

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

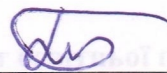
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматики

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри



(підпис)

I. С. Білюк

« 15 » 06 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(код та назва спеціальності)

освітня програма Електротехніка та електротехнології

(назва освітньої програми)

на тему: «Модернізація автоматизованого електропривода установки для транспортування зерна»

Виконав: студент IV курсу, групи 4311з

Маєр Микола Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

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

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

Нормоконтроль Ст. викладач каф. автоматики, Савченко О.В.

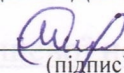
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Рецензент доц. каф. СЕЕС, к.т.н., доц., Новогрецький С.М.

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

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

Студент



(підпис)

м. Миколаїв – 2026 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Інститут, факультет Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
Кафедра автоматики
Освітній ступінь бакалавр
Галузь знань 14 «Електрична інженерія»
(шифр і назва)
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва)
Освітня програма «Електротехніка та електротехнології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми, к.т.н., доцент

О.Г. Васильєв

«12» 06 2026_ року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ

гр.4311з

Маєру Миколі Васильовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Модернізація автоматизованого електропривода установки для транспортування зерна»

керівник роботи Васильєв Олександр Григорович, кандидат технічних наук, доцент,

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від від «22» квітня 2026 р.
№ 286-УЧ

2. Строк подання студентом роботи 16 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: установка для транспортування зерна, продуктивність 50 тонн/год.; потужність двигуна 4 кВт; основні показники якості перехідного процесу: перерегулювання $\sigma < 20 \%$, час перехідного процесу $T_{\max} < 2$ с; $N \leq 2$, похибка $\varepsilon = 0$.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Основні відомості та технічні характеристики установки для транспортування зерна. 2. Вибір типу електродвигуна та комплектного електропривода 3. Дослідження системи керування електропривода установки для транспортування зерна. 4. Охорона праці при експлуатації електропривода установки для транспортування зерна

5. Перелік графічного матеріалу

1 Загальний вид і основні складові частини стрічкової ківшевої норії Н50-10.

2 Функціональна схема замкнутої системи ПЧ-АД з частотно-струмовим керуванням.

3 Структурна схема електропривода. 4 Динамічні розрахункові моделі системи керування. 5 Аналіз динаміки САК

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Васильєв О.Г., к.т.н., доцент	6.05.26 <i>Васильєв</i>	09.06.26 <i>Васильєв</i>

7. Дата видачі завдання «06» лютого 2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Основні відомості та технічні характеристики установки для транспортування зерна	16.03.2026	
2	Вибір типу електродвигуна та комплектного електропривода	06.04.2026	
3	Дослідження системи керування електропривода	05.05.2026	
4	Охорона праці при експлуатації електропривода норії	10.06.2026	

Студент

Маєр
(підпис)

Маєр М.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

Васильєв
(підпис)

Васильєв О.Г.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра складається із 76 сторінок: 68 сторінок пояснювальної записки, 4 розділів, 9 таблиць, 11 рисунків, 19 літературних джерел, 1 додатку на 8 сторінках.

Ключові слова: автоматизація, аналіз динаміки, математична модель, норія ківшева, система керування, електропривод

Об'єкт дослідження – система керування електропривода установки для транспортування зерна (ківшевої норії).

Мета роботи – модернізація електропривода ківшевої норії на основі застосування регульованих асинхронних двигунів.

У першому розділі розглянуті сфери використання та класифікація транспортуючих машин, наведена класифікація, конструктивна схема і основні вузли ківшових норій. В якості об'єкту дослідження вибрана норія типу Н50-10, наведені її технічні дані та відомості про електричне обладнання.

У розділі 2 виконаний аналіз існуючих видів електродвигунів, наведені основні вимоги до електроприводів; вибраний сучасний електродвигун для привода норії, розглянуті способи керування швидкістю асинхронного двигуна. Для керування обраним двигуном вибраний трифазний перетворювач частоти типу FR-A741, наведені його технічні дані.

В розділі 3 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, в результаті чого обрана схема системи керування, що забезпечує найкращі параметри налагодження регулятора швидкості, які показали, що розглянута система задовольняє вимогам, які пред'являються до електроприводів транспортуючих механізмів.

В розділі 4 розглянуті питання охорони праці при експлуатації електропривода норії. Додатки містять 8 слайдів мультимедійної презентації.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ТА ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ УСТАНОВКИ ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ ЗЕРНА.....	8
1.1 Загальні відомості	8
1.2 Класифікація транспортуючих машин, застосування ківшевих норій	10
1.3 Опис та технічні характеристики норії ківшевої типу Н50-10.....	13
1.4 Електричне обладнання норії	18
2 ВИБІР ТИПУ ЕЛЕКТРОДВИГУНА ТА КОМПЛЕКТНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА	20
2.1 Аналіз існуючих видів електродвигунів. Вибір електродвигуна	20
2.2 Огляд існуючих систем керування двигунами перемінного струму.	24
2.3 Загальна характеристика й основні технічні дані перетворювача частоти Mitsubishi Electric FR-A741.....	30
3 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА УСТАНОВКИ ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ ЗЕРНА.....	36
3.1 Розробка функціональної схеми системи керування	36
3.1.1 Математичний опис структурної схеми електропривода з частотно- струмовим керуванням.....	39
3.2 Формування та розрахунок параметрів динамічної структурної схеми.....	45
3.3 Аналіз динамічних властивостей системи керування електропривода установки для транспортування зерна	51
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДА УСТАНОВКИ ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ ЗЕРНА.....	57
4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів при експлуатації системи керування електропривода ківшевої норії.....	58
4.2 Правила техніки безпеки для попередження нещасних випадків при роботі на ківшевих норіях	62

4.3 Заходи щодо безпечної експлуатації електрообладнання при роботі на ківшевих норіях	63
ВИСНОВКИ	65
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	67
ДОДАТОК А. Мультимедійна презентація	69

ВСТУП

Важливим напрямком технічного прогресу в промисловості й на транспорті є комплексна механізація трудомістких виробничих операцій, без якої неможливо забезпечити ріст продуктивності праці.

У будь-якому технологічному циклі потрібне просторове переміщення предметів праці (підйомно-транспортні операції).

В агропромисловому комплексі щорічно виконується великий обсяг післязбиральних робіт із зерна.

Збереження й раціональне використання всього вирощеного врожаю, одержання максимуму виробів із сировини сьогодні є одним з основних державних завдань.

У зв'язку із сезонністю зернового виробництва виникає необхідність зберігання в нашій країні запасів зерна для їхнього використання на різні потреби протягом року й більш.

Технологія зберігання й обробки зерна містить у собі кілька виробничих етапів. Немаловажним серед них є процес транспортування зерна: від типу застосовуваного устаткування залежить збереження якості зернового матеріалу й ефективність виробничого процесу.

Для механізації завантаження, розвантаження, переміщення й підробітку зерна в зерноскладах застосовують наступні стаціонарні й пересувні механізми:

- стрічкові норії (називані також елеваторами або самотягами) для вертикального підйому зерна;
- стрічкові стаціонарні конвеєри для переміщення зерна в горизонтальному напрямку або під кутом;
- пересувні конвеєри для завантажувально-розвантажувальних операцій переважно при підлоговому зберіганні зерна;
- самоподавачі для завантаження конвеєрів при підлоговому насипу зерна;
- гвинтові конвеєри, або шнеки для транспортування зерна на близькі відстані;

- самопливні зернопроводи для переміщення зерна зверху вниз під дією сили ваги;

- зернометальники, відмінною рисою яких, є принцип роботи: транспортування зерна здійснюється не шляхом переносу, а перекидається з місце на місце;

- зерноочисні машини й сепаратори, призначені для очищення зерна від органічних і неорганічних сторонніх домішок.

Таким чином, вибір устаткування залежить від майбутнього способу експлуатації. Однак вертикальні транспортери - норії є більш універсальним устаткуванням, яке можна використовувати в декількох виробничих процесах транспортування, зберігання й очищення зерна.

У сучасних умовах потокового і автоматизованого виробництва значення підйомно-транспортних машин якісно змінилося. Вони вийшли за рамки свого первинного призначення як допоміжного устаткування тільки для механізації трудомістких процесів по підйому і переміщенню вантажів, вони стали зв'язуючою ланкою в технологічному ланцюзі виробництва, що забезпечує безперервність процесу виробництва, основним регулятором потокового виробництва органічною частиною технологічних процесів, що визначають ритм і продуктивність основного устаткування підприємства тобто вони стали технологічним устаткуванням виробництва.

Окрім цього, підйомно-транспортні машини є основою комплексної механізації і автоматизації виробництва, що піднімає культуру виробництва, якість і кількість продукції, що випускається, а також полегшують працю робітників.

Основним вузлом, що визначає нормальну роботу норії, є її електропривод, тому модернізація електропривода необхідна для оптимізації роботи конвеєра, особливо в перехідних режимах.

Робота спрямована на підвищення надійності функціонування норії за рахунок удосконалення системи керування автоматизованого електропривода установки для транспортування зерна.

РОЗДІЛ 1

ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ТА ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ УСТАНОВКИ ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ ЗЕРНА

1.1 Загальні відомості

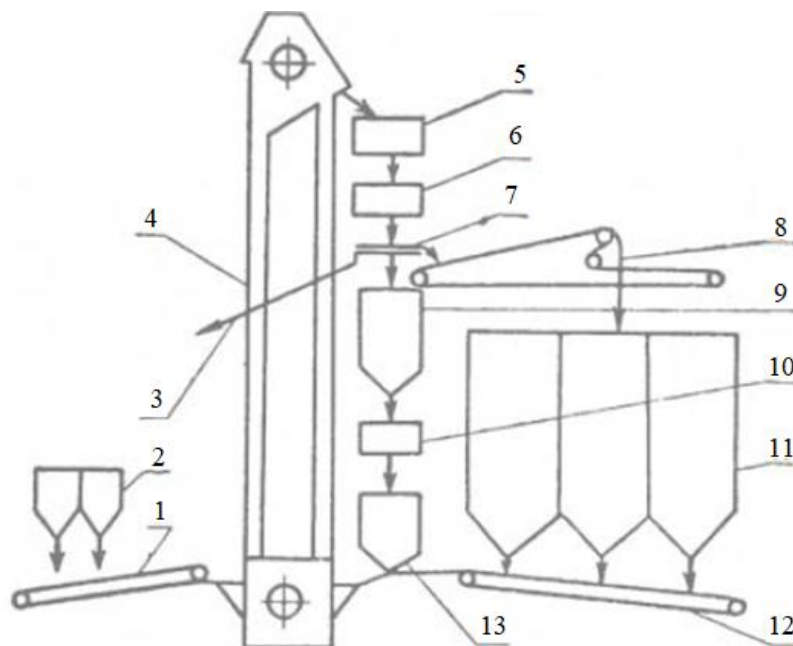
Транспортні засоби для переміщення зерна, призначені для роботи в складі схеми технологічного процесу з тривалим режимом роботи як усередині приміщень, так і на відкритому повітрі. Вони служать для транспортування зерна, продуктів його переробки (борошна, крупи, висівки) і інших сипучих матеріалів на елеваторах, зерноскладах, портах, млинах, хлібокомбінатах [15].

Питання транспортування зернових культур виникають ще на етапі їх зберігання в елеваторах. Кожне зерносховище повинне забезпечувати проведення наступних операцій із зерном: прийом, обробка (очищення й сушіння), зберігання, внутрішні переміщення, відпускання. Усі елеватори незалежно від їхніх типів і призначень працюють по наступній принциповій схемі (рисунок 1.1).

Ківшевий елеватор (норія) - це пристрій, призначений для підйому в вертикальному напрямку сипучих матеріалів. Таке обладнання широко застосовують на сучасних елеваторах для підйому зерна. У технічній літературі при описі норії іноді можна також зустріти ще один синонім даного слова - елеватор ковшовий. Це пристрій являє собою ланцюгової або стрічковий вертикальний конвеєр, де за рахунок безперервного переміщення ковшів здійснюється підйом матеріалу, в даному випадку зерна.

Слово «норія» походить з арабської мови (наора – النواعير) та іспанської (норіа – noria) і на обох мовах означає підливне водяне колесо або водокачка, оскільки в давні часи пристрій застосовувався для іригації.

Сьогодні норії широко застосовуються в аграрній, будівельній, склокерамічній, металургійній, хімічній, гірничодобувній та інших галузях промисловості. Ними переважно транспортують сипкі матеріали: зерно, пісок, вугілля, торф, борошно, харчові продукти, комбікорми.



1 - прийомний стрічковий транспортер; 2 - прийомні бункери; 3 - відпускний пристрій; 4 - норія; 5 - надваговий бункер; 6 - ваги (ківшеві або порціонні); 7 - розподільні труби; 8 - надсилосний транспортер; 9 - надсепараторний бункер; 10 - сепаратор; 11 - силоси для зберігання зерна; 12 - підсилосний транспортер; 13 - підсепараторний бункер

Рисунок 1.1 – Схема роботи елеватора

Старим підприємствам зернозберігання з підлоговими сховищами норії були не потрібні, адже з усіма завданнями з переміщення зерна на них цілком справлялися автотранспорт і конвеєри. Однак, коли на зміну підлоговим складам прийшли силоси, без норій уже стало не обійтись. Адже будь-який силос заповнюється зверху, через отвір у його даху, і якщо висота силоса більше за 3–5 м, альтернативного способу підійняти зерно на таку висоту крім як норією, просто немає. Не робити ж це за допомогою підйимального крана?!

Норії є не лише компактнішими за стрічкові конвеєри, а й енергоощадними. Наприклад, щоб підійняти пшеницю на висоту 30 м, норія споживає 30 кВт електроенергії, тоді як ланцюговому транспортеру для цього знадобиться 72 кВт.

1.2 Класифікація транспортуючих машин, застосування ківшевих норій

Транспортуючими машинами називають машини, які застосовують на підприємствах системи заготівки для переміщення сировини, напівфабрикатів, готової продукції й відходів виробництва.

У транспортуючих машинах використовуються такі способи переміщення вантажів (рисунок 1.2):

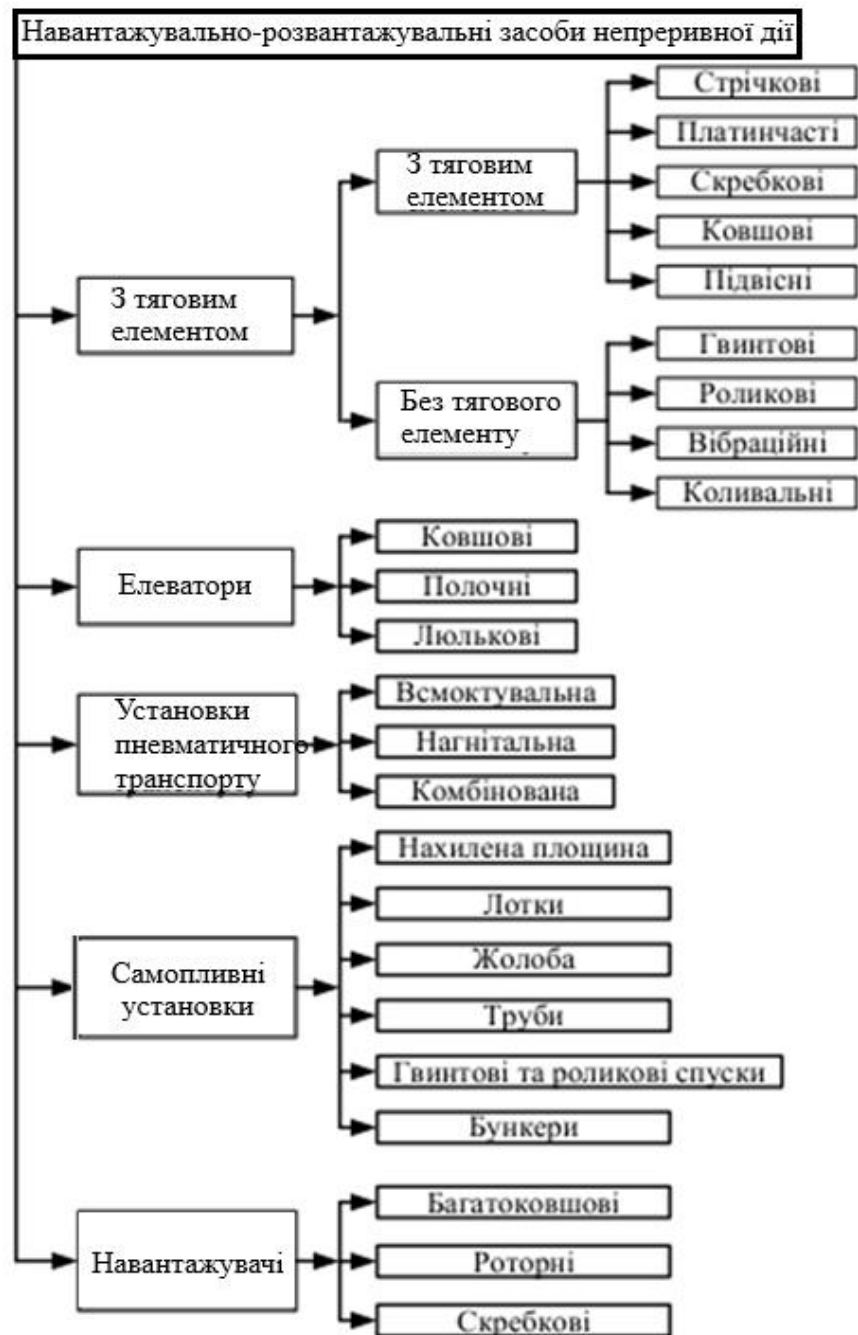


Рисунок 1.2 - Класифікація транспортних машин неперервної дії
На сучасних підприємствах конвеєри використовують у якості:

- високопродуктивних транспортних машин, що передають вантажі з одного пункту в інший на ділянках внутрішньозаводського й, у ряді випадків, зовнішнього транспорту;

- транспортних агрегатів потужних перевантажувальних пристроїв (наприклад, мостових перевантажувачів, відвалоутворювачів і т.п.) і вантажно-розвантажувальних машин;

- машин для переміщення вантажів-виробів по технологічному процесу потокового виробництва від одного робочого місця до іншого, від однієї технологічної операції до іншої, встановлюючи й регулюючи темп виробництва й сполучаючи, у ряді випадків, функції накопичувачів (рухливих складів) і розподільників вантажів-виробів по окремих технологічних лініях;

- машин і передатних пристроїв у технологічних автоматичних лініях виготовлення й обробки деталей і вузлів виробів [10].

