

Кафедра Е та М



**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА**

**на тему «МОДЕРНІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ НОРІЇ ДЛЯ СИПУЧИХ  
МАТЕРІАЛІВ»**

(назва кваліфікаційної роботи згідно наказу ОНТУ)

Здобувача (ки) Черноногов В. А.  
(прізвище, ініціали)

4 курсу АЕМ-40 групи

Керівник д.т.н., доцент Осадчук П. І.  
(посада, прізвище та ініціали)

**Кваліфікаційна робота допускається до захисту**

Рішення кафедри від 17.06. 2024 р., протокол № 12 .

Завідувач(ка) кафедри Е та М  
(назва кафедри) \_\_\_\_\_ (підпис)

Петро Осадчук  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

**Одеса – 2024 рік**

# ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут: *Комп'ютерної інженерії, автоматизації, робототехніки та програмування ім.П.М.Платонова*

Факультет: *Автоматизації та робототехніки*

Кафедра: *Електромеханіки та мехатроніки*

Рівень ВО: *перший*

Ступень ВО: *бакалавр*

Галузь знань: *14 – Електрична інженерія*

Спеціальність: *141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка*

Освітня програма: *Електромеханічні системи з інтелектуальним керуванням*

«ЗАТВЕРДЖУЮ»  
Зав. кафедри ЕтаМ  
\_\_\_\_\_ Осадчук П.І.  
«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА здобувач СВО «Бакалавр» АЕМ - 40 Черноногов Владислав Анатольович

1. Тема роботи: **«Модернізація електроприводу норії для сипучих матеріалів»**  
Керівник роботи: Осадчук Петро Ігорович, д.т.н., доцент. Затверджено наказом ОНТУ № 797-03 від 19.12.2023 р.  
2. Строк подання студентом роботи: 15.06.2024 р.
3. Вхідні дані до проекту: Технічні характеристики електроприводу норії для підготовки сировини при отриманні рослинної олії: висота підняття вантажу, 4 м., маса 722 кг., потужність електроприводу мішалки 5 кВт.; обґрунтувати інформативні параметри управління електропривода норії.
4. Зміст розрахунково-конструкторської частини пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):  
**Вступ. 1 Загальна характеристика роботи:** Вибір об'єкта управління для модернізації системи електроприводу, опис і аналіз реалізованого ним технологічного процесу і відповідного обладнання. Актуальність теми. Об'єкт і мета модернізації.
- 2 Розрахунково-конструкторська частина:** Вимоги до автоматизованого електропривода норії для підготовки сировини при отриманні рослинної олії. Розрахунок потужності і вибір двигуна, перевірка за перевантаженням. Розрахунок і побудування механічної характеристики двигуна. Схема управління електропривода.
- 3 Дослідження динамічних режимів роботи електропривода на ЕОМ:** Розрахунок параметрів схеми заміщення АД електропривода для MATLAB та розробка імітаційної моделі електроприводу норії для підготовки сировини при отриманні рослинної олії, дослідження її роботи у середовищі Simulink.
- 4 Організаційна та технологічна частина:** Організація технології монтажу, ремонту і обслуговування та техніки безпеки праці при обслуговуванні електропривода.
- 5 Економічна частина:** Розрахунок економічної ефективності від модернізації електропривода центрифуги для очистки соняшникової олії.
- 6 Результативна частина:** Висновки і рекомендації за прийнятими в проекті рішеннями.  
Список використаних джерел, на які є посилання.  
Додатки.

Перелік демонстраційного матеріалу. Слайди презентації (обов'язкові):

1. Титульний слайд. 2. Актуальність теми, об'єкт проектування, мета і завдання роботи. 3. Технологічна схема виробництва соняшникової олії. 4. Конструкція і технічні характеристики норії. 5. Розрахунок потужності і вибір двигуна електропривода норії. 6. Модель та результати моделювання електропривода норії до його модернізації (прямий пуск двигуна). 7. Модель та результати моделювання електропривода після його модернізації (з частотним регулюванням). 8. Висновки (технічні, технологічні, т/б і охорона праці, економічні).

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічна частина			

7. Дата видачі завдання: 15.12.2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ  
ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів	Прим
1	1. Загальна характеристика роботи: вибір об'єкта управління для модернізації системи електроприводу, опис і аналіз реалізованого ним технологічного процесу і відповідного обладнання. Актуальність теми. Об'єкт і мета модернізації.	05.03.2024	
2	2 Розрахунково-конструкторська частина: вимоги до автоматизованого електропривода норії. Розрахунок потужності і вибір двигуна, перевірка за перевантаженням. Розрахунок і побудування механічної характеристики двигуна.	10.04.2024	
3	3 Дослідження динамічних режимів роботи електропривода на ЕОМ: розрахунок параметрів схеми заміщення АД електропривода для MATLAB та розробка імітаційної моделі електропривода норії.	10.05.2024	
4	4. Організаційна та технологічна частина: організація технології монтажу, ремонту і обслуговування та техніки безпеки праці при обслуговуванні електропривода.	25.05.2024	
5	5. Економічна частина: Розрахунок економічної ефективності від модернізації електропривода устаткування для нейтралізації соняшникової олії.	10.06.2024	
6	Захист кваліфікаційної роботи бакалавра.	27.06.2024	

Здобувач: Черноногов В. А. \_\_\_\_\_

Керівник: Осадчук П.І. \_\_\_\_\_

*Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних веб-ресурсах ОНТУ. Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.*

Здобувач-дипломник \_\_\_\_\_ Черноногов В. А.

## РЕФЕРАТ

Черноногов В. А. «Модернізація електроприводу норії для сипучих матеріалів». Кваліфікаційна робота бакалавра. – Одеса: ОНТУ, 2024. – 78 с. Бібліогр: 14. Іл: 21. Табл: 15.

В роботі розрахована потужність приводного двигуна. Здійснена перевірка за перевантажувальною здатністю. За результатами розрахунку вибрана система «частотний перетворювач – асинхронний двигун змінного струму. Розраховані та побудовані механічні характеристики для режимів роботи, розроблена функціональна схема електропривода. Проведено дослідження модернізованої СУЕП шляхом моделювання в середовищі Matlab, а також перевірка на стійкість та якість. Проведений техніко-економічний розрахунок системи електропривода. Розроблені заходи з електробезпеки та охорони праці.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** норія, соняшникова олія, електропривод, імітаційна модель, ефективність.

## ABSTRACT

V. A. Chernonogov "Modernization of electric noria drive for loose materials." Bachelor's qualifying work. – Odesa: ONTU, 2024. – 78 p. Bibliography: 14. Illustration: 21. Table: 15.

The power of the drive motor is calculated in the work. Checked for overload capacity. Based on the results of the calculation, the "frequency converter - AC asynchronous motor" system was selected. The mechanical characteristics for the operating modes were calculated and constructed, and the functional diagram of the electric drive was developed. A study of the modernized SUEP was carried out by means of simulation in the Matlab environment, as well as a check for stability and quality. The technical and economic calculation of the electric drive system was carried out. Electrical safety and labor protection measures have been developed.

KEY WORDS: vertical conveyor, sunflower oil, electric drive, simulation model, efficiency.

## ЗМІСТ

	стр.
ВСТУП	8
1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	10
1.1 Загальна характеристика технологічного процесу підготовки сировини для отримання соняшникової олії	10
1.2 Характеристика сировини та продукції	15
1.3 Особливості технології	22
1.4 Організація та принципи функціонування комплексів технологічного обладнання.	14
1.5 Конструкції і технічні характеристики норій	16
1.6 Характеристика електропривода норії	24
2 ФОРМУЛЮВАННЯ ВИМОГ ДО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ, ОБҐРУНТУВАННЯ ТИПУ ДВИГУНА, РОЗРАХУНОК ЙОГО ПОТУЖНОСТІ	25
2.1 Вимоги до електропривода норії	25
2.2 Обґрунтування і вибір типу двигуна, розрахунок потужності та перевірка за перевантаженням	25
2.3 Визначення потужності і вибір електродвигуна	28
2.4 Розрахунок і вибір кабелю живлення електропривода	30
2.5 Розрахунок і вибір апаратів керування та захисту електропривода	32
2.6 Обґрунтування вибору електроприводу та розборка його функціональної схеми	33
2.8 Вибір перетворювача частоти	42

					КРБ. Е та М.1.797-03.1.3						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Модернізація електроприводу норії для сипучих матеріалів			Літ	Аркуш	Аркушів	
Розробив	Черноногов В. А.									6	78
Керівник	Осадчук П. І.										
Консульт.										ОНТУ, АЕМ 40	
Зав.кафедри	Осадчук П. І.										

2.9 Підключення ПЧ к електроприводу	45
2.10 Схема частотного електропривода норії Н-20	47
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА НА ЕОМ	51
3.1 Складання імітаційної моделі електроприводу	51
3.2 Отримання та обробка результатів моделювання електроприводу	52
4 ОРГАНІЗАЦІЙНА ТА ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	59
4.1 Організація монтажу та ремонту норії	59
4.2 Організація експлуатації норії	60
4.3 Організація та технологія монтажу електропривода норії.	61
4.4 Організація та технологія ремонту електродвигуна норії	65
4.5 Організація та технологія обслуговування електродвигуна норії	67
4.6 Організація охорони праці і техніки безпеки при експлуатації норії	69
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	72
5.1 Техніко-економічне провадження ПЧ-АД в норію	72
5.2 Економія електроенергії	73
5.3 Розрахунки економічного ефекту	74
ВИСНОВКИ	80
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	81

## ВСТУП

Енергоефективність є однією з проблем, яких неможливо уникнути при роботі з електричними приладами, машинами, приводами та системами. Виробництво, яке не досягає мінімального рівня ефективності не є прибутковим, і кожне підвищення енергоефективності зменшує споживання енергії та таким чином витрати на енергопостачання. Покращення енергоефективності електроприводів в глобальному масштабі зменшує енергію на попит і збільшує постачання енергії, що опосередковано зменшує викиди парникових газів.

Ключовий елемент у підвищенні енергоефективності електричних пристроїв, машин і приводів – це зменшення втрат, яких можна досягти за допомогою різних методів.

Застосування нових матеріалів, нові рішення в конструкції, оптимізація режимів роботи і створення автоматизованих електроприводів може суттєво сприяти підвищенню енергоефективності. Подальше підвищення енергоефективності може бути досягнуто за допомогою відповідного вибору і узгодження компонентів силової електроніки з успадкованими характеристиками машин або пристроїв. Належний контроль систем, що складаються з електричних пристроїв або машин, і компоненти силової електроніки, засновані на передових моделях системи, можуть ще більше покращити загальну енергоефективність систем.

Таким чином, завдання модернізації існуючих електроприводів з метою підвищення ефективності їх використання в нинішніх умовах є актуальним напрямком досліджень.

Метою написання кваліфікаційної роботи є модернізація електроприводу норії.

При написанні роботи були поставлені наступні задачі:

1. Навести загальну характеристику технологічного процесу підготовки сировини для отримання соняшникової олії, а також розглянути характеристики обладнання, необхідні для виконання процесу.

2. Сформулювати вимоги до електроприводу норії. Провести розрахунок потужності і вибір електродвигуна.

3. Виконати моделювання динамічних режимів роботи електропривода.

4. Показати доцільність вдосконалення електроприводу норії шляхом розрахунку економічних показників.

5. Розглянути питання безпеки праці при виконанні монтажно-налагоджувальних робіт і експлуатації системи електроприводу.

Об'єкт дослідження – процес підготовки сировини для отримання соняшникової олії.

Предмет дослідження – є електропривод норії.

Методи дослідження, які були використані при написанні роботи – аналіз, синтез, моделювання.

Практична значимість отриманих результатів. Отриманий автоматизований електропривод можна застосовувати в процесі підготовки сировини для отримання соняшникової олії.

# 1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

## 1.1 Загальна характеристика технологічного процесу підготовки сировини для отримання соняшникової олії

Рослинна олія має різностороннє призначення. Виробляються харчові і технічні рослинні олії. Харчові рослинні олії використовуються населенням безпосередньо в їжу, а також для виробництва жирів, маргаринової продукції, майонезу і ін. Технічні рослинні олії застосовуються для виробництва мила, миючих засобів, оліф, лаків, фарб, жирних кислот, гліцерину і широко використовуються при виробництві фармацевтичної та косметичної продукції. Відходами виробництва рослинної олії є шрот, макуха, лузга і лушпайка. Шрот і макуха є сировиною для виробництва харчового білка і застосовується в комбікормовій промисловості. Лузга і лушпайка використовуються гідролізною промисловістю й у сільському господарстві. Сировиною для виробництва рослинної олії є насіння соняшника, льону, озимого рапсу, арахісу, гірчиці, рицини, сої, маку та ін. культур. Виробництво рослинних олій складається з великого числа операцій, у ході яких в олійній сировині протікає складні фізико-хімічні процеси. Принципова технологічна схема виробництва рослинної олії представлена на рисунку 1.

Очищення і зберігання насіння насіння, що надходять на зберігання, містять органічні і мінеральні домішки. Ці домішки необхідно відокремити від насінь олійних культур, оскільки вони зменшують вихід олії, можуть додавати олії специфічний присмак, прискорюють знос робочих органів і створюють багато пилу в робочих приміщеннях. Домішки відокремлюють у два прийоми: перше очищення виробляється перед сушінням при прийомі насіння• на зберігання; друге очищення – виробниче – виробляється безпосередньо перед• переробкою у виробничому корпусі. Для відділення домішок використовують їхні відмінні риси: розміри насіння і домішок;• форми поверхні насіння і домішок;• аеродинамічні властивості насіння і домішок (в аспіраційних машинах).• Відділення домішок від насіння, що відрізняються від них розмірами і формою

проводять на ситових сепараторах, із плоскими і барабанними ситами. Для відділення домішок від насінь по аеродинамічних властивостях використовують повітряно-ситові сепаратори типу ЗСМ. Основними робочими елементами в цих машинах є ситові рами й аспіраційна система.

Високий вміст жирів в олійному насінні обумовлює особливості його зберігання. При збереженні в олійному насінні відбуваються складні біохімічні процеси, що погіршують якість олії, що з нього добувається. Швидкість цих процесів знаходиться в прямій залежності від вологості насіння.

Семена олійних культур необхідно зберігати в сухих, добре провітрюваних зерносховищах. Надійне зберігання олійних насіння зі вмістом олії до 50% можливо при їхній вологості не вище 7 – 8%.

Семена олійних культур у тому числі і соняшника з вологістю не більш 7 – 8% зберігають у складах різного типу, елеваторних або силосних сховищах, механізованих складах з активним вентиляванням насіння.

Для створення сприятливих умов тривалого зберігання насіння олійних культур використовують метод активного вентилявання. При цьому також здійснюється підсушування насіння. Метод активного вентилявання насіння є профілактичним засобом у справі зберігання насіння. Для тривалого зберігання насіння олійних культур використовують метод теплового сушіння, при якій відбувається нагрівання насіння за допомогою сушильного агента (повітря) і видалення вологи.

## **1.2 Характеристика сировини та продукції**

Сировиною для виробництва рослинних олій є головним чином насіння соняшника. Плід соняшнику - подовжена клиноподібна сім'янка, що складається зі шкірки (лушпиння) і білого насіння (ядра), покритого насінневою оболонкою. Перед лушпиння припадає 22...56 % від загальної маси сім'янки. Вміст олії в насінні соняшнику більше 50%, а в очищеному ядрі – близько 70%. До складу рослинних олій, що одержуються з насіння соняшника, входять 95...98 % тригліцеридів, 1...2 % вільних жирних кислот, 1...2 % фосфоліпідів, 0,3...0,1 %

стеринів, а також каротиноїди та вітаміни. У соняшниковій олії міститься 55...71% лінолевої та 20...40% олеїнової кислот.

### 1.3 Особливості технології

Технологія виробництва рослинних олій на малих підприємствах включає підготовку насіння соняшника до зберігання, відділення і подрібнення ядра, гідротермічну обробку м'ятки, пресування, очищення, фасування та зберігання готової продукції.

**Підготовка насіння для зберігання.** Насіння соняшника надходить після збирання на зберігання із вмістом вологи, що перевищує оптимальні значення для зберігання та технологічної переробки. Найбільш поширений метод зниження вмісту вологи в насінні соняшнику перед зберіганням - теплова сушка, в процесі якої насіння нагрівається за допомогою сушильного агента (зазвичай у суміші повітря та димових газів). Сушильний агент температурою 300 ... 350 ° С рухається в сушарці назустріч насіння, вологість якого знижується на 10 ... 12%. Висушене насіння охолоджують і направляють у бункер.

**Відділення ядра.** Особливістю даної операції є поділ насіння за геометричними розмірами на велику і дрібну фракції, а також відділення домішок, що відрізняються від основної культури аеродинамічні та феромагнітні властивості. Відділення оболонки від ядра складається з операцій руйнування покривних тканин насіння – обвалення та подальшого поділу (відвіювання) отриманої суміші – рушанки на ядро та лушпиння. Найважливіша вимога до операції обвалення полягає у збереженні цілісності ядра. Ротори рушальних машин обертаються із частотою обертання 35...40 с<sup>-1</sup>, обвалення відбувається за рахунок одноразового направлено удару вздовж великої осі сім'янки. Поділ рушанки на лушпиння і ядро засноване на відмінності в їх розмірах та аеродинамічних властивостях. Тому спочатку отримують фракції рушанки, що містять частинки лушпиння і ядра одного розміру, а потім у потоці повітря

рушанку поділяють на лущиння і ядро. Такий спосіб поділу рушанки застосований в аспіраційних рушально-вієчних машинах.

### **Подрібнення ядра.**

Для вилучення олії з насіння необхідно зруйнувати клітинну структуру їх тканин. Кінцевим результатом операції подрібнення є перехід олії, укладеної в клітинах насіння, форму, доступну для подальших технологічних операцій. М'ятка, що отримується, відрізняється великою питомою поверхнею, так як крім руйнування клітинних оболонок при подрібненні порушується також внутрішньоклітинна структура масловмісної частини клітини. Значна частка масла вивільняється і відразу адсорбується на поверхні частинок м'ятки. Добре подрібнена м'ятка повинна складатися з однорідних за розміром частинок, що проходять через сито з отворами діаметром 1 мм, не повинна містити цілих, неруйнованих клітин, і водночас вміст дуже дрібних часток у ній має бути невеликим. Для отримання м'ятки на малих підприємствах використовують вальцові верстати з діаметром валків 600 мм та частотою обертання 5,0 с-1.

**Гідротермічна обробка м'ятки.** Метою даної операції є ослаблення поверхневих сил, що утримують олію на частинках м'ятки. На міні-підприємствах приготування мезги здійснюють у дві стадії. Перша – зволоження м'ятки до 8...9 % та підігрів її до температури 80...85 °С, що сприяє рівномірному розподілу вологи в м'ятці та частковій інактивації гідролітичних та окисних ферментів насіння, що погіршує якість олії. Друга - нагрівання м'ятки до 105 ° С та її підсушування до кінцевого вмісту вологи 5 ... 6%

**Пресування мезги.** Здійснюється у шнекових пресах, що розвивають тиск близько 30 МПа та ступінь ущільнення мезги 2,5...3,0. У процесі пресування виходять макуху, олійність 15 ... 17%, і олію.

**Очищення рослинної олії.** Операція полягає у видаленні з олії твердих механічних домішок і суспензій.

**Фасування та упаковка.** Рослинна олія фасують у прозору пластикову тару, закупорюють і етикетують з використанням закупорювальних та

етикетувальних машин. У деяких випадках використовується упаковка пластикової тари в термозбіжну плівку. Фасована та упакована продукція спрямовується на зберігання та реалізацію у торговельну мережу. За наявності певних переваг технологія відомих маслозаводів має ряд недоліків. Основним з них є підвищена залишкова олійність матеріалу, що пресується, що знижує вихід масла. Наявність великої кількості лушпиння в олійному матеріалі через відсутність у ряді випадків операції обвалення, відсутність спеціальної підготовки або жорсткі режими смаження м'ятки перед пресуванням призводять до одержання рослинної олії низької якості.

