot (1 - s_t),$$

$$\omega_{s2}(s_t) = 5 \cdot (1 - s_t)$$

$$\omega_{s3}(s_t) = \omega_3 \cdot (1 - s_t),$$

$$\omega_{s3}(s_t) = 2 \cdot (1 - s_t).$$

На рисунку 2.1 представлені результати обчислення механічних характеристик електродвигуна.

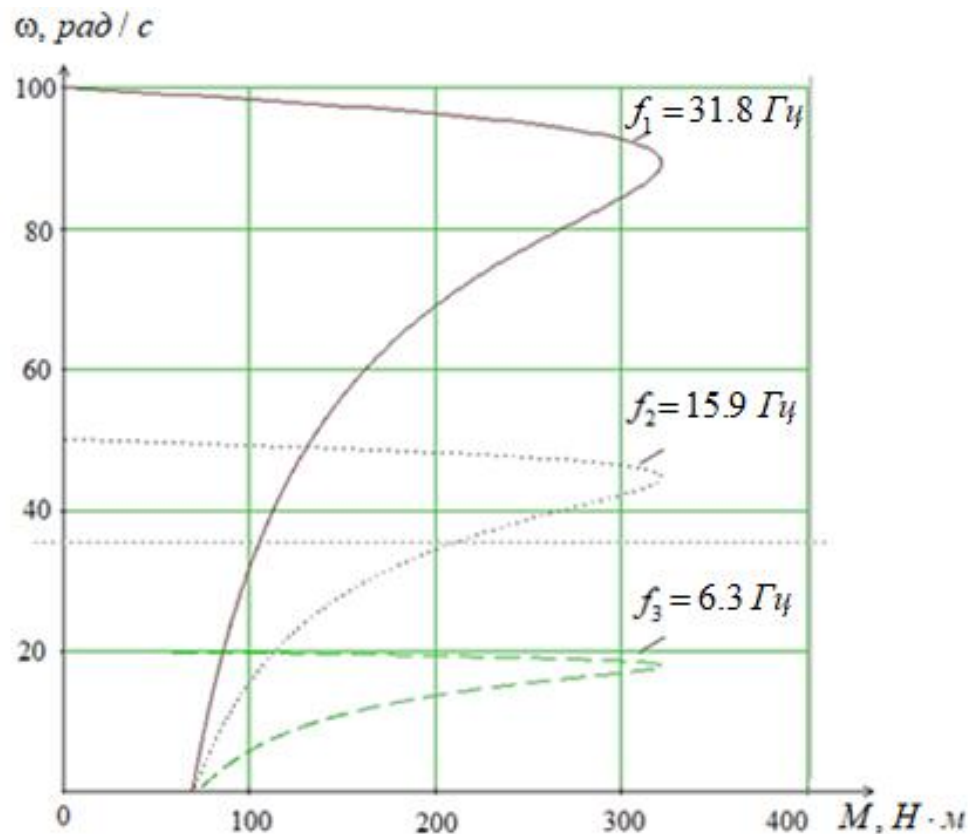


Рисунок 4.6 – Механічні характеристики електродвигуна

4.2 Визначення параметрів регуляторів системи керування електропривода

4.2.1 Структурна схема електропривода з частотним керуванням

При розробці математичної моделі електропривода використано декілька допущень [5,17]:

- частотний перетворювач, який працює у замкнутій системі керування по швидкості, здатен виконувати плавне регулювання частоти струму двигуна таким чином, що двигун працює на практично лінійній частині характеристики (момент опору від 0 до номінального і ковзання від 0 до номінального);
- вважаємо, що датчик швидкості має дуже малу інерційність, яку можна не

брати до розрахунків.

Складаємо структурну схему для подальшого моделювання, виходячи з припущень, що система керування з частотним перетворювачем у складі замкненої системи керування відповідає по структурі двоконтурній системі підлеглого керування із внутрішнім контуром струму та зовнішнім контуром швидкості.

У відповідності з функціональною схемою (рисунок 4.2) складена структурна схема такого привода (рисунок 4.7) зі спрощеною математичною моделлю електродвигуна.

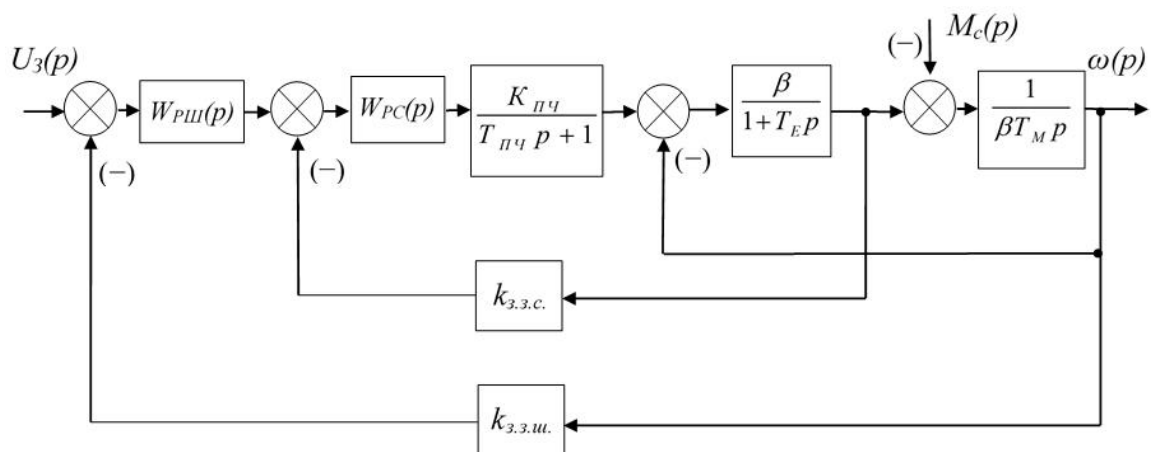


Рисунок 4.7 – Структурна схема електропривода зі спрощеною математичною моделлю електродвигуна

Розглянемо докладніше структурну схему зображену на рисунку 4.7.

На схемі прийняті наступні позначення:

$W_{рш}(p)$ – передатна функція регулятора швидкості;

$W_{рс}(p)$ – передатна функція регулятора струму;

β – модуль жорсткості лінеаризованої механічної характеристики;

T_E – еквівалентна електромагнітна постійна часу кіл статора та ротора АД;

T_M – електромеханічна постійна часу асинхронного двигуна;

$k_{пч}$ – передатний коефіцієнт перетворювача частоти; $k_{пч} = 50$;

$T_{пч}$ – постійна часу кола керування ЧП, яка при високих частотах модуляції вихідної напруги промислових ЧП (2...50 кГц) не перевищує 0,005с. $T_{пч} = 0,005$ с.

Зворотні зв'язки за струмом та швидкістю виконаємо за допомогою пропорційних ланок з коефіцієнтами $k_{3.3.с}$ і $k_{3.3.ш}$ відповідно.

Регулятори швидкості і струму приймаємо як пропорційно-інтегральні ланки з коефіцієнтом передачі k_{PI} і k_{PC} та постійними часу T_{PI} і T_{PC} відповідно.

Коефіцієнти підсилення регуляторів k_{PC} і k_{PI} , що відповідають датчикам струму і швидкості, вважаємо рівними 10.

Для первинних розрахунків приймаємо, що величина постійної часу регулятора швидкості T_{PI} дорівнює величині постійної часу двигуна T_M , а регулятора струму T_{PC} – постійній часу частотного перетворювача $T_{ПЧ}$.

Передатна функція ПІ-регулятора швидкості

$$W_{PI}(p) = k_{PI} + \frac{1}{T_{PI} \cdot p};$$

Передатна функція ланцюга зворотного зв'язку за швидкістю двигуна:

$$W_{3.3.ш}(p) = \frac{\Delta u_{3.3.ш}}{\Delta \omega} = k_{3.3.ш}.$$

Передатна функція ПІ-регулятора струму

$$W_{PC}(p) = \frac{\Delta u_{PC}}{\Delta u_K} = k_{PC} + \frac{1}{T_{PC} p}.$$

Передатна функція ланцюга зворотного зв'язку за струмом двигуна

$$W_{3.3.C}(p) = \frac{\Delta u_{3.3.C}}{\Delta M} = k_{3.3.C}.$$

Передатна функція перетворювача частоти разом з випрямлячем $W_{ПЧ}(p)$,

$$W_{ПЧ}(p) = \frac{f_c}{T_{ПЧ} \cdot p + 1},$$

$$W_{ПЧ}(p) = \frac{50}{0,005 \cdot p + 1}.$$

Структурна схема з наведеними передатними функціями регуляторів зображена на рисунку 4.8.

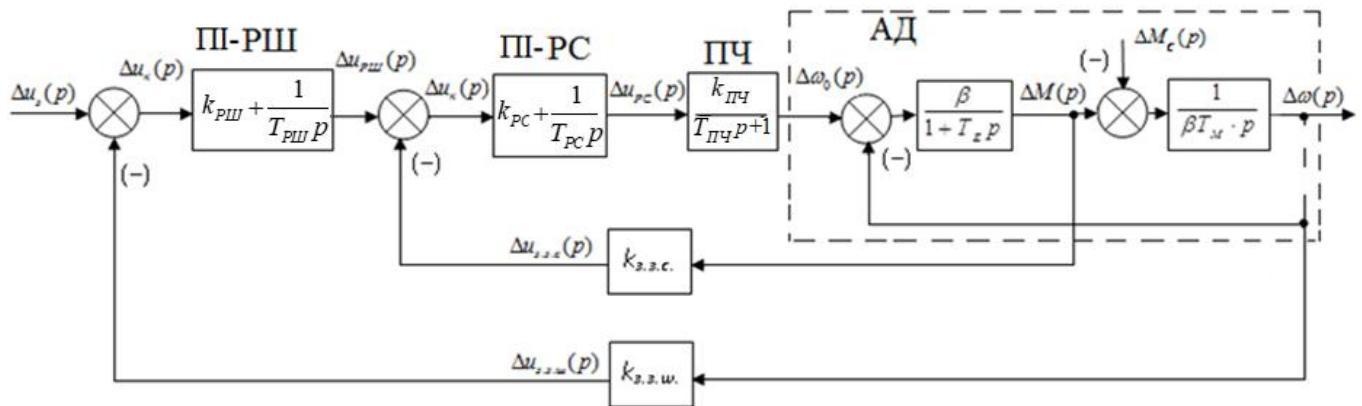


Рисунок 4.8 – Структурна схема електропривода

У відповідності зі структурною схемою передатна функція асинхронного двигуна

$$W_{AD}(p) = \frac{\beta}{T_E \cdot p + 1} \cdot \frac{1}{\beta \cdot T_M \cdot p},$$

де T_E – електромагнітна постійна часу асинхронного двигуна, с;

T_M – електромеханічна постійна часу двигуна.

Для того, щоб змодельовати систему керування електропривода, приймаємо нелінійну характеристику АД у вигляді лінійної залежності, прийнявши наступні допущення:

- навантаження має стрибкоподібний характер свого зміни (накид і скидання статичного моменту навантаження);

- значення збурення не перевищує максимального моменту, що розвивається двигуном, тобто до і після збурення асинхронний двигун працює на стійкій частині своєї механічної характеристики.

