

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

ННІ/факультет	<u>Навчально-науковий технологічний інститут</u>
Кафедра	<u>Кафедра електричної інженерії та автоматизації</u>
Спеціальність	<u>141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка</u>
Форма навчання	<u>денна</u>

(денна або заочна форма навчання)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Борбулевич Денис Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

на тему Електромеханічне обладнання металургійного виробництва.
Електропривод міксеру Eirich W40 агломераційного цеху.

(повна назва теми)

за матеріалами _____

(повна назва бази дослідження)

науковий
керівник

доцент, к.п.н.

(наук. ступінь, вчене звання)

Модло Є.О.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри

від _____ 2026р. № _____

Завідувач кафедри _____

(підпис)

к.п.н. Є.О. Модло

наук. ступень, вчене звання

ініціали, прізвище

Кривий Ріг – 2026

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра Електричної інженерії і автоматизації

Рівень вищої освіти бакалавр

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Електричної інженерії і автоматизації

В.о. зав каф.

Модлю Є.О.

(підпис)

(посада, вчене звання,
прізвище ініціали)

« » 2026__ року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ(КИ)

Борбулевич Денис Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра Електромеханічне обладнання металургійного виробництва. Електропривод міксеру Airich w 40 агломераційного цеху.

2. Керівник кваліфікаційної роботи

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від 06.04.2026 р. № 238-ст

3. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи до 01.06.2026 кафедри

4. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи бакалавра: Номінальна напруга 380 В, номінальна частота 50 HZ, номінальна потужність двигуна ротора 110kW, швидкість мотору ротора 1,500 RPM, вага двигуна ротора 650 kg, номінальна потужність двигуна чаші 7.5 kW, швидкість мотору ротора 1,500 RPM. Вага двигуна чаші 52 kg.

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

1. Аналітична частина;

2. Основна частина

1. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
 - 1 Технологічна схема електромеханічної системи змішування
 - 2 Функціональна схема електромеханічної системи змішування
 - 3 Структурна схема електромеханічної системи змішування
 - 4 Принципова схема електромеханічної системи змішування
2. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 Аналітична частина			
2 Основна частина			

3. Дата видачі завдання «__» _____ 2026р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина		
2.	Основна частина		
3.	Оформлення пояснювальної записки		
4.	Виконання графічної частини		
5.	Подання роботи до кафедри		
6.	Захист роботи в ЕК		

Студент

Борбулевич.Д.С

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

Чорний.О.П

(підпис)

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Проект вміщує: ____ сторінок пояснювальної записки, ____ сторінок рисунків, ____ сторінок таблиць, ____ сторінок джерел використаної літератури.

У дипломному проєкті виконано аналітичний огляд технологічних процесів та принципів роботи промислового міксера, що застосовується в агломераційному цеху, на основі аналізу сучасних науково-технічних джерел. Визначено основні вимоги, необхідні для надійної та ефективної роботи електроприводу міксера, обрано доцільний метод керування та здійснено розрахунок системи керування електроприводом.

Розроблено систему непрямого векторного керування швидкістю обертання та потокозчеплення асинхронного електродвигуна. Із використанням математичного моделювання у двовимірному просторі досліджено динамічні та енергетичні характеристики електромеханічної системи в умовах реального технологічного процесу перемішування шихтових матеріалів. Також створено принципову електричну схему електроприводу міксера.

Отримані результати можуть бути використані як довідковий та практичний матеріал при проєктуванні, модернізації та дослідженні електроприводів промислових міксерів агломераційного виробництва.

Ключові слова: ЗМІШУВАЛЬНИЙ МІКСЕР; АГЛОМЕРАЦІЙНИЙ ЦЕХ; ЕЛЕКТРОПРИВІД;; СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ.

ЗМІСТ

<u>ВСТУП</u>	6
<u>1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА</u>	7
<u>1.1 Загальні відомості про змішувальні міксери агломераційного цеху</u>	7
<u>1.1.2 Конструктивні елементи змішувального міксеру</u>	8
<u>1.2 Режими роботи змішувальних міксерів</u>	13
<u>1.3 Електропривод змішувальних міксерів</u>	15
<u>2. ОСНОВНА ЧАСТИНА</u>	
<u>2.1 Максимально корисне навантаження чану змішувального міксеру</u> ...	17
<u>2.2 Розрахунок характеристики редуктора ротора</u>	17
<u>2.3 Розрахунок характеристики редуктора чаші</u>	19
<u>2.4 Кінематика обертання ротору та чаші.</u>	19
<u>2.5 Розрахунок необхідної потужності та підбір оптимальних</u> Електродвигунів ротора та чаші.....	20
<u>2.6 Схеми підключення статорів електродвигунів</u>	Error! Bookmark not defined.
<u>2.7 Система управління міксером</u>	26
<u>2.8 Розрахунок параметрів інверторів напруги для ротора та чаші</u>	29
<u>2.9 Вибір ЕМІ фільтрів</u>	33
<u>2.10 Розрахунок автоматичного вимикача</u>	35
<u>2.11 Обчислення датчиків струму та напруги</u>	36
<u>2.12 Вибір датчика швидкості та перетворювача</u>	37
<u>2.13 Розрахунок коефіцієнтів регуляторів струму та швидкості чаші з</u> ротором.....	38
<u>2.14 Перевірка розрахунків коефіцієнтів на моделі</u>	42
<u>2.15 Загальні безпекові вимоги</u>	44
<u>2.16 Електробезпека та основні правила</u>	44
<u>2.17 Шкідливий вплив вібрацій та шумів</u>	45

2.18 Санітарно гігієнічні умови.....	45
ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК.....	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	47

ВСТУП

У сучасній металургії велике значення має якість підготовки сировини перед її подальшою переробкою. В агломераційних цехах одним із важливих етапів є процес перемішування шихтових матеріалів, який здійснюється за допомогою промислових міксерів. Від якості перемішування залежить рівномірність складу суміші та ефективність подальшого виробничого процесу.

Надійна та стабільна робота міксера значною мірою залежить від електроприводу. Він повинен працювати в складних умовах, таких як змінне навантаження, запиленість і тривала безперервна експлуатація. Тому важливо правильно обрати тип електродвигуна та систему керування, які забезпечать ефективну та економічну роботу обладнання.

Актуальність теми полягає у необхідності підвищення ефективності роботи електроприводів міксерів за рахунок використання сучасних методів керування. Це дозволяє покращити якість регулювання швидкості, зменшити енергоспоживання та підвищити надійність роботи обладнання.

Метою даної роботи є розробка електроприводу міксера агломераційного цеху та дослідження його роботи. Для досягнення цієї мети необхідно проаналізувати умови роботи міксера, обрати електродвигун і систему керування, а також дослідити основні характеристики електроприводу.

Об'єктом дослідження є міксер агломераційного цеху, а предметом — його електропривод та процеси керування ним.

1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Загальні відомості про змішувальні міксери агломераційного цеху

Змішувальний міксер є серединою всього процесу виготовлення матеріалу, він доволі важлива точка виробництва шихти. Він треба для змішування агломераційної суміші яка потім потрапляє до інших процесів виробництва такі як спікання, дроблення, охолодження, транспортування, доменні цеха.

З цього ми можемо зрозуміти що виробництво без цього міксеру може зупинитись, тому важливо щоб цей змішувальний міксер працював без зупинок, без перегріву, та ще важливим фактором є щоб він працював в автоматичному режимі слідкуючи за навантаженням, подачою ресурсу, вивантаженням готово змішаної шихти.

Якщо ми трохи спробуємо дізнатись про історію міксерів то дізнаємось що вони бувають дуже різні. В чому саме різниця, змінюються двигуни, в деяких збільшується навантаження в деяких зменшується але вони більш економічні за потребою електроспоживання, в деяких збільшують кількість механічних зірок що допомагає збільшити навантаження та обробити більше певного матеріалу для шихти.

Також Перші механізовані змішувальні установки почали активно з'являтися наприкінці XIX — на початку XX століття в промислово розвинених країнах, таких як Німеччина, США та Велика Британія. Це було пов'язано з розвитком металургії, хімічної та будівельної галузей, де виникла потреба у рівномірному перемішуванні великих обсягів матеріалів. Саме у металургії, зокрема в агломераційному виробництві, промислові міксери почали широко застосовуватись у першій половині XX століття, коли технологія агломерації стала масово впроваджуватись на підприємствах. Саме тоді з'явилися барабанні та лопатеві міксери, які використовуються у модернізованому вигляді.

Важливо розуміти що покращення промислових міксерів використовуються навіть на сьогоднішній день адже населення планети зростає щодня як і потреба у більшій кількості матеріалів.

Якщо промислові міксери покращують по сьогоднішнього то можемо зрозуміти які фактори впливають на покращення системи всього виробництва цілком та які параметри міксеру нас цікавлять більш за все.

А саме основними параметрами для нас є

1. Велика ємність змішувальної посудини
2. Максимальна можлива швидкість змішування
3. Ефективність та потужність змішувального двигуна
4. Тривалість змішувального циклу під час навантаження

1.1.2 Конструктивні елементи змішувального міксеру

Структура змішувальних міксерів складається з завантажувального жолобу куди потрапляє сировина, чану (посудина) де все збирається перед

процесом змішування, ротору який приводить в дію змішувальні інструменти (лопаті ротора), скребків які виконують дію чистки чану щоб нічого не залишалось, приводу ротора який приводить все в дію та складається з (двигуна і редуктора), розвантажувального затвору після якого вся змішанна суміш потрапляє до вивантажувального жолобу.