#### 1.4. Організація та принципи функціонування комплексів технологічного обладнання.

Машинно-апаратурна схема комплексу обладнання для заводу малої потужності з виробництва олії представлена на рис. 1.

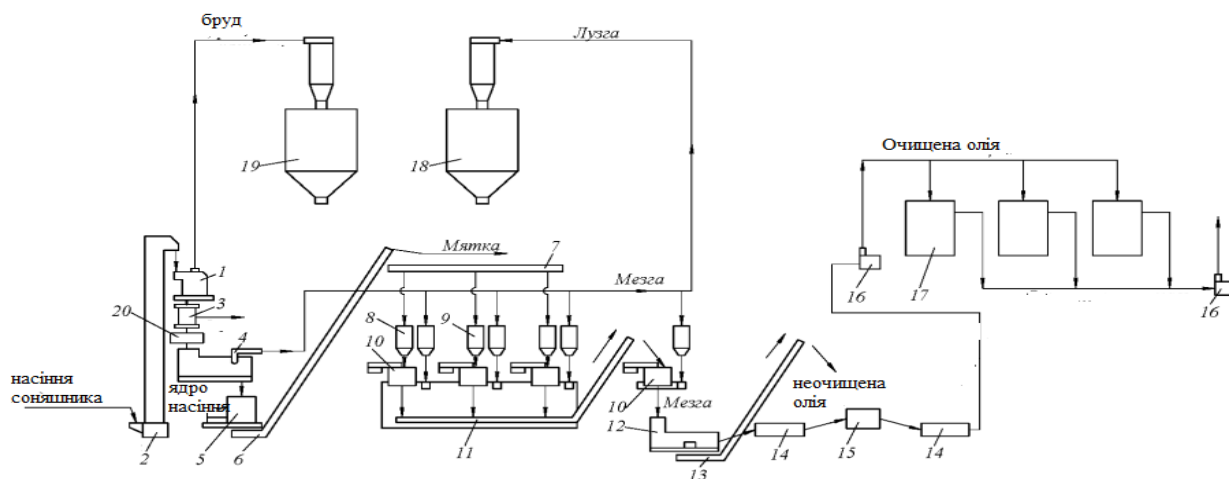


Рис 1.1 Схема виробництва олії

Комплекс складається з ситового сепаратора 1, норії 2, магнітного сепаратора 3, рушально-вієчної машини 4, вальцевого верстата 5, шнекових конвеєрів 6, 7, 11 і 13, бункерів для м'ятки 8 і лушпиння 9 відповідно, преса 12, ємностей 14 і 15 для неочищеного масла, ємності 16 для очищеного масла, насосів 16, ємностей 17 для масла, що відстоялася, і бункерів для лушпиння 18 і пилу 19.

Насіння соняшнику, що надходить на короткочасне зберігання в силос, попередньо зважують на терезах, які потім норією 2 подаються в ситовий 1 і магнітний 3 сепаратори для відділення домішок. Домішки рослинного походження, що відокремлюються на сепараторах, збирають та використовують у комбікормовому виробництві. Потім насіння надходить у сушарку 20, де доводяться до необхідної вологості. Подальша переробка насіння соняшнику полягає у максимальному відділенні оболонки від ядра. Цей процес передбачає дві технологічні операції: лущення (обвалення) насіння та відділення оболонки від ядра (відвіювання, сепарування), що здійснюються в рушально-вічкової машині 4. При цьому формується на виході три потоки, які, залежно від їх складу, спрямовуються на наступні ділянки технологічної схеми: перший потік є недорушем – повертається до приймального бункеру; другий потік, що складається з ядра насіння соняшнику та частинок лущиння, направляється в аспіраційний пристрій рушально-вічної машини 4, де потоком повітря виноситься лущиння; третій потік ядра разом із січкою надходить у жаровні 10.

Після зважування на терезах ядра соняшнику подрібнюються на вальцевому верстаті 5. Процес подрібнення може здійснюватися за один раз або за два рази – попередньо та остаточно. При подрібненні відбувається руйнування клітинної структури ядер соняшнику, що необхідно для створення оптимальних умов найбільш повного і швидкого вилучення масла при подальшому пресуванні. Продукт подрібнення - м'ятка - після вальцового верстата 5 надходить у жаровню 10, в якій за рахунок гідротермічної обробки досягається оптимальна пластичність продукту, і створюються умови для полегшення віджиму олії на пресах. При смаженні вологість мезги знижується до 5...7 %, а температура підвищується до 105...115 °С. З шнекового зерного преса 12, який після жаровні подається мезга, виходять два продукти: олія і макуха. Очищення пресової олії здійснюється за допомогою рамних фільтр-пресів або відстійників.

### **1.5 Конструкції і технічні характеристики норій**

У технічній літературі найчастіше застосовується синонім ковшовий елеватор. Є вертикальним стрічковим (або ланцюговим) конвеєром з ковшами, за рахунок безперервного переміщення яких здійснюється підйом матеріалу. Як правило, конвеєр поміщають у прямокутній трубі. Матеріал у нижній частині підхоплюється ковшами, переміщається вертикально та вивантажується через патрубків у горизонтальному напрямку у верхній частині норії. Ковші йдуть вниз перекинутими. Максимальна висота підйому матеріалу, як правило, не перевищує 60 м. Застосовується в олійновиробничій, комбікормової, борошномельної та хімічної промисловості. Існує також і похилий елеватор — обладнання для транспортування, призначене для транспортування вугілля і продуктів їх збагачення під кутом нахилу до горизонту 60—82°, вологістю до 25 %, а також для транспортування інших сипучих матеріалів з аналогічними властивостями.

Ківшовий елеватор являє собою замкнуте полотно з тяговим органом, що обгинає приводний та натяжний барабани (зірочки), і прикріпленими до нього ковшами. Несучою та огорожувальною частиною елеватора є зварний сталевий кожух із завантажувальним та розвантажувальним патрубками. Привід має електродвигун, редуктор, муфти та зупинку, що запобігає зворотному руху полотна. На елеваторі застосовується гвинтовий або вантажний натяжний пристрій. Швидкість руху полотна тихохідних елеваторів до 1 м/с, швидкохідних до 4 м/с. Подача ковшових елеваторів 5-500 м<sup>3</sup>/год, висота підйому Н не перевищує 60 м. Основними параметрами ковшових елеваторів є ширина ВК, висота h, виліт А, корисна (до крайки передньої стінки) місткість ковша та відстань (крок) між ківшами а<sub>к</sub>. Швидкохідні елеватори мають розставлені глибокі і дрібні ковші, для яких а<sub>к</sub> = (2,5-3) h, а як тяговий орган - конвеєрну резинотканеву стрічку або коротколанковий ланцюг. На тихохідних елеваторах застосовуються зімкнуті (а<sub>к</sub> = h) з бортовими направляючими гострокутні та зі скругленим днищем ковші, прикріплені бічними стінками до двох тягових ланцюгів. Поличний елеватор має 2 вертикальні пластинчасті втулкові ланцюги, що обгинають верхні тягові та нижні натяжні зірочки. До ланцюгів жорстко прикріплені захвати-полиці, що відповідають формі та розмірам вантажу. Завантаження полиць проводиться вручну або автоматично з гребінчастого столу,

а розвантаження у верхній частині низхідної гілки - при перекиданні полиць. Швидкість руху ланцюгів полочного елеватора 02-03 м / сек.

Люлечний елеватор відрізняється від полочного способом кріплення робочого органу - колиски, яка завдяки шарнірному підвісу на всіх ділянках траси зберігає горизонтальне положення днища. Завантаження люлевих елеваторів здійснюється на висхідній, а розвантаження - на низхідній гілки. Швидкість руху полотна 02-03 м / с.

### **Норія зернова НК-20**

Це обладнання для переміщення зернових культур, продуктів їх обробки та іншого насіннєвого матеріалу у вертикальній площині. Максимальна висота підйому складає 40 метрів. Такий транспортер застосовують у елеваторах, на складах зерна, млинах, заводах з виробництва олієпродуктів та комбикормів. Номінальна висота пристрою – відстань від точки завантаження сировини до точки вивантаження матеріалу.

Після запуску двигун активує роботу приводу, який приводить в дію приводні барабани. На верхній головці встановлено провідний пристрій, на нижній, відповідно, ведене. У нижній черевик подається сипкий матеріал, що надходить у ковші, які рухаються вертикальним транспортером. На верхній точці скидання вони перевертаються, подаючи сировину у випускний канал або на платформу, і спускаються в перевернутому стані вниз для наступного завантаження. Вигляд ковшової норії Н – 20 представлено на рисунку 1.2.

Рис.1.2 Ковшова норія Н – 20

Ця норія, являє собою самонесучу конструкцію (що не вимагає додаткової об'язки якщо висота норії не перевищує 25м) і призначена для роботи у складі схеми технологічного процесу з тривалим режимом роботи як усередині приміщень, так і на відкритому повітрі, для вертикального переміщення сировини

на оліє підприємствах, елеваторах, млинах, комбикормових і інших зернопереробних підприємствах.

Сировиною для транспортера служать насіння, зерно, крупа, борошно, висівки та інші сипучі матеріали з питомою вагою 250 - 850 кг / м<sup>3</sup>.

Норії продуктивністю 20, 50 і 100 тонн для підйому сировини на висоту від 3 до 46 метрів.

### **Комплектація і принцип роботи норії Н-20**

Норія складається з наступних основних складальних одиниць і механізмів:

- Башмак:
- Корпус башмака;
- Засипна гороловина;
- Натяжний пристрій;
- Натяжний барабан;
- Приводна головка:
- Корпус приводної головки;
- Приводний барабан;
- Двигун;
- Короби квадратного перетину, здвоєні (підймальний, ревізійний, монтажний, аспіраційний);
- Стрічка з ковшами.

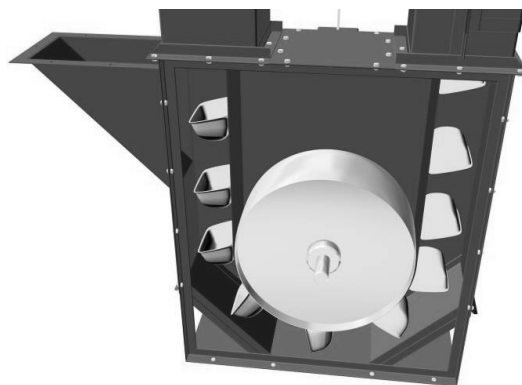


Рис.1.3 Стрічка з ковшами

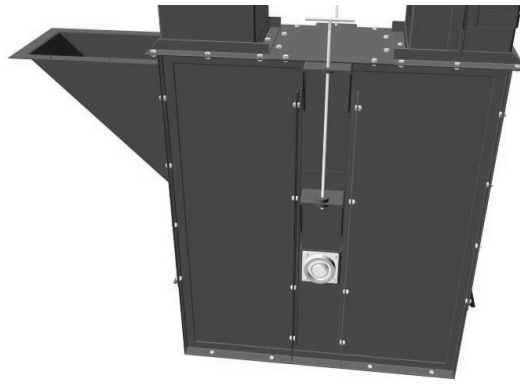


Рис.1.4 Башмак норії Н-20

Башмак складається з корпусу, натяжного пристрою, натяжного барабана і, засипної горловини. Корпус Башмака - це конструкція, зібрана болтами, що має одну або дві засипні горловини для подачі вихідного продукту для транспортування. Засипна горловина розташована на передній частині норії (де ковші переміщуються в кожусі вгору). При такому розташуванні споживання енергії найменше. Для легких продуктів раціонально розташувати засипну горловину в задній частині Норії (потужність зменшується на  $\sim 20\%$ ). У корпусі також є два шибера для очищення доної частини корпусу і розміщується натяжний барабан, закріплений на двох опорних підшипниках. Виставлення натяжного барабана зі спорядженою стрічкою в робоче положення досягається за допомогою натяжного пристрою, які за допомогою двох шпильок рухає натяжний барабан вниз. Натяжний барабан в торці вала має різьбу для закріплення робочого елемента ємнісного датчика швидкості. На натяжному пристрої конструктивно передбачено кріплення безпосередньо самого ємнісного датчика, який припиняє подачу струму до двигуна, якщо стрічка починає прослизати або зупиняється. Черевик надходить до замовника в зібраному вигляді.

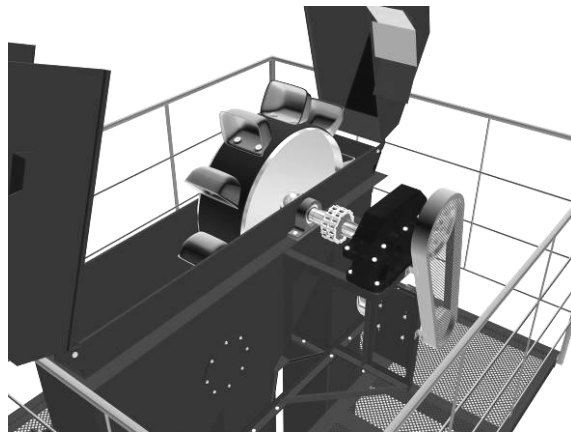


Рис.1.5 Приводна головка норії Н-20

Приводна головка складається з корпусу, кожуха, приводного барабана, мотор-редуктора.

Корпус приводної головки - це суцільнозварна конструкція (у разі оцинкованого корпусу — з'єднана болтами). У внутрішній частині розміщується приводний барабан на опорних підшипниках, регульована знизу висипна горловина, а зовні розміщується конструкція кріплення приводу.

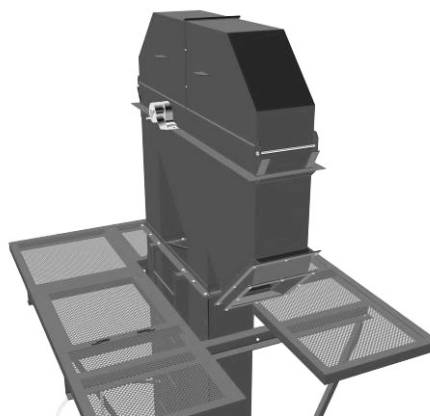


Рис. Висипна горловина норії Н-20

Висипна горловина зазвичай розташована на задній частині приводної головки (де ковші за допомогою відцентрової сили здійснюють розвантаження). У кожусі розміщена верхня частина висипної горловини з жорстко прикріпленою футерувальною пластиною, яка встановлена для запобігання пошкодження зерна та зменшення зносу металу. Кожух складається з двох незалежних половинок (у

оцинкованій норії - суцільний), легко відкриваються на завісах при проведенні регламентних робіт. При використанні в якості приводу асинхронний двигун, який приєднується через редуктор на вал приводного барабана.

Пристрій запобігання зворотньому ходу стрічки розміщено на валу приводного барабана. При комплектації двигуном з електричним гальмом, пристрій зворотного ходу зазвичай не встановлюється.

Конструктивно на корпусі передбачено розміщення індуктивного (або сенсорного) датчика, який припиняє подачу струму до двигуна, якщо відбувається переповнення продукту в висипній горловині.

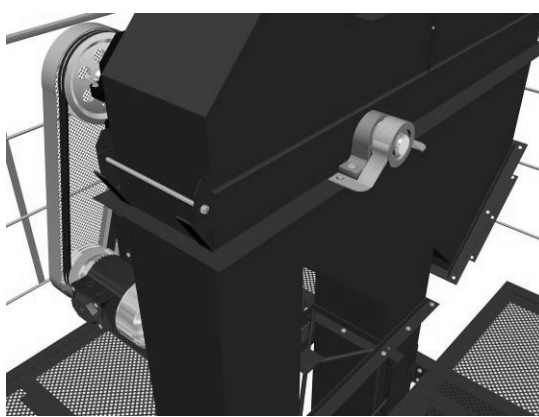


Рис. Приводна головка норії Н-20.

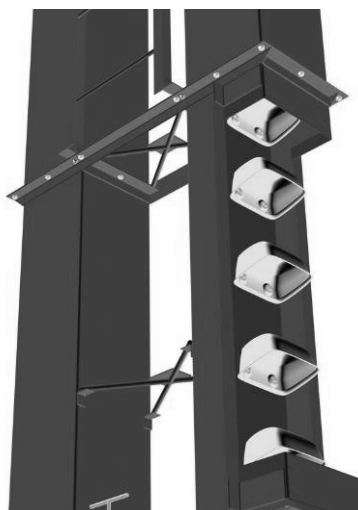


Рис. Стрічка с ковшами норії Н-20

Стрічка з ковшами представляє замкнутий елемент, укладений в трубі і натягнутий навколо барабанів.

### **Принцип роботи норії Н-20**

Сировина надходить в башмак норії через засипну горловину. З башмака сировина забирається полімерними або суцільнотягнутими металевими ковшами, закріпленими на безперервній норійній стрічці. Завантаження насіння можна проводити як у напрямку руху стрічки з ковшами, так і проти напрямку руху. Стрічка з завантаженими ковшами рухається від башмака до приводної головки по квадратним норійним коробам. Під дією відцентрової сили, в головці норії сировина вивантажується в патрубок для вивантаження. Стрічка з порожніми ковшами повертається до башмака для завантаження.

Керування норією повинно здійснюватися від пульта управління. При цьому повинно бути передбачене відключення приводу Норії в наступних випадках:

- обрив або пробуксовка стрічки;
- переповнення завантаженої ємності;
- накопичення транспортованої сировини в приводній станції

### **Правила експлуатації та регулювання**

Підготовка норії в складі агрегату включає в себе періодичний огляд всієї норії, перевірку надійності та стану основних вузлів, напрямки руху стрічки з ковшами, натягу стрічки, наявності ковшів, збереження електропроводки.

Під час роботи необхідно слідкувати за появою сторонніх стукотів, прослизанням стрічки, зворотним висипом матеріалу, рівномірністю завантаження, завалом норії. Зворотній висип усувається наближенням відсікача, що знаходиться у верхній голівці, до ковша на відстань 10-15 мм.

Завал норії усувається очищенням нижньої головки від матеріалу. Очищення нижньої головки проводиться також і при переході на іншу сільськогосподарську культуру.

Після закінчення роботи закрийте заслінку завантаження з метою запобігання завалу. Необхідно прокрутити норію до повного звільнення ковшів від матеріалу, після чого вимикають.

## **1.6 Характеристика електропривода норії.**

Існуюча динаміка поступального руху у напрямі підвищення технічного рівня автоматизованого електроприводу призводить до необхідності періодичного узагальнення накопиченого досвіду у проектуванні та експлуатації існуючого електрообладнання.

Завдання експлуатаційників полягає у збереженні працездатного стану існуючих електроустановок та переведення їх у максимально енергозберігаючий режим.

Поява автоматизованого електроприводу з одного боку пов'язана з виникненням нових електронно-цифрових систем управління та з іншого боку – з появою потокових ліній, а також з подальшим розвитком процесу зрощування робочої машини з електродвигуном. Технологи почали пред'являти підвищені вимоги до електроприводу з точки зору надійності та якості роботи: розширення функцій, наявність пристроїв отримання та зберігання інформації, зобов'язання [5].

Електроприводи насінєрушних машин для очищення насіння соняшника від оболонки побудовані на застарілій елементній базі, відсутня автоматизація та відмічена невисока функціональність існуючого електропривода.

Саме тому в межах написання роботи прийнято рішення здійснити модернізації електроприводу валу стрічки норії (устаткування процесу підготовки сировини для отримання соняшникової олії).