Основна відмінність конвеєрів від вантажопідйомних машин полягає в способі переміщення вантажів. Машини переміщують вантаж тільки в один бік, назад вертаючись порожніми, що істотно знижує їх номінальний ККД, конвеєри переміщують вантажі безупинно, відповідно підвищується ККД і скорочується загальний час транспортування.

Норія - пристрій, призначений для підйому рідин або сипучих матеріалів в вертикальному напрямку. Норії (зернові елеватори) застосовують на зернопереробних підприємствах для вертикального транспортування зерна і комбікормів без тари [10,15].

Норії в залежності від способу розвантаження поділяються на відцентрово-гравітаційні і відцентрові. Перші переважно використовують для переміщення сухого зерна і подрібнених продуктів, другі - для вологого і засміченого зерна.

Ківшові норії представляють собою вертикальний стрічковий (або ланцюговий) конвеєр з ківшами, за рахунок безперервного переміщення яких здійснюється підйом матеріалу. Як правило, конвеєр поміщають в прямокутній труби.

Швидкість руху полотна тихохідних елеваторів до 1 м/сек, швидкохідних до

4 м/сек. Застосовується в комбікормовій, борошномельній та хімічній промисловості.

Ківшові норії використовують в основному для підйому легких, не липких, добре сипучих, а не кускових вантажів.

Норії поділяються на кілька видів - похильні, поличні, люлькові, але для переміщення зерна використовують ківшові норії, тож надалі говоритимемо тільки про них. Ківшева норія, по суті — той самий конвеєр, у якому на відміну від звичайного стрічка, рідше — ланцюг, рухається у вертикальному напрямі. На тяговий орган кріпляться ківші, у яких і відбувається транспортування зерна. У ківшовій норії конвеєр зазвичай розміщено в металевому прямокутному коробі, який, по-перше, захищає елементи механізму і зерно від атмосферних опадів, а по-друге, запобігає розповсюдженню зернового пилу. Для додаткового захисту навколишнього середовища від запилення норії можуть обладнуватися окремими аспіраційними системами.

За показниками швидкості руху ківшів норії класифікуються на тихохідні - до 1 м/сек, та швидкохідні - до 4 м/сек. У тихохідному обладнанні розвантаження ківшів зазвичай гравітаційне, у швидкохідному - відцентрове. Перші переважно використовують для переміщення сухого зерна й подрібнених продуктів, другі — для вологого та засміченого зерна.

Від швидкості й призначення норії для того чи іншого виду продуктів їх виготовляють із різним розташуванням ківшів на тяговому органі. Так, норії з розставленими ківшами використовують для транспортування дрібнозернових культур, і найчастіше вони є швидкохідними. Конвеєри із зімкненими ківшами — це, як правило, тихохідні машини із самопливним розвантаженням.

Норія відцентрова ківшева являє собою стаціонарний транспортуючий пристрій безперервної дії, з тяговим органом - стрічкою або ланцюгом і робочим органом — ківшами.

Стандартна довжина секції норії 2м і 1м, підмоторна й оглядові секції 1,25м.

Висота норії міряється від вікна завантаження до вікна вивантаження, тобто фактично висота норії, це є висота підйому зерна, а габаритний розмір норії на 1,5 метра перевищує висоту підйому зерна.

Стрічкова норія для зерна може мати саму різноманітну висоту, яка підбирається залежно від потреб конкретного виробництва. Як правило, висота більшості моделей варіюється в межах від 3 до 23 м. Максимальна висота підіймання зерна на норії зазвичай не перевищує 60 м.

В якості об'єкту модернізації розглядається система керування електропривода норії серії Н(ц) промислової компанії Гіпрон продуктивністю (по зерну) 50 т/год.

Ківшові норії застосовують у різних галузях промисловості для вертикального переміщення сипучого матеріалу - пилоподібного, зернистого й кускового. Поширенню норій сприяв ряд достоїнств: простота конструкції, малі габарити, можливість подачі вантажу на більшу висоту (50-70 м), великий діапазон продуктивності (до 700 м³/ч). До недоліків норій можна, зокрема віднести чутливість до перевантаження й необхідність рівномірної подачі, матеріалу.

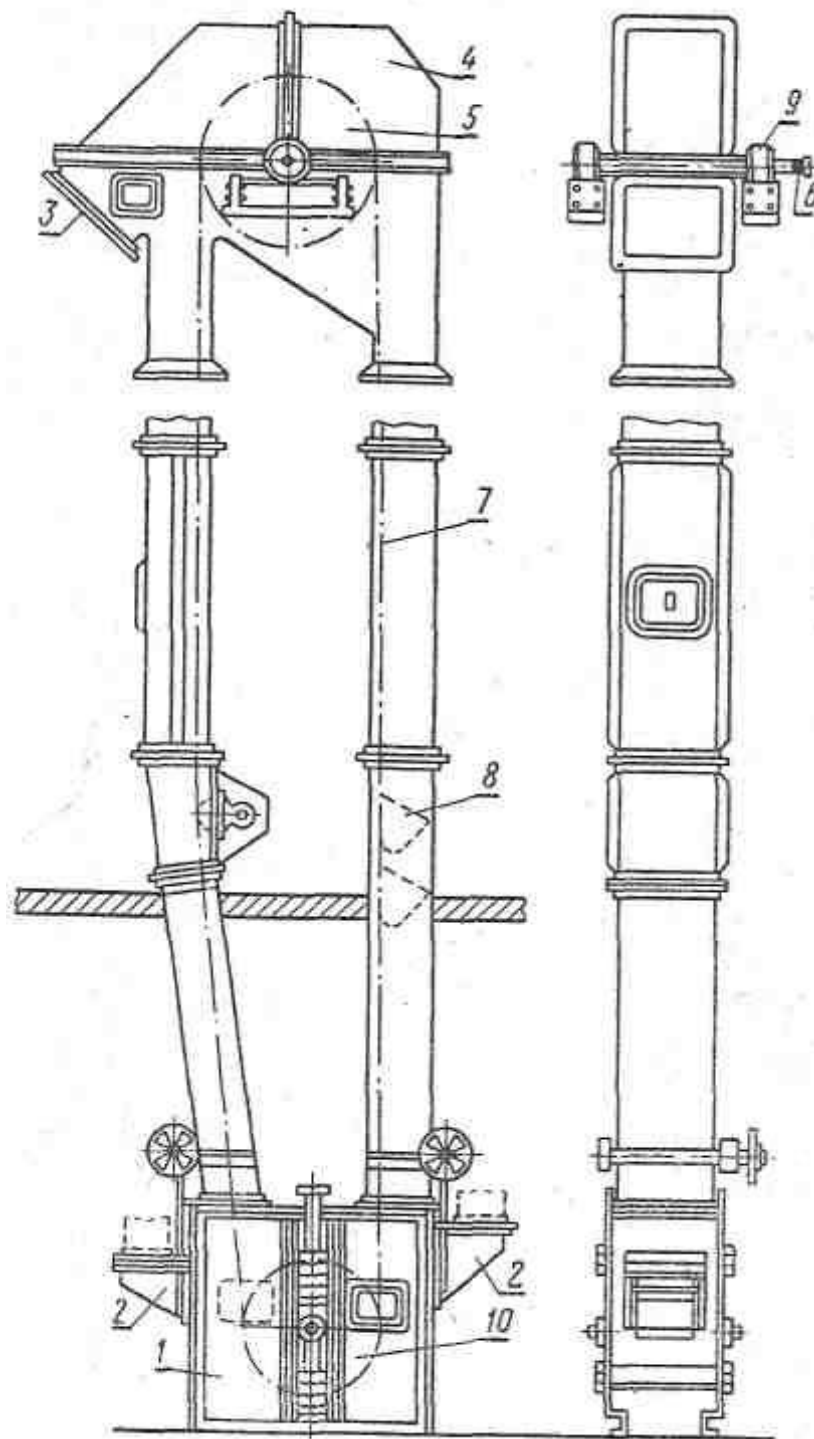
Основні параметри стаціонарних норій загального призначення встановлені ДЕРЖСТАНДАРТ 2036-70, а норій для зерна й продуктів його переробки - ДЕРЖСТАНДАРТ 10190-70.

1.3 Опис та технічні характеристики норії ківшевої типу Н50-10

Норія стрічкова ківшева виробництва ПП Фірма «Гіпрон», являє собою самонесучу конструкцію, (що не вимагає додаткової обв'язки якщо висота норії не перевищує 25м) і призначена для роботи у складі схеми технологічного процесу з тривалим режимом роботи як усередині приміщень, так і на відкритому повітрі, для вертикального переміщення сировини на елеваторах, млинах, комбикормових і інших зернопереробних підприємствах [8,9].

Сировиною для транспортера служать зерно, крупа, борошно, висівки та інші сипучі матеріали з питомою вагою 250 - 850 кг / м³.

Загальний вид і основні складові частини стрічкової ківшевої норії Н50-10 представлені на рисунку 1.3.



- 1 - черевик; 2 - живильні носки; 3 - розвантажувальний носок; 4 - головка;
 5 - верхній барабан; 6 - приводний вал; 7 - тяговий орган; 8 - ківш; 9 - підшипник;
 10 - нижній барабан

Рисунок 1.3 - Загальний вид і основні складові частини стрічкової ківшевої норії
 Н50-10

Норія складається з нескінченного тягового органа 7 з ковшами 8, що обгинає верхній 5 і нижній 10 барабани. Нижня частина норії, черевик 1, складається з барабана або зірочки, насаджених на вісь, кожуха й живильних носків 2. Верхня частина норії, головка 4, складається із приводного вала 6, що опирається на два підшипники 9, і насадженого на нього барабана (зірочки), кожуха й приводного механізму. Нескінченний тяговий орган з ковшами укладений у труби прямокутного перерізу.

Технічні характеристики норії ківшевої типу Н50-10 наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики норії ківшевої типу Н50-10 [8]

Параметр	Значення
Марка норії	Н50-10
Потужність, кВт	4
Продуктивність (по зерну), т/год	50
Кількість коробів, шт	10
Висота від "0" до центру барабана, мм	10230
Швидкість стрічки, м/с	2,2-2,4
Привод	Мотор-редуктор Motovario

Норія складається з кількох основних конструктивних елементів, і кожний із них впливає на її продуктивність.

Тяговий орган норії — стрічка або ланцюг — огинає приводний і натяжний барабани або зірочки. Стрічка натягнута між верхнім приводним і нижнім натяжним барабаном, і є головним тяговим механізмом. Верхній барабан розміщується в головці, а нижній — у башмаку зернової норії.

Нижня частина норії — «башмак» являє собою збірну конструкцію з металевих листів і профільованих металевих виробів, з'єднаних різьбовими кріпильними деталями. Цей вузол слугує для забезпечення завантаження зерна до основного робочого органа — ківша та натяжки тягового органа стрічки чи ланцюга. Крім цього, він є важливим опорним елементом усієї конструкції норії. Вивантажується зерно через патрубок у горизонтальному напрямку у верхній

частині конвеєра — «головці».

Приводна головка складається з корпусу, кожуха, приводного барабана, мотор-редуктора. Основа являє собою зварну конструкцію із закріпленням на ній приводним барабаном та приводом. Основа має приєднувальні фланці для норійних труб і отвір для виводу зерна після розвантаження ківшів. Для запобігання зворотного висипу зерна в основу встановлений регульований шибер.

Кришка велика й кришка мала служать для огороження й напрямку руху зерна, коли стрічка з ківшами обходить приводний барабан.

Башмак норії являє собою збірний корпус, що складається зі стінки, опори, кришки, люка, шибера й штока.

У середині башмака, на вертикальних штоках, установлений барабан, що забезпечує натяжку стрічки. Штоки встановлюються в стаканах, які закріплюються зверху корпусу башмака. Для створення необхідного натягу стрічки штоки з'єднані зі спеціальними гвинтами.

Для з'єднання башмака з норійними трубами у верхній частині корпусу передбачені отвори. Норійні труби(секції) призначені для з'єднання головки й башмака норії з метою огороження стрічки з ківшами.

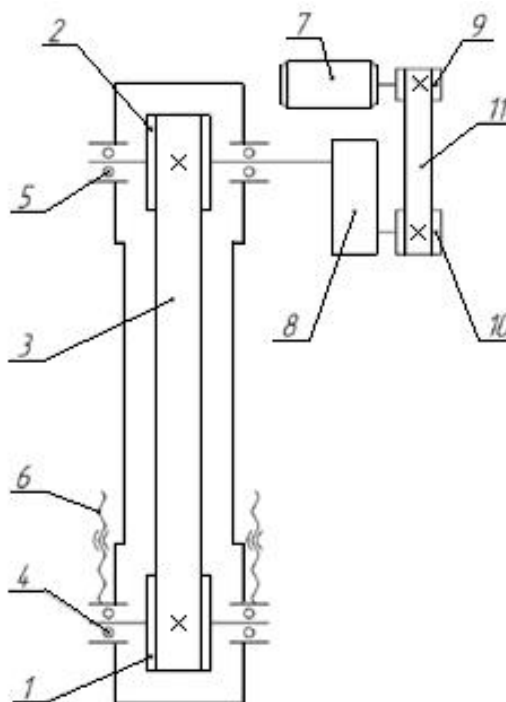
Норійна стрічка обгинає приводний і натяжний барабани норії. Вільні кінці стрічки з'єднуються за допомогою кутків.

У башмаку проводиться натяг стрічки за допомогою 2-х натяжних гвинтів, роздільних для кожного кінця валу натяжного барабана. Така конструкція дає можливість точно регулювати розташування натяжного барабана й виключити схід стрічки в процесі роботи. Також розташовано дві заслінки, що дозволяють легко виконати зачищення при зміні культури або при завалі.

На стрічці, з певним кроком, установлюються ківші. Кріплення ківшів до стрічки здійснюється спеціальними болтами, головки яких розташовуються із внутрішнього боку стрічки.

У секції обслуговування передбачений кронштейн для кріплення автомата закриття заслінки й вікно із знімною кришкою для доступу до ківшевої стрічки.

Кінематична схема норії та схема розташування підшипникових вузлів показана на рисунку 1.4 [9].



1 – барабан натяжний; 2 – барабан приводний; 3 – стрічка; 4, 5 – підшипниковий вузол; 6 – механізм натягу стрічки; 7 – електродвигун; 8 – редуктор; 9, 10 – шків; 11 – ремінь клиновий

Рисунок 1.4 - Кінематична схема норії

Принцип роботи норії.

Норія для зерна запускається за допомогою привода, після чого стрічка норії починає рухатися, поступово набираючи швидкість. Коли потрібна швидкість досягнута, відкривається завантажувальний патрубок, через який починається подача зерна [10].

При включенні привода норії, починається обертання приводного барабана, який приводить у рух норійну стрічку з ківшами.

За рахунок безупинного руху ківшів, закріплених на стрічковому (або ланцюговому) конвеєрі, проводиться підйом матеріалу. Потрібний вантаж підхоплюється ківшами в нижньому секторі конвеєрної стрічки, рухається вертикально й розвантажується у верхньому секторі через патрубок.

При обгинанні стрічки з ківшами приводного барабана, зерно, що знаходиться в ківшах, під дією відцентрових сил викидається з ківшів і через розвантажувальну лійку в головці виводиться з норії. Відцентровий спосіб розвантаження (відцентрово-гравітаційний) дає необхідну потужність, зменшуючи навантаження на мотор привода. Далі вниз рухаються перекинуті ківші.

Норія стрічкова ківшева використовується для роботи в складі схеми технологічного процесу із тривалим режимом роботи, як усередині приміщень класу В-ІІ так і на відкритому повітрі, кліматичне виконання У1, У2 згідно з ГОСТ 15150-69. У цей час зернова норія відіграє одну з головних ролей у сфері транспортування зерна. Даний вид устаткування повністю відповідає високим вимогам безпеки й енергозбереження, а також санітарним і екологічним нормам.

1.4 Електричне обладнання норії

Електрообладнання норії складається з електродвигунів, пускорегулювальної та захисної апаратури, кінцевих вимикачів, освітлювальної та сигнальної апаратури, кабелів і проводів [12].

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

Система автоматичного керування електропривода норії забезпечує:

- роздільне включення верхньої й нижньої приводних станцій;
- подачу автоматичного попереджувального сигналу перед пуском;
- підвищений пусковий момент;
- обмеження часу втримання зусилля при неуспішному запуску (6 - 8 секунд) для запобігання перегріву електроприводів;
- автоматичне відключення норії при обриві тягового органу;
- автоматичний захист приводів і тягового органу норії від динамічних перевантажень при заклинюванні ланцюга.

На рисунку 1.5 показана рекомендована схема електрична принципова керування норії.

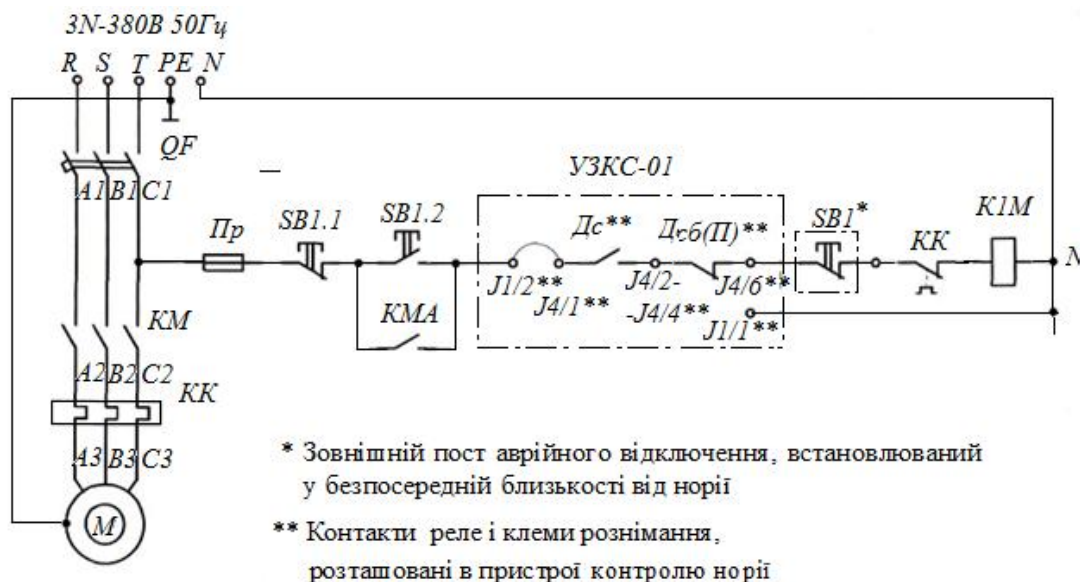


Рисунок 1.5 - Рекомендована схема електрична принципова керування норії

У таблиці 1.2 наведений рекомендований перелік елементів схеми

Таблиця 1.2 - Перелік елементів схеми

Позначення	Назва елементу	Кількість
KM	Контактор	1
QF	Автоматичний вимикач	1
KK	Термореле	1
SB1	Кнопка	1
SB1.1	Кнопка	1
SB1.2	Кнопка	1

Керування норією здійснюється від пульта керування оператора.