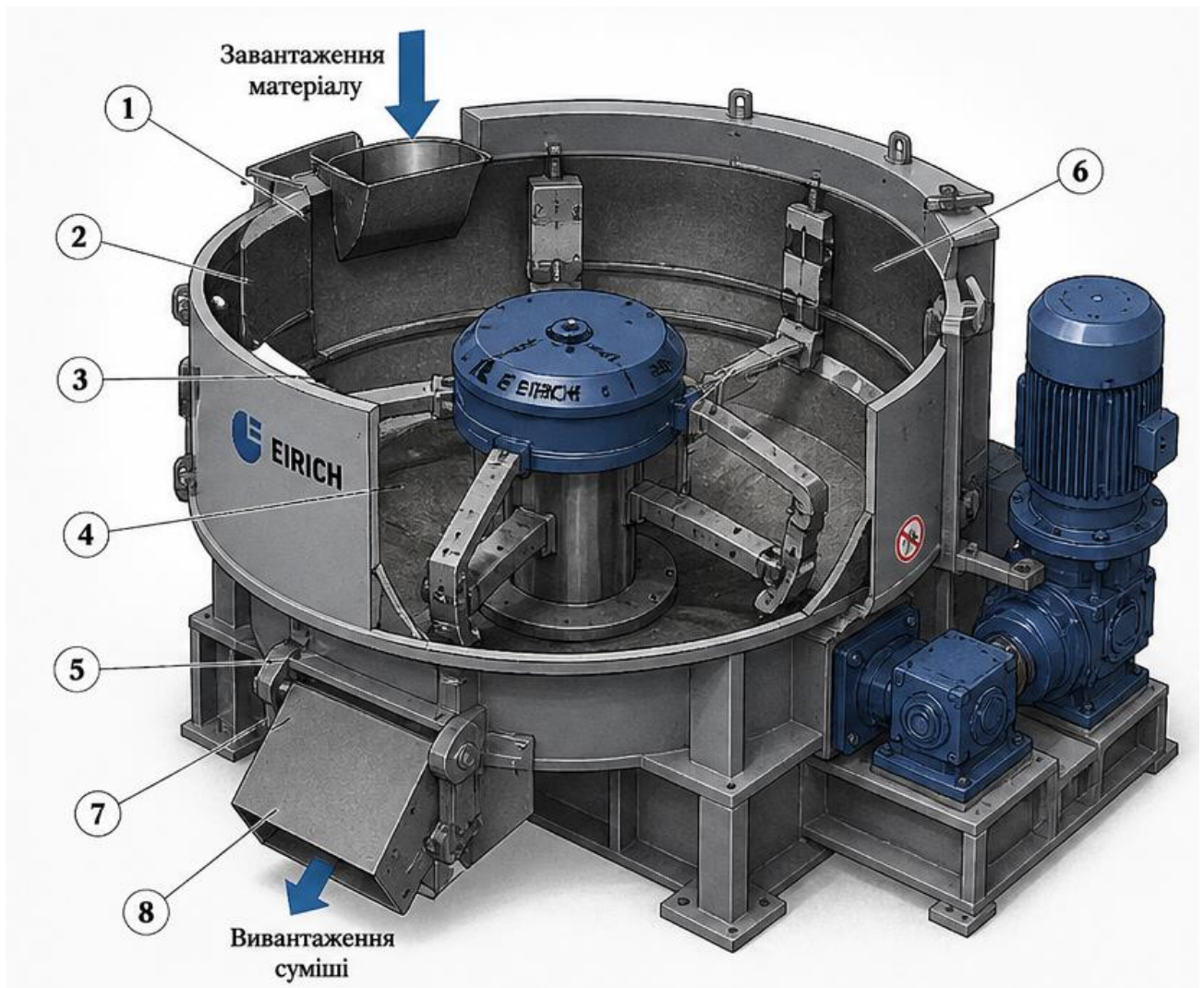


Рис.1.1 Схема змішувального міксеру.

1-Завантажувальний жолоб; 2-Чан; 3-Ротор; 4-Змішувальні інструменти; 5-Скребки; 6-Привід ротора; 7-Розвантажувальний затвор; 8-Вивантажувальний жолоб.

Дана конструкція змішувального міксеру доволі ефективна та добре поєднує в собі всі елементи, завдяки яким змішування проходить без відходних ресурсів та без втрат для виробництва.

Що собою представляють деталі:

Завантажувальний жолоб (рис.2.1) – забезпечує подачу матеріалів у робочу камеру міксеру.



Рис.2.1 Завантажувальний жолоб

Чан (рис.2.2) – Це обертова чаша з об'ємом понад 12 000 л, яка в свою чергу забезпечує безперервну циркуляцію важких абразивних компонентів шихти.



Форма чаші сприяє створенню перехресних потоків матеріалу що критично важливо для рівномірного змішування компонентів.

Рис.2.2 Чан (порожнина для суміші)

Роторний інструмент (рис.2.3) – це головний робочий орган, який працює у двох режимах: на високих обертах він розбиває грудки вологого концентрату та рівномірно розподіляє добавки, а на знижених обертах забезпечує дбайливу грануляцію.



Рис.2.3 Роторний інструмент (змішувач).

Комбінований скребок рис.2.4- це скребки які виконують дію, що направляє потік матеріалу під ротор, та одночасно очищує поверхні від налипання вологої дрібної шихти, запобігаючи порушенню геометрії робочого простору.



Рис.2.4 Комбінований скребок

Привідний механізм рис.2.5 – це електродвигун та редуктор які забезпечують обертання чащі та ротора.



Рис.2.5 Привідний механізм (двигун та редуктор).

Вивантажувальний жолоб рис.2.6 – це отвір з засувкою який служить для швидкого та повного вивантаження готової суміші.



Рис.2.6 Вивантажувальний жолоб

1.2 Режими роботи змішувальних міксерів

Промисловий змішувальний міксер може працювати в різних режимах залежно від вимог технологічного процесу, властивостей матеріалів та умов експлуатації. Основними режимами роботи є пусковий, робочий, перевантажувальний та режим зупинки. Пропоную поглибитись в це питання та роздивитися кожний з режимів його роботи.

Пусковий режим

Пусковий режим характеризується розгоном електроприводу міксера від стану спокою до номінальної швидкості обертання. У цей момент електродвигун працює з підвищеним пусковим струмом, а навантаження на механічні елементи поступово зростає.

Для такого режиму роботи використовують частотні перетворювачі або системи плавного пуску що дозволяє:

1. Зменшити механічні навантаження;
2. Обмежити пускові струми;
3. Підвищити термін служби обладнання.

Робочий режим

Робочий режим є основним і характеризується стабільною роботою міксера при заданих параметрах. Також цей режим може бути безперервним та періодичним.

При цьому режимі:

1. Змішувальна чаша обертається з постійною швидкістю;
2. Ротор здійснює інтенсивне перемішування матеріалу;
3. Забезпечується рівномірний розподіл компонентів суміші.

Режим навантаження та перевантаження

У процесі змішування завжди може змінюватись навантаження, пов'язанні зі зміною складу або вологістю матеріалу.

При перевантаженні можливі такі зміни:

1. Зростає струм електродвигуна;
2. Зменшується швидкість обертання;
3. Можливе перегрівання обладнання.

Для запобігання всім цим проблемам та аварійним ситуаціям застосовуються:

1. Системи автоматичного захисту;
2. Датчики струму та температури;
3. Автоматичне регулювання швидкістю.

Режим зупинки

Зупинка міксеру може бути:

- 1.Плановою-після завершення циклу змішування;
- 2.Аварійною-при виникненні несправностей.

У сучасних системах використовується кероване гальмування, що дозволяє:

- 1.Уникнути різних механічних навантажень;
- 2.Забезпечити безпечну експлуатацію;
- 3.Зменшити знос обладнання.

Режим очищення та обслуговування міксеру

Після завершення його циклу або процесу роботи та при зміні матеріалу міксер переводиться в режим очищення.

У цьому режимі :

- 1.Обертання здійснюється на зниженій швидкості;
- 2.Проводиться очищення робочих поверхонь;
- 3.Виконується технічне обслуговування.

Зробимо не великий висновок з цього: Різноманітність режимів роботи міксеру забезпечує його ефективне використання в умовах агломераційного виробництва. Правильний вибір та налаштування режимів дозволяє підвищити продуктивність, знизити енергоспоживання та забезпечити надійний, та довготривалий термін його роботи.

1.3 Електропривод змішувальних міксерів

Електропривід змішувального міксеру призначений для забезпечення обертання робочих органів міксеру ротора та змішувальної чаші і є основною частиною, що визначає ефективність процесу перемішування. У конструкції міксеру застосовується двоканальний електропривід, у якому окремо реалізовано привід ротора та привід чаші. Такий підхід дозволяє незалежно регулювати швидкість їх обертання та оптимізувати процес змішування залежно від властивостей матеріалу.

Основним елементом електроприводу є трифазні асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором, які широко застосовуються у промисловості завдяки своїй надійності, простоті конструкції та здатності працювати в складних умовах експлуатації. Привід ротора є найбільш навантаженим і має значно більшу потужність у порівнянні з приводом чаші, оскільки саме ротор створює інтенсивне перемішування матеріалу. Для міксерів типу DW 40 потужність приводу ротора зазвичай знаходиться в межах 75–160 кВт, тоді як потужність приводу чаші становить приблизно 4–15 кВт.

Електропривід працює в умовах змінного та нерівномірного навантаження, що пов'язано зі зміною фізичних властивостей шихтових матеріалів, їх вологості та щільності. У зв'язку з цим до електроприводу висуваються підвищені вимоги щодо перевантажувальної здатності та стабільності роботи. Він повинен забезпечувати високий пусковий момент, плавний розгін і підтримання заданої швидкості навіть при значних коливаннях навантаження.

Регулювання швидкості обертання здійснюється за допомогою частотних перетворювачів, що дозволяє змінювати режим роботи міксера в широкому діапазоні. Для ротора характерна частота обертання в межах приблизно 60–300 об/хв, тоді як чаша обертається значно повільніше — близько 5–30 об/хв. Використання частотного регулювання дає можливість не тільки плавно запускати і зупиняти обладнання, але й підвищує енергоефективність та зменшує знос механічних елементів.

Сучасні електроприводи таких міксерів, як правило, реалізуються на основі векторного керування асинхронними двигунами, що забезпечує високу точність підтримання швидкості та стабільний крутний момент у широкому діапазоні навантажень. Це особливо важливо для агломераційного виробництва, де необхідно забезпечити однорідність суміші.

Висновок до розділу 1

У першому розділі було розглянуто технологічний процес перемішування в агломераційному цеху та конструкцію міксеру. Встановлено, що ефективність змішування залежить від роботи ротора та обертання чаші.

Проаналізовано режими роботи обладнання та умови його експлуатації, які характеризуються змінним навантаженням. Визначено, що для забезпечення надійної та ефективної роботи необхідне застосування сучасного електроприводу з можливістю регулювання швидкості.

2.ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Максимально корисне навантаження чану змішувального міксеру.

Максимально за одне завантаження чан може помістити в себе 12 Т, але для того щоб не перевантажувати його візьмемо приблизно 10 Т. та скористаємось формулою:

$$Q=V * p * k \quad (2.1)$$

Q- маса матеріалу, кг

V- Об'єм барабана, м³

p- насипна щільність матеріалу, кг\ м³

k- коефіцієнт заповнення (0.6-0.8)

Розрахунок

$$Q = 10 * 1700 * 0.7 \quad (2.2)$$

$$Q=11\,900 \text{ Кг}$$

Максимально корисна вага навантаження чану 11 900 кг.