Так як двигун працює спільно з перетворювачем частоти, то робота відбувається на стійкій частині механічної характеристики, яка описується наступним виразом

$$\frac{M_H}{2 \cdot M_{\max} \cdot \omega_c} \cdot p + \frac{S_{кр} \cdot M_H}{2 \cdot M_{\max}} = S_H.$$

Напишемо рівняння в такому вигляді

$$\frac{J_{\Sigma} \cdot \omega_c \cdot S_H}{Z_p} \cdot p + M_H = M_{CT}.$$

Ці рівняння спільно складають систему, що описує поведінку асинхронного двигуна в перехідних процесах з урахуванням електромагнітних явищ. Якщо прийняти, що до стрибка навантаження двигун працював в сталому режимі, то цю точку можна покласти точкою з нульовими початковими умовами для подальшого перехідного процесу. Після відповідних перетворень, розглянута система прийме вигляд:

$$(T_E \cdot T_M \cdot p^2 + T_M \cdot p + 1) \cdot M_H = M_{CT},$$

$$\frac{S_{kp}}{2 \cdot M_{\max}} \cdot (T_E \cdot p + 1) \cdot M_H = S_H.$$

З цих рівнянь можна отримати передатну функцію розглянутої системи електропривода. Вхідною величиною тут є статичний момент опору M_{CT} , а вихідною – значення кутової швидкості і моменту двигуна. Передатна функція по ковзанню має вигляд

$$W_s(p) = \frac{S_{kp}}{2 \cdot M_{\max}} \cdot \frac{T_E \cdot p + 1}{T_E \cdot T_M \cdot p^2 + T_M \cdot p + 1}.$$

4.2.2 Формування та розрахунок параметрів елементів структурної схеми

Визначення параметрів здійснюється за допомогою перехідних характеристик.

Параметри двигуна АИР100L4У3 для розрахунку перехідних процесів наведені в таблиці 4.1 [2].

Таблиця 4.1 - Вихідні дані для розрахунку

Параметр	Значення
Тип	АИР100L4УЗ
Потужність P_H , кВт	4
Синхронна частота обертання n , об./хв.	1500
Число пар полюсів p_n	4
Швидкість обертання валу $n_{\text{дв}}$, об./хв.	1435
ККД, %	84,2
Коефіцієнт потужності, $\cos\varphi$	0,82
Ковзання S_H , %	4,7
Струм I_H , А (при $U = 380$ кВт)	8,8
Кратність пускового струму I_n / I_H	7
Кратність максимального моменту M_{max} / M_H	2,3
Кратність пускового моменту M_n / M_H	2,3
Момент інерції, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$	0,013
Маса, кг	30

Для розрахунку параметрів структурної схеми необхідно попередньо визначити відсутні параметри двигуна, технічні данні якого наведені в таблиці 4.1 [2,7].

Номінальна кутова швидкість холстого ходу електродвигуна $\omega_{\text{дв}}$, с^{-1} ,

$$\omega_{\text{дв}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{дв}}}{30}; \quad \omega_{\text{дв}} = \frac{3,14 \cdot 1435}{30} = 150,2 \text{ рад/с}$$

Момент на валу двигуна M_n , $\text{Н} \cdot \text{м}$,

$$M_{\text{дв}} = \frac{P_H}{\omega_{\text{дв}}}; \quad M_{\text{дв}} = \frac{4000}{150,2} = 26,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Кутова швидкість обертання електромагнітного поля статора АД (синхронна частота) ω_c , рад/с,

$$\omega_c = 2 \cdot \pi \cdot f_c,$$

$$\omega_c = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314,16 \text{ рад/с}.$$

Номінальна кутова швидкість ротора двигуна ω_H , рад/с,

$$\omega_H = \frac{\omega_c \cdot (1 - s_H)}{p_n},$$

де p_n - число пар полюсів;

s_H - номінальне ковзання.

$$\omega_H = \frac{314,16(1 - 0,047)}{4} = 74,9 \text{ рад/с}.$$

Номінальний момент двигуна M_H , Н·м,

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H}, \quad M_H = \frac{4000}{74,9} = 53,4 \text{ Н·м}.$$

Пусковий момент двигуна M_{II} , Н·м,

$$M_{II} = \frac{M_{II}}{M_H} \cdot M_H,$$

$$M_{II} = 2,3 \cdot 53,4 = 122,8 \text{ Н·м}.$$

Максимальний момент двигуна $M_{\max}$, Н·м,

$$M_{\max} = \frac{M_{\max}}{M_H} \cdot M_H,$$

$$M_{\max} = 2,3 \cdot 53,4 = 122,8 \text{ Н·м}.$$

Номінальна фазна напруга двигуна U_ϕ , В,

$$U_\phi = \frac{U_H}{\sqrt{3}},$$

$$U_\phi = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В}.$$

Номінальний струм статора $I_H = 11,7 \text{ А}$ (таблиця 4.1),

Модуль жорсткості механічної характеристики АД $\beta, \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{с}^{-1}},$

$$\beta = \frac{M_H}{\omega_H \cdot S_H}, \quad \beta = \frac{53,4}{74,9 \cdot 0,046} = 15,5 \frac{H \cdot m}{c^{-1}}.$$

Еквівалентна електромагнітна постійна часу ланок статора і ротора T_E , с,

$$T_E = \frac{1}{\omega_c \cdot S_{кр}},$$

де $S_{кр}$ - критичне ковзання (розрахунок п.4.1.1), $S_{кр} = 0,28$.

$$T_E = \frac{1}{314,16 \cdot 0,28} = 0,011 \text{ с.}$$

Сумарний момент інерції електропривода J_Σ , кг·м²,

$$J_\Sigma = J_H + 0,6 \cdot J_H,$$

$$J_\Sigma = 0,013 + 0,6 \cdot 0,013 = 0,02 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Електромеханічна постійна часу двигуна T_M , с,

$$T_M = \frac{J_\Sigma}{\beta},$$

$$T_M = \frac{0,02}{15,5} = 0,001 \text{ с.}$$

Коефіцієнт передачі зворотного зв'язку за швидкістю $k_{3.3.ш}$, В·с,

$$k_{3.3.ш} = \frac{u_{3.3.ш.ном}}{\omega_H},$$

де $u_{3.3.ш.ном}$ – напруга зворотного зв'язку за швидкістю, $u_{3.3.ш.ном} = 10 \text{ В}$.

$$k_{3.3.ш} = \frac{10}{74,9} = 0,133 \text{ В} \cdot \text{с}.$$

Коефіцієнт передачі зворотного зв'язку за струмом $k_{3.3.с}$, $\frac{B \cdot A}{H \cdot m}$.

$$k_{3.3.с} = \frac{u_{3.3.с.ном}}{M_H / I_H}, \quad (4.33)$$

де $u_{3.3.с.ном}$ – напруга зворотного зв'язку за швидкістю, $u_{3.3.с.ном} = 10 \text{ В}$.

$$k_{3.3.c} = \frac{10}{53,4 / 8,8} = 1,16 \frac{B \cdot A}{H \cdot M}.$$

Коефіцієнт підсилення частотного перетворювача приймаємо $k_{ПЧ} = 50$.

Для первинних розрахунків приймаємо:

$$T_{PII} = T_M = 0,001,$$

$$k_{PII} = k_{PC} = 10;$$

$$T_{PC} = T_{ПЧ} = 0,005.$$

Передатна функція регулятора швидкості $W_{PII}(p)$

$$W_{PII}(p) = k_{PII} + \frac{1}{T_{PII} p},$$

$$W_{PII}(p) = 10 + \frac{1}{0,001 \cdot p}.$$

Передатна функція регулятора струму $W_{PC}(p)$

$$W_{PC}(p) = k_{PC} + \frac{1}{T_{PC} \cdot p},$$

$$W_{PC}(p) = 10 + \frac{1}{0,005 \cdot p}.$$

Передатна функція фільтра на вході в систему

$$W_{\phi}(p) = \frac{1}{3 \cdot T_{PII} \cdot p + 1}, \quad W_{\phi}(p) = \frac{1}{3 \cdot 0,001 \cdot p + 1} = \frac{1}{0,003 \cdot p + 1}.$$

4.3 Аналіз динамічних властивостей системи керування електропривода скребкового конвеєра

Сформована структурна схема обраного електропривода є основою для побудови динамічної структурної схеми системи керування.

Початкові дані для розрахунку перехідних процесів зведено у таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 - Початкові дані для розрахунку перехідних процесів системи

Параметр	Одиниці виміру	Значення
Модуль жорсткості лінеаризованої механічної характеристики	$\frac{H \cdot m}{c^{-1}}$	$\beta = 15,5$
Електромагнітна постійна часу	с	$T_E = 0,011$
Електромеханічна постійна часу	с	$T_M = 0,001$
Постійна часу регулятора швидкості	с	$T_{PII} = T_M = 0,001$
Постійна часу регулятора струму	с	$T_{PC} = T_{ПЧ} = 0,005$
Постійна часу перетворювача	с	$T_{ПЧ} = 0,005$
Коефіцієнт підсилення (передачі) перетворювача	-	$k_{ПЧ} = 50$
Коефіцієнт підсилення регулятора швидкості	-	$k_{PII} = 10$
Коефіцієнт передачі зворотного зв'язку швидкістю	В·с	$k_{з.з.ш} = 0,133$
Коефіцієнт підсилення регулятора швидкості		$k_{PC} = 10$
Коефіцієнт передачі зворотного зв'язку за струмом	$\frac{B \cdot A}{H \cdot m}$	$k_{з.з.с} = 1,16$

Передатні функції ланок.

Електромагнітної частини двигуна

$$W_{e.дв}(p) = \frac{\beta}{T_E \cdot p + 1}$$

$$W_{м.дв}(p) = \frac{15,5}{0,011 \cdot p + 1}$$

Електромеханічної частини двигуна

$$W_{м.дв}(p) = \frac{1}{\beta \cdot T_M \cdot p}$$

$$W_{м.дв}(p) = \frac{1}{15,5 \cdot 0,001 \cdot p} = \frac{1}{0,0155p}$$

Перетворювача частоти

$$W_{ПЧ}(p) = \frac{f_c}{T_{ПЧ} \cdot p + 1}$$

$$W_{ПЧ}(p) = \frac{50}{0,005 \cdot p + 1}$$

Регулятора струму

$$W_{PC}(p) = k_{PC} + \frac{1}{T_{PC} \cdot p}$$

$$W_{PC}(p) = 10 + \frac{1}{0,005 \cdot p}$$

Регулятора швидкості

$$W_{PII}(p) = k_{PII} + \frac{1}{T_{PII} p}$$

$$W_{PII}(p) = 10 + \frac{1}{0,001 \cdot p}$$

Фільтра на вході системи керування

$$W_{\phi}(p) = \frac{1}{3 \cdot T_{PII} \cdot p + 1}$$

$$W_{\phi}(p) = \frac{1}{3 \cdot 0,001 \cdot p + 1} = \frac{1}{0,003 \cdot p + 1}$$

Коефіцієнт передачі зворотного зв'язку

за струмом

$$W_{ззс}(p) = k_{ззс}$$

$$k_{з.з.с} = 1,16$$

Коефіцієнт передачі зворотного зв'язку

за швидкістю

$$W_{ззш}(p) = k_{з.з.ш}$$

$$k_{з.з.ш} = 0,133$$

При дослідженні динамічних характеристик системи керування прийнято, що статичний момент, що прикладений до валу двигуна, у момент часу $t = 1,5$ с складає:

$$M_{CT} = 30\% \cdot M_H;$$

$$M_{CT} = 0,30 \cdot 53,4 = 16 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Після розрахунків усіх величин, що входять у структурну схему (рисунок 4.8), були розроблені структурні схеми динамічних моделей системи. Моделі системи побудовані в математичній програмі Simulink пакету Matlab [6].