Норії постачені автоматично діючим гальмовим пристроєм для запобігання зворотного ходу стрічки й датчиками підпору й контролю швидкості.

Контрольними приладами норії є: датчик підпору, датчик швидкості, датчик контролю температури підшипника й датчик сходу стрічки.

При установці норії, у нижню її частину, в обов'язковому порядку, установлюється датчик швидкості. У випадку забивання норії або влучення усередину норії сторонніх предметів, що заважають її правильній роботі, відбудеться призупинка норії, датчик дасть команду в електричний щит, який відразу відключить живлення від електродвигуна норії й сповістить про це на пульті керування загорянням червоної лампочки «Перешкода в норії».

РОЗДІЛ 2

ВИБІР ТИПУ ЕЛЕКТРОДВИГУНА ТА КОМПЛЕКТНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

2.1 Аналіз існуючих видів електродвигунів. Вибір електродвигуна

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.

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%.

В Україні асортимент асинхронних електродвигунів представлений продукцією українського та закордонного виробництва. В цьому сегменті ринку досить міцні позиції посідають саме вітчизняні виробники асинхронних трифазних електродвигунів для різних галузей промисловості. Електродвигуни вітчизняного

виробництва в своїй більшості на українському ринку представлений продукцією ВАТ «Укрелектромаш» (м. Харків), Дніпропетровського електромеханічного заводу, Полтавського заводу «Електромотор», електротехнічного заводу з Нової Каховки «Південелектромаш» та Ужгородським заводом електродвигунів.

Дослідження показують, що український ринок асинхронних електродвигунів в основному орієнтований на вітчизняну продукцію. Двигуни українських виробників в цілому складають 85..95 % місткості вітчизняного ринку [17].

Аналіз попиту на електродвигуни за механізмами використання показаний на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 - Структура використання різних видів електродвигунів у світі

Найбільш цікавою є структура споживчого попиту на асинхронні двигуни за механізмами їх використання. Цей вид електротехнічних виробів має надзвичайно широке використання в самих різних машинах та механізмах. Дослідження показують, що найбільш вживані сфери використання цих двигунів представлені вентиляторами (31 %), насосами (19 %), конвеєрами та транспортерами (17 %).

Порівняння деяких типів електродвигунів (таблиця 2.1) показує, що двигуни змінного струму мають ряд переваг, включаючи зручність в керуванні, надійність, довговічність та занижений рівень шуму.

Серед усіх інших видів електротехнічних виробів, цей вид електричних машин є найбільш затребуваним в електроприводі.

Таблиця 2.1 – Переваги і недоліки різних типів електродвигунів [17]

Тип двигуна	Переваги	Недоліки
Двигун постійного струму	Дешевий, простий у використанні	Неефективний, потребує постійного обслуговування та заміни щіток
Двигун змінного струму	Ефективний; більш надійний, ніж двигун постійного струму	Складний у використанні
Серводвигун	Висока точність позиціонування та контролю, висока продуктивність	Дорогий, складний у використанні
Кроковий двигун	Висока точність позиціонування, низька вартість	Низька продуктивність, шумний, неефективний

Проведені українськими вченими дослідження показують, що асинхронні двигуни в складі автоматизованого електропривода споживають по різних

Взагалі, в суспільному виробництві України експлуатуються десятки мільйонів асинхронних двигунів. Тому навіть незначне покращення техніко-економічних показників і властивостей цих виробів (в системі електропривода) в масштабах держави дає суттєву економію електроенергії та забезпечує значний економічний ефект.

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 асинхронні 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.

В роботі розглядається норія ківшева, в якій застосований асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором серії 4А потужністю 4 кВт.

Враховуючи характеристику даного транспортного засобу по пожежовибухонебезпечності, для подальшого дослідження системи керування електропривода норії вибираємо більш сучасний електродвигун типу АИР112МВ6У3 зі ступенем захисту IP54/55, основні технічні характеристики якого наведені в таблиці 2.2 [1].

Таблиця 2.2 -Технічні характеристики електродвигуна АИР112МВ6У3

Параметр	Значення
Типорозмір	АИР112МВ6У3
Потужність електродвигуна , кВт	4
Число пар полюсів p , шт. (всього 6 полюсів)	3
Синхронна частота обертання ротора, об/хв.	1000
Номінальна частота мережі f , Гц	50
Номінальна напруга U , В	380
Струм при 380 В, I_H , А	9,75
Ковзання S_H , %	5
ККД %	82
Коефіцієнт потужності $\cos \varphi$,	0,76
Кратність пускового моменту, M_n / M_H	2,1
Кратність максимального моменту, $M_{\max} / M_H$	2,1
Кратність пускового струму, I_n / I_H	6,5
Момент інерції ротора J_ϕ , кг·м ²	0,0425

Електродвигун захищений від влучення пилу та водяних бризів на внутрішні робочі елементи. Однак умови його експлуатації вимагають відсутності в повітрі струмопровідних або агресивних елементів – це негативно позначається на довговічності виробу.

Загальна запиленість не повинна перевищувати 10 мг/м^3 . Максимальна висота розміщення – 1000 м над рівнем моря.

2.2 Огляд існуючих систем керування двигунами перемінного струму

У багатоплановому розвитку сучасного ЕП основну роль грають загальні вимоги, що висуваються до сучасних ЕП:

- надійність, що полягає в здатності об'єкта виконувати свої функції протягом визначеного проміжку часу;
- точність, що зумовлена в здатності системи реалізувати заданий технологічний процес;
- енергетична ефективність, що обумовлена високим ККД, величиною втрат і споживаної потужності;
- ресурсоемність - цей показник враховує вартість матеріалів, закладених у конструкцію ЕП, трудомісткість при монтажі, налагодженні, експлуатації (оцінюється цей показник ціною ЕП) [12,14].

Вимоги до електропривода норії. Вибір конкретної системи електропривода визначається, зокрема, необхідністю регулювання продуктивності норії (вертикального конвеєра).

Продуктивність норії можна регулювати кількома способами:

- шляхом зміни швидкості приводу двигуна (електричний режим);
- за рахунок спеціального обладнання самим механізмом (напрямні лопатки та ін.).

Щоб підвищити ефективність і надійність системи, пропонується відрегулювати продуктивність норії шляхом зміни швидкості електропривода двигуна.

При використанні методу електричного керування з використанням сучасної технології (перетворювач частоти) втрати потужності під час керування значно знижуються, оскільки ККД таких перетворювачів становить від 0,97 до 0,98%.

Загальні відомості про регулювання координат в системах електропривода.

Для забезпечення безперервного та якісного технологічного процесу необхідно контролювати різні величини, які стосуються електропривода (момент M , потужність P , точність переміщення і т.п.)

Ці величини мають назву – координати електропривода.

Для якісної оцінки вимог, що висуваються до ЕП, використовують загальні показники регулювання.

Показниками регулювання швидкості є:

1. Діапазон регулювання – характеризується співвідношенням значень максимальної швидкості до мінімальної, які можуть бути реалізовані у даному способі регулюванні.

2. Статична похибка регулювання швидкості – характеризує величину похибки за швидкістю при коливаннях моменту.

3. Плавність регулювання – характеризує кількість штучних механічних характеристик, можливих при даному діапазоні регулюванні, плавність регулювання тим більша, чим менший коефіцієнт плавності.

4 Стабільність роботи на заданій швидкості.

Стабільність роботи тим більша, чим більша жорсткість на штучній механічній характеристиці) [14,19].

Основними законами регулювання є:

- регулювання із постійною швидкістю ω ;
- регулювання із постійним моментом M ;
- регулювання із постійною потужністю P ;

Для досягнення необхідних технологічних параметрів конвеєрів найбільш перспективними є методи частотного керування електропривода. Дане керування дозволяє регулювати швидкість конвеєра залежно від параметрів технологічного процесу. Режим роботи асинхронного двигуна при заданій частоті визначається напругою або струмом (потокм) 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.

Частотне регулювання АД здійснюється за допомогою мікропроцесорних систем керування на основі математичного опису загальної двухфазної асинхронної машини (АМ).

Найбільш поширені частотне регулювання та 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).

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 ω асинхронного двигуна зміною частоти f_1 живильної напруги впливає з формули

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

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

$$UI \approx EI = k \cdot \Phi \cdot f_1.$$

Якщо при незмінній напрузі U змінювати частоту f_1 , то потік Φ 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

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

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. Електромашинні перетворювачі з безпосереднім зв'язком практичного застосування не отримали.

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. Варто підкреслити, що 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.

Крім вимог формування механічних характеристик двигунів, до систем керування можуть пред'являтися також вимоги відносного керування по енергетичних витратах, наприклад забезпечення необхідних моменту і швидкості при мінімумі струму статора чи мінімумі втрат, забезпечення максимального моменту при заданому струмі статора.

Такі задачі керування вирішуються при використанні екстремальних систем керування [2,14,19].

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.

Переваги векторного регулювання:

- точне відпрацювання швидкості з компенсацією ковзання (навіть без зворотного зв'язку по швидкості);
- глибокий діапазон регулювання;
- в області малих частот двигун працює плавно й зберігає момент аж до нульової швидкості;
- швидка реакція на стрибки навантаження;
- при різких стрибках навантаження практично не відбувається стрибків швидкості, внаслідок високої динаміки регулювання;
- оптимізація ККД двигуна на низьких частотах;
- за рахунок регулювання струму намагнічування здійснюється оптимізація режиму роботи двигуна й зниження втрат.

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.

Проаналізувавши наявні засоби і системи керування швидкістю обертання асинхронного електродвигуна, приходимо до висновку, що для керування електропривода ківшевої норії доцільно використати тиристорний перетворювач з

частотно-струмовою системою керування.

На основі проведеного аналізу існуючих типів керування двигунів перемінного струму для керування електродвигуном норії вибраний перетворювач типу FR-A471 з частотно-струмовим керуванням і загальними характеристиками (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3 - Загальні характеристики Mitsubishi Electric FR-A741-11k [13]

Тип	Перетворювач частоти з рекуперацією з інтегрованою функцією рекуперації енергії
Потужність, кВт	11
Номінальний струм, А	23
Напруга живлення	3 фази, ~380-480В, -15%/+10%
Розміри (ШхВхГ), мм	300х600х294
Вихідна частота, Гц	0,2-400 Гц

2.3 Загальна характеристика й основні технічні дані перетворювача частоти Mitsubishi Electric FR-A741

Перетворювачі частоти Mitsubishi Electric FR-A741 являють собою серію високопродуктивних перетворювачів з функцією рекуперації енергії. FR-A741 – це новітня модель високофункціональної серії FR-A700 [13].

Моделі перетворювачів із серії FR-A741

Перетворювачі частоти серії FR-A741 Mitsubishi Electric розраховані на роботу в стандартній трифазній електромережі напругою 380-480 В. Лінійка пристроїв містить у собі різні варіанти виконання з номінальним струмом від 12 до 110 А, призначених для роботи із двигунами потужністю в межах 5,5-55 кВт.

Область застосування частотних перетворювачів Mitsubishi Electric FR-A741

Перетворювачі частоти із серії FR-A741 по своїх характеристиках оптимізовані для застосування з різними видами кранового й вантажопідйомного встаткування.

Перетворювачі FR-A741 з можливостями вбудованого програмованого логічного контролера (ПЛК) ідеально підійдуть для організації систем автоматичного керування крановим устаткуванням, також перетворювачі Mitsubishi Electric FR-A741 можуть використовуватися в різноманітних отраслях промисловості:

- текстильне виробництво;
- целюлозно-паперова промисловість і виробництво впакування,
- деревообробна промисловість;
- сільськогосподарська галузь і аграрна промисловість;
- добувна й нафтогазова галузь;
- металургія;
- машинобудування, виробництво верстатів, устаткування й приладів і багато інших.

Застосування: конвеєри; машини фармацевтичної промисловості; намотувальні машини; друковані машини; крани й підйомні механізми; багатоярусні склади; екструдери; центрифуги; верстати.

Призначення перетворювачів частоти FR-A741

Перетворювачі із серії FR-A741 від Mitsubishi Electric використовуються для вирішення різних задач:

- регулювання обертання й роботи електродвигуна;
- захист двигуна й устаткування в процесі роботи;
- рекуперація енергії гальмування;
- регулювання різноманітних параметрів виробничих процесів,
- використання як програмувальний контролер;
- автоматизація системи керування робочим устаткуванням;
- обмін інформацією з іншими пристроями й багато інших.

Переваги вибору перетворювачів частоти FR-A741 від Mitsubishi Electric.

Нова серія перетворювачів частоти FR-A741 доповнена широкими можливостями й рядом переваг:

- вбудована функція рекуперації енергії;
- підвищені показники енергозбереження;
- удосконалена система монтажу приладу в шафу з економією простору;
- розширений функціонал;
- автоматична зміна частоти залежно від рівня навантаження;
- можливість підключення зовнішнього гальма;
- знімна панель керування;
- незалежне керування крутним моментом по чотирьом окремим квадрантам;
- наявність додаткових портів для обміну даними, включаючи стандартний порт USB і універсальний протокол Modbus;
- вбудований контролер (ПЛК) з можливістю завдання багатокрокових програм керування й ПД-регулювання;
- у порівнянні із традиційними системами електропривода, FR-A741 з інтегрованою функцією рекуперації енергії відрізняється значно більш високою енергозберігаючою здатністю.

Можливі недоліки серії перетворювачів Mitsubishi Electric FR-A741. При роботі слід уникати влучення вологи й пилу в корпус приладу, захищати пристрій від небезпечних газів і рідин.

Принцип роботи перетворювача частоти FR-A741.

Загальний принцип роботи перетворювачів частоти Mitsubishi Electric FR-A741 стандартний і не відрізняється від роботи аналогів. Вхідна напруга мережі живлення, проходячи через пристрій серії FR-A741, перетворюється для подачі на двигун напруги з необхідними параметрами. Рівень напруги прямо впливає на частоту обертання.

Відмінності полягають у функції рекуперації енергії в перетворювачах FR-A741 від Mitsubishi Electric. При використанні системи рекуперації енергії

гальмування двигуна повертається в систему для зниження споживання загальної енергії й зниження виділення тепла при роботі двигуна.

На рисунку 2.2 показана загальна схема підключення перетворювача частоти лінійки FR-A741.

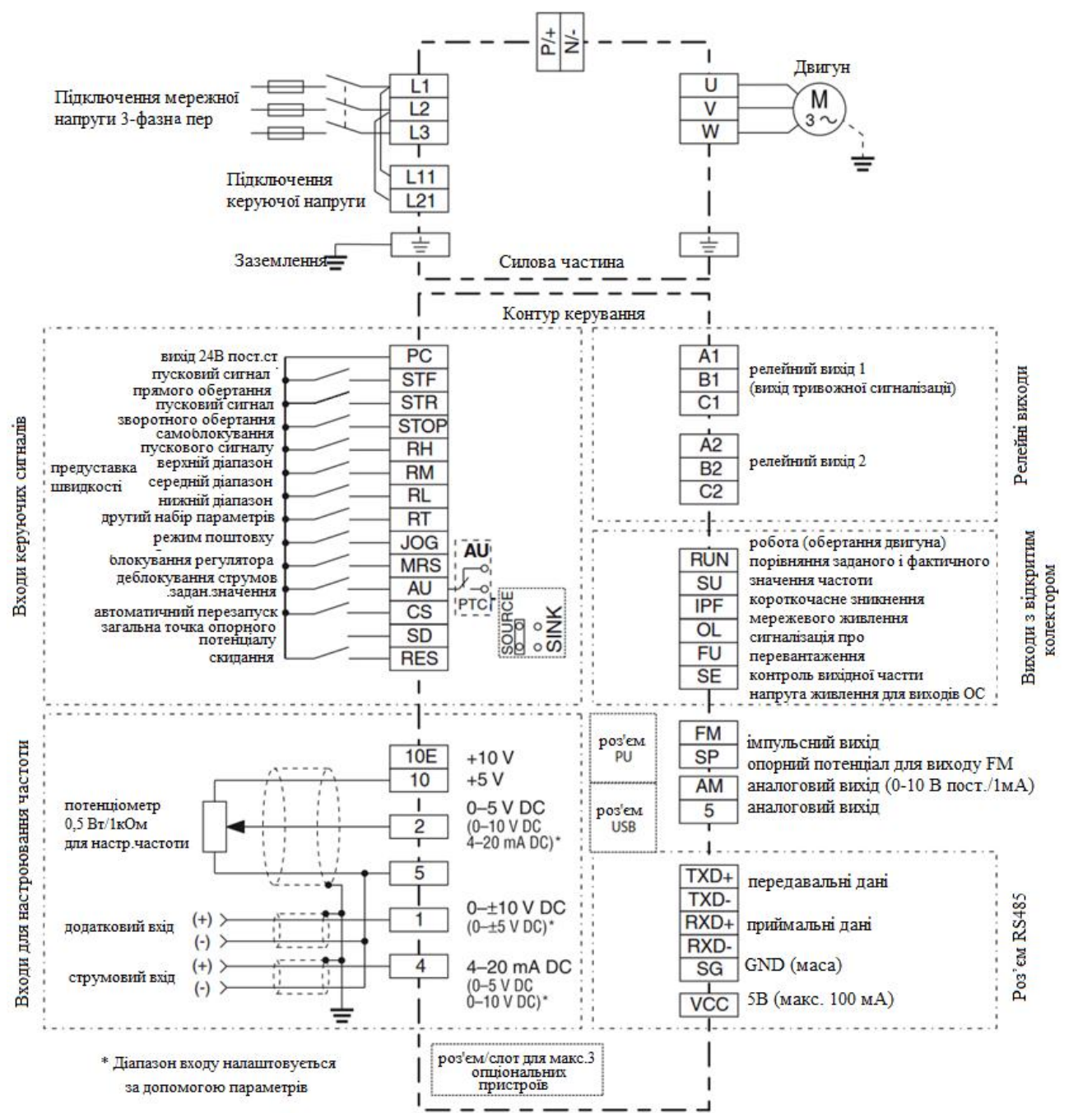


Рисунок 2.2 – Загальна схема підключення перетворювача частоти лінійки FR-A741

Технічні характеристики трифазного перетворювача частоти з рекуперацією FR-A741-11K наведені в таблиці 2.4

Таблиця 2.4 - Технічні характеристики перетворювача частоти FR-A741 [13]

Вихід	Номінальна потужність двигуна, кВт	200% перегр. здатн. (ND)	11
	Номінальний струм, А	250% перегр. здатн. (HD)	23
	Вихідна потужність [кВа]		17,5
	Перевантажувальна здатність		150% номінальної потужності двигуна протягом 60 сек.; 200% - протягом 3 сек. (макс. температура навколишнього середовища 50°C)
	Напруга		3-фазна, від 0 В до трифазної змінної напруги, від 0 В до напруги живлення
	Діапазон частот (Гц)		0,2...400
	Рекуперативний гальмовий момент		100% безупинно / 150% для 60 сек.
Вхід	Напруга живлення		Трифазне, 380–480 В, –15%/+10%
	Діапазон напруг		323–528 В при 50/60 Гц
	Частота напруги живлення		50/60 Гц $\pm$ 5%
	Номінальна вхідна потужність [кВа]		20
Технічні дані керування	Спосіб керування		U/f -регулювання, розширене керування вектором потоку, безсенсорне векторне керування або векторне керування (при наявності опціонального блоку FR-A7AP)
	Спосіб модуляції		Синусоїдальна ШІМ-Модуляція, "м'яка" ШІМ-Модуляція
	Розрізняльна здатність завдання частоти	Аналоговий ввід	0,015 Гц/ 0...50 Гц (сполучна клемма 2, 4:0...10 В/12 біт) 0,03 Гц/ 0...50 Гц (сполучна клемма 2, 4:0...5 В/11 біт, клемма 1: від -10 до $\pm$ 10 В/12 біт) 0,06 Гц/ 0...50 Гц (сполучна клемма 1: від 0 до $\pm$ 5 В/11 біт)

Продовження таблиці 3.4.