## **2 ФОРМУЛЮВАННЯ ВИМОГ ДО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ, ОБҐРУНТУВАННЯ ТИПУ ДВИГУНА, РОЗРАХУНОК ЙОГО ПОТУЖНОСТІ**

### **2.1 Формулювання вимог до електроприводу норії**

Для підйому сипучих матеріалів ковшовою норією потрібні наступні вимоги до електроприводу:

- економічність і простота конструкції
- низька вартість
- висока надійність
- плавний пуск
- діапазон регулювання швидкості 1:5.

Перераховані вище вимогам не задовольняють двигуни (ВД) і двигуни постійного струму (ДПТ), оскільки вони мають відносно високу вартість і необхідність наявності вторинного джерела живлення, тому застосування ВД або ДПТ як електроприводу норії вважається недоцільним.

Зазначеним вище вимогам цілком задовольняють серійно випускаючі трифазні асинхронні двигуни (ТАД), що послужило причиною їх масового застосування в промисловості.

### **2.2 Обґрунтування і вибір типу двигуна, розрахунок потужності та перевірка за перевантаженням**

Асинхронна машина – електрична машина змінного струму, у якій швидкість обертання ротора не дорівнює швидкості обертання магнітного поля статора (асинхронна).

Принцип дії трифазного асинхронного двигуна ґрунтується на явищі обертового магнітного поля. Це поле створюється при пропусканні трифазного змінного струму через три нерухомі котушки, осі яких лежать в одній площині під кутом 120 градусів одно до одної. Котушки мають бути з'єднанні між собою в зірку чи в трикутник.

Пропонується використати асинхронні машини в якості базових для розгляду в даній роботі.

Розрахунок основних параметрів норії:

Продуктивність норії розраховується за формулою:

$$Q = 60 \frac{\pi \cdot D^2}{4} t \cdot n \cdot \Psi \cdot \rho \cdot C, \quad (2.1)$$

Де  $D$  – діаметр ковша м;

$t$  – крок між ковшами, м;

$n$  – частота обертання привідної головки, об/год;

$\rho$  – щільність матеріалу, що транспортується, т/м<sup>3</sup>;

$C$  – поправочний коефіцієнт, що залежить від кута нахилу конвеєра  $\beta$ , при  $\beta = 90^\circ$  приймаємо  $C = 0,7$  [1, ст. 57].

$\Psi$  – коефіцієнт наповнення ковша, для абразивних матеріалів  $\Psi = 0,125$  [1, ст. 57].

У нормальних умовах роботи рекомендується крок між ковшами  $t$  приймати рівним діаметру ковша  $D$  [1, ст. 55]. Щільність насіння вибираємо з таблиці 24 [3, ст. 300]  $\rho = 600$  кг/м<sup>3</sup>. Рекомендоване число обертів привідної головки вибираємо по ГОСТ 2037 – 65  $n = 50 - 80$  об/хв.

З формули (1.1) отримаємо формулу для розрахунків діаметру ковша:

$$D = \sqrt[3]{\frac{4Q}{60\pi \cdot n \cdot \Psi \cdot \rho \cdot C}} \quad (2.2)$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 4}{60 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,125 \cdot 0,6 \cdot 0,7}} = 0,318 = 318 \text{ мм}$$

Отримане значення округляємо до найближчого стандартного  $D = 320$  мм.

Визначення потужності на валу гвинта.

Потужність на валу привідного барабану визначають за формулою [1, ст. 59].

$$P = \frac{Q}{367} \cdot (L_r \cdot W + H) \quad (2.3)$$

де  $L_r$  – горизонтальна проекція довжини стрічки, м;

$W$  – коефіцієнт опору при русі вантажу [1, ст. 59, табл. 7],  $W = 4$ ;

$H$  – висота підйому вантажу, м.

$$P = \frac{4}{367} \cdot (15 \cdot 4 + 10) = 0,76 \text{ кВт.}$$

Визначення максимальної частоти обертання валу:

Максимальну частоту обертання привідного барабану можна визначити за формулою:

$$n_{max} = \frac{K}{\sqrt{D}}, \text{ об/хв} \quad (2.4)$$

Де  $K$  – розрахунковий коефіцієнт, для сипучих матеріалів  $K = 50$  [1, ст. 58].

$$n_{max} = \frac{50}{\sqrt{0,32}} = 88 \text{ об/хв}$$

Номінальну частоту обертання привідного барабану при заданій продуктивності і обраному діаметрі ковша визначаємо за формулою:

$$n_{ном} = \frac{4Q}{60\pi \cdot D^2 \cdot t \cdot \Psi \cdot \rho \cdot C}, \text{ об/хв} \quad (2.5)$$

$$n_{ном} = \frac{4 \cdot 4}{60 \cdot 3,14 \cdot 0,32^2 \cdot 0,2 \cdot 0,125 \cdot 0,6 \cdot 0,7} = 80 \text{ об/хв}$$

Необхідно дотримуватися умови:

$$n_{max} > n_{ном} \quad (2.6)$$

$$88 > 80 \text{ об/хв.}$$

### 2.3 Визначення потужності і вибір електродвигуна

Потужність двигуна визначається з урахуванням ККД механізму:

$$P_{\text{ел. дв}} = K_3 \cdot \frac{P}{\eta}, \quad (2.7)$$

де  $\eta$  – механічний ККД приводу, [8, табл. 5.1],

$K_3$  – коефіцієнт запасу,  $K_3 = 1,1$ .

$$\eta = \eta_{\text{ред}} \cdot \eta_{\text{м}}^2, \quad (2.8)$$

де  $\eta_{\text{м}}$  – ККД черв'ячного редуктора,  $\eta_{\text{ред}} = 0,96$ .

$$\eta = 0,96 \cdot 0,98^2 = 0,92;$$

$$P_{\text{ел. дв}} = 1,1 \cdot \frac{0,76}{0,92} = 0,9 \text{ кВт.}$$

Вибираємо асинхронний електродвигун типу: 4А80В6УЗ з номінальною потужністю 1,1 кВт з синхронною частотою обертання  $n_0 = 1000$  об./хв.

Таблиця 2.1 – Паспортні дані двигуна

Тип двигуна	Рном, кВт	ККД, %	cos φ --	Мп --	Мmax --	Мmin --	Іном, А	Јдв, кг·м <sup>2</sup>
Синхронна частота обертання 1000 об/хв								
4А80В6УЗ	1,1	74,0	0,72	2	2,2	1,6	4,0	0,005

Перевірка двигуна на перевантажувальну здатність:

Момент на привідному барабані:

$$M = \frac{P}{\omega} \quad (2.9)$$

$$M = \frac{760}{8,37} = 90 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Швидкість привідного барабану:

$$\omega = \frac{n_{\text{ном}}}{9,55} \quad (2.10)$$

$$\omega = \frac{80}{9,55} = 8,37 \text{ рад/с}$$

Момент двигуна:

$$\omega_{дв} = \frac{n_{дв}}{9,55} \quad (2.11)$$

$$\omega_{дв} = \frac{1000}{9,55} = 104,8 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Момент двигуна номінальний:

$$M_{н} = \frac{N}{\omega_{дв}}, \quad (2.12)$$

$$M_{н} = \frac{1100}{104,8} = 10,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Моменти пусковий, мінімальний і максимальний:

$$M_{п} = M_{ном} \cdot M_{п} \quad (2.13)$$

$$M_{мін} = M_{ном} \cdot M_{мін} \quad (2.14)$$

$$M_{мах} = M_{ном} \cdot M_{мах} \quad (2.15)$$

$$M_{п} = 10,5 \cdot 2 = 21 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{мін} = 10,5 \cdot 2 = 16,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{мах} = 10,5 \cdot 2,2 = 23,1 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Асинхронний електродвигун перевіряються по пусковому й мініальному моменті:

$$M_{мін} > M_{ном}, M_{п} > M_{ном}$$

$$M_{мін} = 16,8 > M_{ном} = 10,5, M_{п} = 21 > M_{ном} = 10,5$$

Умова виконується, отже обраний двигун підходить.

## 2.4 Розрахунок і вибір кабелю живлення електропривода

Вихідними даними для вибору і розрахунку параметрів лінії живлення є нагрівання його струмом навантаження. Якщо кабель живлення застосовується для двигуна, то в якості струму навантаження може виступати струм двигуна, котрий визначають за формулою [10].

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos\varphi_{\text{НОМ}} \cdot \eta_{\text{НОМ}}}, \text{ А} \quad (2.16)$$

де  $P_{\text{НОМ}}$  – номінальна потужність двигуна,  $P_{\text{НОМ}} = 1,1$  кВт;

$U_{\text{НОМ}}$  – номінальна напруга,  $U_{\text{НОМ}} = 380$  В;

$\cos\varphi_{\text{НОМ}}$  – номінальний коефіцієнт потужності,  $\cos\varphi_{\text{НОМ}} = 0,72$ ;

$\eta_{\text{НОМ}}$  – номінальний ККД двигуна,  $\eta_{\text{НОМ}} = 74,0\%$ .

Тоді:

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{1100}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,72 \cdot 0,74} = 3,13 \text{ А}$$

Перетин жили кабелю живлення вибираємо із умов нагрівання його струмового навантаження:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{НОМ}} \quad (2.17)$$

де  $I_{\text{доп}}$  – допустимий струм кабелю, А;

$I_{\text{НОМ}}$  – номінальний струм двигуна, А.

Із умови струмового навантаження (2.17) і механічної міцності кабелю, вибираємо чотирижильний силовий кабель типу ВВГ з мідними жилами, полівінілхлоридною ізоляцією, в полівінілхлоридній оболонці не підтримуючий горіння, перерізом  $1,5 \text{ мм}^2$  ( $4 \times 1,5$ ), прокладений у гофрованій трубі, умовний прохід сталеві труби становить  $8 \text{ мм}^2$  з  $I_{\text{доп}} = 16,0$  А:

$$I_{\text{доп}} = 16,0 \text{ А} \geq I_{\text{НОМ}} = 3,3 \text{ А}.$$

Перевіряємо вибраний перетин кабелю за втратою напруги в ньому.

$$\Delta U_{\text{доп}} \geq \Delta U_{\text{роз}} \quad (2.18)$$

де  $\Delta U_{\text{доп}}$  – допустима втрата напруги в кабелі, для двигуна;

$$\Delta U_{\text{доп}} = 5,0\%;$$

$\Delta U_{\text{роз}}$  - розрахункова втрата напруги в кабелі:

$$\Delta U_{\text{роз}} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{ном}} \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos\varphi + x_0 \cdot \sin\varphi)}{U_{\text{ном}}} \cdot 100, \% \quad (2.19)$$

де  $r_0$  – активний опір лінії, Ом/км:

$$r_0 = \rho \cdot \frac{1000}{S}, \quad (2.19)$$

тут  $\rho$  - питома активна провідність металу, для міді,  $\rho = 0,018$  Ом/км;

$S$  – площа перетину жили кабелю,  $S = 1,5$  мм<sup>2</sup>;

$x_0$  – реактивний опір лінії,  $x_0 = 0,06$  Ом/км;

$l$  – довжина лінії,  $l = 0,05$  км;

$\sin\varphi = \sin(\arccos \varphi) = \sin(\arccos 0,72) = 0,44$ ;

$U_{\text{ном}}$  – номінальна напруга двигуна,  $U_{\text{ном}} = 380$  В.

Тоді:

$$r_0 = 0,018 \cdot \frac{1000}{1,5} = 12 \text{ Ом/км} \quad (2.20)$$

Тоді:

$$\Delta U_{\text{роз}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 3,1 \cdot 0,05 \cdot (12 \cdot 0,72 + 0,06 \cdot 0,44)}{380} \cdot 100 = 0,61 \%$$

Так як:

$$\Delta U_{\text{доп}} = 5,0 \% > \Delta U_{\text{роз}} = 0,6 \%,$$

То умова (2.18) за допустимою втратою напруги в кабелі виконана.

Двигун 4А80В6УЗ потужністю 1,1 кВт може житися чотирижильним силовим кабелем з мідними жилами, полівінілхлоридною ізоляцією, в полівінілхлоридній оболонці не підтримуючий горіння, перерізом 1,5 мм<sup>2</sup> ВВГ (4×1,5), прокладеним у гофрованій трубі, умовний прохід сталеві труби становить 8 мм<sup>2</sup>.

## 2.5 Розрахунок і вибір апаратів керування та захисту електропривода

Вихідними даними для вибору захисних і комунікаційних апаратів є значення номінального струму двигуна  $I_{НОМ} = 3,1 \text{ А}$ .

У якості апарата захисту двигуна від струмів короткого замикання (КЗ) та струмів тривалого перевантаження (ТП) можна використовувати автоматичний вимикач, параметри котрого визначаються за наступними виразами:

- теплова уставка вимикача для двигуна:

$$I_{ТВ} \geq 1,25 \cdot I_{НОМ} \quad (2.21)$$

$$I_{ТВ} \geq 1,25 \cdot 3,13 = 3,91 \text{ А}$$

- уставка електромагнітного вимикача:

$$I_{ЕВ} \geq 1,0 \cdot I_{П} \quad (2.22)$$

де  $I_{П}$  – пусковий струм двигуна, А:

$$I_{П} = K_{П} \cdot I_{НОМ} \quad (2.23)$$

де  $K_{П}$  – коефіцієнт кратності пускового струму двигуна,  $K_{П} = 7,0$ ,

тоді:

$$I_{П} = 7,0 \cdot 3,1 = 21,7 \text{ А},$$

$$I_{ЕВ} \geq 1,2 \cdot 21,7 = 26,0 \text{ А}.$$

За розрахунковими даними вибираємо автоматичний вимикач типу PL6-C10/3 з наступними технічними даними:

$$I_{НОМ} = 10 \text{ А}; I_{ТВ} = 8 \text{ А}; I_{ЕВ} = 6000 \text{ А}.$$

Перевіримо вимикач за умовами вибору:

$$I_{НОМ В} = 10 \text{ А} > I_{НОМ} = 3,1 \text{ А};$$

$$I_{ТВ} = 8 \text{ А} \geq I_{ТВ} = 3,9 \text{ А};$$

$$I_{ЕВ} = 6000 \text{ А} > I_{ЕВ} = 26,0 \text{ А}.$$

Автоматичний вимикач АЕ2050 відповідає умовам роботи.

Таблиця 2.2 Технічні дані автоматичного вимикача.

Тип вимикача	Номінальний струм, $I_{НОМ}$ , А	Струм теплової уставки, $I_{ТВ}$ , А	Струм електромагнітної уставки, $I_{ЕВ}$ , А
PL6-C10/3	10	8	6000

## 2.6 Обґрунтування вибору електроприводу та розборка його функціональної схеми

Для приводу норії частіше за все використовують асинхронні електричні двигуни з короткозамкненим або з фазним ротором. Управління такими двигунами зводяться до здійснення пуску, регулювання частоти обертання й підтримання режиму роботи приводу відповідно до вимог, які ставляться до приводу. серед перерахованих задач управління найбільш складною є задача регулювання частоти обертання. Такий висновок слідує з того, що кутова частота обертання магнітного поля  $\omega_1$  ковзанням  $s$ , тобто

$$\omega = \omega_1 (1 - s) \quad (2.24)$$

З співвідношенням (2.24) маємо, що змінювати кутову частоту обертання двигуна  $\omega$  можливо шляхом зміни кутової частоти обертання магнітного поля

$$\omega_1 = \frac{2\pi f}{p} \quad (2.25)$$

де  $f$  - частота живлячої напруги;

$p$  - кількість пар полюсів обмотки статора, або змінно. ковзання  $s$ .

Величина  $\omega_1$  може змінюватися при зміні частоти живлячої напруги  $f$  або при зміні кількості пар полюсів обмотки статора двигуна. Зміна ковзання  $s$  досягається при зміні величини живлячої напруги або при зміні активного чи реактивного опору статорного або роторного кола. Найбільш поширений спосіб регулювання частоти електроприводу пов'язаний зі змінною частоти напруги, що підводиться до статора двигуна. Цей спосіб може бути реалізований, якщо є джерело напруги зі змінною частотою.

В якості такого джерела можливо використовувати перетворювач частоти: електромашинний чи статичний.

Разом з тим, слід враховувати те, що момент асинхронного двигуна  $M$  залежить від частоти  $f$  живлячої напруги та її діючого значення  $U$

$$M = \frac{CU^2}{f^2} \quad (2.26)$$

де  $C$  - постійний коефіцієнт.

З (2.26) маємо що при змінні частоти  $f$  живлючої напруги  $U$  змінюється й величина моменту  $M$ . Це означає, що в процесі регулювання частоти електроприводу для забезпечення заданої перевантажувальної здатності двигуна, необхідно одночасно зі змінної частоти змінювати й величину напруги  $U$  відповідно з законом

$$U = U_{\text{НОМ}} \left( \frac{f}{f_{\text{НОМ}}} \right) \quad (2.27)$$

Таким чином, відповідно до наведених міркувань, система регулювання частоти обертання електроприводу гвинтового конвеєра є двоканальною системою автоматичного управління, у якій в каналі регулювання частоти обертання необхідно забезпечувати пропорційне управління, а в каналі управління величиною живлячої напруги слід враховувати можливі нелінійності, пов'язані зі змінною моменту опору.

В якості основного типу регульованого асинхронного електроприводу з короткозамкненим ротором розглядається частотно-регульований електропривод, який дозволяє задовольнити вимоги як по діапазону, так і по якості регулювання частоти обертання й відпрацьовувати закони руху.

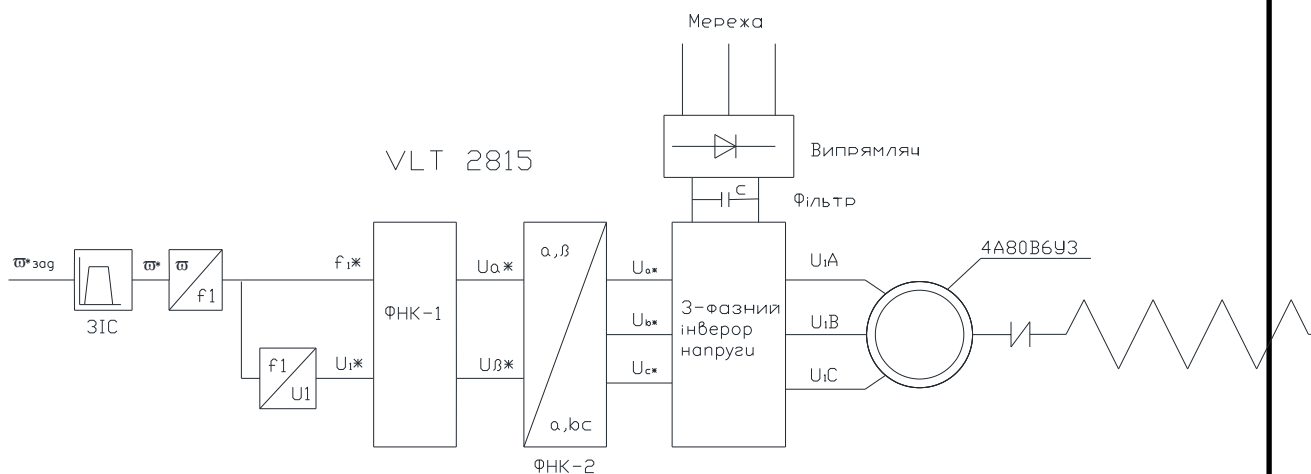


Рисунок 2.2 - Функціональна схема частотно-регульованого асинхронного електроприводу зі скалярним керуванням:

ЗІС - задатчик інтенсивності; ФНК-1 - формувач напруги керування двофазним двигуном; ФНК-2 - перетворювач напруги керування двофазним двигуном в напругу керування трифазним двигуном.

У перетворювачах цього класу використовується подвійне перетворювання електричної енергії: вхідна синусоїдальна напруга з постійною амплітудою і частотою випрямляється у випрямлячі, фільтрується фільтром, згладжується а потім знову перетворюється інвертором в змінну напругу потрібної частоти і амплітуди.