Дослідження і порівняння характеру перехідних процесів системи керування виконується зі зміною законів регулювання з метою отримання заданих показників якості перехідних процесів.

Для цього проведена заміна ПІ-регулятора швидкості на П-регулятор швидкості, а також розглянутий варіант встановлення фільтра на вхід системи керування з ПІ-регулятором швидкості.

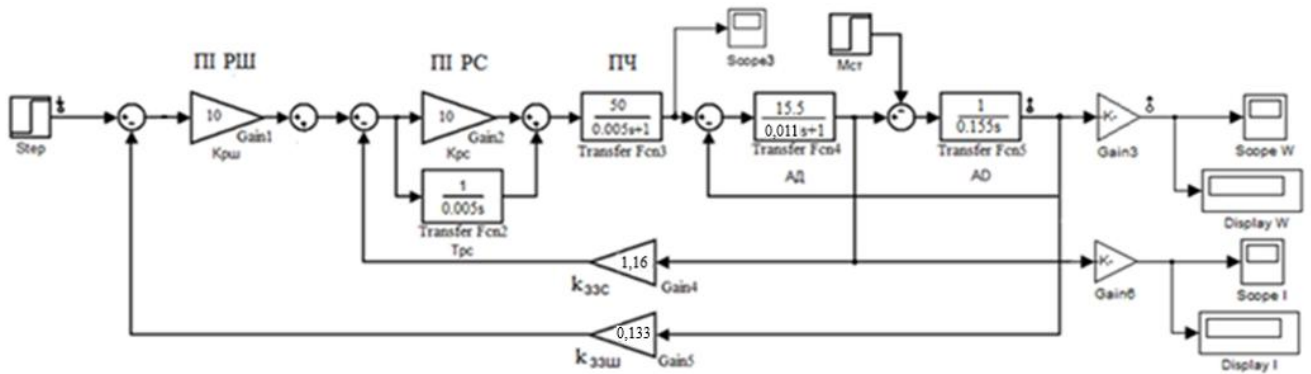


Рисунок 4.10 - Розрахункова динамічна модель системи керування з П-регулятором швидкості

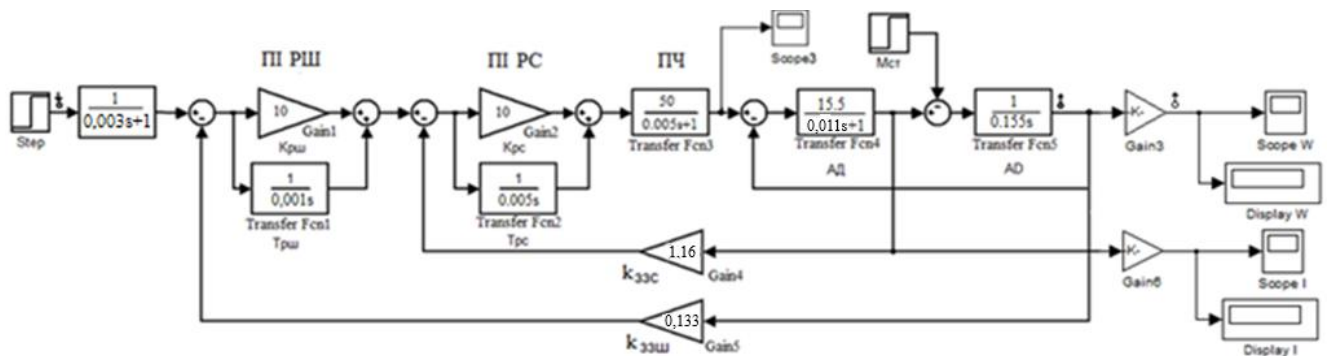


Рисунок 4.11 - Розрахункова динамічна модель системи керування з ПІ-регулятором швидкості та фільтром на вході в систему

На рисунку 4.12 показаний перехідний процес на виході контуру швидкості.

На рисунку 4.13 показаний перехідний процес на виході контуру струму.

На рисунку 4.14 показаний перехідний процес по напрузі на виході ТП.

На кожному рисунку представлені графіки для трьох моделей систем:

- з ПІ-регулятором,
- з П-регулятором,
- з ПІ-регулятором і фільтром на вході.

