

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)

І. С. Білюк

« 15 » 06 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня бакалавра

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

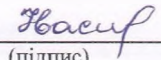
освітня програма Електротехніка та електротехнології
(назва освітньої програми)

на тему: Автоматизований електропривод дифузійного апарата

Виконав: студент IV курсу, групи 4311

Івасюк Євген Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

Керівник доц. каф. автоматики, к.е.н., доц.

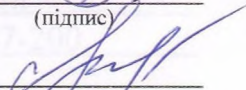
Майборода О. В.

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


(підпис)

Нормоконтроль ст. викладач Савченко О. В.

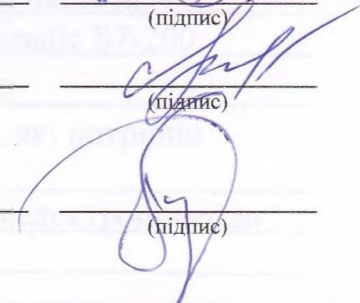
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)


(підпис)

Рецензент доц. каф. СЕЕС, к.т.н.,

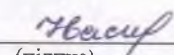
доц. Новогрецький С. М.

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


(підпис)

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

Студент


(підпис)

м. Миколаїв – 2026 року

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Інститут, факультет Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

Кафедра автоматики

Освітній ступінь бакалавр

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

(код і назва)

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(код і назва)

Освітня програма «Електротехніка та електротехнології»

(назва)

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми,

к.т.н., доцент

О. Г. Васильєв

(підпис)

2026 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра студенту

Івасюку Євгену Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Автоматизований електропривод дифузійного апарата

керівник роботи Майборода О. В., к.е.н., доцент

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

затверджені наказом закладу вищої освіти 1286-УТ від 22.04.26

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи технічні характеристики колонного дифузійного апарата КДА-30, система прямого керування моментом, перетворювача частоти Lenze ESV 183N04TXB, програмований логічний контролер Simatic S7-200,

показники якості перехідного процесу $\sigma \leq 5\%$, $t_p \leq 2$ с

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 4.1. Опис дифузійного апарата

4.2. Функціональна схема та вибір елементів автоматизованого електропривода

4.3. Розрахункова частина

4.4. Охорона праці

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

5.1. Загальна характеристика колонного дифузійного апарата

5.2. Функціональна схема системи прямого керування моментом

5.3. Модель електропривода з DTC алгоритмом керування в MATLAB

5.4. Дослідження динаміки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Майборода О. В., доцент кафедри автоматики		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Обґрунтування актуальності проблеми, що розглядатиметься; визначення основної мети та завдань кваліфікаційної роботи. Вимоги до оформлення пояснювальної записки та графічної частини.		
2	Короткий огляд літератури за темою дослідження. Опис об'єкта керування.		
3	Побудова функціональної схеми автоматизованого електропривода. Розрахунок та вибір його елементів.		
4	Математичний опис автоматизованого електропривода. Налаштування контурів регулювання.		
5	Дослідження динаміки автоматизованого електропривода в MATLAB.		
6	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини. Підготування доповіді.		

Студент

Василь Івасюк Є. М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник
роботи

Майборода О. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота: 63 с., 4 р., 24 рис., 11 табл., 3 дод., 15 джерел.

Ключові слова: DTC алгоритм, асинхронний електропривод, дифузійний апарат, моделювання, перехідні характеристики.

Об'єкт дослідження – перехідні процеси в асинхронному електроприводі дифузійного апарата.

Мета роботи – синтез системи керування електропривода дифузійного апарата.

Методи дослідження – моделювання перехідних процесів в електроприводі дифузійного апарата з використанням сучасної теорії автоматичного керування та електропривода, імітаційне моделювання в MATLAB, обробка та аналіз отриманих результатів.

У першому розділі досліджено склад, принципи роботи обладнання бурякоцукрового виробництва, призначення та технічні характеристики дифузійного апарата. Проведено аналіз електрообладнання привода трубовалу дифузійного апарата. У розділі 2 наведено функціональну схему системи керування електропривода дифузійного апарата та обґрунтовано вибір її елементів. Розділ 3 містить математичну модель автоматизованого електропривода дифузійного апарата та розрахунок параметрів її елементів. Проведено моделювання автоматизованого електропривода дифузійного апарата в MATLAB та досліджено якість керування. В розділі 4 розглянуті питання з охорони праці. Додатки містять розрахунок параметрів схеми заміщення асинхронного двигуна та налаштування параметрів регулятора швидкості в MATLAB, слайди мультимедійної презентації.

ABSTRACT

Qualification work: 63 pp., 4 chapters, 24 figs., 11 tables, 3 apps., 15 references.

Keywords: asynchronous electric drive, diffusion apparatus, DTC algorithm, modeling, transient characteristics.

Object of study – transient processes in the asynchronous electric drive of a diffusion apparatus.

Aim of the work – synthesis of the control system for the electric drive of a diffusion apparatus.

Research methods – modeling of transient processes in the electric drive of a diffusion apparatus using modern automatic control and electric drive theory, simulation modeling in MATLAB, processing and analysis of the obtained results.

Chapter 1 investigates the composition and operating principles of sugar beet production equipment, as well as the purpose and technical characteristics of the diffusion apparatus. An analysis of the electrical equipment of the diffusion apparatus tube-shaft drive was also conducted.

Chapter 2 presents the functional diagram of the control system for the diffusion apparatus electric drive and justifies the choice of its elements.

Chapter 3 contains the mathematical model of the automated electric drive of the diffusion apparatus and the calculation of its element parameters. Simulation of the automated electric drive of the diffusion apparatus was performed in MATLAB, and the control quality was investigated.

Chapter 4 addresses occupational health and safety issues.

Appendices include the calculation of the induction motor equivalent circuit parameters, the tuning of speed controller parameters in MATLAB, and multimedia presentation slides.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ОПИС ДИФУЗІЙНОГО АПАРАТА.....	7
1.1 Склад та принцип роботи обладнання бурякоцукрового виробництва	7
1.2 Призначення та технічні характеристики колонного дифузійного апарата.....	12
1.3 Склад та характеристика електрообладнання	17
2 ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА ТА ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА.....	22
2.1 Побудова функціональної схеми системи керування	22
2.2 Вибір елементів системи керування	25
3 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....	40
3.1 Математичний опис автоматизованого електропривода дифузійного апарата.....	40
3.2 Дослідження динаміки автоматизованого електропривода	47
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	53
4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів	53
4.2 Виробнича санітарія при роботі на бурякоцукровому заводі.....	55
4.3 Пожежна безпека при роботі на бурякоцукровому заводі	59
4.4 Техніка безпеки при експлуатації дифузійного апарата.....	60
ВИСНОВКИ.....	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	64
ДОДАТОК А. Розрахунок параметрів схеми заміщення асинхронного двигуна.....	66
ДОДАТОК Б. Налаштування параметрів регулятора швидкості в MATLAB	67
ДОДАТОК В. Мультимедійна презентація	68

ВСТУП

Актуальність теми. Виробництво цукру займає одне з перших місць серед галузей харчової промисловості. У світі налічується понад 1500 тростинно-цукрових і близько 1000 бурякоцукрових заводів, в тому числі понад 800 заводів в Європі. Апарати, в яких проводиться екстрагування з твердої речовини, знайшли широке поширення в цукровій промисловості і називаються дифузійними. У дифузійних апаратах цукор витягується з бурякової стружки за допомогою екстрагуючої рідини. Від цього процесу в значній мірі залежать і продуктивність заводу, і втрати цукру не тільки в процесі екстрагування, але і на інших стадіях бурякоцукрового виробництва.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є синтез системи керування електропривода дифузійного апарата. Щоб досягти поставленої мети, слід розв'язати наступні завдання:

- 1) дослідити склад та принцип роботи обладнання бурякоцукрового виробництва. Розглянути призначення, технічні характеристики колонного дифузійного апарата та провести аналіз його електрообладнання;
- 2) побудувати функціональну схему системи керування електропривода дифузійного апарата. Обґрунтувати вибір елементів системи керування електропривода;
- 3) скласти математичний опис електропривода дифузійного апарата та виконати розрахунок параметрів його елементів;
- 4) провести моделювання електропривода дифузійного апарата в MATLAB та дослідити якість керування.

Об'єктом дослідження є перехідні процеси в асинхронному електроприводі дифузійного апарата. Предмет роботи – структура та параметри регулятора швидкості системи прямого керування моментом електропривода дифузійного апарата, які впливають на якість керування.

1 ОПИС ДИФУЗІЙНОГО АПАРАТА

1.1 Склад та принцип роботи обладнання бурякоцукрового виробництва

Бурякоцукровий завод – це велике, добре оснащене сучасною технікою підприємство, яке працює у безперервному режимі. У добу цукровий завод середньої виробничої потужності переробляє близько 6000 т буряку. При деякому перекомпонуванні технологічної схеми бурякоцукровий завод може переробляти тростинний цукор-сирець. На заводі виробничою потужністю 3000 т буряку на добу переробляють 400-500 т, а на заводі потужністю 6000 т – до 1000 т цукру-сирцю на добу. Заводи працюють сезонно: буряк починають переробляти 5-20 вересня, а закінчують в основному в грудні. У вересні та жовтні заводи переробляють свіжовикопані буряки, пізніше використовують буряки з призаводського складу або із бурякоприймальних пунктів. Переробку тростинного цукру-сирцю проводять в I і II кварталах наступного року. Виробнича потужність вітчизняних цукрових заводів в основному 3000 і 6000 т переробки цукрових буряків на добу, а реконструйованих – 4500 т. Будівництво нових заводів на 3000 т на добу економічно нерентабельно. Число робітників на такому заводі становить 11-12 чоловік на переробку 100 т буряка на добу, а на заводі виробничою потужністю 6000 т на добу число робітників знижується до 5-6 осіб. При врожайності коренеплодів 30 т/га радіус зони бурякосіяння заводу на 6000 т не перевищуватиме 30 км. Розрахункова тривалість сезону сокодобування в нашій країні бурякоцукрових заводів повинна бути не менше 100 діб.

На вітчизняних цукрових заводах в якості типової використовують технологічну схему, що включає в себе: безперервний дифузійний процес з поверненням жомопресованої води, вапняно-вуглекислотне очищення дифузійного соку, загущення соку випаровуванням, три ступені кристалізації з афінацією цукру III кристалізації. Бурякоцукрове виробництво – єдиний процес, його умовно ділять на три виробничі і допоміжні відділення:

- бурякопереробне, в якому проводять підготовчі операції з буряком і витягають буряковий сік зі стружки екстракцією;
- сокоочисне, тут екстрагований (або дифузійний) сік очищують від нецукрів і згущують до сиропу;
- продуктове, де сахароза викристалізовується з сиропу з отриманням готового продукту;
- до допоміжних відділень відносять вапнування, жомосушіння, брикетування.

Схема роботи цукробурякового заводу показана на рисунку 1.1.

Технологічний ланцюжок виробництва цукру можна розділити на кілька основних етапів, і перший з них – миття та очищення буряку від сторонніх предметів. Справа в тому, що при збиранні, особливо механізованому, до 10-12 % від маси буряків складають, крім власне налиплої землі (грунту), бадилля, солома, пісок, шлак, камені і навіть окремі металеві предмети.

Для миття буряків використовується спеціалізоване обладнання з піщаними та іншими (для каменів і бадилля) “уловлювачами”, тобто дозволяє очистити буряк від будь-яких сторонніх предметів. Грунт змивається в споліскування. Правильне, а головне, ефективне миття сировини у виробництві цукру – основний момент.

Для вилучення цукру – буряку необхідно надати вигляду стружки. Процес отримання стружки з бурякового кореня здійснюється на бурякорізках за допомогою дифузійних ножів, встановлених в спеціальних рамках.

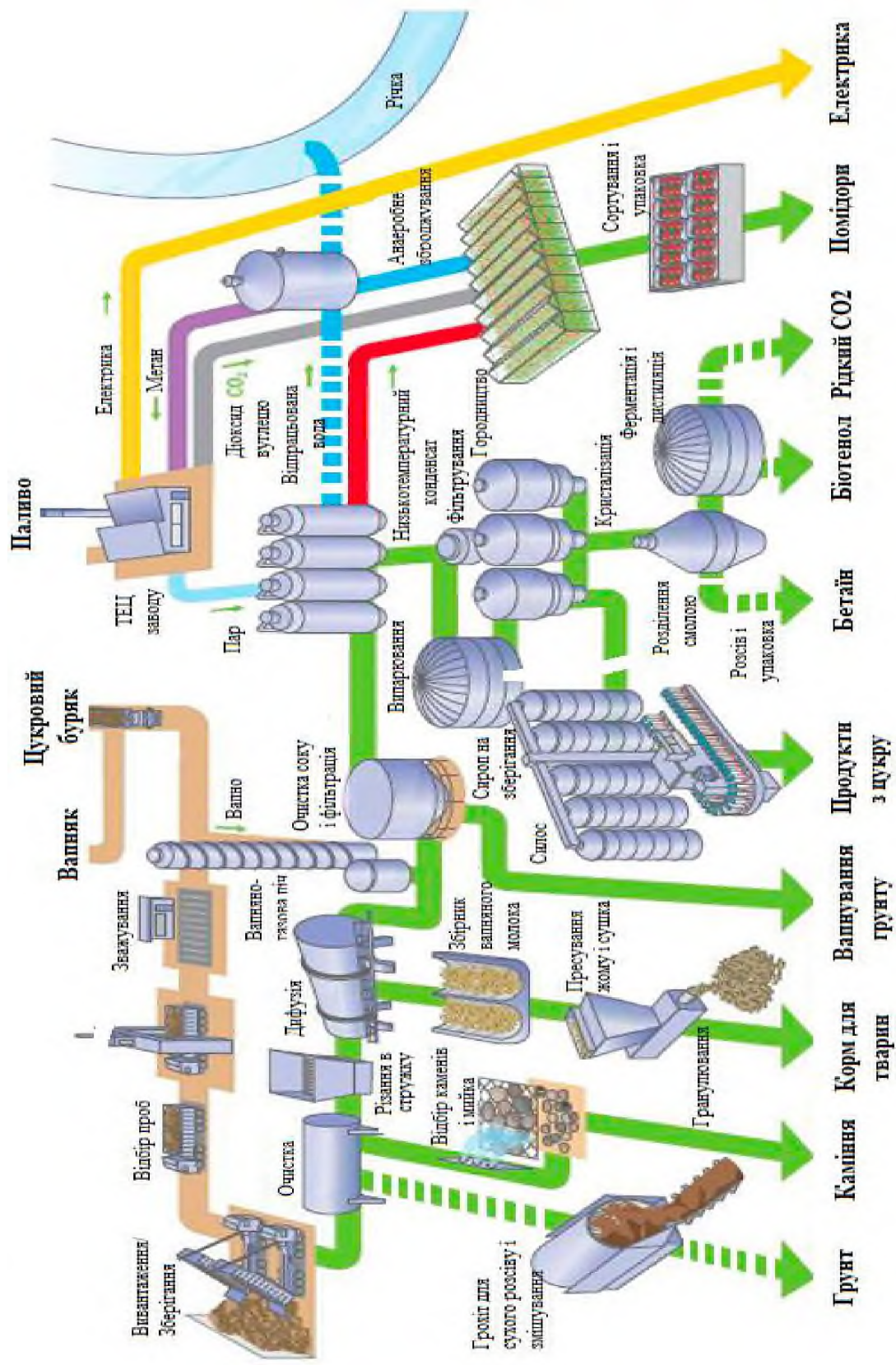


Рисунок 1.1 – Схема роботи бурякоцукрового заводу

Вміст цукру в знецукреній стружці в дуже великій мірі залежить від якості цієї стружки. Стружка повинна бути товщиною близько 1 мм – такий розмір вважається оптимальним для переробки буряку в дифузійних машинах.

Цукор з буряку отримують найбільш простим шляхом – дифузійним. Дифузією називається витяг компонента зі складного за своїм складом речовини за допомогою розчинника.

В даному випадку вилученим компонентом є сахароза, складеною речовиною – цукрові буряки, а розчинником – вода. Власне в промислових диффузорах, або, як їх правильніше називають, механізованих дифузійних апаратах, відбувається розм'якшення волокон, одержаних шляхом різання буряків (бурякова стружка) в воді. Отриману рідину називають дифузний сік.

Після закінчення визначеного технологією часу дифузний сік відділяється від знецукреної бурякової стружки (в спеціальних апаратах, званих пульповими пастками) і піддається подальшому розкладанню на компоненти для отримання чистої кристалічної сахарози.

Сироп, що утворився в результаті третього етапу обробки, повинен бути згущений до сиропу з вмістом сухих речовин до 65-70 % при первинному значенні цієї величини 14-16 %. Проводиться це у випарній установці.

Кристалізація цукру – завершальний етап в його виробництві. Тут виділяють практично чисту сахарозу з багатокомпонентної суміші, якою є сироп.

Принципова схема виробництва цукру із буряку представлена на рисунку 1.2.

Лінії з виробництва цукру встановлюються з комплектацією спеціальної техніки для заготівлі буряків до технологічних етапів.

Лінія обладнання включає в себе:

- бурякопідйомна установка;
- гідротранспортери;
- вловлювач піску;
- вловлювач ботви;
- водороздільники;

- вловлювач каміння;
- машина для миття буряку.

