

Вінницький національний технічний університет  
Факультет електроенергетики та електромеханіки  
Кафедра електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на  
транспорті

## Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_ магістр

(освітній ступінь)

на тему: «Підвищення енергетичної ефективності електропривода транспортера  
завантаження скіпа в умовах Приватного акціонерного товариства  
«Продовольча компанія «Поділля»

Виконав: студент 2 курсу, гр. ЕПА-18м  
галузь знань 14 – Електрична інженерія  
спеціальність 141 – Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка  
освітня програма «Електромеханічні системи  
автоматизації та електропривод»

\_\_\_\_\_ Тсаса Закаріаш Душ Анжуш Лембе

(прізвище та ініціали)

Керівник \_\_\_\_\_ к.т.н., доц. Бабій С. М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Вінниця – 2019 року

Факультет Електроенергетики та електромеханіки  
Кафедра Електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті  
Освітній ступінь магістр  
Галузь знань 14 – Електрична інженерія  
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
Освітня програма «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
**Завідувача кафедри**

д.т.н., проф.  
В. М. Кутін  
“\_\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Тсаса Закаріаш Душ Анжуш Лембе  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення енергетичної ефективності електропривода транспортера завантаження скіпа в умовах Приватного акціонерного товариства «Продовольча компанія «Поділля»

керівник роботи Бабій С. М., к.т.н., доц. каф. ЕМСАПТ  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року №\_\_\_

2. Строк подання студентом роботи \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи: продуктивність 36 т/год; діаметр приводного барабана 420 мм; діаметр натяжного барабана 420 мм; довжина транспортера 15 м; діаметр опорних роликів 120 мм; ширина стрічки 600 мм; кут нахилу транспортера 6 град.; передаточне число механічної передачі 31,5; швидкість стрічки 0,98 м/с.

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

1 Характеристика об'єкта проектування. 2 Розрахунок потужності електропривода стрічкового транспортера. 3 Розробка системи автоматизованого електропривода стрічкового транспортера. 4 Економічна частина. 5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки.

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

1 Мета та задачі дослідження. 2 Виробництво цукру із цукрового буряка. 3 Характеристика об'єкта проектування. 4 Схема кінематична стрічкового транспортера. 5 Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода. 6 Технічні характеристики приводного двигуна. 7 Схема функціональна САЕП стрічкового транспортера. 8 Схема структурна САЕП стрічкового транспортера. 9 Моделювання перехідних процесів. 10 Вибір елементної бази САЕП стрічкового транспортера. 11 Схема електрична принципова САЕП стрічкового транспортера. 12. До питання діагностування приводних двигунів.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Бабій С. М., к.т.н., доц. каф. ЕМСАПТ		
Економічна частина	Мельничук Л. М., к.е.н., доц. каф. ЕМСАПТ		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Кобилянський О.В., д. пед. н., професор, зав. каф. БЖДПБ		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування та затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)		
2	Виконання спеціальної частини МКР. Перший рубіжний контроль виконання МКР		
3	Виконання спеціальної частини МКР. Другий рубіжний контроль виконання МКР		
4	Виконання розділу «Економічна частина»		
5	Виконання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»		
6	Попередній захист МКР		
7	Нормоконтроль МКР		
8	Рецензування МКР		
9	Захист МКР		

**Студент**

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Тсаса Закаріаш Душ Анжуш Лембе**

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

**Керівник роботи**

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Бабій С. М.**

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Тсаса Закаріаш Душ Анжуш Лембе «Підвищення енергетичної ефективності електропривода транспортера завантаження скіпа в умовах Приватного акціонерного товариства «Продовольча компанія «Поділля». Магістерська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ. 2019.– 119 с. Бібліогр. : 28. Іл. : 31. Табл. : 17.

Магістерська кваліфікаційна робота орієнтована на підвищення енергетичної ефективності електропривода транспортера завантаження скіпа вапнякової печі в умовах Приватного акціонерного товариства «Продовольча компанія «Поділля».

В роботі дано загальну характеристику об'єкта проектування та розраховано силовий привод стрічкового транспортера. На основі техніко-економічних показників вибрано систему електропривода стрічкового транспортера типу ПЧ-АД. Вибрано основну елементну базу автоматизованого електропривода стрічкового транспортера, а також розроблено необхідні електричні схеми. Перевірено правильність проведених розрахунків шляхом комп'ютерного моделювання в Matlab.

Запропоновано визначати фактичне напруцювання на відмову приводного двигуна з врахуванням експлуатаційного коефіцієнта, який відображає реальні умови експлуатації привода і визначається на основі математичного апарату нечіткого виводу.

Ключові слова: стрічковий транспортер, електропривод, перетворювач частоти.

## АННОТАЦИЯ

Тсаса Закариаш Душ Анжуш Лэмб «Повышение энергетической эффективности электропривода транспортера загрузки скипа в условиях Частного акционерного общества «Продовольственная компания «Подолье». Магистерская квалификационная работа. – Винница : ВНТУ. 2019. – 119 с. Библиогр. : 28. Ил. : 31. Табл. : 17.

Магистерская квалификационная работа ориентирована на повышение энергетической эффективности электропривода транспортера загрузки скипа известняковой печи в условиях Частного акционерного общества «Продовольственная компания «Подолье».

В работе дана общая характеристика объекта проектирования и рассчитан силовой привод ленточного транспортера. На основе технико-экономических показателей выбрано систему электропривода ленточного транспортера типа ПЧ-АД. Выбрано основную элементную базу автоматизированного электропривода ленточного транспортера, а также разработаны необходимые электрические схемы. Проверена правильность проведенных расчетов путем компьютерного моделирования в Matlab.

Предложено определять фактическую наработку на отказ приводного двигателя с учетом эксплуатационного коэффициента, который отражает реальные условия эксплуатации привода и определяется на основе математического аппарата нечеткого вывода.

Ключевые слова: ленточный транспортер, электропривод, преобразователь частоты.

## ANNOTATION

Tsasa Zakariash Shower Anzhush Lambé « Increasing the Energy Efficiency of the Electric Drive of the Skip Loader in the Conditions of the Private Joint Stock Company «Podillya Food Company». Master's qualification work. – Vinnitsa : VNTU. 2019. – 119 p. Refs. : 28. Il. : 31. Table. : 17.

The master's qualification work is focused on increasing the energy efficiency of the conveyor loading of a limestone kiln skip in the conditions of the Private Joint Stock Company «Podillya Food Company».

The paper describes the general characteristics of the design object and calculates the power drive of the belt conveyor. Based on the technical and economic indicators, the drive system of the belt conveyor type FC-AM was selected. The basic element base of the automated electric drive of the belt conveyor was selected, and the necessary electrical circuits were developed. Matlab computer simulations are verified to be correct in Matlab.

It is proposed to determine the actual operating time for the failure of the drive motor, taking into account the operating factor, which reflects the real conditions of operation of the drive and is determined on the basis of a mathematical apparatus of fuzzy output.

**Keywords:** belt conveyor, electric drive, frequency converter.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ’ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ.....	9
1.1 Технологічний процес виробництва цукру-піску із цукрового буряка .....	9
1.2 Місце та роль об’єкта проектування в технологічному процесі виробництва цукру-піску.....	12
2 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ПРИВОДА СТРІЧКОВОГО ТРАНСПОРТЕРА.....	18
2.1 Розрахунок тахограми та навантажувальної діаграми стрічкового транспортера.....	18
2.2 Попередній розрахунок потужності приводного двигуна.....	22
2.3 Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода.....	22
2.4 Вибір приводного двигуна та його перевірка .....	30
2.4.1 Вибір приводного двигуна .....	30
2.4.2 Розрахунок динамічних навантажень .....	35
2.4.3 Перевірка вибраного двигуна за нагрівом, перевантажувальною здатністю та умовами пуску .....	40
3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА СТРІЧКОВОГО ТРАНСПОРТЕРА.....	43
3.1 Розробка функціональної схеми САЕП стрічкового транспортера .....	43
3.2 Вибір силового перетворювача .....	45
3.3 Розробка структурної схеми САЕП стрічкового транспортера .....	49
3.4 Моделювання перехідних процесів САЕП .....	58
3.5 Вибір контролера .....	61

3.6 До питання діагностування приводного двигуна транспортера .....	64
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА .....	68
4.1 Розрахунок капітальних вкладень .....	68
4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат .....	69
4.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань .....	70
4.2.2 Розрахунок заробітної плати обслуговуючого персоналу .....	70
4.2.3 Розрахунок витрат на силову енергію .....	72
4.2.4 Розрахунок витрат на поточний ремонт обладнання .....	73
4.2.5 Інші витрати .....	75
4.3 Визначення економічної ефективності проекту .....	76
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	78
5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта .....	79
5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочого місця .....	79
5.1.2 Електробезпека .....	80
5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії .....	83
5.2.1 Мікроклімат .....	83
5.2.2 Склад повітря робочої зони .....	84
5.2.3 Виробниче освітлення .....	85
5.2.4 Виробничий шум .....	86
5.2.5 Виробнича вібрація .....	88
5.2.6 Психофізіологічні фактори .....	89
5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи електропривода транспортера в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій .....	90
5.3.1 Дослідження стійкості роботи електропривода транспортера в умовах дії іонізуючого випромінювання .....	91



5.3.2 Дослідження стійкості роботи електропривода транспортера в умовах дії електромагнітного імпульсу .....	93
5.3.3 Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи електропривода транспортера в умовах надзвичайних ситуацій.....	95
ВИСНОВКИ.....	98
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	100
Додаток А Технічне завдання.....	103
Додаток Б Ілюстративні матеріали.....	107

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** Цукрова промисловість є однією із стратегічно важливих галузей харчової промисловості України. Вона об'єднує в собі виробників елітного і фабричного насіння, цукрового буряку, цукрові заводи і сервісні підприємства галузі [1].

Продовольча компанія «Поділля» являє собою вертикально-інтегрований комплекс, до складу якого входять 5 виробничих відділень, які обробляють більше 51 тис. га у Крижопільському, Томашпільському, Тростянецькому та Ямпільському районах Вінницької області; Крижопільський цукровий завод та елеватор потужністю 60 тис. тонн зерна [2].

Крижопільський цукровий завод (смт. Городківка) побудовано 1986 року, він є одним із «наймолодших» в Україні. Добова переробна потужність підприємства становить 8000 тонн буряка, що дозволяє йому входити до п'ятірки найбільших бурякопереробних підприємств України [3].

За результатами виробничого сезону 2018 року Крижопільський цукровий завод посів 1 місце за обсягом виробництва серед цукрових заводів України. Він переробив 1248,8 тис. тонн цукрових буряків з яких виробив 171,2 тис. тонн цукру [3].

Такі результати пояснюються регулярним оновленням та модернізацію застарілого обладнання. Зокрема в 2017 році: встановлено нову станцію контрольної фільтрації соку; модернізовано технологічну схему зі встановленням нової станції декальцинації соку шляхом іонообміну; встановлено нову центрифугу II продукту; модернізовано фільтри соку II сатурації. В 2018 році введено в експлуатацію нову станцію центрифуг I продукту [3].

Таким чином, актуальною і економічно обґрунтованою є подальша модернізація виробничих потужностей підприємства. Зокрема, дана робота орієнтована на підвищення енергетичної ефективності електропривода транспортера завантаження скіпа вапнякової печі підприємства.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Робота виконувалася відповідно до наукового напрямку кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті ВНТУ.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є підвищення енергетичної ефективності електропривода транспортера завантаження скіпа в умовах Приватного акціонерного товариства «Продовольча компанія «Поділля» за рахунок використання сучасної елементної бази з високими енергетичними показниками.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі завдання:

1. Здійснити коротку характеристику технологічного процесу виробництва цукру-піску із цукрового буряка. Виділити в ньому роль та місце об'єкта проектування.

2. Розрахувати потужність привода стрічкового транспортера та вибрати приводний двигун.

3. Розробити систему автоматизованого електропривода стрічкового транспортера та вибрати його елементи.

4. Перевірити правильність отриманих проектних рішень шляхом комп'ютерного моделювання.

5. Провести економічні розрахунки.

6. Розробити ряд заходів з охорони праці та описати умови безпечної експлуатації розробленої системи.

**Об'єкт дослідження** – процес виробництва цукру.

**Предметом дослідження** є система автоматизованого електропривода стрічкового транспортера завантаження скіпа вапнякової печі.

**Методи дослідження.** У процесі роботи застосовувалися такі методи дослідження: теорії електричного привода – для розрахунку потужності приводного двигуна; теорії автоматичного керування та систем керування – для

синтезу системи керування; оптимізації – для оптимального налаштування регуляторів системи керування; аналітичні можливості комп'ютерної алгебри – для перевірки прийнятих рішень шляхом комп'ютерного моделювання.

**Наукова новизна одержаних результатів.**

Отримав подальшого розвитку метод діагностування приводних асинхронних двигунів, який дозволяє визначати фактичне напруження на відмову приводного двигуна з врахуванням експлуатаційного коефіцієнта, який відображає реальні умови експлуатації привода.

**Практичне значення одержаних у роботі результатів.** Використання одержаних результатів дозволить підвищити надійність роботи приводних двигунів, зменшити час простою технологічного обладнання через аварійні ситуації, обумовлені виходом з ладу приводних двигунів.

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати магістерської кваліфікаційної роботи отримано автором самостійно.

**Апробація результатів роботи.** Основні положення і результати досліджень доповідались та обговорювались на таких конференціях:

1. Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2020): Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція, Вінниця, 01-15 травня 2020 р.

**Публікації.** За тематикою дослідження опубліковано 1 тези доповідей матеріалів конференцій.

## 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ

### 1.1 Технологічний процес виробництва цукру-піску із цукрового буряка

Відповідно до ДСТУ 4623:2006 під поняттям «цукор білий» мається на увазі харчовий продукт, який являє собою очищену і кристалізовану сахарозу у вигляді окремих кристалів (кристалічний цукор) або окремих кусків (пресований цукор), який виробляється промисловим способом з цукрового буряка або цукрової тростини [4].

В Україні цукор виробляють шляхом переробки цукрового буряка. Основні етапи переробки зображені на рисунку 1.1 та 1.2 [5].



Рисунок 1.1 – Етапи виробництва цукру із цукрового буряка [5]



Рисунок 1.2 – Етапи виробництва цукру із цукрового буряка (продовження) [5]

Принципова схема виробництва цукру із цукрового буряка зображена на рисунку 1.3.

Цукрові буряки надходять на завод по гідравлічному транспортеру, на якому встановлені пастки для відділення легких і важких домішок. За допомогою спеціальних насосів буряк подається в бурякомийку, де вона відмивається від землі. Відмитий буряк елеватором подається до автоматичних ваг. Зважений буряк надходить на бурякорізки, які забезпечують його подрібнення в стружку. Отримана стружка направляється в дифузійний апарат, в якому відбувається виділення цукру з стружки методом дифузії. Отриманий в

дифузійному апараті дифузний сік, що містить приблизно 13% цукру, надходить на очистку [5].