	Цифровий ввід	0,01 Гц
--	---------------	---------

Технічні дані керування	Точність частоти	$\pm 0,2\%$ від максимальної вихідної частоти (діапазон температури $25^{\circ} \pm 10^{\circ}\text{C}$) через аналоговий ввід; $\pm 0,01\%$ від заданої вихідної частоти (через цифровий ввід)
	Характеристики "напруга-частота"	Базова частота встановлюється в діапазоні 0...400 Гц; Вибір між характеристикою для постійного моменту обертання й гнучкою характеристикою U/f по 5 точках
	Пусковий крутний момент	200%, 0,3 Гц (0,4-3,7 ДО), 150%, 0,3 Гц (5,5 ДО або вище) (при безсенсному векторному керуванні або векторному керуванні)
	Підвищення крутного моменту	Ручне підвищення крутного моменту
	Час розгону/затримки	0; 0,1 до 3600з (можливе індивідуальне настроювання), можна вибрати лінійну або S-образну характеристику розгону/затримки, а також прискорення/затримка компенсації люфту.
	Характеристики розгону/затримки	Лінійна або S-образна, вибирається користувачем
	Гальмування постійним струмом	Робоча частота (0...120 Гц), час роботи (0...10 сек.) і робоча напруга (0...30%) можуть вільно регулюватися. Гальмування постійним струмом можна також активувати через цифровий ввід.
	Робочий рівень обмеження струму	Установка рівня робочого струму 0...200 %, встановлюється користувачем
	Захист двигуна	Електронне реле захисту двигуна (номінальний струм регулює користувач)
	Граничний рівень крутного моменту	Можливе настроювання граничного значення крутного моменту (від 0 до 400%)

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ДИНАМІКИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

3.1 Розробка функціональної схеми системи керування

Принцип роботи електропривода. Формування необхідних статичних і динамічних властивостей асинхронного частотно-регульованого електропривода можливо лише в замкненій системі регулювання його координат.

Узагальнена функціональна схема подібної системи (рисунок 3.1) крім асинхронного двигуна (АД) й керованого перетворювача частоти (ПЧ) містить регулятори Р і датчики Д перемінних електропривода. Керуючими впливами u_K на вході регуляторів можуть бути сигнали завдання будь-яких координат електропривода - швидкості, кута повороту ротора АД, струму статора, магнітного потоку й т.п. Збурюючими впливами на електропривод можуть бути моменти сил опору M_c на валу АД або коливання напруги живильної мережі U_c електропривода [16].

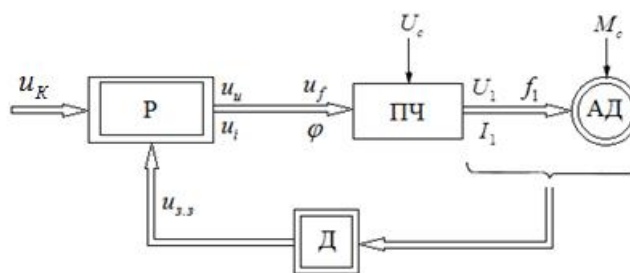


Рисунок 3.1 - Функціональна схема замкненої системи керування ПЧ-АД зі скалярним керуванням

Вхідними сигналами датчиків є перемінні АД, доступні для безпосереднього їхнього виміру (частота, напруга й струм статора, швидкість ротора, магнітний потік у повітряному зазорі АД) або обумовлені розрахунковим шляхом за допомогою математичної моделі АД (ЕРС, потокозчеплення статора, ротора й т.п.). Вихідні сигнали регуляторів, що залежать від керуючих впливів, сигналів зворотних зв'язків $u_{з.з}$ і прийнятих алгоритмів регулювання, є сигналами

поточній швидкості ротора ω , тобто $u_{PII} = (u_{3.III} - u_{3.3.III}) = (\omega_{03} - \omega) = s_a \cdot \omega_{ном}$. Якщо передатний коефіцієнт формувача частоти ковзання ФЧК вибрати таким чином, щоб з урахуванням $\omega_{ном}$ його вихідний сигнал $u_{ФЧК}$ був пропорційний $(\omega_{03} - \omega)$, то після сумування цього сигналу з вихідним сигналом u_{PII} узгоджувального пристрою ПП, пропорційним поточному значенню ω , на виході суматора Σ_2 пристрою завдання частоти (ЗЧ) інвертора струму ІС перетворювача ПЧС буде сформований сигнал

$$u_C = u_{ФЧК} + u_{PII} \cong (\omega_{03} - \omega) + \omega = \omega_{03}.$$

В результаті на вихід ЗЧ буде сигнал завдання частоти вихідного струму ПЧС $u_{3.f} \cong u_{3.III} \cong \omega_{03}$, що визначає завдання синхронної швидкості АД.

Оскільки електромагнітний момент двигуна пропорційний квадрату струму статорної обмотки ($M \cong I_1^2$), який, у свою чергу, пропорційний абсолютному ковзанню ($I_1^2 \cong s_a$), вихідний сигнал РШ пропорційний s_a і є сигналом завдання електромагнітного моменту АД. Тому вихідною напругою $u_{БО}$ блоку обмеження БО на виході РШ можна впливати і на обмеження максимального моменту АД.

Перед пуском двигуна ($u_{3.III} = 0$, $u_{PII} = 0$) сигнал завдання частоти перетворювача $u_{3.f} = 0$ і за рахунок характеристики ФП ($u_{3.III.min} \neq 0$) в АД задається постійний струм, який забезпечує потік намагнічування і режим динамічного гальмування АД. Зі збільшенням $u_{3.III}$ зростає сигнал завдання частоти, струм статора стає змінним із заданою частотою і двигун починає обертання під дією максимального моменту, встановленого сигналом $u_{3.III}$. Збільшення швидкості буде відбуватися до тих пір, поки не зрівняються сигнали завдання і зворотного зв'язку по швидкості двигуна. Після цього вихідний сигнал РШ при відсутності статичного навантаження на валу АД знову встановиться рівним нулю, але за рахунок позитивного зворотного зв'язку по швидкості вже при $u_{3.f} \neq 0$. Потік холостого ходу АД буде при цьому створюватися змінним струмом I_{1min} [16].

3.1.1 Математичний опис структурної схеми електропривода з частотно-струмовим керуванням

Комплектний електропривод серії FR-A741 [13] має штатні складові, а тому розрахунку та вибору основних елементів не потребує. Але корегуюча ланка заводом-виробником не передбачується, бо вона розраховується під конкретний двигун. Окрім того, при налагодженні привода потрібно встановити значення регулюючих параметрів, які забезпечують необхідні динамічні якості системи. Це потребує проведення аналізу динаміки системи на основі її математичної моделі.

При дослідженні перехідних процесів у трифазних асинхронних електродвигунах доцільно прийняти припущення, які дозволяють в доступній математичній формі відобразити співвідношення основних параметрів та координат: сили обмоток двигуна розподілені синусоїдально вздовж кола повітряного зазору; втрати у сталі статора і ротора відсутні; обмотки статора і ротора строго симетричні зі зміщенням осей обмоток на 120° ; насичення магнітного кола відсутнє.

При розгляданні перехідних процесів досліджується ідеалізований асинхронний двигун, у якому магнітна рушійна сила (МРС) і індукція розподілені по окружності синусоїдально, втрати в сталі відсутні, ланцюг, що намагнічує, є лінійним. Диференційні рівняння ідеалізованого асинхронного двигуна у системі координат $x - y$, що обертається з синхронною швидкістю ω_0 :

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= I_1 \cdot r_1 + \frac{d\psi_1}{dt} + j\omega_0\psi_1; \\ 0 &= I_2 \cdot r_2' \frac{d\psi_2}{dt} + j(\omega_0 - z_p\omega_2)\psi_2; \\ \psi_1 &= L_1 I_1 + L_0 I_2'; \\ \psi_2 &= L_2' I_2' + L_0 I_1, \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

де U_1, I_1, ψ_1 – вектори напруги, струму і потокозчеплення статора;

I_2', ψ_2 – ті ж параметри для ротора, приведені до статора;

L_o – повна результуюча взаємна індуктивність обмотки статора і ротора;

L'_2, L'_1 – повні результуючі індуктивності обмотки статора і ротора (приведені до статора), що складаються з індуктивності від головного потоку і індуктивностей від полів розсіювання;

r'_1, r'_2 – активні опори обмоток статора і ротора (приведені до статора);

ω_2 – кутова швидкість обертання ротора;

z_p – число пар полюсів двигуна.

Обертовий момент двигуна M ,

$$M = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot I_m (\psi_1^* \cdot I_1) = \frac{3}{2} \cdot z_p \frac{L_0}{L'_2} \cdot I_m (\psi_2^* \cdot I_1). \quad (3.2)$$

Рівняння руху двигуна:

$$M - M_c = I \frac{d\omega}{dt}. \quad (3.3)$$

При живленні від АІС, коли заданий струм статора двигуна, доцільно перейти до рівнянь, що містять U_1, I_1, ψ_2 .

З третього і четвертого рівнянь системи (3.1):

$$\psi_1 = \frac{\Delta^*}{L'_2} \cdot I_1 + \frac{L_0}{L'_2} \cdot \psi_2,$$

де $\Delta^* = L_1 L'_2 - L_0^2; I'_2 = \frac{1}{L'_2} \cdot \psi_2 - \frac{L_0}{L'_2} \cdot I_1.$

Підставимо дані вирази в перші два рівняння системи (3.1) і одержимо:

$$U_{1x} = R_1 I_1 + \frac{\Delta^*}{L'_2} \cdot \frac{dI_1}{dt} - \omega_0 \cdot \frac{L_0}{L'_2} \cdot \psi_{2y} + \frac{L_0}{L'_2} \cdot \frac{d\psi_{2x}}{dt} \quad (3.4)$$

$$0 = -\frac{R_2}{L'_2} \cdot L_0 I_1 + \frac{R_2}{L'_2} \cdot \psi_2 + \frac{d\psi_2}{dt} + j(\omega_0 - z_p \omega_2) \cdot \psi_2 \quad (3.5)$$

Спроекуємо вирази (3.5) на осі x і y , а також введемо в якості незалежної перемінної I_1 , що спрямована уздовж осі x , при цьому $I_{1x} = I_1$:

$$\left. \begin{aligned}
 U_{1x} &= R_1 I_{1x} - \omega_0 \cdot \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot I_{1y} + \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot \frac{dI_{1x}}{dt} - \omega_0 \cdot \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y} + \frac{L_0}{L_2'} \cdot \frac{d\psi_{2x}}{dt}; \\
 U_{1y} &= R_1 I_{1y} - \omega_0 \cdot \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot I_{1x} + \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot \frac{dI_{1y}}{dt} - \omega_0 \cdot \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2x} + \frac{L_0}{L_2'} \cdot \frac{d\psi_{2y}}{dt}; \\
 0 &= -\frac{R_2'}{L_2'} \cdot L_0 I_{1x} + \frac{R_2'}{L_2'} \cdot \psi_{2x} + \frac{d\psi_{2x}}{dt} - (\omega_0 - z_p \omega_2) \cdot \psi_{2y}; \\
 0 &= -\frac{R_2'}{L_2'} \cdot L_0 I_{1y} + \frac{R_2'}{L_2'} \cdot \psi_{2y} + \frac{d\psi_{2y}}{dt} + (\omega_0 - z_p \omega_2) \cdot \psi_{2x}.
 \end{aligned} \right\} \quad (3.6)$$

$$\left. \begin{aligned}
 U_{1x} &= R_1 I_1 + \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot \frac{dI_1}{dt} - \omega_0 \cdot \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y} + \frac{L_0}{L_2'} \cdot \frac{d\psi_{2x}}{dt}; \\
 U_{1y} &= \omega_0 \cdot \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot I_1 + \omega_0 \cdot \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2x} + \frac{L_0}{L_2'} \cdot \frac{d\psi_{2y}}{dt}; \\
 0 &= -\frac{R_2'}{L_2'} \cdot L_0 I_1 + \frac{R_2'}{L_2'} \cdot \psi_{2x} + \frac{d\psi_{2x}}{dt} - (\omega_0 - z_p \omega_2) \cdot \psi_{2y}; \\
 0 &= -\frac{R_2'}{L_2'} \cdot \psi_{2y} + \frac{d\psi_{2y}}{dt} + (\omega_0 - z_p \omega_2) \cdot \psi_{2x}.
 \end{aligned} \right\} \quad (3.7)$$

Знайдемо момент двигуна з виразу (3.3):

$$M = \frac{3}{2} z_p \frac{L_0}{L_2'} I_m \cdot \psi_2^* I_1, \quad (3.8)$$

де $\psi_2^* = \psi_{2x} - j\psi_{2y}$;

$$I_1 = I_{1x} + jI_{1y}.$$

Підставимо значення ψ_2^* і I_1 у (3.8) і одержимо:

$$M = \frac{3}{2} z_p \frac{L_0}{L_2'} (\psi_{2x} I_{1y} - \psi_{2y} I_{1x}).$$

Так як при $I_{1x} = I_1$, $I_{1y} = 0$, то попередній вираз перетвориться в такий:

$$M = -\frac{3}{2} z_p \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y} I_1. \quad (3.9)$$

Запишемо систему рівнянь (3.7) і рівняння (3.9) в операторній формі:

$$\left. \begin{aligned} U_{1x}(p) &= (R_1 + \frac{\Delta^*}{L_2'} p) \cdot I_1(p) - \omega_0(p) \cdot \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y}(p) + \frac{L_0}{L_2'} p \psi_{2x}(p); \\ U_{1y}(p) &= \omega_0(p) \cdot \frac{\Delta^*}{L_2'} I_1(p) + \omega_0(p) \cdot \frac{L_0}{L_2'} \psi_{2x}(p) + \frac{L_0}{L_2'} p \psi_{2x}(p); \end{aligned} \right\} \quad (3.10)$$

$$\left. \begin{aligned} 0 &= -\frac{R_2'}{L_2'} \cdot L_0 I_1(p) + \frac{R_2'}{L_2'} \cdot \psi_{2x}(p) + p \psi_{2x}(p) - (\omega_0(p) - z_p \omega_2(p)) \cdot \psi_{2y}(p); \\ 0 &= \frac{R_2'}{L_2'} \cdot \psi_{2y}(p) + p \psi_{2y}(p) + (\omega_0(p) - z_p \omega_2(p)) \cdot \psi_{2x}(p); \\ M &= -\frac{3}{2} z_p \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y}(p) I_1(p). \end{aligned} \right\} \quad (3.11)$$

При живленні двигуна від АІС, нас буде цікавити тільки активна складова напруги $U_{1x}(p)$, тому при побудові структурної схеми асинхронного двигуна, друге рівняння системи (3.10) використовуватися не буде.

$$\left. \begin{aligned} U_{1x}(p) &= R_1(1 + \frac{\Delta^*}{L_2' R_1} p) \cdot I_1(p) - \omega_0(p) \cdot \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y}(p) + \frac{L_0}{L_2'} p \psi_{2x}(p); \\ \psi_{2x}(p) &= \frac{L_0}{(1 + \frac{L_2'}{R_2} p)} \cdot I_1(p) + \left[-\frac{L_2'}{R_2} / (1 + \frac{L_2'}{R_2} p) \right] \cdot (\omega_0(p) - z_p \omega_2(p)) \cdot \psi_{2y}(p); \\ \psi_{2y}(p) &= \left[-\frac{L_2'}{R_2} / (1 + \frac{L_2'}{R_2} p) \right] \cdot (\omega_0(p) - z_p \omega_2(p)) \cdot \psi_{2x}(p); \\ M &= -\frac{3}{2} z_p \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y}(p) I_1(p). \end{aligned} \right\} \quad (3.12)$$

На підставі системи рівнянь (3.12) і рівняння (3.3) складемо структурну схему асинхронного двигуна, що представлена на рисунку 4.4.

На підставі системи диференціальних рівнянь (3.12) ідеалізованого асинхронного двигуна у системі координат $x - y$, що обертається з синхронною швидкістю ω_o і рівняння (3.3), складена структурна схема асинхронного двигуна, що представлена на рисунку 3.3 [2,14].

Складену структурну схему асинхронного двигуна при керуванні кутовою частотою напруги статора й за умови сталості потокозчеплення статора зручніше побудувати, якщо представити координати двигуна у в.о.

Здійснимо перехід до умовних одиниць, прийнявши за базові значення координат їх значення у номінальному режимі: $M_{нфн}$; $\omega_{1н}$; $U_{1аH}$; $\omega_{0н}$,

$$\omega_{0н} = \frac{\omega_{1н}}{p_i},$$

де $\omega_{0н}$ - синхронна кутова швидкість двигуна.