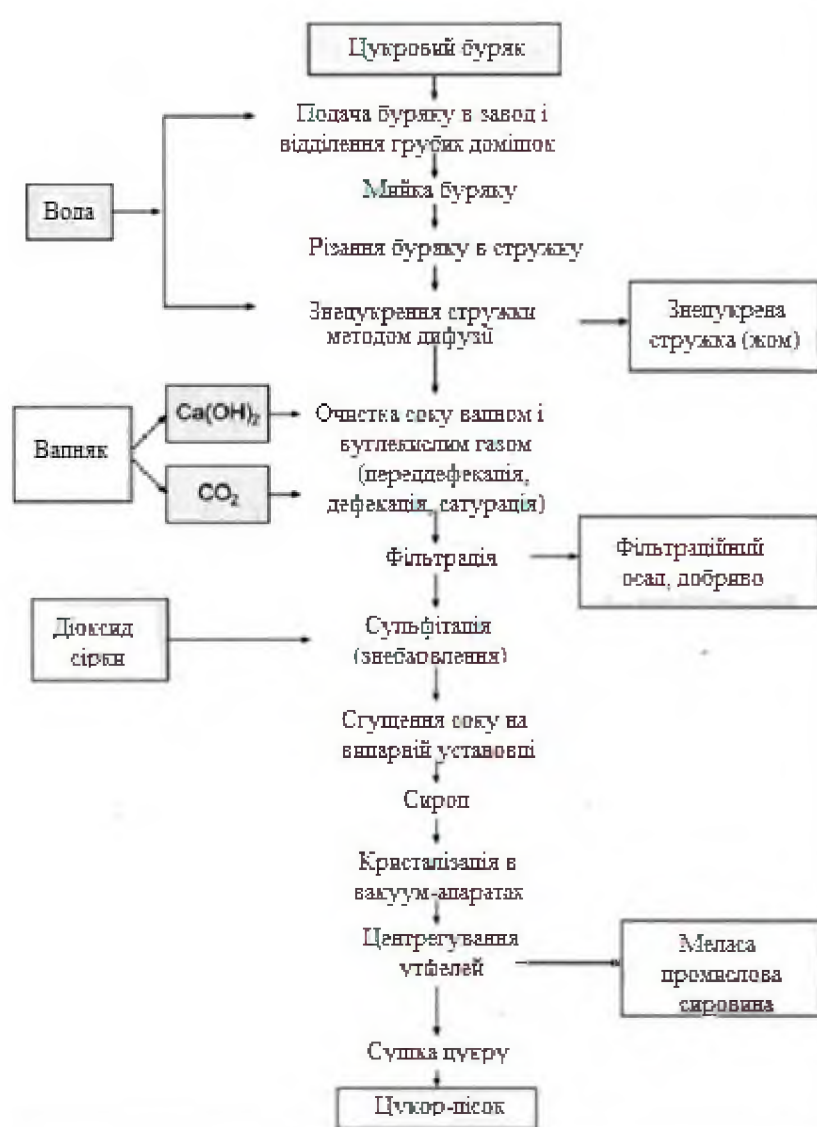


Рисунок 1.2 – Принципова схема виробництва цукру із буряку

В основну лінію з виготовлення цукру входить така техніка:

- конвеєри з магнітними сепараторами;
- бурякорізка;
- ваги;
- дифузійна установка;
- шнекові преси;
- сушарка для жому.

Другий комплекс техніки включає в себе:

- апарат дефекації;
- фільтр з нагрівальним пристроєм;
- сатуратор;
- сульфітатор;
- відстійник.

Найенергоємніша техніка:

- вакуум-апарати;
- центрифуга;
- випарні установки з концентратором.

Автоматична лінія завершується комплектацією техніки, яка включає в себе:

- віброконвеєри;
- вібросито;
- сушильно-охолоджувальна установка.

1.2 Призначення та технічні характеристики колонного дифузійного апарата

Одним з основних технологічних процесів бурякоцукрового виробництва є отримання цукру з буряку, яке здійснюється в дифузійних апаратах. Найважливіша вимога до дифузійних апаратів – це суворе дотримання принципу протитоку соку і стружки при рівномірному заповненні стружкою всього апарату. Добра робота дифузійного апарату можлива тільки на стружці високої якості. Для отримання дифузійного соку високої якості в апаратурі слід підтримувати певну температуру, а тривалість дифузії повинна бути оптимальною. Сучасні дифузійні установки мають ошпарувач, в якому стружка нагрівається (ошпарюється) гарячим соком для згортання бурякової клітини з метою підготовки стружки до проведення процесу дифузії.

За такою схемою працює більшість дифузійних установок безперервної дії, за винятком застарілих шнекових апаратів, в яких ошпарювання стружки проводиться в самому апараті, в початковій його частині. Застосування дифузійних апаратів безперервної дії дає можливість ліквідувати важку фізичну працю, автоматизувати процес сокодобування, скоротити кількість шкідливих стічних вод, зменшити потребу у свіжій воді, знизити втрати цукру, витрати пару і трудові витрати. Екстракція цукру з буряку здійснюється в безперервно діючих апаратах, причому найбільше поширення набули колонні, похилі двухшнекові і ротаційні дифузійні апарати.

Типова колонна дифузійна установка включає висолоджувач колонного типу, ошпарувач, підігрівачі соку і обладнання підготовки води для живлення апарату. Для станції сокоочищення дуже важлива точність підтримки технологічного режиму, від якого безпосередньо залежить доброякісність сиропу при уварюванні дифузійного соку. Наприклад, при підвищенні доброякісності очищеного соку на одну одиницю можна отримати додатково 0,2-0,25 % цукру від маси буряку, що надійшов на переробку. Таким чином, підтримка технологічних параметрів в допустимих режимах має вирішальне значення в процесі усунення нецукрів і, як результат, підвищення ефективності цукрового виробництва в цілому.

На рисунку 1.3 показана схема колонної дифузійної установки. На рисунку прийняті наступні позначення: 1 – свіжа стружка; 2 – протиточний ошпарувач; 3 – насос для сокостружкової суміші; 4 – ємність для піноподавлення; 5 – насос для обезпіненого соку; 6 – підігрівач для обезпіненого соку; 7 – насос для дифузійного соку; 8 – колонний дифузійний апарат; 9 – вловлювач піску; 10 – транспортний шнек; 11 – жомовий прес; 12 – ємність для жомопресової води; 13 – насос для жомопресової води; 14 – підігрівач для жомопресової води;  дифузійний сік;  повернений сік колонної дифузії;  обезпінений сік;  сокостружкова суміш;  жомопресова вода;  свіжа вода;  пар.

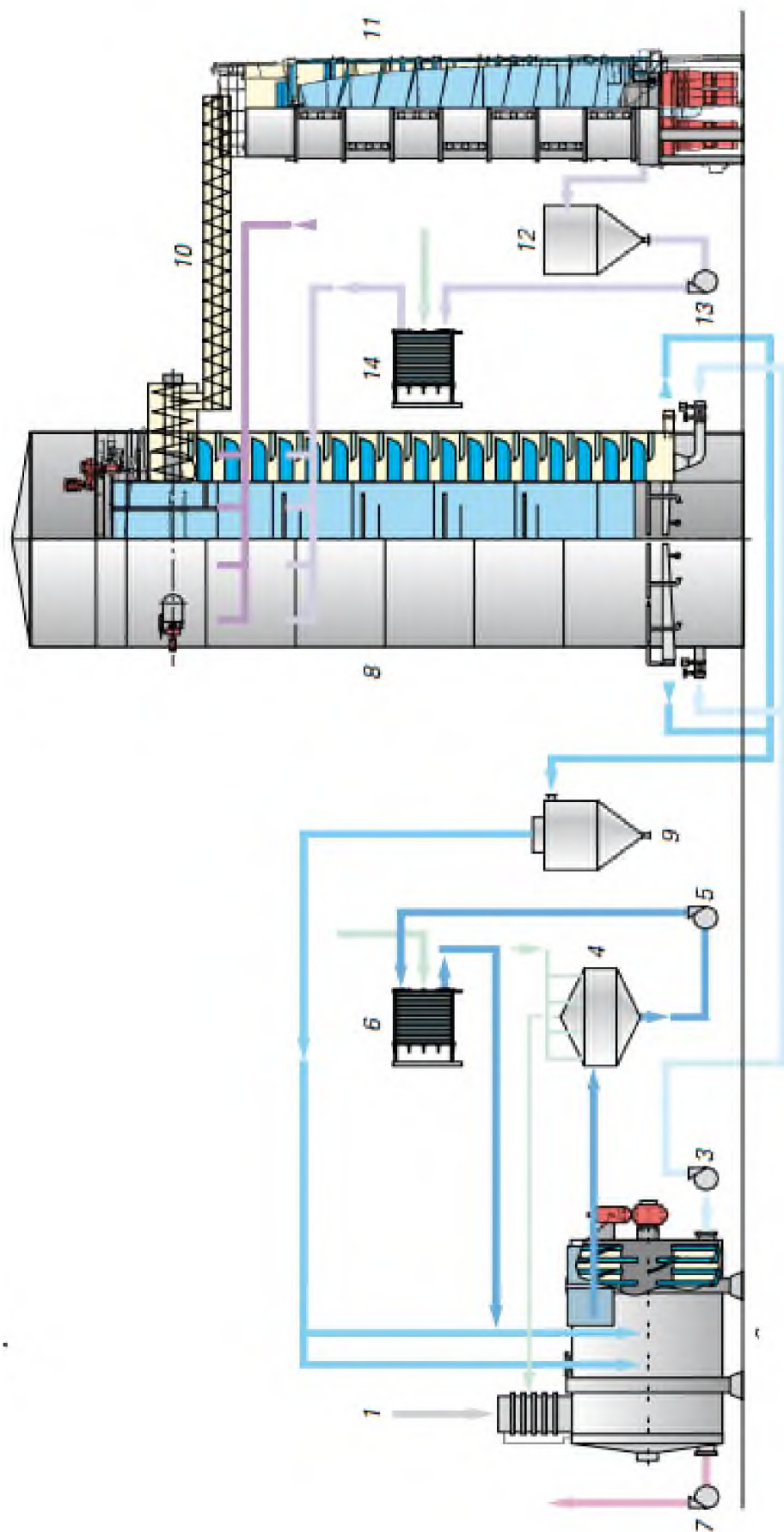


Рисунок 1.3 – Схема колонної дифузійної установки

Для отримання високого ефекту очищення дифузійного соку необхідно виділити нецукри з соку, максимально використовувати адсорбційну властивість частинок карбонату кальцію, швидко відокремлювати створений осад. Типова технологічна схема процесу очищення включає в себе такі стадії, як переддефекацію, основну холодно-гарячу дефекацію, сатурацію з подальшою фільтрацією соку, дефекацію перед сатурацією II, сатурацію II з фільтрацією і сульфитацію.

Склад установки:

- ошпарувач;
- насос сокостружної суміші;
- насос відбору соку на очистку;
- насос соку поперечного потоку;
- три підігрівача;
- колона.

Стружка надходить в шахту ошпарувача, в ньому шнеком пересувається до змішувача і на цьому шляху ошпарюється соком поперечного потоку, температура якого 78 °С. Зі змішувача сокостружки суміш насосом подається в нижню частину колони. Сік з колони через сита і нижні контропаті відбирається до збірки, потім насосом прокачується через підігрівач і 2/3 його у вигляді баштового соку надходить в змішувач і 1/3 – сік поперечного потоку, яким ошпарюється стружка. Сік з ошпарувачу, віддавши тепло стружці, йде на очистку. Час перебування стружки в ошпарувачі – 8-10 хв, швидкість обертання шнека – 8 об/хв, діаметр ошпарувача – 3 м.

Колона представляє собою вертикальний циліндричний металевий корпус, що складається з окремих секцій. Усередині колони обертається порожнистий трубовад діаметром 2 м, до якого по гвинтовій лінії кріпляться лопаті, що переміщують стружку знизу вгору. Всього 12 рядів, в кожному з яких по 10 лопатей.

Сокостружкова суміш надходить в колону через розподільник, який обертається разом з валом над ситом. Передня частина розподільника нагадує ніж бульдозера, який очищує сита від стружки і піднімає їх вгору. А задня частина розпо-

дільника виконана у вигляді кришки, що відкривається під тиском сокостружкової суміші, що притискається до розподільника пружиною.

Для запобігання обертанню стружки в апараті до внутрішньої поверхні корпусу між лопатями закріплені контрлопаті, верхні і нижні ряди яких виконані сітчатими, через верхню в апарат подається живильна вода, а через нижню проводиться частковий відбір соку. Жом викидається з колони у верхній частині через вікна і відділяється кільцевим скребковим транспортером.

Привод такої установки – це електродвигун постійного струму і редуктор. Швидкість обертання валу – 0,2-0,6 об/хв, відкачка – 120-130 %, втрати сахарози в жомі 0,2-0,3 %, повний об'єм колони 210 м³, довжина колони – 10-12 м, питоме навантаження 0,7 т/м³.

Переваги колонного дифузійного апарата:

- високе питоме навантаження;
- низькі втрати цукру в жомі;
- незначна корозія.

Технічні характеристики колонного дифузійного апарата КДА-30 представлені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики колонного дифузійного апарата КДА-30

Найменування	Значення
Продуктивність по буряку, т/доб	3000
Насипна щільність бурякової стружки, кг/м ³	65-70
Корисний об'єм апарату, м ³	208
Висота активної зони апарату, мм	13320
Внутрішній діаметр, мм	5000
Площа фільтрувальних сит, м ²	24,2
Частота обертання лопатевого валу, хв ⁻¹	0,2...0,6
Зовнішній діаметр лопатевого валу, мм	2000

Продовження таблиці 1.1

Найменування	Значення
Електродвигун привода лопатевого валу:	
– тип	П-112У4
– потужність, кВт	70
частота обертання, об/хв	600
Габаритні розміри:	
– висота, м	20
– довжина, м	8,6
– ширина, м	5,5
Маса апарату, кг	202000

1.3 Склад та характеристика електрообладнання

Однією з поширених систем автоматичного керування являються релейно-контакторні системи керування. Електропривод, виконаний на такій основі, являє собою простий нерегульований електропривод, в основному загальнопромислового застосування. При цьому застосовуються двигуни асинхронні, синхронні, постійного струму з послідовним і змішаним збудженням.

У завдання релейно-контакторних системи керування входить автоматизація наступних операцій:

- включення і відключення двигунів;
- вибір напрямку і швидкості обертання;
- пуск і гальмування двигуна;
- керування двигуном в функції якого-небудь параметра (швидкості, струму, положення робочого органу і т.п.);
- створення тимчасових пауз руху;
- захисне відключення двигуна при перевантаженнях, коротких замиканнях, зниженнях напруги нижче норми, зупинка механізму;
- забезпечення заданої послідовності дій оператора.

Дані операції потрібні для виконання необхідного за технологічними умовами руху робочого органу механізму.

Типові схеми релейно-контакторного керування двигунами постійного струму забезпечують автоматичний пуск і ступінчасте регулювання швидкості обертання двигуна, автоматичне електричне гальмування.

В якості привідного двигуна трубовалу колонного дифузійного апарату КДА-30 застосовано електродвигун П-112У4 (див. таблицю 1.1).

На рисунку 1.4 приведена принципова електрична схема керування електродвигуна постійного струму П-112У4.

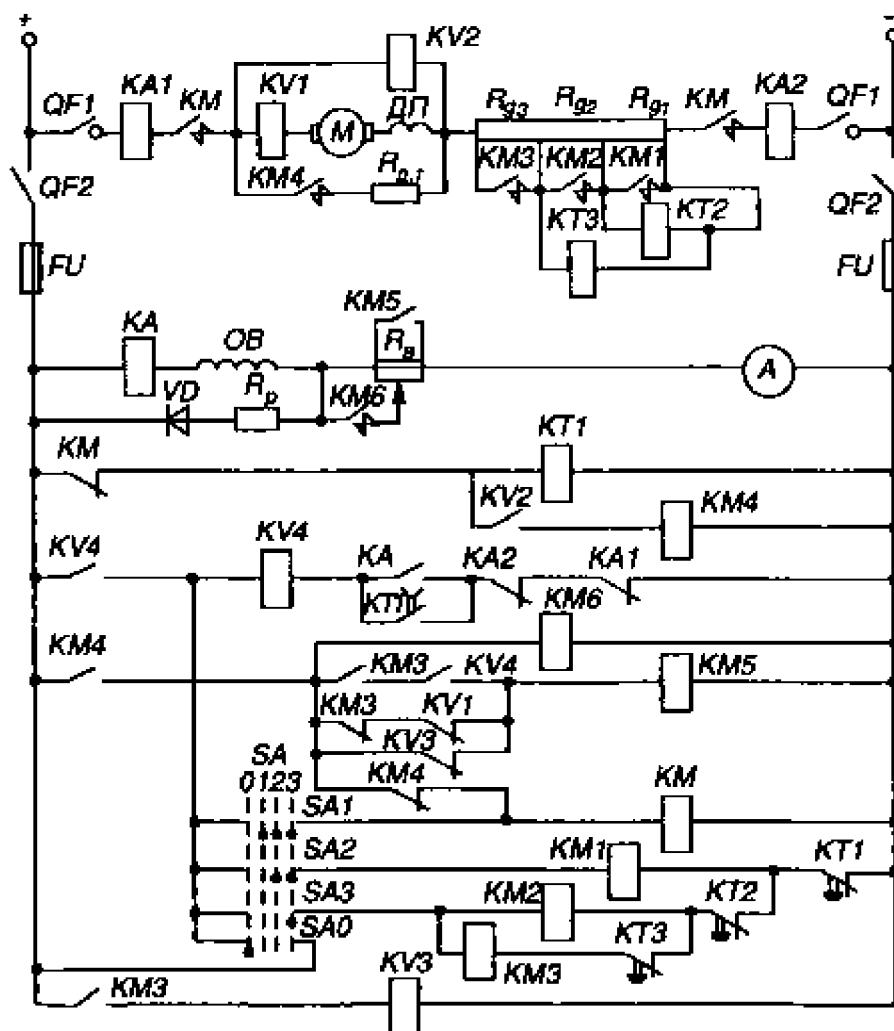


Рисунок 1.4 – Принципова електрична схема керування електродвигуна постійного струму П-112У4

Схема забезпечує пуск двигуна в функції незалежної витримки часу в три ступені, регулювання швидкості ослабленням магнітного потоку, динамічне гальмування в функції ЕРС, захист від коротких замикань, обриву поля двигуна, від самозапуску після зникнення і появи напруги. Керується схема командоконтролером SA, що має секції і чотири положення – нульове і три робочих.

Для запуску двигуна SA переводиться в одне з робочих положень. КМ подає напругу на ланцюг якоря, М починає розганятися. КТ1, втративши живлення, вимикається і з витримкою часу включає КМ1, який шунтує Rg1, а також котушку реле КТ2. Це реле з витримкою часу включає КМ2 і т.д. Включення КМ3 означає вихід двигуна на природну характеристику і дозвіл на ослаблення магнітного поля – включення KV3 і відключення КМ5 і введення в ланцюг ОЗ резистора RB, тобто формування штучної характеристики.

Для зупинки електропривода ключ переводиться в положення 0. Усі контактори вимикаються, а реле KV2, включивши КМ4, підключає до М резистор R. Відбувається динамічне гальмування. При зниженні ЕРС до мінімального значення KV2 вимикається, після чого процес гальмування завершується.

Електродвигуни постійного струму серії П застосовуються в різних галузях промисловості.

Машини розраховані на тривалий (S1) режим роботи на висоті над рівнем моря до 1000 м при температурі навколишнього повітря від 5 до 40 °С і відносній вологості повітря до 80 % при температурі 25 °С і при більш низьких температурах без конденсації вологи.