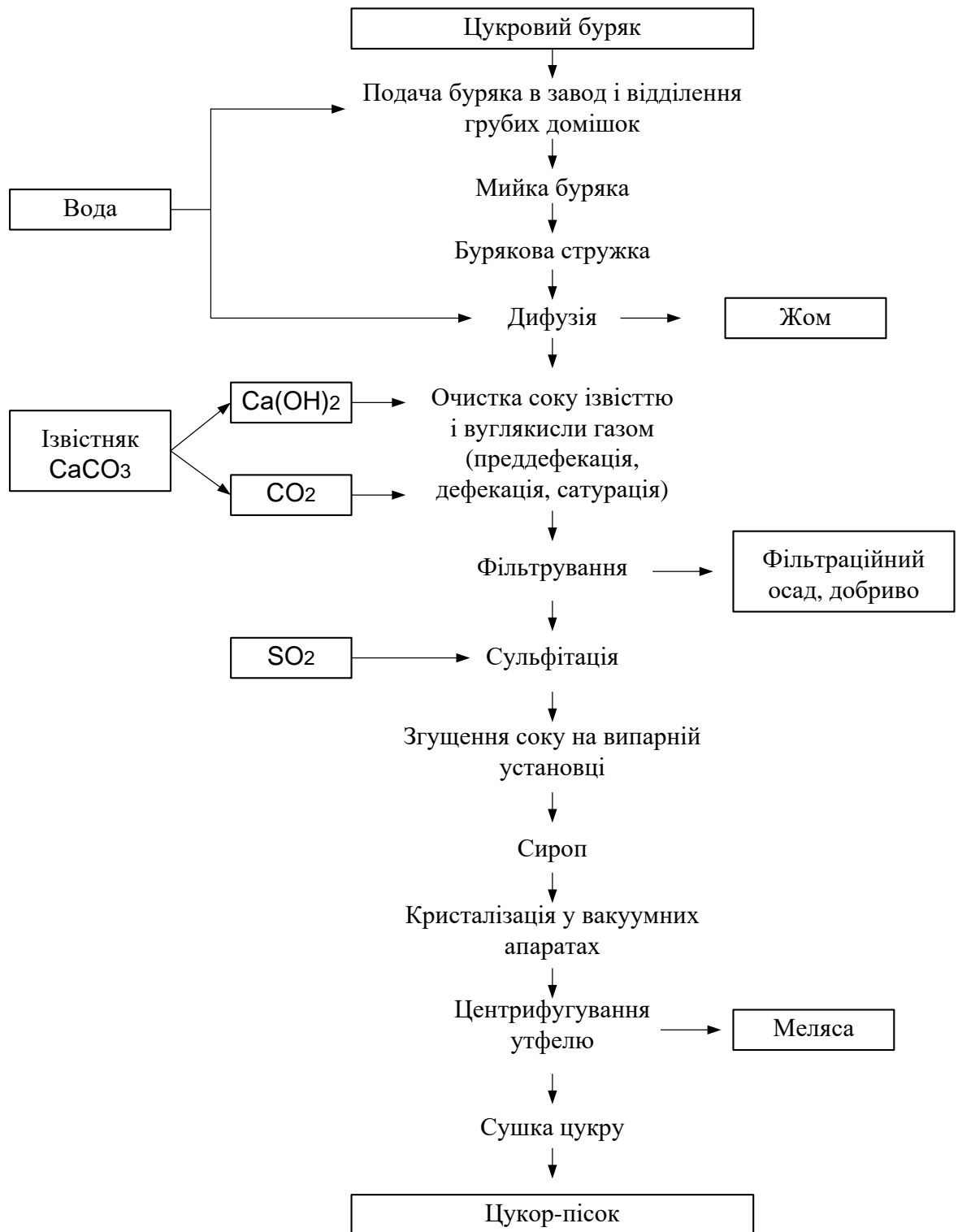


Рисунок 1.3 – Принципова схема виробництва цукру із цукрового буряка

Спочатку його обробляють вапном (вапняним молоком). Цей процес отримав назву дефекації. При такій обробці значна частина домішок випадає в осад. Дефекований сік потім обробляють сатураційним газом  $\text{CO}_2$  – сатурація. В процесі сатурації утворюється карбонат кальцію ( $\text{CaCO}_3$ ), який абсорбує несахари і випадає у вигляді осаду. Цей осад відокремлюють фільтруванням [5].

Сатураційний сік обробляють  $\text{SO}_2$  з метою зниження кольоровості, а потім згущують на випарній установці до отримання сиропу, що містить близько 60% цукру [5].

З сиропу в вакуум-апаратах проводять кристалізацію цукру, отримуючи утфель, що представляє собою суміш, що складається приблизно на 50% з кристалів цукру і на 50% з цукрового розчину [5].

Утфель направляється на центрифуги, на яких з нього виділяють кристалічний цукор і отримують цукровий розчин. Кристалічний цукор сушать в сушарках, отримуючи цукор-пісок [5].

## **1.2 Місце та роль об'єкта проектування в технологічному процесі виробництва цукру-піску**

Операція очищення дифузійного соку передбачає його обробку вапняковим молоком та сатураційним газом, які є продуктами випалювання вапняку у вапняковій печі.

В свою чергу подачу вапняку до вапнякової печі здійснює цілий ряд підйомно-транспортних машин (рисунок 1.4).





Рисунок 1.4 – Подача вапняку до скіпового підйомника вапнякової печі:

- 1 – козловий грейферний кран;
- 2 – відкритий склад сировини (вапняку);
- 3 – мобільний бункер;
- 4 – стрічковий транспортер №1;
- 5 – стрічковий транспортер №2;
- 6 – стрічковий транспортер №3;
- 7 – бункер з вугіллям

Козловий грейферний кран 1 забезпечує завантаження фракційного вапняку зі складу сировини 2 в мобільний бункер 3. Вапняк з бункера за допомогою стрічкового транспортера 4 подається на транспортер завантаження скіпа вапнякової печі 6. Також на транспортер 6 подається і вугілля з бункера 7 за допомогою транспортера 5.

Таким чином суміш фракційного вапняку та вугілля подається до скіпового підйомника, який забезпечує їх транспортування у вапнякову піч (рисунок 1.5).

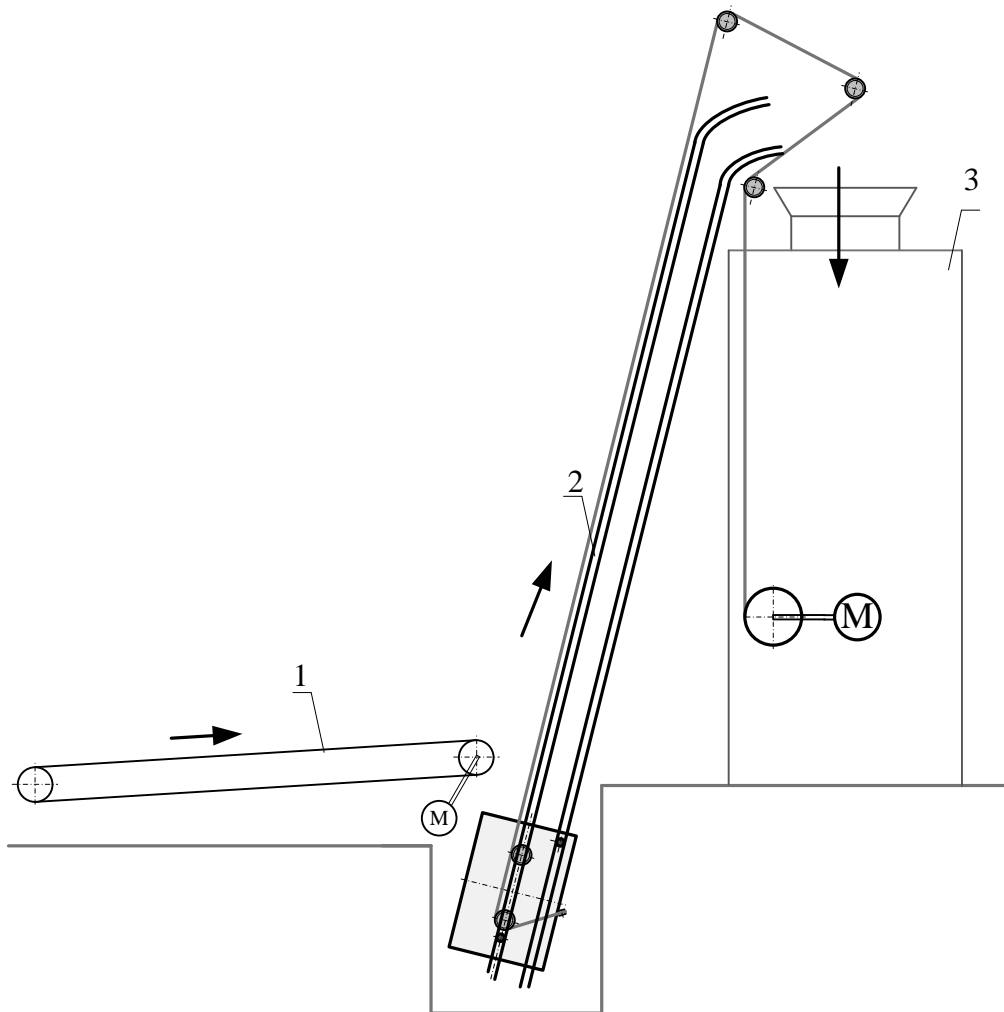


Рисунок 1.5 – Схема транспортування вапняку у вапнякову піч:

- 1 – стрічковий транспортер;
- 2 – скіповий підйомник;
- 3 – вапнякова піч

У вапняковій печі вапняк і вугілля спочатку підігрівається, а потім проходить згорання вугілля і розкладання вапняку на вапно і вуглекислоту. Продукти випалювання (вапно і вуглекислота) використовуються в технологічному процесі виробництва цукру для очищення дифузійного соку (процеси дефекації та сатурації) [6].

В нормальному режимі роботи за одну годину скіповий підйомник здійснює вісім циклів підйому, за один раз в середньому транспортується 1100-1300 кг суміші вапняку та вугілля.



Рисунок 1.6 – Завантаження скіпа

Об'єктом проектування є електропривод стрічкового транспортера завантаження скіпового підйомника. Його кінематична схема зображена на рисунку 1.7.

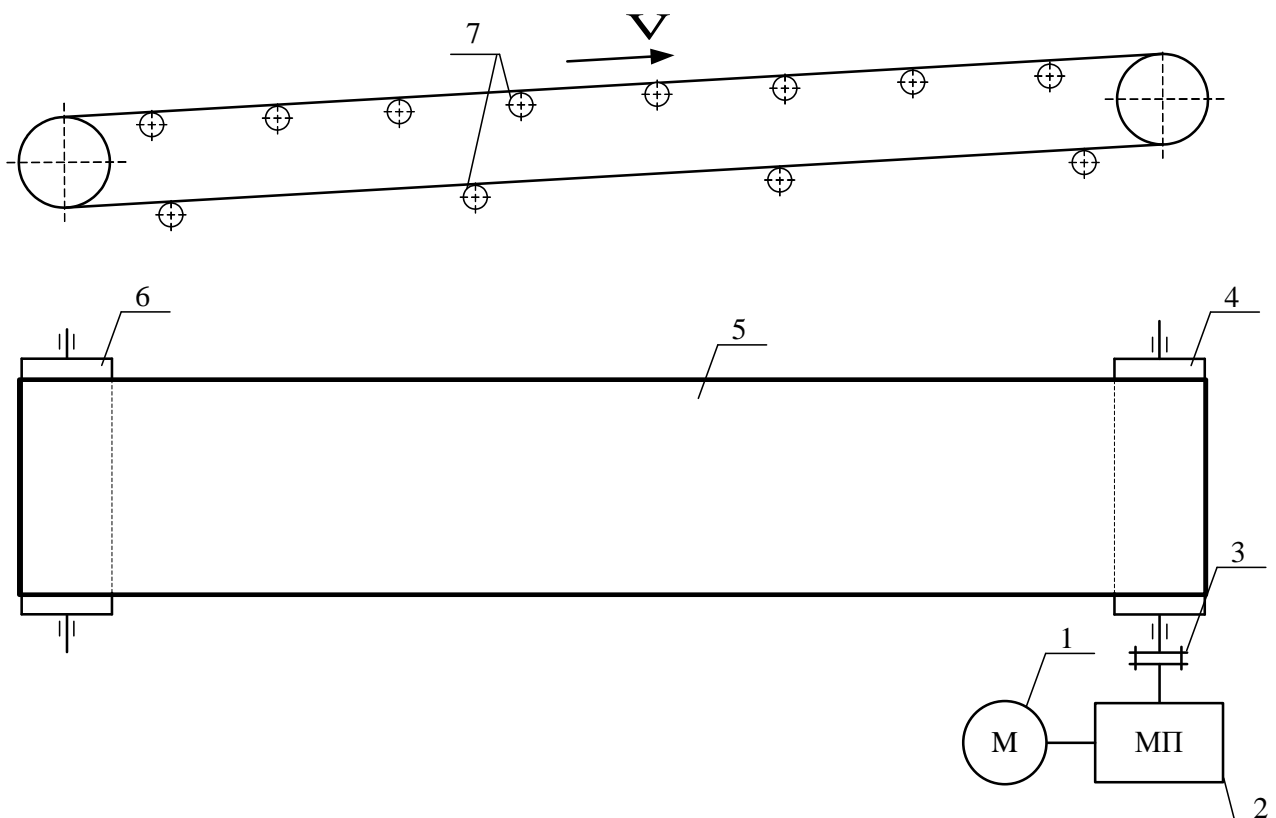


Рисунок 1.7 – Кінематична схема стрічкового транспортера:

- 1 – приводний двигун;
- 2 – механічна передачі;
- 3 – муфта ;
- 4 – приводний барабан;
- 5 – стрічка;
- 6 – натяжний барабан;
- 7 – опорні ролики

Основні технічні характеристики стрічкового транспортера завантаження скіпа вапнякової печі наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні технічні характеристики стрічкового транспортера завантаження скіпа вапнякової печі

Параметри	Значення
Продуктивність	36 т/год
Діаметр приводного барабана	420 мм
Діаметр натяжного барабана	420 мм
Довжина транспортера	15 м
Опорні ролики:	
– кількість	12 шт.
– діаметр	120 мм
Ширина стрічки	600 мм
Кут нахилу транспортера	6 град.
Передаточне число механічної передачі	31,5
Швидкість стрічки	0,98 м/с

Електропривод стрічкового транспортера завантаження скіпа вапнякової печі повинен забезпечувати:

- плавний пуск та гальмування;
- пуск під навантаженням;
- неглибоке однозонне регулювання швидкості;
- захист від перевантаження та проковзування стрічки;
- повторно-короткочасний режим роботи S3.

## 2 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ПРИВОДА СТРІЧКОВОГО ТРАНСПОРТЕРА

### 2.1 Розрахунок тахограми та навантажувальної діаграми стрічкового транспортера

Швидкість обертання барабана приводної станції транспортера при номінальній швидкості транспортування [7, 8]:

$$n_{\text{б. ном}} = \frac{60 \cdot V_{\text{НОМ}}}{\pi \cdot D_{\text{б}}}, \quad (2.1)$$

де  $V_{\text{НОМ}}$  – номінальна швидкість стрічки ( $V_{\text{НОМ}} = 0,98$  м/с);

$D_{\text{б}}$  – діаметр барабана приводної станції ( $D_{\text{б}} = 0,42$  м),

$$n_{\text{б. ном}} = \frac{60 \cdot 0,98}{\pi \cdot 0,42} = 44,56 \text{ (об/хв)}.$$

Швидкість двигуна при номінальній швидкості транспортування:

$$n_{\text{НОМ}} = n_{\text{б. ном}} \cdot i_{\text{п}}, \quad (2.2)$$

де  $i_{\text{п}}$  – передаточне число механічної передачі ( $i_{\text{п}} = 31,5$ ),

$$n_{\text{НОМ}} = 44,56 \cdot 31,5 = 1404 \text{ (об/хв)}.$$

Кутова швидкість двигуна при номінальній швидкості транспортування вантажу [7, 8]:

$$\omega_{\text{НОМ}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{\text{НОМ}}}{60}, \quad (2.3)$$

$$\omega_{\text{НОМ}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1404}{60} = 147 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

Допустиме кутове прискорення приводного двигуна [7, 8]:

$$\varepsilon_{\text{доп}} = \frac{2 \cdot a_{\text{доп}} \cdot i_{\text{п}}}{D_{\text{б}}}, \quad (2.4)$$

де  $a_{\text{доп}}$  – допустиме прискорення стрічки ( $a_{\text{доп}} = 0,5 \text{ м/с}^2$ )

$$\varepsilon_{\text{доп}} = \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 31,5}{0,42} = 75 \text{ (рад/с}^2\text{)}.$$

Час роботи механізму при пуску з допустимим прискоренням:

$$t_{\text{п}} = \frac{V_{\text{ном}}}{a_{\text{доп}}}, \quad (2.5)$$

$$t_{\text{п}} = \frac{0,98}{0,5} = 1,96 \text{ (с)}.$$

Тахограма роботи стрічкового транспортера залежить від режиму роботи скіпового підйомника вапнякової печі (завантаження якого він здійснює). Як вже було зазначено, в нормальних умовах протікання технологічного процесу, за одну годину скіповий підйомник здійснює вісім циклів підйому, за один раз в середньому транспортується 1100-1300 кг суміші вапняку та вугілля. Виходячи із результатів експериментального дослідження роботи скіпового підйомника тривалості окремих етапів роботи є такими:

- час завантаження скіпа:  $t_1 = 120 \text{ с}$ ;
- час підйому скіпа:  $t_2 = 160 \text{ с}$ ;
- розвантаження скіпа:  $t_3 = 9 \text{ с}$ ;
- час спуску скіпа:  $t_4 = 160 \text{ с}$ .