За розмірами нам підходить чан з такими характеристиками :

V= 9.8 м³ - об'єм чану

D= 2.5 м - діаметр чану

H= 2.0 м – висота чану

m=1.6 Т – вага чану

2.2 Розрахунок характеристики редуктора ротора

За вхідними даними:

P=110 кВт-потужність двигуна ротора

n₁=1500 об\хв-швидкість двигуна

n₂=150 об\хв-необхідна швидкість ротора

ККД редуктора приблизно 0.95

Ми можемо розрахувати характеристики нашого редуктора

1. Передаточне число редуктора

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1500}{150} = 10 \quad (2.3)$$

2. Крутний момент на валу двигуна

$$M_1 = \frac{9550 \cdot P}{n_1} = \frac{9550 \cdot 110}{1500} = 700 \text{ Н/м} \quad (2.4)$$

3. Крутний момент на вихідному валу редуктора

$$M_2 = M_1 \cdot i \cdot \eta = 700 \cdot 10 \cdot 0.95 = 6650 \text{ Н/м} \quad (2.5)$$

Також не забудемо перевірити свої розрахунки з урахуванням що буде можливе перевантаження, для цього ми візьмемо коефіцієнт запасу $k=2$.

4. Перевірка з урахуванням можливого перевантаження

$$M_{\max} = M_2 \cdot k = 6650 \cdot 2 = 13300 \text{ Н/м} \quad (2.6)$$

Знаючи тепер всі ці характеристики ми можемо обрати вірно редуктор, який буде задовольняти наші потреби та не буде перевантажений. На мій вибір припадають редуктори від Італійської фірми серії Bonfiglioli 300 series ,а саме планетарний редуктор Bonfiglioli 306 з максимальним крутним моментом в 14 900 Н/м,та має запас від наших потреб в 1600 Н/м.

З його плюсів:

1. Він краще витримує ударні навантаження;
2. Він компактніший;
3. Краще підходить для міксерів.

Також не забудемо про альтернативний варіант з приблизними характеристиками, альтернативним варіантом в нас може бути редуктор SEW-Eurodrive P series gearbox.

2.3 Розрахунок характеристики редуктора чаші

За вхідними даними:

$P=7$ кВт –потужність

$n_1=1500$ об\хв-швидкість двигуна

$n_2=20$ об\хв-необхідна швидкість ротора

ККД редуктора приблизно 0.95

1.С першу порахуємо передаточне число редуктора яке нам необхідне:

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1500}{20} = 75 \quad (2.7)$$

2.Тепер розрахуємо крутний момент на валу двигуна:\

$$M_1 = \frac{9550 \cdot P}{n_1} = \frac{9550 \cdot 7}{1500} = 44.5 \frac{\text{Н}}{\text{м}} \quad (2.8)$$

3.Також розрахуємо крутний момент на вихідному валу редуктора:

$$M_2 = M_1 \cdot i \cdot \eta = 44.5 \cdot 75 \cdot 0.95 = 3170 \text{ Н/м} \quad (2.9)$$

4.Зробимо перевірку розрахунків з урахуванням перевантаження:

Візьмемо коефіцієнт запасу по навантаженню $k=2$

$$M_{max} = 3170 \cdot 2 = 6340 \text{ Н/м} \quad (2.10)$$

За всіма даними які я отримав з цих розрахунків я можу обрати редуктор який підійде для чаші міксеру, обрана модель буде також від Італійської компанії та тої ж самої серії, це Bonfiglioli 300 Seriesале вже 304 тип з каталожним навантаженням в 7300 Н/м, таким чином ми будемо мати запас по навантаженню в 960 Н/м, що також задовольняє наші розрахунки.

2.4 Кінематика обертання ротору та чаші.

Взявши вихідні данні ротора ми розрахуємо кутову швидкість ротора.

Вихідні данні:

$n_1 = 1500$ об/хв- швидкість обертання двигуна

$n_2 = 150$ об/хв- швидкість обертання ротора

Розрахунок:

$$\omega = \frac{2\pi \cdot n_2}{60} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 150}{60} = 15.7 \text{ рад/с} \quad (2.11)$$

Та розрахуємо гальмування, вихідні данні такі:

$$\omega_1 = 15.7 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

t-час гальмування візьмемо 60 секунд на гальмування

$$\omega_2 = 0$$

Розрахунок:

$$\varepsilon = \frac{0 - 15.7}{60} = -0.262 \text{ рад/с}^2 \quad (2.12)$$

З цими даними ми побудуємо графік розгону, прямолінійної роботи, та гальмування, дивись (рис 2.1)

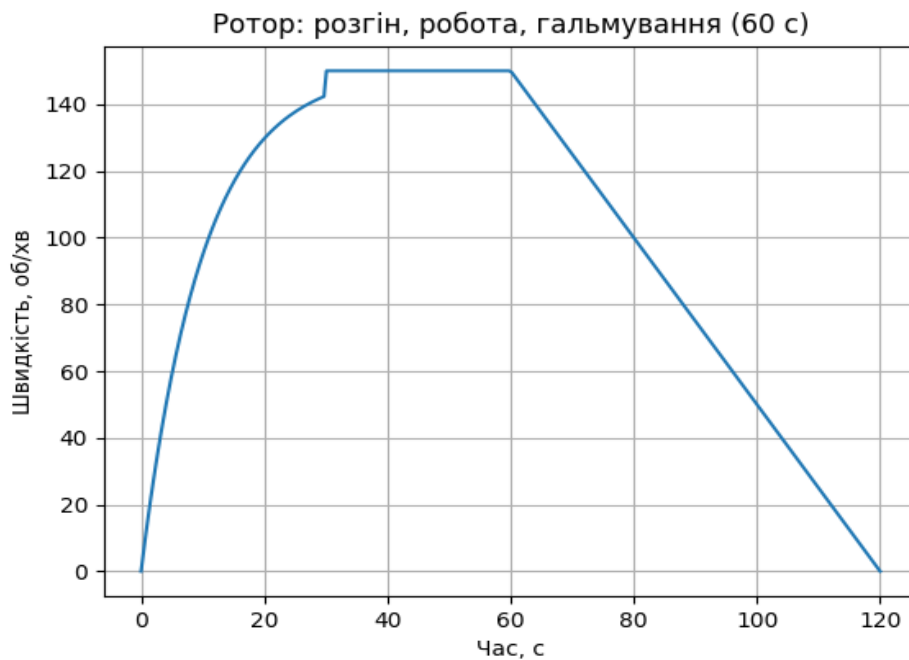


Рис.2.1 Залежність швидкості ротора від часу.

Перейдемо до розрахунків кутової швидкості чаші міксеру.

Вихідні данні:

$n_1 = 1500$ об/хв- швидкість обертання двигуна

$n_2 = 20$ об/хв- швидкість обертання чаші

Розрахунок:

$$\omega = \frac{2\pi \cdot n_2}{60} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 20}{60} = 2.09 \text{ рад/с} \quad (2.13)$$

Та розрахуємо гальмування, вихідні данні такі:

$$\omega_1 = 2.09 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

t-час гальмування візьмемо 60 секунд на гальмування

$$\omega_2 = 0$$

Розрахунок:

$$\varepsilon = \frac{0 - 2.09}{60} = -0.035 \text{ рад/с}^2 \quad (2.14)$$

За даними почаші які ми отримали при розрахунках створимо графік розгону, нормальної роботи та гальмування, дивись (рис 2.2).

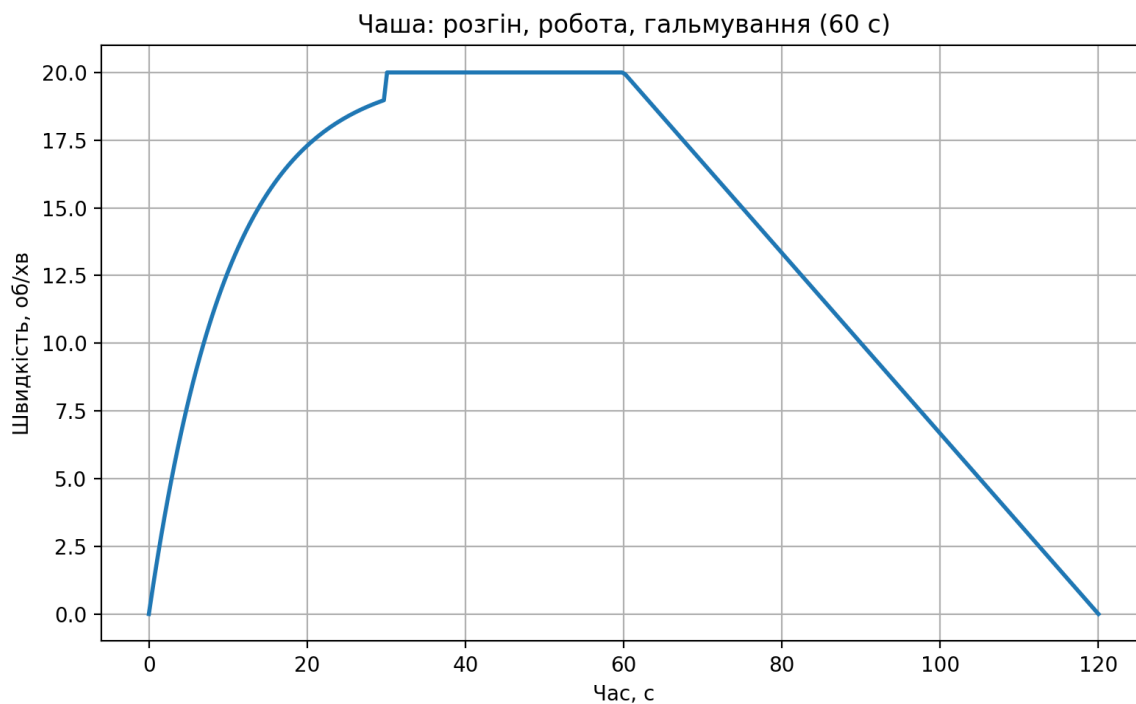


Рис.2.2 Залежність швидкості чаші від часу.

2.5 Розрахунок необхідної потужності та підбір оптимальних електродвигунів ротора та чаші.

Для забезпечення роботи змішувального міксера необхідно правильно підібрати електродвигуни для двох основних приводів: приводу ротора та приводу чаші. Ротор виконує основну роботу з інтенсивного перемішування матеріалу та має більше навантаження, тому його електродвигун має більшу потужність. Чаша обертається повільніше і забезпечує подачу матеріалу в зону змішування, тому для неї використовується двигун меншої потужності.

Наші розрахунки ми почнемо з вибору двигуна для ротора, тому скористаємося формулою, $P = \frac{M \cdot n}{9550}$ для цього ми вже знаємо, що крутний момент нашого ротора становить 6650 Н/м, та частота обертання нашого ротору становить 150 об/хв тому ми можемо розрахувати потужність двигуна та обрати двигун який нам підходить за характеристиками.