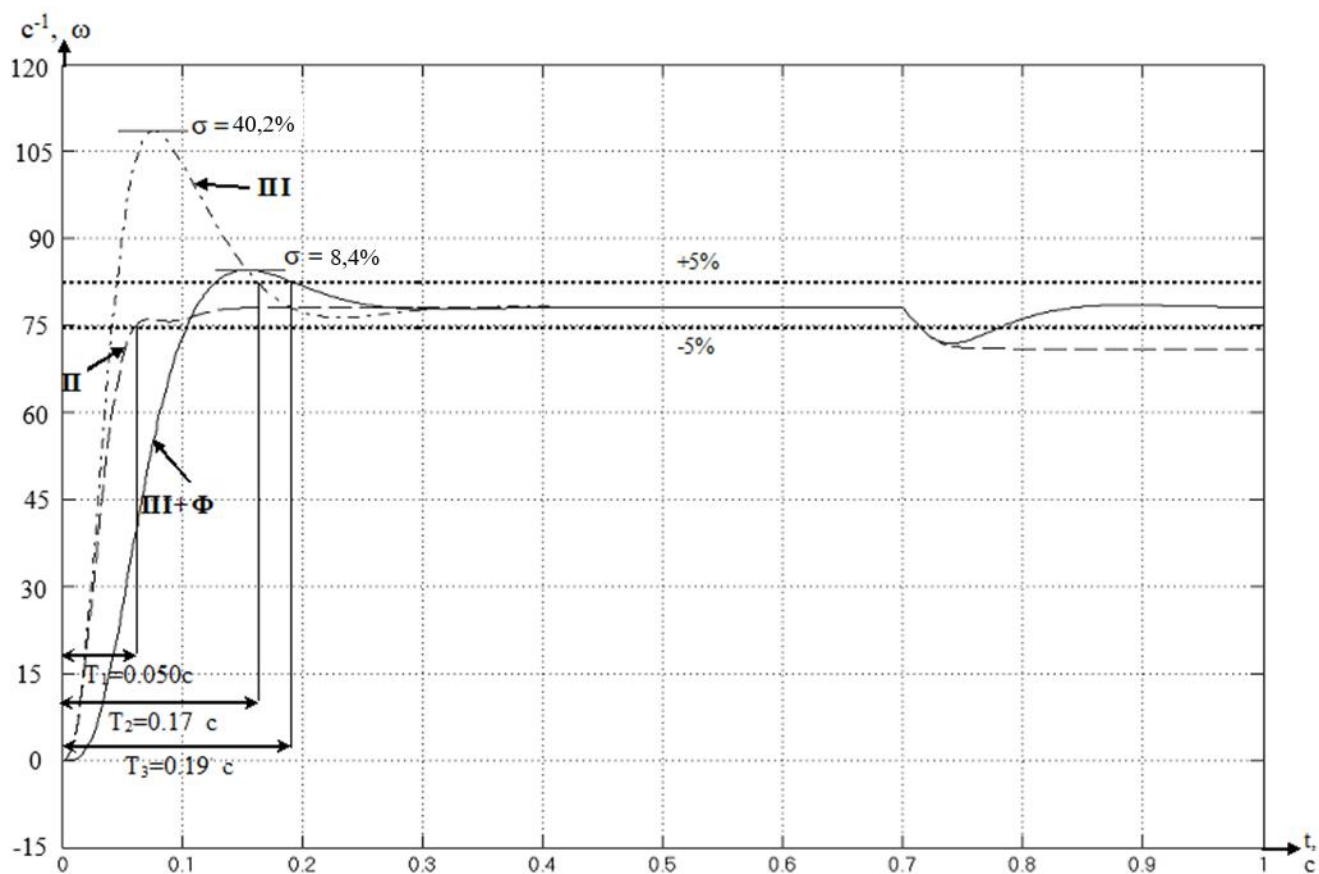


Рисунок 4.12 - Перехідні процеси на виході контуру швидкості

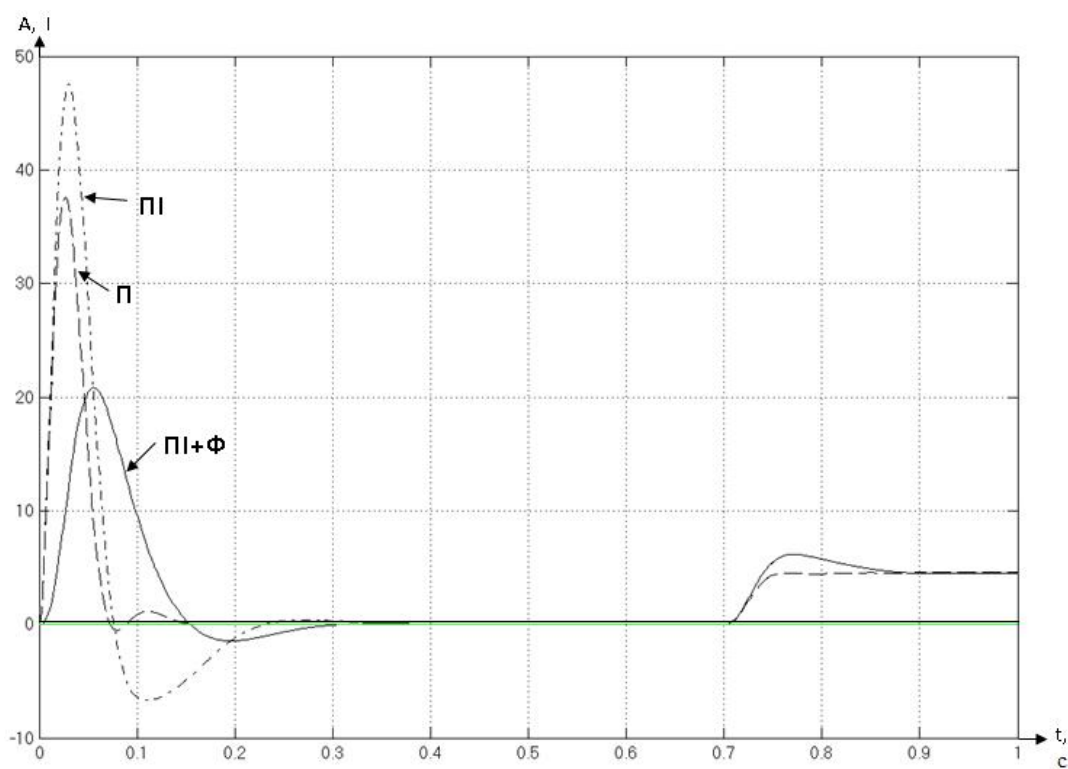


Рисунок 4.13 - Перехідні процеси на виході контуру струму

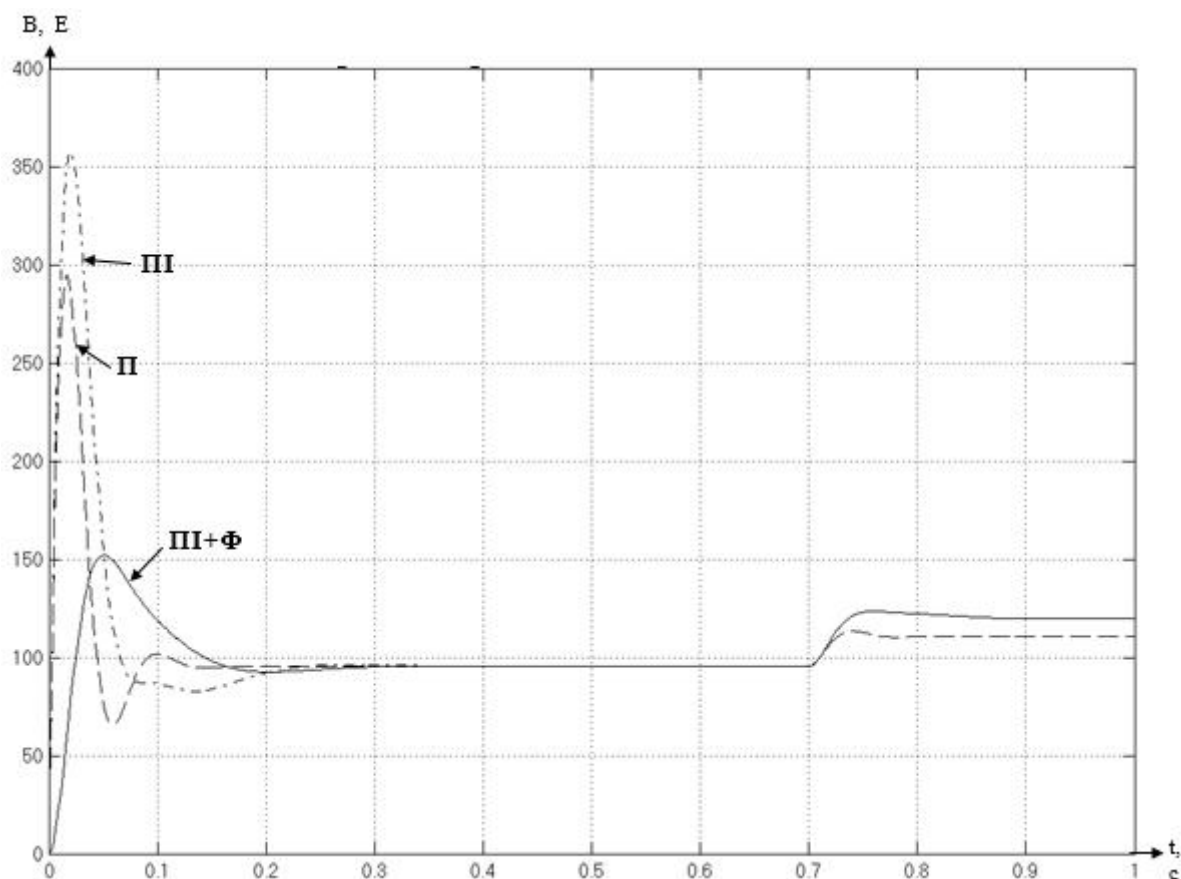


Рисунок 4.14 - Перехідний процес по напрузі на виході ТП

Основні показники якості регулювання зведені в таблицю 4.3.

Таблиця 4.3 - Основні показники якості регулювання

Тип регулятора	$h_{уст}, c^{-1}$	h_{max}, c^{-1}	$\sigma, \%$	T_{max}, c	$\varepsilon_{ст}, \%$	N
ПІ-регулятор	77	112	40,2	0,17	0	
П-регулятор	77	78	0	0,05	3	
ПІ-регулятор з фільтром на вході	77	84	8,4	0,19	0	

При застосуванні пропорційно-інтегрального закону регулювання швидкості (ПІ-регулятор) перегулювання склало $\sigma_{ПІ} = 40,2 \%$, що є більшим допустимої величини 30 %, та час перехідного процесу $T_{ПІ} = 0,168c$;

При застосуванні пропорційного закону регулювання швидкості (П-регулятор), перерегулювання відсутнє, час перехідного процесу зменшився до $T_{П} = 0,05 c$, але при цьому виникла небажана статична похибка $\varepsilon = 3 \%$;

При введенні аперіодичної ланки (у якості фільтра) на вхід системи керування з ПІ-регулятором швидкості, перерегулювання склало $\sigma_{ПІ\Phi} = 8,4 \%$, час перехідного процесу становить $T_{ПІ\Phi} = 0,19$ с, коливальність складає $N_{ПІ\Phi} = 1$, статична похибка відсутня.

При такій структурі системи керування максимальні відхилення струму не перевищують максимально допустимих значень.

Враховуючи отримані результати дослідження, остаточно для системи керування була обрана схема з ПІ-регулятором та додатковим фільтром на вході в систему.

Таким чином, можна зробити висновок, що дана модернізація покращила динамічні характеристики системи.

4.4 Висновки до розділу 4:

- розглянута функціональна схема замкнутої системи ПЧ-АД з частотним керуванням та її робота,
- виконаний розрахунок механічних характеристик електродвигуна;
- на основі функціональної схеми складена структурна схема частотної системи керування;
- виконаний розрахунок та вибір параметрів основних елементів системи керування електропривода;
- в математичній програмі Simulink пакету Matlab були побудовані моделі структурних схем для дослідження динамічних характеристик системи керування;
- проведений аналіз динамічних властивостей системи керування.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДА СКРЕБКОВОГО КОНВЕЄРА

Задачами охорони праці є безпека праці, попередження травматизму, професійних захворювань і отруєнь, пожеж і вибухів на виробництві, правової охорони праці, інженерної психології й організації праці.

Робота людини повинна проходити в умовах, що сприяють розвитку всіх його можливостей і забезпечують високу продуктивність праці.

Сутність охорони праці полягає у визначенні можливих небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що можуть проявитися при проведенні запланованих для виконання робіт; прогнозуванні моментів прояву зазначених факторів; проведенні необхідних профілактичних заходів.

5.1 Аналіз небезпек і шкідливостей при експлуатації електрообладнання скребкових конвеєрів

Небезпечними факторами називають такі чинники життєвого середовища, які призводять до травм, опіків, обморожень, інших пошкоджень організму або окремих його органів і навіть до смерті [11].

Шкідливими факторами прийнято називати такі чинники життєвого середовища, які призводять до погіршення самопочуття, зниження працездатності, захворювання і навіть до смерті як наслідку захворювання.

До небезпечних та шкідливих факторів при експлуатації системи керування скребкового конвеєра можна віднести: 1) порушення цілісності, електричного кола; 2) шум та вібрація від роботи системи керування скребкового конвеєра.

Експлуатація електричних установок відноситься до розряду робіт, виконуваних в умовах підвищеної небезпеки. Для такого твердження є глибокі підстави, оскільки експлуатація електроустаткування з погляду техніки безпеки істотно відрізняється від експлуатації будь-якого іншого виду виробничого встаткування.

Робота на конвеєрах повинна виконуватись з урахуванням стандарту системи безпеки праці ДСТ 12.3. 002-75 "Процеси виробничі. Загальні вимоги безпеки".

5.1.1 Дія та наслідки ураження електричним струмом

Порушення цілісності електричного кола може виникнути через коротке замкнення, перевантаження або механічні пошкодження. Це може привести до враження людини електричним струмом.

Електричний струм - це спрямоване переміщення електричних зарядів усередині провідної речовини (усередині металів, рідких провідників і т. д.).

Наслідок ураження людини електричним струмом залежить від багатьох факторів: опору тіла, тривалості протікання струму, шляху струму, роду і частоти струму, напруги.

Електричний струм, проходячи через тіло людини, обумовлює перетворення електричної енергії в інші види і спричиняє термічну, електролітичну та біологічну дії.

Термічна дія полягає в тому, що струм, проходячи через тіло людини, нагріває його, як і будь-який провідник, через який він проходить, що може викликати опіки та обвуглювання тканин і всього тіла.

Електролітична дія полягає в тому, що електричний струм має властивість розщеплювати кислотні, лужні й інші провідні рідкі розчини на складові частини. Проходячи через тіло людини він справляє подібну електролітичну дію, розщеплюючи протоплазму і кров. У результаті клітини втрачають спроможність до нормального існування, обміну речовин і т. д.

Біологічна дія електричного струму полягає в тому, що при його входженні відбувається подразнення і збудження живих тканин організму і порушення внутрішніх біологічних процесів. У результаті можуть відбуватися мимовільні рухи кінцівок, голови, інших органів; може змінитися ритм биття серця; порушується робота легень.

Механічна дія електричного струму може призводити до розриву тканин внаслідок електродинамічного ефекту, а також миттєвого вибухоподібного

утворення пари з тканинної рідини і крові; до вивихів, переломів. Дія електричного струму може призвести як до травм, так і до летальних наслідків.

Електротравми - опіки, електричні знаки (специфічне ураження тканин); металізація шкіри (частина розплавленого металу); електрофтальмія (запалення зовнішніх оболонок очей під дією ультрафіолетових променів електричної дуги); механічні ушкодження (розірвання шкіри, вивихи, переломи і т. д., викликані мимовільним скороченням м'язів).

Електричний удар. Розрізняють 4 ступені електричного удару: 1 ступінь — судорожне скорочення м'язів без утрати свідомості; 2 ступінь — судорожне скорочення м'язів з утратою свідомості, але зі збереженням дихання і роботи серця; 3 ступінь - втрата свідомості; порушення дихання або роботи серця; 4 ступінь - клінічна смерть.

5.1.2 Шум та вібрації при експлуатації системи керування скребкового конвеєра.

Система керування скребкового конвеєра є джерелом шуму та вібрації, що негативно впливає на здоров'я людини.

Шум, що виникає при роботі конвеєра, широкополосний постійний і при тривалому впливі на людину приводить до розвитку професійних захворювань, пов'язаних із втратою слуху, що приводить до втрати працездатності.

Шум відноситься до шкідливих факторів виробництва як і звук, виникає при механічних коливаннях у твердих, рідких і газоподібних середовищах. Шумом являються різні звуки, що заважають нормальній діяльності: людини і викликають неприємні відчуття. Звук являє собою коливальний рух пружного середовища, сприйманий людським органом слуху. Підвищення звукового тиску негативно впливає на орган слуху; для виміру голосності використовується двошкальний шумомір (у децибелах дБ). У цехах допускається рівень шуму близько 100 дБ. Рівень шуму вище 140 дБ може викликати болючий ефект.

Комплекс змін, що виникають в організмі під впливом шуму, останнім часом розглядається медиками як "шумова хвороба".

Вібрація - це коливання твердих тіл, яке виникає при зсуві центру ваги тіла, що рухається, обертається або при періодичній зміні форми тіла порівняно зі статичним станом цього тіла.

Вібрація викликає порушення фізіологічного і функціонального стану людини. Вплив вібрації не тільки погіршує самопочуття працюючого і знижує його продуктивність праці, але часто приводить до важкого професійного захворювання - віброхвороби. Основним критерієм умов праці вібронезбезпечних професій є рівень впливу вібрації.

Розрізняють наступні умови праці і вібровпливу на людину: комфортні - не викликають дратівного впливу; нормальні - не знижують працездатності; вібробезпечні - не викликають несприятливого біологічного впливу; вібронезбезпечні - можливі патологічні зміни в організмі і віброхвороби.

5.2 Захист від шкідливих та небезпечних факторів при експлуатації системи керування скребкового конвеєра

Вимоги охорони праці працівників при експлуатації конвеєрів викладено в ПОТ Р М-029-2003.

За умовами експлуатації транспортного електроустаткування існує ряд вимог і організаційних заходів.

Для запобігання впливу несприятливих факторів зовнішнього середовища електроустаткування повинно бути досить захищеним або розміщатися в кожухах і оболонках з необхідним ступенем захисту. Ступені захисту від впливу зовнішнього середовища встановлені ДСТ14254 - 80.