Час роботи стрічкового транспортера відповідатиме часу завантаження скіпа:

$$t_{\text{роб}} = t_1 = 120 \text{ (с)}. \quad (2.6)$$

Час пауз за цикл роботи :

$$t_0 = k_t \cdot (t_2 + t_3 + t_4), \quad (2.7)$$

де  $k_t$  – коефіцієнт неврахованого часу ( $k_t = 1,15$ ) [7],

$$t_0 = 1,15 \cdot (160 + 9 + 160) = 380 \text{ (с)}.$$

Час циклу:

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{роб}} + t_0, \quad (2.8)$$

$$t_{\text{ц}} = 120 + 380 = 500 \text{ (с)}.$$

Фактична тривалість ввімкнення [9, 10]:

$$ТВ_{\phi} = \frac{t_{\text{роб}}}{t_{\text{ц}}} \cdot 100\%, \quad (2.9)$$

$$ТВ_{\phi} = \frac{120}{500} \cdot 100\% = 24\% .$$

Розрахункове значення моменту статичного опору при номінальному завантаженні транспортера [8]:

$$M_c = \frac{1000 \cdot Q}{367 \cdot \eta_{\text{п}} \cdot \omega_{\text{ном}}} \cdot (c \cdot L + H), \quad (2.10)$$

де  $Q$  – продуктивність транспортера ( $Q = 36$  т/год);

$L$  – відстань між барабанами транспортера ( $L = 15$  м);

$H$  – висота підйому вантажу ( $H = 1,5$  м);

$k_3$  – коефіцієнт запасу ( $k_3 = 1,1 \dots 1,25$ );

$\eta_{\text{п}}$  – ККД передаточного механізму ( $\eta_{\text{п}} = 0,7 \dots 0,8$ );

$c$  – розрахунковий коефіцієнт, який залежить від продуктивності транспортера і його довжини ( $c = 1,35$ ),

$$M_c = \frac{1000 \cdot 36}{367 \cdot 0,7 \cdot 147} \cdot (1,35 \cdot 15 + 1,5) = 20,73 \text{ (Н}\cdot\text{м)}.$$

Розрахункове значення моменту статичного опору при пуску транспортера з номінальним завантаженням [7, 8]:



$$M_{c_{\text{пуск}}} = 1,4 \cdot M_c, \quad (2.11)$$

$$M_{c_{\text{пуск}}} = 1,4 \cdot 20,73 = 29,03 \text{ (Н}\cdot\text{м)}.$$

Таким чином електропривод стрічкового транспортера працює в повторно короткочасному режимі S3.

Механічна характеристика стрічкового транспортера зображена на рисунку 2.1.

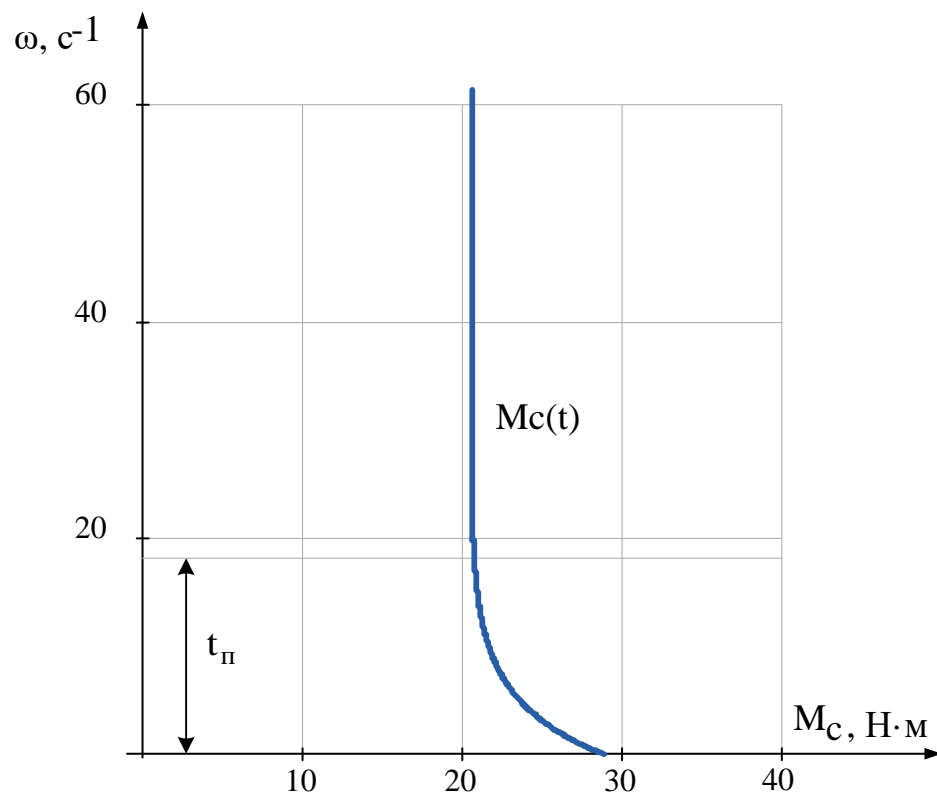


Рисунок 2.1 – Механічна характеристика стрічкового транспортера

## 2.2 Попередній розрахунок потужності приводного двигуна

Розрахункова потужність приводного двигуна стрічкового транспортера [7, 8]:

$$P_{\text{роз}} = \frac{Q}{367 \cdot \eta_{\text{п}}} \cdot (c \cdot L + H) \cdot k_3, \quad (2.12)$$

$$P_{\text{роз}} = \frac{36}{367 \cdot 0,7} \cdot (1,35 \cdot 15 + 1,5) \cdot (1,1 \dots 1,25) = 3,35 \dots 3,81 \text{ (кВт)}.$$

Прирівнявши отриманий діапазон потужностей із стандартним рядом потужностей очевидно, що для привода стрічкового транспортера попередньо будемо вибирати двигун потужністю 4,0 кВт.

## 2.3 Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода

Для привода стрічкового транспортера доцільно використовувати системи електричного привода, які передбачають:

- плавний пуск та гальмування;
- пуск під навантаженням;
- неглибоке однозонне регулювання швидкості (зазвичай транспортери не вимагають регулювання швидкості, лише в окремих випадках, для зміни темпу роботи, повинні забезпечувати неглибоке регулювання  $D=2:1$  або  $D=3:1$ );
- захист від перевантаження та проковзування стрічки.

Цим вимогам відповідають системи електропривода типу РКС-ДПС; РКС-АД з ФР, ТП-ДПС; ПЧ-АД.

Використовувати двигуни постійного струму і системи побудовані на їх основі є недоцільним оскільки вони мають значні масо-габаритні показники порівняно з двигуна змінного струму.

Асинхронні двигуни з контактними кільцями і фазним ротором у порівнянні з АД з КЗ ротором мають дещо більші масо-габаритні показники, більш дорогі, складніші за конструкцією, однак основна їх перевага полягає в можливості зменшення пускового струму при одночасному збільшенні пускового моменту. Оскільки пуски є не частими, то використання систем електропривода на базі АД з ФР є також не виправданим. Окрім того, релейно-контакторна система керування (РКС) передбачає ступінчасте регулювання швидкості та більш складна для включення її в сучасну автоматизовану систему.

Система ТП-ДПС характеризується широким діапазоном регулювання швидкості. Регулювання плавне, плавність регулювання залежить від плавності регулювання напруги. При регулюванні забезпечується висока жорсткість механічних характеристик. Експлуатаційні витрати достатньо малі на відміну від капітальних. Спосіб економічний. ККД знаходиться в межах 0,9 – 0,95.

Система ПЧ-АД характеризується широким діапазоном регулювання швидкості, а отримані характеристики мають високу жорсткість з високими показниками і малими втратами. Використання різних законів керування дозволяє якнайкраще оптимізувати роботу електричного привода. Сучасні перетворювачі частоти дозволяють значно підвищити ефективність технологічного процесу і реалізувати найбільш економічний алгоритм керування приводним двигуном, а також – зекономити від 20 до 50% електроенергії порівняно з іншими електроприводами, не оснащеними перетворювачами частоти. Окрім того, перетворювачі частоти реалізують принцип відкритих систем, тому їх досить просто включити в системи комплексної автоматизації, що є суттєвою їх перевагою.

Для остаточного прийняття рішення щодо вибору системи електричного привода здійснимо порівняння розглянутих варіантів згідно критерію приведених витрат.

Приведені витрати – показник порівняльної економічної ефективності капітальних вкладень, який широко використовують при виборі кращого з варіантів вирішення технічних завдань. При порівнянні можливих варіантів вирішення будь-якого завдання кращим, за інших рівних умов, вважається варіант, що вимагає мінімуму приведених витрат [10]:

$$З = E_n \cdot K + C, \quad (2.13)$$

де  $E_n$  – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень (приймається 0,17 для всіх галузей промисловості), 1/рік;

$K$  – капітальні вкладення, грн;

$C$  – загальні щорічні відрахування, які враховуються у собівартості продукції, грн/рік.

Здійснимо розрахунок для системи ПЧ-АД.

Капітальні вкладення [10]:

$$K = D + CK, \quad (2.14)$$

де  $D$  – вартість приводного двигуна ( $D = 3216$  грн [11]);

$CK$  – вартість системи керування ( $CK = 12210$  грн [12]),

$$K = 3216 + 12210 = 15426 \text{ (грн)}.$$

Річні капітальні витрати [10]:

$$K_{\text{річні}} = E_n \cdot K, \quad (2.15)$$

$$K_{\text{річні}} = 0,17 \cdot 15426 = 2622,42 \text{ (грн/рік)}.$$

Загальні додаткові відрахування [10]:

$$C = C_A + C_P + C_D + C_O, \quad (2.16)$$

де  $C_A$  – амортизаційні відрахування, грн/рік;

$C_P$  – відрахування на ремонт, грн/рік;

$C_D$  – додаткові відрахування, грн/рік;

$C_O$  – відрахування на обслуговування, грн/рік.

Величина амортизаційних відрахувань в середньому приймається 10% від капітальних вкладень [10]:

$$C_A = 0,1 \cdot K, \quad (2.17)$$

$$C_A = 0,1 \cdot 15426 = 1542,6 \text{ (грн/рік)}.$$

Відрахування на ремонт електрообладнання приймають в розрахунку 2% від капітальних вкладень [10]:

$$C_P = 0,02 \cdot K, \quad (2.18)$$

$$C_P = 0,02 \cdot 15426 = 308,52 \text{ (грн/рік)}.$$

Додаткові відрахування, які враховують втрати енергії системі електричного привода у стаціонарних та перехідних режимах роботи за рік [10]:

$$C_D = C_{D1} + C_{D2}, \quad (2.19)$$

де  $C_{D1}$  – додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в двигуні за рік, грн/рік;

$C_{D2}$  – додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в системі керування за рік, грн/рік.

Додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в двигуні за рік [10]:

$$C_{D1} = \Delta W_{\Sigma_{дв}} \cdot c, \quad (2.20)$$

де  $\Delta W_{дв}$  – сумарні втрати енергії в двигуні у стаціонарних та перехідних режимах роботи за рік, (кВт·год)/рік;

$c$  – вартість для промисловості одного кіловата потужності за годину, грн/(кВт·год) ( $c = 2,83$  грн/(кВт·год) [13]).

Сумарні втрати енергії в двигуні у стаціонарних та перехідних режимах роботи за рік [10]:

$$\Delta W_{\Sigma \text{ДВ}} = (\Delta P_{\text{НОМ}} + \Delta P_{\text{перех.}}) \cdot k_3 \cdot \Phi, \quad (2.21)$$

де  $\Delta P_{\text{НОМ}}$  – втрати потужності в двигуні в номінальному режимі роботи, кВт;

$\Delta P_{\text{перех.}}$  – додаткові втрати потужності в двигуні у перехідних режимах роботи, кВт;

$k_3$  – коефіцієнт завантаження по потужності (приймають рівним 0,8);

$\Phi$  – дійсний фонд часу роботи системи електричного привода за рік, год/рік.

Втрати потужності в двигуні в номінальному режимі роботи [10]:

$$\Delta P_{\text{НОМ}} = P_{\text{НОМ}} \cdot \frac{1 - \eta_{\text{НОМ}}}{\eta_{\text{НОМ}}}, \quad (2.22)$$

де  $P_{\text{НОМ}}$  – номінальна потужність електричного двигуна ( $P_{\text{НОМ}} = 4,0$  кВт);

$\eta_{\text{НОМ}}$  – номінальний ККД двигуна ( $\eta_{\text{НОМ}} = 0,84$ ),

$$\Delta P_{\text{НОМ}} = 4,0 \cdot \frac{1 - 0,84}{0,84} = 0,8 \text{ (кВт)}.$$

Додаткові втрати потужності в двигуні у перехідних режимах роботи приймають рівними 10% від номінальних [10]:

$$\Delta P_{\text{перех.}} = 0,1 \cdot \Delta P_{\text{НОМ}}, \quad (2.23)$$

$$\Delta P_{\text{перех.}} = 0,1 \cdot 0,8 = 0,08 \text{ (кВт)}.$$

Дійсний фонд часу роботи електричного привода за рік [10]:

$$\Phi = \varepsilon \cdot Z_{\text{р.д.}} \cdot Z_{\text{р.з.}} \cdot t_{\text{р.з.}}, \quad (2.24)$$

де  $\varepsilon$  – відносна тривалість ввімкнення згідно тахограми ( $\varepsilon = 0,24$ );

$Z_{\text{р.д.}}$  – кількість робочих днів за рік ( $Z_{\text{р.д.}} = 150$  1/рік);

$Z_{p.z.}$  – кількість робочих змін ( $Z_{p.z.} = 2$ );

$t_{p.z.}$  – тривалість робочої зміни ( $t_{p.z.} = 12$  год),

$$\Phi = 0,24 \cdot 150 \cdot 2 \cdot 12 = 864 \text{ (год/рік)}.$$

Сумарні втрати енергії в двигуні у стаціонарних та перехідних режимах роботи згідно формули (2.21):

$$\Delta W_{\Sigma_{дв}} = (0,8 + 0,08) \cdot 0,8 \cdot 864 = 579,3 \text{ ((кВт}\cdot\text{год)/рік)}.$$

Додаткові відрахування згідно формули (2.20):

$$C_{д1} = 579,3 \cdot 2,83 = 1639,39 \text{ (грн/рік)}.$$

Додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в системі керування за рік [10]:

$$C_{д2} = \Delta W_{\Sigma_{ск}} \cdot c, \quad (2.25)$$

де  $\Delta W_{ск}$  – кількість втраченої електроенергії в системі керування за рік, (кВт·год)/рік.

Втрати енергії в системі керування за рік [10]:

$$\Delta W_{\Sigma_{ск}} = \Delta P_{ск} \cdot k_3 \cdot \Phi, \quad (2.26)$$

де  $\Delta P_{ск}$  – втрати потужності в системі керування, кВт.

Втрати потужності в системі керування [10]:

$$\Delta P_{ск} = P_{сп} \cdot \frac{1 - \eta_{сп}}{\eta_{сп}}, \quad (2.27)$$

де  $P_{сп}$  – номінальна потужність перетворюючого пристрою ( $P_{сп} = 5,5$  кВт);

$\eta_{сп}$  – номінальний ККД перетворюючого пристрою ( $\eta_{сп} = 0,98$ ),

$$\Delta P_{ск} = 5,5 \cdot \frac{1 - 0,98}{0,98} = 0,11 \text{ (кВт)}.$$

Втрати потужності в системі керування згідно формули (2.26):

$$\Delta W_{\Sigma \text{ск}} = 0,11 \cdot 0,8 \cdot 864 = 77,6 \text{ ((кВт}\cdot\text{год)/рік)}.$$

Додаткові відрахування згідно формули (2.25):

$$C_{\text{Д2}} = 77,6 \cdot 2,83 = 219,56 \text{ (грн/рік)}.$$

Додаткові відрахування згідно формули (2.19):

$$C_{\text{Д}} = 1639,39 + 219,56 = 1858,96 \text{ (грн/рік)}.$$

Відрахування на обслуговування електрообладнання приймають рівним 5% від суми відрахувань на амортизацію, ремонт та додаткових витрат [10]:

$$C_{\text{O}} = 0,05 \cdot (C_{\text{A}} + C_{\text{P}} + C_{\text{Д}}), \quad (2.28)$$

$$C_{\text{O}} = 0,05 \cdot (1542,6 + 308,52 + 1858,96) = 185,5 \text{ (грн/рік)}.$$

Загальні додаткові відрахування згідно формули (2.16):

$$C = 1542,6 + 308,52 + 1858,96 + 185,5 = 3895,58 \text{ (грн/рік)}.$$

Приведені витрати згідно формули (2.13):

$$З = 0,17 \cdot 15426 + 3895,58 = 6518 \text{ (грн/рік)}.$$

Для інших систем електричного привода проведемо аналогічні розрахунки, результати розрахунків зведемо в порівняльну таблицю 2.1.