Вхідні дані:

$$M_{\text{ротора}} = 6650 \text{ Н/м}$$

$$n_{\text{ротора}} = \frac{150 \text{ об}}{\text{хв}}$$

Рішення:

$$P = \frac{6650 \cdot 150}{9550} = 104.45 \text{ кВт} \quad (2.15)$$

Отже для ротора ми виберемо двигун з характеристиками 110 кВт та частотою обертання в 1500 об/хв.

Перейдемо до розрахунку потужності двигуна для чаші нашого міксеру, тут потрібен вже нам менш потужний двигун, але теж з резервом по потужності щоб уникнути перевантажень та перегріву. Тому використаємо значення які ми отримали трохи вище а саме: крутний момент після редуктора 3170 Н/м та частоту обертання чаші в 20 об/хв.

Вихідні дані:

$$M_{\text{ротора}} = 3170 \text{ Н/м}$$

$$n_{\text{ротора}} = 20 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

Рішення:

$$P = \frac{3170 \cdot 20}{9550} = 6.64 \text{ кВт} \quad (2.16)$$

З урахування потрібного резерву потужності, краще оберемо двигун з потужністю в 7.5 кВт та частотою обертання в 1500 об/хв.

Таким чином, для міксеру ми обрали потужності двигунів з запасом, а саме це 110 кВт для ротору міксеру, та 7.5 кВт для чаші міксеру. Такий вибір нам забезпечує необхідний крутний момент, стабільну роботу під навантаженням та можливість регулювання швидкості за допомогою частотного перетворювача.

За каталогом вибір припав на такі двигуни, AIP 280S4 потужністю 110 кВт та AIP 132M4 потужністю 7.5 кВт. Їх характеристики дивись табл 2.1.

Таблиця 2.1

Двигуни міксера Eirich W40 та їх характеристики

Назва	AIP 280S4	AIP 132M4
Номинальна потужність, кВт	110	7.5
Напруга, В	380/660	380
Частота мережі, Гц	50	50
ККД %	94	88
Коефіцієнт потужності cosφ	0.89	0.84
Номинальний струм А	200	15.6
Частота обертання, об/хв	1500	1500
Кратність пускового струму	6.9	7.0
Кратність пускового моменту	2.3	2.3
Режим роботи	S1	S1
Ступінь захисту	IP54/IP55	IP54
Маса, Кг	650	52

2.6 Схеми підключення статорів електродвигунів

Для приводу ротора обрано двигун **110 кВт, 380/660 В**. Оскільки живлення приймаємо від мережі **380 В**, обмотки статора необхідно з'єднати за схемою **трикутник див рис 2.3**

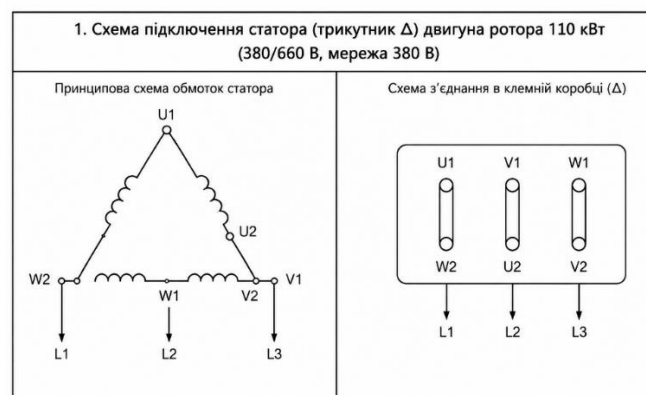


Рис.2.3 Схема підключення Трикутник для статора Ротора

При з'єднанні в трикутник:

$$U_{\phi} = U_{\text{л}} = 380 \text{ В}$$

Номінальний струм двигуна ротора:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \eta \cdot \cos \varphi} \quad (2.17)$$

Приймаємо:

$$P = 110000 \text{ Вт}$$

$$U = 380 \text{ В}$$

$$\eta = 0.94$$

$$\cos \varphi = 0.89$$

З цього маємо:

$$I = \frac{110000}{1.73 \cdot 380 \cdot 0.94 \cdot 0.89} = 200 \text{ А} \quad (2.18)$$

Отже, для двигуна ротора схема підключення **трикутник**, номінальний струм приблизно **200 А**.

Для приводу чаші ми обрали двигун з потужністю 7.5 кВт, 380 В. Двигун в нас має маркування лише 380 В, тому ми будемо обирати тип з'єднання за схемою зірка, див (рис 2.4)

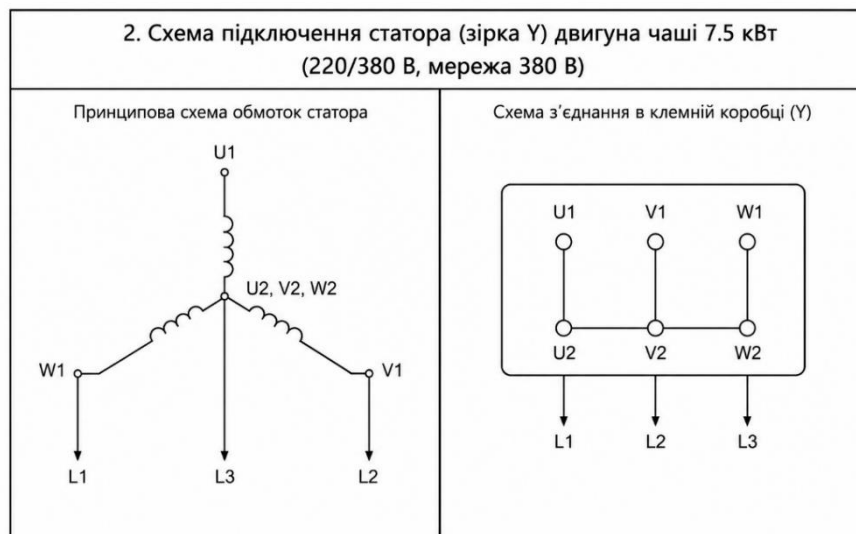


Рис.2.4 Схема підключення Зірка для статора Чаші.

При з'єднанні в зірку:

$$U_{\phi} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}} \quad (2.19)$$

З цього в нас виходить:

$$U_{\phi} = \frac{380}{1.73} = 220 \text{ В} \quad (2.20)$$

Тепер розрахуємо номінальний струм на двигуні чаші за формулою (2.9.7)

Вихідні дані:

$$P=7500 \text{ Вт}$$

$$U=380 \text{ В}$$

$$\eta=0.88$$

$$\cos\varphi=0.84$$

З цього ми маємо розрахунки:

$$I = \frac{7500}{1.73 \cdot 380 \cdot 0.88 \cdot 0.84} = 15.4 \text{ А} \quad (2.21)$$

Отже для чаші схема підключення – Зірка, номінальний струм приблизно 15.4 А.

2.7 Система управління міксером

Функціональна схема електроприводу змішувального міксера представлена на рис 3.1. Вона відображає структуру силової частини та системи керування, а також взаємозв'язок між основними елементами електроприводу.

Електропривід побудований на базі асинхронних електродвигунів з частотним керуванням і включає два приводи: привід ротора та привід змішувальної чаші. Особливістю системи є використання **єдиного контролера керування для обох електродвигунів**, що забезпечує узгоджену роботу всього механізму.

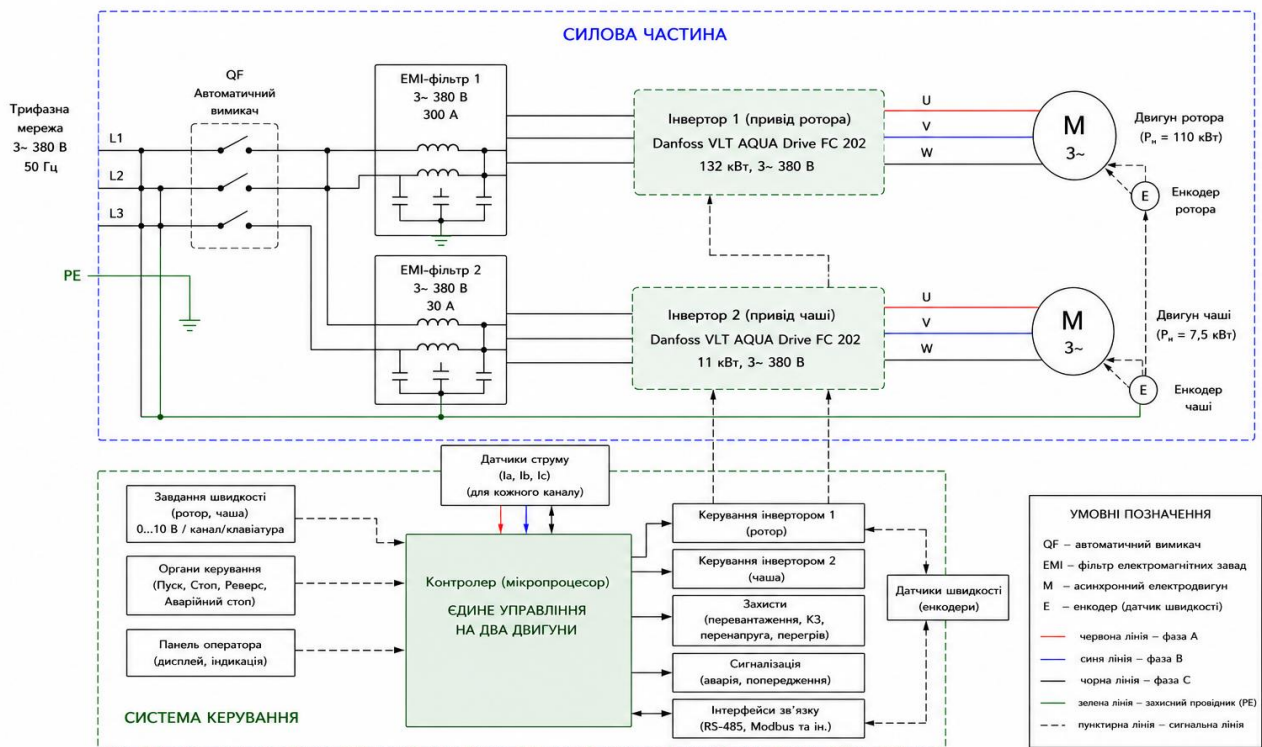


Рис.2.5 Функціональна схема змішувального міксеру Eirich W40

Функціональна схема електроприводу змішувального міксеру включає в себе силову частину, частину зворотнього зв'язку та систему керування, які забезпечують перетворення електричної енергії та керування роботою асинхронних електродвигунів ротора і чаші.

Перейдімо до пояснення кожного з елементів та частин цієї схеми:

Трифазна мережа — це джерело електричної енергії, яке забезпечує живлення електроприводу змінною напругою 380 В частотою 50 Гц.