При перевантаженні хімічних продуктів повинні враховуватися наступні вимоги. Добрива, напівфабрикати хімічних виробництв і інші агресивні вантажі різко підсилюють процеси корозії металоконструкцій і устаткування. У зв'язку з цим сталеві металоконструкції і чавунні вузли повинні регулярно оброблятися хімічностійкими лакофарбовими покриттями.

Заходи та засоби захисту людини від дії електричного струму.

Установка і монтаж електроустаткування вантажопідіймальних машин, а також пристрої освітлення, заземлення і захисту повинні відповідати "Правилам улаштування електроустановок".

До технічних заходів, що забезпечують безпеку робіт, належать:

- відключення місця роботи, тобто струмопровідних частин або устаткування, на яких будуть виконуватися ремонтні роботи або робіт из налагодження;

- встановлення попереджувальних, забороняючих плакатів і огорожень місця роботи;

- перевірка відсутності напруги;

- накладення переносних захисних заземлень на відключені струмопровідні частини з усіх боків, звідки може надходити напруга.

При експлуатації електроприводів найбільша кількість нещасних випадків відбувається при виявленні несправностей та наладці систем електропривода під струмом. Для запобігання цього роботи слід проводити в гумових калошах або стояти на ізолюючій основі. При ремонті електропривода напруга попередньо знімається з головного розподільного щита шляхом відключення. На вимикачі вивішується плакат "Не вмикати! Працюють люди".

Для персоналу, обслуговуючого електроустановки і такого, що знаходиться в зоні впливу створюваного ними електричного поля, ДСН 3.3.6.096-2002. "Державні санітарні норми та правила при роботі з джерелами електромагнітних полів" установлює гранично припустимий рівень напруженості електричного поля частотою 50Гц 25кВ/м; перебування людини в електричному полі більшої напруженості без застосування засобів захисту заборонено.

Протягом робочого дня можна знаходитися в електричному полі напруженості до 5 кВ/м; при напруженості 20–25 кВ/м час перебування персоналу в електричному полі не повинен перевищувати 10 хвилин.

Ізолюючі захисні засоби – це засоби, виготовлені з ізоляційного матеріалу (фарфор, гума, пластмаса та ін.). Вони, у свою чергу, поділяються на основні та додаткові.

Основні захисні засоби – це такі, ізоляція яких надійно витримує робочу напругу електричної установки. За допомогою основних засобів можна торкатись струмопровідних частин, що знаходяться під напругою. До них відносяться: оперативні і вимірювальні штанги; ізолюючі і струмовимірні кліщі; покажчики напруги; спеціальні пристрої для ремонтних робіт (ізолювання майданчика, східці, ланки телескопічних вишок і т. д.). Додаткові захисні засоби — це такі засоби, що не гарантують надійну ізоляцію від робочої напруги і є додатковим заходом.

Ізоляцію відкритих струмоведучих частин, установку захисних електричних і механічних блокувань; установок приборів автомагнітного відключення, реагуючих на напругу або струм замикання на корпус (землю), виконувати згідно з ДНАОП 0.00-1.01-07. "Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідійомних кранів".

Небезпека, пов'язана з обслуговуванням обертаючих машин та механізмів, ліквідується звичайно за допомогою наступних заходів: захисна огорожа та попередження, попереджувачі надписи; захисне та блокує обладнання; звукова та світлова сигналізація.

Огороджуючі захисні засоби. До них належать: ширма, барери, щити, сітки і т. д.; ізолюючі накладки і ковпаки (з ізоляційного матеріалу); переносні захисні заземлення; попереджувальні, забороняючі плакати.

Засоби захисту від шуму та вібрації.

Для усунення негативних наслідків шуму та вібрації потрібно використовувати колективні методи і засоби. Найефективнішими є заходи зниження шуму в джерелі його виникнення.

Необхідно дотримуватись правил ДСН 3.3.6.037-99. "Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку" та ДСН 3.3.6.039-99. "Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації".

До засобів індивідуального захисту від шуму належать:

- протишумні навушники, вкладиші, шоломи, протишумні костюми;

Методи боротьби з вібрацією зводяться в основному до демпфірування установок, машин, механізмів, використання різноманітного роду амортизаторів, вібропоглинання.

Рівні штучної освітленості на робочих місцях в приміщенні повинні відповідати нормативним величинам по ДБН В-2-5-28-2006 "Природне і штучне освітлення. Норми проектування"..

Освітлення робочого місця повинно бути у відповідності з вимогами виробничої санітарії виробництв.

Пожежна і вибухова безпека. Несправність електроустановки й електропроводки, неправильна експлуатація електроустаткування може привести до виникнення пожежі. Для гасіння пожежі в електроустановках і приладах застосовуються вогнегасники ОУ-2 і ОУ-5, що мають у цеху.

Вимоги по забезпеченню пожежної і вибухової безпеки об'єктів регламентуються ДСТ 12.1. 004-91 "Пожежна безпека. Загальні вимоги".

5.3 Висновки до розділу 5:

- проведений аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів при роботі скребкового конвеєра;
- наведені заходи щодо їх усунення або зниження відповідно до нормативних вимог.

ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі магістра з метою модернізації досліджена система керування електропривода скребкового конвеєра типу ТЛС-200 для транспортування сипучих вантажів.

Основні результати роботи можна сформулювати наступним чином:

- проведено аналіз сучасного стану перетворювальної приводної техніки, проведений літературний огляд джерел з дослідження автоматизації конвеєрів;
- вибраний та обґрунтований метод наукового дослідження, побудована структурно-логічна схема магістерського дослідження;
- розглянуті сучасні конвеєрні системи, наведена характеристика основних елементів приводів конвеєрних систем, наведена класифікація транспортуючих машин, наведені дані про їх конструкцію, роботу та електричне обладнання;
- проведений аналіз існуючих видів електродвигунів та вибраний більш сучасний електродвигун типу АІР100L4;
- на основі проведеного аналізу систем керування двигунами перемінного струму для керування електродвигуном скребкового конвеєра вибраний перетворювач типу VFD-C2000;
- розглянута функціональна схема замкнутої системи ПЧ-АД з частотним керуванням;
- виконаний розрахунок механічних характеристик електродвигуна;
- на основі функціональної схеми складена структурна схема частотної системи керування;
- виконаний розрахунок та вибір параметрів основних елементів системи керування електропривода;
- в математичній програмі Simulink пакету Matlab були побудовані моделі структурних схем для дослідження динамічних характеристик системи керування при зміні законів керування із застосуванням ПІ-регулятора швидкості, ПІ-регулятора швидкості, та ПІІ-регулятора швидкості і фільтром на вході в систему.

Отримано наступні результати дослідження динамічних властивостей:

При застосуванні пропорційно-інтегрального закону регулювання швидкості (ПІ-регулятор) перегулювання склало $\sigma_{\text{ПІ}} = 40,2 \%$, що є більшим допустимої величини 30% , та час перехідного процесу $T_{\text{ПІ}} = 0,168\text{с}$;

При застосуванні пропорційного закону регулювання швидкості (П-регулятор), перегулювання відсутнє, час перехідного процесу зменшився до $T_{\text{П}} = 0,05 \text{ с}$, але при цьому виникла небажана статична похибка $\varepsilon = 3 \%$;

При введенні аперіодичної ланки (у якості фільтра) на вхід системи керування з ПІ-регулятором швидкості, перегулювання склало $\sigma_{\text{ПІФ}} = 8,4 \%$, час перехідного процесу становить $T_{\text{ПІФ}} = 0,19 \text{ с}$, коливальність складає $N_{\text{ПІФ}} = 1$, статична похибка відсутня.

З графіків перехідних процесів по струму видно, що максимальне відхилення струму не перевищує припустимих значень при розглянутих законах керування.

На основі проведеного аналізу динамічних властивостей розглянутих схем обрана система керування з ПІ-регулятором швидкості і фільтром на вході в систему, яка забезпечує задані вимоги, таким чином завдання дослідження виконане.

В результаті проведеного аналізу потенційно небезпечних та шкідливих факторів були визначені заходи щодо безпечної експлуатації електрообладнання при роботі на скребкових конвеєрах.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. **Александров М. П.** Грузоподъемные машины: Учебник для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана – Высшая школа, 2000. –552 с.
2. Асинхронні двигуни серій АІР. Каталог "Днепроресурс". [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://elmo.ua/wp-content/uploads/2018/07/tehopisanie-air-ru.pdf>.
3. **Бірта Г. О.** Методологія і організація наукових досліджень. [текст] : навч. посіб. / Г. О. Бірта, Ю. Г. Бургу– К. : «Центр учбової літератури», 2014. – 142 с.
4. **Бутенко Л. Л.** Структурно-логічні схеми. Таблиці. Опорні конспекти. Есе. Навчальні презентації: рекомендації до складання : метод. посіб. для студ. / уклад. : Л. Л. Бутенко, О. Г. Ігнатович, В. М. Швирка. – Старобільськ, 2015. – 112 с.
5. **Видмиш А. А.** Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1. / Навчальний посібник. А. А. Видмиш, Л. В. Ярошенко. – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 387 с.
6. **Гераїмчук М. Д.** Моделювання систем у середовищі MATLAB-SIMULINK: Комп'ютерний практикум / М.Д. Гераїмчук, Ю.Ф. Лазарєв, Т.О. Толочко. – К.:, 2006. – 175с.
7. **Голодний І.М.** Регульований електропривод: Підручник / І.М. Голодний, Ю.М. Лавріненко, В.В. Козирський, Л.С. Червінський, Д.А. Абдураманов, А.В. Торопов, О.В. Санченко; За ред. І.М. Голодного. – К.: ТОВ "ЦП "Компринт", 2015. – 509 с.: іл.
8. **Григоров О.В.** Вантажопідйомні машини. Навч. посібник. / О.В. Григоров, Н.О. Петренко – Харків: НТУ ХП. 2005 – 304 с.: іл
9. **Дацишин О.В.** Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв. / О. В. Дацишин – Вінниця: Нова книга, 2008.
10. **Додонов Б. П.** Грузоподъемные и транспортные устройства. Учебник для средних специальных учебных заведений / Б.П. Додонов, В.А. Лифанов. - 2-е издание перераб. и доп. - Москва: Издательство «Машиностроение», 1990.

11. **Жидацький В. Ц.** Основи охорони праці [Текст] : підручник / В. Ц. Жидацький, В. С. Джигирей, О. В. Мельников — Вид. 2-е, стереотипне. — Львів: Афіша, 2000. — 348 с.
12. **Ляшук О.Л.** Створення та модернізація транспортно-технологічних механізмів машин і обладнання / О.Л. Ляшук, Р.Б. Гевко, В.О. Дзюра, О.М. Кирик, А.П. Довбиш. — Тернопіль: ТНТУ, 2019. — 167 с.
13. Перетворювачі частоти VFD-C. [Електронний ресурс] Режим доступа: <http://www.rts.ua/rus/catshop/736/0/23546/delta-electronics/>
14. **Пертен Ю.А.** Теоретические основы конвейеров с тяговыми элементами. / Ю.А. Пертен, В.К. Мисаилов, Л.И. Янтовский — Л: Изд-во ЛГУ, 1981,- 276с.
15. **Спиваковский, А. О.** Транспортирующие машины: учеб. пособие для машиностроительных вузов / А. О. Спиваковский, В. К. Дьячков. — 3-е изд., перераб. — М.: Машиностроение, 1983. — 487 с.: ил.
16. **Терехов В. М.** Системы управления электроприводов. / В.М. Терехов, О.И. Осипов. - М.: Академия, 2005. - 300 с.
17. **Транспортер скребковый ланцюговий серії ТЛС-200.**

ДОДАТОК А

Мультимедійна презентація

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

Коч Віктор Володимирович

Кваліфікаційна робота магістра на тему:

"Аналіз системи керування електропривода скребкового
конвеєра"

Керівник роботи – Васильєв О.Г.