Таблиця 2.1 – Порівняльна таблиця

Показники	Системи електричного привода			
	РКС-ДПС	РКС-АД з ФР	ТП-Д	ПЧ-АД
Вартість двигуна Д, грн	8040	6432	3216	3216
Вартість системи керування СК, грн	3663	4273,5	9768	12210
Капітальні вкладення К, грн	11703	10705,5	12984	15426
Річні капітальні витрати $K_{річн}$ , грн/рік	1989,51	1819,94	2207,28	2622,42
Амортизаційні відрахування $C_A$ , грн/рік	1170,30	1070,55	1298,40	1542,60
Відрахування на ремонт $C_P$ , грн/рік	234,06	214,11	259,68	308,52
Додаткові відрахування $C_D$ , грн/рік	8811,75	5225,57	3537,96	1858,96
Відрахування на обслуговування $C_O$ , грн/рік	510,81	325,51	254,80	185,50
Загальні відрахування $C$ , грн/рік	10726,91	6835,74	5350,84	3895,58
Приведені витрати $Z$ , грн/рік	12716,42	8655,68	7558,12	6518,00

Як випливає із результатів розрахунків найбільш економічно вигідним є використання системи ПЧ-АД, оскільки приведені витрати для неї є найменшими і становлять 6518 грн/рік.

## 2.4 Вибір приводного двигуна та його перевірка

### 2.4.1 Вибір приводного двигуна

Згідно розрахункових даних для привода приводної станції стрічкового транспортера завантаження скіпа вапнякової печі вибираємо АД з КЗ ротором загальнопромислового виконання типу 4A100L4 (таблиця 2.2) відповідно до умов [10, 14]:

$$\begin{cases} P_{\text{дв.н}} \geq P_{\text{роз}}, \\ \omega_{\text{дв.н}} \geq \omega_{\text{роз}}. \end{cases} \quad (2.29)$$

де  $P_{\text{роз}}$  – розрахункова потужність приводного двигуна ( $P_{\text{роз}} = 3,35 \dots 3,81$  кВт);

$\omega_{\text{роз}}$  – розрахункова швидкість обертання приводного двигуна ( $\omega_{\text{роз}} = 1404$  об/хв).

Таблиця 2.2 – Технічні дані приводного двигуна 4A100L4 [15]

Параметри	Значення
Номінальна потужність $P_{\text{дв.н}}$ , кВт	4,0
Номінальна напруга $U_{\text{дв.н}}$ , В	380
Номінальна швидкість обертання $n_{\text{дв.н}}$ , об/хв	1431
Коефіцієнт потужності $\cos\varphi_{\text{ном}}$	0,84
Коефіцієнт корисної дії $\eta_{\text{дв.н}}$ , %	0,84
Кратність пускового моменту $\lambda_{\text{пуск}}$	2,1
Кратність критичного моменту $\lambda_{\text{к}}$	2,4
Кратність мінімального моменту $\lambda_{\text{мін}}$	1,6
Номінальний струм статора $I_{\text{дв.н}}$ , А	8,59
Кратність пускового струму $\lambda_{\text{I,пуск}}$	6,0

Продовження таблиці 2.2

Параметри	Значення
Активний опір обмотки статора $R_1$ , Ом	1,72
Приведений активний опір обмотки ротора $R'_2$ , Ом	1,36
Індуктивний опір розсіювання обмотки статора $X_1$ , Ом	2,0
Приведений індуктивний опір розсіювання обмотки ротора $X'_2$ , Ом	3,59
Момент інерції ротора $J_{\text{рот}}$ , кг·м <sup>2</sup>	0,011

Синхронна кутова швидкість обертання приводного двигуна [10, 14]:

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f_1}{p}, \quad (2.30)$$

де  $f_1$  – частота напруги живлення ( $f_1 = 50$  Гц);

$p$  – число пар полюсів електричної машини ( $p = 2$ ),

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot 50}{3} = 157,1 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

Номінальна кутова швидкість обертання [10, 14]:

$$\omega_{\text{дв.н}} = \frac{2\pi \cdot n_{\text{дв.н}}}{60}, \quad (2.31)$$

$$\omega_{\text{дв.н}} = \frac{2\pi \cdot 1431}{60} = 149,7 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

Номінальний момент приводного двигуна [10, 14]:

$$M_{\text{дв.н}} = 9550 \cdot \frac{P_{\text{дв.н}}}{n_{\text{дв.н}}}, \quad (2.32)$$

$$M_{\text{дв.н}} = 9550 \cdot \frac{4,0}{1431} = 26,7 \text{ (Н·м)}.$$

Критичний момент приводного двигуна [10, 14]:

$$M_{\text{дв.к}} = \lambda_{\text{к}} \cdot M_{\text{дв.н}}, \quad (2.33)$$

$$M_{\text{дв.к}} = 2,4 \cdot 26,7 = 61,4 \text{ (Н}\cdot\text{м)}.$$

Пусковий момент приводного двигуна [10, 14]:

$$M_{\text{дв.пуск}} = \lambda_{\text{пуск}} \cdot M_{\text{дв.н}}, \quad (2.34)$$

$$M_{\text{дв.пуск}} = 2,1 \cdot 26,7 = 56,1 \text{ (Н}\cdot\text{м)}.$$

Пусковий струм приводного двигуна [10, 14]:

$$I_{\text{дв.пуск}} = \lambda_{\text{пуск}} \cdot I_{\text{дв.н}}, \quad (2.35)$$

$$I_{\text{дв.пуск}} = 6,0 \cdot 8,59 = 51,5 \text{ (А)}.$$

Номинальне ковзання [10, 14]:

$$s_{\text{н}} = \frac{\omega_0 - \omega_{\text{дв.н}}}{\omega_0}, \quad (2.36)$$

$$s_{\text{н}} = \frac{157,1 - 149,7}{157,1} = 0,047.$$

Критичне ковзання [10, 14]:

$$s_{\text{к}} = s_{\text{н}} \cdot (\lambda_{\text{к}} + \sqrt{\lambda_{\text{к}}^2 - 1}), \quad (2.37)$$

$$s_{\text{к}} = 0,047 \cdot (2,4 + \sqrt{2,4^2 - 1}) = 0,21.$$

Номинальна фазна напруга приводного двигуна при з'єднанні обмоток статора в зірку [10, 14]:

$$U_{\text{ф.ном}} = \frac{U_{\text{дв.н}}}{\sqrt{3}}, \quad (2.38)$$

$$U_{\text{ф.ном}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 219,4 \text{ (В)}.$$

Для побудови природної механічної характеристики АД з КЗ ротором скористаємось формулами Клоса та Чекунова [10, 14].

Механічна характеристика згідно формули Клоса [10, 14]:

$$M(s) = \frac{2 \cdot M_{\text{дв.к}} \cdot (1 + a \cdot s_{\text{к}})}{\frac{s}{s_{\text{к}}} + 2 \cdot a \cdot s_{\text{к}} + \frac{s_{\text{к}}}{s}}, \quad (2.39)$$

де  $a$  – розрахунковий коефіцієнт [10, 14],

$$a = \frac{R_1}{R'_2}, \quad (2.40)$$

$$a = \frac{1,72}{1,36} = 1,26.$$

Згідно рівняння (2.39):

$$M(s) = \frac{2 \cdot 64,1 \cdot (1 + 1,26 \cdot 0,21)}{\frac{s}{0,21} + 2 \cdot 1,26 \cdot 0,21 + \frac{0,21}{s}}.$$

Механічна характеристика згідно формули Чекунова [10, 14]:

$$M(s) = M_{\text{к}} \cdot \frac{2 + (s^2 - s_{\text{к}}^2) \cdot K_s}{\frac{s}{s_{\text{к}}} + \frac{s_{\text{к}}}{s}}, \quad (2.41)$$

де  $K_s$  – розрахунковий коефіцієнт [10, 14],

$$K_s = \frac{\lambda_{\text{пуск}}}{\lambda_{\text{к}}} \cdot \left( \frac{1}{s_{\text{к}}} + s_{\text{к}} \right) - 2, \quad (2.42)$$

$$K_s = \frac{\frac{2,1}{2,4} \cdot \left( \frac{1}{0,21} + 0,21 \right) - 2}{1 - 0,21^2} = 2,4.$$

Згідно рівняння (2.41):

$$M(s) = 64,1 \cdot \frac{2 + (s^2 - 0,21^2) \cdot 2,4}{\frac{s}{0,21} + \frac{0,21}{s}}.$$

Приведений струм ротора (рівняння електромеханічної характеристики) [10, 14]:

$$I_2'(s) = \frac{U_\phi}{\sqrt{\left( R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + (X_1 + X_2')^2}}, \quad (2.43)$$

$$I_2'(s) = \frac{219,4}{\sqrt{\left( 1,72 + \frac{1,36}{s} \right)^2 + (2 + 3,59)^2}}.$$

Рівняння, яке описує залежність швидкості обертання двигуна від ковзання має вигляд [10, 14]:

$$\omega(s) = \omega_0 \cdot (1 - s). \quad (2.44)$$

Для побудови природних механічних та електромеханічної характеристик скористаємось ППП Mathcad (рисунок 2.2).

Як впливає з отриманих графічних залежностей, механічна характеристика, побудована за формулою Чекунова, більш точно відображає механічну характеристику приводного двигуна.

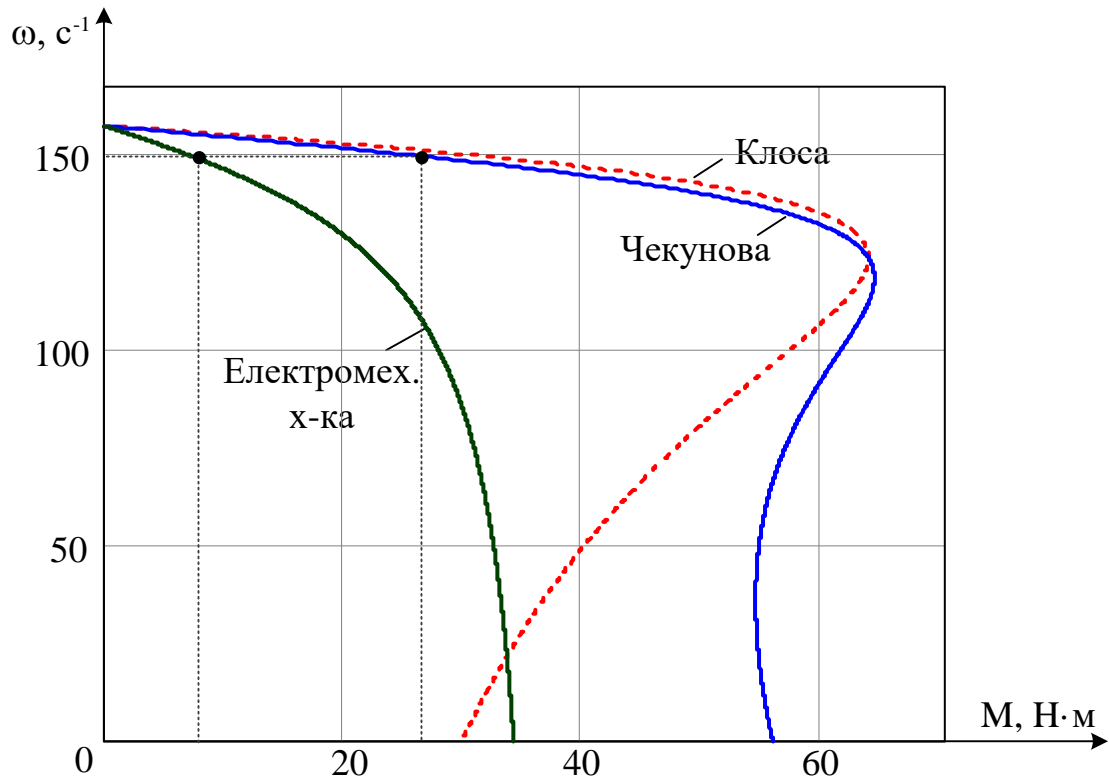


Рисунок 2.2 – Природні механічні та електромеханічна характеристики приводного двигуна 4A100L4

#### 2.4.2 Розрахунок динамічних навантажень

Момент інерції стрічкового транспортера:

$$J = 1,2 \cdot J_{\text{рот}} + J_{\text{п}} + \frac{J_{\text{б}}}{i_{\text{п}}^2} + \frac{J_{\text{нб}}}{i_{\text{п}}^2} + N_{\text{р}} \cdot J_{\text{р}} \cdot \frac{1}{\left(\frac{D_{\text{б}}}{d_{\text{р}}}\right)^2 \cdot i_{\text{п}}^2} + m_{\Sigma} \cdot \frac{V_{\text{ном}}^2}{\omega_{\text{ном}}^2}, \quad (2.45)$$

де  $J_{\text{п}}$  – момент інерції механічної передачі ( $J_{\text{п}} = 0,11 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ );

$J_{\text{б}}$  – момент інерції приводного барабана ( $J_{\text{б}} = 2,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ );

$J_{\text{нб}}$  – момент інерції натяжного барабана ( $J_{\text{нб}} = 2,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ );

$J_{\text{р}}$  – момент інерції опорних роликів ( $J_{\text{р}} = 0,02 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ );

$D_6$  – діаметр приводного барабана ( $D_6 = 0,42$  м);

$d_p$  – діаметр опорних роликів ( $d_p = 0,12$  м);

$N_p$  – кількість опорних роликів ( $N_p = 12$ );

$m_\Sigma$  – загальна маса частин, що рухаються поступально.

Маса вантажу, що розміщується на одному погонному метрі стрічки транспортера:

$$m_B = \frac{1000 \cdot Q}{3600 \cdot V_{\text{ном}}}, \quad (2.46)$$

де  $Q$  – продуктивність транспортера ( $Q = 36$  т/год);

$V_{\text{ном}}$  – номінальна швидкість стрічки ( $V_{\text{ном}} = 0,98$  м/с),

$$m_B = \frac{1000 \cdot 36}{3600 \cdot 0,98} = 10,2 \text{ (кг/м)}.$$

Маси окремих ділянок транспортера зображені на рисунку 2.3:

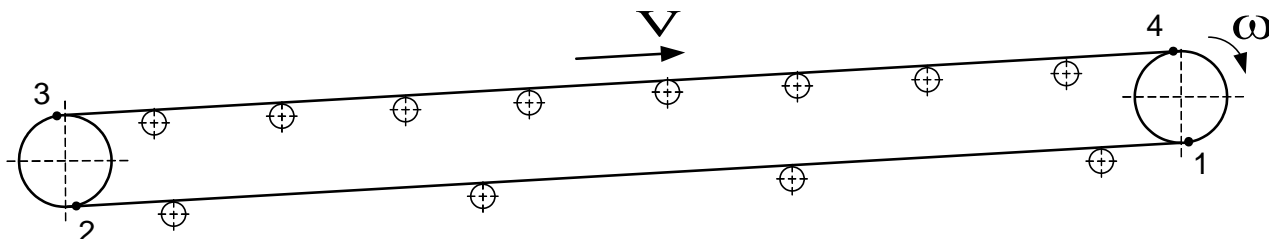


Рисунок 2.3 – Ділянки стрічкового транспортера

– ділянка 1-2:

$$m_{12} = m_0 \cdot l_{12}, \quad (2.47)$$

де  $m_0$  – маса одного погонного метра стрічки ( $m_0 = 6$  кг/м);

$l_{12}$  – довжина ділянки 1-2 ( $l_{12} = 15$  м),

$$m_{12} = 6 \cdot 15 = 90 \text{ (кг)};$$

– ділянка 2-3:



$$m_{23} = m_0 \cdot \frac{\pi \cdot D_{\text{нб}}}{2}, \quad (2.48)$$

де  $D_{\text{нб}}$  – діаметр натяжного барабана ( $D_{\text{нб}} = 0,42$  м);

$$m_{23} = 6 \cdot \frac{\pi \cdot 0,42}{2} = 3,96 \text{ (кг)};$$

– ділянка 3-4:

$$m_{34} = (m_0 + m_{\text{в}}) \cdot l_{34}, \quad (2.49)$$

де  $l_{34}$  – довжина ділянки 3-4 ( $l_{34} = 15$  м),

$$m_{34} = (6 + 10,2) \cdot 15 = 243,06 \text{ (кг)};$$

– ділянка 4-1:

$$m_{41} = m_{23} = 3,96 \text{ (кг)}; \quad (2.50)$$

Загальна маса частин транспортера, що рухаються поступально:

$$m_{\Sigma} = m_{12} + m_{23} + m_{34} + m_{41}, \quad (2.51)$$

$$m_{\Sigma} = 90 + 3,96 + 243,06 + 3,96 \approx 341 \text{ (кг)}.$$

Момент інерції стрічкового транспортера згідно з формулою (2.45):

$$J = 1,2 \cdot 0,011 + 0,11 + \frac{2,5}{31,5^2} + \frac{2,5}{31,5^2} + \\ + 12 \cdot \frac{0,02}{\left(\frac{0,42}{0,12}\right)^2 \cdot 31,5^2} + 341 \cdot \frac{0,98^2}{147^2} = 0,143 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)}.$$

Динамічний момент:

$$M_{\text{д}} = J \cdot \varepsilon_{\text{доп}}, \quad (2.52)$$

$$M_{\text{д}} = 0,143 \cdot 75 = 10,76 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Приведений до вала двигуна сумарний момент привода при пуску (під номінальним навантаженням):

$$M_{\Sigma\Pi} = M_{c_{\text{пуск}}} + M_{\text{д}}, \quad (2.53)$$

$$M_{\Sigma\Pi} = 29,3 + 10,76 = 39,78 \text{ (Н}\cdot\text{м)}.$$

На рисунку 2.4 зображено фрагмент навантажувальної діаграми привода стрічкового транспортера при пуску під навантаженням з врахуванням особливостей механічної характеристики стрічкового транспортера.