Двигуни серії П виготовлялися зі ступенями захисту від впливу навколишнього середовища IP20 і IP54.

За способом охолодження розрізняють машини з самовентиляцією, з природним охолодженням, з незалежною вентиляцією від прибудованого вентилятора (тільки для машин 4-11 габаритів), з незалежною вентиляцією і підведенням повітря по трубах (тільки для машин 7-11 габаритів).

Двигуни серії П мають змішане збудження або паралельне і незалежне збудження при роботі в системі генератор-двигун.

Двигуни допускають регулювання частоти обертання вверх від номінальної шляхом зміни струму збудження при потужності на валу не вище номінальної.

Регулювання частоти обертання вниз від номінальної здійснюється зміною напруги на якорі при постійному струмі в обмотці збудження. Напруга на обмотці збудження при цьому має відповідати номінальній напрузі якоря.

Двигуни з незалежною вентиляцією допускають регулювання частоти обертання вниз від номінальної (до 100 об/хв) зміною напруги на якорі при моменті обертання не вище номінального. Двигуни з самовентиляцією допускають регулювання частоти обертання вниз від номінальної (до 100 об/хв) зміною напруги на якорі зі зменшенням моменту відповідно до даних.

Двигуни закритого виконання з природним охолодженням 1-7 габаритів допускають регулювання частоти обертання вниз від номінальної (до 10 об/хв) зміною напруги на якорі при моменті обертання, рівному номінальному. Ступінь іскріння на колекторі машин при будь-якому встановленому навантаженні від 0 до 100 % номінальної не повинна перевищувати 1 1/2 по ГОСТ 183-74.

Ступінь іскріння при перевантаженнях і в перехідних режимах ослаблення поля не обмовляється, але колектор і щітки після роботи в цих режимах повинні залишатися в стані, придатному для подальшої роботи без попереднього чищення колектора. При цьому допускаються сліди підгару на краях колекторних пластин і щіток.

Середній рівень звуку машин повинен відповідати вимогам класу I по ГОСТ 16372-84.

Технічні характеристики електродвигуна П-121У4 наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики електродвигуна П-121У4

Найменування	Значення
Потужність, кВт	70
Напруга, В	220
Номінальна частота обертання, об/хв	600
Максимальна частота обертання, об/хв	1200
Момент інерції, кг·м ²	5,85
ККД, %	88

2 ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА ТА ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

2.1 Побудова функціональної схеми системи керування

Привод транспортного валу колонного дифузійного апарата складається з декількох агрегатів з регульованим числом оборотів. Для надійної і безперебійної передачі високих обертових моментів, що виникають при роботі з високим ступенем заповнення, привод виконано з “плаваючими” ведучими шестернями, що забезпечить точну паралельність їх бічних поверхонь з великим колесом. Крутний момент кожного приводного агрегату безперервно вимірюватиметься і контролюватиметься. Приводні агрегати виконано як центрально-розташовані планетарні редуктори (рисунок 2.1). Запобіжну муфту, як обмежувач крутного моменту використано для захисту приводів від аварійних перевантажень.

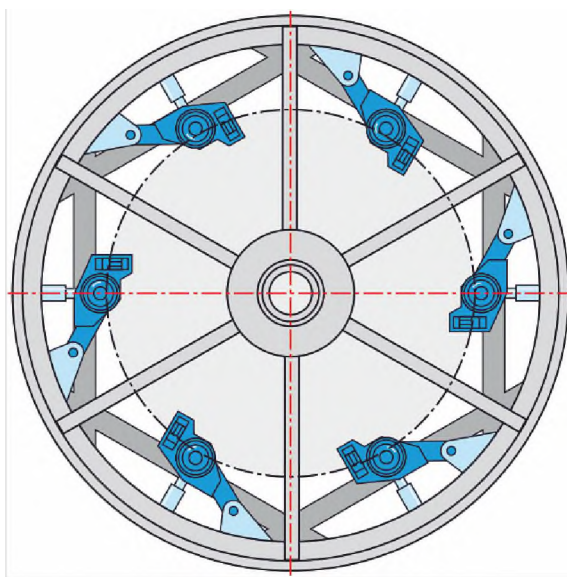


Рисунок 2.1 – Привод транспортного валу колонного дифузійного апарата
з планетарним редуктором

Основна ідея прямого керування моментом полягає в тому, що на кожному кроці розрахунку визначається оптимальний стан інвертора напруги, який викликає зміну як моменту, так і потокозчеплення статора в необхідному напрямку. В

результаті досягається поділ каналів керування моментом і потоком асинхронного двигуна.

Функціональна схема реалізації системи DTC приведена на рисунку 2.2.

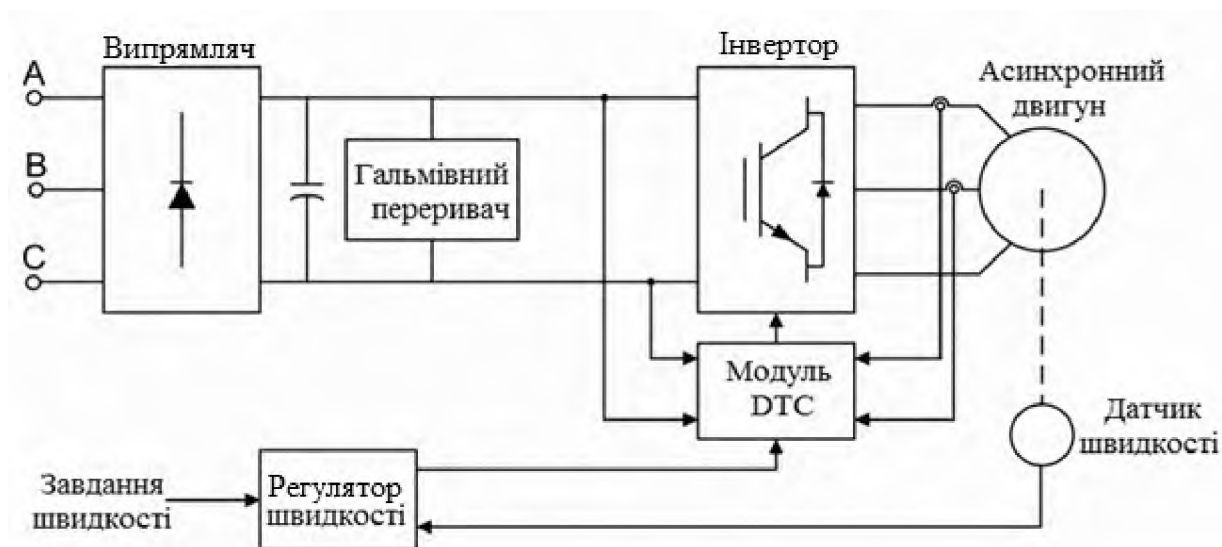


Рисунок 2.2 – Функціональна схема системи прямого керування моментом

Схема має шість основних блоків: асинхронний двигун, трифазний інвертор, трифазний діодний випрямляч, регулятор швидкості, гальмівний переривач, модуль контролера DTC і датчик швидкості.

Вибір відповідного вектора напруги заснований на простій таблиці комутації. Входами для табличного визначення вектора напруги (положення ключів інвертора) є кутовий сектор положення вектора потокозчеплення статора і виходи двох релейних гістерезисних регуляторів РМ і РП.

У релейних регуляторах моменту і потокозчеплення порівнюються задані значення регульованих величин з обчисленими і формуються логічні сигнали для блоку вибору вектора напруги. На рисунку 2.3 представлені варіанти характеристик релейних регуляторів.

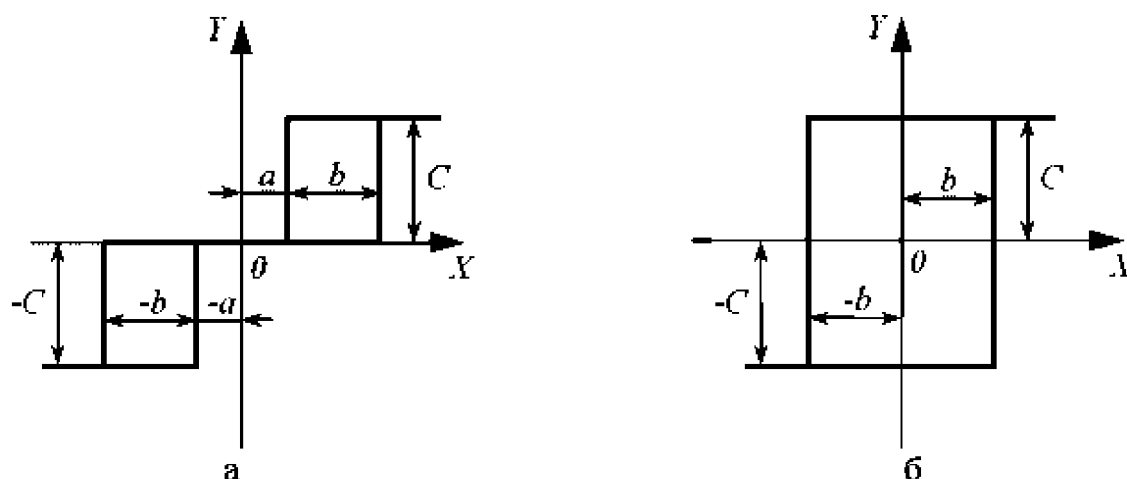


Рисунок 2.3 – Статичні характеристики релейних регуляторів:

а) регулятор моменту; б) регулятор потоку

Релейний регулятор моменту будується на основі трипозиційної релейної ланки з зоною нечутливості і з гістерезисним допуском. Релейний регулятор поточкозчеплення будується на основі двопозиційної релейної ланки з гістерезисним допуском. Налаштування релейних регуляторів в системах DTC зводиться до визначення ширини гістерезисної петлі $2b$ у двопозиційних реле, ширини гістерезисної петлі $2b$ і зони нечутливості $2a$ – у трипозиційних реле, а також коефіцієнтів посилення датчиків зворотних зв'язків. Сигнал з виходу релейного регулятора це послідовність прямокутних імпульсів з одиничною амплітудою і певною частотою.

Наявність релейних регуляторів в системі керування надає наступні властивості системі керування:

- високу швидкодію;
- точність;
- змінна частота перемикань інвертора;
- наявність коливань електромагнітного моменту.

Сигнали з виходів релейних регуляторів надходять на вхід блоку вибору вектора напруги, в якому закладена реалізація таблиці комутації.

2.2 Вибір елементів системи керування

2.2.1 Для збільшення продуктивності дифузійного апарата на заміну нерозніжного зубчастого вінця КДА з приводом від електродвигуна постійного струму використано сегментований зубчастий вінець з планетарними редукторами і групою електроприводів змінного струму (див. рисунок 2.1).

Планетарним редуктором називають механізм, який перетворює високу кутову швидкість обертання вхідного вала в низьку на вихідному валу. При цьому крутний момент на вихідному валу зростає пропорційно зменшенню швидкості обертання. Планетарний редуктор складається з корпусу, в якому розташовані зубчасті колеса, вали, підшипники валів, системи їх мастила та ін. Планетарні редуктори мають ряд спільних рис з циліндричними редукторами, так як передача зусилля так само відбувається за допомогою зубчастої передачі, а в конструкції використовуються зубчасті колеса. Однак конструкція планетарних редукторів, як і принцип роботи, складніше.

У загальному випадку в планетарному редукторі можна виділити наступні основні деталі: коронна шестерня, планетарні шестерні (сателіти), водило і сонячна шестерня. За аналогією з сонцем, розташованим в центрі сонячної системи, сонячна шестерня розташована в центрі робочої частини редуктора. Вона знаходиться в зачепленні з ідентичними планетарними шестернями, осі яких розташовані на окружності, центр якої лежить на осі сонячної шестерні, і в той же час сателіти зчеплені з коронною шестернею, що представляє собою зубчасте колесо з внутрішнім зачепленням. Водило жорстко закріплює всі сателіти відносно один одного.

Для роботи планетарного редуктора необхідно, щоб одна з його деталей (сонячна шестерня, коронна шестерня або водило) була жорстко закріплена щодо корпусу редуктора. Залежно від вибору ведучого і веденого елемента буде залежати передавальне число планетарного редуктора. Також робота планетарного редуктора можлива і в разі, коли жодна з його деталей не закріплена. В такому випадку стає можливим розкладання одного руху на два (наприклад, від сонячної шестерні до коронної шестерні і водило), або злиття двох рухів в один.

Основні характеристики редукторів: ККД, частота обертання вхідного і вихідного валів, передавальне відношення, передавана потужність, кількість ступенів і тип передач.

До переваг планетарних редукторів належать:

- знижена шумність;
- компактність;
- мале навантаження на опори редуктора;
- менше навантаження на зуби коліс;
- підвищене передавальне відношення.

Оскільки в передачі зусилля бере участь більше число зубів, навантаження на кожне з них припадає менше, що безпосередньо впливає на їх термін служби. Також особливості конструкції планетарного редуктора, зокрема розташування сателітів, призводить до того, що виникаючі в ньому сили взаємно компенсуються, через що навантаження на опори падає. Щільне компоновання елементів редуктора приводить до зменшення його габаритів, а умови зачеплення зубів шестерень – до зниження шумності.

Мотор-редуктори Bonfiglioli серії 300 компактні і в той же час дуже потужні. Планетарний механізм робить їх ідеальним вибором для пристроїв, працюючих у важких умовах. Конструкція редуктора надзвичайно універсальна завдяки можливості вибору різних способів монтажу передатного числа, виконання вихідного вала і способу з'єднання приводного мотору.

Серія 300 представляє собою модельний ряд багатофункціональних планетарних редукторів.

Основні характеристики модельного ряду:

- 16 типорозмірів;
- модульний принцип конструкції;
- варіанти виконання:
 - а) співосні редуктори, мають від 1 до 4 ступенів редукції;
 - б) кутові редуктори (перший ступінь з конічними спіральними шестернями), що мають від 2 до 4 ступенів редукції;

- в) комбіновані (з черв'ячним редуктором, з циліндроконічним редуктором);
- можливість установки на фланцях, лапах або монтажу на вал;
- конфігурації виходу: зовнішній шліцьовий вал, порожнистий шліцьовий вал або вал для обжимного диска;
- вхідні перехідники:
 - а) для електричних ІЕС двигунів зі стандартним фланцем В5;
 - б) для компактних версій з інтегрованими електродвигунами до типорозміру 307 і для редукторів, комбінованих з циліндричноконічними і черв'ячними редукторами;

- висока швидкість на вході мотор-редукторів;
- додатковий пристрій до вихідного валу:
 - а) фланці;
 - б) шестерні;
 - в) шліцьові муфти і вали;
 - г) обтискні диски.

Інші особливості конструкції планетарних редукторів:

- високий коефіцієнт передачі крутного моменту;
- можливість сприйняття високих радіальних і осьових навантажень на вихідні вали завдяки конічним роликовим підшипникам, застосовуваним в варіантах виконання Н і Р;
- високий ККД;
- застосування шліцьових з'єднань валів;
- сателіти встановлені на плаваючій осі, для забезпечення максимального розподілу навантаження серед планетних шестерней;
- корпус з сфероїдального чавуну.

Для дифузійного апарату використовуємо планетарний редуктор серії 315L4.

Технічні характеристики редуктора 315L4 наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики редуктора 315L4

Тип редуктора	Потужність вхідного валу, кВт	Швидкість обертання вхідного валу, хв. ⁻¹	Швидкість обертання вихідного валу, хв. ⁻¹	Обертовий момент вихідного валу, Нм	Коефіцієнт безпеки	Передатне число	Термічна потужність редуктора, кВт
315L4	15	1400	1,5	86658	1,2	1004	18

Даний планетарний редуктор має вбудований електродвигун серії BN160L4.

Електродвигуни даної серії призначені для роботи від мережі електроживлення змінного струму з частотою 50 або 60 Гц і відносяться до безперервного режиму роботи S1.

Охолодження електродвигуна здійснюється методом зовнішньої вентиляції (IC 411 відповідно зі стандартом CEI EN 60034-6) за допомогою пластикового радіального вентилятора, що працює при будь-якому напрямку обертання. З метою створення необхідних умов для безперешкодної циркуляції повітря при установці електродвигуна слід забезпечити деяке видалення вентилятора від найближчої стіни, що також спрощує операції з поточного обслуговування електродвигуна і гальма.

Можливе обертання валів електродвигунів в обох напрямках. При приєднанні виводів U1, V1, W1 до фаз L1, L2, L3 вал електродвигуна обертається за годинниковою стрілкою. Зворотний напрямок обертання досягається зміною під'єднання двох фаз.

Результати замірів рівня шуму за стандартом ISO 1680 відповідають максимальним межах, запропонованим стандартами CEI EN 60034-9.

Електродвигуни динамічно балансуються за класом вібрації N відповідно до стандарту CEI EN 60034-14.

В даних електродвигунах в стандартному виконанні застосовуються ізоляційні матеріали класу F (емальований дріт, ізолятори, просочення смолами). Нагрівання обмоток статора електродвигунів зазвичай не перевищує межі по нагріванню класу B, рівного 80 К. Завдяки ретельному підбору ізоляційних матеріалів електродвигуни придатні для роботи в жаркому кліматі і в умовах звичайної вібрації.

На рисунку 2.4 зображено загальний вигляд електродвигуна BN160L4.

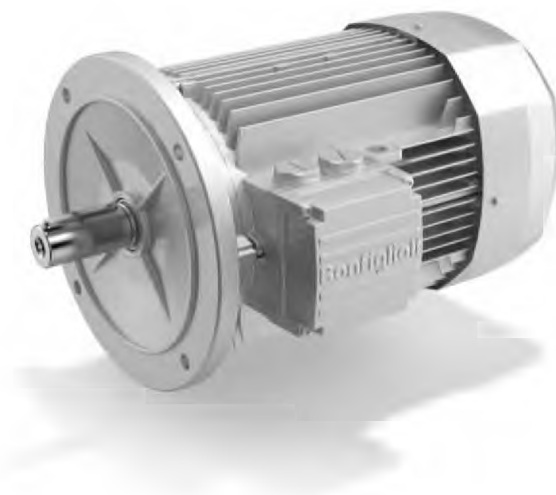


Рисунок 2.4 – Загальний вигляд електродвигуна BN160L4

Електродвигун BN160L4 має наступні технічні характеристики, що наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики електродвигуна BN160L4

Тип двигуна	Номинальна потужність, кВт	Номинальна швидкість обертання, хв. ⁻¹	Номинальний крутний момент, Нм	Коефіцієнт корисної дії, %	Коефіцієнт потужності	Номинальна сила струму при 400 В, А	Відношення струму на загальмованому	Відношення пускового крутного моме-	Відношення середнього пускового моме-	Момент інерції, кгм ²	Маса, кг
BN160L4	15	1460	79,2	89	0,82	29,7	5,9	2,3	2,1	0,065	99

2.2.2 При виборі моделі частотного перетворювача слід виходити з конкретної задачі, яку має вирішувати електропривод, типу і потужності електродвигуна, точності і діапазону регулювання швидкості, точності підтримки моменту обертання на валу двигуна, часу, відведеного для розгону і гальмування, тривалості увімкнення і кількості увімкнень на годину. Так само, потрібно враховувати конструктивні особливості перетворювача, такі як розміри, форма, можливість винесення пульта керування та ін.