Автоматичний вимикач — це комутаційний апарат, який призначений для захисту електроприводу від коротких замикань і перевантажень, а також для ручного вмикання та вимикання установки.

ЕМІ-фільтр — це елемент електричного кола, який призначений для зменшення електромагнітних завад, що виникають під час роботи інвертора, та запобігання їх проникненню в мережу живлення.

Інвертор напруги — це силовий перетворювач, який призначений для перетворення постійної напруги в трифазну змінну напругу з регульованою частотою та амплітудою, що забезпечує керування швидкістю обертання електродвигунів.

Асинхронний електродвигун ротора — це виконавчий механізм електроприводу, який призначений для створення обертального руху ротора міксера та здійснення процесу перемішування матеріалу.

Асинхронний електродвигун чаші — це виконавчий механізм, який призначений для обертання змішувальної чаші та забезпечення подачі матеріалу в зону перемішування.

Датчики струму — це вимірювальні пристрої, які призначені для контролю струмів у фазах електродвигуна та використовуються для захисту і реалізації алгоритмів керування.

Датчики напруги інвертора — це пристрої, які призначені для вимірювання вихідної напруги інвертора та контролю параметрів живлення електродвигунів.

Енкодер (датчик швидкості) — це вимірювальний пристрій, який призначений для визначення швидкості обертання вала електродвигуна та формування сигналу зворотного зв'язку.

Контролер (мікропроцесор) — це центральний елемент системи керування, який призначений для обробки сигналів з датчиків, реалізації алгоритму керування та формування керуючих сигналів для інвертора. Особливістю даної

системи є те, що один контролер здійснює керування двома електродвигунами одночасно.

Блок задання швидкості — це пристрій, який призначений для формування сигналу, що визначає необхідну швидкість обертання електродвигунів.

Органи керування — це елементи інтерфейсу, які призначені для подачі команд пуску, зупинки, реверсу та аварійного відключення електроприводу.

Панель оператора — це пристрій відображення і введення інформації, який призначений для контролю параметрів роботи та налаштування електроприводу.

Система захисту — це сукупність технічних засобів, яка призначена для запобігання аварійним режимам роботи, таким як перевантаження, коротке замикання, перенапруга та перегрів.

Система сигналізації — це елемент системи керування, який призначений для інформування оператора про стан роботи електроприводу та виникнення аварійних ситуацій.

Зворотній зв'язок — це функціональний елемент системи керування, який призначений для порівняння заданих і фактичних параметрів роботи та корекції керуючих впливів, що забезпечує стабільність і точність роботи електроприводу.

2.8 Розрахунок параметрів інверторів напруги для ротора та чаші

Автономний інвертор напруги є основним елементом силової частини частотного електроприводу. Він призначений для перетворення постійної напруги ланки постійного струму у трифазну змінну напругу з регульованою частотою та амплітудою. Саме за допомогою інвертора здійснюється керування швидкістю обертання асинхронних електродвигунів ротора та чаші.

Оскільки в системі використовується один загальний блок керування на два двигуни, інвертори повині забезпечувати живлення двох приводів: двигуна ротора потужністю 110 кВт та двигуна чаші потужністю 7,5 кВт.

Розпочинати будемо з розрахунків інвертора для ротора. Потужність нашого двигуна становить 110 кВт, для забезпечення запасу по потужності приймаємо коефіцієнт запасу $k=1.2$.

Таким чином скориставшись формулою:

$$P_{\text{інв.р}} = P_{\text{р}} * k_z \quad (2.22)$$

$$P_{\text{інв.р}} = 110 * 1.2 = 132 \text{ кВт} \quad (2.23)$$

Отже, для приводу ротора обираємо інвертор потужністю в 132 кВт.

Розрахуємо номінальний струм інвертора ротора за формулою:

$$I_{\text{інв.р}} = \frac{P_{\text{інв}}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \eta \cdot \cos\varphi} \quad (2.24)$$

Вихідні данні:

$$U = 380 \text{ В}$$

$$\eta = 0.94$$

$$\cos\varphi = 0.89$$

$$I_{\text{інв.р}} = \frac{132000}{1.73 * 380 * 0.94 * 0.89} = 239,8 \text{ А} \quad (2.25)$$

З урахуванням стандартних потужностей інверторів зі струмом 250 А та потужністю в 132 кВт, для приводу ротора обрано Danfoss VLT AQUA Drive FC 202, 132 кВт, 3~380.

Продовжувати будемо з розрахунків інвертора для чаші. Потужність нашого двигуна становить 7.5 кВт, для забезпечення запасу по потужності приймаємо коефіцієнт запасу $k=1.2$.

Таким чином скориставшись формулою:

$$P_{\text{інв.ч}} = P_{\text{ч}} * k_3 \quad (2.26)$$

$$P_{\text{інв.ч}} = 7.5 * 1.2 = 9 \text{ кВт} \quad (2.27)$$

Отже, для приводу ротора обираємо інвертор потужністю в 11 кВт.

Розрахуємо номінальний струм інвертора ротора за формулою:

$$I_{\text{інв.ч}} = \frac{P_{\text{інв.ч}}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \eta \cdot \cos\varphi} \quad (2.28)$$

Вихідні данні:

$$U = 380 \text{ В}$$

$$\eta = 0.88$$

$$\cos\varphi = 0.84$$

$$I_{\text{інв.ч}} = \frac{11000}{1.73 * 380 * 0.88 * 0.84} = 22.6 \text{ А} \quad (2.29)$$

З урахуванням стандартних потужностей інверторів зі струмом не менше 24 А та потужністю в 11 кВт, для приводу чаші обрано Danfoss VLT AQUA Drive FC 202, 11 кВт, 3~380.

Для розуміння всіх характеристик створимо не велику таблицю, де вкажемо характеристики обраних нами інверторів, а саме це інвертор Danfoss VLT AQUA Drive FC 202, 132 кВт, 3~380 для ротора та інвертор Danfoss VLT AQUA Drive FC 202, 11 кВт, 3~380 для чаші.

Таблиця 2.2

Інвертори для управління двигунами та їх характеристики

Серія	Danfoss VLT AQUA Drive FC 202	Danfoss VLT AQUA Drive FC 202
Номінальна потужність	132 кВт	11 кВт
Напруга живлення	3×380–480 В	3×380–480 В
Частота мережі	50/60 Гц	50/60 Гц
Вихідна напруга	0-380 В	0-380 В
Діапазон вихідної частоти	0-480 Гц	0-480 Гц
Номінальний струм	260 А	24 А
Тип керування	Векторне/скалярне	Векторне/скалярне
Тип силових ключів	IGBT	IGBT
Частота ШІМ	2–16 кГц	2–16 кГц
Перевантажувальна здатність	110 % протягом 60 с	110 % протягом 60 с
Наявність PID-регулятора	Так	Так
Підтримка енкодера	Так	Так
Інтерфейси зв'язку	Modbus, RS-485	Modbus, RS-485
Ступінь захисту	IP20	IP20

Робоча температура	0...+50 °	0...+50 °
Охолодження	Примусове повітряне	Примусове повітряне
ККД	≈97 %	≈97 %

Обрані інвертори серії Danfoss VLT AQUA Drive FC 202 забезпечують незалежне керування приводами ротора та чаші, підтримують плавне регулювання швидкості, векторне керування та режими динамічного гальмування.

2.9 Вибір ЕМІ фільтрів

Під час роботи частотних перетворювачів у мережі живлення виникають високочастотні електромагнітні завади, які негативно впливають на роботу систем автоматизації, датчиків та силового обладнання. Для зменшення рівня електромагнітних перешкод у системі електроприводу застосовуються ЕМІ-фільтри.

ЕМІ-фільтр призначений для:

- зменшення високочастотних перешкод;
- підвищення електромагнітної сумісності;
- захисту мережі живлення;
- зменшення впливу інвертора на інше обладнання;
- стабілізації роботи системи керування.

Оскільки в системі використовується два інвертори то необхідно виконати окремі розрахунки ЕМІ-фільтрів для кожного приводу та обрати за характеристиками які підійдуть.

Розрахунок ЕМІ-фільтра для приводу ротор:

Вже відомо що потужність $P_{\text{інв.р}} = 132$ кВт, розрахунковий струм $I_{\text{інв.р}} = 239.8$ А та для забезпечення надійної роботи системи візьмемо коефіцієнт запасу $k=1.2$.

Тоді необхідний струм ЕМІ-фільтра:

$$I_{\text{ЕМІ.р}} = I_{\text{інв.р}} * k \quad (2.30)$$

$$I_{\text{ЕМІ.р}} = 239.8 * 1.2 = 287.8 \text{ А} \quad (2.31)$$

За стандартним рядом за струмом нам підходить на 300 А, з чого вибір припадає на ЕМІ-фільтр: TDK RTHN-5300 з основними характеристиками:

Основні характеристики:

Номінальний струм 300 А

Напруга 500 В

Частота мережі -50\60 Гц

Перейдемо до наступного ЕМІ-фільтра чаші.

Розрахунок ЕМІ-фільтра для приводу чаші:

Вже відомо що потужність $P_{\text{інв.ч}} = 11$ кВт, розрахунковий струм $I_{\text{інв.р}} = 22.6$ А та для забезпечення надійної роботи системи візьмемо коефіцієнт запасу $k=1.2$.

Тоді необхідний струм ЕМІ-фільтра:

$$I_{\text{ЕМІ.ч}} = I_{\text{інв.ч}} * k \quad (2.34)$$

$$I_{\text{ЕМІ.р}} = 22.6 * 1.2 = 27.1 \text{ А} \quad (2.35)$$

За стандартним рядом за струмом нам підходить на 30 А, з чого вибір припадає на ЕМІ-фільтр: TDK RTHN-5030 з основними характеристиками:

Основні характеристики:

Номінальний струм 30 А

Напруга 500 В

Частота мережі -50\60 Гц

2.10 Розрахунок автоматичного вимикача

Сумарна потужність інверторів становить 143 кВт розрахуємо струм який повинен витримувати наш автоматичний вимикач

Приймаємо:

$$U=380\text{В}$$

$$\eta=0.94$$

$$\cos\varphi=0.9$$

Скористаємось формулою:

$$I_{\text{авт.в}} \frac{143000}{1.73 \cdot 380 \cdot 0.94 \cdot 0.9} = 256.8 \text{ А} \quad (2.36) .$$

Для забезпечення надійної роботи системи порахуємо запас з коефіцієнтом $k=1.2$

$$I_{\text{авт.в}} = 256.8 \cdot 1.2 = 308.16 \text{ А} \quad (2.37)$$

За стандартним рядом приймаємо автоматичний вимикач:

Schneider Electric NSX400N 400 А тип захисту тепловий та електромагнітний

Запас по відключенню до 50 000 А, момент відключення довго тривалий приблизно 500 А.