Слайд 1 мультимедійної презентації

АКТУАЛЬНІСТЬ, МЕТА І ЗАДАЧІ РОБОТИ

Актуальність теми. В даній роботі розглядається система керування електропривода скребкового ланцюгового конвеєра для транспортування сипучих вантажів типу ТЛС-200 продуктивністю 25 тонн..

Актуальність теми обумовлена завданням стабілізації рівномірного грузопотоку, стабільного ритму та необхідністю автоматичного регулювання продуктивності технологічного процесу транспортування вантажів конвеєрами.

Метою роботи є удосконалення системи керування електропривода скребкового конвеєра для забезпечення його ефективної роботи за рахунок застосування частотного регулювання швидкості електропривода.

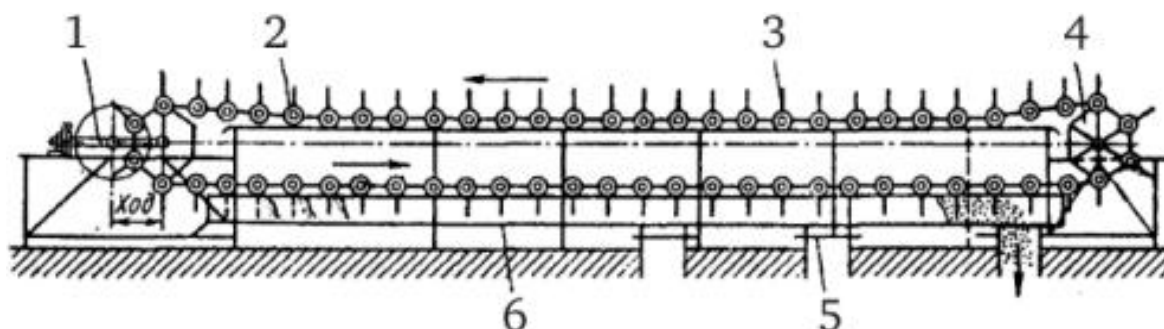
Завдання полягає в тому, щоб замінити існуючу систему керування електропривода, на систему з кращими технічними характеристиками.

Для досягнення мети вирішені наступні **завдання дослідження**:

- проведений аналіз існуючих засобів та систем керування електродвигунами перемінного струму і на базі цього аналізу вибраний найбільш підходящий тип електродвигуна, а для керування ним вибраний перетворювач типу VFD-C2000;
- складений математичний опис системи керування і розроблена її структурна схема;
- по отриманій структурній схемі проведений аналіз динамічних властивостей розрахункової системи керування;
- визначена найбільш підходяща структура системи, яка забезпечує найкращі показники якості перехідних процесів;
- визначені заходи щодо безпечної експлуатації електрообладнання при роботі на скребкових конвеєрах.

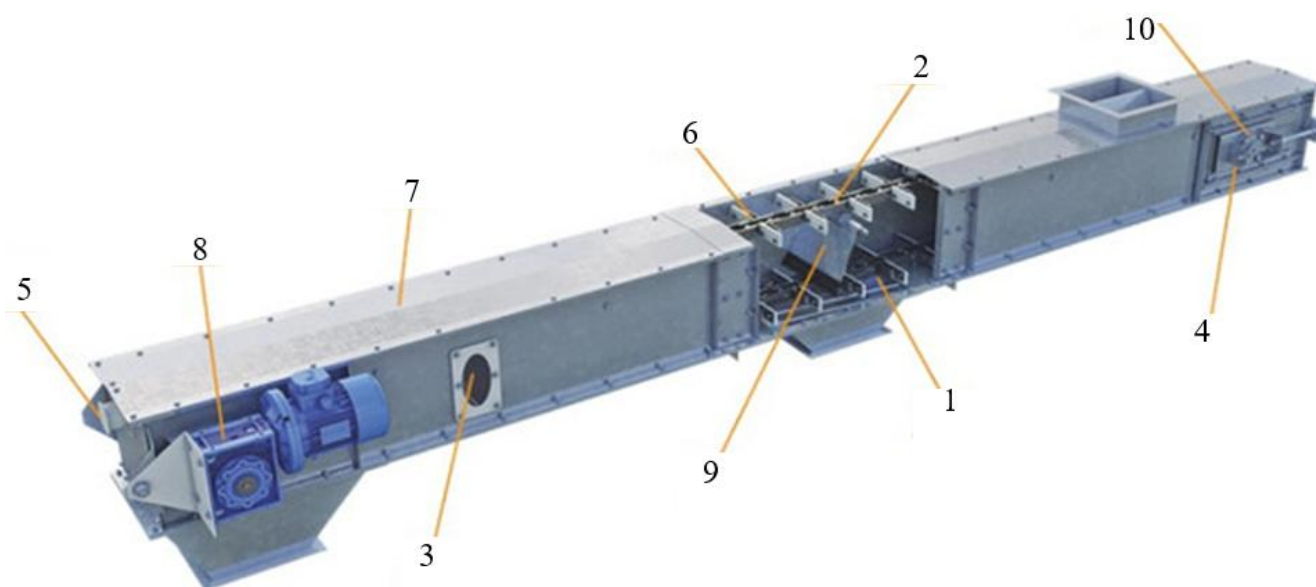
Об'єкт дослідження - процеси, що відбуваються у електроприводі скребкового конвеєра із застосуванням частотного перетворювача.

СКРЕБКОВИЙ ТРАНСПОРТЕР МОДЕЛІ ТЛС-200



1 - натяжний пристрій; 2 - тяговий ланцюг; 3 - скребки; 4 - приводні зірочки; 5 - завантажувальні люки; 6 - жолоб днища

Принципова схема скребкового конвеєра (транспортера)



1 - футероване полімером днище;	6 - зачистний скребок;
2 - ланцюг із скребками;	7 - кришка з ущільнювачем;
3 - оглядове вікно;	8 - мотор-редуктор;
4 - датчик обриву ланцюга;	9 - щітка для чищення ланцюга;
5 - датчик підпору зерна;	10 - підшипники

Загальний вид транспортера моделі ТЛС-200 із зазначенням складових частин

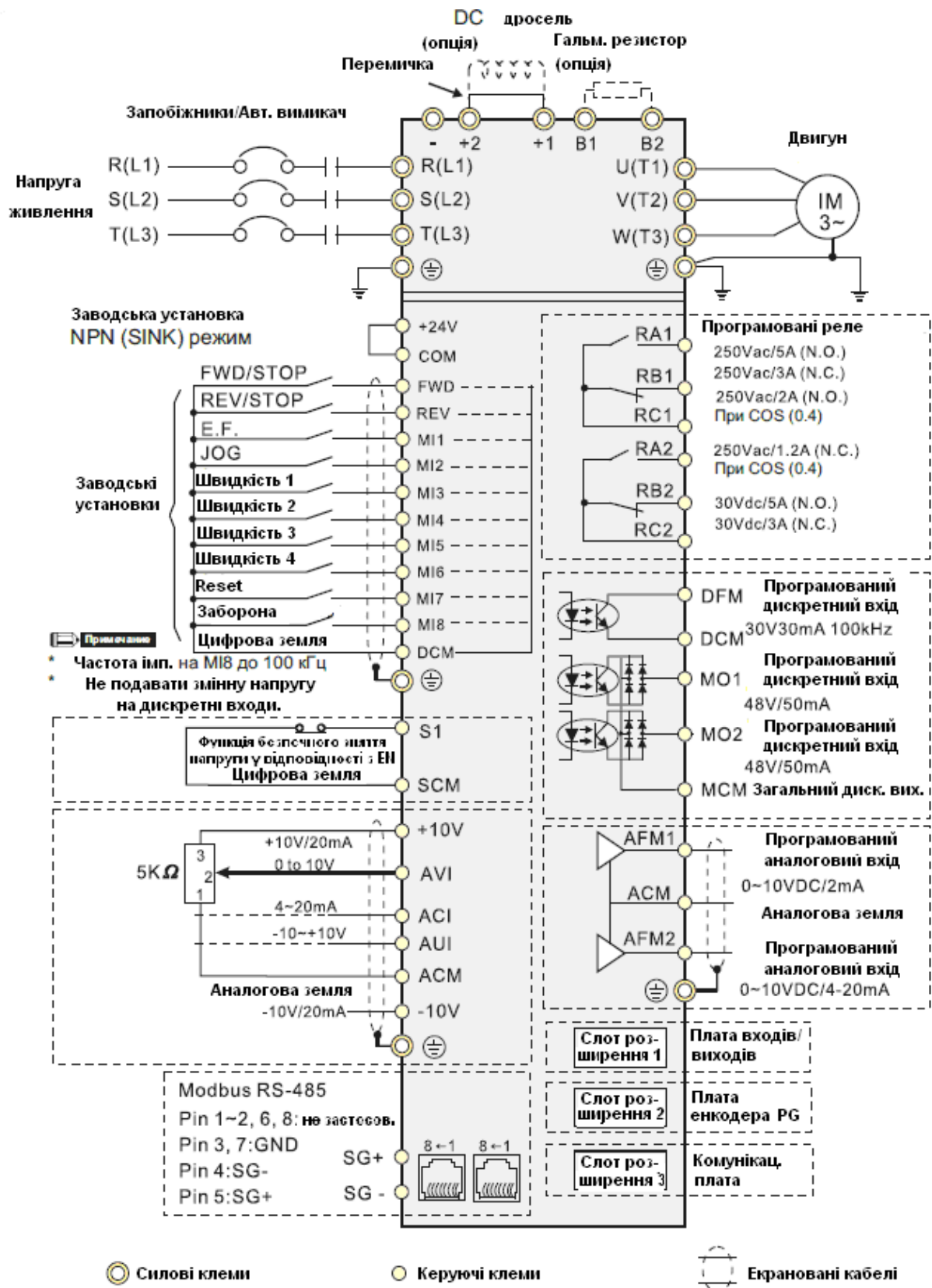
Слайд 3 мультимедійної презентації

СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНА СХЕМА МАГІСТЕРСЬКОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