Тоді $\left[\frac{\Delta \omega}{\omega_{0н}} \right] = \Delta \bar{\omega}$, $\left[\frac{\Delta \omega_1}{\omega_{1н}} \right] = \Delta \bar{\omega}_1$, $\left[\frac{\Delta M}{M_{п.ф.н}} \right] = \Delta \bar{M}$, $\left[\frac{\Delta M_o}{M_{п.ф.н}} \right] = \Delta \bar{M}_o$, $\left[\frac{\Delta u_{1a}}{U_{1aH}} \right] = \Delta u_{1a}$.

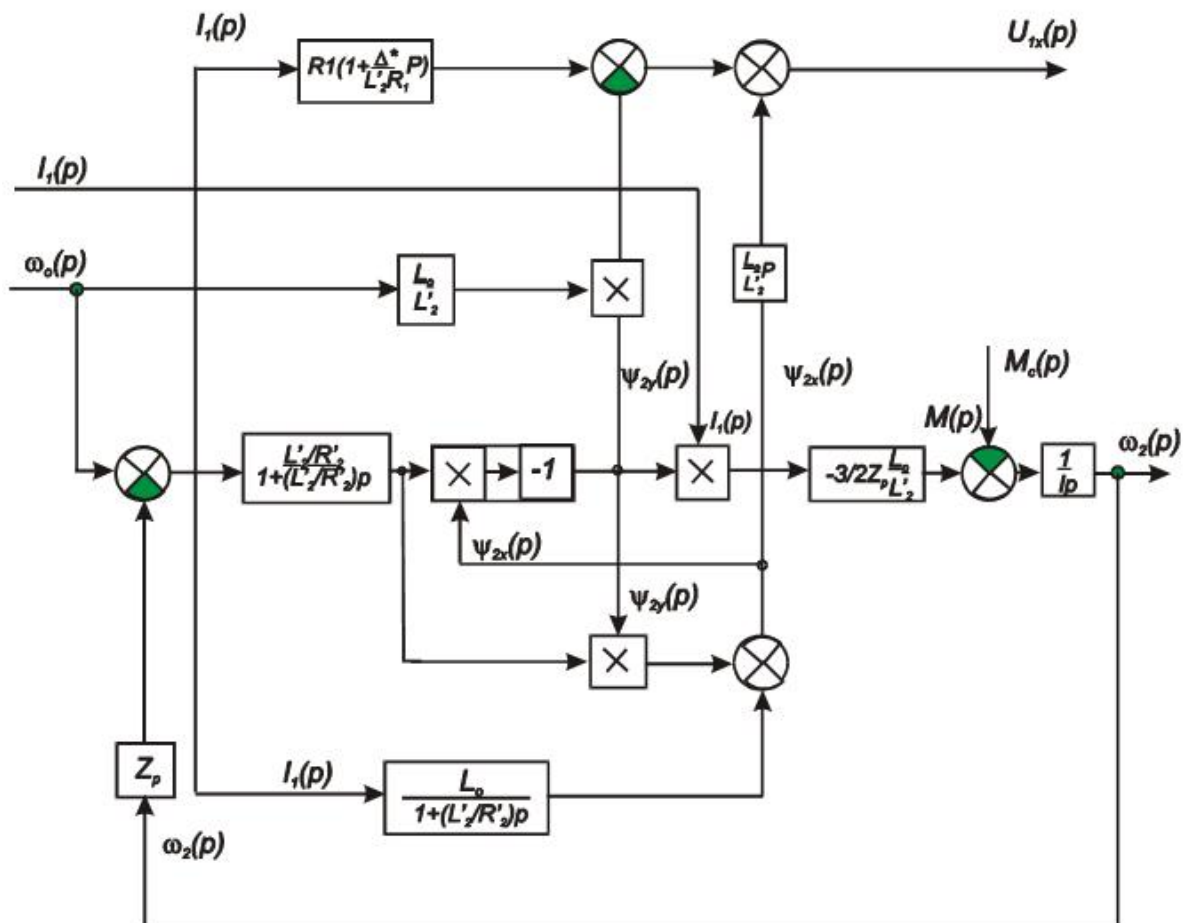


Рисунок 3.3 - Структурна схема асинхронного електродвигуна

Передатна функція двигуна згідно запишеться так

$$\frac{\Delta \bar{M}(p)}{\Delta \omega_1(p) - \Delta \omega(p)} = \left(\frac{\gamma}{\nu} \right)^2 \frac{(T_{el} p + 1) - \frac{(\frac{S}{S_{kp}})^2}{1 + (\frac{S}{S_{kp}})^2} (T_{el} p + 2)}{(T_{el} p + 1)^2 + (\frac{S}{S_{kp}})^2}, \quad (3.13)$$

де $\gamma = \frac{U_{1a}}{U_{1aH}}$ - відносна напруга статора;

$\nu = \frac{\omega_1}{\omega_{1H}}$ - відносна частота напруги статора. $\nu = 0,8$.

Або в спрощеному виді

$$\frac{\Delta \bar{M}(p)}{\Delta \omega_1(p) - \Delta \omega(p)} = \left(\frac{\gamma}{\nu} \right)^2 \frac{1}{T_{el} p + 1}. \quad (3.14)$$

Відповідно на підставі рівняння (3.1) маємо

$$\frac{\Delta \bar{M}(p)}{\Delta \omega_1(p) - \Delta \omega(p)} = \left(\frac{\gamma}{\nu} \right)^2 \frac{1}{T_M p}, \quad (3.15)$$

де $T_M = \frac{J \omega_{0H}}{M_{П.Ф.Н.}}$ - механічна постійна часу двигуна.

Спрощена структурна схема асинхронного двигуна при частотно-струмовому керуванні, побудована на підставі виразів (3.14), (3.15), показана на рисунку 3.4. [14,16].

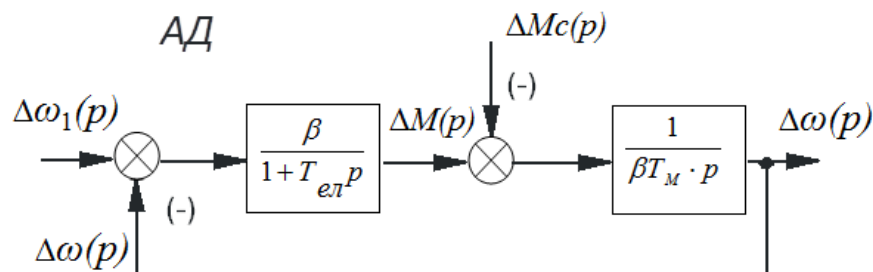


Рисунок 3.4 - Спрощена структурна схема асинхронного двигуна при частотно-струмовому керуванні

При розробці математичної моделі електропривода використано декілька допущень:

- 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.

На рисунку 3.5 наведена структурна схема такого привода зі спрощеною математичною моделлю електродвигуна.

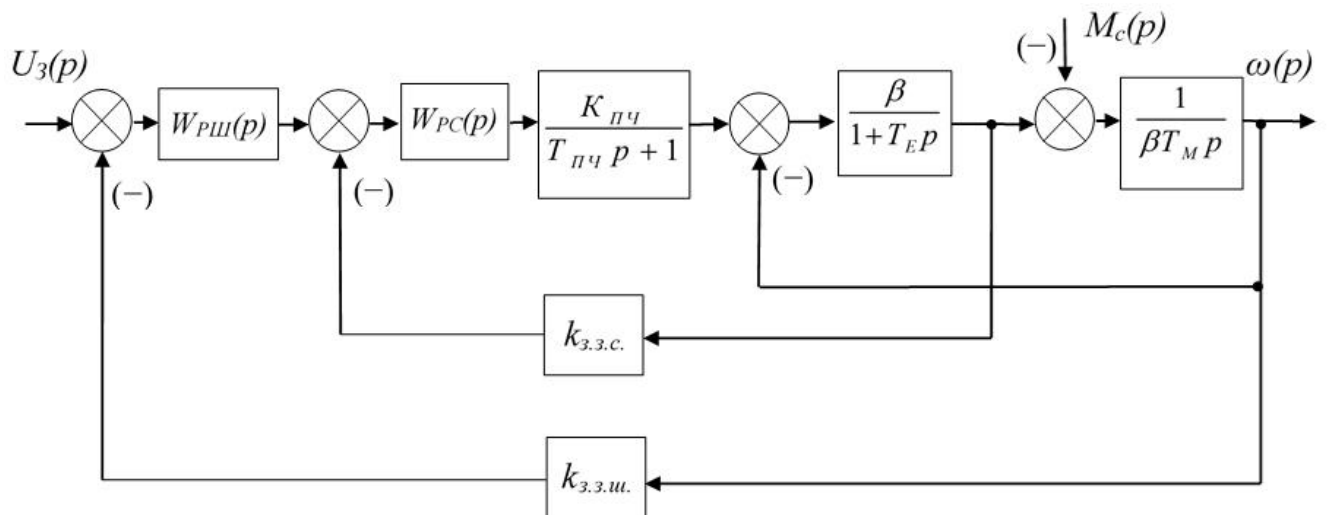


Рисунок 3.5 – Структурна схема електропривода зі спрощеною математичною моделлю електродвигуна

3.2 Формування та розрахунок параметрів динамічної структурної схеми

Розглянемо докладніше структурну схему зображену на рисунку 3.5.

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 0,001с.

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

Регулятори швидкості і струму приймаємо як пропорційно-інтегральні ланки з коефіцієнтом передачі $k_{РШ}$ і $k_{РС}$ та постійними часу $T_{РШ}$ і $T_{РС}$ відповідно:

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

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

Структурна схема з наведеними передатними функціями регуляторів зображена на рисунку 3.6.

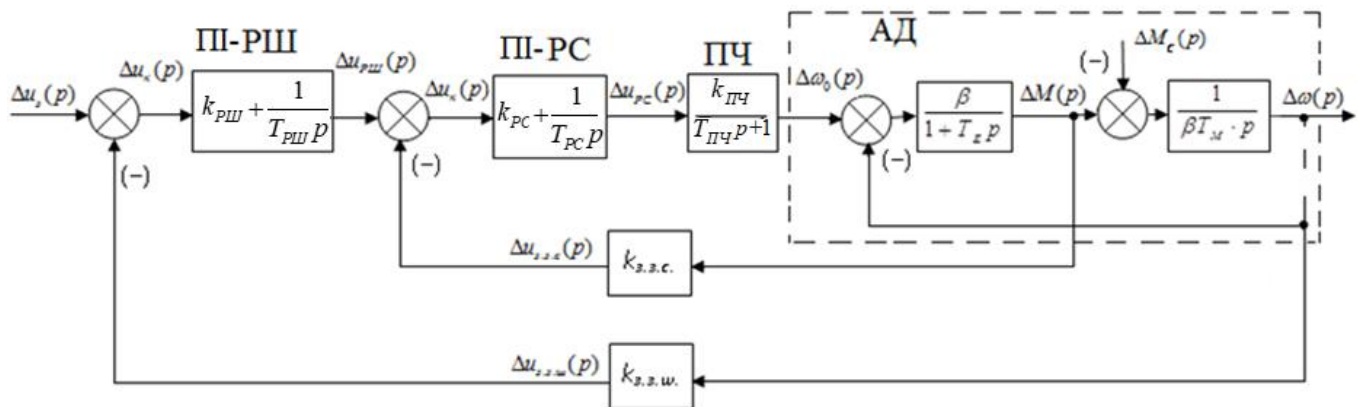


Рисунок 3.6 – Структурна схема електропривода

У відповідності зі структурною схемою передатна функція асинхронного двигуна

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

де T_M – електромеханічна постійна часу двигуна.

Визначення параметрів здійснюється за допомогою перехідних характеристик.

Сформована структурна схема обраного електропривода з частотно-струмовим керуванням (рисунок 3.6) є основою для побудови динамічної структурної схеми системи керування електропривода згідно з функціональною схемою (рисунок 3.2).

Розрахуємо параметри елементів структурної схеми (рисунок 3.6).

Вихідні дані для розрахунку перехідних процесів зведені в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 - Вихідні дані для розрахунку перехідних процесів

Параметр	Значення
Типорозмір	АИР112МВ6У3
Число пар полюсів p , шт. (всього 6 полюсів)	3
Потужність P_n , кВт	4
Частота обертання n_n , об/хв	1000
Номінальний струм статора при 380 В I_n , А	9,75
ККД, %	82
Ковзання S_H , %	5
Напруга U , В	380
Коефіцієнт потужності, $\cos \varphi_H$	0,76
Кратність максимального моменту, $M_{\max} / M_H$	2,1
Кратність пускового моменту, M_{Π} / M_H	2,1
Кратність пускового струму, I_{Π} / I_H	6,5
Момент інерції $J_{\partial в}$, кг·м ²	0,0425

Для розрахунку параметрів структурної схеми необхідно попередньо визначити відсутні параметри двигуна, технічні данні якого наведені в таблиці 3.1.

Кутова швидкість електромагнітного поля статора ω_c , рад/с ,

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

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

Кутова швидкість холстого ходу електродвигуна, $\omega_{ДВ}$, с^{-1} ,

Максимальна кутова швидкість двигуна

$$\omega_{ДВ} = \frac{\pi \cdot n_{ДВ}}{30};$$

$$\omega_{ДВ} = \frac{3,14 \cdot 1000}{30} = 104,7 \text{ с}^{-1}.$$

Номінальний момент двигуна, M_H , $\text{Н} \cdot \text{м}$,

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_{ДВ}};$$

$$M_H = \frac{4000}{104,7} = 38,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Пусковий момент двигуна $M_{П}$, $\text{Н} \cdot \text{м}$,

$$M_{П} = K_{\text{пуск}} \cdot M_H,$$

де $K_{\text{пуск}}$ - кратність пускового моменту, $K_{\text{пуск}} = 1,5 \div 6$. $K_{\text{пуск}} = 2,1$ (таблиця 3.1).

$$M_{П} = 2,1 \cdot 38,2 = 80,2 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

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

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

$$M_{\text{max}} = 2,1 \cdot 80,2 = 168,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Критичний момент електродвигуна, M_{κ} , $\text{Н} \cdot \text{м}$,

$$M_{\kappa} = 3M_H;$$

$$M_{\kappa} = 3 \cdot 38,2 = 114,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Критичне ковзання двигуна $S_{\text{кр}} = S_H (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1})$ за спрощеною формулою

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

де $\lambda = \frac{M_{\max}}{M_H} = 2,1.$

$$S_{kp} = 0,05 \cdot (2,1 + \sqrt{2,1^2 - 1}) = 0,197 = 19,7\%.$$

Модуль жорсткості лінеаризованої механічної характеристики, $\beta, \frac{H \cdot m}{c^{-1}},$

$$\beta = \frac{2M_{\kappa}}{\omega_{0H} \cdot S_{\kappa}},$$

де $S_{KP} = 0,197$ - критичне ковзання.

$$\beta = \frac{2 \cdot 114,6}{104,7 \cdot 0,197} = 11,1 \frac{H \cdot m}{c^{-1}}.$$

Визначення параметрів структурної схеми [14,16].

Електромагнітна постійна часу ланок статора і ротора $T_E, c,$

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

$$T_E = \frac{1}{314,16 \cdot 0,197} = 0,016 \text{ c}.$$

Сумарний момент інерції електропривода $J_{\Sigma}, \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$

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

$$J_{\Sigma} = 0,0425 + 0,6 \cdot 0,0425 = 0,068 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Електромеханічна постійна часу двигуна $T_M, c,$

$$T_M = \frac{J_{\Sigma} \cdot \omega_{ДВ}}{M_{\Pi}},$$

$$T_M = \frac{0,068 \cdot 104,7}{80,2} = 0,088 \text{ с}$$

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

$$k_{3.3.Ш} = \frac{u_{3.3.ш.ном}}{\omega_{ДВ}},$$

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

$$k_{3.3.Ш} = \frac{10}{104,7} = 0,01 \text{ В·с}.$$

Коефіцієнт передачі зворотного зв'язку за струмом $k_{3.3.С}$, $\frac{В \cdot А}{Н \cdot м}$,

$$k_{3.3.С} = \frac{u_{3.3.с.ном}}{M_H / I_H},$$

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

$$k_{3.3.С} = \frac{10}{32,8 / 9,75} = 1,21 = 2,97 \frac{В \cdot А}{Н \cdot м}.$$

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

Коефіцієнти підсилення регуляторів $k_{РС}$ і $k_{РШ}$, що відповідають датчикам струму і швидкості, вважаємо рівними 10.

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

У якості ланок, що відповідають датчикам струму і швидкості застосуємо пропорційні ланки з коефіцієнтами підсилення регуляторів:

$$K_{ДС} = k_{3.3.С} \text{ і } K_{ДШ} = k_{3.3.Ш}. \text{ Приймаємо вхідну напругу } U_3 = 10\text{В}.$$

3.3 Аналіз динамічних властивостей системи керування електропривода установки для транспортування зерна

Вихідні дані для розрахунку перехідних процесів зведені в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 - Вихідні дані для розрахунку перехідних процесів

Параметр	Одиниці виміру	Значення
Модуль жорсткості лінеаризованої механічної характеристики	$\frac{H \cdot m}{c^{-1}}$	$\beta = 11,1$
Електромагнітна стала часу	с	$T_E = 0,016$
Електромеханічна постійна часу	с	$T_M = 0,088$
Постійна часу регулятора швидкості	с	$T_{PII} = 0,088$
Постійна часу перетворювача	с	$T_{ПЧ} = 0,005$
Постійна часу регулятора струму	с	$T_{PC} = 0,005$
Коефіцієнт підсилення (передачі) перетворювача	-	$k_{ПЧ} = 50$
Коефіцієнт підсилення регулятора швидкості	-	$k_{PII} = 10$
Коефіцієнт підсилення регулятора струму	-	$k_{PC} = 10$
Коефіцієнт передачі зворотного зв'язку за швидкістю	В·с	$k_{3.3.III} = 0,01$
Коефіцієнт передачі зворотного зв'язку за струмом	$\frac{B \cdot A}{H \cdot m}$	$k_{3.3.C} = 2,97$

Передатні функції ланок:

– асинхронного двигуна:

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

$$W_{AD}(p) = \frac{11,1}{0,016 \cdot p + 1} \cdot \frac{1}{0,088 \cdot p};$$

– перетворювача частоти:

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

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

– 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:

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

$$W_{PII}(p) = 10 + \frac{1}{0,088 \cdot p};$$

– фільтра на вході системи керування:

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

$$W_{\phi}(p) = \frac{1}{3 \cdot 0,088 \cdot p + 1} = \frac{1}{0,264 \cdot p + 1};$$

– коефіцієнт передачі зворотного зв'язку за струмом

$$W_{3.3.C}(p) = k_{3.3.C} = 2,97;$$

– коефіцієнт передачі зворотного зв'язку за швидкістю

$$W_{3.3.II}(p) = k_{3.3.II} = 0,01.$$

Статичний момент, що прикладений до валу двигуна M_C , складає:

$$M_C = 30\% \cdot M_H; \quad M_C = 0,3 \cdot 32,8 = 9,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Після розрахунків усіх величин, що входять у структурну схему (рисунок 3.6), були розроблені структурні схеми динамічних моделей системи з різними законами керування.