В якості замикаючих ключів використовують IGBT транзистори.

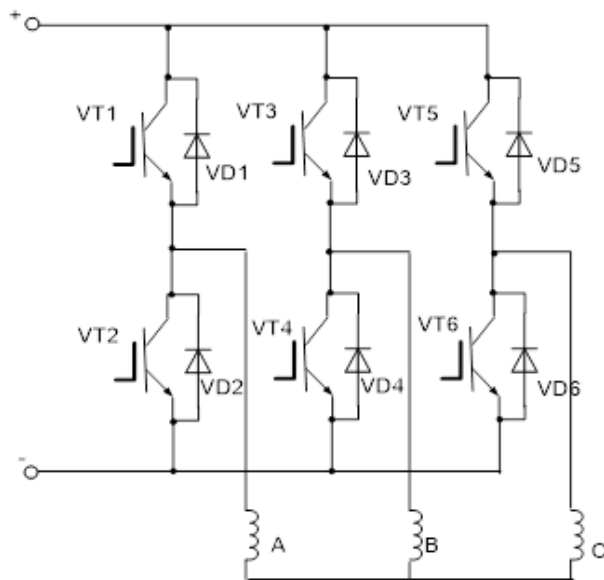


Рисунок 2.3 - Принципова схема IGBT транзисторів

Зміною періоду подачі управляючих імпульсів на силові ключі досягається зміна частоти напруги на двигун (рис. 2.4).

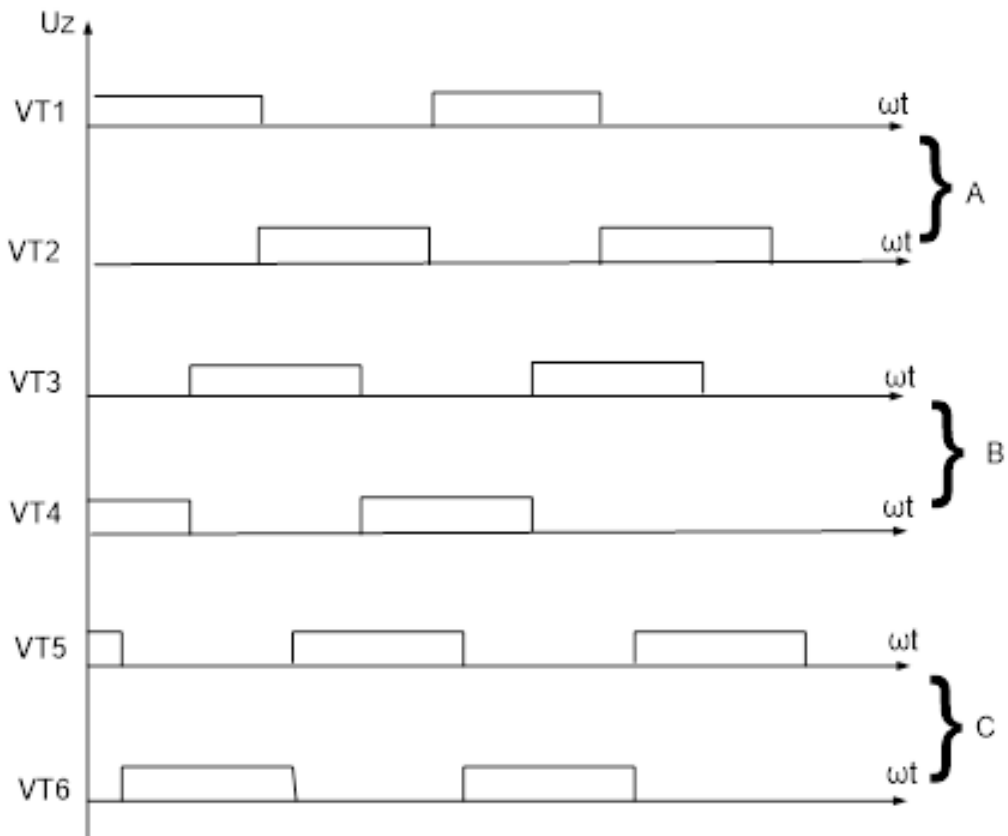


Рисунок 2.4 - Алгоритм подачі імпульсів на транзистори

При такому алгоритмі в будь-який момент часу працюють три силових ключа (VT1, VT4, VT6)

Для роботи двигуна необхідно зі змінною частотою змінювати напругу. Для цього його змінюють в ланці постійного струму або використовують ШІМ. При виборі співвідношень між частотою і напругою найчастіше виходять їх умов збереження перевантажувальної здатності.

Вибір перетворювача частоти обирають виходячи з умов:

$$I_{\text{вчпч}} \geq I_{1\text{н}}; \quad U_{\text{внхпч}} \geq U_{1\text{н}};$$

Таким чином, на підставі проведеного аналітичного огляду, до проектування приймається система частотного регулювання швидкості - транзисторний перетворювач частоти.

## 2.7 Розрахунок керованого перетворювача енергії та структурної схеми електроприводу

Визначення додаткових параметрів двигуна:

Синхронна кутова частота обертання двигуна:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30}, \text{ рад/с} \quad (2.28)$$

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot 100}{30} = 104,72 \text{ рад/с}$$

Номинальна частота обертання двигуна:

$$n_{\text{дв.н}} = (1 - S_{\text{н}}) \cdot n_0, \text{ об/хв} \quad (2.29)$$

$$n_{\text{дв.н}} = (1 - 0,08) \cdot 1000 = 920 \text{ об/хв}$$

$$\omega_{\text{дв.н}} = (1 - S_{\text{н}}) \cdot \omega_0, \text{ рад/с} \quad (2.30)$$

$$\omega_{\text{дв.н}} = (1 - 0,08) \cdot 104,72 = 96,34 \text{ рад/с}$$

Номинальний момент двигуна:

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв.н}} \cdot 10^3}{\omega_{\text{дв.н}}}, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.31)$$

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{1100}{96,34} = 11,42 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Номинальна фазна напруга і номінальний фазний і лінійний струм статора при схемі з'єднання обмоток Y:

$$U_{1\text{фн}} = \frac{U_{1\text{лн}}}{\sqrt{3}}, \text{ В} \quad (2.32)$$

$$U_{1\text{фн}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 219,39 \text{ В}$$

$$I_{1\text{фн}} = I_{1\text{лн}} = \frac{P_{\text{дв.н}}}{3 \cdot U_{1\text{фн}} \cdot \cos\varphi_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{н}}}, \text{ А} \quad (2.33)$$

$$I_{1\text{фн}} = I_{1\text{лн}} = \frac{1100}{3 \cdot 219,39 \cdot 0,74 \cdot 0,74} = 3,05 \text{ А}$$

Максимальний споживаний струм двигуна при прямому пускі:

$$I_{1\text{макс}} = k_{i\text{дв}} \cdot I_{1\text{лн}}, \text{ А} \quad (2.34)$$

$$I_{1\text{макс}} = 4 \cdot 3,05 = 12,21 \text{ А}$$

Критичний момент двигуна:

$$M_{\text{к}} = m_{\text{к}} \cdot M_{\text{дв.н}}, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.35)$$

$$M_{\text{к}} = 2,2 \cdot 11,42 = 25,1 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Пусковий момент двигуна при прямому пуску:

$$M_{\text{дв пуск}} = m_{\text{п}} \cdot M_{\text{дв.н}}, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.36)$$

$$M_{\text{дв пуск}} = 2 \cdot 11,42 = 22,84 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Наведений до обмотки статора активний опір обмотки ротора в номінальному режимі:

$$R_2' = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot (1 - S_H)}{2 \cdot m_k \cdot P_{\text{дв.н}} \cdot C_1^2 \cdot \left(\beta + \frac{1}{S_k}\right)}, \text{ Ом} \quad (2.37)$$

$$R_2' = \frac{3 \cdot 219,39^2 \cdot (1 - 0,08)}{2 \cdot 2,2 \cdot 1000 \cdot 1,68^2 \cdot \left(1 + \frac{1}{0,438}\right)} = 7,33 \text{ Ом}$$

Коефіцієнт, співвідношення  $\frac{X_\mu + X_{1\sigma}}{X_\mu}$ :

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1\text{фн}}} \quad (2.38)$$

$$C_1 = 1 + \frac{1,66}{2 \cdot 4 \cdot 3,05} = 1,06$$

Струм холостого ходу:

$$\sqrt{\frac{I_{1p'}^2 - \left[ \frac{p' \cdot (1 - S_H)}{(1 - p' \cdot S_H)} \cdot I_{1\text{фн}} \right]^2}{1 - \left[ \frac{p' \cdot (1 - S_H)}{(1 - p' \cdot S_H)} \right]^2}} \text{ А}$$

$$\sqrt{\frac{2,51^2 - \left[ \frac{0,75 \cdot (1 - 0,08)}{1 - 0,75 \cdot 0,08} \cdot 3,05 \right]^2}{1 - \left[ \frac{0,75 \cdot (1 - 0,08)}{1 - 0,75 \cdot 0,08} \right]^2}} = 1,66 \text{ А}$$

Струм фази статора при частковому завантаженні:

$$I_{1\rho^*} = \frac{\rho^* \cdot P_{\text{двн}}}{3 \cdot U_{1\text{фн}} \cdot \cos\varphi_{\rho^*} \cdot \eta_{\rho^*}}, \text{ А} \quad (2.40)$$

$$I_{1\rho^*} = \frac{0,75 \cdot 1100}{3 \cdot 219,39 \cdot 0,68 \cdot 0,73} = 2,50 \text{ А}$$

Критичне ковзання:

$$S_k = S_H \cdot \frac{m_k + \sqrt{m_k^2 - [1 - 2 \cdot S_H \cdot \beta \cdot (m_k - 1)]}}{1 - 2 \cdot S_H \cdot \beta \cdot (m_k - 1)} \quad (2.41)$$

$$S_k = S_H \cdot \frac{2,2 + \sqrt{2,2^2 - [1 - 2 \cdot 0,08 \cdot 1,2 \cdot (2,2 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,08 \cdot 1,2 \cdot (2,2 - 1)} = 0,43$$

$\beta$  – коефіцієнт, що характеризує співвідношення активних опорів статора і ротора, значення якого знаходиться в діапазоні  $0,6 \div 2,5$ .

$$\text{Приймаємо } \beta = 1$$

Активний опір обмотки статора в номінальному режимі:

$$R_1 = R_2 \cdot \beta \cdot C_1, \text{ Ом} \quad (2.42)$$

$$R_1 = 7,33 \cdot 1 \cdot 1,06 = 7,83 \text{ Ом}$$

Індуктивний опір короткого замикання в номінальному режимі:

$$X_{\text{кн}} = R_2 \cdot \gamma \cdot C_1, \text{ Ом} \quad (2.43)$$

$$X_{\text{кн}} = 7,33 \cdot 2,05 \cdot 1,07 = 16,06 \text{ Ом}$$

Коефіцієнт, що характеризує співвідношення індуктивного опору короткого замикання і наведеного активного опору ротора:

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{1}{S_k}\right)^2 - \beta^2} \quad (2.44)$$

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{1}{0,44}\right)^2 - 1^2} = 2,05$$

Індуктивний опір розсіювання обмотки статора в номінальному режимі:

$$X_{1\sigma} = 0,42 \cdot X_{\text{кн}}, \text{ Ом} \quad (2.45)$$

$$X_{1\sigma} = 0,42 \cdot 16,06 = 6,74 \text{ Ом}$$

Індуктивність обмотки статора, обмовлення потоком розсіювання, в номінальному режимі:

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}}, \text{ Гн} \quad (2.46)$$

$$L_{1\sigma} = \frac{6,74}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,021 \text{ Гн}$$

Наведене до обмотки статора індуктивний опір розсіювання в номінальному режимі:

$$X'_{2\sigma} = 0,58 \cdot \frac{X_{\text{кн}}}{C_1}, \text{ Ом} \quad (2.47)$$

$$X'_{2\sigma} = 0,58 \cdot \frac{16,06}{1,07} = 8,72 \text{ Ом}$$

Наведена індуктивність обмотки ротора, обумовлена потоком розсіювання, в номінальному режимі:

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_{2\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{н}}}, \text{ Гн} \quad (2.48)$$

$$L'_{2\sigma} = \frac{8,72}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,027 \text{ Гн}$$

Індуктивний опір контуру намагнічування (головний індуктивний опір):

$$X_{\mu} = \frac{E_1}{I_0}, \text{ Ом} \quad (2.49)$$

$$X_{\mu} = \frac{187,86}{1,66} = 113,17 \text{ Ом}$$

ЕРС гілки намагнічування, наведена потоком повітряного зазору (головним полем), в номінальному режимі:

$$E_1 = \sqrt{(U_{1\text{н}} \cdot \cos \varphi_{\text{н}} - I_{1\text{фн}} \cdot R_1)^2 + (U_{1\text{фн}} \cdot \sin \varphi_{\text{н}} - I_{1\text{фн}} \cdot X_{1\sigma})^2}, \text{ Ом} \quad (2.50)$$

$$E_1 = \sqrt{(219,39 \cdot 0,74 - 3,05 \cdot 7,83)^2 + (219,39 \cdot 0,67 - 3,05 \cdot 6,74)^2} = 187,86 \text{ Ом}$$

Результуюча індуктивність, обумовлена магнітом потоком в повітряному зазорі, створюваним сумарною дією струмів статора (індуктивність контуру намагнічування):

$$L_m = \frac{X_{\mu}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{н}}}, \text{ Гн} \quad (2.51)$$

$$L_m = \frac{113,17}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,36 \text{ Гн}$$

Перевірка адекватності розрахункових параметрів двигуна:

При знайдених параметрах розраховуються значенням номінального електромагнітного моменту двигуна:

$$M_{\text{эм.н}}^* = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot S_{\text{н}} \cdot [X_{\text{кн}}^2 + (R_1 + \frac{R_2'}{S_{\text{н}}})^2 + (\frac{R_1 \cdot R_2'}{S_{\text{н}} \cdot X_{\mu}})^2]}, \text{ Н} \cdot \text{ м} \quad (2.52)$$

$$M_{\text{эм.н}}^* = \frac{3 \cdot 219,39^2 \cdot 7,33}{104 \cdot 72 \cdot [16,06^2 + (7,83 + \frac{7,33}{0,08})^2 + (\frac{7,83 \cdot 7,33}{0,08 \cdot 113,17})^2]} = 12,39 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{эм.н}}^{**} = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_m}{(L_m + L_{2\sigma})} \cdot \psi_{2\text{н}} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1\text{н}}^2 - I_0^2}, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.53)$$

$z_p = 3$  – пари полюсів.

$$M_{\text{эм.н}}^{**} = \frac{3}{2} \cdot 3 \cdot \frac{0,36}{(0,36 + 0,03)} \cdot 0,85 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{3,05^2 - 1,66^2} = 12,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\psi_{2\text{н}} = \sqrt{2 \cdot I_0 \cdot L_m} \quad (2.54)$$

$$\psi_{2\text{н}} = \sqrt{2 \cdot 1,66 \cdot 0,36} = 0,85$$

Повинні виконуватись вимоги:

$$M_{\text{дв.н}} < M_{\text{эм.н}}^* \leq 1,1 \cdot M_{\text{дв.н}} \quad (2.55)$$

$$M_{\text{дв.н}} = 11,42 < M_{\text{эм.н}}^* = 12,39 \leq 1,1 \cdot M_{\text{дв.н}} = 12,56$$

$$M_{\text{эм.н}}^{**} \approx M_{\text{эм.н}}^* \quad (2.56)$$

$$M_{\text{эм.н}}^{**} = 12,39 \approx M_{\text{эм.н}}^* = 12,8$$

Умови виконуються.

## 2.8 Вибір перетворювача частоти

При виборі перетворювача частоти необхідно керуватися такими основними вимогами:

- висока надійність при будь-яких режимах роботи;
- простота системи управління без погіршення основних параметрів вихідного струму, напруги та функціональних можливостей ПЧ;
- мінімально можлива вартість.

Перетворювач частоти по току вибираємо виходячи з таких умов:

- струм інвертора повинен бути більше струму двигуна:

$$I_{1\text{н}} \geq I_{1\text{лн}} \quad (2.57)$$

$$I_{1\text{н}} = 3,7 \geq I_{1\text{лн}} = 3,05 \text{ А}$$

- максимальний струм інвертора повинен бути більше максимального струму навантаження:

$$I_{i \text{ макс}} \geq I_{\text{лн}} \cdot \frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{дв.і}}}, \text{ А} \quad (2.58)$$

$$M_{\text{макс}} = 11,42 \cdot 1,6 = 18,27$$

$$I_{i \text{ макс}} \geq I_{\text{лн}} = 3,05 \cdot \frac{18,27}{11,42} = 1,60 \text{ А}$$

Навіть якщо, двигун при малому завантаженні, максимальний струм інвертора повинен задовольняти умові

$$I_{i \text{ макс}} \geq I_{\text{дв.н}} \quad (2.59)$$

В якості перетворювача електроенергії вибираємо транзисторний перетворювач частоти VLT 2815 фірми Danfoss.

Таблиця 2.2 – Параметри перетворювача частоти

Модель	Число фаз на вході	$U_{\text{н}}, \text{В}$	$I_{\text{макс}}, \text{А}$	$I_{\text{N макс}}, \text{А}$	Рекомендована потужність двигуна, кВт
VLT	3	380-480	3,7	5,9	2,6



Рис. 2.5 Загальний вигляд перетворювача частоти VLT 2800

Загальні технічні дані перетворювача частоти серії VLT 2800:

- несуча частота 3000...14000 Гц;
- частотний діапазон 0,2...132 Гц 1...1000 Гц;
- дозвіл по вихідній частоті 0,13 Гц 0,2...1000 Гц;
- живить мережу; 380...480 В; 48...62 Гц, 3 фази;
- коефіцієнт потужності 0,9 / 1 при нормальному навантаженні;
- перевантаження по току: 160% протягом 1 хвилини, 180% протягом 0.
- діапазон регулювання в розімкнутій системі 1 : 10;
- діапазон регулювання в замкнутій системі 1 : 120;
- точність швидкості обертання (розімкнутий контур) 150 - 3600 об / хв;

макс;

- точність швидкості обертання (замкнутий контур) 30-3600 об / хв; макс.

**Захист**

- електронний тепловий захист двигуна від перевантаження;
- температурний контроль радіатора;
- захист перетворювача від короткого замикання на клеммах двигуна;
- захист від втрати фази відключенням перетворювача;
- постійний контроль напруги проміжного ланцюга постійного струму;

- захист від несправності заземлення на клемах двигуна;

Ступінь захисту корпусу перетворювача IP 20.

## 2.9 Підключення ПЧ до електроприводу

### 1 Підготовка до встановлення:

а) потрібно переконатися, що компоненти приводу: мережа живлення, перетворювач частоти та двигун розраховані на однакову напругу (при необхідності необхідно виміряти вольтметром напругу мережі живлення і порівняти з паспортними даними ПЧ і двигуна);

б) потрібно переконатися зі схемою підключення обмоток двигуна (перевірити стан перемичок в монтажній коробці двигуна. З'єднати за схемою «зірка» або «трикутник» які мають забезпечувати необхідну напругу (не більше ніж напруга мережі живлення);

в) перевірити правильність обраних швидкодіючих запобіжників (Номінал запобіжників повинен бути значно більше вхідного струму ПЧ, тип запобіжників - швидкодіючі плавкі вставки);

г) перевірити умови навколишнього середовища, в яких планується робота приводу.

### 2 Виконання електричних підключень:

Приступаючи до виконання цього та наступних пунктів, потрібно переконатися в дотриманні правил техніки безпеки. Живлення має бути відключено, конденсатори розряджені, вал двигуна загальмований і нерухомий.