2.11 Обчислення датчиків струму та напруги

Датчики струму та напруги є важливими елементами системи керування електроприводом. Вони призначені для контролю параметрів силової частини, формування сигналів зворотного зв'язку та забезпечення захисту електроприводу від аварійних режимів.

У даній системі електроприводу використовуються два асинхронні двигуни: двигун ротора потужністю **110 кВт** та двигун чаші потужністю **7,5 кВт**. Тому датчики струму повинні забезпечувати вимірювання струмів у силових колах обох електродвигунів.

Номінальний струм двигуна ротора в нас становить 200 А, двигуна чаші становить 15.4 А, для вибору датчиків струму врахуємо запас по струму. Приймаємо коефіцієнт запасу 1.5, та переходимо до розрахунків:

$$I_{д.р} = I_p * k_{запас} = 200 * 1.5 = 300 \text{ А} \quad (2.38)$$

Для датчика чаші:

$$I_{д.ч} = I_{ч} * k_{запас} = 15.4 * 1.5 = 23.1 \text{ А} \quad (2.39)$$

Отже, для приводу ротора доцільно застосувати датчик струму з діапазоном вимірювання не менше **300 А**, а для приводу чаші не менше **25 А**.

Датчик напруги, обирається з запасом по напрузі, з урахуванням максимальної напруги після фільтрів. А напруга в нас становить 380-400 В. З урахуванням цих чисел візьмемо коефіцієнт запасу 1.2.

З урахуванням запасу:

$$U_d = U_{dc} * k_{\text{запасу}} = 400 * 1.2 = 480\text{В} \quad (2.40)$$

Отже, датчик напруги повинен мати діапазон вимірювання не менше 480 В

Також для контролю вихідної напруги інвертора можуть застосовуватись датчики фазної або лінійної напруги. Оскільки живлення двигунів здійснюється від інвертора з вихідною напругою до **380 В**, датчики змінної напруги повинні мати діапазон вимірювання не менше **500 В**.

Таким чином, для системи керування електроприводом приймаємо такі вимірювальні елементи: датчики струму для ротора з діапазоном **300 А**, датчики струму для чаші з діапазоном **25 А**, датчик напруги з діапазоном **480 В** та датчики вихідної напруги інвертора з діапазоном **500 В**.

Застосування цих датчиків дозволяє контролювати робочі параметри електроприводу, реалізувати зворотний зв'язок у системі керування та забезпечити захист обладнання від перевантажень, перенапруги та аварійних режимів.

2.12 Вибір датчика швидкості та перетворювача

Для забезпечення роботи системи керування необхідно вимірювати швидкість обертання електродвигунів. Для цього використовуються датчики швидкості, які формують сигнал зворотного зв'язку.

У даній роботі доцільно застосувати інкрементальні енкодери, оскільки вони прості, надійні та широко використовуються в промислових електроприводах. Енкодер встановлюється на вал двигуна і формує імпульсний сигнал, частота якого пропорційна швидкості обертання.

Для обох двигунів, ротора та чаші обираємо однаковий тип датчика, що спрощує систему. Як оптимальний варіант приймаємо інкрементальний енкодер типу **Omron E6B2-CWZ6C** з роздільною здатністю **1024 імпуль/об.** Даний датчик забезпечує достатню точність вимірювання та стабільну роботу в промислових умовах.

Для узгодження сигналу енкодера з контролером необхідно застосувати перетворювач сигналів. У якості перетворювача доцільно використати інтерфейсний модуль типу **Autonics ENC-1**, який забезпечує перетворення сигналів енкодера в стандартні рівні TTL або HTL та підвищує завадостійкість системи.