На рисунку 3.7 показана схема замкненої системи з ПІ-регулятором швидкості. На рисунку 3.8 показана схема замкненої системи з П-регулятором швидкості. На рисунку 3.9 показана схема замкнутої системи з ПІ-регулятором швидкості і фільтром на вході в систему.

На основі даних схем був проведений аналіз динамічних властивостей системи автоматичного керування при зміні законів керування при розрахункових параметрах які представлені в таблиці 3.2. Моделювання виконувалося у середовищі програми Simulink пакету MathLab [3].

На схемах зображено:

«Step» - джерело східчастого впливу величиною 10 В;

«Gain1» та «Gain2» - реалізують пропорційну складову ПІ-регуляторів швидкості та струму відповідно;

«Transfer Fcn1» та «Transfer Fcn2» - реалізують інтегральну складову ПІ-регуляторів швидкості та струму відповідно.

«Transfer Fcn3» - реалізує передатну функцію частотного перетворювача;

«Transfer Fcn4» та «Transfer Fcn5» – реалізують лінеаризовану модель двигуна;

«Gain4» та «Gain5» - датчики струму та швидкості відповідно;

За допомогою блоків «Gain3» та «Gain6» виконується перерахування отриманих даних у відносні одиниці (для спрощення подальшого порівняння).

«Scope1», та «Scope2» – використовуються для отримання графіку перехідного процесу за швидкістю та струмом відповідно.

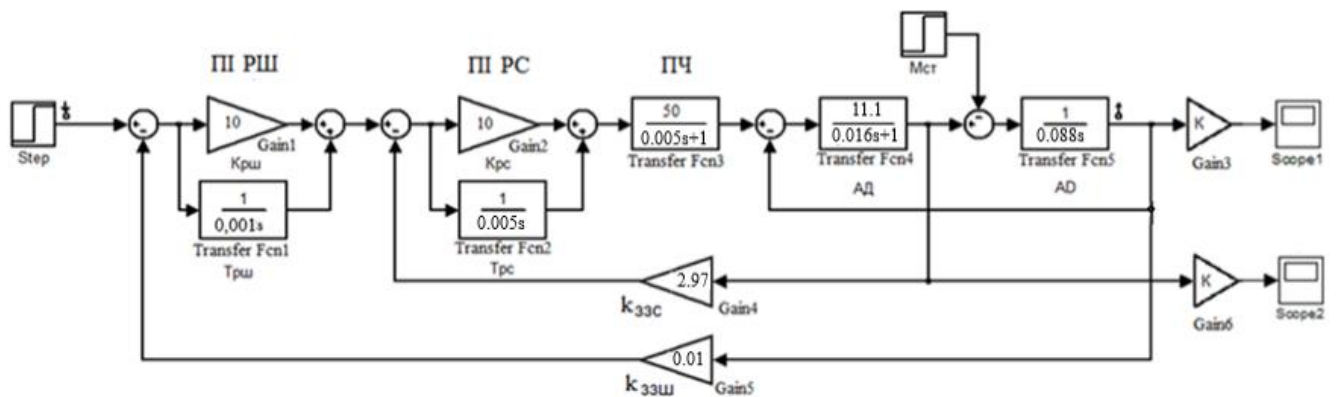


Рисунок 3.7 – Динамічна розрахункова модель системи з ПІ-регулятором швидкості

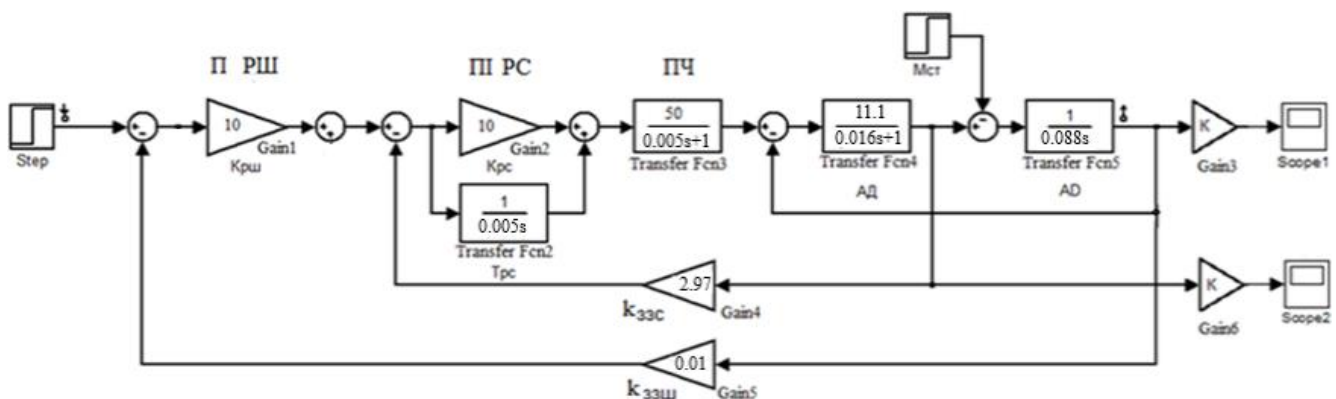


Рисунок 3.8 – Динамічна розрахункова модель з ПІ-регулятором швидкості

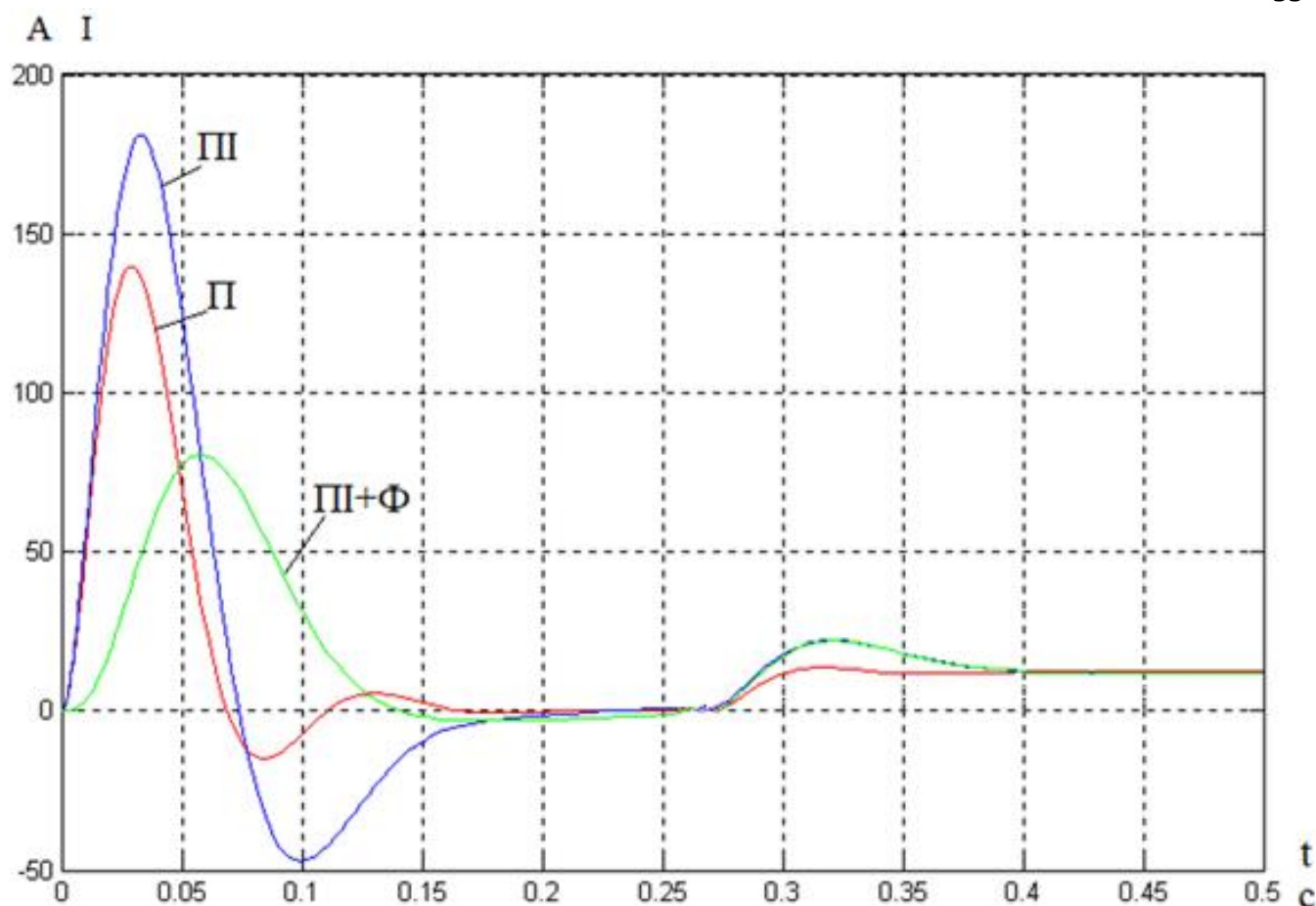


Рисунок 3.11 - Перехідні процеси по струму

Основні показники якості регулювання зведені в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 - Основні показники якості регулювання

Тип регулятора	$h_{уст}, c^{-1}$	h_{max}, c^{-1}	$\sigma_{max}, \%$	T_{max}, c	$\epsilon_{ст}, \%$	N
Π -регулятор	104,7	161	34	0,14	0	1
Π -регулятор	104,7	111	5,7	0,06	8	1
Π -регулятор з фільтром на вході	104,7	113	7,3	0,11	0	1

По графіках змодельованих перехідних процесів системи ми бачимо, що найкращі показники перехідних процесів можна отримати, включивши Π -регулятор, налагоджений на симетричний оптимум, у контур регулювання швидкості. При цьому, високе значення перерегулювання, характерне для цього налагодження, зменшується шляхом включення на вхід системи керування фільтра.

Отримані наступні результати дослідження:

- при застосуванні пропорційно-інтегрального закону регулювання (ПІ-регулятор) перерегулювання склало $\sigma = 34 \%$, час перехідного процесу (по входу кривої в п'ятивідсоткову зону щодо значення, що встановилося,) $T_{\max} = 0,14$ с;

- при застосуванні пропорційного закону регулювання (П-регулятор) перерегулювання склало $\sigma = 5,7 \%$, час перехідного процесу зменшився до $T_{\max} = 0,06$ с, але при цьому при зміні навантаження на 30% виникла статична похибка $\varepsilon = 8 \%$;

- при введенні аперіодичної ланки (у якості фільтра) на вхід системи керування з ПІ-регулятором, перерегулювання склало $\sigma = 7,3 \%$, час перехідного процесу $T_{\max} = 0,11$ с, коливальність $N = 1$, статична похибка відсутня $\varepsilon = 0$. При такій структурі системи керування максимальні відхилення струму не перевищують максимально допустимих значень.

При такій структурі системи керування максимальні відхилення струму не перевищують максимально допустимих значень струму короткого замикання, який в десятки разів перевищує номінальний.

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

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

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДА УСТАНОВКИ ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ ЗЕРНА

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 [11].

Починаючи з 1994 року в Україні розроблюються Національні, галузеві, регіональні та виробничі програми покращання стану умов та безпеки праці на виробництві, в ході реалізації яких були закладені основи для удосконалення державної системи управління охороною праці, впровадження економічних методів управління, вирішення питань організаційного, наукового і нормативно-правового забезпечення робіт у сфері охорони праці. Розроблені засоби захисту працюючих, які раніше не випускались в Україні; створено ряд засобів, що контролюють стан охорони та умови праці, небезпечні та аварійні ситуації; створена єдина автоматизована інформаційна система охорони праці тощо.

Основними причинами нещасних випадків в нашій країні є порушення технологічного процесу, трудової та виробничої дисципліни, вимог безпеки при експлуатації транспортних засобів, незадовільне утримання і недоліки в організації робочих місць, незадовільна організація виконання робіт, невикористання засобів індивідуального захисту.

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.

У процесі трудової діяльності на людину впливає, як правило, комплекс несприятливих факторів виробничого середовища, в результаті чого можливі виробничі травми і професійні захворювання.

Практика засвідчує, що запобігання виробничому травматизму, як явищу, не може бути забезпечено реалізацією якогось одного – навіть дуже ефективного

заходу. Для цього необхідно використовувати можливості комплексного підходу, а саме:

- техніки і технології виробництва (безпека виробництва);
- системи організації і управління виробництвом (організація безпеки);
- медицини праці (виробнича санітарія);
- ергономіки і психології праці (психологія безпеки);
- економіки виробництва (економіка охорони праці);
- чинної законодавчої бази охорони праці.

4.1 Аналіз небезпек і шкідливих виробничих факторів, що впливають на людину при роботі ківшевої норії

На підприємствах машинобудівної, харчової, переробної, легкої промисловості та багатьох інших для завантаження, розвантаження та переміщення різноманітних вантажів широко застосовуються стаціонарні та нестаціонарні різноманітні вантажопідіймальні і транспортні машини та механізми.

У більшості випадків, це електрифіковані машини або механізми з ручним приводом - тельфери, талі, підіймальні крани різноманітних типів, підвісні шляхи, лебідки, домкрати, похилі спуски тощо. Всі вони потенційно небезпечні в експлуатації. Небезпека полягає в можливості механічного травмування робітника в процесі транспортування та виконання ручних операцій завантаження і розвантаження, а при роботі з електрифікованими машинами також існує небезпека ураження працівника електричним струмом при недотриманні правил експлуатації та електробезпеки.

Для транспортування сипких або штучних вантажів на необхідну висоту застосовують елеватори, які оснащуються ковшами для сипких вантажів або поличками з гніздами (або штирями) для поштучних.

Робочими органами елеваторів може бути сталевий ланцюг або багатошарова прогумована стрічка, до яких кріпляться ковші чи полички, що утримують вантаж.

Норії або ковшові елеватори є небезпечними виробничими об'єктами. Їхня експлуатація регламентується Правилами охорони праці для працівників, зайнятих

на роботах зі зберігання та переробки зерна, затверджені наказом Міністерства соціальної політики України від 20.09.2017 № 1504, які зареєстровані в Міністерстві юстиції України.

При виконанні вантажно-розвантажувальних робіт із зерном та іншими сипучими продуктами норія повинна відповідати наступним вимогам:

- на норіях повинні бути встановлені: реле контролю швидкості (РКС) (Здвоєна норія повинна бути оснащена незалежними РКС кожної стрічки), датчики підпору (300-400 мм від башмака норії), пристрою контролю збігання стрічки, гальмовий пристрій, кнопки "Стоп" у головки й башмака норії, вибухорозрядний пристрій, попереджувальний сигнал запуску (при запуску з пульта керування), магнітний захист (на прийманнях сировини з автомобільного, водного й залізничного транспорту).

- при експлуатації норій повинні бути забезпечені натяг і регулювання ходу норійної стрічки, надійна установка кріпильних деталей, пилонепроникність частин, що рухаються, норії повинні бути надійно обгороджені.

Недотримання якого-небудь із перерахованих вище вимог, може привести до наступних наслідків:

- при відсутності вибухорозрядного пристрою, до викиду продуктів горіння в приміщення, у якому встановлена норія й ушкодження корпусу норії;

- при відсутності реле контролю швидкості, - до завалу норії продуктом внаслідок пробуксовки або обриву норійної стрічки;

- при відсутності датчика підпору, - до завалу норії продуктом, а в подальшому підвищується навантаження на електродвигун, а також можливий обрив стрічки й зупинка норії;

- при відсутності пристрою контролю збігання стрічки, - до зачіпання ковшів і норійної стрічки об корпус норії, а надалі утворення вибуху й ушкодження корпусу норії;

- при відсутності магнітного захисту, - до влучення металевих предметів у норію, а надалі пошкодження ковшів норії, утворення вибуху й пошкодження корпусу норії;

- при відсутності кнопки "Стоп" у головки й башмака норії, - до завалу устаткування, бункерів і силосів продуктом, прийнятим з норії;

- при недотриманні натягу й регулювання ходу норійної стрічки, надійної установки кріпильних деталей, пилонепроникності й надійного огороження частин, що рухаються, це може привести до завалу норії продуктом, зачіпання ковшів і норійної стрічки об корпус норії, утворення вибуху, ушкодження корпусу норії й травматизму на підприємстві.

Двигун перемінного струму закріплений на фундаменті і є стаціонарною установкою, що живиться від тиристорного перетворювача.

Небезпека одержання травми існує безупинно під час роботи ківшевої норії, у зв'язку з наявністю частин, що рухаються.

Робота на конвеєрах повинна виконуватись з урахуванням наступних стандартів системи безпеки праці:

ДСТ 12.1. 004-91 "Пожежна безпека. Загальні вимоги";

ДСТ 12.3. 002-75 "Процеси виробничі. Загальні вимоги безпеки"

До основних небезпечних і шкідливих виробничих факторів при роботі на норіях відносять [11]:

- небезпеку поразки електричним струмом;
- вплив виробничих вібрацій на людину;
- шум на виробництві;
- неправильне виробниче освітлення;
- небезпеку виникнення пожеж.

Небезпека поразки електрострумом виникає в результаті керування технологічним устаткуванням. Електричний струм, проходячи через живий організм, здійснює термічний, електролітичний, а також біологічний вплив. Термічний вплив виявляється у виді опіків, розриву тканин, нагріванні судин, впливу на нервову систему.

Експлуатація електроустановок, повинна проводитись з дотриманням вимог електробезпеки відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2004, Правил захисту від статичної електрики НПАОП 0.00-1.29-97, Правил експлуатації

електрозахисних засобів ГОСТ 12.1.013-78, ГОСТ 12.1.045-84, ГОСТ 12.2.007.1-75, ДСН 3.3.6.096-02, експлуатаційної документації та цих Правил.

Вплив виробничих вібрацій на людину. Параметри вібрації на робочих місцях повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.1.012-90 та Державних санітарних норм виробничої загальної та локальної вібрації - ДСН 3.3.6.039-99.