а) підключити заземлюючі проводи від лінії живлення і від двигуна до клем PE перетворювача. Кожен перетворювач заземлюється окремо, не допускається заземлення по ланцюжку. Нейтрал не є заземленням;

б) підключити фази двигуна до відповідних клем;

в) підключити дроти лінії живлення (потрібно переконатися що при підключенні на них немає напруги) до клем L і N для однофазної мережі, до L1, L2, L3 для трифазної (живлення не подавати).

### 3 Подача живлення

Процедура проводиться з дотриманням вимог техніки безпеки

а) ще раз перевірити надійність і правильність монтажу всіх ланцюгів;  
б) всі команди на включення, пуск, старт, роботу повинні бути відключені;  
в) переконатися, що обертання валу двигуна і механізму не може зашкодити людям або обладнанню;

г) подати живлення на ПЧ. Повинні включитись вентилятори ПЧ і через кілька секунд загориться дисплей. На панелі оператора повинен горіти індикатор Of.

#### 4 Пробний запуск в ручному режимі (HAND)

а) встановити параметри двигуна 1-20, 1-22, 1-23, 1-24, 4-14, 4-18, 3-41, 3-42, відповідно до значень, зазначеними на таблиці двигуна;

б) натиснути на панелі оператора кнопку HAND ON (для екстреного гальмування натискають Off)

в) встановити бажану швидкість обертання (кнопками «вгору», «вниз» або потенціометром панелі)

г) потрібно переконатися в правильності напрямку обертання. Якщо напрямок не співпав тоді потрібно перекинути любі дві вихідні фази ПЧ місцями (наприклад U-W), попередньо повністю знеструмивши ПЧ і виждав кілька хвилин.

### 2.10 Схема частотного електропривода норії Н-20

Для автоматичного управління приводом машини приймаємо до установки частотний перетворювач типу VLT. Ці перетворювачі частоти працюють від промислової трифазної мережі змінного струму з заземленою або ізольованою нейтралю.

Режим його роботи програмується і забезпечує:

- плавний розгін і гальмування двигуна;
- робота на заданій частоті;
- зупинка і реверс двигуна;
- робота в розімкненій або замкненій системі регулювання, робота по таймеру.

Перетворювачі типу VLT забезпечують захист привода машини від струмів короткого замикання і тривалих струмів перевантаження, при обриві одної з фаз або при не симетрії фазних напруг.

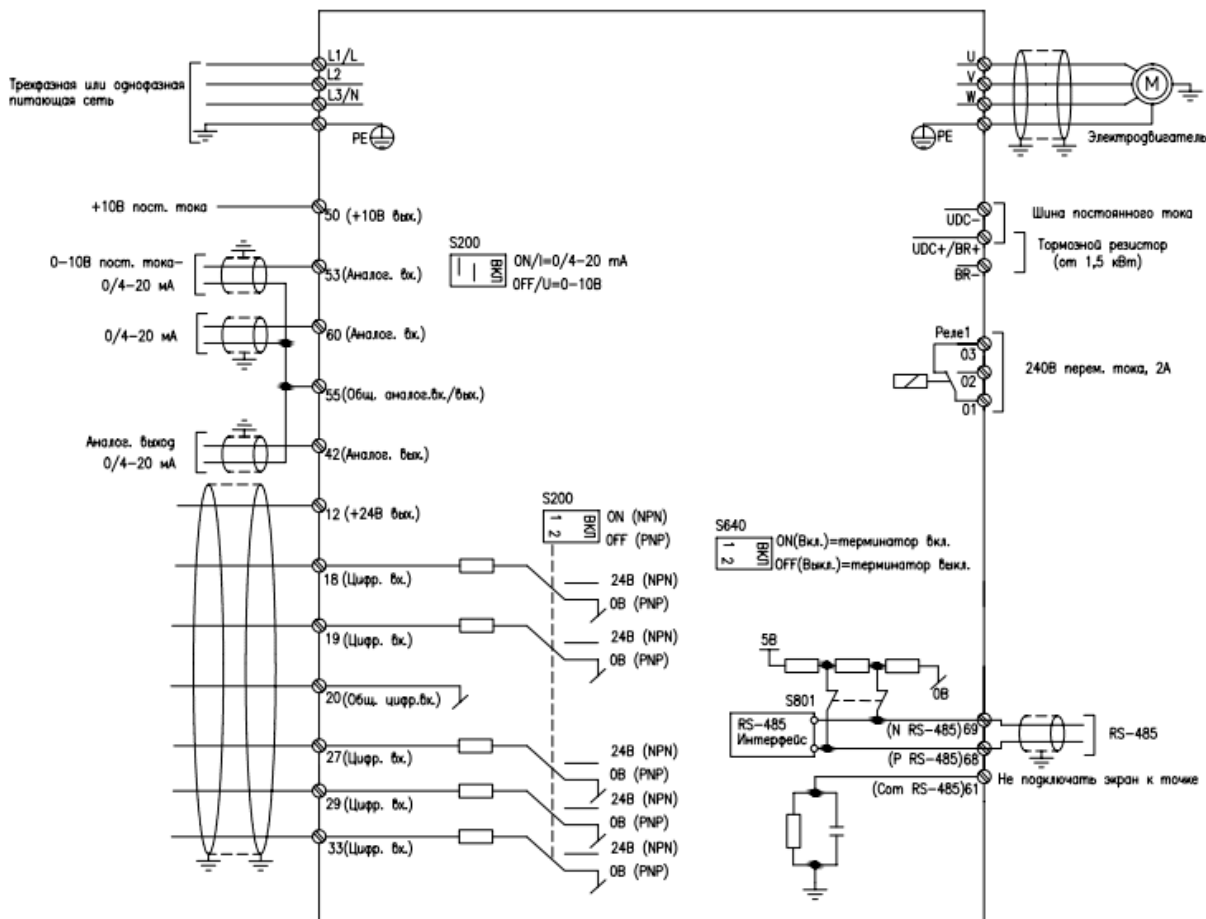


Рисунок 2.6 – Схема електричних з'єднань VLT 2815 фірми Danfoss

Основні технічні дані перетворювача частоти VLT з номінальною потужністю  $S_{ном} = 1,6 \text{ кВ}\cdot\text{А}$  приведені в табл. 2.9.

Таблиця 2.9 - Технічні характеристики перетворювача частоти VLT 2815 фірми Danfoss

$U_{ном}, \text{В}$	$f_c, \text{Гц}$	$S_{ном}, \text{кВ}\cdot\text{А}$	$I_{ном}, \text{А}$	$U_{вих}, \text{В}$	$f_{вих}, \text{Гц}$
380×3	50 (60)	1,6	3,6	10...480	1...200

Електрична принципова схема частотного електропривода гвинтового конвеєра з ПЧ представлена на рис. 2.7.

Перелік елементів схеми:

M1 – трифазний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором;

WF1 – перетворювач частоти;

QS1 – трифазний рубильник;

QF1 – трифазний автоматичний вимикач;  
KM1 – трифазний магнітний пускач;  
SF1 – трифазний автоматичний вимикач;  
SF2 – двофазний автоматичний вимикач;  
R1 – змінний резистор;  
GB1 – джерело живлення 220/24 В;  
K1, K2 – проміжне реле;  
SB1 – кнопка аварійного відключення з фіксацією;  
SB2 – планового відключення без фіксації;  
SB3 – кнопка «Пуск»;  
SB4 – кнопка «Стоп»;  
HL1...HL4 – світлодіоди;

Перетворювач частоти WF1 за допомогою змінного резистора R1 забезпечує плавне регулювання частоти обертання вала двигуна M1 у діапазоні 100...1000 об/хв., захист двигунів від струмів тривалого перевантаження і від струмів короткого замикання та обриву фаз.

Електричного гальмування двигуна гвинтового конвеєра у даної схеми управління не передбачено.

Включення і відключення двигуна привода відцентрової дробарки M1 здійснюється кнопками SB3 «Пуск» і SB4 «Стоп» та магнітного пускача KM1 та перетворювача частоти WF1 за допомогою проміжних реле K1 і K2 та їх замикаючих K1:1, K2:1 і розмикальних K1:2, K2:2 контактів шляхом натискання одної з кнопок поста управління SB3 «Пуск» або SB4 «Стоп».

На табло перетворювача частоти WF1 розташовані світлодіоди VS1...VS4 для індикації режимів його роботи: VS1 – «Мережа», VS2 – «Робота», VS3 – «Норма», VS4 – «Аварія». На корпусі перетворювача розташована клавіатура для його програмування, наприклад, час розгону і гальмування двигуна.

Частота обертання двигуна M1 задається реостатом R1 за індикатором на ПЧ. Фактична частота обертання визначається індикатором на ПЧ.

Напруга живлення машини здійснюється автоматичним вимикачем QF1. Для аварійної зупинки машини застосований пост SB1 «Стоп».

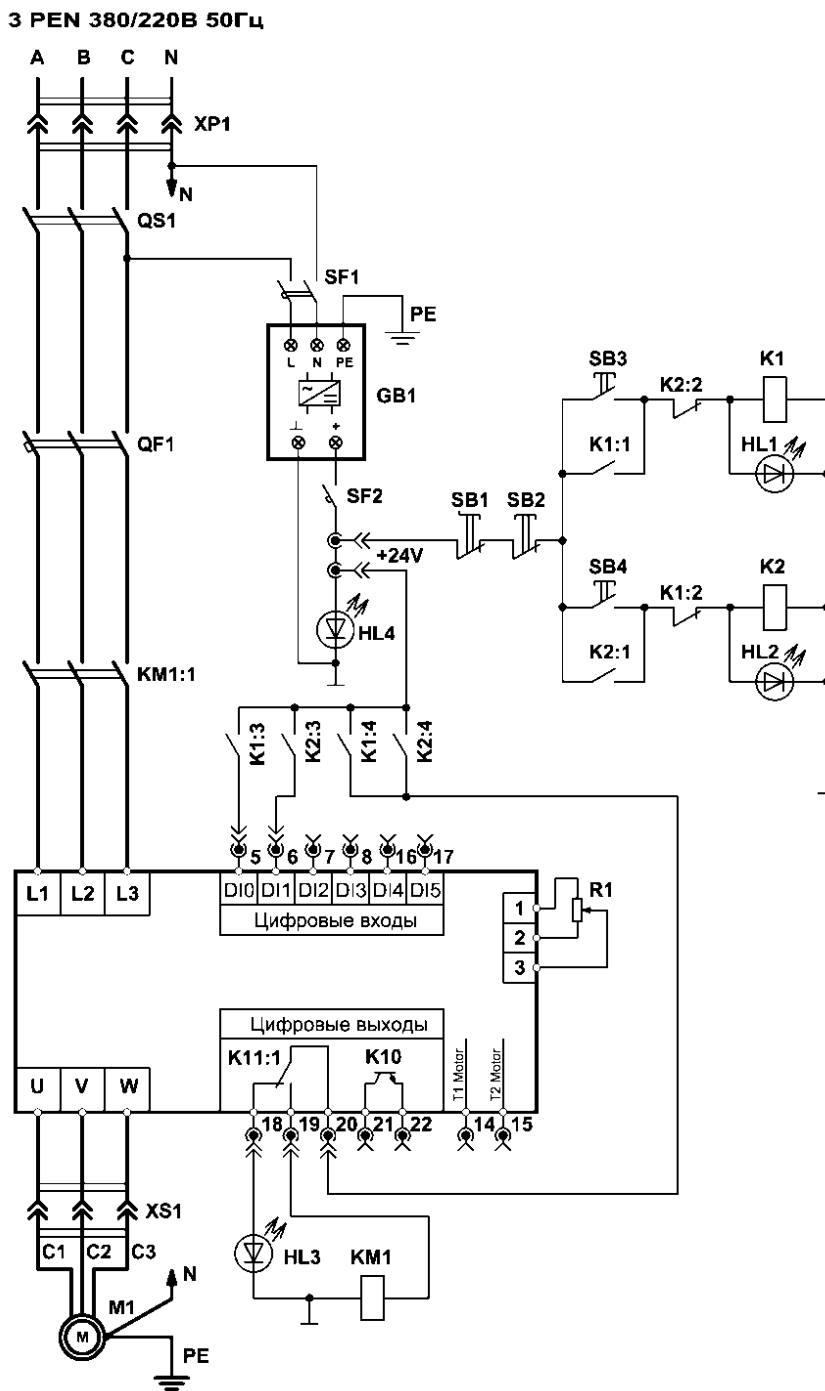


Рисунок 2.8 - Електрична принципова схема частотного управління електропривода відцентрової дробарки ЦДГ-30 з ПЧ ACS350-03E-12

Напруга кола управління знижується від 220 В 50 Гц до 24 В, тобто до безпечного значення напруги здійснюється джерелом живлення GB1. Включення і захист кіл управління та сигналізації від струмів короткого замикання здійснюється з боку вищої напруги двофазним автоматичним вимикачем SF1, а з боку низької напруги двофазним автоматичним вимикачем SF2.

Сигналізація роботи машини здійснюється світлодіодами HL1...HL4.

Повторне мимовільне включення машини після короткочасного зникнення електроенергії блокується перетворювачем частоти WF1, проміжним реле K1, K2, а також магнітним пускачем KM1 шляхом розмикання їх замикаючих контактів K1:1, K2:1 та KM1:1.

### 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА НА ЕОМ

#### 3.1 Складання імітаційної моделі електроприводу

Під імітаційним моделюванням будемо розуміти дослідження поведінки моделі складної системи, спрямоване на одержування інформації про саму систему.

Для отримання більш точного уявлення про протікання перехідних процесів проведемо дослідження динаміки системи ПЧ-АД при використанні еквівалентної двофазної моделі двигуна в векторній формі.

Математичний опис процесів перетворення енергії в асинхронному двигуні здійснюється під час роботи мережі. Перетворення енергії в цьому двигуні є складним завданням в зв'язку з істотною нелінійністю рівнянь.

Двигун є трифазним, що ускладнює математичний опис через збільшення числа рівнянь, тому процеси в багатофазних електричних машинах представляються в еквівалентній двофазній моделі цієї машини. Умовою адекватності є інваріантність потужності машини при перетворенні рівнянь. При вирішенні завдання перетворення кожна реальна змінна двигуна - напруга, струм, потокозчеплення - представляються у вигляді вектора. Напрямок вектора жорстко пов'язано з відповідною даній обмотці (статора або ротора) віссю координат. З статором жорстко пов'язана ортогональна система координат з осями  $(\alpha, \beta)$  а з ротором - з осями  $(d, q)$ . Всі розрахункові змінні представляються в системі координат  $(U, V)$ , яка обертається відносно нерухомого статора зі швидкістю  $\omega$ . Перетворювання реальних змінних двигуна в осях  $(\alpha, \beta)$  або  $(d, q)$  в розрахункові  $(U, V)$  і назад проводиться за допомогою проєкцій відповідних векторів змінних на ці осі згідно відомим геометричним закономірностям.

Відповідно до поставленої задачі, в середовищі Matlab / Simulink була розроблена імітаційна модель асинхронного двигуна для дослідження в режимі прямого пуску та модель з частотним регулюванням ПЧ-АД при статичному навантаженні і представлена на рис. 3.1, 3.3.

### 3.2 Отримання та обробка результатів моделювання електроприводу

Для моделювання системи управління гвинтовим конвеєром скористаймося додатком SIMULINK пакета прикладного програмного забезпечення MATLAB.

Метою даного розділу є дослідження перехідних процесів в системі спрощеної моделі АД.

Проаналізуємо дану схему:

1 При прямому пускі асинхронного двигуна.

2 При пускі асинхронного електроприводу з частотним регулюванням:

а) при частоті  $f_1 = 50$  гц для номінального режиму роботи;

б) при частоті  $f_1 \text{ мін} = 10$  Гц для мінімального режиму роботи

Режим прямого пуску і гальмування асинхронного двигуна:

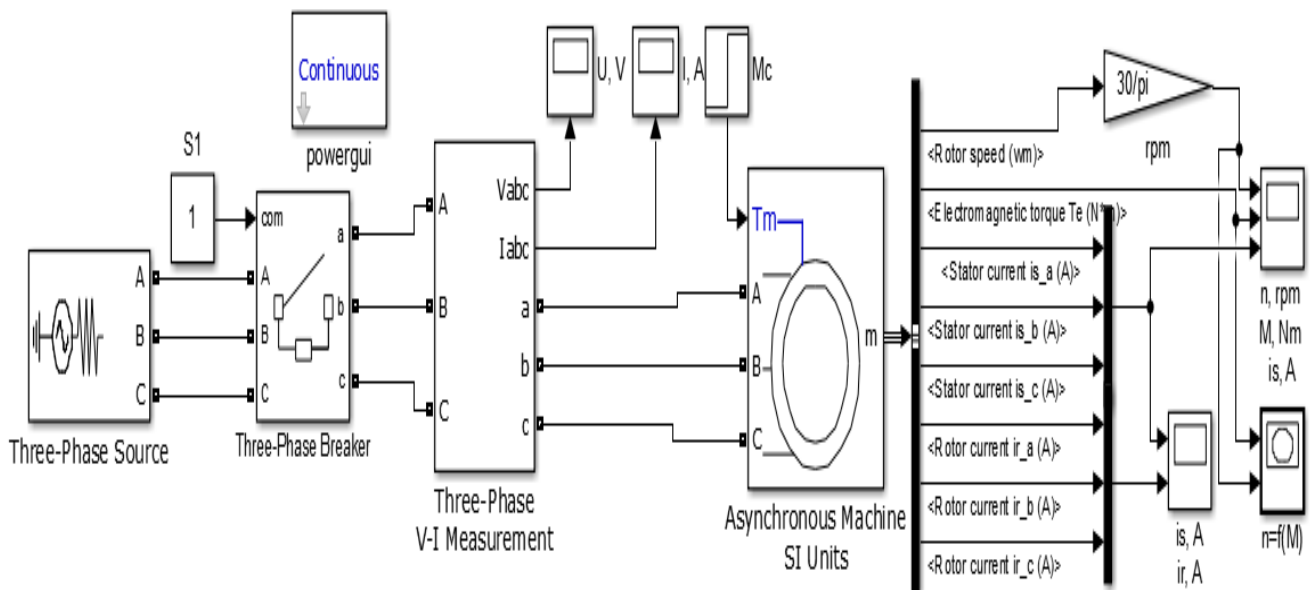


Рисунок 3.1 – Схема прямого пуску двигуна

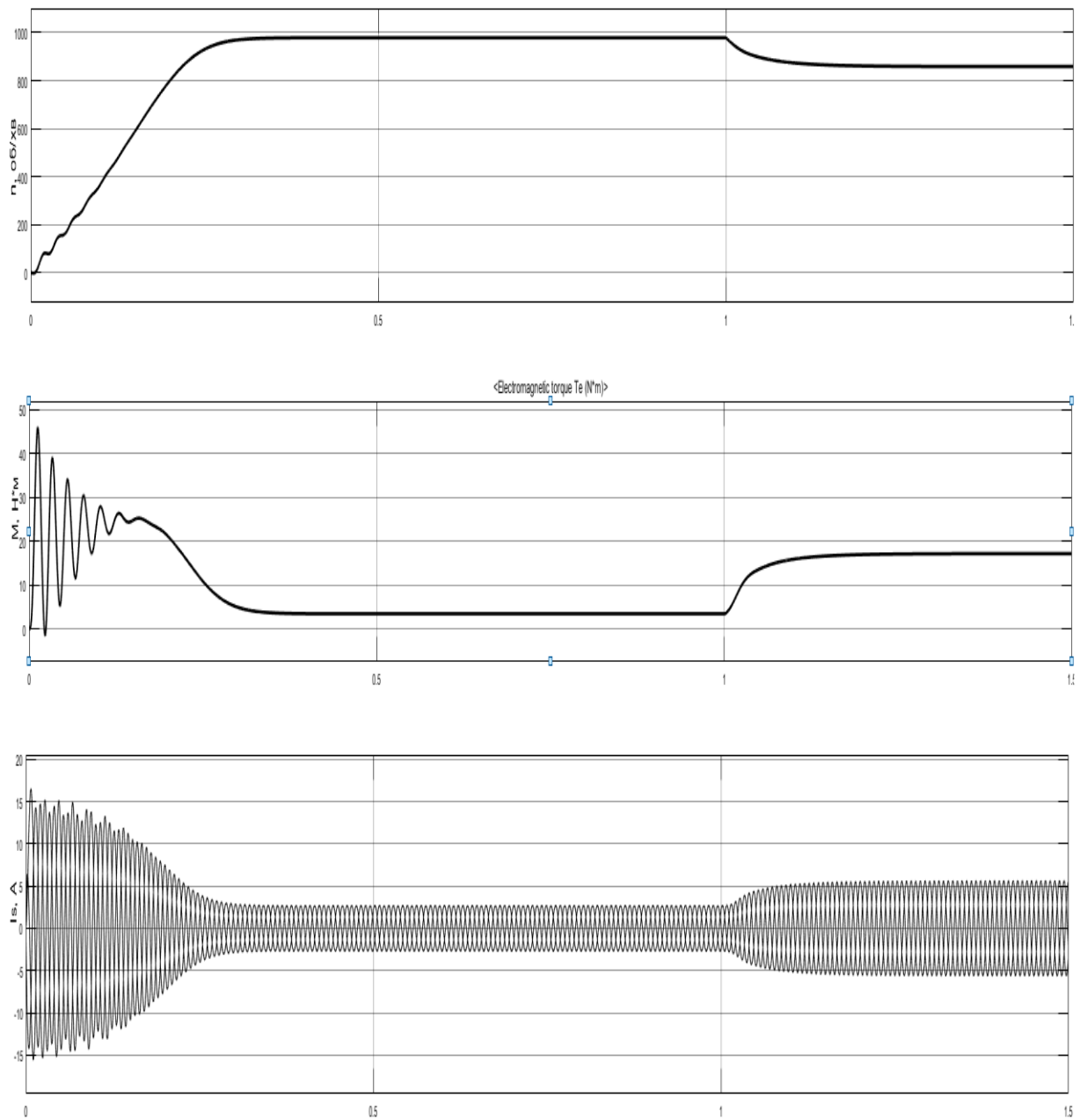


Рисунок 3.2 – Динамічні характеристики при прямому пуску асинхронного двигуна: частоти обертання, електромагнітного моменту і струмів статора.