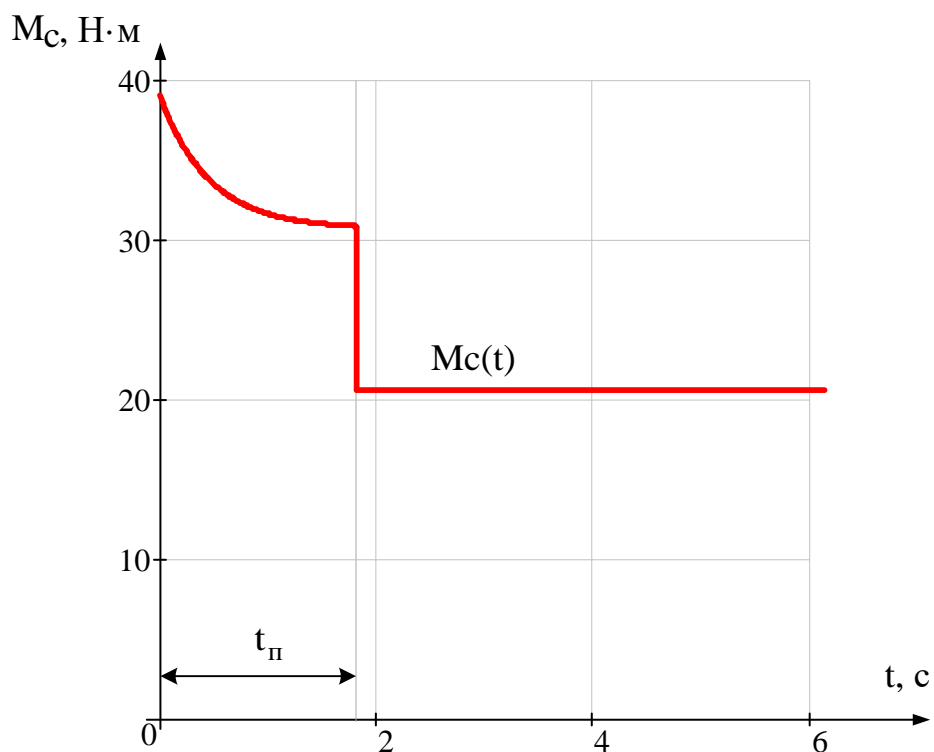


Рисунок 2.4 – Фрагмент навантажувальної діаграми привода стрічкового транспортера при пуску під навантаженням

В повному обсязі тахограми та навантажувальна діаграма електропривода стрічкового транспортера зображена на рисунку 2.5.

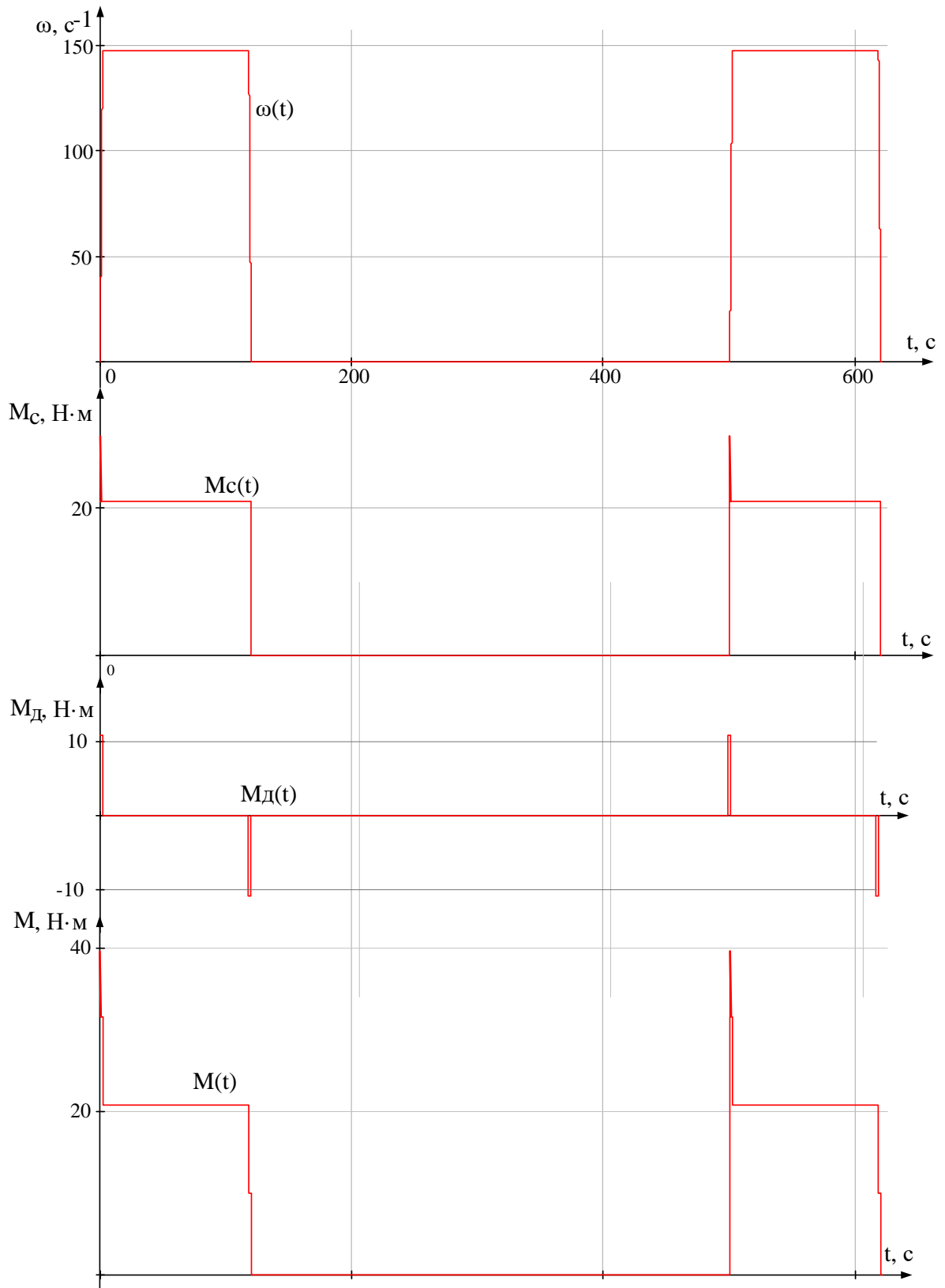


Рисунок 2.5 – Навантажувальна діаграма електропривода стрічкового транспортера завантаження скіпа вапнякової печі

### 2.4.3 Перевірка вибраного двигуна за нагрівом, перевантажувальною здатністю та умовами пуску

Для перевірки правильності вибору потужності приводного двигуна виконаємо його перевірку за нагрівом відповідно до умови [10]:

$$M_{\text{дв.н}} \geq M_{\text{екв}} \cdot \sqrt{\frac{TB_{\phi}}{100\%}}, \quad (2.54)$$

де  $M_{\text{дв.н}}$  – номінальний момент приводного двигуна;

$M_{\text{екв}}$  – еквівалентний момент з урахуванням динаміки.

Еквівалентний момент:

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{(M_{\text{спуск}} + M_{\text{д}})^2 \cdot t_{\text{п}} + M_{\text{с}}^2 \cdot (t_{\text{роб}} - t_{\text{п}} - t_{\text{г}}) + (M_{\text{с}} - M_{\text{д}})^2 \cdot t_{\text{г}}}{\beta_{\text{п}} \cdot t_{\text{п}} + \beta_{\text{у}} \cdot (t_{\text{роб}} - t_{\text{п}} - t_{\text{г}}) + \beta_{\text{г}} \cdot t_{\text{г}}}} \quad (2.55)$$

де  $\beta_{\text{п}}$  ( $\beta_{\text{г}}$ ) – коефіцієнт погіршення тепловіддачі при пуску (гальмуванні);

$\beta_{\text{у}}$  – коефіцієнт погіршення тепловіддачі при усталеній номінальній швидкості транспортування.

Коефіцієнт погіршення тепловіддачі при пуску (гальмуванні) [10]:

$$\beta_{\text{п}} = \beta_{\text{г}} = \frac{1 + \beta_0}{2}, \quad (2.56)$$

де  $\beta_0$  – коефіцієнт погіршення тепловіддачі при нерухомому роторі ( $\beta_0 = 0,5$ ),

$$\beta_{\text{п}} = \beta_{\text{г}} = \frac{1 + 0,5}{2} = 0,75.$$

Коефіцієнт погіршення тепловіддачі при усталеній номінальній швидкості транспортування [10]:

$$\beta_{\text{у}} = \beta_0 + (1 - \beta_0) \cdot \frac{\omega_{\text{ном}}}{\omega_{\text{дв.н}}}, \quad (2.57)$$

$$\beta_{\text{у}0} = 0,5 + (1 - 0,5) \cdot \frac{147}{149,85} \approx 1.$$

Відповідно до рівняння (2.55):

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{(29,3 + 10,76)^2 \cdot 1,96 + 20,73^2 \cdot (120 - 1,96 - 1,96) + (20,73 - 10,76)^2 \cdot 1,96}{0,75 \cdot 1,96 + 1 \cdot (120 - 1,96 - 1,96) + 0,75 \cdot 1,96}} =$$

$$= 21,24 \text{ (Н}\cdot\text{м)}.$$

Відповідно до умови (2.54):

$$26,69 \geq 21,24 \cdot \sqrt{\frac{24\%}{100\%}} = 10,41.$$

Оскільки умова перевірки виконується, то приводний двигун, при заданих умовах роботи, перегріватись не буде.

Умова перевірки двигуна на перевантажувальну здатність:

$$M_{\text{дв.к}} \geq M_{\text{с}_{\text{пуск}}} + M_{\text{д}}, \quad (2.58)$$

$$64,07 \geq 29,3 + 10,76 = 39,78.$$

Умова перевірки на перевантажувальну здатність виконується.

Оскільки для привода стрічкового транспортера використовується система ЕП типу ПЧ-АД, то при частотному пуску забезпечується пусковий момент близький до критичного. Отже умови пуску будуть виконуватись.

**Висновок.** Базуючись на вихідних даних індивідуального завдання та режимі роботи стрічкового транспортера завантаження вапнякової печі розраховано орієнтовну потужність приводного двигуна, яка становить  $P_{\text{роз}} = (3,35 \dots 3,81)$  кВт.

Грунтуючись на результатах розрахунків техніко-економічного обґрунтування визначено, що дл привода стрічкового транспортера найбільш

економічно вигідним є використання системи ПЧ-АД, оскільки приведені витрати для неї є найменшими і становлять 6518 грн/рік.

Прирівнявши отриманий діапазон потужностей (3,35...3,81 кВт) із стандартним рядом потужностей для привода стрічкового транспортера завантаження скіпа вапнякової печі вибрано АД з КЗ ротором типу 4А100L4 потужністю 4,0 кВт та побудовано його природні механічну та електромеханічну характеристики.

Побудовано навантажувальну діаграму привода стрічкового транспортера та виконано перевірку вибору приводного двигуна. Оскільки умови перевірок виконуються, то двигун вибрано вірно і він не буде перегріватись при експлуатації забезпечуючи необхідні пускові характеристики.

## 3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА СТРІЧКОВОГО ТРАНСПОРТЕРА

### 3.1 Розробка функціональної схеми САЕП стрічкового транспортера

Згідно ТЕО для привода стрічкового транспортера завантаження скіпа вапнякової печі доцільно використовувати систему електричного привода типу ПЧ-АД.

Найбільшого поширення сьогодні набули перетворювачі частоти з подвійним перетворенням енергії на базі автономного інвертора напруги з широтно-імпульсною модуляцією (ПЧ з АІН при ШІМ) (рисунок 3.1).

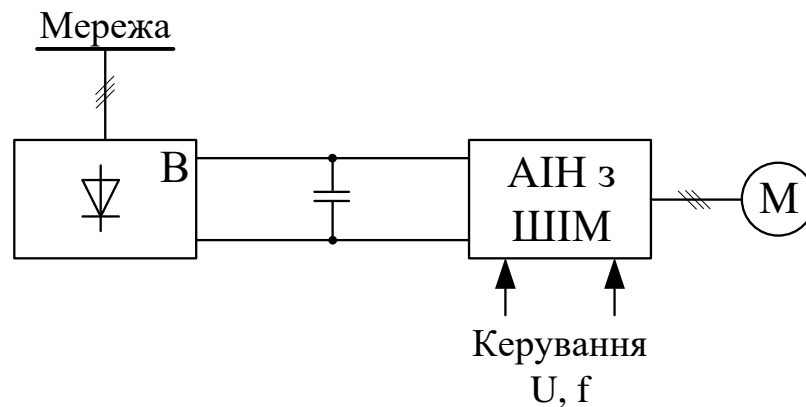


Рисунок 3.1 – Структурна схема ПЧ з АІН при ШІМ

В таких перетворювачах використовуються ключі з високою частотою комутації (до 20 кГц). Завдяки високій частоті комутації та з врахуванням фільтрувальних властивостей обмоток машин змінного струму, можна сказати, що струм у статорі машини має практично синусоїдальну форму, суттєво зменшуючи пульсації моменту на низьких швидкостях обертання. Це дає можливість одержати широкий діапазон регулювання швидкості [16].

Відповідна функціональна схема електропривода за системою ПЧ-АД з ШІМ та зворотними зв'язками за швидкістю та струмом зображена на рисунку 3.2.