2.13 Розрахунок коефіцієнтів регуляторів струму та швидкості чаші з ротором

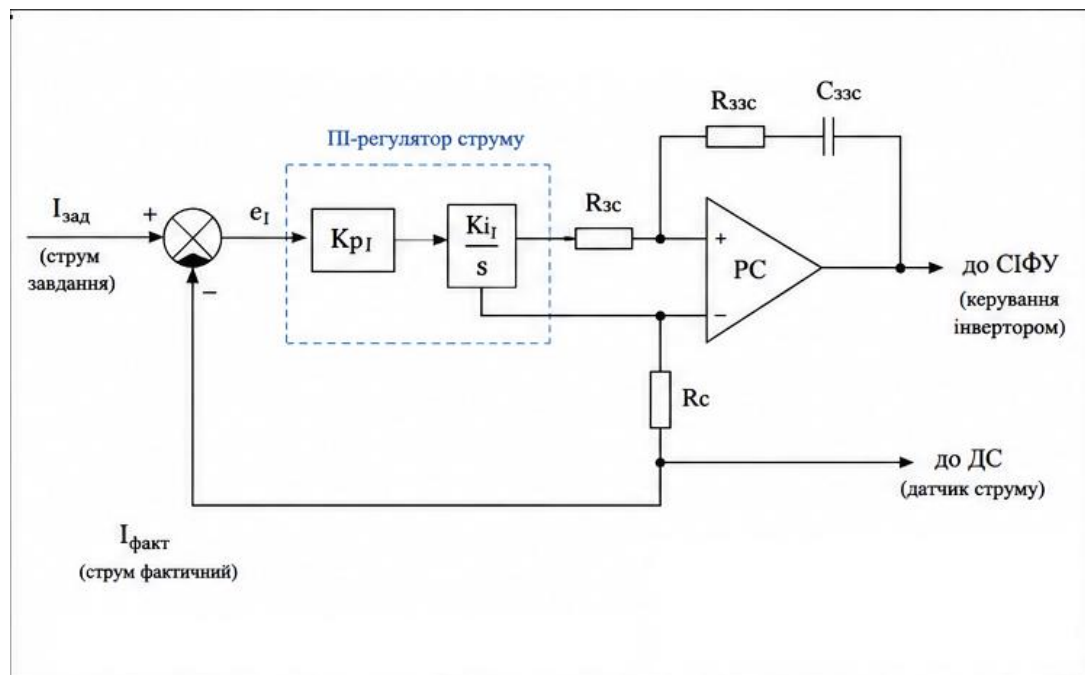


Рис.2.6 Схема регулятора струму ротора

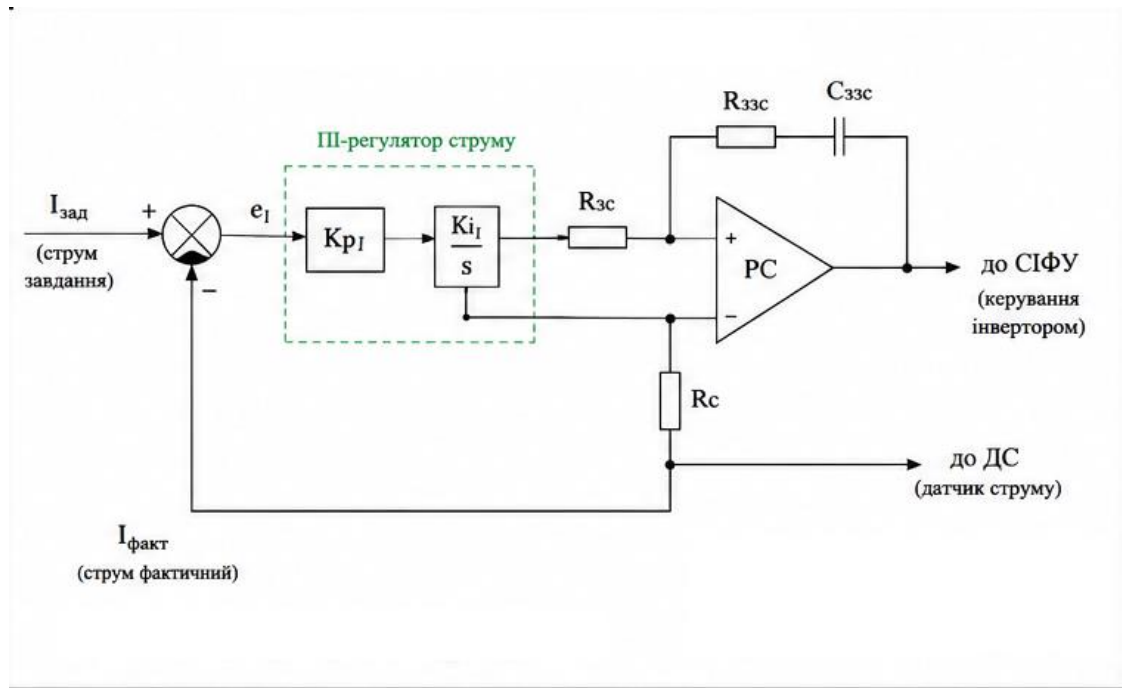


Рис.2.7 Схема регулятора струму чаші

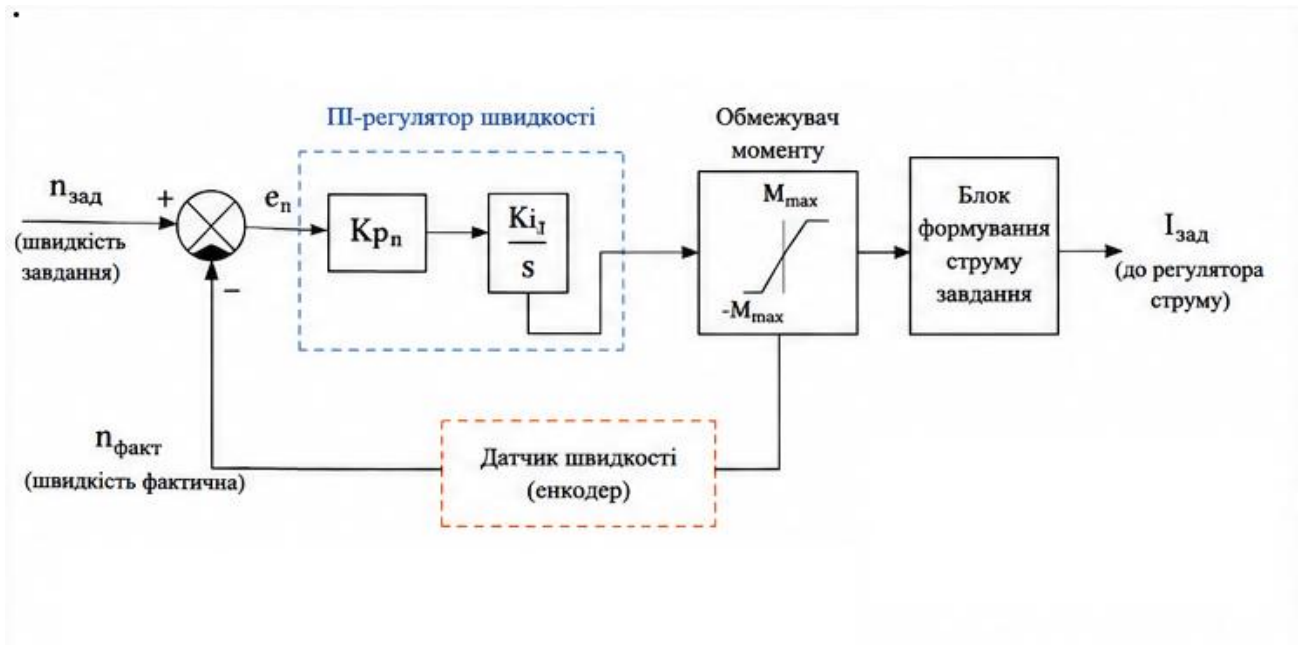


Рис.2.8 Схема регулятора швидкості ротора

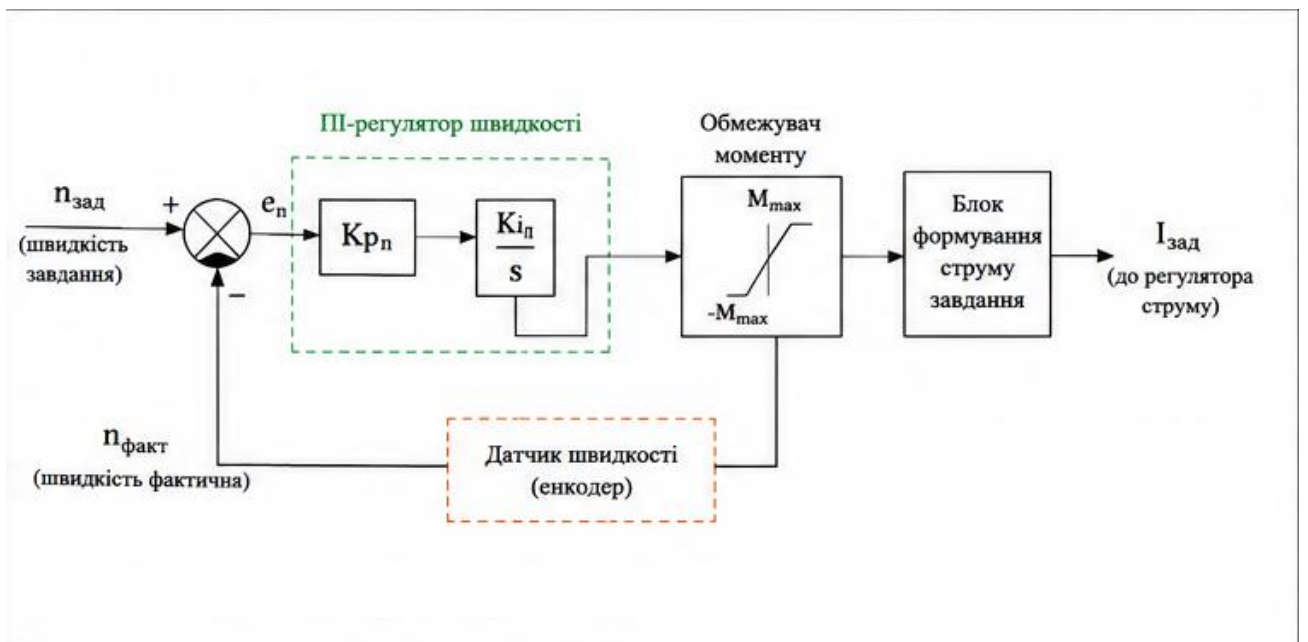


Рис.2.9 Схема регулятора швидкості чаші

Розрахунок коефіцієнтів регуляторів.

Регулятор швидкості призначений для підтримання заданої швидкості обертання електродвигуна незалежно від зміни навантаження.

Для регулятора швидкості ротора постійна часу механічного кола 0.8 с.

Пропорційний коефіцієнт:

$$K_{p1} \frac{1}{T_{M1}} = \frac{1}{0.8} = 1.25 \quad (2.41)$$

Інтегральний коефіцієнт:

$$K_{i1} = \frac{K_{p1}}{2T_{M1}} = \frac{1.25}{2 \cdot 0.8} = 0.78 \quad (2.42)$$

Для регулятора швидкості чаші приймаємо механічну постійну часу 1.5 с

Пропорційний коефіцієнт:

$$K_{p2} \frac{1}{T_{M2}} = \frac{1}{1.5} = 0.67 \quad (2.43)$$

Інтегральний коефіцієнт:

$$K_{i2} = \frac{K_{p2}}{2T_{m2}} = \frac{0.67}{2 * 1.5} = 0.22 \quad (2.44)$$

Регулятор струму призначений для обмеження струму двигуна та захисту інвертора і електродвигуна від перевантаження

Для регулятора струму ротора приймаємо електричну постійну часу 0.02 с

Пропорційний коефіцієнт:

$$K_{pc1} \frac{1}{T_{e1}} = \frac{1}{0.02} = 50 \quad (2.45)$$

Інтегральний коефіцієнт:

$$K_{ic1} = \frac{K_{pc1}}{2T_{e1}} = \frac{50}{2 * 0.02} = 1250 \quad (2.46)$$

Для регулятора струму чаші приймаємо електричну постійну часу 0.03 с

Пропорційний коефіцієнт:

$$K_{pc2} \frac{1}{T_{e2}} = \frac{1}{0.03} = 33.3 \quad (2.47)$$

Інтегральний коефіцієнт:

$$K_{ic2} = \frac{K_{pc2}}{2T_{e2}} = \frac{33.3}{2 * 0.03} = 555 \quad (2.48)$$

Таблиця 2.3

Розраховані коефіцієнти регуляторів

Регулятор	K_p	K_i	Призначення
Регулятор швидкості ротора	1.25	0.78	Підтримка швидкості 150 об/хв
Регулятор швидкості чаші	0.67	0.22	Підтримка швидкості 20 об/хв
Регулятор струму ротора	50	1250	Обмеження струму до 300 А
Регулятор струму чаші	33.3	555	Обмеження струму до 23.1 А

Отримані коефіцієнти використовуються як початкові значення для налаштування цифрових ПІ-регуляторів у частотних перетворювачах

2.14 Перевірка розрахунків коефіцієнтів на моделі

Для перевірки правильності виконаних розрахунків було розроблено структурні моделі електроприводів ротора та чаші у середовищі **MATLAB**. Моделювання дозволяє оцінити роботу системи керування при пуску, усталеному режимі та гальмуванні, а також перевірити відповідність розрахованих параметрів регуляторів.

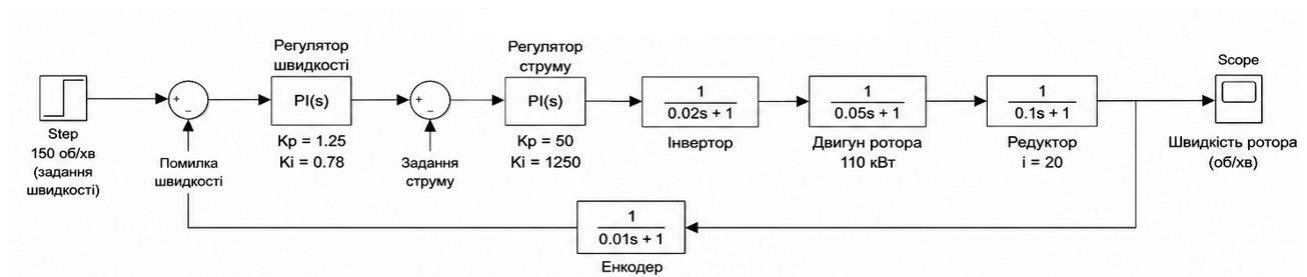


Рис.2.10 Структурна схема приводу ротора

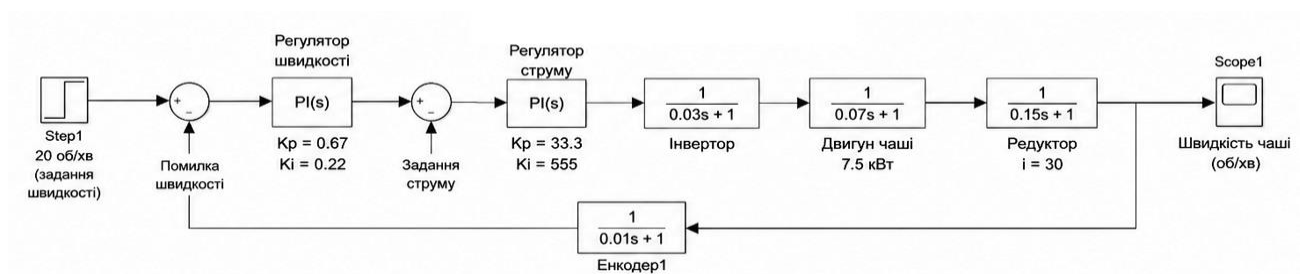


Рис.2.11 Структурна схема приводу чаші

Схеми відображають взаємодію регуляторів, інверторів, двигунів та зворотних зв'язків приводів ротора і чаші.