Режим пуску і гальмування асинхронного електроприводу з частотним регулюванням:

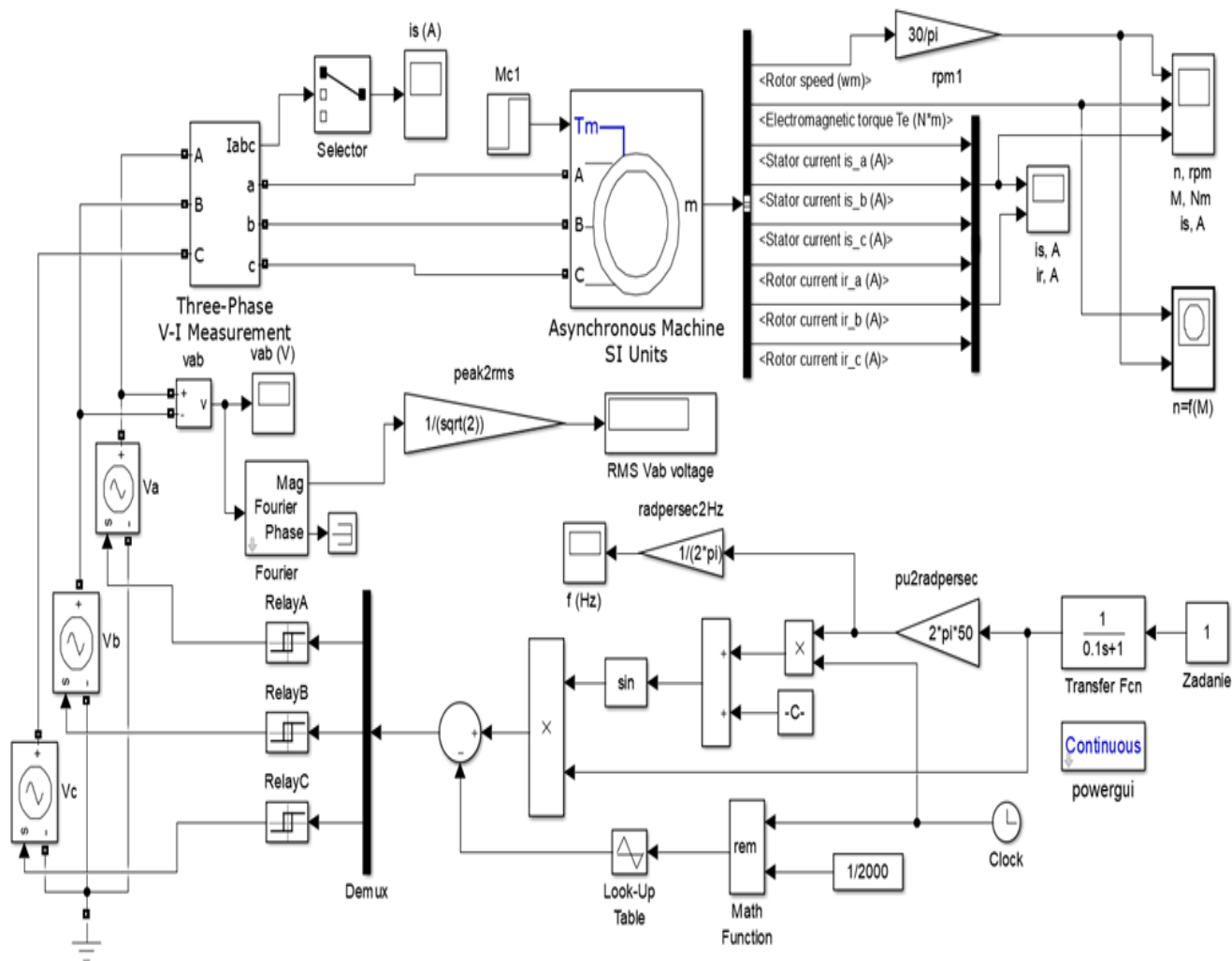


Рисунок 3.3 – Схема пуску асинхронного електроприводу з частотним регулюванням: а) при частоті  $f_1 = 50$  Гц для номінального режиму роботи б) при частоті  $f_{1\text{мін}} = 10$  Гц для режиму роботи з мінімальною швидкістю 200 об/хв.

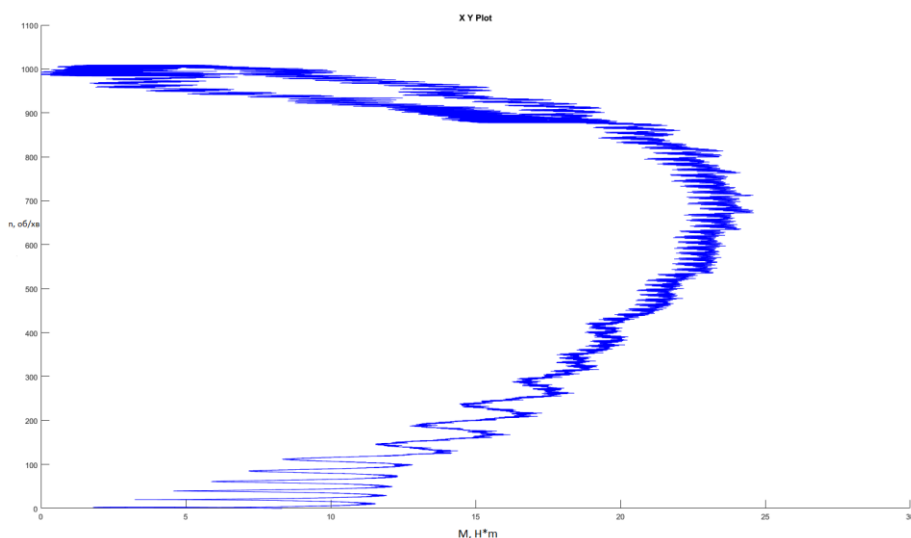


Рисунок 3.4 – Динамічна механічна характеристика АД з частотним управлінням при частоті  $f_1 = 50$  Гц для номінального режиму роботи

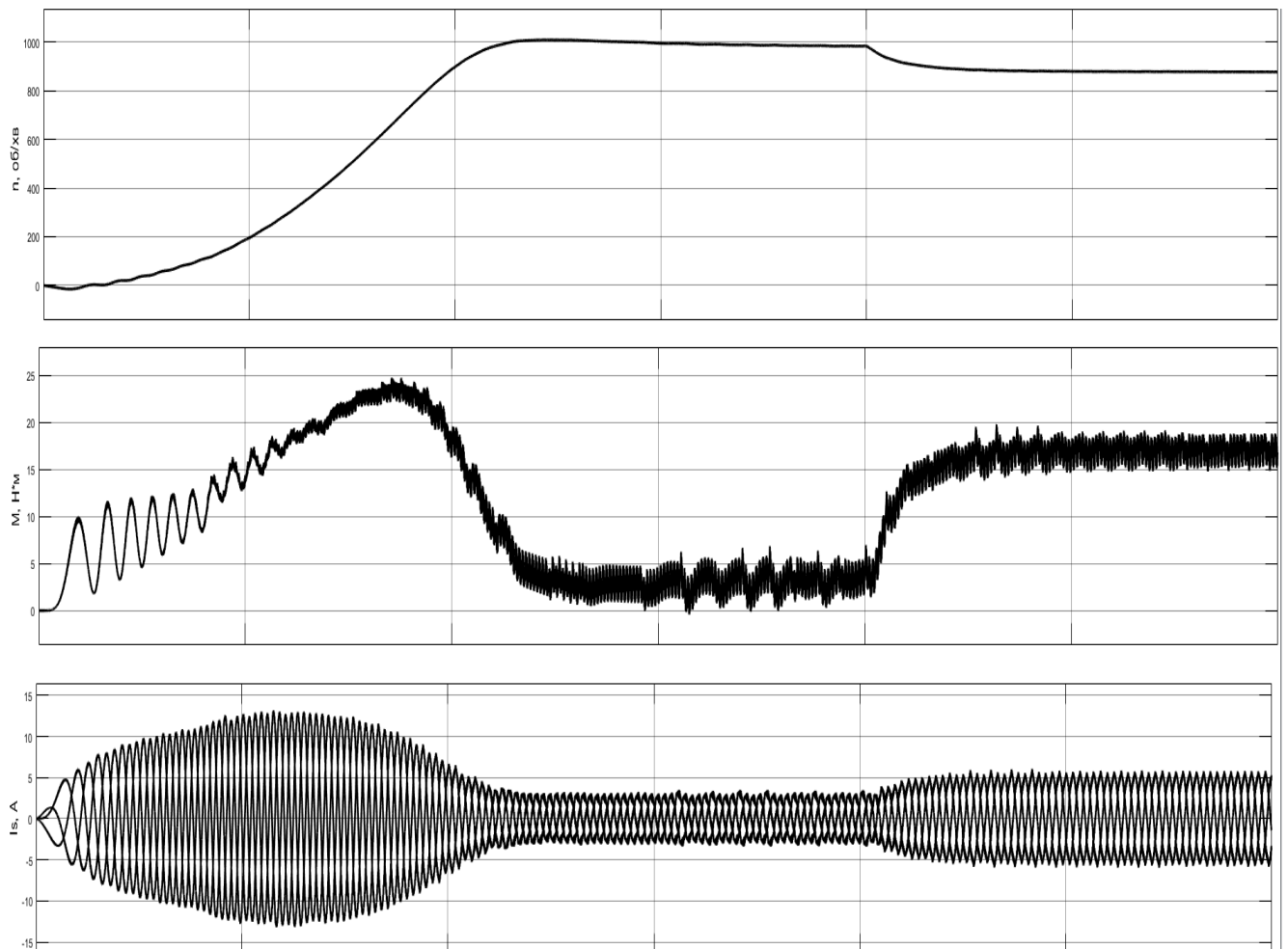


Рисунок 3.5 – Динамічні характеристики асинхронного електроприводу з частотним регулюванням при частоті  $f_1 = 50$  Гц для номінального режиму роботи

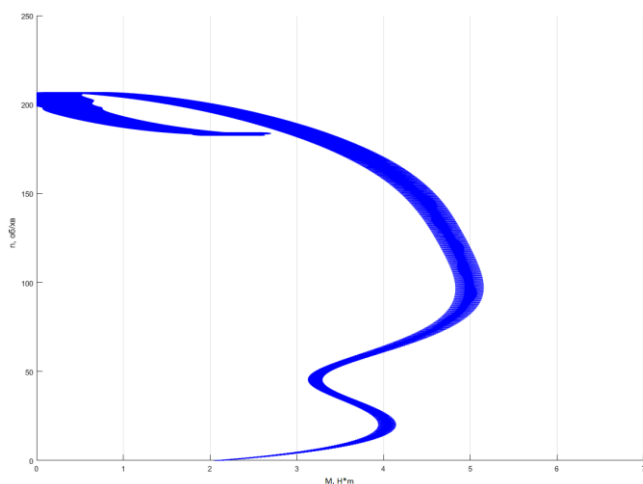


Рисунок 3.6 – Динамічна механічна характеристика АД з частотним управлінням при частоті  $f_1 = 10$  Гц для режиму роботи з мінімальною швидкістю 200 об/хв.

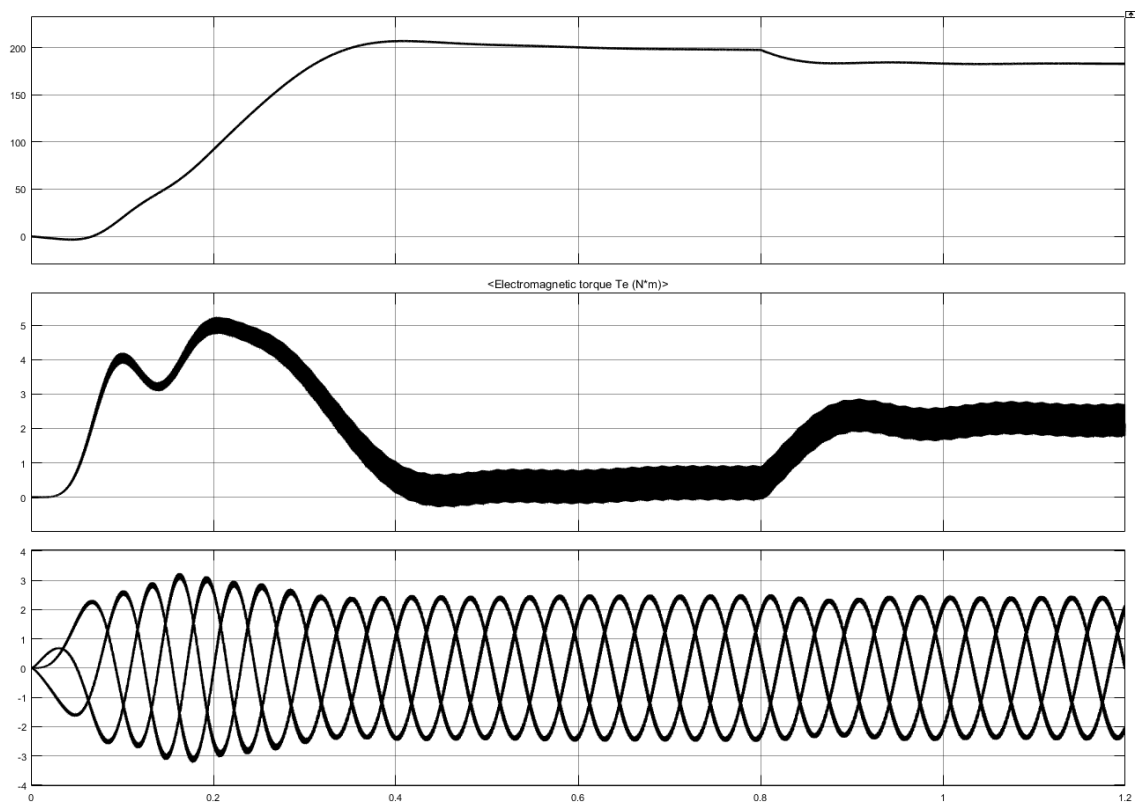


Рисунок 3.7 – Динамічна механічна характеристика асинхронного електроприводу з частотним регулюванням при частоті  $f_{1\text{мін}} = 10$  Гц для режиму роботи з мінімальною швидкістю

Основні показники якості перехідних процесів:

1. При прямому пуску:

Час перехідного процесу 0,31 с

Статична помилка склала 12%

2. При пуску з частотним регулюванням:

а) час перехідного процесу 0,47 с

Статична помилка склала 10,6%

б) Час перехідного процесу 0,52 с

Статична помилка склала 9,7%

## 4 ОРГАНІЗАЦІЙНА ТА ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 4.1 Організація монтажу та ремонту норії

Залежно від висоти, норії надходять на місце експлуатації в складеному або розібраному вигляді.

Змонтовані конвеєри встановлюють на фундаменти. Установку супроводжують ретельним вирівнюванням за рівнем. Перш ніж приступити до монтажу конвеєра, що надійшов в розібраному вигляді, необхідно ретельно перевірити технічний стан приводу, коробу, цапф і вкладишів підвісних підшипників. При перевірці слід переконатися в тому, що немає вм'ятин в коробі, викривлення стрічки, звернути увагу на ступінь підгонки прішабренних поверхонь і вкладишів. Виявлені дефекти повинні бути ліквідовані до монтажних робіт. Одночасно необхідно перевірити стан фундаменту. Після перевірки стану вузлів машини і фундаменту необхідно натягнути головну струну - орієнтир і уточнити вертикальні позначки опор машини. Доцільно починати монтаж машини з установки приводних секції. Закріпивши приводну секцію, монтують короба. У тому випадку, якщо короб складається з окремих секцій, їх необхідно зістикувати, перевірити по орієнтиру в горизонтальній площині і за рівнем у вертикальній площині. Виконуючи цю роботу, треба стежити за тим, щоб в коробі не було викривлень і ступенів на стиках його окремих секцій. Для того щоб уникнути прокидання і збирання пилу, що транспортується, в стиках короба необхідно поставити прокладки з картону або азбесту. Після установки і вивірки короба слід перейти до монтажу підвісних підшипників і секцій ковшей. Приступаючи до цієї роботи, слід мати на увазі, що взаємне положення ковша і короба визначається точністю розташування і кріплення підвісних підшипників. Підвісні підшипники вирівнюють встановлюючи прокладки. Під час вирівнювання необхідно, щоб осі ковшів і осі короба конвеєра збігалися. Після закінчення вирівнювання вала підвісні підшипники остаточно закріплюють, вал конвеєра повертають вручну і виявляють всі місця торкання ковшів за кожух. Виявлені дефекти усувають, після чого конвеєр обкатують на холостому ході протягом 1-2 год.

Змонтований повністю конвеєр обкатують під навантаженням. При цьому конвеєр періодично зупиняють і перевіряють стан кріплення і ступінь нагріву підшипників.

#### **4.2 Організація експлуатації норії**

Перед експлуатацією будь-якої машини безперервного транспорту, в тому числі і норії, необхідно виконати пробний пуск вхолосту, під навантаженням і регулюванням машини.