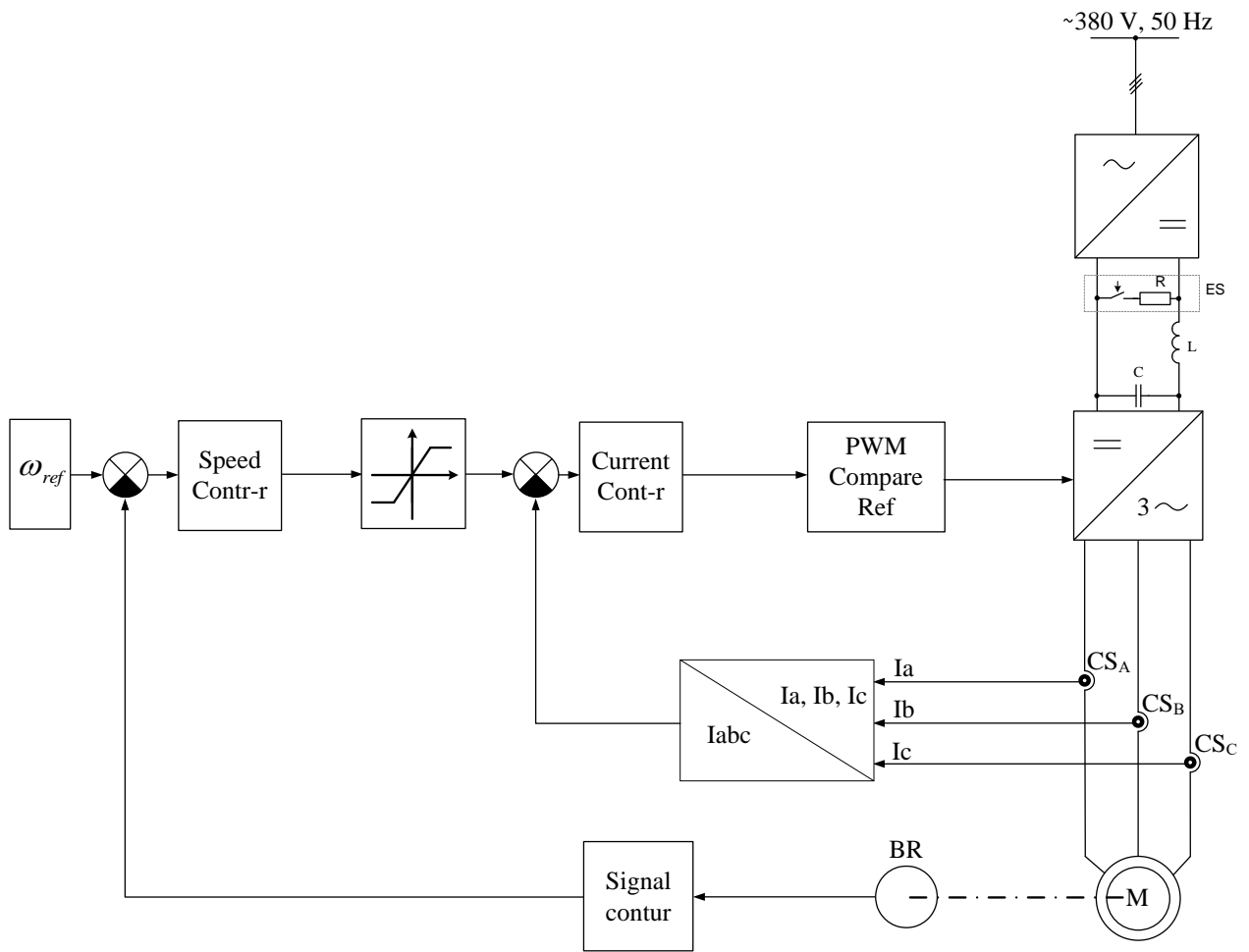


Рисунок 3.2 – Схема функціональна електропривода за системою ПЧ-АД

Принципова схема силової частини ПЧ з АІН при ШІМ зображена на рисунку 3.3.

Силова частина схеми містить випрямляч UZ1, ланку постійного струму з вузлом для скидання енергії ES, що отримується від двигуна при його роботі в генераторних режимах, інвертор UZ2, а також сенсори вихідних струмів інвертора DT.



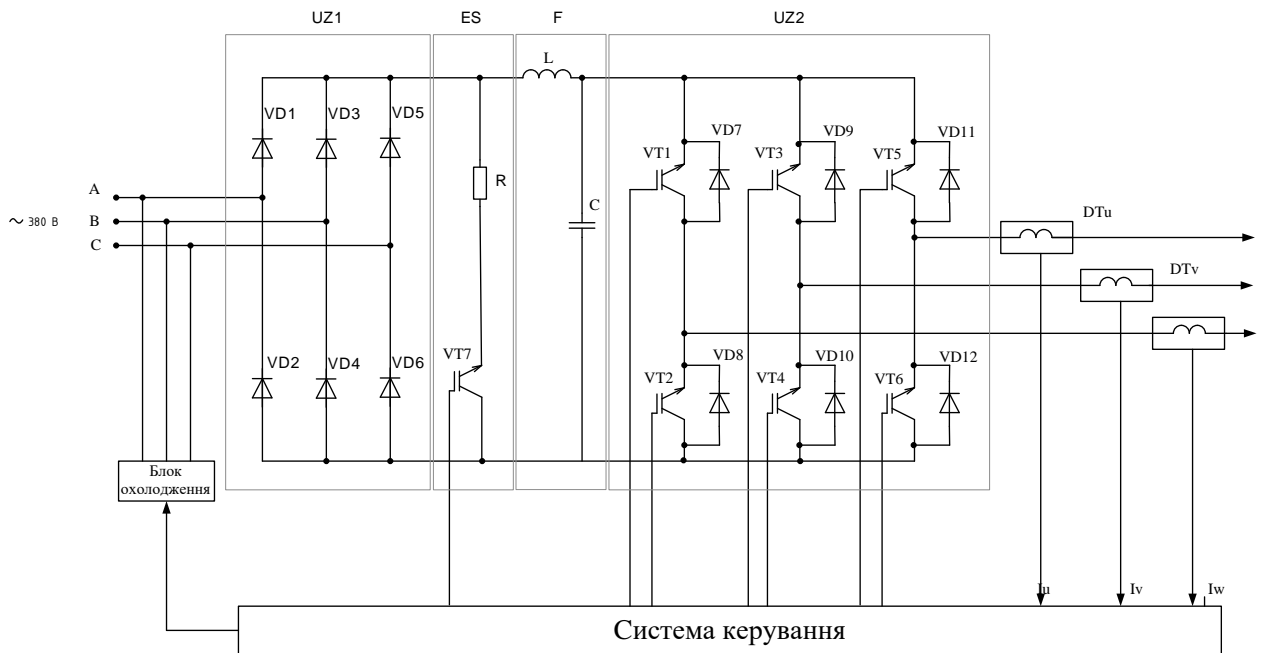


Рисунок 3.3 – Принципова схема силової частини ПЧ з АІН при ШІМ

### 3.2 Вибір силового перетворювача

Умови вибору перетворювача частоти [10, 14]:

$$\begin{cases} P_{\text{ПЧ}} \geq P_{\text{дв.сп}}, \\ I_{\text{ПЧ}} \geq I_{\text{дв.н}}, \end{cases} \quad (3.1)$$

де  $P_{\text{дв.сп}}$  – споживана електродвигуном потужність в номінальному усталеному режимі, кВт;

$I_{\text{дв.ном}}$  – номінальний струм приводного двигуна, А.

Споживана електродвигуном потужність в номінальному усталеному режимі [10, 14, 17]:

$$P_{\text{дв.сп}} = \frac{k \cdot P_{\text{дв.н}}}{\eta_{\text{дв.н}}}, \quad (3.2)$$

де  $k$  – коефіцієнт спотворення струму на виході перетворювача частоти ( $k = 0,95 \dots 1,05$ ),

$$P_{\text{дв.сп}} = \frac{1 \cdot 4,0}{0,84} = 5,0 \text{ (кВт)}.$$

Оскільки пуск стрічкового транспортера може здійснюватись і під навантаженням, то виконаємо такі додаткові перевірки:

1) необхідна робоча потужність перетворювача частоти [10, 14, 17]:

$$P_{\text{ПЧ}} \geq \frac{P_{\text{дв.пуск}}}{\lambda_{\text{ПЧ}}}, \quad (3.3)$$

де  $P_{\text{дв.пуск}}$  – пускова потужність приводного двигуна, кВт;

$\lambda_{\text{ПЧ}}$  – перевантажувальна здатність перетворювача ( $\lambda_{\text{ПЧ}} = 1,2 \dots 1,7$ ),

$$P_{\text{дв.пуск}} = \frac{k \cdot \omega_{\text{ном}}}{10000 \cdot \eta_{\text{дв.н}}} \cdot (M_{\text{с.пуск}} + M_{\text{д}}), \quad (3.4)$$

$$P_{\text{дв.пуск}} = \frac{1 \cdot 147}{1000 \cdot 0,84} \cdot (29,3 + 10,76) = 7,31 \text{ (кВт)},$$

$$P_{\text{ПЧ}} \geq \frac{7,31}{1,5} = 4,87 \text{ (кВт)};$$

2) струм який споживає електродвигун при лінійному розгоні не повинен перевищувати пусковий струм перетворювача частоти [10, 14, 17]:

$$I_{\text{ПЧ пуск}} \geq \frac{k \cdot \omega_{\text{ном}}}{\eta_{\text{дв.н}} \cdot \cos \varphi_{\text{ном}} \cdot U_{\text{дв.н}} \cdot \sqrt{3}} \cdot (M_{\text{с.пуск}} + M_{\text{д}}), \quad (3.5)$$

$$I_{\text{ПЧ пуск}} \geq \frac{1 \cdot 147}{0,84 \cdot 0,84 \cdot 380 \cdot \sqrt{3}} \cdot (29,3 + 10,76) = 14,653 \text{ (А)}.$$

Отже, номінальна потужність вибраного перетворювача частоти повинна бути не меншою 5 кВт, а струм – більший 7,5 А.

Відповідно до розрахункових даних вибираємо з перетворювач частоти Danfoss VLT Micro Drive FC51 (рисунок 3.4).



Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд о перетворювача частоти  
Danfoss VLT Micro Drive FC51

Перетворювач частоти Danfoss VLT Micro Drive FC51 – універсальний компактний загальнопромисловий перетворювач, має векторну і скалярну системи керування двигуном. Перетворювачі даної серії використовуються для керування електродвигунами невисокої потужності (до 22 кВт) [18].

Частотний перетворювач має вбудований фільтр радіозавад і вбудований гальмівний модуль [19].

Основні функціональні можливості частотного перетворювача Danfoss VLT Micro Drive [19]:

- 1) підвищена міцність і стійкість до зовнішніх впливів;
- 2) багатоцільовий привод;
- 3) вбудований ПД-регулятор;
- 4) вбудований інтерфейс RS-485 FC-Protocol, Modbus RTU;
- 5) векторне керування (по вольт-частотній характеристиці U/f);
- 6) автоматична оптимізація енергоспоживання (АЕО);
- 7) автоматична адаптація до двигуна;

- 8) вбудований PLC;
- 9) 150% перевантаження протягом 1 хвилини;
- 10) електронне теплове реле;
- 11) захист від КЗ між фазами двигуна;
- 12) захист від КЗ вихідних фаз на землю;
- 13) підхоплення двигуна, що обертається;
- 14) вбудований фільтр високочастотних завад;
- 15) можливість зняття і установки панелі управління під час роботи, функція копіювання.

Технічні характеристики перетворювача частоти наведені в таблиці 3.1 [20].

Таблиця 3.1– Технічні характеристики перетворювача частоти

Характеристики	Значення
Номінальна потужність	5,5 кВт
Номінальний струм	12 А
Число фаз / напруга на вході	3-ф/380–480 В $\pm$ 10%
Частота мережі	50/60 Гц $\pm$ 5%
Максимальна короткочасна асиметрія фаз	3% від номінальної напруги
Коефіцієнт активної потужності	$\geq 0,4$ при номінальному навантаженні
Коефіцієнт реактивної потужності	$> 0,98$
Включень по входу L1 / L, L2, L3 / N	не більше 2 разів на хвилину
Перевантажувальна здатність	150% протягом 60 с
Керування	векторне і скалярне
Вихідна напруга	0–100% від вхідної номінальної

Продовження таблиці 3.1

Характеристики	Значення
Вихідна частота	0-200 Гц (VVC+), 0-400 Гц (u/f)
Час розгону/гальмування	0,01...3600 с
Цифрові входи	5, 0-24 В DC
Імпульсні входи	1, 0-24 В
Аналогові входи	2 (1-струмовий, 1-струм/напруга) 0-10 В (масштабований) 0/4-20 мА (масштабований)
Аналогові виходи	1 0/4-20 мА 500 Ом (max навантаження)
Дискретні/частотні виходи	1, 0-24 В
Релейні виходи	1, 240 В, 2А
Комунікація з шинами передачі даних	FC Protocol, Modbus RTU
Корпу	IP20
Температура навколишнього середовища	-10°C ... +50°C

### 3.3 Розробка структурної схеми САЕП стрічкового транспортера

Структурна схема двоконтурної системи електричного привода стрічкового транспортера зображена на рисунку 3.5.



Модуль жорсткості лінеаризованої статичної механічної характеристики АД [14, 21]:

$$\beta = \frac{2 \cdot M_{\text{дв.к}}}{\omega_0 \cdot s_{\text{к}}}, \quad (3.6)$$

$$\beta = \frac{2 \cdot 64,4}{157,08 \cdot 0,21} = 3,87.$$

Електромагнітна стала часу АД [14, 21]:

$$T_e = \frac{1}{\omega_0 \cdot s_{\text{к}}}, \quad (3.7)$$

$$T_e = \frac{1}{157,08 \cdot 0,21} = 0,0302 \text{ (с)}.$$

Передаточна функція лінеаризованої моделі АД [14, 21]:

$$W_{\text{АД}}(p) = \frac{\beta}{T_e \cdot p + 1}, \quad (3.8)$$

$$W_{\text{АД}}(p) = \frac{3,87}{0,0302 \cdot p + 1}.$$

Передаточна функція механічної частини АД [14, 21]:

$$W_{\text{АД мех}}(p) = \frac{1}{J_{\text{пр}} \cdot p}, \quad (3.9)$$

$$W_{\text{АД мех}}(p) = \frac{1}{0,143 \cdot p}.$$

Коефіцієнт підсилення перетворювача частоти [14, 21]:

$$K_{\text{пч}} = \frac{f_{\text{max}}}{U_{\text{max}}}, \quad (3.10)$$

де  $f_{\text{max}}$  – максимальна частота ( $f_{\text{max}} = 50$  Гц);

$U_{\max}$  – максимальна напруга за датчика інтенсивності ( $U_{\max} = 10 \text{ В}$ ),

$$K_{\text{пч}} = \frac{50}{10} = 5.$$

Передаточна функція перетворювача частоти [14, 21]:

$$W_{\text{пч}}(p) = \frac{K_{\text{пч}}}{T_{\text{пч}} \cdot p + 1}, \quad (3.11)$$

де  $T_{\text{пч}}$  – стала часу перетворювача частоти ( $T_{\text{пч}} = 0,005 \text{ с}$ ),

$$W_{\text{пч}}(p) = \frac{5}{0,005 \cdot p + 1}.$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю [14, 21]:

$$k_{\text{зз ш}} = \frac{U_{\max}}{\omega_{\text{рол}}}, \quad (3.12)$$

де  $\omega_{\text{рол}}$  – кутова швидкість опорного ролика,

$$\omega_{\text{рол}} = \frac{\omega_{\text{дв.н}}}{i_{\text{п}}} \cdot \frac{D_{\text{б}}}{d_{\text{р}}}, \quad (3.13)$$

де  $d_{\text{р}}$  – діаметр опорних роликів ( $d_{\text{р}} = 0,12 \text{ м}$ ),

$$\omega_{\text{рол}} = \frac{149,85}{31,5} \cdot \frac{0,42}{0,12} = 16,65 \text{ (с}^{-1}\text{)},$$

$$k_{\text{зз ш}} = \frac{10}{16,65} = 0,601.$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку за моментом [14, 21]:

$$k_{\text{зз м}} = \frac{U_{\max}}{M_{\text{дв.к}}}, \quad (3.14)$$

де  $M_{\max}$  – максимальний момент двигуна,



$$k_{33M} = \frac{10}{64,4} = 0,156.$$

Розглянемо внутрішній контур регулювання моменту (рисунок 3.6).

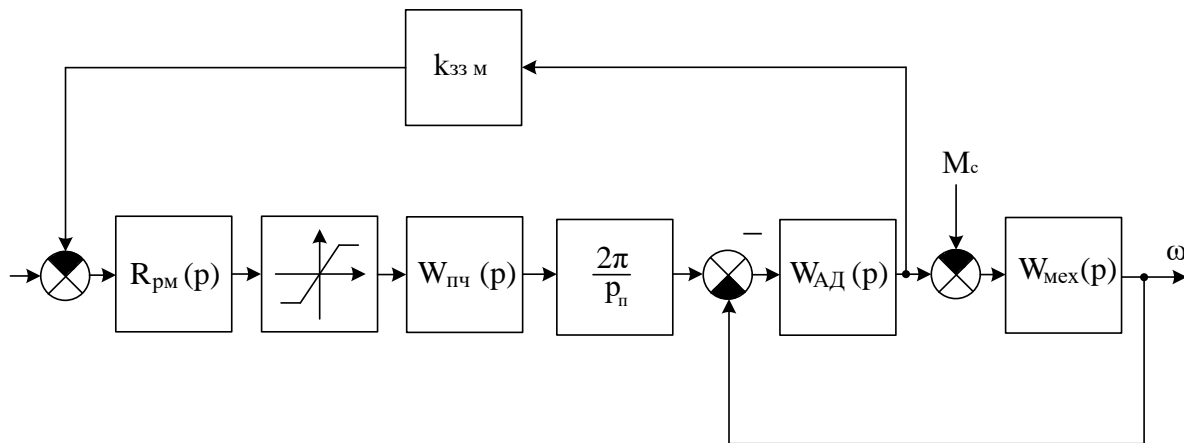


Рисунок 3.6 – Структурна схема контура регулювання моменту

Зведемо внутрішній контур моменту до одиничного зворотного зв'язку (рисунок 3.7).