Основними параметрами при підборі частотного перетворювача для двигуна є:

- номінальний струм двигуна;
- потужність перетворювача частоти;
- напруга живлення перетворювача частоти;
- умови роботи перетворювача частоти;
- конструктивне виконання.

Потужність є одним з основних параметрів електропривода. При виборі частотного перетворювача, в першу чергу, слід визначитися з його здатністю навантаження. Відповідно до наявної номінальної потужності двигуна вибирається перетворювач частоти, розрахований на таку ж потужність. І такий вибір буде правильним за умови, що навантаження на валу не буде динамічно змінюватися. Але якщо потрібний великий пусковий момент або короткий час розгону/уповільнення, то перетворювач частоти потрібно обирати з більшою потужністю, ніж в двигуні.

Не менш важливим параметром при виборі перетворювача частоти є вимоги до величини напруги живлення. Перетворювачі живляться, в основному, від трифазної мережі змінного струму, що має напругу в 380 В. Це, цілком відповідає всім стандартам якості електропостачання. Деякі виробники випускають перетворювачі невисокої потужності (не більше 1,5 кВт), які розраховані на роботу від однофазної мережі, що має напругу 220-240 В.

Після того як враховані здатність навантаження, і величина напруги мережі живлення можна визначати вимоги до функціональних можливостей перетворювача. Для цього необхідно вибрати спосіб керування - скалярний або векторний.

Перетворювачі частоти зі скалярним методом керування слід використовувати у випадках, коли навантаження на валу двигуна відоме і не змінюється при одному і тому ж значенні частоти. Дані перетворювачі раціонально застосовувати у складі приводів вентиляторів, компресорів, насосів та інших механізмів, у яких важливо підтримувати технологічний параметр.

Якщо необхідно забезпечити найкращу динаміку системи кращим вибором є векторне керування. Цей алгоритм керування дозволяє отримати високий пусковий момент і зберегти його до номінальної швидкості асинхронного електродвигуна. Векторне керування забезпечує високу якість регулювання по швидкості, навіть при стрибкоподібній зміні моменту опору на валу. Важливо і те, що векторне керування дозволяє найкращим чином забезпечити енергозбереження, тому що перетворювач частоти (інвертор) передає у двигун рівно стільки потужності, скільки необхідно для обертання навантаження із заданою швидкістю, навіть якщо вхідна

напруга більше ніж 380 (наприклад 440-460В, що часто зустрічається в промисловій мережі). Економія електроенергії особливо помітна на потужних двигунах 11 кВт і вище. Залежно від застосування досягається економія енергії до 30 %, а в деяких випадках до 60 %.

Конструктивне виконання перетворювача частоти включає наступні вимоги:

- можливість бездротового керування (Bluetooth);
- можливість підключення та керування з ПК;
- можливість підключення до промислової мережі (протокол MODBUS, CANOPEN, PROFIBUS);
- можливість збереження резервної копії налаштувань частотного перетворювача в панель керування;
- виніс потенціометра.

Вибір частотного перетворювача, як високотехнічного обладнання, сам по собі не простий і в кінцевому підсумку зводиться до економічної доцільності придбання та використання. Звідси, не варто занадто завищувати вимоги і тим самим переплачувати за невживані опції, і в той же час відмовлятися від потрібних в надії зробити механізм, привод і систему в цілому працездатним.

Вибираємо перетворювач частоти Lenze ESV 183N04TXB, який відповідає всім перерахованим вимогам.

Для зниження витрат електроенергії і підвищення якості керування роботою електродвигунів компанією AC Tech (USA) розроблено серію недорогих економічних перетворювачів частоти компактного дизайну Lenze SMVector, розрахованих на роботу з двигунами в діапазоні потужностей від 0,25 кВт до 45 кВт. Вони прості в програмуванні та експлуатації в складі обладнання користувача. Функції керування стандартизовані і оптимізовані відповідно до правил керування двигунами. Передбачено вбудований захист від міжфазного замикання, пробією на землю, перенапруги, заклинювання двигуна і перевантаження по струму привода. Група перетворювачів серії SMVector оптимізована в налаштуванні для споживачів, що дозволяє без високої кваліфікації персоналу з легкістю освоїти програмування цих приводів для вирішення конкретних завдань.

Перетворювачі частоти даної серії прості в програмуванні, в яких використовується векторне керування двигуном пристрою. SMVector – це відмінне рішення для виконання функцій багатозадачності з керування двигунами змінного струму. Для них характерна простота налаштувань і малі габарити.

Перетворювачі частоти Lenze SMV мають прекрасні характеристики у всьому діапазоні потужностей керування електродвигуном. На відміну від багатьох трифазних приводів SMVector продовжує працювати при збільшенні вхідної напруги до 528 В і при зміні моменту навантаження на валу двигуна до 195 %. Використання 16 наборів з індивідуально заданою частотою та іншими параметрами забезпечує гнучку послідовність виконання необхідних операцій. Програмування вхідних і вихідних сигналів керування дозволяє обертати двигун як з постійною (попередньо встановленою), так і з програмно змінною швидкістю, забезпечує можливість гальмування постійним струмом, а також можливість використання в системі підтримки постійного тиску без зовнішніх регуляторів. Інтегроване динамічне гальмо вимагає тільки підключення зовнішнього резистора для швидкої зупинки або уповільнення. Приводи змінного струму Lenze SMV мають додаткову перевагу – інтегрований плавний пуск, де пусковий струм менше номінального струму двигуна, це може бути використано в системах, що мають важкий запуск і змінне навантаження. Двигун виходить на режим при 165 % навантаженні крутного моменту, прискорюючись за 0,33 секунди від 0 до 100 %.

В даний час Lenze SMV є частотним перетворювачем з найкращим співвідношенням ціни і якості.

Технічні характеристики Lenze SMV:

- векторне керування крутним моментом і швидкістю обертання двигуна;
- вбудований ПД-регулятор;
- високий пусковий момент і вихід на номінальну частоту обертання 50 Гц всього за 8 секунд;
- відновлення швидкості при 100 % динамічному навантаженні через 0,15 секунди;
- електронний програмний ЕРМ модуль;

- температурний діапазон: від -20 °C до +70 °C;
- робоча температура: від -10 °C до +55 °C (зі зниженням потужності на 2,5 % на кожен °C вище +40 °C);
- висота установки 0 до 4000 м над рівнем моря (зі зниженням потужності на 5 % вище 1000 м над рівнем моря);
- вологість навколишнього середовища ≤ 95 % (без конденсації);
- ступінь захисту IP3;
- 1 аналоговий вхід (0...10 В);
- 1 аналоговий вхід (4...20 мА);
- 4 дискретних входи;
- 1 аналоговий вихід (0...10 В);
- 1 дискретний вихід (транзисторний NPN);
- 1 релейний вихід (змінний струм: 250 В / 3 А; постійний струм: 24 В / 2 А ... 240 В / 0,22 А).

З вбудованими модулями комунікації перетворювачі частоти серії SMVector легко інтегруються в будь-яку найбільш поширену промислову мережу. Для можливості застосування в автоматизації одиничних приводів або технологічного обладнання SMVector комплектується наступними модулями комунікації: Modbus/RS485, DeviceNet, CANopen, Profibus, Ethernet, Standard I/O.

На рисунку 2.5 зображено загальний вигляд перетворювача частоти серії Lenze ESV 183N04TXB. Перетворювач частоти має технічні характеристики, що наведені в таблиці 2.3.



Рисунок 2.5 – Загальний вигляд перетворювача частоти серії Lenze ESV 183N04TXB

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики перетворювача частоти Lenze ESV 183N04TXB

Тип перетворювача	Потужність перетворювача, кВт	Живлення (напруга, частота)	Вхідний струм, А	Вихідний струм, А
ESV 183N04TXB	18,5	3/PE 400/480 В (320 В ...528 В), 50/60 Гц (48 Гц...62 Гц)	44	39

2.2.3 Якщо розглядати електропривод як частину сучасної системи, до якої пред'являються дуже високі вимоги, то уявити її без зворотного зв'язку не можливо. В даному випадку мова йде про зворотний зв'язок за швидкістю привода, коли реальний сигнал швидкості сприймається приводом для корекції напруги і струмів вихідних фаз для керування двигуном. Практично у всіх сучасних приводах, за винятком найпростіших, для завдання регулювання швидкості присутній режим векторного керування. Сам по собі режим векторного керування не може існувати без зворотного зв'язку. Для організації замкнутого контуру регулювання необхідний

датчик швидкості. На сьогоднішній день існує кілька основних типів датчиків швидкості, що застосовуються для зворотного зв'язку в електроприводі загальнопромислового використання. Це енкодери, резольвери, синусно-косинусно обертові трансформатори (СКОТ) і вже майже остаточно забуті тахогенератори.

Датчики зворотного зв'язку дозволяють відслідковувати кутову швидкість обертання двигуна і розмір лінійного переміщення виконавчого органу з метою необхідної корекції роботи двигуна системою керування при відхиленні показників датчиків від норми.

Енкодер (перетворювач кутових переміщень) – це пристрій, призначений для перетворення кута повороту обертового об'єкта (вала) в електричні сигнали, що дозволяють визначити кут його повороту.

Енкодери підрозділяються на інкрементальні й абсолютні, які можуть досягати дуже високої роздільної здатності.

Інкрементальний енкодер видає за один оборот певну кількість імпульсів. А абсолютні енкодери дозволяють в будь-який момент часу знати поточний кут повороту осі, в тому числі і після зникнення і відновлення живлення. Багатооборотні абсолютні енкодери, крім того, також підраховують і запам'ятовують кількість повних обертів осі.

Інкрементальні енкодери призначені для визначення кута повороту обертових об'єктів. Вони генерують послідовний імпульсний цифровий код, що містить інформацію щодо кута повороту об'єкта. Якщо вал зупиняється, то зупиняється і передача імпульсів. Основним робочим параметром датчика є кількість імпульсів за один оборот. Миттєву величину кута повороту об'єкта визначають за допомогою підрахунку імпульсів від старту. Для обчислення кутової швидкості об'єкта процесор в тахометрі виконує диференціювання кількості імпульсів у часі, таким чином показуючи одразу величину швидкості, тобто число оборотів за хвилину. Вихідний сигнал має два канали, в яких ідентичні послідовності імпульсів зсунуті на 90° відносно один одного (парафазні імпульси), що дозволяє визначати напрямок обертання. Є також цифровий вихід нульової мітки, який дозволяє завжди розрахувати абсолютне положення вала.

Обираємо інкрементальний енкодер серії DDS 36, загальний вигляд якого зображено на рисунку 2.6.



Рисунок 2.6 – Загальний вигляд інкрементального енкодера DDS 36

Обраний інкрементальний енкодер має наступні технічні характеристики:

- інтерфейси: TTL / RS422, HTL / push pull, NPN Open Collector;
- напруга живлення – 5 В;
- струм навантаження – 20 мА;
- робочий струм без навантаження – 100 мА;
- максимальна частота на виході – 300 кГц;
- максимальна швидкість обертання – 6000 об/хв;
- робочий діапазон температур – -10 °С ...+70 °С;
- ступінь захисту – IP 65;
- допустима відносна вологість – 90 %.

2.2.4 Для забезпечення автоматизації було обрано контролер фірми Siemens серії S7-200 з дисплеєм TD 200 і модулями EM 231 (для підключення термоелектронних датчиків до центральних процесорів), EM 232 (для цифро-аналогового перетворення внутрішніх числових величин контролера в зовнішні аналогові сигнали). Необхідні частини текстових повідомлень і параметри настройки текстового дисплея формуються інструментальними засобами пакета STEP 7-Micro / WIN. Система автоматизації спроектована трирівневою ієрархічною системою керування. Програмовані логічні контролери сімейства Simatic S7-200 є хорошим засобом для побудови вискоєфективних систем автоматичного керування при мінімальних витратах на придбання обладнання і розробку системи. Контролери здатні працювати в реальному масштабі часу і можуть бути використані як для побудови вузлів локальної автоматики, так і систем розподіленого вводу-виводу з організацією обміну даними по PP1 або MPI інтерфейсу, мережі PROFIBUS-DP або AS-інтерфейсу. Дані типи контролерів відрізняються невисокою вартістю, широким набором вбудованих функцій, можливістю розширення системи, широким спектром модулів вводу-виводу дискретних і аналогових сигналів.

Відмінні риси сімейства SIMATIC S7-200:

- функції ведучого пристрою AS-Interface, що забезпечуються комунікаційним модулем CP 243-2;
- функції веденого пристрою PROFIBUS DP, що забезпечуються комунікаційним модулем EM 277;
- функції обміну даними через Industrial Ethernet, підтримувані комунікаційним процесором CP 243-1;
- обмін даними через системи модемного зв'язку, що забезпечується модулями EM 241 і MD 720-1.

На рисунку 2.7 зображено загальний вигляд ПЛК Simatic S7-200.



Рисунок 2.7 – Загальний вигляд ПЛК Simatic S7-200

3 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

3.1 Математичний опис автоматизованого електропривода дифузійного апарата

Модель системи в програмі MATLAB наведена на рисунку 3.1. Схема складається з наступних основних блоків: блок моделі АД, трифазний інвертор, трифазний діодний випрямляч, контролер швидкості, гальмівний переривач, модуль DTC, блок вимірювань.

Асинхронний двигун живиться від джерела напруги інвертора ШІМ, який побудований з використанням універсального моста блоку. Контур керування швидкістю використовує пропорційно-інтегральний контролер для отримання посилення потоку й крутного моменту для DTC блоку. DTC блок обчислює крутний момент двигуна і потік. Компаратори виходу використовуються оптимальною таблицею комутації, яка генерує імпульси комутації інвертора. Струм двигуна, швидкість і крутний момент доступні на виході блоку.

Регулятор швидкості побудований на основі ПІ-регулятора. Вихідним сигналом цього контролера є крутний момент. Функціональна схема контролера швидкості показана на рисунку 3.2, а відповідна йому реалізована модель – на рисунку 3.3.

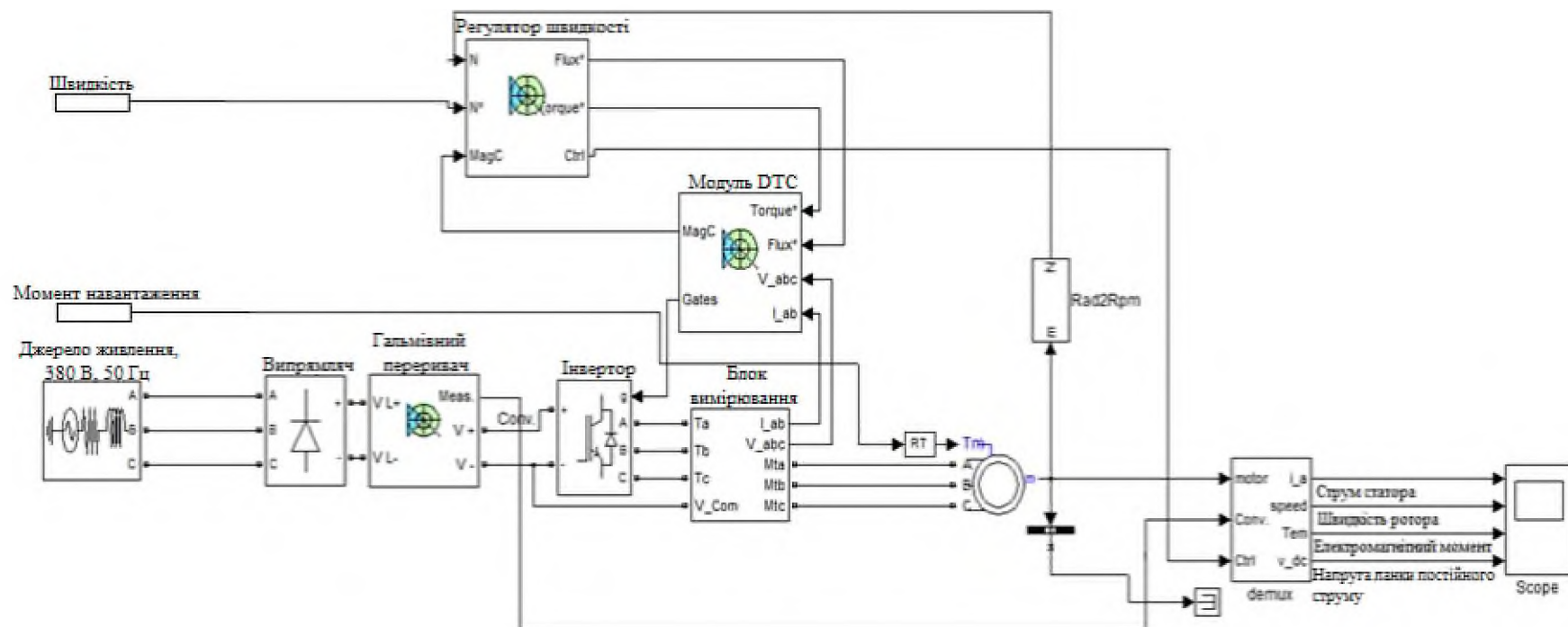


Рисунок 3.1 – Модель електропривода з DTC алгоритмом керування в середовищі MATLAB