Перш ніж приступити до пуску конвеєра, необхідно перевірити, чи відкриті розвантажувальні засувки і підготовлений чи до прийому матеріалу наступний за конвеєром агрегат. Включати конвеєр доцільно при порожньому жолобі, так як наявність матеріалу при пуску значно підвищує величину крутного моменту і додатково навантажує робочі органи машини. Після пуску повільно відкривають засувку завантажувальної воронки з тим, щоб поступово збільшувати кількість матеріалу що надходить. Живлення конвеєра повинно бути рівномірним, подача в нього матеріалу в кількості, що перевищує пропускну здатність, не допускається, так як це може привести до опресування, що транспортується в жолобі. В процесі експлуатації необхідно постійно стежити за станом підвісних підшипників конвеєра. Шийка вала, яка обертається в підвісних підшипниках, відноситься до найбільш зношувальних деталей. Перегрів підвісних підшипників, які призводять до прискореного їх зносу, може статися в результаті зсуву осі підшипників щодо осі конвеєра, попадання частинок транспортованого матеріалу.

Таким чином, в першу чергу необхідно стежити за тим, щоб підшипники володіли достатньою жорсткістю, були надійно закріплені і не вібрували під час роботи. В процесі роботи окремі шматки матеріалу, що транспортуються заважають через недостатній зазор між ковшом і коробом. Величину зазору можна змінювати, регулюючи положення підшипника прокладками. Транспортування матеріалів, що володіють властивістю спресовуватися і цементуватися, вимагає більш ретельного спостереження за конвеєром. З затворів конвеєра слід систематично вичищати пилоподібні матеріали. В процесі експлуатації гвинтових конвеєрів необхідно дотримуватися правил техніки

безпеки. Поряд із загальними правилами, характерними для всіх машин, слід знати, що категорично забороняється знімати кришку конвеєра під час його роботи.

#### **4.3 Організація та технологія монтажу електропривода норії.**

Монтаж приладів і систем електропривода герметичних ковшових конвеєрів - складний комплекс работ, котрий повинен виконуватися у відповідності з проектом і діючими технічними умовами. Звичайно монтаж систем електропривода машин включає наступні етапи работ:

- підготовка до виконання монтажних работ;
- виконання монтажних работ;
- здавання змонтованої системи для налагодження.

На першому етапі монтажу (підготовка) виділяють три складові: інженерно-технічну, матеріально-технічну і організаційну.

Співвідношення цих складових у залежності від складності об'єктів автоматизації різне, однак їх наявність і правильне поєднання забезпечують своєчасне і якісне виконання всього комплексу работ.

Так, наприклад, інженерно-технічна підготовка передбачає інструкції по монтажу та експлуатації і вивчення нормативно-технічної документації. За результатами аналізу іноді вимагається виконання розрахунку та вибір проводів і пускозахисної апаратури, розробка графіку виконання монтажних работ. Матеріально-технічна підготовка передбачає заготовку матеріалів, комплектуючих виробів, деталей і конструкцій [7].

До питань організаційної підготовки відносяться: обладнання приміщень на об'єкті для виконання работ та зберігання обладнання і інструменту; комплектування монтажних бригад; контроль і участь при необхідності в установці закладних конструкцій або в інших будівельно-монтажних работах. У загальному випадку підготовчі работи виконуються у наступній послідовності:

- вивчають схеми принципіальні електричні і схеми зовнішніх з'єднань, замовні специфікації на електрообладнання: апаратуру, проводи та кабелі, установлювальні і монтажні матеріали;

- знайомляться із розташуванням пристроїв електропостачання, трасами прокладання проводів і кабелів;
- перевіряють спеціальними металошукачами відсутність на трасі прихованої електропроводки інших енергоспоживачів, металевих закладних конструктивних частин, труб та інше;
- вивчають характеристику стін, по котрим або всередині котрих пройдуть траси електропроводки, яку прокладають.
- складають перелік додаткових матеріалів, комплектуючих виробів, інструментів, які відсутні у специфікації проектної документації;
- перевіряють наявність необхідного монтажного інструменту та контрольно-вимірювальних приладів;
- складають графік виконання електромонтажних робіт і узгоджують його з іншими виконавцями будівництва об'єкту (будівельниками, сантехніками, енергетиками і інше).

Якщо монтаж електрообладнання виконується без проектної документації, складають схеми електричних з'єднань, схему прокладання електропроводки, проводять розрахунки вибору електропроводів, автоматичних вимикачів складають специфікацію на комплектуючі і монтажні матеріали.

Монтаж електричних машинт конвеєра, які поступили у розібраному вигляді, значно складніше і включає наступні основні технологічні операції: установку і вивірку фундаментної плити і підшипникових стояків; заведення ротора в статор; установку: нижніх вкладних підшипників, статора разом із ротором на фундаментну плиту, пів муфт; центрування валів; перевірку зазорів у підшипниках і припасування підшипників; вивірку повітряних зазорів і суміщення магнітних осей статора і ротора; заливання фундаментних плит і фундаментних болтів бетонною сумішшю, перевірку центрування валів після заливання фундаментних плит; остаточну збірку підшипників і перевірку їх ущільнення; під'єднання зовнішніх кабелів, повітроохолоджувачів, маслопроводів і заземлення; установку захисних кожухів, щитів і огорожень.

Фундаментні плити для електричних машин, що поставляються разом з ними, виготовляють з товстої листової сталі або швелерів і балок крупного

перетину. При цьому для електричних машин, які входять до складу перетворювальних агрегатів, у залежності від габаритів останніх фундаментних плити виготовляють у вигляді одної плити, спільної для всього агрегату, або окремих, чи для кожної машини, а для приводних двигунів, як правило, тільки у вигляді окремої плити.

Основною причиною появи паразитних струмів є асиметрія магнітного поля машини, у результаті чого виникає пульсуючий магнітний потік, котрий пересікає короткозамкнене коло (вал - підшипникові стояки - фундаментна плита - вал) і може викликати більш значні струми. Ізолюючі прокладки розривають короткозамкнене коло.

На установлювальних заводських кресленнях дані вказівки по ізоляції болтів, які закріплюють стояки до плити, конічних контрольних штифтів. Для ізолювання болтів застосовують бакелітові трубки із товщиною стінки 2 мм, а конічних штифтів - трубки з прешпану або електрокартону.

Центрування валів включає дві основні операції: вивірку вісі загального валу (вивірку лінії валів) і усунення бокових і кутових зміщень валів з'єднувальних машин і механізмів.

Сушіння ізоляції електричних машин, як правило, проводять до їх установки. Разом з тим не рідкісні випадки, коли вже встановлені електричні машини тривалий час бездіють у зв'язку з затримкою пуску об'єкту або технологічного комплексу, у результаті чого їх ізоляція зволожується та не відповідає нормативним вимогам. У таких випадках ізоляцію електричних машин просушують перед їх пуском.

Призначення сушіння - видалення вологи із ізоляції обмоток і інших струмопровідних частин з метою підвищення опору до значень, які дозволяють поставити машини під напругу.

В тому випадку, якщо один із перелічених способів не створює необхідної для сушіння температури або обігрівання відбувається нерівномірно, застосовують комбіноване сушіння. При цьому одночасно використовують не один, а будь-які два способи.

Для зовнішнього нагрівання машин застосовують чавунні опори або ящики опорів, а також спеціально виготовлені нагрівачі, котрі розташовують під машиною таким чином, щоб виключити можливість місцевих перегрівань від прямого вилучення тепла або надто близького розміщення нагрівача.

Під час сушіння спостерігають за тим, щоб температура гарячого повітря, яке поступає у машину, не перевищувала  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а температура обмоток у найбільш нагрітій частині –  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Температуру заміряють термометрами, встановленими на патрубку повітрорудки і в найбільш нагрітій частині обмотки, а в крупних електричних машинах - вбудованими температурними індикаторами (термопарами). Цей спосіб застосовують для сушіння дуже відвологлих машин.

Для сушіння машин цим способом застосовують ряд схем. Нижче розглядаються тільки найбільше розповсюджені з них.

Асинхронні двигуни сушать трифазним струмом у режимі КЗ. Для цього ротор загальмовують, а його обмотку закорочують на кільцях спеціальною перемичкою (для уникнення підгоряння кілець). Струм сушіння підтримують не більше  $0,7I_{\text{ном}}$ , таким чином, підведена напруга повинна бути не більше  $0,7$  напруги КЗ. Може бути рекомендована для всіх електричних машин. При даному способі застосовують одну із двох різновидів сушіння: втратами в активній сталі статора або втратами у корпусі статора. Нагрівання проводять за рахунок створення змінного магнітного потоку шляхом накладання на статор намагніченої обмотки, що живиться однофазним струмом.

#### **4.4 Організація та технологія ремонту електродвигуна норії**

Об'єм і норми післяремонтних випробувань електрообладнання викладені у ПУЕ.

У електродвигунів виміряють опір ізоляції, перевіряють роботу на холостому ході або із ненавантаженим механізмом і роботу під навантаженням.

Опір ізоляції статора виміряють мегомметром напругою  $1,0\text{ кВ}$ , а ротора мегомметром напругою  $0,5\text{ кВ}$ . При температурі  $10...30\text{ }^{\circ}\text{C}$  опір ізоляції статора повинен бути не менше  $0,5\text{ МОм}$ . Опір ізоляції ротора не нормується. Опір

реостатів і пускорегулюючих опорів повинен відрізнятися від паспортних даних не більше ніж на 10%. При цьому також перевіряють цілісність відпайок.

Тривалість перевірки роботи на холостому ході не менше 1 години. Перевірку роботи під навантаженням проводять при потужності, яка забезпечується технологічним обладнанням до моменту здавання апаратури в експлуатацію. При цьому для електродвигунів з регулюючою частотою обертання визначають межі регулювання.

У електродвигунів змінного струму напругою вище 1000 В крім перелічених вище випробувань перевіряють можливість включення під напругу без сушіння; випробують підвищеною напругою промислової частоти; вимірюють опори обмоток статора і ротора постійному струму; випробують повітроохолоджувач гідравлічним тиском; вимірюють вібрацію підшипників.

Випробування підвищеною напругою промислової частоти проводять на повністю зібраному двигуні. Випробування обмотки статора проводять для кожної фази окремо відносно корпусу при двох інших з'єднаних з корпусом. Тривалість випробування напругою 1 хв.

Опори обмоток різних фаз повинні відрізнятися одна від одної або від заводських даних не більше ніж на 2%. Випробування повітроохолоджувача проводять надмірним гідравлічним тиском 0,20...0,25 МПа на протязі 10 хв. При цьому не повинно спостерігатися зниження тиску або витoku.

Вимірювання вібрації проводять на кожному підшипнику; її граничне значення не повинно перевищувати приведені нижче результати:

Вторинні кола управління, захисту та сигналізації у релейно-контактних схемах установок до 1 кВ випробують підвищеною напругою 1 кВ на протязі 1 хв. і вимірюють опір ізоляції мегомметром 0,5...1 кВ. Опір ізоляції повинен бути не менше 0,5 МОм; опір ізоляції кіл управління, захисту і збудження машин постійного струму - не менше 1,0 МОм.

Повністю зібрані схеми перевіряють на можливість функціонування при різних значеннях оперативного струму. Автомати захисти і контактори випробують багатократними включеннями та відключеннями при зниженій і номінальній напругах оперативного струму.

Всі випробування та вимірювання оформлюють актами і протоколами. Про виконання текучого ремонту роблять запис у відповідному журналі і на бланках, в котрих вказані типові роботи по ремонту електрообладнання. Така система спрощує оформлення документації по ремонту, так як персоналу залишається тільки вказати у журналі і на бланку основні дані, які відносяться до відремонтованого обладнання, відмітити перелік виконаних робіт і прізвища виконавців.

Виконання капітальних ремонтів оформлюється спеціальними актами приймально-здавальних ремонтних робіт. Акт містить перелік типових і обов'язкових робіт при цьому виді ремонту. Правильне оформлення документації сприяє покращанню організації ремонтних робіт, дозволяє отримати необхідне уявлення про стан електрообладнання і на цій основі правильно встановити строки і об'єми чергових ремонтів.

Випробувальне відділення крім випробування відремонтованого електрообладнання проводить ремонт і перевірку електровимірювальних приладів, а також профілактичні випробування заводського електрообладнання і електромереж за допомогою пересувних і стаціонарних випробувальних апаратів. Випробувальне відділення розташовують поблизу збірної площадки, де проводять всебічні випробування і вимірювання відремонтованого електрообладнання у відповідності з діючими нормами перед здаванням його експлуатаційній службі.

#### 4.5 Організація та технологія обслуговування електродвигуна норії

При технічному обслуговуванні електрообладнання його огляд і контроль за роботою проводять у строки, що визначені ППТОР. Електроприводи оглядають тим частіше, чим більш тяжкі умови роботи, наприклад велика тривалість розгону електродвигуна, часті пуски, висока температура навколишнього середовища. Конструкція електродвигунів також може впливати на необхідну періодичність їх оглядів. Крім того, при встановленні періодичності оглядів треба враховувати і технічний стан електродвигунів, наприклад степінь їх зношеності.

При огляді під час обходів електроприводів перевіряють температуру нагрівання двигунів; слідкують за утримуванням їх у чистоті. Поблизу них не повинно бути сторонніх предметів, особливо небезпечних у пожежному відношенні. Спостерігають, щоб пуск і зупинка електродвигунів проводилися виробничим персоналом за інструкцією та електродвигуни не працювали порожньо. Контролюють напругу електромережі, котра повинна бути в межах 95..110% від номінальної. Перевіряють у підшипниках, реостатах та пусковій апаратурі рівень масла. Звертають увагу на справність огорожень, які заважають випадковим доторканням до обертаючих частин електропривода; усувають дрібні несправності (наприклад, замінюють перегорілі запобіжники, регулюють натискання щіток) і проводять зовнішнє очищення електродвигунів. Контроль за температурою електродвигуна є суттєвим елементом його експлуатації, так як найбільш пошкоджені частини електродвигуна зв'язані із нагріванням вище гранично допустимої температури. Розрізняють гранично допустиму температуру нагрівання і гранично допустиме перевищення температури нагрівання окремих частин електричної машини.

При експлуатації від'єднувати машину від мережі та виміряти опір обмоток для визначення температури їх нагрівання не завжди можливо. Тому контроль нагрівання проводять, вимірюючи температуру доступних частин - корпусу електродвигуна, кришок підшипників.

Основною причиною, яка викликає перевищення гранично допустимої температури електродвигунів, є їх перевантаження. Тому при роботі електродвигунів, а також регулюванні технологічного процесу слід контролювати

показники амперметрів, котрі встановлюють у коло статора. При нагріваннях двигунів вище допустимої межі слід знизити навантаження.

На роботу електродвигунів суттєво впливає напруга живлячої мережі: підвищення напруги мережі приводить до збільшення намагнічуючого струму, що викликає перевищення гранично допустимої температури; зниження напруги

мережі зменшує момент обертання, що також викликає збільшення струму та підвищення температури. Враховуючи це, при експлуатації електродвигунів контролюють напругу живлячої мережі.

Погіршення ізоляції обмоток при експлуатації електродвигуна з часом може привести до КЗ між обмотками, а також до замикання обмоток на корпус електродвигунів. Для запобігання вказаних явищ і зв'язаного с ними виходу електродвигунів із ладу опір ізоляції обмоток періодично вимірюють мегомметрами. Строки таких перевірок залежать від місцевих умов (вологості навколишнього середовища, запиленості приміщення), технічного стану електродвигуна і встановлюються графіком.

Крім періодичних проводять і позачергові перевірки, які улаштовують після довготривалих переривів у роботі електродвигунів, після попадання на них води і в тих випадках, коли виникає небезпека у погіршенні стану ізоляції обмоток. При оцінюванні стану ізоляції обмоток електродвигуна доцільно порівняти дані отриманих вимірювань із попередніми.

Дуже велике розходження у результатах проведених вимірювань повинно послужити основою для докладного дослідження. В тому випадку, коли контрольне вимірювання опору ізоляції обмоток електродвигунів незадовільне, виникає необхідність сушіння електродвигуна або його ремонту.

У процесі експлуатації електроприводів можуть виникати ситуації, при котрих електродвигун слід відключити від мережі. До них відносяться: поява диму чи вогню з електродвигуна або його апаратури; нещасний випадок з людиною, що вимагає зупинки електродвигуна; виникнення вібрації, яка загрожує цілісності електродвигуна; поломка приводного механізму; перегрівання підшипників зверх допустимого значення; зниження обертів електродвигуна, що супроводжується швидким його нагріванням.

При оглядах електроприводів при необхідності вимірюють вібрацію. В цих цілях найбільш простий і зручний в експлуатації віброметр типу ВР. Віброметр допускає вимірювання вібрацій від 0,05 до 6 мм у машин з частотою обертання двигуна більше 750 об/хв. і має записуючий пристрій.

Стан електродвигунів, їх пуск регулюючих пристроїв та захисту повинен забезпечувати їх надійну роботу при пуску і у робочих режимах.

Відхилення напруги від номінального значення, вказаного на заводській таблиці електродвигуна, тягне за собою зміну його обертаючого моменту, струмів, температур нагрівання обмоток і активної сталі, енергоекономічних показників - коефіцієнта потужності та ККД.

#### **4.6 Організація охорони праці і техніки безпеки при експлуатації норії**

Конструкція конвеєрів повинна передбачати установку завантажувальних і розвантажувальних пристроїв для рівномірної і централізованої подачі вантажу на конвеєр у напрямі його руху. Завантажувальні і розвантажувальні пристрої повинні виключати заклинювання і зависання в них вантажу, утворення просипу (випадання штучних вантажів) і перевантаження конвеєра.

На трасах конвеєрів з пересувними завантажувальними і розвантажувальними пристроями повинні бути встановлені кінцеві вимикачі і опори, що обмежують хід завантажувально-розвантажувальних пристроїв.

Складові частини конвеєрів масою більше 16 кг, що мають незручну для строповки конструкцію, повинні мати пристосування або місця (отвори, приливи, рим-болти і т. п.) для підйому вантажопідйомними засобами.

Вимоги до пристрою засобів захисту. Рухомі частини конвеєрів (приводні, натяжні пристрої, муфти), до яких можливий доступ обслуговуючого персоналу і осіб, конвеєрів, що працюють поблизу, повинні бути захищені.

Захисні огорожі повинні бути відкидні (на петлях, шарнірах) або знімні, виготовлені з окремих секцій. Для зручності обслуговування захищених частин конвеєрів в огорожах повинні бути передбачені дверці і кришки. Огорожі, дверці і кришки повинні бути забезпечені пристосуваннями для надійного утримання їх в закритому (робочому) положенні.

На конвеєрах, що входять в автоматизовані транспортні або технологічні лінії, повинні бути передбачені автоматичні пристрої для зупинки приводу при появі аварійної ситуації.

На технологічній лінії, що складається з декількох послідовно встановлених і одночасно працюючих конвеєрів або з конвеєрів у поєднанні з іншими машинами приводи конвеєрів і всіх машин необхідно блокувати так, щоб у разі раптової зупинки машини або конвеєра попередні машини або конвеєри автоматично відключалися, а подальші продовжували працювати до повного сходу з них вантажу, що транспортувався.

Конвеєри в головній і хвостовій частинах повинні бути обладнані аварійними кнопками «Стоп».

У схемі управління конвеєрами повинні бути передбачені блокування або установка попереджувальної сигналізації, що унеможливають повторного включення приводу до ліквідації аварійної ситуації.

На ділянках траси конвеєрів, що знаходяться поза зоною видимості оператора з пульта управління, повинна бути встановлена двостороння попереджувальна передпускова звукова або світлова сигналізація, що включається автоматично перед виключенням приводу конвеєра.

На робочих місцях повинні бути поміщені таблички, що пояснюють значення вживаних "засобів" сигналізації і режим " управління конвеєром.