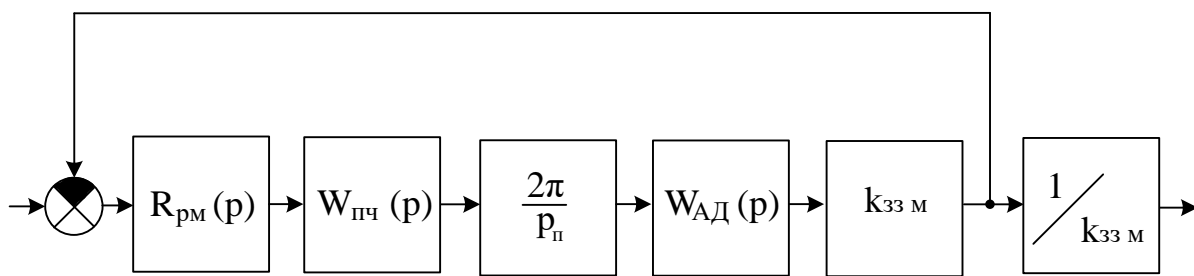


Рисунок 3.7 – Структурна схема контура регулювання моменту зведеного до одиничного зворотного зв'язку

Передаточна функція об'єкта регулювання внутрішнього контура регулювання моменту:

$$W_M(p) = W_{пч}(p) \cdot \frac{2\pi}{p_{п}} \cdot W_{АД}(p) \cdot k_{33M}, \quad (3.15)$$

$$W_M(p) = \frac{9,489}{(0,005 \cdot p + 1) \cdot (0,0302 \cdot p + 1)}.$$

Загальна передаточна функція контура регулювання моменту [14, 21]:

$$G_M(p) = R_{рм}(p) \cdot W_M(p), \quad (3.16)$$

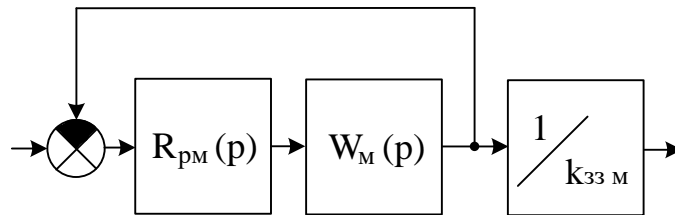


Рисунок 3.8 – Структурна схема внутрішнього контура моменту зведеного до одиничного зворотного зв'язку

Згідно модульного критерію оптимізації [14, 21]:

$$G_M(p) = \frac{1}{2 \cdot T_{0M} \cdot p \cdot (T_{0M} \cdot p + 1)}, \quad (3.17)$$

де  $T_{0M}$  – мала некомпенсована стала часу контуру моменту (приймаємо рівною сталій часу перетворювача частоти  $T_{0M} = T_{пч} = 0,005$  с, оскільки вона є найменшою),

$$G_M(p) = \frac{1}{0,01 \cdot p \cdot (0,005 \cdot p + 1)}.$$

Передаточна функцію регулятора моменту [14, 21]:

$$R_{рм}(p) = \frac{G_M(p)}{W_M(p)}, \quad (3.18)$$

$$R_{рм}(p) = \frac{10,54}{p} + 0,3182.$$

Зведемо зовнішній контур регулювання швидкості до одиничного зворотного зв'язку (рисунок 3.9).

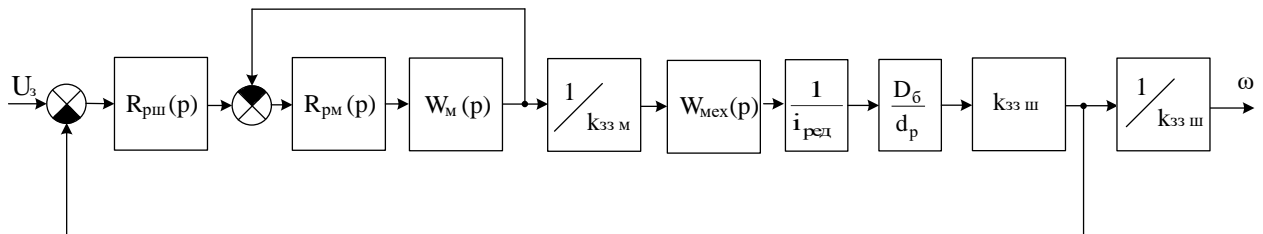


Рисунок 3.9 – Структурна схема контура регулювання швидкості зведеного до одиничного зворотного зв'язку

Передаточна функція контура регулювання моменту зведеного до одиничного зворотного зв'язку [14, 21]:

$$W_{\text{мм}}(p) = \frac{G_{\text{м}}(p)}{1 + G_{\text{м}}(p)}, \quad (3.19)$$

$$W_{\text{мм}}(p) = \frac{20000}{p^2 + 200 \cdot p + 20000}.$$

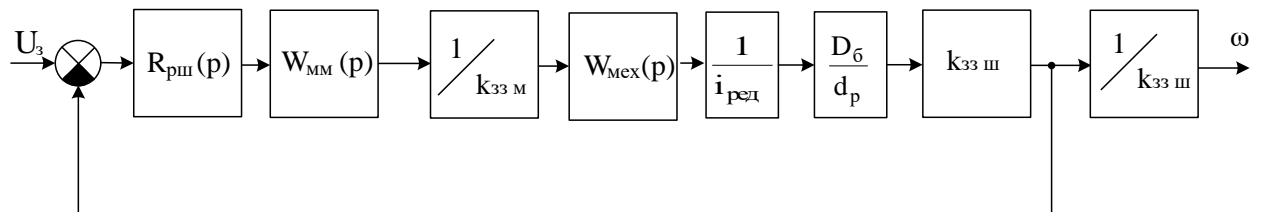


Рисунок 3.10 – Структурна схема контура регулювання швидкості зведеного до одиничного зворотного зв'язку

Передаточна функція об'єкта регулювання контура регулювання швидкості:

$$W_{\text{ш}}(p) = W_{\text{мм}}(p) \cdot \frac{1}{k_{33\text{м}}} \cdot W_{\text{мех}}(p) \cdot \frac{1}{i_{\text{п}}} \cdot \frac{D_{\text{б}}}{d_{\text{р}}} \cdot k_{33\text{ш}}, \quad (3.20)$$

$$W_{\text{ш}}(p) = \frac{299}{p^2 \cdot \left[ \frac{100}{p \cdot (0,005 \cdot p + 1)} + 1 \right] \cdot (0,005 \cdot p + 1)}.$$

Загальна передаточна функція контура регулювання швидкості [14, 21]:

$$G_{\text{ш}}(p) = R_{\text{рш}}(p) \cdot W_{\text{ш}}(p), \quad (3.21)$$

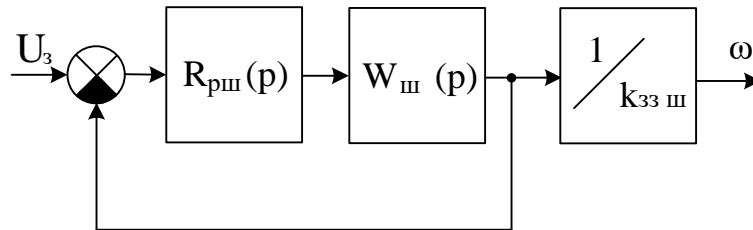


Рисунок 3.11 – Структурна схема контура регулювання швидкості зведеного до одиничного зворотного зв'язку

Згідно модульного критерію оптимізації [14, 21]:

$$G_{\text{ш}}(p) = \frac{1}{2 \cdot T_{0\text{ш}} \cdot p \cdot (T_{0\text{ш}} \cdot p + 1)}, \quad (3.22)$$

де  $T_{0\text{ш}}$  – мала некомпенсована стала часу контура швидкості (приймаємо рівною сталій часу перетворювача частоти  $T_{0\text{ш}} = T_{\text{пч}} = 0,005$  с, оскільки вона є найменшою),

$$G_{\text{ш}}(p) = \frac{1}{0,01 \cdot p \cdot (0,005 \cdot p + 1)}.$$

Передаточна функцію регулятора швидкості [14, 21]:

$$R_{\text{рш}}(p) = \frac{G_{\text{ш}}(p)}{W_{\text{ш}}(p)}, \quad (3.23)$$

$$R_{pш}(p) = 0,3345 \cdot p + \frac{6690}{p + 200}.$$

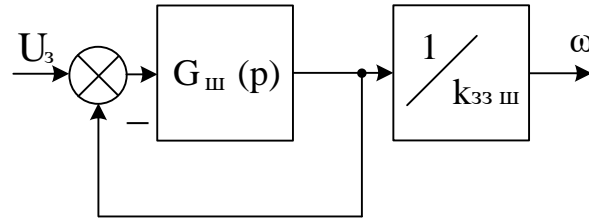


Рисунок 3.12 – Структурна схема зовнішнього контура швидкості зведеного до одиничного зворотного зв'язку

Передаточна функція контура регулювання швидкості зведеного до одиничного зворотного зв'язку [14, 21]:

$$W_{шшш}(p) = \frac{G_{ш}(p)}{1 + G_{ш}(p)}, \quad (3.24)$$

$$W_{шшш}(p) = \frac{20000}{p^2 + 200 \cdot p + 20000}.$$

Загальна передаточна функція системи електричного привода:

$$W(p) = W_{шшш}(p) \cdot \frac{1}{k_{ззш}}, \quad (3.25)$$

$$W(p) = \frac{33300}{p^2 + 200 \cdot p + 20000},$$

Для визначення запасу стійкості спроектованої системи ЕП побудуємо графіки її логарифмічної амплітудо-частотної (ЛАЧХ) та логарифмічної фазочастотної (ЛФЧХ) характеристик (згідно (3.25)). Отримані графіки ЛАЧХ та ЛФЧХ зображено на рисунку 3.13.

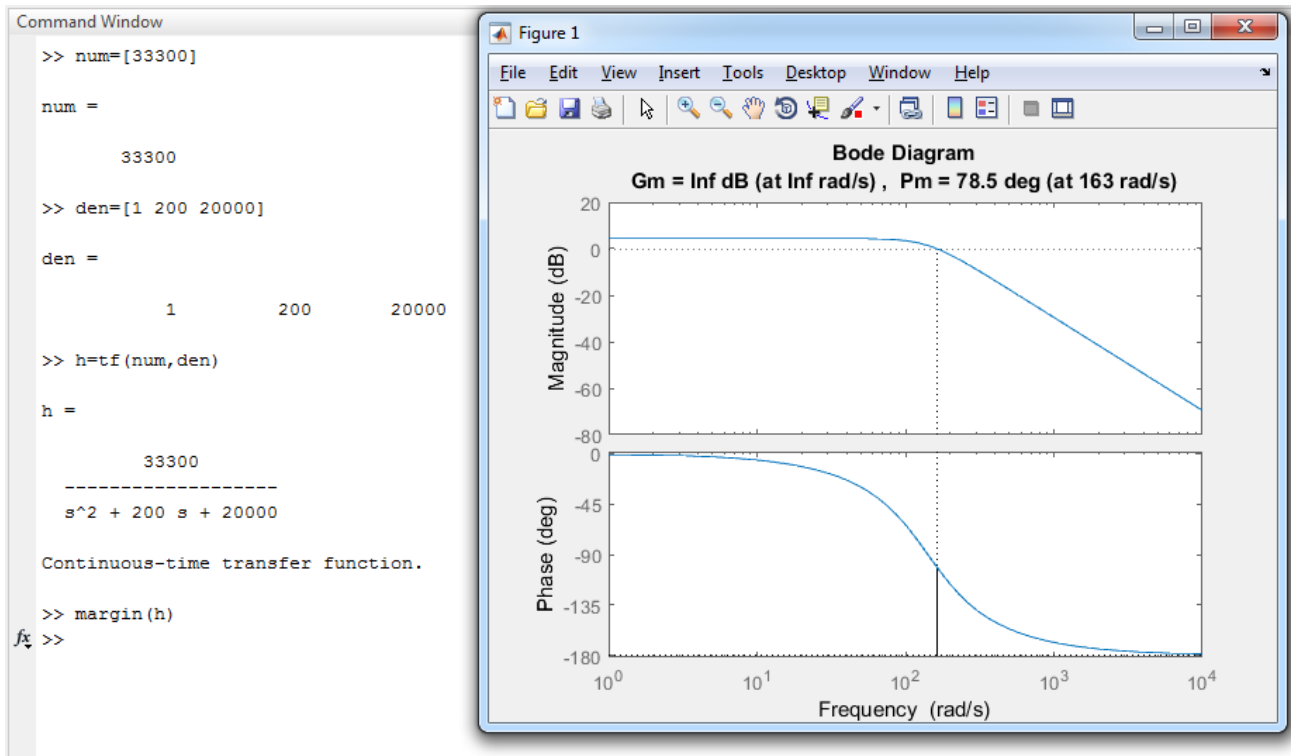


Рисунок 3.13 – Вікно команд в Matlab та графіки ЛАЧХ та ЛФЧХ

Аналіз графіків ЛАЧХ та ЛФЧХ дозволяє зробити висновок, що система є стійкою оскільки виконується умова [21]:

$$\omega_{зр} \leq \omega_{кр}. \quad (3.26)$$

Запас стійкості системи по амплітуді дорівнює безкінечності, а запас фази  $-78,5^\circ$ .

### 3.4 Моделювання перехідних процесів САЕП

Моделювання електропривода здійснимо в Simulink. Модель ПЧ-АД в Simulink зображена на рисунку 3.14.

Результати моделювання представлені на рисунку 3.15.