Існують три основних принципи боротьби з вібрацією: зменшення сил, що викликають вібрацію (точне збирання механізмів, балансування й т.д.), усунення резонансі, штучне зусилля постійно виникаючого розсіювання енергії, тобто введення в систему демпфіювання.

Шум на виробництві. При тривалій дії шуму виникають зміни в нервовій системі людини, його органів травлення, підвищується кров'яний тиск, прискорюється пульс і подих. Це приводить до ослаблення уваги, погіршення реакції людини при змінах у системі керування.

Ці шкідливі наслідки шуму шкідливі тим більше, чим сильніше шум і чим триваліше його дія. Ці патологічні зміни, що виникли під впливом шуму, розглядаються як «шумова хвороба».

Підвищення шуму з 76 до 95 дБ знижує продуктивність праці на 25%.

Робоче освітлення. Норма освітленості відповідно до ДБН В.2.5-28-2006 дорівнює 200 лк, а коефіцієнт природного висвітлення при спільному освітленні – 1,8 до III пояса. Найменша освітленість робочої поверхні виробничих приміщень і територій підприємства, що вимагають обслуговування при аварійних режимах, складає 5% від освітленості, нормованої для робочих приміщень при системі загального освітлення, але не менш 2 лк.

Пожежа на підприємствах становить велику небезпеку і може заподіяти величезний матеріальний збиток.

Запобігання пожежі згідно з ДСТ 12.1.004-91 "Пожежна безпека" та НАПБ А.01.001-95 Правила пожежної безпеки в Україні повинне досягатися запобіганням утворення горючого середовища й запобіганням утворення в горючому середовищі джерел запалювання.

4.2 Правила техніки безпеки для попередження нещасних випадків при роботі на ківшевих норіях

Елеватори ковшові (або норії) закривають кожухами для захисту від пилу, в яких через кожні 4 м встановлюють оглядові люки. Кожухи норій повинні бути міцної конструкції і не пропускати пил. Елеватори для штучних вантажів, як правило, відкриті, вони можуть бути вертикальними або похилими.

Для запобігання просипання сировини і попадання пилу у виробничі приміщення, прорізи та люки в перекриттях поверхів, через які проходять шахти (кожухи) елеватора, ущільнюють. Для видалення пилу кожух голівки норії (верхня частина з привідною станцією і зоною розвантаження) і башмака норії (де завантажуються ковші) аспіруються. (Аспірація - процес видалення пилу й газів).

Елеватори оснащуються автоматизованими пристроями, які відключають привод, якщо спадає ланцюг з приводної зірочки або обривається ківшева стрічка. Кришки оглядових люків заблоковані з приводом елеватора так, щоб при їх відкриванні елеватор автоматично зупинявся. Безпечність при огляді і ремонті елеваторів забезпечується пристроями, що запобігають можливості зворотного ходу і падінню ківшевої стрічки.

Пуск елеватора дозволяється тільки з визначеного місця після попереднього сигналу. Система сигналізації повинна забезпечувати двосторонній сигнальний зв'язок місця запуску елеватора з ділянками обслуговування головок і башмаків елеваторів. Для зручного обслуговування елеватора підхід з трьох боків до головки та башмака повинен бути не менше 1,2 м, крім того, повинна бути забезпечена можливість вільного підходу до натяжних пристроїв і підшипників. Забороняється: запускати елеватор при недостатньому натягненні ківшевої стрічки чи ланцюгів; зупиняти елеватор під час завантаження; завантажувати елеватор без перевірки готовності до роботи наступного за ним обладнання транспортної лінії.

Огородження ременя й ланцюгової передачі повинні бути завжди встановленими й закритими. Відкриті або зняті огороження дуже часто є причиною досить серйозних травм (забитих місць і порізів).

Кінцеві аварійні вимикачі, циліндри блокування, пристрою контролю швидкості повинні завжди підтримуватися в гарному робочому стані. У жодному разі не можна шунтувати або відключати кінцеві аварійні вимикачі.

Ґрати, огороження й сітки безпеки звичайно постійно встановлені на ківшевих норіях. Ковшові норії, обладнані такими пристроями безпеки, можуть експлуатуватися тільки при їхній наявності.

При проведенні капітального ремонту, монтажу, огляду й робіт з технічного обслуговування, завжди відключайте приводний електродвигун, повністю від'єднуючи всі фази. Це здійснюється за допомогою вимикача, який встановлюється поруч із ковшовою норією або на контрольній панелі установки.

Рівень шуму на робочому місці може перевищувати 85 дБ ; у цьому випадку оператори повинні використовувати засоби для захисту вух.

Для запобігання травмуванню людей рухомі частини транспортерів (приводні та натяжні пристрої, вимикаючі барабани, опорні та підтримуючі стрічку ролики, пасові й інші рухомі елементи передач, шків, муфти, кінці валів і тому подібне) в зонах робочих місць, до яких можливий доступ обслуговуючого персоналу і осіб, що працюють поблизу і можуть опинитися біля конвеєра, повинні бути огорожені металевими кожухами або сіткою. Тягарі вертикальних натяжних станцій повинні огорожуватись на висоту не менше 2 м від підлоги.

Найбільш ефективна, надійна і безпечна робота норій досягається при реалізації дистанційного керування або автоматичного контролю за роботою норії та її елементів.

4.3 Заходи щодо безпечної експлуатації електрообладнання при роботі на ківшевих норіях

Технічними заходами забезпечення безпеки роботи є:

- відключення електроустаткування, яке ремонтується, і вживання заходів проти помилкового його включення;

- аварійне відключення при обриві тягового органу, завалі перевантажувального пристрою, зтягнутому пуску, відсутності захисту електродвигуна, при зниженні швидкості стрічки або бічному сходженні її тощо;
- установка тимчасових огорожень струмоведучих частин і вивішування забороняючих плакатів : "Не включати - працюють люди";
- приєднання переносного заземлення до заземлювальної шини стаціонарного пристрою, і перевірка відсутності напруги на струмоведучих частинах, що для безпеки проведення робіт підлягають замиканню накоротко і заземленню;
- огороження робочого місця і вивішування на огороженні напис "Працювати тут".

Безпека роботи в електроустановках забезпечується застосуванням електротехнічних засобів захисту.

При роботі з електричними ланцюгами напругою до 1000 В застосовуються наступні основні захисні засоби: діелектричні рукавички; вимірювальні оперативні штанги; електровимірювальні кліщі; показники напруги; слюсарно-монтажний інструмент.

Через нагромадження зернового пилу потрібно встановити на норії датчики заповнення місткості, максимальної швидкості руху, перекосу стрічки. Бажаними також є датчики додаткового контролю важливих параметрів роботи конвеєра, наприклад, температури підшипників або запиленості робочого простору.

Для запобігання виникнення пожежі в приміщенні передбачена електрична пожежна сигналізація, що складається з датчиків сповіщення.

Для швидкої ліквідації вогнищ загоряння використовуються вогнегасники типу ОХП - 4 і ОУ - 2А.

Організаційні заходи щодо пожежної профілактики проводять з метою забезпечення правильної експлуатації електроустановки і проведення протипожежного інструктажу серед оперативно-ремонтного персоналу.

ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі бакалавра розглядається система керування автоматизованого електропривода установки для транспортування зерна (норії).

Результати виконаної роботи можна сформулювати таким чином:

- розглянуті класифікація транспортуючих машин та застосування ківшевих норій;

- в роботі розглянута норія стрічкова ківшева виробництва ПП Фірма Гіпрон типу Н50-10 продуктивністю 50 тонн;

- проведений аналіз існуючих видів електродвигунів, вибраний замість існуючого більш сучасний асинхронний електродвигун типу АИР112МВ6УЗ потужністю 4 кВт;

- проведений аналіз існуючих систем керування АД на основі якого для обраного двигуна вибраний комплектний електропривод лінійки FR-A741 з частотно-струмовим керуванням;

- розглянута функціональна схема замкнутої системи ПЧ-АД з частотно-струмовим керуванням;

- на основі функціональної схеми обраного електропривода та проведених розрахунків всіх елементів системи керування були складені розрахункові динамічні моделі та проведений аналіз динамічних властивостей системи керування електропривода норії при східчастому впливі величиною 10 В та при зміні на 30 % навантаження після режиму, що встановився.

Отримані наступні результати дослідження:

- при застосуванні пропорційно-інтегрального закону регулювання (ПІ-регулятор) перерегулювання склало $\sigma = 34 \%$, час перехідного процесу (по входу кривої в п'ятивідсоткову зону щодо значення, що встановилося,) $T_{\max} = 0,14$ с;

- при застосуванні пропорційного закону регулювання (П-регулятор) перерегулювання склало $\sigma = 5,7 \%$, час перехідного процесу зменшився до $T_{\max} = 0,06$ с, але при цьому при зміні навантаження на 30 % виникла статична похибка $\varepsilon = 8 \%$;

- при введенні аперіодичної ланки (у якості фільтра) на вхід системи керування з ПІ-регулятором, перерегулювання склало $\sigma = 7,3 \%$, час перехідного процесу $T_{\max} = 0,11$ с, коливальність $N = 1$, статична похибка відсутня $\varepsilon = 0$. При такій структурі системи керування максимальні відхилення струму не перевищують максимально допустимих значень.

При такій структурі системи керування максимальні відхилення струму не перевищують максимально допустимих значень струму короткого замикання, який в десятки разів перевищує номінальний.

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

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

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

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Асинхронні електродвигуни загального призначення серії AIR. Технічний каталог. URL: <https://samsnab.com.ua/docs/Katalog-elektrodvigatelei-AIR-TM-ELMO.pdf>.
2. **Видмиш А. А.** Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1. / Навч. посібник. А. А. Видмиш, Л. В. Ярошенко – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 387 с.
3. **Гераїмчук М. Д.** Моделювання систем у середовищі MATLAB-SIMULINK: Комп'ютерний практикум / М.Д. Гераїмчук, Ю.Ф. Лазарєв, Т.О. Толочко. – К., 2006. – 175с.
4. **Грабко В.В.** Експериментальні дослідження електричних машин. Частина III. Асинхронні машини. Навчальний посібник. / В.В. Грабко, М.П. Розводюк, С.М. Левицький, М.О. Казак – Вінниця: ВНТУ, 2007. – 197 с.
5. **Грабко В. В.** Системи керування електроприводами. Розрахунок системи підпорядкованого керування електроприводом стрічкового конвеєру. Курсове та дипломне проектування, навчальний посібник / В. В. Грабко, М. П. Розводюк, – Вінниця : ВНТУ. – 2010. – 89 с.
6. **Козуб Ю.Г., Маслійов С.В.** Підйомно-транспортні машини: Підручник / Ю.Г. Козуб, С.В. Маслійов – Старобільськ: вид-во ДЗ „ЛНУ імені Тараса Шевченка”, 2018. – 277с.
7. **Ловейкін В.С.** Тенденції розвитку стрічкових ківшових елеваторів // Національний університет біоресурсів і природокористування України. / В.С. Ловейкін, В.А. Бортун. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/60814825.pdf> .
8. Норія стрічкова ковшова Н-50. Паспорт. Промислова компанія Гіпрон.
9. Норія зернова ковшова Н-50. Інструкція з експлуатації. Н-50.00.000_3 РЭ_2022.
10. **Організація і технологія вантажно-розвантажувальних робіт :** електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс] / В. П. Кужель, А. А. Кашканов, В. А. Кашканов, О. П. Антонюк. – Вінниця : ВНТУ, 2022. – 152 с.

11. **Основи охорони праці:** Підручник. 2-ге видання, доповнене та перероблене. / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний, Д. В. Зеркалов, Р. В. Сабарно, О. І. Полукаров, В. С. Коз'яков, Л. О. Мітюк. За ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. — К.: Основа, 2006 — 448 с.

12. **Павленко Т. П.** Автоматизований електропривод загальнопромислових механізмів. Конспект лекцій. / Т. П. Павленко, О. В. Донець, О. М. Петренко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. — Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. — 132 с.

13. **Перетворювач частоти серії FR-A700.** Технический каталог ПЧ Mitsubishi Electric.

14. **Регульований електропривод:** Підручник / І.М. Голодний, Ю.М. Лаврінченко, 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.

15. Способи транспортування зерна на елеваторах. URL: <https://mysilo.com.ua/mediatsentr/novyny/209-sposoby-transportuvannia-zerna-na-elevatorakh.html>

16. **Теорія автоматичного керування :** навчальний посібник / П. В. Леонт'єв та ін. ; за заг. ред. П. В. Леонт'єва. — Суми : Сумський державний університет, 2024. — 296 с.

17. Типи електродвигунів та їх використання. [Електронний ресурс] : Режим доступу: <https://tmmotor.ua/ua/news/typy-elektrodvigatelj-i-ih-ispolzovanie?srsltid=afmboooddizfphaazbthmdm1itfouxlxo84saqiodnbp-gxoac0w4otj>

18. **Хомик Н.І.** Механізація переробки та зберігання сільськогосподарської продукції : курс лекцій / Н.І. Хомик, В.П. Олексюк, О.П. Цьонь. — Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2016. — 288 с.

Частотне керування асинхронним приводом: Методичні вказівки для самостійної роботи з дисципліни „Основи електропривода” для студентів напряму підготовки 6.100101 – „Енергетика та електротехнічні системи в АПК” / Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О. – Ніжин.: 2011. – 98 с.

ДОДАТОК А

Мультимедійна презентація

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

Маєр Микола Васильович

Кваліфікаційна робота магістра на тему:

"Модернізація автоматизованого електропривода установки для
транспортування зерна"

Керівник роботи – Васильєв О.Г.

Слайд 1 мультимедійної презентації

АКТУАЛЬНІСТЬ, МЕТА І ЗАДАЧІ РОБОТИ

Актуальність теми. В агропромисловому комплексі щорічно виконується великий обсяг післязбиральних робіт із зерна.

Вертикальні транспортери - норії є більш універсальним устаткуванням, яке можна використовувати в декількох виробничих процесах транспортування, зберігання й очищення зерна.

Норії забезпечують безперервність процесу виробництва, визначають ритм і продуктивність основного устаткування підприємства.

Основним вузлом, що визначає нормальну роботу норії, є її електропривод, тому модернізація системи керування електропривода для оптимізації роботи конвеєра, особливо в перехідних режимах, є актуальною темою.

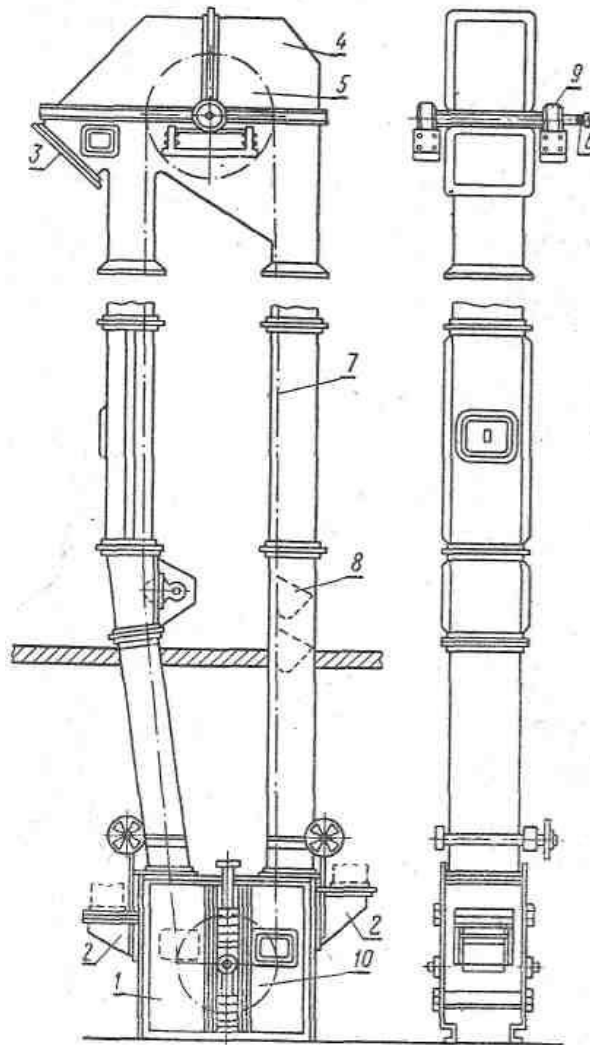
Актуальність теми обумовлена також тим, що норії є основними механізмами для переміщення продукту в процесі його зберігання, що висуває певні вимоги до безперебійності їх роботи, та зростаючими вимогами до транспортуючого обладнання.

Мета роботи – Метою даної кваліфікаційної роботи бакалавра є модернізація системи керування установки для транспортування зерна (норії) за рахунок вибору найкращих параметрів налагодження системи керування.

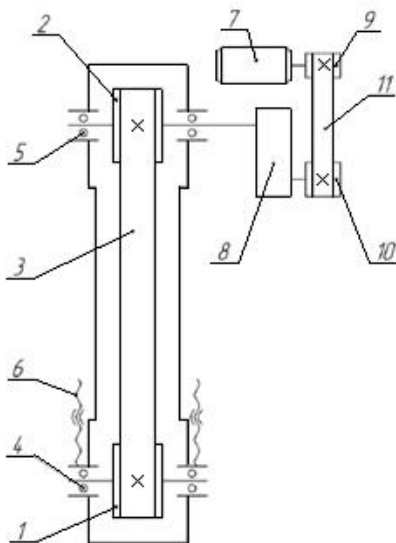
Задачі:

- розглянути автоматизовану систему керування електропривода норії;
- провести вибір типу електродвигуна для привода норії;
- провести аналіз існуючих, сучасних засобів та систем керування електродвигунами змінного струму і на базі цього аналізу вибрати найбільш підходящий електропривод для керування електродвигуном норії;
- провести аналіз динамічних властивостей роботи системи керування;
- проаналізувати результати моделювання й обґрунтувати правильність вибору системи керування для норії;
- розглянути загальні положення по технічній експлуатації електрообладнання норії.