Відхилення напруги від номінального значення, вказаного на заводській табличці електродвигуна, тягне за собою зміну його обертаючого моменту, струмів, температур нагрівання обмоток і активної сталі, енергоекономічних показників - коефіцієнта потужності та ККД.

Категорично забороняється:

- проводити роботи при включеному в мережу електропривода;
- експлуатувати гвинтовий конвеєр з пошкодженою ізоляцією дротів;
- експлуатувати гвинтовий конвеєр із сторонніми звуками або шумами;
- включати гвинтовий конвеєр без заземлення.

При проведенні огляду гвинтового конвеєра без його виключення забороняється наближення до струмоведучих частин ближче 0,6 м.

Всі роботи на гвинтовому конвеєрі, які пов'язані з наближенням до струмоведучих частин ближче, ніж 0,6 м, повинні проводитися з його відключенням і заземленням.

## 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 5.1 Техніко-економічне провадження ПЧ-АД в норію

У дипломному проекті розроблена система автоматизації вертикального ковшового конвеєра з частотним управлінням асинхронним електродвигуном.

Управління електродвигуном передбачає автоматизацію всієї його роботи, включаючи пуск, гальмування, реверс і зміну швидкості обертання електродвигуна.

Автоматичний пуск забезпечує плавне включення пускових опорів, можливість регулювання струму в необхідних межах, що дозволяє зменшити число помилок, що виникають під час пуску, і підвищує продуктивність всієї системи в цілому.

Частотне регулювання дозволяє усунути один з істотних недоліків електродвигунів з короткозамкненим ротором - постійну частоту обертання ротора електродвигуна, не залежну від навантаження.

Переваги, які забезпечує установкою перетворювачів частоти на двигуни конвеєрів:

- підвищення керованості процесу.

Частотне регулювання створює можливість управління швидкістю електродвигуна відповідно до характеру навантаження. Це в свою чергу дозволяє уникати складних перехідних процесів в електричних мережах, забезпечуючи роботу обладнання в найбільш економічному режимі;

- енергозбереження.

Наприклад, електропривод норії працює зі змінним навантаженням, зміни якої досить важко передбачувати через випадкового характеру вантажопотоку. При цьому, час роботи на холостому ході або близькому до нього може досягати 20-40% від часу роботи конвеєра. Споживана конвеєрним транспортом електроенергія може становити до 15% від загальної споживаної енергії підприємства. Застосування частотно-регульованого електроприводу конвеєра забезпечує плавне регулювання швидкості гвинта, дозволяє отримати

максимальну економію електроенергії при змінному вантажопотоку, незалежно від закону розподілу вантажопотоків;

- високий пусковий момент.

Перетворювач частоти забезпечує високий пусковий момент. У разі аварійної зупинки гвинт конвеєра може не розвантажуватися - високий пусковий момент дозволяє запустити навіть повністю завантажений конвеєр. Якщо потрібно, може забезпечуватися номінальний момент на нульовій швидкості. Перетворювачі забезпечують момент до 200% від номінального значення;

- менше зношується вплив на механічні частини і комутаційну апаратуру під час пуску.

Плавне збільшення швидкості при пуску захищає механічні частини конвеєра від зносу, продовжуючи термін служби. Плавний пуск також сприятливий для силового комутаційного обладнання та мережі живлення;

- збільшення швидкості конвеєра.

Установка перетворювача частоти дозволяє конвеєру працювати на швидкостях вище номінальної, якщо цього вимагає технологічний процес;

- використання існуючих двигунів.

При модернізації конвеєра перетворювачі частоти можуть встановлюватися на існуючі двигуни (з існуючими редуктором). Тим самим, витрати на модернізацію - мінімальні.

## **5.2 Економія електроенергії**

Світовий досвід показує, що економне і раціональне споживання електроенергії більшою мірою реалізується за рахунок оптимізації її використання.

Економія електроенергії без збитку інтересів споживачів може бути досягнута тільки впровадженням енергозберігаючих технологій та методик, які оптимізують реальне споживання електричної енергії.

Установка сучасних перетворювачів частоти дозволить зробити рух гвинта конвеєра більш плавним, автоматично регулювати її навантаження і завдяки цьому економити до 40% електроенергії на її роботі.

Перетворювач частоти (ПЧ) буде в автоматичному режимі регулювати швидкість руху конвеєрного гвинта в залежності від її заповнення. Про завантаження гвинта ПЧ отримуватиме від спеціальних ультразвукових датчиків. Також це дозволить управляти роботою конвеєрів з комп'ютерного пульта в диспетчерській. Завдяки модернізації планується заощадити до 40% електроенергії на роботі конвеєрів, а це 600 кВт · год.

Регулювання швидкості конвеєра, плавність розгону і його зупинка приведуть до зменшення зносу гвинта і всіх механічних елементів приводу. Термін використання гвинта конвеєра може зрости до 50% щодо гарантійного терміну без аварійної роботи. Це дає суттєвий економічний ефект завдяки скороченню експлуатаційних витрат.

### 5.3 Розрахунки економічного ефекту

Кошторис на обладнання для базового і нового варіантів приведений у табл.

5.1.

Таблиця 5.1

Назва Електрообладнання	N, шт.	Кошторисна вартість, з ПДВ			
		Базова		Нова	
		за шт., грн.	Всього, грн.	за шт., грн.	Всього, грн.
Перетворювач частоти	1	–	–	24100	24100
Релейно-контакторна система управління	1	10500	10500	–	–
Двигун	1	2400	2400	2400	2400
Всього			12900		26500
Транспортні розходи (5%)			645		1325
Монтажні роботи (10%)			1290		2650
Капітальні вкладення, всього			14835		30475

Кошторис капітальних витрат для нового та базового варіантів складає:

$$K_B = 14835 \text{ грн.}, K_H = 30475 \text{ грн.}$$

### Розрахунок основного фонду зарплати

Розрахуємо оплату праці за існуючим тарифом. Так як агрегат має напругу до 1000 В, номінальна напруга живлення  $U = 380 \text{ В}$ , то згідно ПУЕ обслуговувати дану установку може 1 робочий, у котрого розряд не нижче четвертого, а група допуску - не нижче третьої за електробезпечністю. Загально установку обслуговують 2 робочих за 2 зміни (1 робочий на зміну).

Тарифна ставка електромонтажника 1-го розряду  $T_{C1}$  складає 31,0 грн./год., а тарифна ставка робочого 4-го розряду  $T_{C4}$  на 27% більше:

$$T_{C4} = 1,27 \cdot T_{C1} .$$

Тоді:

$$T_{C4} = 1,27 \cdot T_{C1} = 1,27 \cdot 31,0 = 39,37 \frac{\text{грн.}}{\text{год.}}$$

Розрахуємо місячну заробітну плату електромонтажника 4-го розряду за існуючим тарифом:

$$Z_T = T_{C4} \cdot m \cdot t = 39,37 \cdot 22 \cdot 6 = 5197 \text{ грн.}$$

де  $T_{C4}$  - це тарифна ставка робочого IV розряду;

$m$  – кількість робочих днів у місяці,  $m = 22$ .

$t$  – кількість робочих годин у день,  $t = 6$ .

Оплата праці за професійну і майстерну діяльність:

$$P_{\text{ПМ}} = \frac{Z_T \cdot N_{\text{ПМ}}}{100} ,$$

де  $N_{\text{ПМ}}$  – надбавка за професійну діяльність (для робітників четвертого розряду складає 10%).

Тоді:

$$P_{\text{ПМ}} = \frac{Z_T \cdot N_{\text{ПМ}}}{100} = \frac{5197 \cdot 10}{100} = 520 \text{ грн.}$$

Оплата праці за шкідливі умови праці:

$$P_{\text{УП}} = \frac{(Z_T + P_{\text{ПМ}}) \cdot N_{\text{УП}}}{100} .$$

Тоді:

$$P_{\text{уП}} = \frac{(Z_{\text{Т}} + P_{\text{ПМ}}) \cdot H_{\text{уП}}}{100} = \frac{(5197 + 520) \cdot 15}{100} = 857 \text{ грн.}$$

де  $H_{\text{уП}}$  - надбавка за умови праці, для четвертого розряду складає 15%.

Всього постійна заробітна плата складає:

$$Z_{\text{ПОСТ}} = Z_{\text{Т}} + P_{\text{ПМ}} + P_{\text{уП}}.$$

Тоді:

$$Z_{\text{ПОСТ}} = Z_{\text{Т}} + P_{\text{ПМ}} + P_{\text{уП}} = 5197 + 520 + 857 = 6574 \text{ грн.}$$

Оплата премій  $P = 15 \dots 20\%$ :

$$P_{\text{ПР}} = \frac{Z_{\text{ПОСТ}} \cdot P}{100}.$$

Тоді:

$$P_{\text{ПР}} = \frac{Z_{\text{ПОСТ}} \cdot P}{100} = \frac{6574 \cdot 15}{100} = 986 \text{ грн.}$$

Всього основна заробітна плата:

$$Z_{\text{ОСН}} = Z_{\text{ПОСТ}} + P_{\text{ПР}}.$$

Тоді:

$$Z_{\text{ОСН}} = Z_{\text{ПОСТ}} + P_{\text{ПР}} = 6574 + 986 = 7560 \text{ грн.}$$

Розрахуємо додаткову заробітну плату (10,0%):

$$Z_{\text{ДОП}} = Z_{\text{ПОСТ}} \cdot 0,1.$$

Тоді:

$$Z_{\text{ДОП}} = Z_{\text{ПОСТ}} \cdot 0,1 = 6574 \cdot 0,1 = 657,4 \text{ грн.}$$

Знайдемо суму відрахування на єдиний соціальний внесок, що складає 22% від суми додаткової і основної заробітної плати:

$$Z_{\text{ЕСВ}} = \frac{22 \cdot (Z_{\text{ОСН}} + Z_{\text{ДОП}})}{100}.$$

Тоді:

$$Z_{\text{ЕСВ}} = \frac{22 \cdot (Z_{\text{ОСН}} + Z_{\text{ДОП}})}{100} = \frac{22 \cdot (7560 + 657,4)}{100} = 1808 \text{ грн.}$$

Загальний фонд оплати праці одного робочого електромеханіка 4-го розряду за рік (12 місяців) на один конвеєр:

$$\Phi = \frac{(Z_{\text{ОСН}} + Z_{\text{ДОП}} + Z_{\text{ЕСВ}}) \cdot 12}{n},$$

де  $n$  – кількість конвеєрів,  $n = 1$ .

Тоді:

$$\Phi = \frac{(7560 + 657,4 + 1808) \cdot 12 \cdot 3}{1} = 360914 \text{ грн.}$$

### **Розрахунок експлуатаційних витрат для базового і нового варіантів**

Витрати на електроенергію для базового варіанту складають:

$$Z_E = 1 \cdot P_b \cdot n_0 \cdot m_0 \cdot T,$$

де  $P_b$  - потужність базового двигуна,  $P_b = 1,1$  кВт;

$n_0$  - кількість робочих годин у день,  $n_0 = 6$  год.;

$m_0$  - кількість робочих днів у році,  $m_0 = 198$ ;

$T$  - тариф на вартість електроенергії,  $T = 1,68$  грн./кВт·год.

Тоді:

$$Z_{EB} = 1 \cdot P_b \cdot n_0 \cdot m_0 \cdot T = 1 \cdot 1,1 \cdot 6 \cdot 198 \cdot 1,68 = 2195 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію при встановленні частотного перетворювача зменшуються на 40-50%:

$$Z_{EH} = (1 \cdot P_H \cdot n_0 \cdot m_0 \cdot T) \cdot 0,5$$

де  $P_H$  - потужність нового двигуна,  $P_H = 1,1$  кВт

Тоді:

$$Z_{EH} = (1 \cdot 1,1 \cdot 6 \cdot 198 \cdot 1,68) \cdot 0,5 = 1098 \text{ грн.}$$

### **Витрати на поточний ремонт обладнання гвинтового конвеєра.**

При використанні ПЧ зменшуються пускові струми, втрати енергії в кабелях, збільшується надійність всієї установки, таким чином кількість поломок зменшується, а надійність системи електропривода зростає. Планові витрати на поточний ремонт та обслуговування при базовому варіанті складають 5%, а при новому 3% від капіталовкладень для базового і нового варіантів.

Кошторис капітальних витрат для нового та базового варіантів складає:

$$K_B = 14835 \text{ грн.}, K_H = 30475 \text{ грн.}$$

Витрати на ремонт базового обладнання:

$$Z_{PE} = 0,05 \cdot K_E,$$

Тоді:

$$Z_{PE} = 0,05 \cdot 14835 = 742 \text{ грн.}$$

Витрати на ремонт нового обладнання:

$$Z_{PH} = 0,03 \cdot K_H,$$

Тоді:

$$Z_{PH} = 0,03 \cdot K_H = 0,03 \cdot 30475 = 914 \text{ грн.}$$

Витрати на амортизаційні відрахування:

$$Z_A = E_H \cdot K,$$

де  $E_H = 0,08 \dots 0,20$  – норма амортизаційних відрахувань,  $E_H = 50\%$ .

Тоді затрати на амортизаційні відрахування для базового та нового варіантів

:

$$Z_{AB} = E_{HE} \cdot K_E = 0,50 \cdot 14835 = 7417 \text{ грн.}$$

$$Z_{AH} = E_{HH} \cdot K_H = 0,50 \cdot 30475 = 15237 \text{ грн.}$$

Витрати на допоміжні матеріали для ремонту при базовому варіанті складають  $k_E = 10,0\%$ , а при новому  $k_H = 5,0\%$  від фонду оплати праці:

$$Z_M = k \cdot \Phi.$$

Тоді:

$$Z_{ME} = k_E \cdot \Phi = 0,10 \cdot 360914 = 36091 \text{ грн.},$$

$$Z_{MH} = k_H \cdot \Phi = 0,05 \cdot 360914 = 18045 \text{ грн.}$$

Повні експлуатаційні витрати базового і нового варіантів складають:

$$Z_{BE} = Z_{EE} + Z_{PE} + Z_{AB} + Z_{ME} = 2195 + 742 + 7417 + 36091 = 46445 \text{ грн.},$$

$$Z_{BH} = Z_{EH} + Z_{PH} + Z_{AH} + Z_{MH} = 1098 + 914 + 15237 + 18045 = 35294 \text{ грн.}$$

Розрахунок річної економічної ефективності та строку окупності

Розрахуємо річний економічний ефект від модернізації електропривода гвинтового конвеєра за експлуатаційними витратами:

$$Z_{E\Phi} = Z_{BE} - Z_{BH} = 2195 - 1098 = 1097 \text{ грн.}$$

Строк окупності капітальних витрат на модернізацію електропривода гвинтового конвеєра:

$$T_{OK} = \frac{K_H - K_E}{Z_{BE} - Z_{BH}} = \frac{30475 - 14835}{46445 - 35294} = 1,40 \text{ років.}$$

Річний економічний ефект від модернізації електропривода гвинтового конвеєра за експлуатаційними витратами складає  $Z_{EF} = 1097$  грн./рік, а строк окупності капітальних витрат дорівнює  $T_{OK} = 1,40$  років.

Аналізуючи отримані результати, а саме: приведені витрати, - можна сказати про те, що оптимальним варіантом для проєктованій електромеханічної системи є обраний двигун, оскільки, перш за все, є значна економія електроенергії; знижені щорічні експлуатаційні витрати (у зв'язку з економною витратою електроенергії і використанням якісного дорогого устаткування витрати на енергію і ремонт значно нижчі).

Пряма економія від зниження споживання електроенергії при регулюванні продуктивності гвинтового конвеєра (для різних об'єктів від 25 до 50%).

Різкого зниження аварійності на мережах (не менше ніж в 5 - 10 разів).

Різкого збільшення надійності системи в цілому, за рахунок усунення «людського фактору» і автоматичної діагностики системою всіх її елементів і своєчасного усунення можливих аварійних ситуацій.

## ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі було модернізовано та досліджено частотно регульований електропривод норії для підйому насіння соняшника.

Розраховано необхідну потужність двигуна (0,82 кВт) та обрано двигун типу 4A80B6У3 потужністю 1,1 кВт з синхронною частотою обертання 1000 об/хв.

Для керування даним електроприводом було обрано частотний тип регулювання швидкості обертання та обрано перетворювач частоти VLT2815 фірми Danfoss потужністю 1,6 кВт·А.

Розраховано параметри схеми заміщення обраного двигуна.

Була розроблена модель в системі MATLAB SIMULINK, в яку були занесені розраховані параметри двигуна. Отримані результати моделювання прямого пуску двигуна та при частотному керуванні, з яких слідує, що при використанні частотного керування більша економія електроенергії, оскільки пускові струми значно менші (20...30%), також менший вплив на живлячу мережу, порівняно з прямим пуском, внаслідок плавного збільшення моменту.

Дослідження математичної моделі у середовищі SIMULINK (Matlab 16a) показали її працездатність, а характеристики запропонованого регульованого електроприводу задовольняють технологічним процесам.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лисов В.С. Автоматизація процесу рафінації олії. Кваліфікаційна робота бакалавра. Сумський державний університет, 2020. – 50 с.
2. Захарченко А.С., Соколов С.В. Система керування процесом рафінації масла/ Матеріали науково-технічної конференції ІМА. Автоматика, електромеханіка і системи управління. – Суми. – 2018. – с.172.
3. Ромашко І.С., Паска М.З., та ін. Технохімічний контроль виробництва/ Навчально-методичний посібник. – Львів. – 2016. – 98с.
4. Фіалковська Л.В., Дейдей М.М. Удосконалення апаратурно технологічної схеми нейтралізації олії./ Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія:Технічні науки.– Вінниця.– 2011.– №9. – с.187-189.
5. Оськин С.В. Автоматизований електропривод: учбовий посібник для студентів ВНЗ / С.В.Оськин -: Изд-во ООО «КРОН», 2013,- 489 с.
6. Шульга О.В. Методичні вказівки і завдання до виконання курсового проекту з дисципліни “Електропривід і автоматизація роботів і маніпуляторів” для студентів спеціальності 7.092203 “Електромеханічні системи автоматизації і електропривод” всіх форм навчання. – Полтава: Полтавський державний технічний університет імені Юрія Кондратюка, 1999. – 24 с.
7. Онушко В.В. Машини постійного струму: Посібник із модуля “Машини постійного струму” / В.В. Онушко, О.В. Шефер. – Полтава: ПолтНТУ, 2007. – 111 с.
8. Попович М.Г. Теорія автоматичного керування: Підручник. – 2-ге вид. / М.Г. Попович, О.В. Ковальчук. – К.: Либідь, 2007. – 656 с.
9. Правила безпечної роботи електроустановок. Харків, «Форт», 2003. – 250 с.
10. Моделювання електромеханічних систем. Математичне моделювання систем асинхронного електроприводу: навчальний посібник / О. І. Толочко. – Київ: НТУУ «КПІ», 2016. – 150 с.

11. Монтаж, наладка і експлуатація електрообладнання. Джерело: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/11538/3/ciganov-montazh-elektroobl-lekc-2022.pdf>

12. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра для здобувачів СВО «Магістр» спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», галузі знань 14 – «Електрична інженерія» / Укладачі: П.І. Осадчук, В.Ф. Бабіч, А.А. Галіулін, Є.П. Штепа. – Одеса: ОНТУ, 2021. – 55 с.

13. Перетворювачі частоти SINAMICS V20, SINAMICS G120/G120P.  
Джерело: [https://www.siemens-pro.ru/docs/sinamics\\_gv/GMC\\_nano.pdf](https://www.siemens-pro.ru/docs/sinamics_gv/GMC_nano.pdf)

14. Загірняк М. В., Невзлін Б. І. Електричні машини: Підручник. — 2-ге вид., перероб. і доп. — Київ: Знання, 2009. — 400 с. — ISBN 978-966-346-644-6.