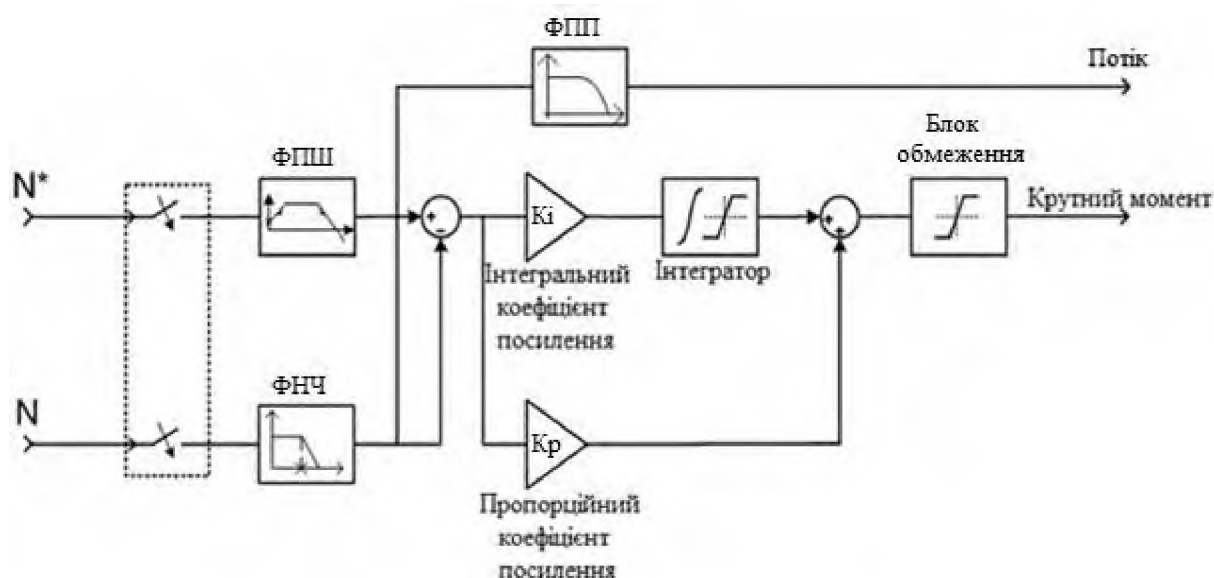


Рисунок 3.2 – Функціональна схема регулятора швидкості

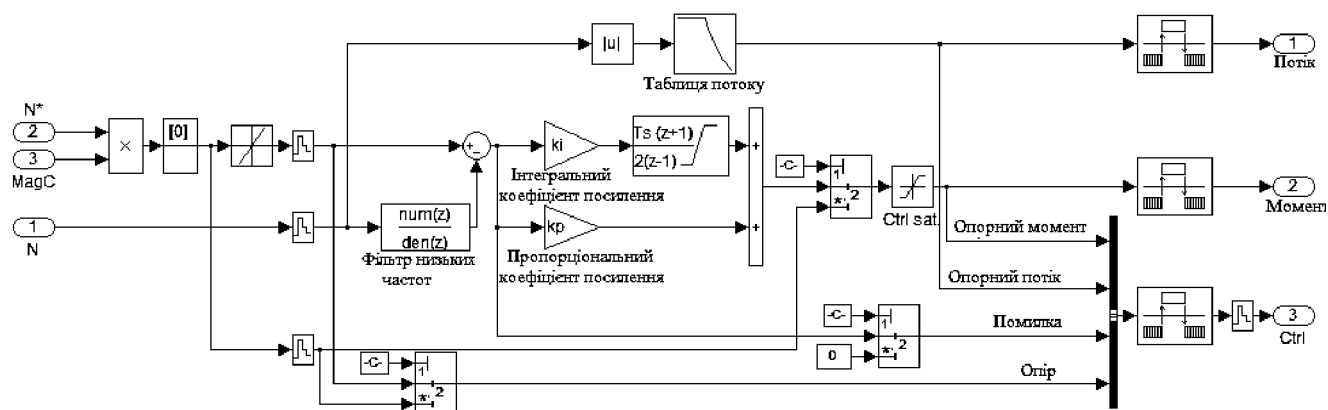


Рисунок 3.3 – Модель регулятора швидкості в програмі MATLAB

Модуль DTC, функціональна схема якого показана на рисунку 3.4, містить п'ять основних блоків: блок обчислень крутного моменту і потоку, блок α β векторів, блоки гістерезису потоку і крутного моменту, блок таблиці комутації, блок керування комутацією.

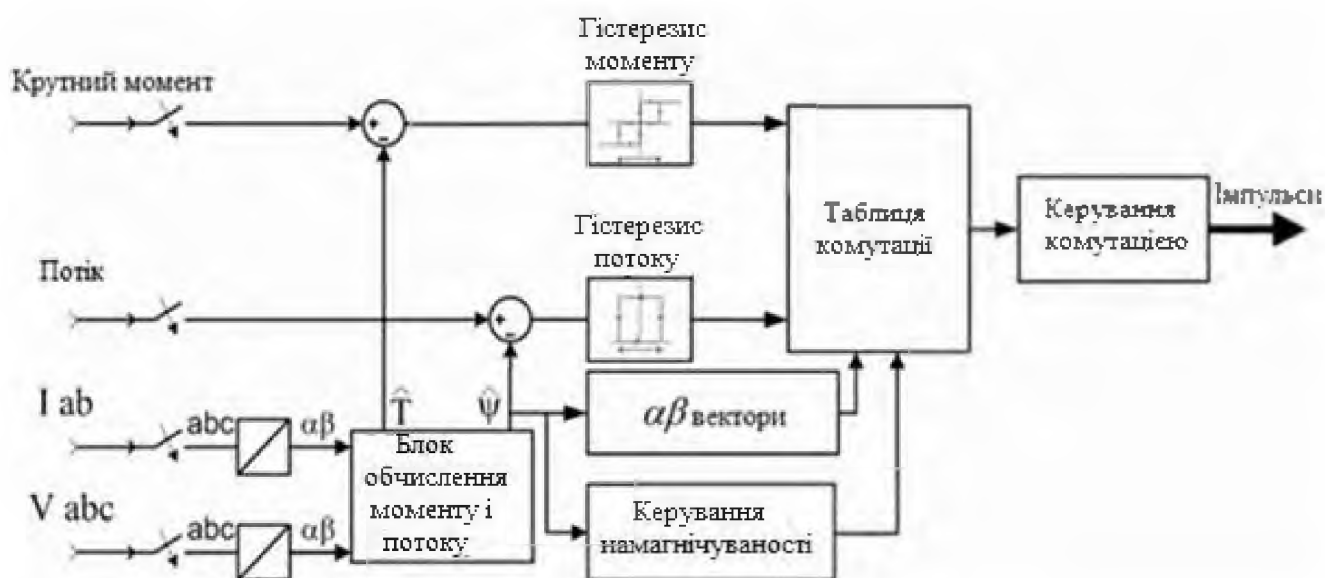


Рисунок 3.4 – Функціональна схема модуля DTC

Блок обчислення крутного моменту і потоку використовуються для оцінки потоку і електромагнітного моменту двигуна $\alpha\beta$ компонентів.

Блок $\alpha\beta$ векторів використовується для пошуку компонентів на $\alpha\beta$ площині, в якій лежить вектор потоку. $\alpha\beta$ площину розділено на шість різних секторів, рознесених на 60 градусів.

Блоки регуляторів потоку і крутного моменту гістерезису містять дворівневий компаратор гістерезису для контролю потоку і трирівневий компаратор гістерезису для керування крутним моментом.

Блок таблиці комутації містить дві таблиці пошуку, які вибирають певний вектор напруги відповідно до вихідних сигналів компараторів потоку і обертового моменту. Цей блок також виробляє початковий потік в машині.

Блок керування комутацією використовується для обмеження перетворювача частоти комутації до максимального значення, вказаного користувачем.

Блок гальмівного переривачу містить конденсатор шини постійного струму і динамічне гальмування, яке використовується для поглинання енергії, що виробляється під час гальмування електродвигуна.

На рисунку 3.5 зображена розгорнута схема блоку DTC, що дає змогу побачити окремі елементи. В цьому блоці використані два релейних гістерезисних регулятора потокозчеплення статора і електромагнітного моменту двигуна, у яких

порівнюються задані значення регульованих величин з обчисленими і формуються логічні сигнали для блоку вибору вектора напруги.

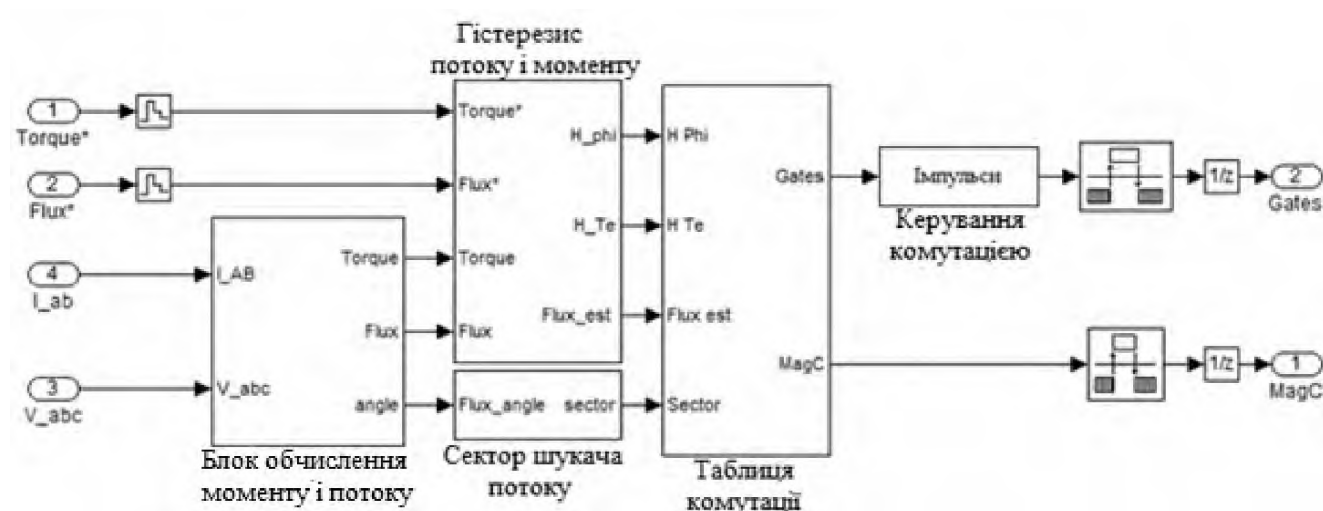


Рисунок 3.5 – Модель модуля DTC в програмі MATLAB

На рисунку 3.6 зображена розгорнута схема блоку обчислення крутного моменту і потоку, що дає змогу побачити окремі елементи.

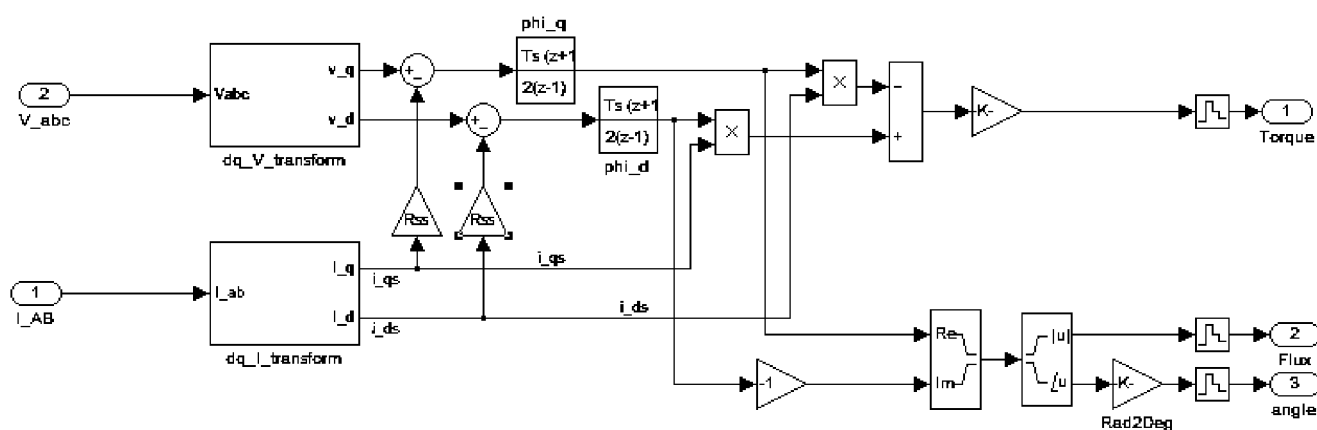


Рисунок 3.6 – Підсистема блоку обчислення крутного моменту і потоку

На основі Т-подібної схеми заміщення (рисунок 3.7) наводиться математичний опис асинхронного двигуна і розробка його динамічної моделі.

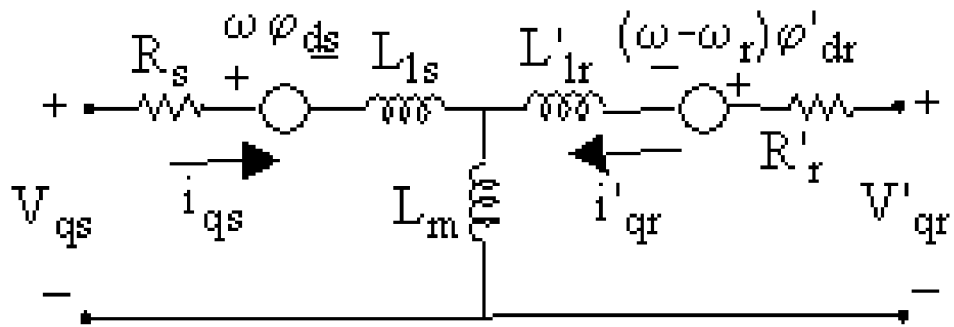


Рисунок 3.7 – Схема заміщення АД

Електрична частина двигуна представлена четвертого порядку в просторі станів моделі та механічної частини за допомогою системи другого порядку. Всі електричні змінні і параметри приведені до статора, наведені в наступних рівняннях двигуна. Всі величини статора і ротора в довільній двоосній системі відліку.

Параметри схеми заміщення:

$$V_{qs} = R_s \cdot i_{qs} + \frac{d\varphi_{qs}}{dt} + \omega \cdot \varphi_{ds};$$

$$V_{ds} = R_s \cdot i_{ds} + \frac{d\varphi_{ds}}{dt} - \omega \cdot \varphi_{qs};$$

$$V'_{qr} = R'_r \cdot i'_{qr} + \frac{d\varphi'_{qr}}{dt} + \omega \cdot \varphi'_{dr};$$

$$V'_{dr} = R'_r \cdot i'_{dr} + \frac{d\varphi'_{dr}}{dt} - \omega \cdot \varphi'_{qr};$$

$$T_e = 1,5 \cdot p \cdot (\varphi_{ds} \cdot i_{qs} - \varphi_{qs} \cdot i_{ds});$$

$$\varphi_{qs} = L_s \cdot i_{qs} + L_m \cdot i'_{qr}; \quad \varphi_{ds} = L_s \cdot i_{ds} + L_m \cdot i'_{dr};$$

$$\varphi'_{qr} = L'_r \cdot i'_{qr} + L_m \cdot i_{qs}; \quad \varphi'_{dr} = L'_r \cdot i'_{dr} + L_m \cdot i_{ds};$$

$$L_s = L_{ls} + L_m; \quad L'_r = L'_{lr} + L_m.$$

де ω – кутова швидкість, рад/с;

ω_r – електрична кутова швидкість, рад/с;

R_s, L_{ls} – опір і індуктивність розсіювання статора, Ом, Гн;

L_m – індуктивність намагнічування, Гн;

L_s – загальна індуктивність статора, Гн;

V_{qs}, i_{qs} – напруга і струм статора по осі q , В, А;

V_{ds}, i_{ds} – напруга і струм статора по осі d , В, А;

$\varphi_{qs}, \varphi_{ds}$ – потік статора по осі q і d , В·с;

ω_m – кутова швидкість ротора, рад/с;

θ_m – кутове положення ротора, рад/с;

p – число пар полюсів;

ω_r – електрична кутова швидкість, рад/с;

θ_r – електричне кутове положення ротора, рад/с;

T_e – електромагнітний крутний момент, Н·м;

T_m – механічний крутний момент, Н·м;

J – момент інерції навантаження, кг·м²;

H – постійна інерції навантаження, кг·м²;

F – коефіцієнт навантаження в'язкого тертя;

L_r' – загальна індуктивність ротора, Гн;

R_r', L_{lr}' – опір і індуктивність розсіювання ротора, Ом, Гн;

V_{qr}', i_{qr}' – напруга і струм ротора по осі q , В, А;

V_{dr}', i_{dr}' – напруга і струм ротора по осі d , В, А;

ϕ_{qr}', ϕ_{dr}' – потік ротору по осі q і d , В·с.

Рівняння для електромагнітного моменту двигуна M і механічної рівноваги електричного поля з моментом опору M_o , що залежить від швидкості, записано у вигляді:

$$M = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot k_r \cdot \psi_r \cdot i_{sq}, \quad M - M_0 = J \cdot \frac{d\omega}{dt},$$

де J – приведений до валу двигуна момент інерції, кг·м².

При математичному описі АД, як об'єкта керування, приймаються такі припущення:

- намагнічуючі сили обмоток двигуна розподіляються суворо синусоїдально уздовж окружності повітряного зазору;
- втрати в “сталі” статора і ротора відсутні;
- обмотки статора і ротора суворо симетричні із зсувом осі на 120° ;
- насичення магнітного ланцюга відсутнє.

3.2 Дослідження динаміки автоматизованого електропривода

Для аналізу динамічних характеристик системи керування електропривода дифузійного апарату скористаємося моделюванням системи в програмі Simulink, що має достатньо інструментів для виконання досліджень та аналізу перехідних процесів в електроприводі.

Коефіцієнти, які необхідні для моделювання системи знаходимо за даними розрахунку схеми заміщення асинхронного двигуна. Розрахунок параметрів схеми заміщення АД було проведено за допомогою спеціалізованої програми, результати розрахунку наведено в додатку А.

Для моделювання перехідних процесів зібрану в програмі Simulink блокову схему електропривода запускаємо в дію, попередньо задавши параметри регуляторів і сигнали керуючих впливів.

Проведемо запуск системи із завданням відпрацювати швидкість обертання валу двигуна $\omega=500 \text{ с}^{-1}$, а момент навантаження на валу $M_H=79,2 \text{ Н}\cdot\text{м}$. Розрахунок параметрів регулятора швидкості було виконано за допомогою вбудованого в MATLAB інструменту (див. додаток Б).

У результаті моделювання були отримані характеристики системи керування, які представлені на рисунках 3.8-3.13.