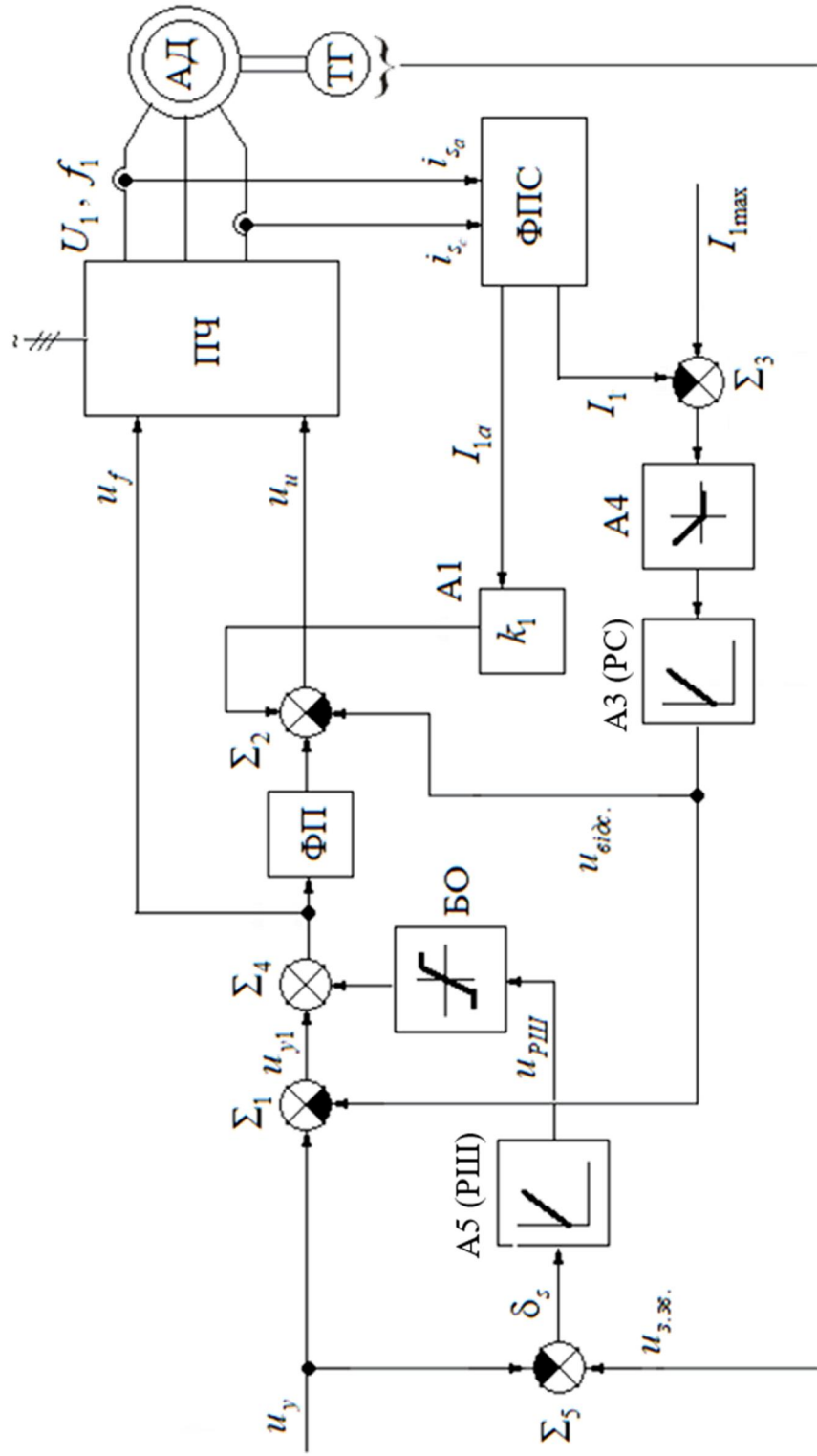
Аналіз системи керування електропривода скребкового конвеєра	
Складання індивідуального календарного плану роботи	
Пошук літератури за темою, її аналіз, складання бібліографії	
Підготовка теоретичної частини	Аналіз способів транспортування сипких матеріалів скребковими конвеєрами
	Класифікація транспортуючих машин
	Розгляд устрою, складу скребкового конвеєра
	Опис роботи об'єкту дослідження
	Аналіз існуючих типів приводів, вибір частотного перетворювача для керування електродвигуном скребкового конвеєра, опис перетворювача
Опис процесу дослідження	Моделювання перехідних процесів на базі функціональної та структурної схем системи керування електропривода.
	Математичне моделювання динамічних властивостей системи керування електропривода скребкового конвеєра
Узагальнення результатів моделювання	Інтерпретація отриманих результатів дослідження
	Формулювання висновків
Узагальнення науково-теоретичних результатів	
Розробка заходів з охорони праці при експлуатації конвеєрів	
Реалізація отриманих результатів у навчальний процес	

Слайд 4 мультимедійної презентації

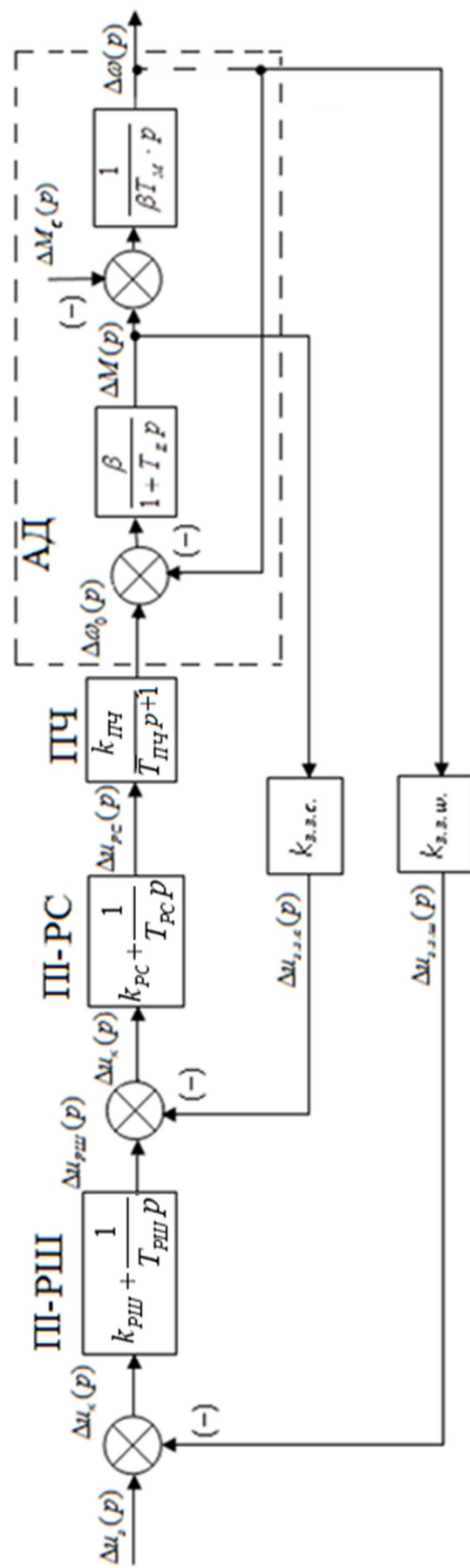
БЛОК-СХЕМА ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ ЛІНІЙКИ VFD-C2000



ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА СИСТЕМИ ЧАСТОТНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПЧ -АД ЗІ ЗВОРОТНИМ ЗВ'ЯЗКОМ ПО ШВИДКОСТІ



СТРУКТУРНА СХЕМА ЕЛЕКТРОПРИВОДА



РОЗРАХУНКОВІ ДИНАМІЧНІ МОДЕЛІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

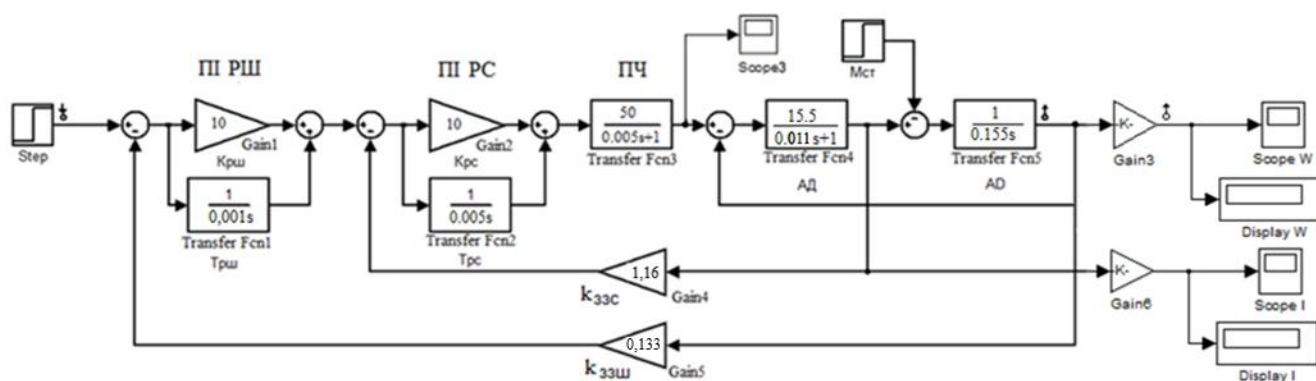


Рисунок 4.9 - Розрахункова динамічна модель системи керування з ПІ-регулятором швидкості

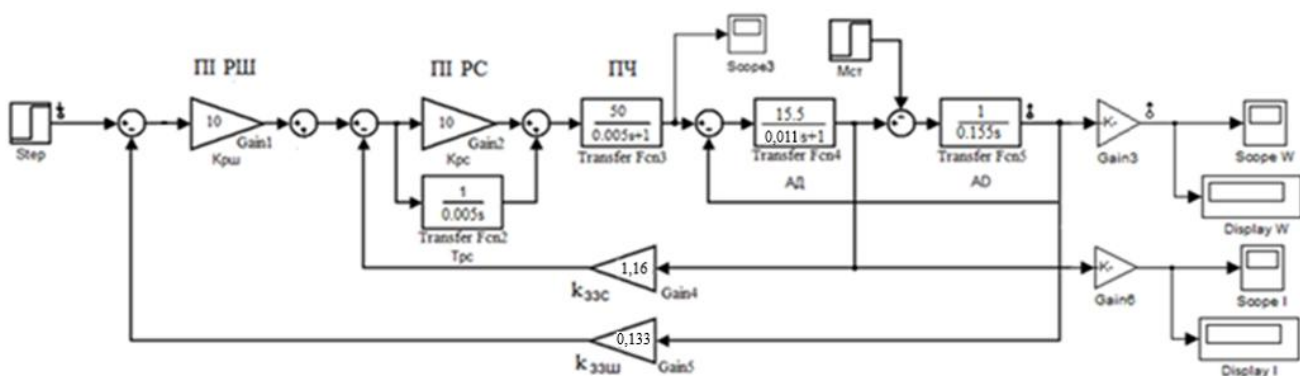


Рисунок 4.10 - Розрахункова динамічна модель системи керування з ПІ-регулятором швидкості