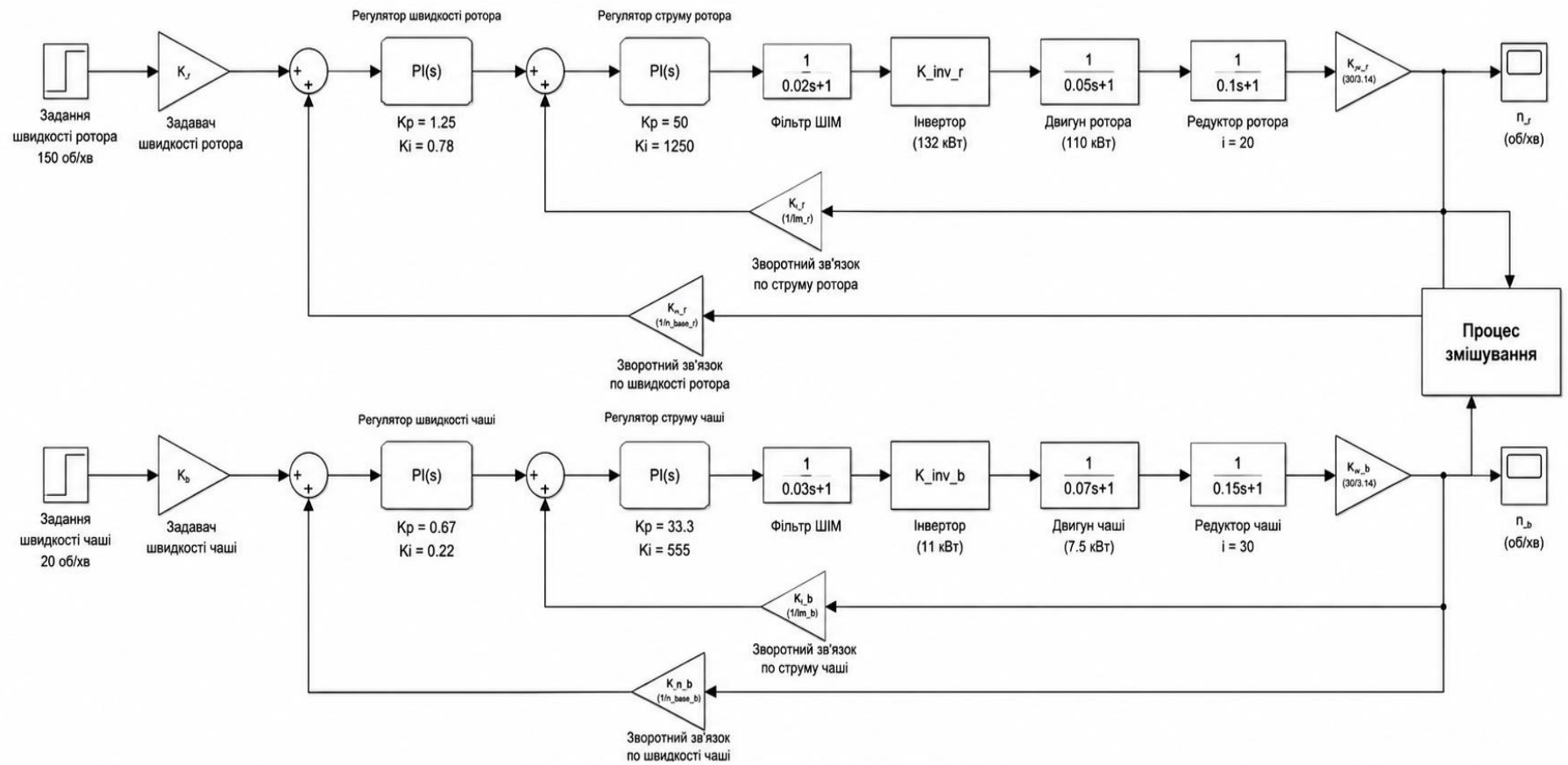


Рис.2.12 Загальна структурна схема системи змішування

2.15 Загальні безпекові вимоги

Експлуатація змішувального міксера повинна здійснюватися відповідно до вимог нормативних документів з охорони праці. До роботи допускаються лише працівники, які пройшли відповідне навчання, інструктаж та перевірку знань з техніки безпеки. Перед початком роботи необхідно перевірити справність обладнання, наявність заземлення та захисних огорожень.

У процесі експлуатації забороняється працювати з несправними механізмами, відкритими обертовими частинами або пошкодженими електричними з'єднаннями. Особливу небезпеку становлять рухомі частини міксера, тому всі вони повинні бути надійно закриті захисними кожухами. Робоче місце повинно утримуватися в чистоті та порядку, щоб уникнути травмування.

При виникненні аварійної ситуації необхідно негайно зупинити обладнання за допомогою аварійного вимикача та повідомити відповідальних осіб.

Дотримання загальних вимог безпеки дозволяє знизити ризик виробничого травматизму та забезпечити безпечні умови праці.

2.16 Електробезпека та основні правила

Електропривід міксера працює від трифазної мережі напругою 380 В, що становить підвищену небезпеку для обслуговуючого персоналу. Тому особлива увага приділяється заходам електробезпеки. Всі металеві частини обладнання повинні бути заземлені, що дозволяє запобігти ураженню електричним струмом у разі пошкодження ізоляції.

Для захисту від аварійних режимів застосовуються автоматичні вимикачі, які відключають живлення при коротких замиканнях або перевантаженнях. Електричні кабелі повинні мати надійну ізоляцію та відповідати умовам експлуатації. Забороняється виконувати будь-які ремонтні або налагоджувальні роботи під напругою.

Перед проведенням технічного обслуговування необхідно повністю відключити електроживлення та перевірити відсутність напруги.

Обслуговуючий персонал повинен використовувати засоби індивідуального захисту, такі як діелектричні рукавички та килимки. Дотримання цих вимог забезпечує безпечну експлуатацію електроприводу.

2.17 Шкідливий вплив вібрацій та шумів

Під час роботи змішувального міксера виникають шум та вібрації, які можуть негативно впливати на здоров'я працівників. Основними джерелами шуму є електродвигуни, редуктори та механічні частини міксера. Вібрації виникають унаслідок обертання робочих органів та нерівномірного навантаження.

Тривалий вплив шуму може призвести до зниження слуху, а вібрації — до погіршення стану опорно-рухового апарату. Для зменшення шкідливого впливу необхідно застосовувати технічні заходи, такі як балансування обертових частин, використання амортизаторів та віброгасників, а також встановлення звукоізоляційних кожухів.

Крім того, персонал повинен використовувати індивідуальні засоби захисту, зокрема протишумові навушники. Регулярне технічне обслуговування обладнання також сприяє зниженню рівня шуму та вібрацій.

2.18 Санітарно-гігієнічні умови

Робота в агломераційному цеху характеризується підвищеною запиленістю, температурою та вологістю, що може негативно впливати на стан здоров'я працівників. Для забезпечення нормальних умов праці необхідно застосовувати вентиляційні системи, які забезпечують очищення повітря та підтримання допустимих параметрів мікроклімату.

Освітлення робочого місця повинно відповідати встановленим нормам, що забезпечує безпечне виконання робіт та знижує втому працівників. Також необхідно регулярно проводити прибирання виробничих приміщень для зменшення рівня запиленості.

Працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту, такими як респіратори, спеціальний одяг та взуття. Дотримання санітарно-гігієнічних вимог сприяє покращенню умов праці та зменшенню ризику професійних захворювань.

ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

У дипломній роботі було розроблено електропривод змішувального міксера агломераційного цеху з використанням асинхронних електродвигунів та частотного керування. У процесі виконання роботи проведено аналіз технологічного процесу та визначено основні вимоги до електроприводу.

У першому розділі виконано огляд принципів роботи змішувального обладнання та визначено основні параметри його роботи. Проаналізовано конструктивні особливості міксера та режими його функціонування.

У другому розділі проведено розрахунок основних параметрів електроприводу, визначено необхідну потужність та обрано електродвигуни для приводу ротора і чаші. Виконано кінематичні розрахунки, побудовано графіки розгону та гальмування, а також обґрунтовано вибір редукторів і схеми підключення двигунів.

У третьому розділі розроблено функціональну схему електроприводу з єдиною системою керування для двох двигунів. Виконано розрахунок параметрів автономного інвертора напруги, обрано ємнісний фільтр, визначено параметри датчиків струму, напруги та швидкості, а також здійснено вибір вимірювальних та керуючих елементів системи.

У четвертому розділі розглянуто питання охорони праці та безпеки робочої діяльності, зокрема вимоги електробезпеки, вплив шуму і вібрацій, а також санітарно-гігієнічні умови праці в агломераційному цеху

У результаті виконаної роботи розроблено електропривод, який забезпечує ефективну, надійну та безпечну роботу змішувального міксера. Використання частотного керування та зворотного зв'язку дозволяє підвищити точність регулювання швидкості, зменшити пускові струми та покращити енергетичні характеристики системи.

Отримані результати можуть бути використані при проектуванні та модернізації електроприводів змішувального обладнання в умовах промислового виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Боярчук В.І. Електропривод промислових установок. – Київ: Вища школа, 2018. – 320 с.

Копилов І.П. Електричні машини. – Москва: Енергоатоміздат, 2017. – 608 с.

Костенко М.П., Піотровський Л.М. Електричні машини. – Київ: Вища школа, 2016. – 495 с.

Технічна документація на енкодери Omron E6B2. – Omron, 2021.

Чиликін М.Г. Основи електропривода. 2015. – 368 с.

ДСТУ EN 60204-1:2015. Безпека машин. Електрообладнання машин.

ДСТУ ІЕС 60034-1:2019. Машини електричні обертові. Загальні технічні вимоги.

Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). – Київ, 2017.

Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕЕС). – Київ, 2018.

Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (ПБЕЕС). – Київ, 2018.

Mohan N., Undeland T., Robbins W. Power Electronics: Converters, Applications and Design. – John Wiley & Sons, 2017.

Bose B.K. Modern Power Electronics and AC Drives. – Prentice Hall, 2016.

Leonhard W. Control of Electrical Drives. – Springer, 2018.



Метадані

ДОКУМЕНТ

Заголовок

141-1д-2026врб

Автор

141-1д-2026врб

Науковий керівник / Експерт

Модло Є

ІД документу

334133338

ОРГАНІЗАЦІЯ

Назва організації

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

підрозділ

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

ЗВІТ

Дата звіту

6/2/2026

Дата редагування

Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.

2.46%

2.46%

КП 1

5571

Кількість слів

0%

0%

КЦ

41544

Кількість символів

Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв



25

Інтервали



0

Мікропробіли



0

Білі знаки



0

Парафрази (SmartMarks)



8

Джерела

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Колір тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз

Колір тексту

#	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	Удосконалення системи електропривода змінного струму для підвищення енергоефективності 5/13/2026	13 (0.23 %)

ЗГОДА здобувача(чки) вищої освіти
Державного університету економіки і технологій про перевірку
кваліфікаційної роботи на прояви академічного плагіату
та розміщення в Репозитарії Університету

Я, Борбулевич Денис Сергійович (ППП),
підтримую політику Державного університету економіки і технологій з
академічної доброчесності і відкритого доступу.

Засвідчую, що кваліфікаційна бакалаврська (магістерська) робота
Електромеханічне обладнання металургійного виробництва. Електропривод
мміксеру Eirich W40 агломераційного цеху

(назва роботи повністю) виконана самостійно та не містить академічного
плагіату. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) недозволену допомогу під час
підготовки цієї роботи. Робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело.

Із чинним Положенням про запобігання та виявлення академічного
плагіату в роботах здобувачів вищої освіти Державного університету економіки
і технологій ознайомлений(а). Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у
кваліфікаційній роботі порушення норм академічної доброчесності робота не
допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Також я поінформований(на), що відповідно до «Положення про
Репозитарій (електронну базу даних) Державного університету економіки і
технологій» зазначена робота буде розміщена в Електронному архіві
Університету (Репозитарії ДУЕТ). З умовами такого розміщення
ознайомлений(на).

16.06.2026

Дата



підпис

Борбулевич.Д.С

ініціали, прізвище (власноруч)