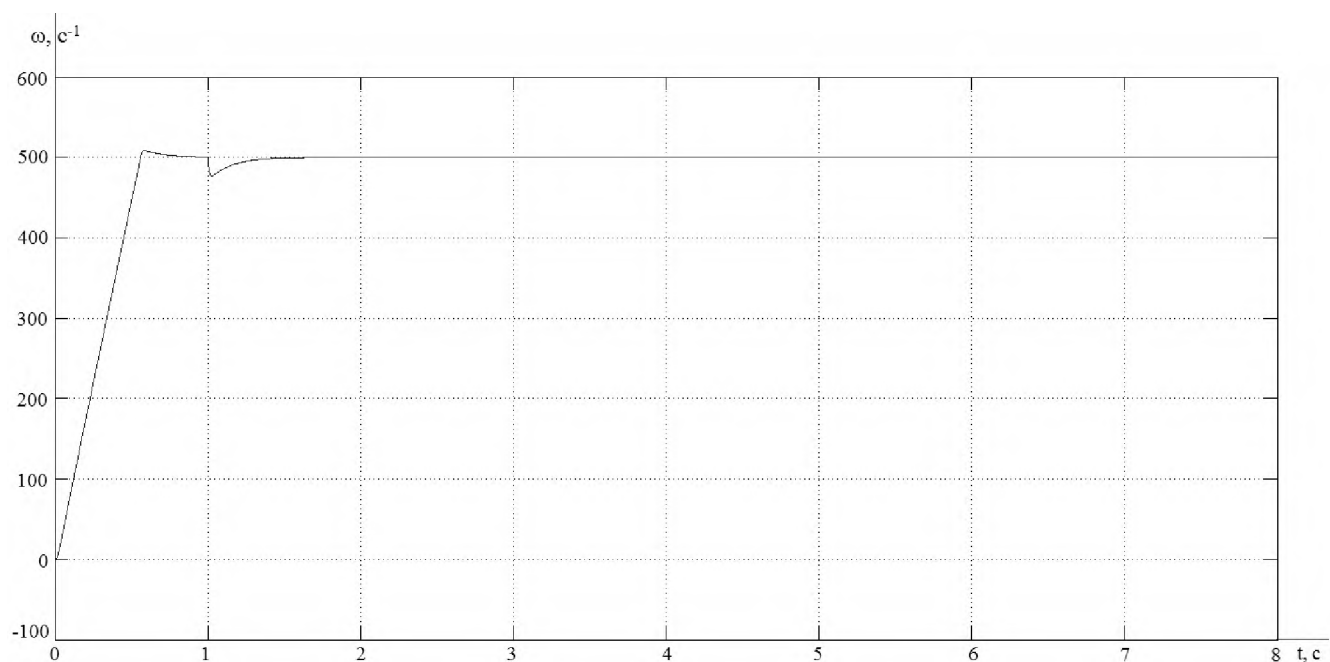


Рисунок 3.8 – Перехідна характеристика кутової швидкості електродвигуна при стрибкоподібній зміні навантаження

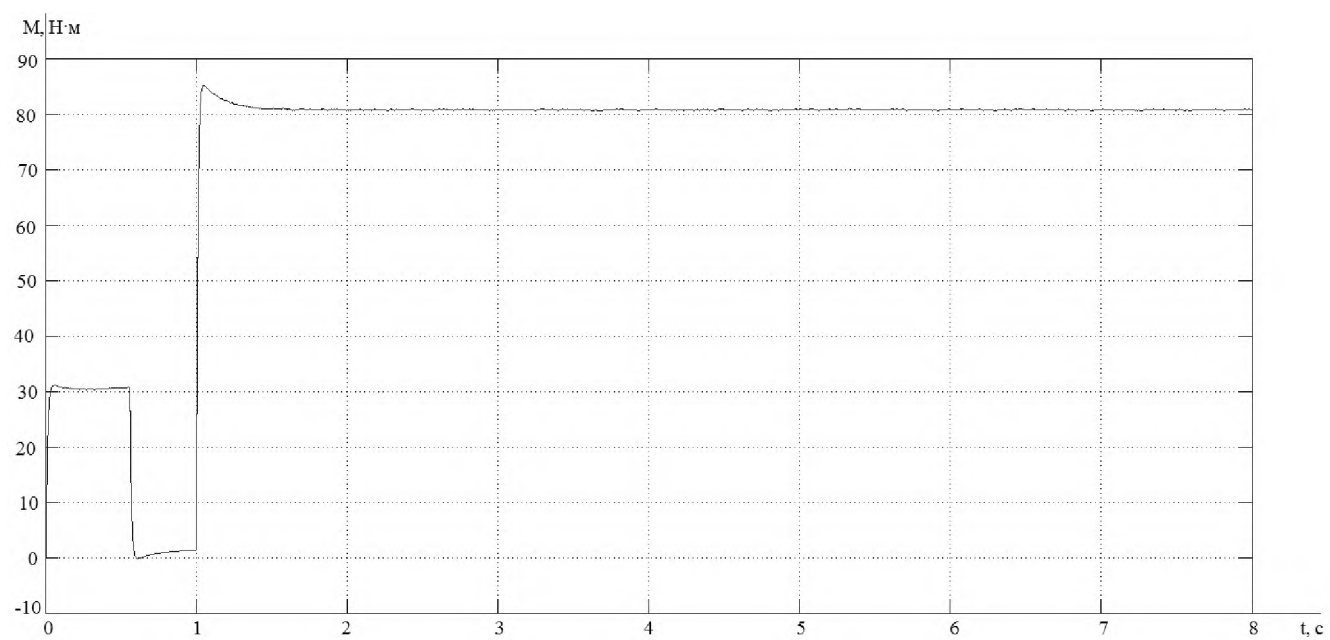


Рисунок 3.9 – Перехідна характеристика моменту електродвигуна при стрибкоподібній зміні навантаження

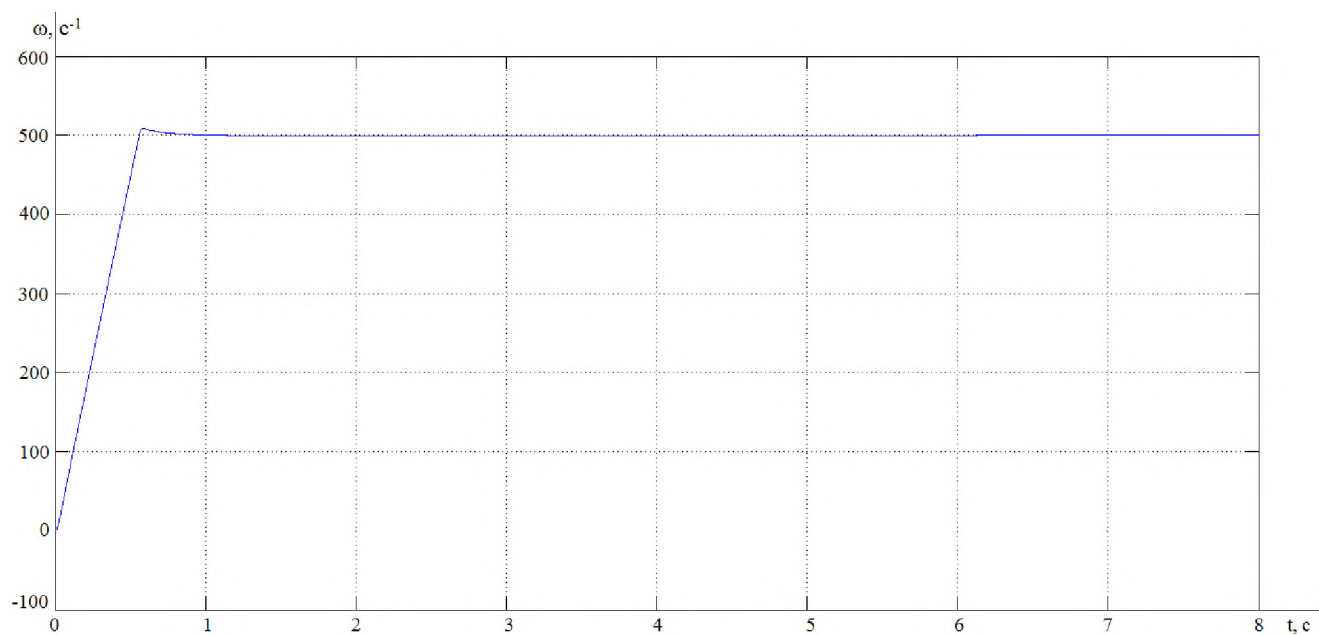


Рисунок 3.10 – Перехідна характеристика кутової швидкості електродвигуна при плавній зміні навантаження

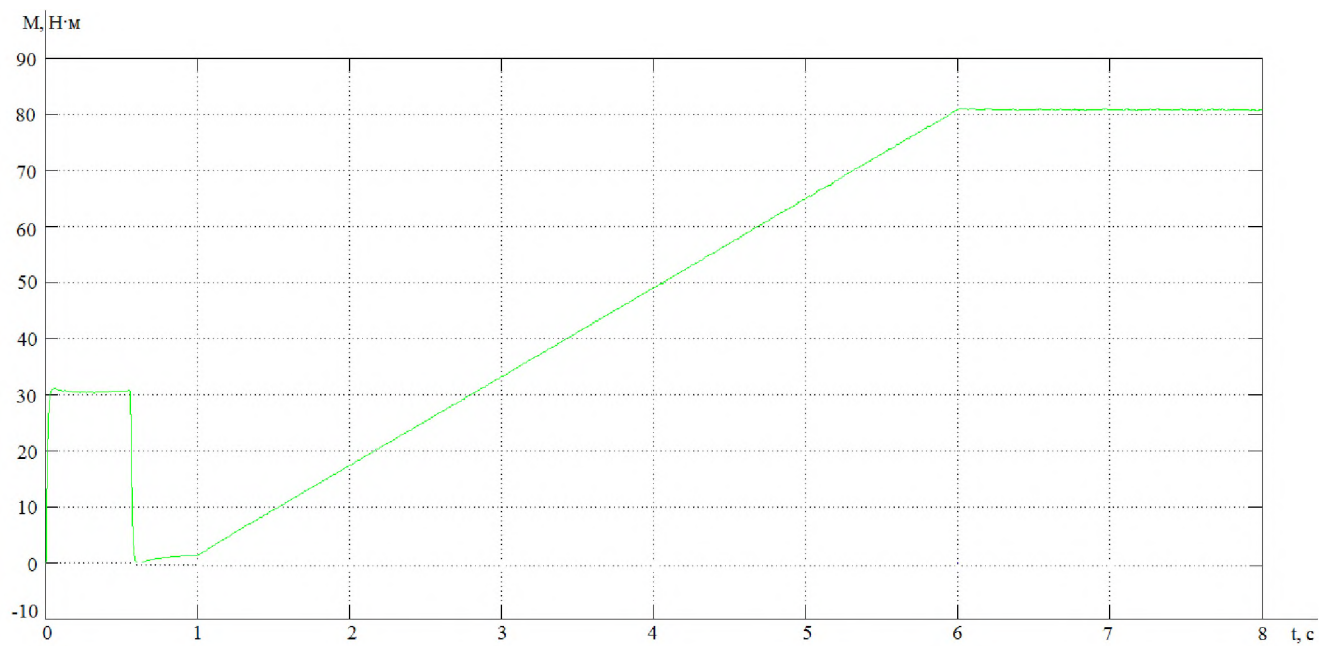


Рисунок 3.11 – Перехідна характеристика моменту електродвигуна при плавній зміні навантаження

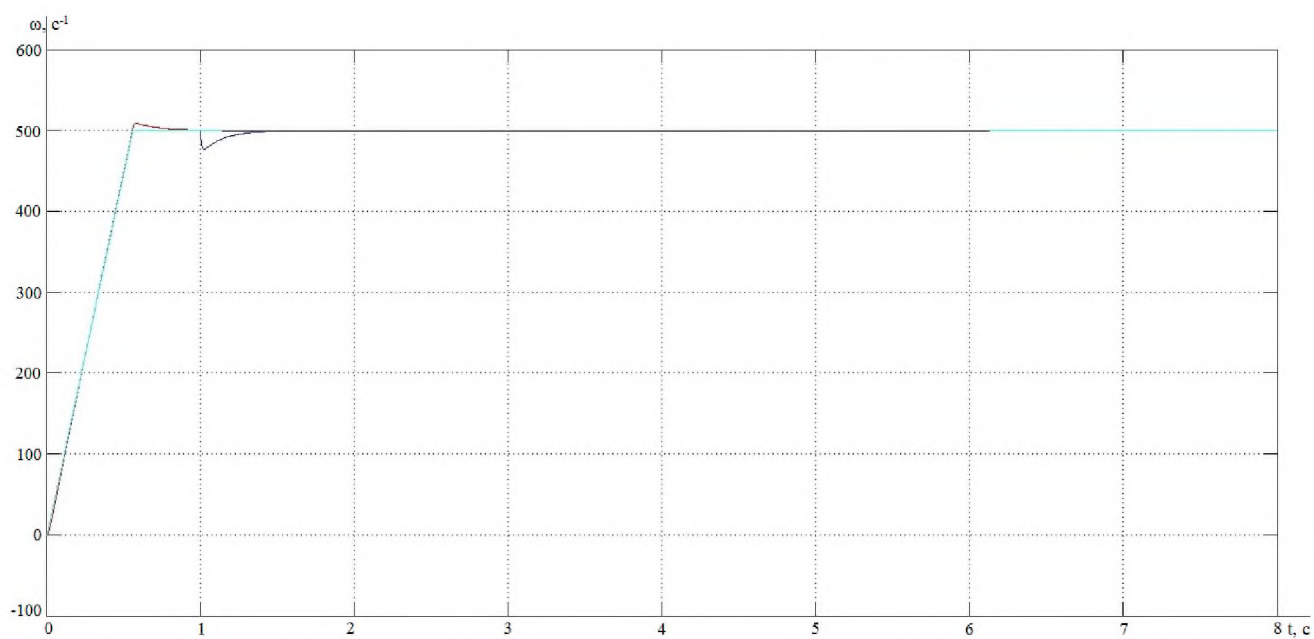


Рисунок 3.12 – Порівняння перехідних характеристик кутової швидкості електродвигуна при різних завданнях збурення

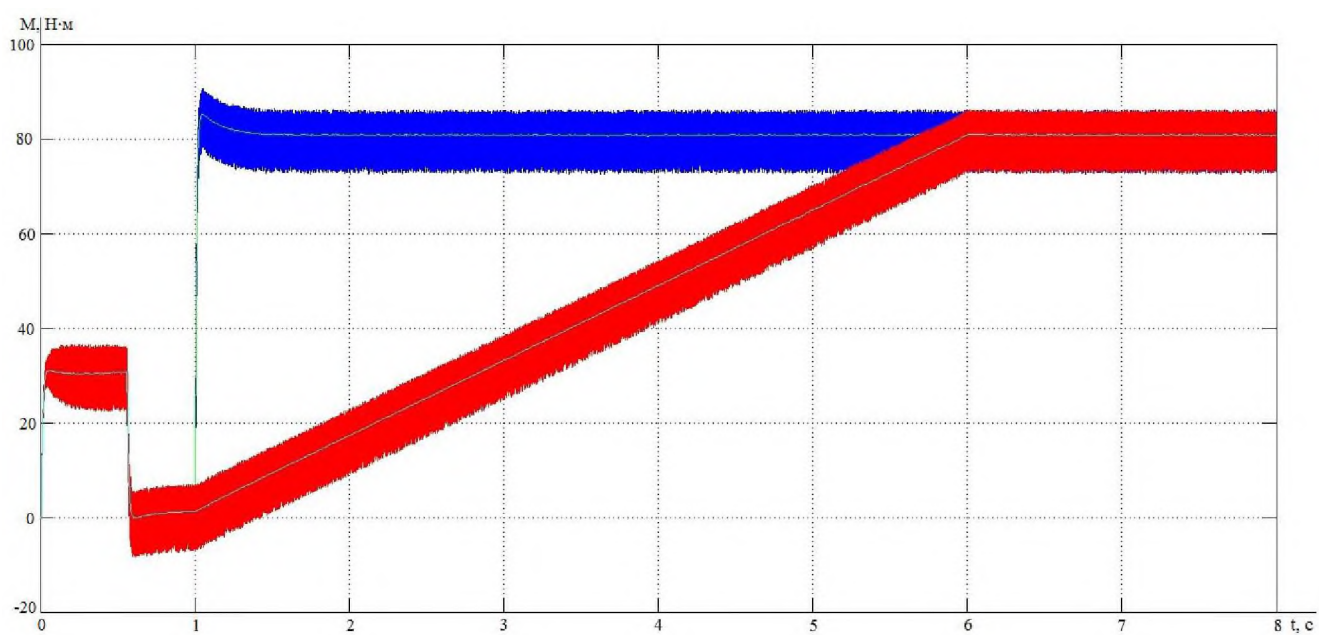


Рисунок 3.13 – Порівняння перехідних характеристик моменту електродвигуна при різних завданнях збурення

Для систем керування важливим є поняття якості перехідних процесів, тобто важливий сам характер протікання процесів, особливо такі фактори, як тривалість, коливальність і динамічне відхилення регульованої змінної від заданої величини.

До загальноприйнятих показників якості, які використовують для характеристики перехідного процесу, відносять відносне перерегулювання, час встановлення та усталену похибку.

Наскільки добре дійсна реакція системи відповідає керуючому впливу, оцінюється по відносному перерегулюванню σ і часу встановлення t_p .

Відносне перерегулювання σ представляє собою максимальне відхилення від усталеного значення, яке виражається у відносних одиницях або процентах

$$\sigma = \frac{h_{\max} - h_{\text{уст}}}{h_{\text{уст}}} \cdot 100\%,$$

де $h_{\max}$ – максимальне значення вихідної величини;

$h_{\text{уст}}$ – усталене значення вихідної величини.

$$\sigma = \frac{508 - 500}{500} \cdot 100\% = 1,6 \, \%.$$

Час встановлення t_p визначається моментом, після якого перехідна характеристика залишається повністю в межах зони, яка відрізняється від усталеного значення на $\pm \delta$.

Отже, реакцію системи на керуючий вплив можна охарактеризувати близькістю до бажаного вигляду, яка визначається перерегулюванням і часом встановлення.

Наведені вище показники можуть бути доповнені іншими, якщо цього вимагають специфічні технічні завдання на розробку або дослідження систем керування.