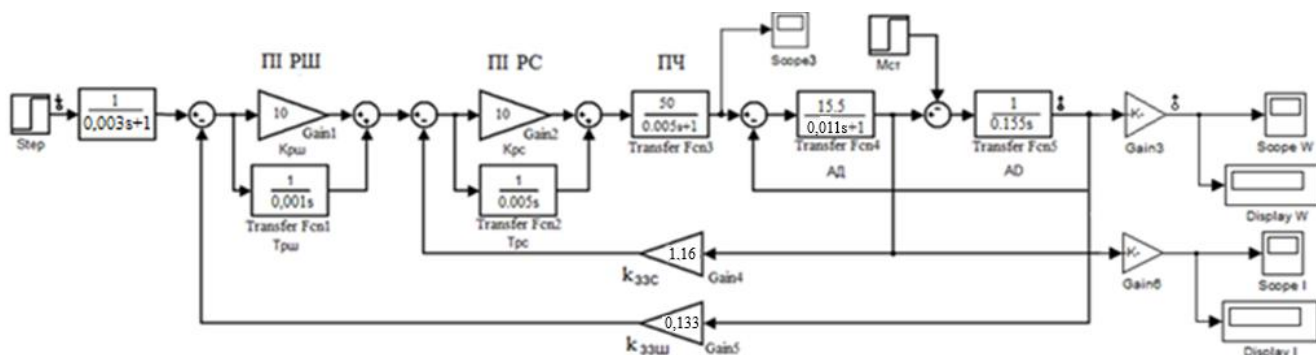
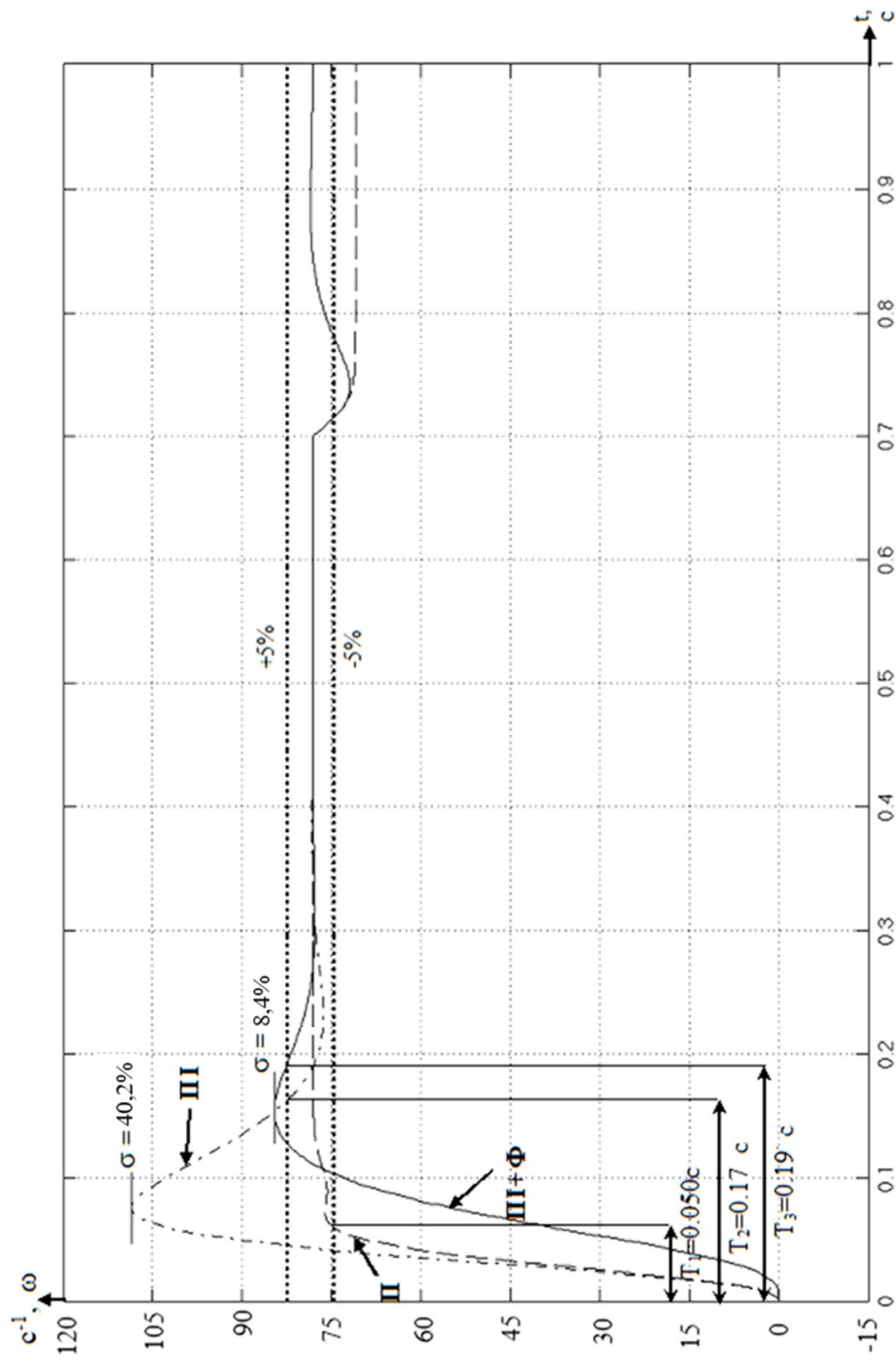


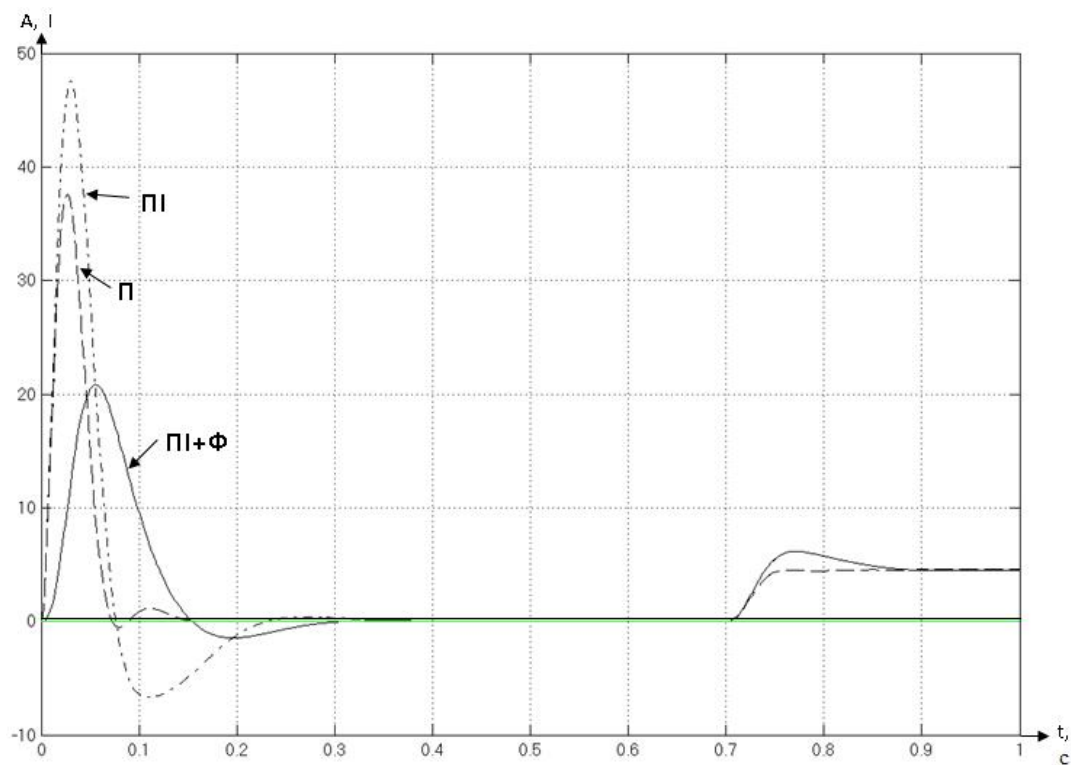
Рисунок 4.11 - Розрахункова динамічна модель системи керування з ПІ-регулятором швидкості та фільтром на вході в систему

АНАЛІЗ ДИНАМІКИ САК

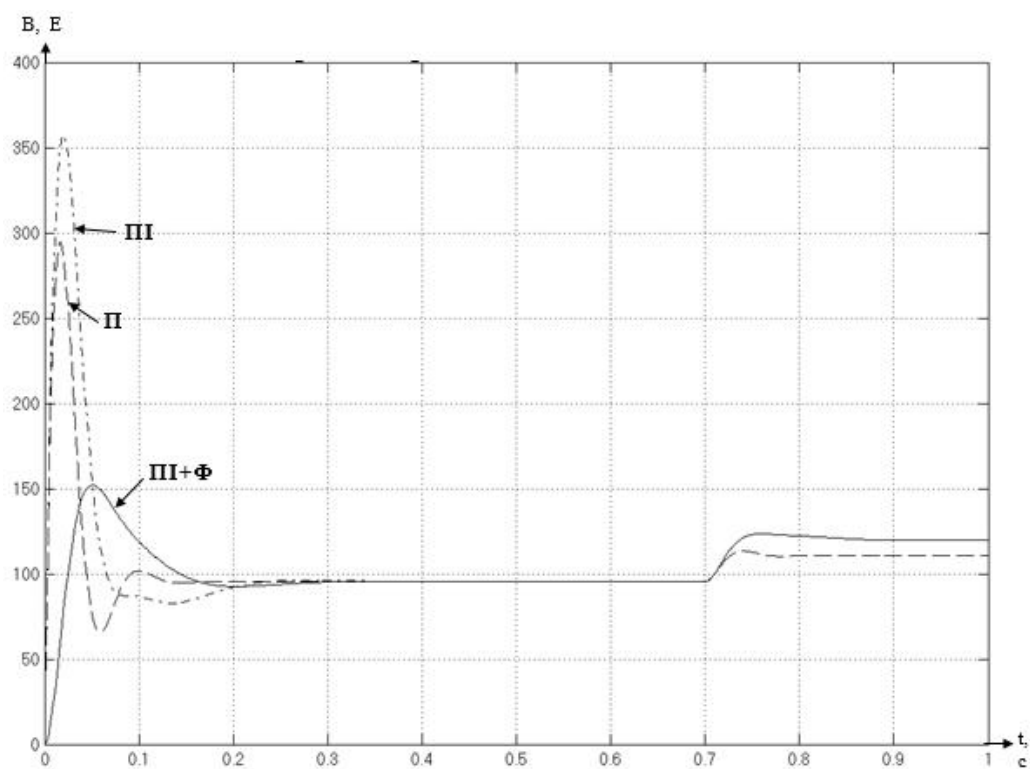
Перехідні процеси на виході контуру швидкості



АНАЛІЗ ДИНАМІКИ САК



Перехідні процеси на виході контуру струму



Перехідні процеси по напрузі на виході ЧП

ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі магістра досліджена система керування електропривода скребкового конвеєра типу ТЛС-200.

Основні результати роботи можна сформулювати наступним чином:

- проведено аналіз сучасного стану перетворювальної приводної техніки, проведений літературний огляд джерел з дослідження автоматизації конвеєрів;
- вибраний та обґрунтований метод наукового дослідження, побудована структурно-логічна схема магістерського дослідження;
- проведений аналіз існуючих видів електродвигунів та вибраний більш сучасний електродвигун типу АІР100L4, а для керування електродвигуном вибраний перетворювач типу VFD-C2000;
- розглянута функціональна схема замкнутої системи ПЧ-АД з частотним керуванням, та її на основі складена структурна схема частотної системи керування, виконаний розрахунок та вибір параметрів основних елементів системи керування електропривода;
- побудовані моделі структурних схем при зміні законів керування із застосуванням ПІ-регулятора швидкості, П-регулятора швидкості, та ПІ-регулятора швидкості і фільтром на вході в систему.

Отримані наступні результати дослідження:

- при застосуванні пропорційно-інтегрального закону регулювання швидкості (ПІ-регулятор) перегулювання склало $\sigma_{\text{ПІ}} = 40,2 \%$, що є більшим допустимої величини 30% , та час перехідного процесу $T_{\text{ПІ}} = 0,168\text{с}$;
- при застосуванні пропорційного закону регулювання швидкості (П-регулятор), перегулювання відсутнє, час перехідного процесу зменшився до $T_{\text{П}} = 0,05 \text{ с}$, але при цьому виникла небажана статична похибка $\varepsilon = 3 \%$;
- при введенні аперіодичної ланки (у якості фільтра) на вхід системи керування з ПІ-регулятором швидкості, перегулювання склало $\sigma_{\text{ПІФ}} = 8,4 \%$, час перехідного процесу становить $T_{\text{ПІФ}} = 0,19 \text{ с}$, коливальність складає $N_{\text{ПІФ}} = 1$, статична похибка відсутня.

З графіків перехідних процесів по струму видно, що максимальне відхилення струму не перевищує припустимих значень при розглянутих законах керування.

На основі проведеного аналізу динамічних властивостей розглянутих схем обрана система керування з ПІ-регулятором швидкості і фільтром на вході в систему, яка забезпечує задані вимоги, таким чином завдання дослідження виконане.

Розглянуті питання охорони праці при роботі на скребкових конвеєрах.