ЗАГАЛЬНИЙ ВИД І ОСНОВНІ СКЛАДОВІ ЧАСТИНИ СТРІЧКОВОЇ КІВШЕВОЇ НОРІЇ Н50-10



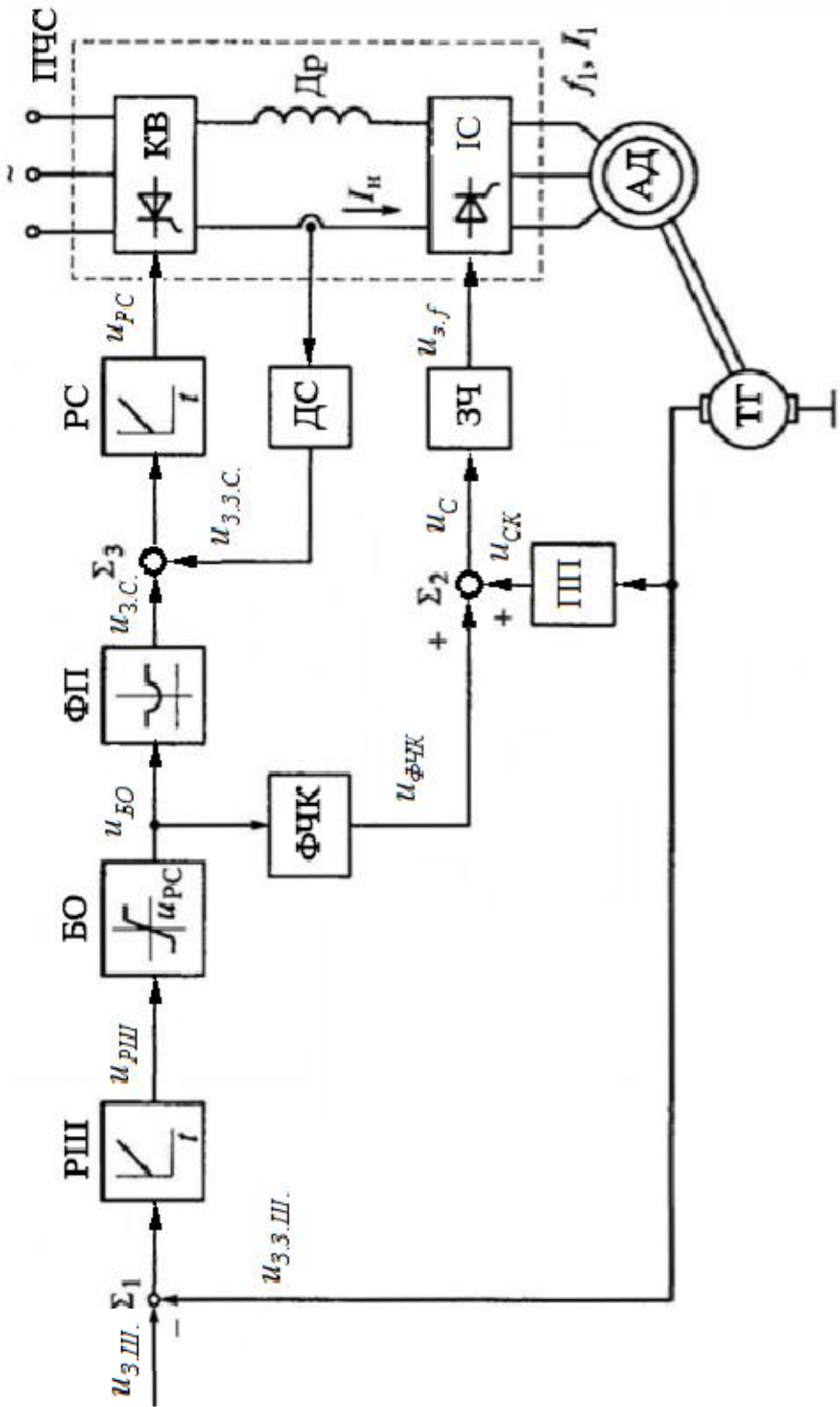
- 1 - черевик; 2 - живильні носки; 3 - розвантажувальний носок; 4 - головка;
5 - верхній барабан; 6 - приводний вал; 7 - тяговий орган; 8 - ківш; 9 - підшипник;
10 - нижній барабан



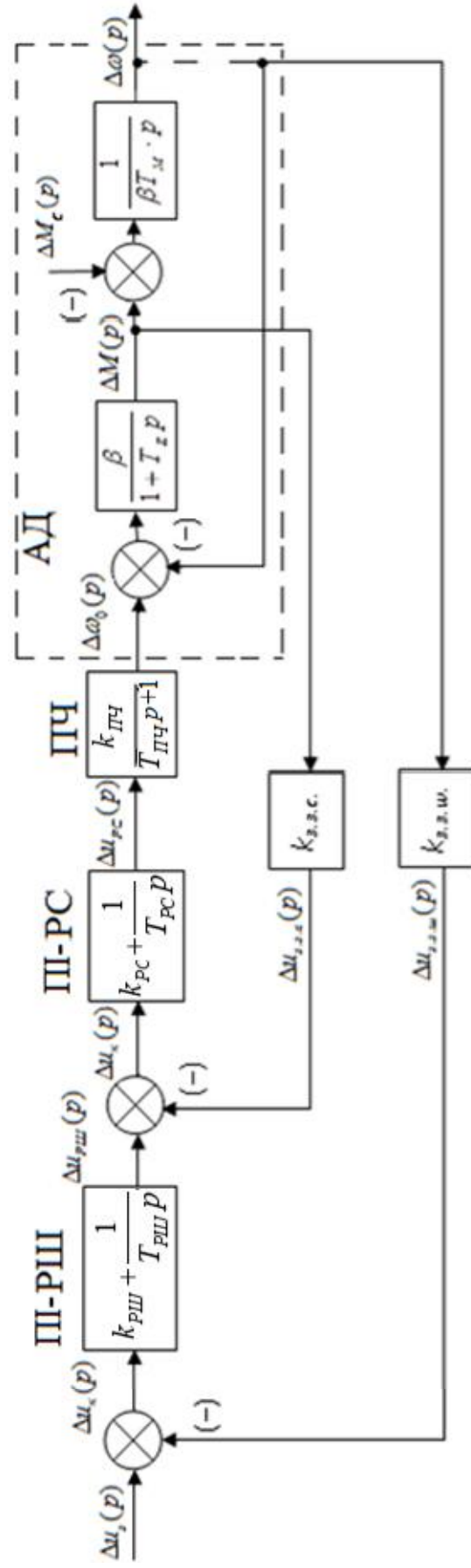
- 1 – барабан натяжний; 2 – барабан
приводний; 3 – стрічка; 4, 5 –
підшипниковий вузол; 6 – механізм
натягу стрічки; 7 – електродвигун; 8 –
редуктор; 9, 10 – шків; 11 – ремінь
клиновий

Кінематична схема норії

ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА ЗАМКНУТОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПЧ-АД
З ЧАСТОТНО-СТРУМОВИМ КЕРУВАННЯМ



СТРУКТУРНА СХЕМА ЕЛЕКТРОПРИВОДА



ДИНАМІЧНІ РОЗРАХУНКОВІ МОДЕЛІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

Схема моделі з ПІ-регулятором швидкості

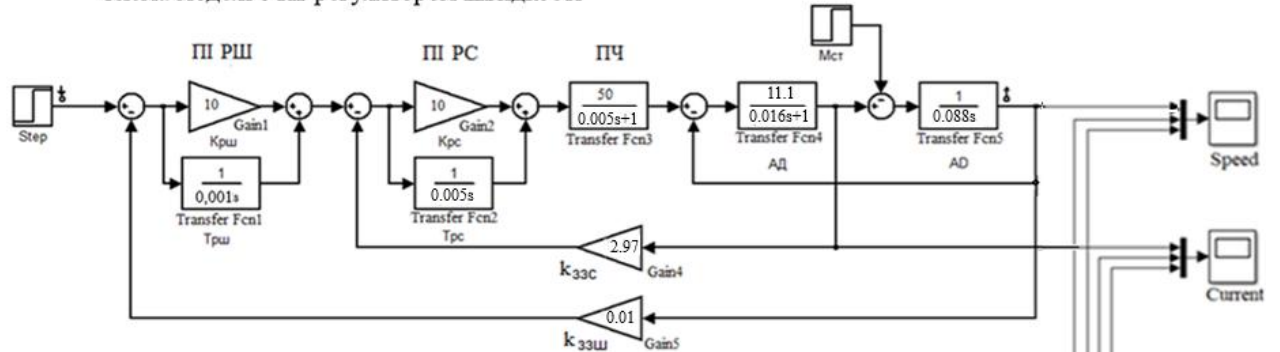


Схема моделі з П-регулятором швидкості

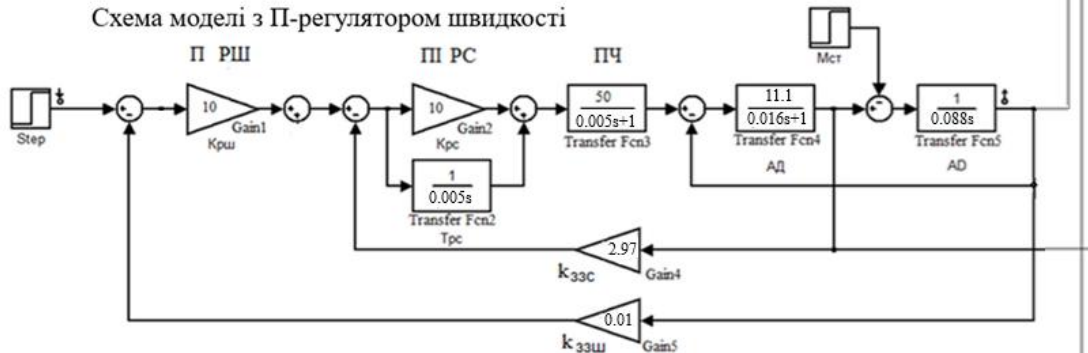
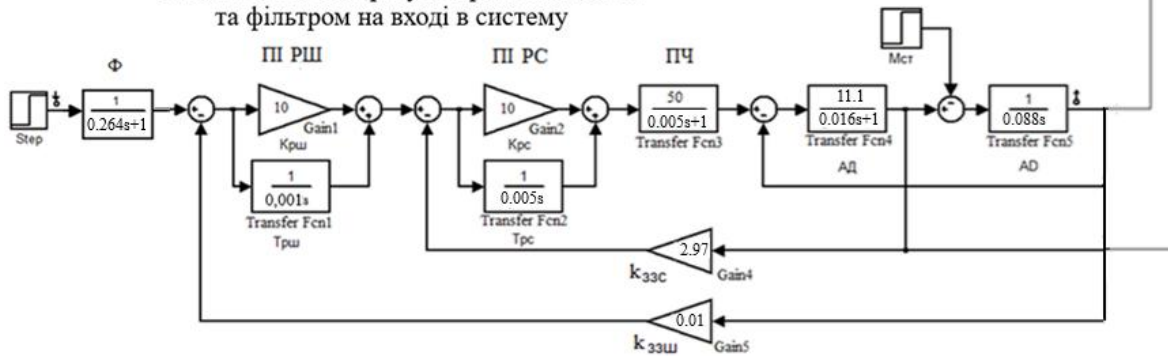
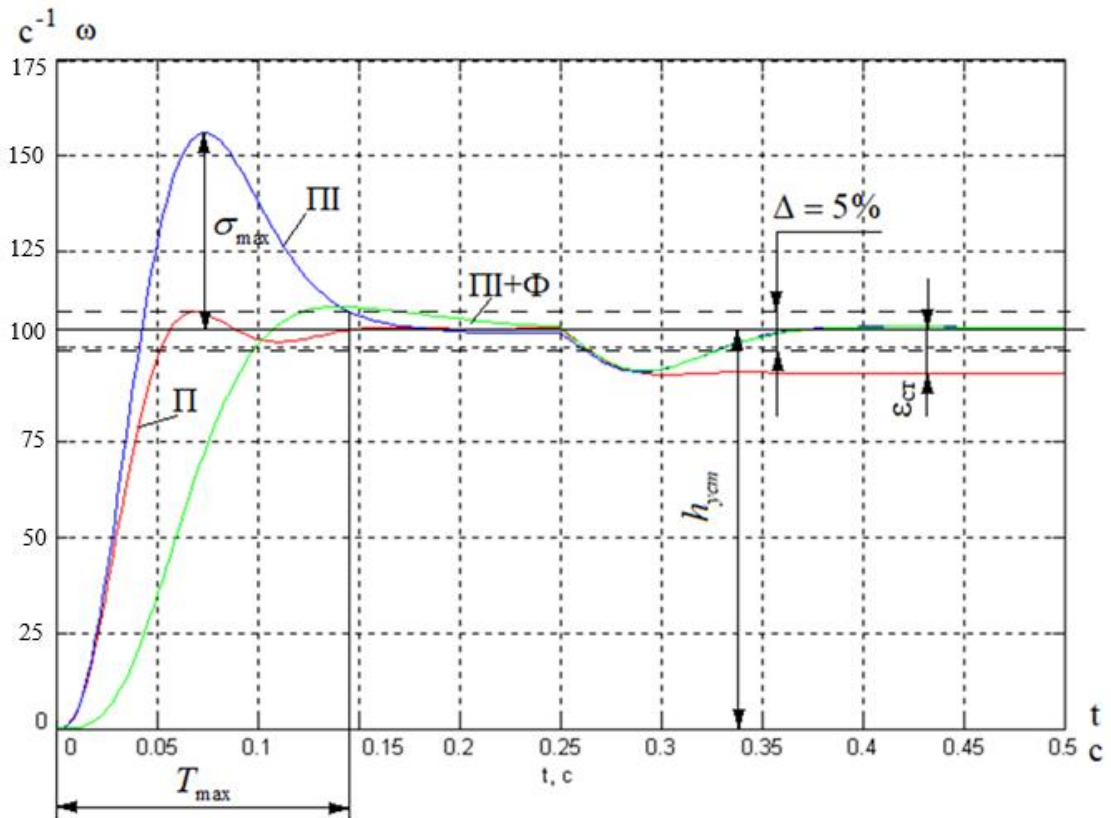


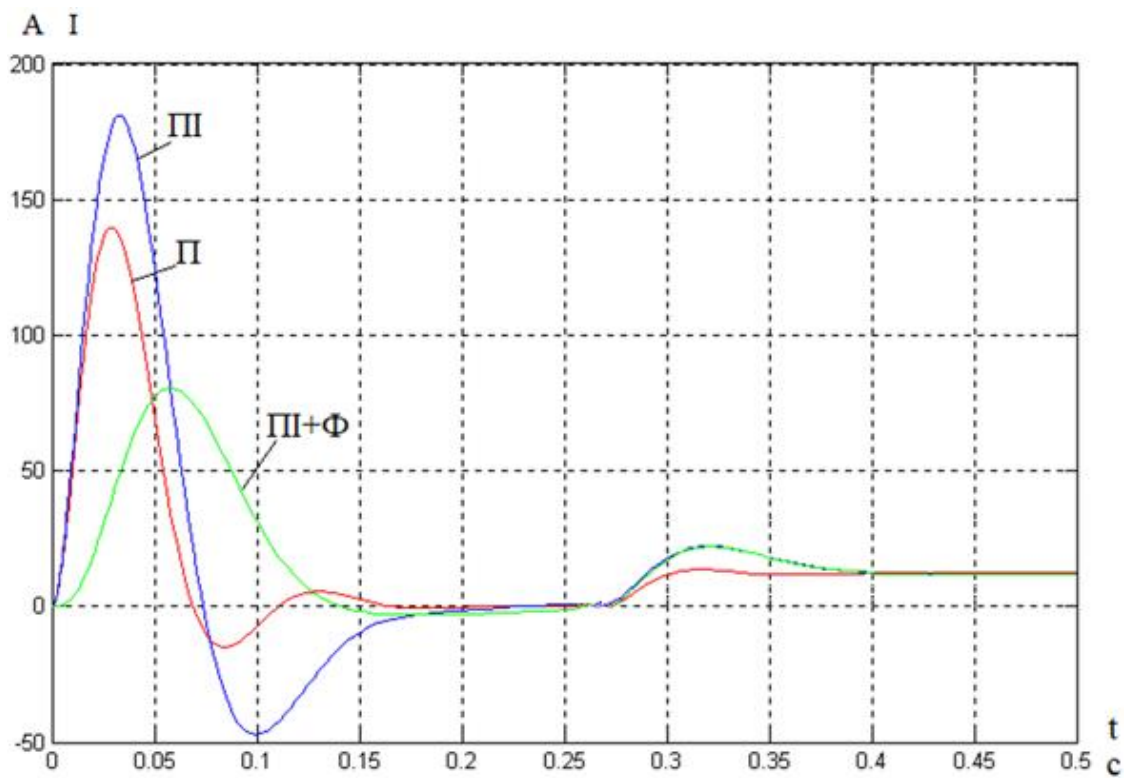
Схема моделі з ПІ-регулятором швидкості та фільтром на вході в систему



АНАЛІЗ ДИНАМІКИ САК



Перехідні процеси по швидкості



Перехідні процеси по струму

ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі бакалавра розглядається система керування автоматизованого електропривода установки для транспортування зерна (норії) типу Н50-10.

Результати виконаної роботи можна сформулювати таким чином:

- розглянуті класифікація транспортуючих машин та застосування ківшевих норій;

- проведений аналіз існуючих видів електродвигунів, вибраний замість існуючого більш сучасний асинхронний електродвигун типу АИР112МВ6УЗ потужністю 4 кВт;

- проведений аналіз існуючих систем керування АД на основі якого для обраного двигуна вибраний комплектний електропривод лінійки FR-A741 частотно-струмовим керуванням;

- на основі функціональної схеми обраного електропривода та проведених розрахунків всіх елементів системи керування була складена структурна схема;

- на основі математичного опису та розрахунків елементів системи складені розрахункові динамічні моделі та проведений аналіз динамічних властивостей системи керування електропривода норії при східчастому впливі величиною 10 В та при зміні на 30 % навантаження після режиму, що встановився.

Отримані наступні результати дослідження:

- при застосуванні пропорційно-інтегрального закону регулювання (ПІ-регулятор) перерегулювання склало $\sigma = 34 \%$, час перехідного процесу (по входу кривої в п'ятивідсоткову зону щодо значення, що встановилося,) $T_{\max} = 0,14$ с;

- при застосуванні пропорційного закону регулювання (П-регулятор) перерегулювання склало $\sigma = 5,7 \%$, час перехідного процесу зменшився до $T_{\max} = 0,06$ с, але при цьому при зміні навантаження на 30 % виникла статична похибка $\varepsilon = 8 \%$;

- при введенні аперіодичної ланки (у якості фільтра) на вхід системи керування з ПІ-регулятором, перерегулювання склало $\sigma = 7,3 \%$, час перехідного процесу $T_{\max} = 0,11$ с, коливальність $N = 1$, статична похибка відсутня $\varepsilon = 0$.

При такій структурі системи керування максимальні відхилення струму не перевищують максимально допустимих значень струму короткого замикання, який в десятки разів перевищує номінальний.

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

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

В роботі розглянуті питання охорони праці при експлуатації електрообладнання кранових механізмів.

Слайд 8 мультимедійної презентації