Отримані показники якості зведені в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Показники якості

Параметр	Відносне перерегулювання σ , %	Час встановлення t_p , с	Усталена похибка $\varepsilon_{уст}$
Значення	1,6	0,6	0

Відповідно завданню перехідний процес повинен відповідати таким показникам: $\sigma \leq 5\%$, $t_p \leq 2$ с. Згідно таблиці 3.1 отримані значення не перевищують задані, отже, перехідний процес задовольняє сформульованим у завданні вимогам.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів

Бурякоцукровий завод – це велике, добре оснащене сучасною технікою підприємство, яке працює за безперервною схемою. За технологічною структурою цукрового заводу можна виділити три виробничих відділення: бурякопереробне, сокоочисне і продуктове. Продуктове відділення безпосередньо пов'язане з отриманням готового продукту цукру. В зв'язку з цим розглянемо безпеку праці і вплив на екологію цього відділення. У продуктовому відділенні цукрового заводу небезпечні і шкідливі фактори можуть виникати при роботі такого обладнання як вакуум-апарати, центрифуги, утфелерозподільники і утфелемішалки, сушарки, класифікатори цукру та дифузійні установки. У робочій зоні обслуговування машин і механізмів можуть з'являтися небезпечні або шкідливі фактори, які поділяють на такі групи: фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні.

4.1.1 Фізичні шкідливі фактори

Бурякоцукрова промисловість відноситься до сезонного виробництва, працюючи в перехідний період (холодний). Роботу в продуктовому відділенні можна віднести до категорії Пб – середньої тяжкості, тобто роботи пов'язані з постійною ходьбою, роботи, що виконуються стоячи або сидячи, але не потребують переміщення тягарів масою більше 10 кг.

Ризик нещасних випадків в цукровому виробництві частіше пов'язаний зі спотикання і падіннями на слизькій підлозі, сходах і піднятій платформі (наприклад, через воду і меласу), з неправильною експлуатацією обладнання (наприклад, пакувального і транспортувального обладнання), дотиком гострих країв технологічного обладнання (наприклад, при заміні ножів для різання буряків в скибконарізному верстаті), нещасними випадками на конвесрі (наприклад, при сушінні і складуванні цукру), а також з вибухами (сховищ газового палива і котлів). Травми при повторюваних трудових операціях. В процесі виробництва цукру може виникати безліч ситуацій, в яких робітники можуть отримати травми при підйомі, пе-

ренесенні вантажів і при повторюваних операціях, а також травми, пов'язані з певними робочими позами.

4.1.2 Хімічні шкідливі фактори

Небезпечні речовини, що використовуються в технологічному процесі, наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Характеристика небезпечних речовин

Речовина	Клас безпеки	ПДКр.з/ПДКмр, мг/м ³	Вплив на людину
Кальцинована сода	3	2/0,04	Дратує дихальні шляхи
Соляна кислота	3	5/0,2	Хімічні опіки
Цукровий пил	3	10/0,5	Дратуюче

Видалення шкідливих речовин з продуктового відділення здійснюється за рахунок штучної проточно-витяжної вентиляції і подальшої очистки повітря в “сухому”, а потім у “волоному” циклонах. В сушарно-пакувальному відділенні передбачається використання засобів індивідуального захисту – респіраторів для захисту від цукрового пилу.

4.1.3 Біологічні шкідливі фактори

На цукровому заводі в продуктовому відділенні виробляється кінцевий побічний продукт – меласа, яка може служити джерелом зараження тварин і птиць. Її забрудненість бактеріями визначають по значенню рН (7,5-8,0), а при необхідності підкисляють або підлужують, тим самим знижуючи шкідливу дію і пригнічуючи мікробіологічні процеси в ній.

При виникненні на бурякоцукровому заводі біологічно небезпечних факторів, до яких відносяться патогенні мікроорганізми (бактерії, віруси, рикетсії, спірохети) і продукти їх життєдіяльності, можливе зараження великої кількості людей, тому приміщення бурякоцукрового заводу повинні перебувати під санітарним контролем.

4.1.4 Психофізіологічні шкідливі фактори

Психофізіологічні фактори підрозділяються на фізичні і нервово-психологічні перевантаження. Фізичні включають статичні навантаження. Статичні навантаження надзвичайно негативно впливають на працездатність і здоров'я людини. Вони визначаються величиною необхідного зусилля при статичному навантаженні і часом знаходження у вимушеній позі при виконанні трудової операції. Такі навантаження розділяють на легкої (якщо людина при виконанні роботи знаходиться у вільній позі), середньої важкості (якщо вимушена поза складає 10-25 % часу зміни), важкі (якщо вона складає менше 50 %) і дуже важкі (більше 50 %).

Також робітники можуть піддаватися впливу тепла, холоду і випромінювання за рахунок зміни внутрішніх кліматичних умов, обумовлених перебуванням або роботою на холодних або гарячих ділянках і впливом нагріву (наприклад, від котлів і гарячого обладнання).

4.2 Виробнича санітарія при роботі на бурякоцукровому заводі

Параметри мікроклімату (таблиця 4.2) мають безпосередній вплив на терморегуляцію людини.

Таблиця 4.2 – Оптимальні значення параметрів мікроклімату на робочому місці

Період року	Категорія робіт	Відносна вологість	Оптимальна температура повітря, °C	Рухливість повітря, м/с
Холодний, перехідний	ІІб	40-60 %	19-21	0,2
Теплий			20-22	

Для підтримки параметрів мікроклімату може застосовуватися загальнообмінна вентиляція, при якій заміна теплого повітря на холодне відбувається у

всьому об'ємі приміщення. Опалення в продуктовому відділенні в виробничий сезон не проводиться, так як для цього достатньо тепла, що виділяється обладнанням. При роботі варщиків на вакуум-апаратах на робітника впливає інтенсивне теплове випромінювання. Для зниження теплової дії на робітника передбачується повітряне душення.

У продуктовому відділенні використовується природне і штучне освітлення. Стіни і стелі пофарбовані у світлі тона з відносно невеликою насиченістю і високим коефіцієнтом відбиття (стеля – біла, стіни – світло-жовті, обладнання – сіре).

Для освітлення використовуються люмінесцентні лампи потужністю 80 Вт. В сушці і упаковці використовуються світильники у вибухозахищеному виконанні. Також передбачено аварійне освітлення. Характеристика освітлення робочого місця наведена в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Характеристика освітлення робочого місця

Найменування робочого місця	Розряд зорових робіт	Природне освітлення		Штучне освітлення
		Система освітлення	Коефіцієнт освітлення, %	Нормована освітленість, лк
Кристалізаційно-варильне відділення	III	Верхнє	3,0	300
Сушка	V	Верхнє	1,8	200
Упаковка	III	Верхнє	3,0	300

Робота майже всього устаткування повністю автоматизована, тому участь людини (оператора) в її керуванні зводиться до спостереження за світловою індикацією пульта керування та керування установкою (у разі необхідності) за допомогою пульта ручного керування. Індикація аварійних режимів роботи дублюється звуковою сигналізацією.

Гранично допустимий рівень шуму на цукровому виробництві в продуктивному відділенні 90 дБА. Обладнанням з високим рівнем шуму являються центрифуги і сушарки цукру. Припустимі рівні звукового тиску в октавних смугах частот і рівнів звуку на робочих місцях наведені у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Припустимі рівні звукового тиску в октавних смугах частот

Робоче місце	Рівні звукового тиску дБ, в октавних смугах з середньогометричними частотами								Рівні звуку, дБ
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Постійні робочі місця	95	87	22	78	75	73	71	69	80

Систематичний вплив вібрації на людину призводить до розладу вестибулярного апарату, нервової системи та органів травлення. Допустимий рівень вібрації 80 дБ. Робочі характеристики вібрації наведені в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Робочі характеристики вібрації

Обладнання	Рівень вібрації, дБ
Центрифуга періодичної дії	91-109
Центрифуга безперервної дії	82-87
Сушарка цукру	87-97

На цукровому заводі застосовують такі заходи для захисту від вібрації: виконують точний монтаж, усувають дефекти і розхитаність окремих частин; для ізолювання шляху передачі вібрацій від машини до фундаменту застосовують віброізолятори.

Заходами по зниженню рівня звукової потужності в джерелі шуму являються: вибір обладнання з кращими характеристиками, використання звукопоглинаючих матеріалів (використовуються матеріали з коефіцієнтом звукопоглинання

більше 0,2). Також до заходів щодо зниження рівня звуку відносяться: використання екранів, проведення регулярного огляду обладнання (змазка, ремонт), застосування приладів від шуму (вкладиші, шлемофони), дистанційне керування обладнанням.

При неполадках в роботі вакуум-апарату в ньому може виникнути надлишковий тиск замість розрідження (остаточний тиск 0,060-0,067 МПа). Це може викликати тріскання скла ілюмінаторів і привести до опіків робітників гарячим утфелем. Тому при неполадках необхідно негайно закрити парові вентилі і відкрити пароповітряний вентиль, а також заборонити підходити до ілюмінаторів і чіпати пробні крани.

При спуску утфелю із апаратної спускний клапан необхідно відкривати обережно, щоб на робітників не потрапили бризки гарячого утфелю.

Широке застосування електроустановок на цукровому заводі створює небезпеку ураження людини електричним струмом. Причинами електротравм нерідко бувають недоліки конструкції і монтажу обладнання, неправильна його експлуатація.

Забезпечення електробезпеки від випадкового дотику до струмопровідних частин досягається шляхом захисних оболонок и огорожень, захисного заземлення відкритих провідних частин. Для виключення нещасних випадків (враження струмом) вмикання обладнання в роботу проводиться після попереджувального сигналу.

При сушінні і транспортуванні цукру утворюється статична електрика. Для видалення статичної електрики обладнання заземлюється; також використовується збільшення вологості повітря; іонізація повітря.

Згідно інструкції по устаткуванню захисту будівель від блискавки на цукрових заводах використовуються стержневі блискавковідводи. Категорія блискавкозахисту – II.

Для зниження споживання свіжої промислової води з водою передбачається організація системи оборотних контурів очищення і максимального повторного використання виробничих вод. Таким чином, забезпечення безпеки і дотримання

екологічності в продуктовому відділенні бурякоцукрового заводу залежить від багатьох факторів і необхідний ретельний контроль за цими процесами.

4.3 Пожежна безпека при роботі на бурякоцукровому заводі

Поняття пожежна безпека означає стан об'єкта, при якому виключається можливість пожежі, а у випадках її виникнення запобігається вплив на людей небезпечних факторів пожежі і забезпечується захист матеріальних цінностей .

Пожежна безпека регламентується ГОСТ 12.1.0333-81 “Загальні вимоги”, Будівельними Нормами і Правилами, міжгалузевими правилами і правилами пожежної безпеки, затвердженими міністерствами і відомствами.

Небезпечними факторами пожежі для людей є відкритий вогонь, іскри , підвищена температура повітря, токсичні продукти горіння, дим, знижена концентрація кисню, обвалення і пошкодження будівель, споруд, установок, а також вибух.

Для запобігання пожежі необхідні такі заходи:

- а) запобігання утворенню горючого середовища;
- б) запобігання утворенню в займистому середовищі джерел запалювання;
- в) підтримка температури і тиску займистого середовища нижче допустимих;
- г) зменшення визначального розміру займистого середовища.

При коротких замиканнях, перегріві і т.п. можливе загоряння електропроводки, електроустановок. Для гасіння пожежі в таких умовах необхідно застосовувати спеціальні засоби, неможливо використовувати воду та інші струмопровідні речовини. Тому приміщення бурякоцукрового заводу повинні бути обладнані засобами для гасіння електропроводок та електроустановок під напругою. Застосовуваний тип вогнегасників: ОУ-10 (вогнегасник вуглекислотний).

4.4 Техніка безпеки при експлуатації дифузійного апарата

Для забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу обертові частини електродвигунів повинні бути закриті захисними кожухами. Рівень вібрацій і шуму повинен бути обмежений в межах, зазначених ГОСТом. Недолік природного освітлення повинен компенсуватися штучним. Відповідно до ГОСТу повинна забезпечуватися електробезпека.

Технічна експлуатація дифузійних апаратів здійснюється електротехнічним персоналом відповідно до Правил технічної експлуатації електроустановок (ПТЕ) і правил технічної безпеки при експлуатації електроустановок (ПТБ).

Обслуговування дифузійних апаратів здійснюється адміністративно-технічним, черговим, ремонтним або оперативно-ремонтним електротехнічним персоналом. Особи з числа чергового і оперативно-ремонтного персоналу повинні пройти необхідну теоретичну підготовку, навчання на робочому місці і перевірку знань ПТЕ і ПТБ.

У процесі експлуатації дифузійних апаратів здійснюються роботи, передбачені графіками планово-попереджувального ремонту чинного електроустаткування, профілактичні випробування ізоляції електричних машин, кабелів, налагодження та перевірка апаратури керування електроприводами, релейного захисту та автоматики та ін., а також можливі позапланові ремонти, ліквідація наслідків аварій.

До початку роботи дифузійних апаратів і в процесі її виконання необхідно виконувати організаційні та технічні заходи, що забезпечують безпеку праці.

Дифузійні апарати відносяться до обладнання підвищеної небезпеки. Вони повинні бути обладнані щитами електрообладнання і автоматизації (силові шафи, щити керування), а також контрольно-вимірювальними приладами (термометрами, манометрами, показчиками рівня) і пристроями, що забезпечують безпеку виробничого процесу. Ступінь захисту електрообладнання повинен бути не нижче IP44. Місця надходження стружки в апарати і вивантаження жому з апаратів повинні бути обладнані спеціальними пристроями (витяжними парасольками, кожу-

хами укриттів і т.д.) для запобігання розкиду сировини і витяжною вентиляцією (аспірацією).

У приміщеннях, де розташовані дифузійні апарати повинні бути встановлені підйомні механізми вантажопідйомністю рівній масі найбільш важкої деталі апарату.

Профілактичний ремонт, регулювання і огляд роликів, бандажів, ланцюгів і інших деталей дифузійного апарата повинні проводитися тільки з відома оператора дифузії, і після виконання ним відповідних дій, попереджуючих створення небезпечної аварійної ситуації.

Над шнеком для видалення жому з дифузійного апарата необхідно встановлювати бункер закритого типу з оглядовими вікнами і витяжною трубою. Привід повинен бути обладнаний автоматично діючим гальмом замкнутого типу.

У ошпарувачах стружки буряка повинні бути встановлені показчики рівня сокостружкової суміші, заблоковані з подачею соку в ошпарувач, відкачуванням сокостружкової суміші і соку. У збірниках циркуляційного соку повинні бути пристрої для піногасіння і переливні труби. Ошпарувачі необхідно огорожувати металевою сіткою висотою 0,5-0,8 м в залежності від висоти розташування шахти ошпарувача над підлогою.

Система мастила дифузійних апаратів повинна бути централізованою і виключати витіку і потьoki масла.

Кільцевий скребковий конвеєр для видалення жому з дифузійного апарата колонного типу повинен бути огорожений металевою сіткою висотою не менше 0,5 м.

Розташування апаратури і механізмів керування обладнанням на щиті повинно виключати можливість ненавмисного пуску обладнання та забезпечувати негайне відключення приводів апарату і допоміжного обладнання (насосів, конвеєрів) в разі небезпеки.

Оглядові вікна на майданчику вивантажного пристрою дифузійних апаратів повинні мати огорожі. Дифузійні апарати повинні забезпечуватися витяжною парасолькою, призначеною для видалення парів в місці вивантаження жому.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі представлені результати, які узагальнюють теоретичні дослідження автоматизованого електропривода дифузійного апарата.

1. Проаналізовано конструкцію, технічні характеристики та розглянуто принцип дії дифузійного апарата. Виявлено, що типова схема індивідуального електропривода дифузійного апарата на основі двигуна постійного струму вже досить застаріла. Такий принцип керування накладає суттєві обмеження на регулювальні властивості і технологічні можливості виробництва, ускладнює автоматизацію технологічного процесу. Для збільшення продуктивності дифузійного апарата в роботі на заміну нерознімному зубчастому вінцю з приводом від електродвигуна постійного струму використано сегментований зубчастий вінець з планетарними редукторами і групою електроприводів змінного струму.

2. З метою розширення функціональних можливостей дифузійного апарата, забезпечення незалежного регулювання технологічних параметрів, оптимізації режимів роботи, можливості гнучкої перебудови агрегатів і програмного керування ними, застосовано групу частотно-регульованих асинхронних електроприводів. Для забезпечення сталої перевантажувальної здатності асинхронних двигунів та відстеження параметрів системи з високою точністю застосовано векторне керування.

3. При побудові математичної моделі електропривода дифузійного апарата в роботі використано підхід, при якому загальну модель системи прямого керування моментом сформовано з готових підсистем з мінімальним використанням елементарних динамічних ланок. Попередньо окремо побудовано моделі всіх функціональних блоків системи.

4. Розглянуто динаміку асинхронного електропривода обертання трубовалу дифузійного апарата за допомогою програмного пакету MATLAB. Виявлено, що перехідні процеси мають квазіусталений характер, оскільки гістерезисні релейні регулятори потокозчеплення статора і електромагнітного моменту двигуна в установлених режимі роботи електропривода залишаються в автоколивальному режимі.

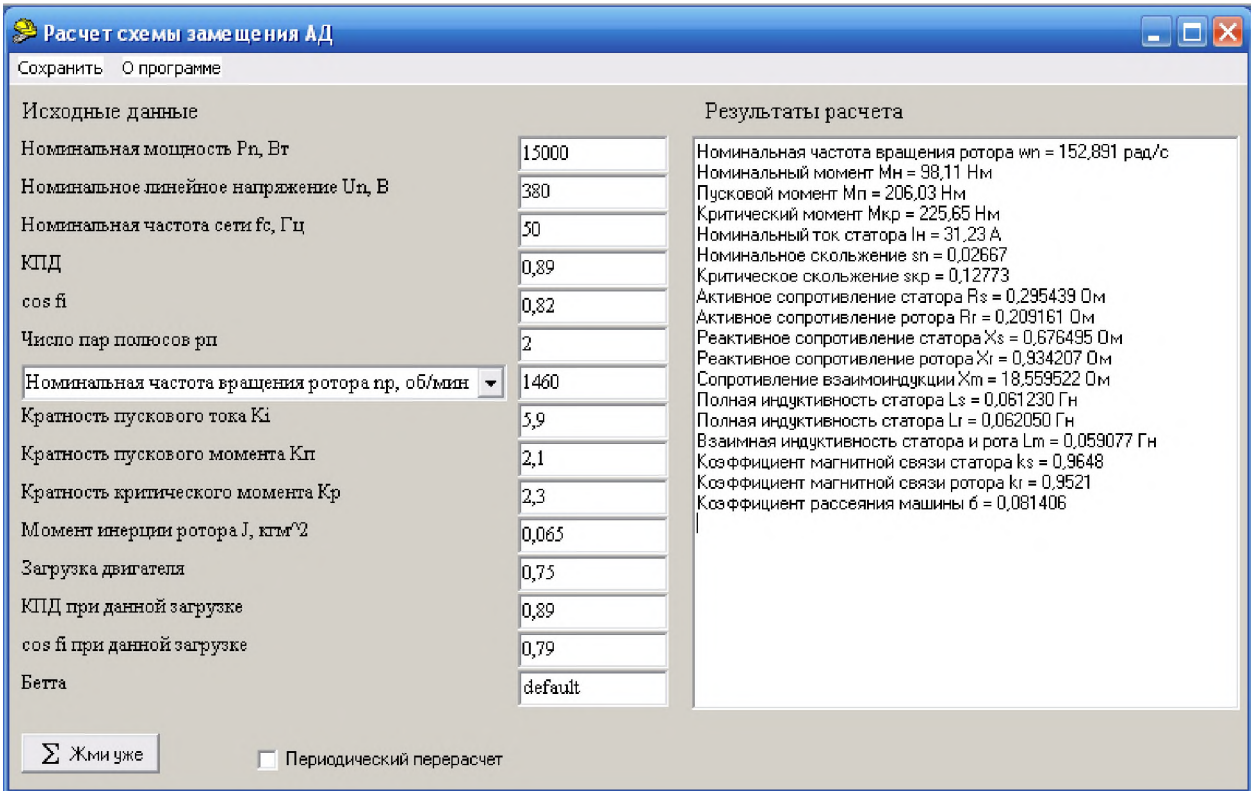
Це викликає високочастотні коливання електромагнітного моменту, струму і поточчепплення статора двигуна в сталих режимах роботи. Так як частота цих коливань висока, на частоту обертання двигуна вони не впливають. Таким чином, результати аналізу перехідних процесів показали, що система працездатна і має високі показники якості перехідних процесів, як з точки зору швидкодії, так і з точки зору плавності регулювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматизація технологічних процесів харчових виробництв : підручник / А. П. Ладанюк, В. Г. Прядко, В. А. Луцька та ін. Київ : НУХТ, 2012. 482 с.
2. Клепіков В. Б., Ашихмін О. В. Моделювання електромеханічних систем у середовищі MATLAB/Simulink : навч. посібник. Харків : НТУ «ХПІ», 2010. 160 с.
3. Ладанюк А. П. Автоматизація технологічних процесів цукрового виробництва : навч. посібник. Київ : НУХТ, 2011. 264 с.
4. Лозинський О. Ю., Садовой О. В., Соколова С. П. Автоматизація електромеханічних систем : підручник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2015. 320 с.
5. Пересада С. М., Ковбаса С. М. Керування моментом та потоком в асинхронних двигунах : навч. посібник. Київ : НТУУ «КПІ», 2016. 184 с.
6. Попович М. Г., Ковальчук О. В. Теорія автоматичного керування : підручник. Київ : Юрінком Інтер, 2014. 472 с.
7. Попович М. Г., Лозинський О. Ю., Клепіков В. Б. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи : підручник. Київ : Либідь, 2005. 680 с.
8. Ткаченко С. Й., Оліфірович В. О. Теплообмінне та дифузійне обладнання цукрових заводів : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2014. 156 с.
9. Чорний О. П., Тітюк В. К., Бурдін В. В. Частотно-регульований асинхронний електропривод : навч. посібник. Кременчук : КрНУ, 2012. 180 с.

10. Bose B. K. Modern Power Electronics and AC Drives. Upper Saddle River : Prentice Hall, 2002. 711 p.
11. Dorf R. C., Bishop R. H. Modern Control Systems. 13th ed. Boston : Pearson, 2017. 1032 p.
12. Hugot E. Handbook of Cane Sugar Engineering. 3rd ed. Amsterdam : Elsevier, 1986. 1166 p.
13. Krause P. C., Wasynczuk O., Sudhoff S. D. Analysis of Electric Machinery and Drive Systems. 3rd ed. Hoboken : Wiley-IEEE Press, 2013. 680 p.
14. Vas P. Sensorless Vector and Direct Torque Control. Oxford : Oxford University Press, 1998. 729 p.

Розрахунок параметрів схеми заміщення асинхронного двигуна



Исходные данные

Номинальная мощность P_n , Вт	15000
Номинальное линейное напряжение U_n , В	380
Номинальная частота сети f_c , Гц	50
КПД	0,89
$\cos \phi$	0,82
Число пар полюсов p	2
Номинальная частота вращения ротора n_r , об/мин	1460
Кратность пускового тока K_i	5,9
Кратность пускового момента K_M	2,1
Кратность критического момента K_r	2,3
Момент инерции ротора J , кгм ²	0,065
Загрузка двигателя	0,75
КПД при данной нагрузке	0,89
$\cos \phi$ при данной нагрузке	0,79
Бетта	default

Результаты расчета

Номинальная частота вращения ротора $\omega_n = 152,891$ рад/с
 Номинальный момент $M_n = 98,11$ Нм
 Пусковой момент $M_p = 206,03$ Нм
 Критический момент $M_{kr} = 225,65$ Нм
 Номинальный ток статора $I_n = 31,23$ А
 Номинальное скольжение $s_n = 0,02667$
 Критическое скольжение $s_{kr} = 0,12773$
 Активное сопротивление статора $R_s = 0,295439$ Ом
 Активное сопротивление ротора $R_r = 0,209161$ Ом
 Реактивное сопротивление статора $X_s = 0,676495$ Ом
 Реактивное сопротивление ротора $X_r = 0,934207$ Ом
 Сопротивление взаимной индукции $X_m = 18,559522$ Ом
 Полная индуктивность статора $L_s = 0,061230$ Гн
 Полная индуктивность статора $L_r = 0,062050$ Гн
 Взаимная индуктивность статора и ротора $L_m = 0,059077$ Гн
 Коэффициент магнитной связи статора $k_s = 0,9648$
 Коэффициент магнитной связи ротора $k_r = 0,9521$
 Коэффициент рассеяния машины $\sigma = 0,081406$

Σ Жми уже ☐ Периодический перерасчет

Рисунок А.1 – Вікно з результатами розрахунку параметрів
схеми заміщення асинхронного двигуна

Налаштування параметрів регулятора швидкості в MATLAB

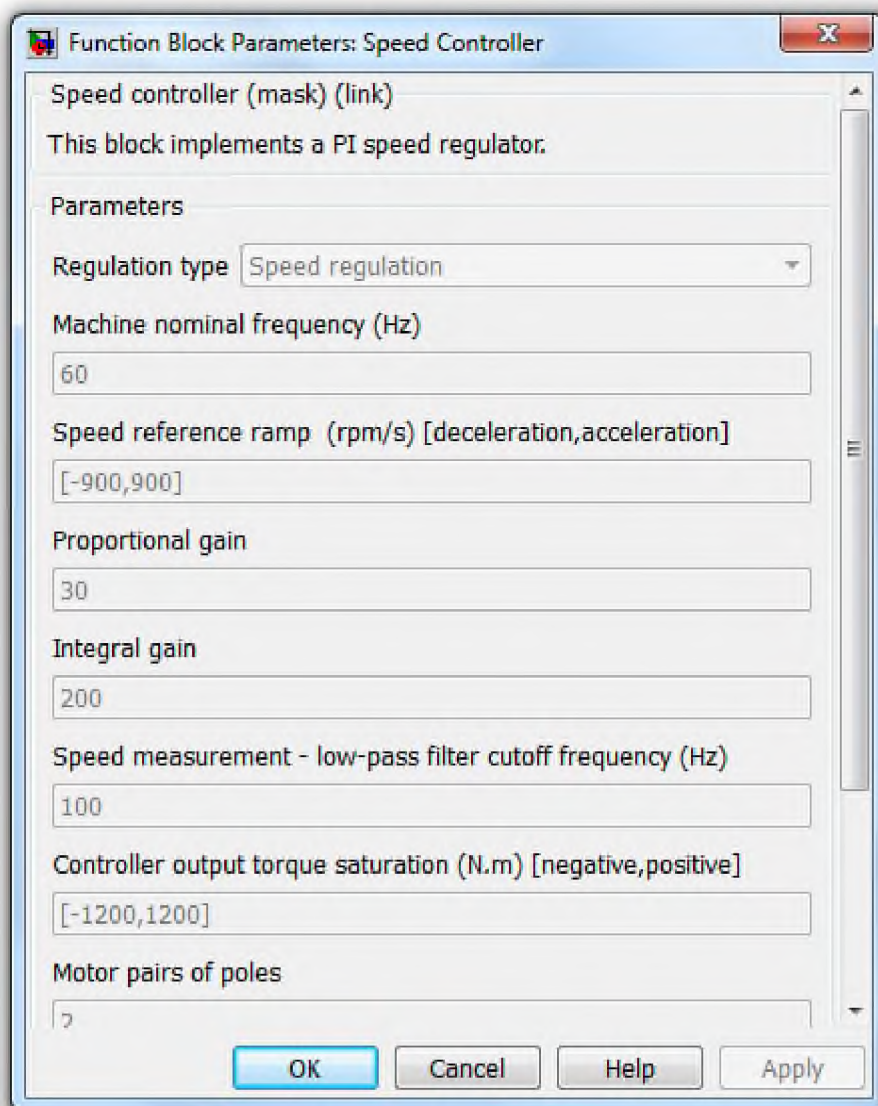


Рисунок Б.1 – Вікно налаштування параметрів регулятора швидкості

Загальна характеристика колонного дифузійного апарата

Загальний вигляд



Технічні характеристики

Найменування	Значення
Продуктивність по буряку, т/доб	3000
Насипна щільність бурякової стружки, кг/м ³	65-70
Корисний об'єм апарату, м ³	208
Висота активної зони апарату, мм	13320
Внутрішній діаметр, мм	5000
Площа фільтрувальних сит, м ²	24,2
Частота обертання лопатевого вала, хв ⁻¹	0,2...0,6
Зовнішній діаметр лопатевого вала, мм	2000
Електродвигун привода лопатевого вала:	П-112У ₄
– тип	70
– потужність, кВт	600
– частота обертання, об/хв	
Габаритні розміри:	
– висота, м	20
– довжина, м	8,6
– ширина, м	5,5

Функціональна схема системи прямого керування моментом

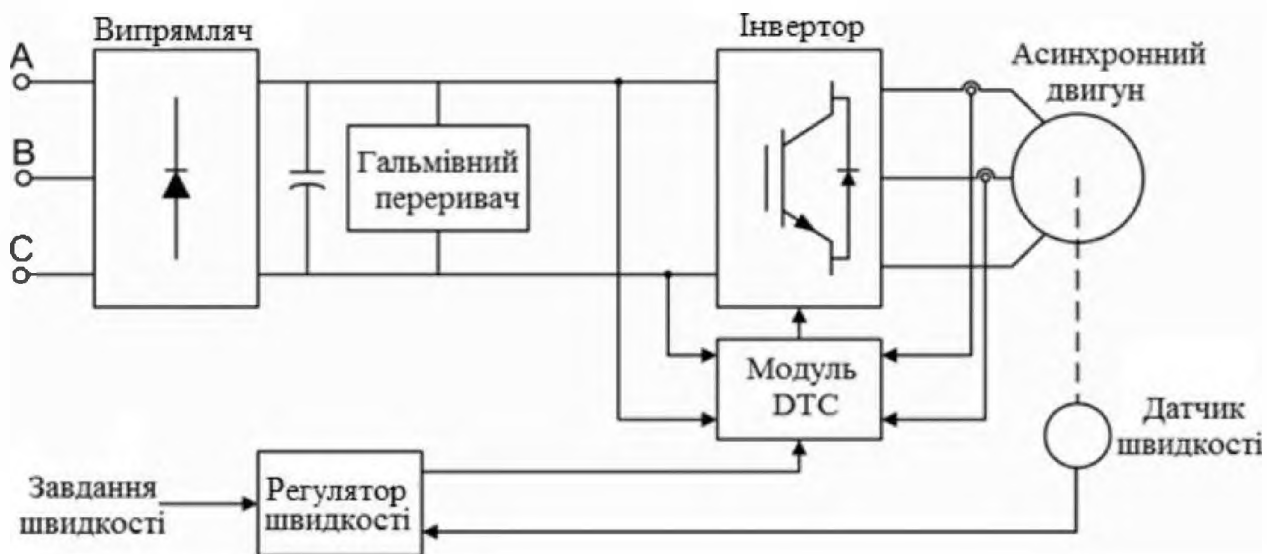


Рисунок В.2 – Слайд 2 мультимедійної презентації

Модель електропривода з DTC алгоритмом керування в MATLAB

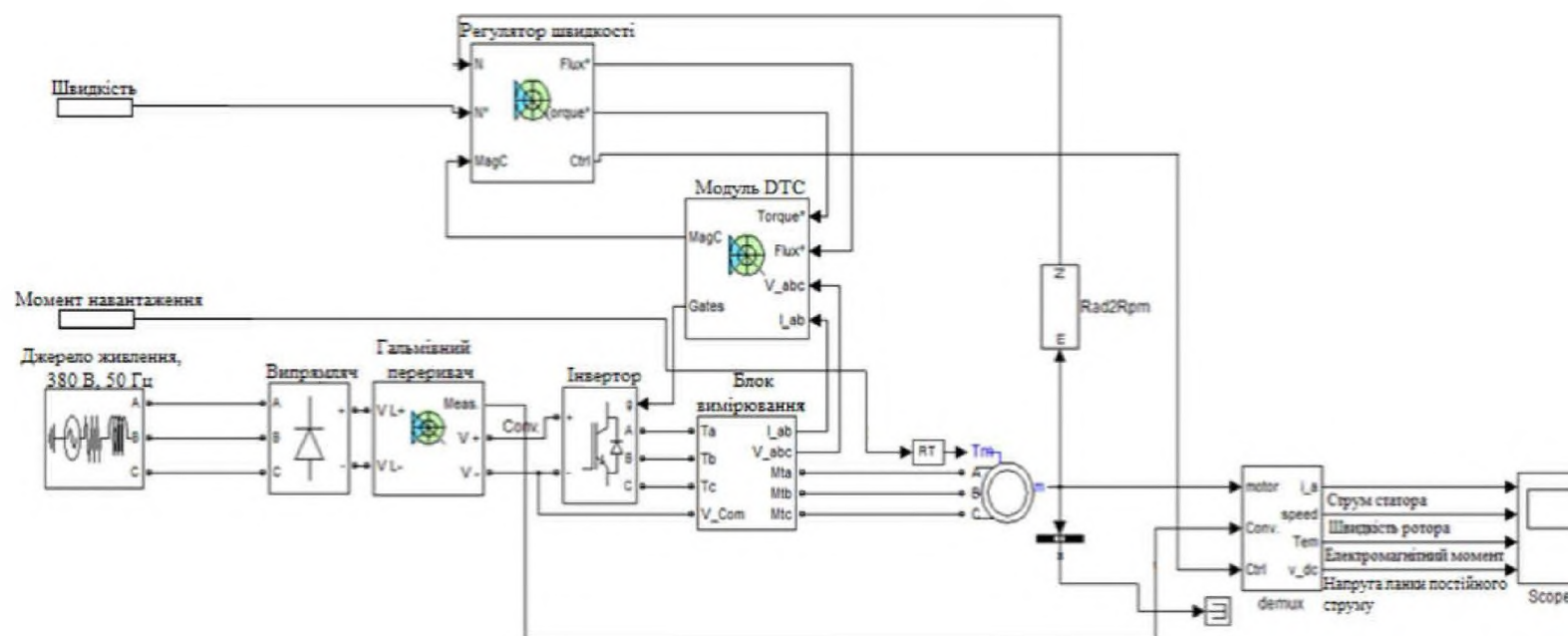


Рисунок В.3 – Слайд 3 мультимедійної презентації

Дослідження динаміки

Порівняння перехідних характеристик координат електропривода при стрибкоподібному та плавному завданнях збурення

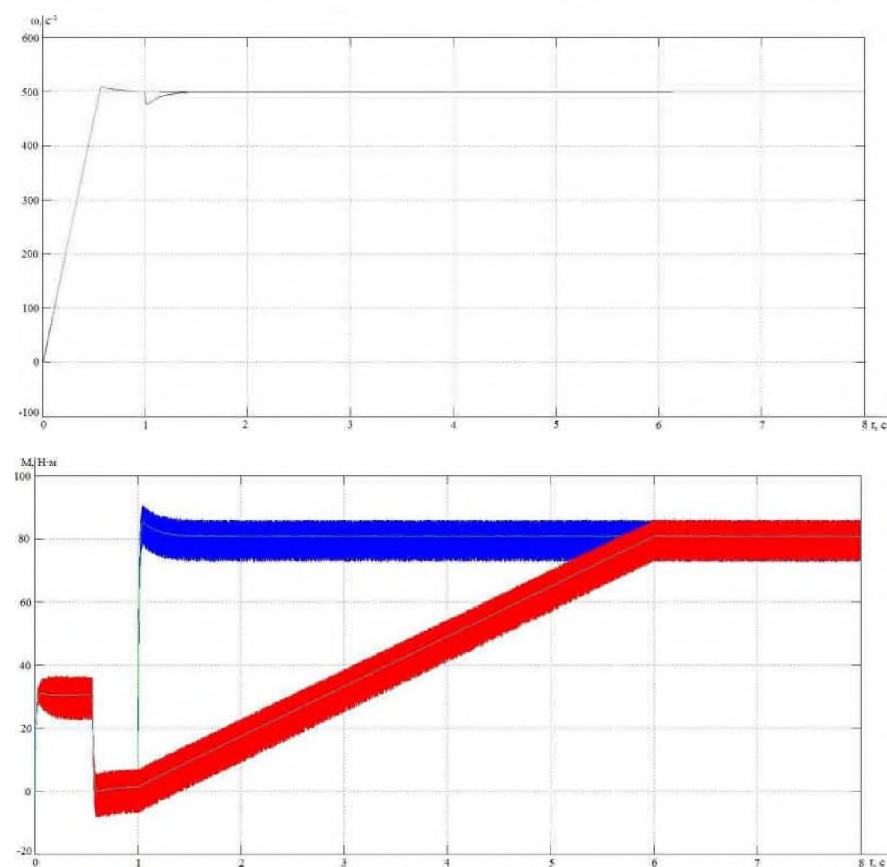


Рисунок В.4 – Слайд 4 мультимедійної презентації