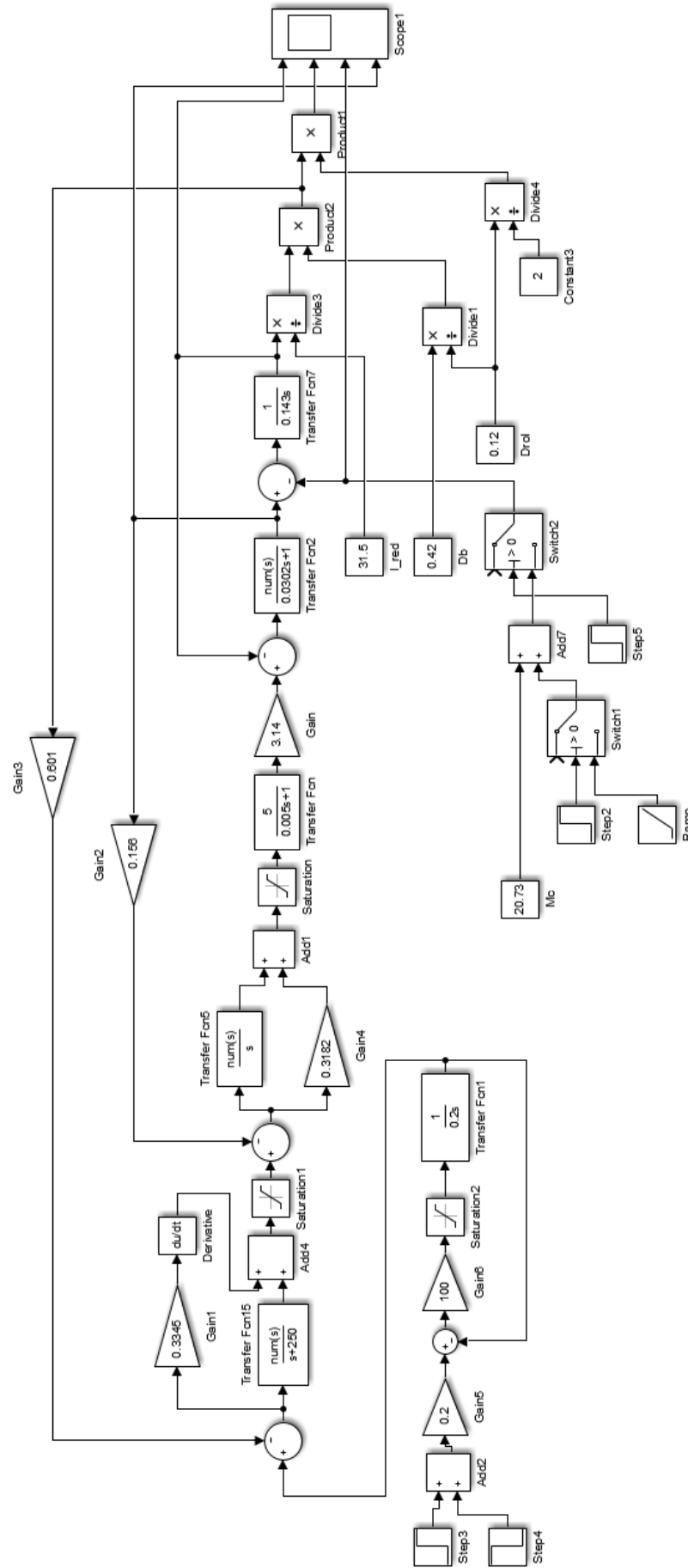


Рисунок 3.14 – Модель ПЧ-АД в Simulink

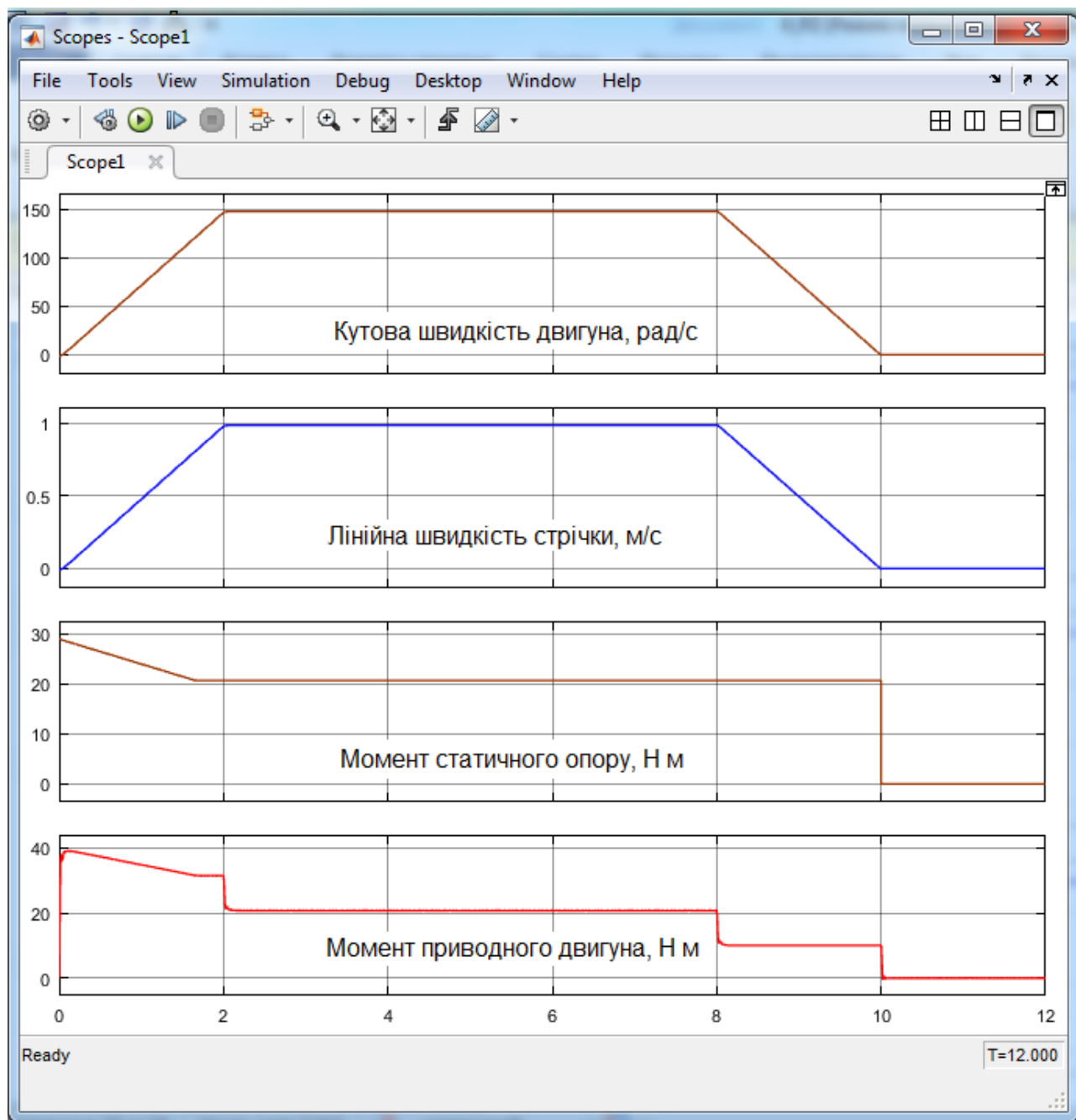


Рисунок 3.15 – Графіки перехідних процесів електропривода стрічкового транспортера



### 3.5 Вибір контролера

Для реалізації блоку керування виберемо програмоване реле типу LOGO! 24o (рисунок 3.16).



Рисунок 3.16 – Зовнішній вигляд програмованого реле типу LOGO! 24o

LOGO! – це універсальний логічний мікропроцесорний модуль фірми Siemens. LOGO! включає в себе пристрій керування на процесорі, панель управління і індикації з фоновим підсвічуванням (залежно від модифікації), блок живлення, інтерфейс для модулів розширення, інтерфейс для програмного модуля (плата) і кабель PC [23].

Для програмування мікропроцесорних модулів LOGO ! використовується спеціалізоване програмне забезпечення LOGO!Soft Comfort що забезпечує всі етапи розробки системи і програмування мікропроцесорних модулів безпосередньо через порти персонального [23].

Програмне забезпечення LOGO! Soft Comfort включає в себе такі функції:

- графічний інтерфейс для створення комутаційної програми в режимі offline у вигляді ланцюгової логічної схеми (контактного плану / комутаційної схеми) або функціональної блок-схеми (функціонального плану);
- імітація комутаційної програми на комп'ютері;
- генерування і роздруківка блок-схеми для комутаційної програми;
- збереження програми на жорсткому диску або іншому засобі зберігання;
- порівняння комутаційних програм;
- зручна параметризація блоків;
- передача комутаційної програми з LOGO! в ПК і з ПК в LOGO!;
- зчитування лічильника робочого часу;
- установка часу;
- перехід з літнього часу на зимовий час і назад;
- тестування в режимі online, відображення станів і поточних значень змінних LOGO! у режимі RUN;
- зупинення виконання комутаційної програми з ПК (STOP) [23].

В програмному забезпеченні закладені стандартні готові бібліотечні функції, часто використовувані на практиці, наприклад: функції затримки включення і виключення, імпульсна реле, програмовані клавіші, часовий вимикач, цифрові і аналогові прапори, входи і виходи відповідно до типу пристрою. Це дозволяє легко створювати нескладні проекти власними силами, без залучення спеціалізованих програмістів [23].

Для розширення функціональних можливостей програмованого реле LOGO! Використовують різноманітні модулі розширення.

Основні технічні характеристики LOGO! 24о наведені в таблиці 3.2 [24].

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики LOGO! 240 [24]

Параметр	Значення
Джерело живлення: – напруга живлення – допустимий діапазон	24 В DC 20,4 ... 28,8 В DC
Цифрові входи: – швидкодіючі – логіні рівні – довжина лінії (неекранованої)	8 DI (I1...I8) I3...I6 «0» < 5 В DC «1» > 12 В DC 100 м
Аналогові входи: – діапазон – max вхідна напруга – довжина лінії (екранована вита) – межа точності	4 AI I1=AI3; I2=AI4 I7=AI1; I8=AI2 0 – 10 В DC 28,8 В DC 10 м ± 1,5 % при FS
Цифрові виходи: – тип – вихідна напруга – вихідний струм – захист – паралельне вкл. вих. (для підв. потужн.)	4 транзисторні = напр. живлення max 0,3 А к.з. та перевантаж. не допускається
Ступінь захисту	IP20
Температура навколишнього середовища при експлуатації: – min – max	0 °C 55 °C

Для реалізації даного проекту необхідно розширити кількість аналогових виходів, тому виберемо аналоговий модуль розширення LOGO! AM2 AQ (рисунок 3.17), який розрахований на напругу живлення 12/24 В постійного струму, містить два аналогових виходи.



Рисунок 3.17 – Зовнішній вигляд модуля LOGO! AM2 AQ

### 3.6 До питання діагностування приводного двигуна транспортера

Для привода транспортера використовується АД з КЗ ротором. Такі двигуни розраховані на 15...20 років експлуатації без капітального ремонту за умови їх експлуатації в умовах, які відповідають паспорту. Реальні умови експлуатації часто відрізняються від заданих. Як наслідок, реальне напрацювання на відмову  $T_f$  приводного двигуна відрізнятиметься від паспортного  $T_n$ .

Пропонується його наближено розраховувати з врахуванням реальних умов експлуатації [25]:

$$T_f = T_n \cdot k, \quad (3.27)$$

де  $k$  – експлуатаційний коефіцієнт [25]:

$$k = k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n, \quad (3.28)$$

де  $k_1, k_2, \dots, k_n$  – вагові коефіцієнти, що враховують реальні умови експлуатації.

На напрацювання на відмову приводного двигуна найбільший вплив чинять такі фактори:

- температура навколишнього середовища;
- вологість повітря;
- умови пуску та гальмування;
- режим роботи.

Оскільки конкретне значення зазначених показників не є чітко визначеним, виникає необхідність оперувати такими категоріями як більше, менше тощо. В зв'язку з цим пропонується визначати значення інтегрального експлуатаційного коефіцієнту  $k$  за допомогою математичної моделі, яка базується на елементах теорії нечітких множин.

В якості вхідних змінних будуть використовуватися зазначені показники, а в якості вихідної змінної – інтегральний експлуатаційний коефіцієнт  $k$ . В разі необхідності можна враховувати і інші додаткові показники, які характеризують конкретні умови експлуатації електромеханічної системи.

Відповідне дерево логічного висновку зображено на рисунку 3.18.

Для опису термів вхідних  $x_1, x_2, x_3$  та вихідних  $d$  змінних рекомендується використовувати лінгвістичну оцінку відповідно до функції належності виду [26]:

$$\mu^T(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x - b}{c}\right)^2}, \quad (3.29)$$

де  $b$  – координата максимуму функції належності;

$c$  – коефіцієнт концентрації-розтягування функції належності.

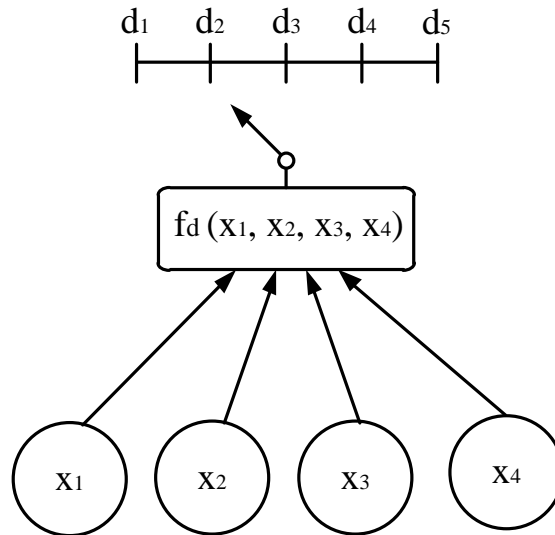


Рисунок 3.18 – Дерево логічного висновку

Таблиця 3.3 – Лінгвістична оцінка змінних

Параметри	Назва	Діапазон значень	Терми
$x_1$	температура навколишнього середовища	0...100 С	низька (М), середня (С), висока (В)
$x_2$	вологість повітря	0...100%	низька (М), середня (С), висока (В)
$x_3$	умови пуску та гальмування	1...600	низька (М), середня (С), висока (В)
$x_4$	режим роботи	0...1	легкий (Л), помірний (П), важкий (В)
$d$	інтегральний експлуатаційний коефіцієнт	0...1	низький ( $d_1$ ), допустимий ( $d_2$ ), середній ( $d_3$ ), високий ( $d_4$ ), дуже високий ( $d_5$ )

Користуючись введеними термами лінгвістичних змінних та деревом логічного висновку необхідно в подальшому розробити експертну базу знань, яка є нечітким носієм інформації про причинно-наслідкові зв'язки між вихідними змінними.

**Висновок.** Розроблено САЕП стрічкового транспортера завантаження скіпа вапнякового відділення та розраховано параметри налаштувань регуляторів моменту та швидкості. Здійснено моделювання роботи даної САЕП в Matlab. Отримані графіки перехідних процесів відповідають результатам розрахунків, які були проведені раніше.

Здійснено вибір основної елементної бази САЕП стрічкового транспортера завантаження скіпа.

Запропоновано визначати фактичне напрацювання на відмову приводного двигуна з врахуванням експлуатаційного коефіцієнта, який відображає реальні умови експлуатації привода і визначається за допомогою нечіткої моделі.

## 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Підвищення енергетичної ефективності електропривода транспортера завантаження скіпа в умовах Приватного акціонерного товариства «Продовольча компанія «Поділля» реалізовано шляхом модернізації існуючої системи електропривода. Зокрема при реалізації проекту було використано елементну базу з вищими енергетичними показниками у порівнянні з базовим варіантом реалізації.

Здійснимо порівняння витрат на реалізацію та обслуговування, а також економічної ефективності базової та нової систем електропривода транспортера завантаження скіпа вапнякової печі.

### 4.1 Розрахунок капітальних вкладень

Капітальні вкладення включають в себе всі одноразові витрати: відпускну ціну нової техніки, затрати на її транспортування, монтаж і наладку, затрати на демонтаж старого обладнання тощо.

Розрахуємо витрати на придбання та монтаж електрообладнання для кожної з систем електропривода. Результати розрахунків зведемо в таблицю 4.1.

Капітальні вкладення

– для базового варіанту:

$$K_{\text{б}} = 35706 \text{ (грн);} \quad (4.1)$$

– для нового варіанту:

$$K_{\text{н}} = 44723 \text{ (грн).} \quad (4.2)$$



Таблиця 4.1 – Витрати на придбання та монтаж електрообладнання для базового та нового варіантів

Обладнання	Вартість системи електропривода, грн	
	Базовий варіант	Новий варіант
Приводний двигун (4A100L4; 4,0 кВт)	6432	3216
Силовий перетворювач	–	12210
Релейно-контакторна система керування	4273	–
Мікропроцесорна система керування	–	9343
Апарати захисту, сенсори, монтажна оснастка тощо	19050	12500
Всього	29755	37269
Витрати на транспортування (10%)	2976	3727
Монтажні та нал. роботи (10%)	2976	3727
Всього капітальні вкладення К	35706	44723

#### 4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати включають витрати на забезпечення нормального функціонування певного технічного рішення в період його експлуатації в розрахунку на рік [27].

Витрати на експлуатацію включають в себе витрати на обслуговування і ремонт, амортизаційні відрахування, вартість споживаної електроенергії, вартість втрат електроенергії та інші [27].

#### 4.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Річні амортизаційні відрахування для базового та нового варіантів (при нормі амортизаційних відрахувань 10 %):

$$C_a = 0,1 \cdot K. \quad (4.3)$$

$$C_{aб} = 0,1 \cdot 35706 \approx 3571 \text{ (грн/рік)}.$$

$$C_{aн} = 0,1 \cdot 44723 \approx 4472 \text{ (грн/рік)}.$$

#### 4.2.2 Розрахунок заробітної плати обслуговуючого персоналу

Згідно ПУЕ обслуговувати установки до 1000 В може робітник, у якого розряд не нижче четвертого, група допуску по електробезпеці не нижче третьої.

Витрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу розраховуємо за формулою [27]:

$$C_3 = C_{30} + C_{зд}, \quad (4.4)$$

де  $C_{30}$  – основна заробітна плата по тарифу, грн/рік;

$C_{зд}$  – додаткова заробітна плата, грн/рік.

Основна заробітна плата по тарифу [27]:

$$C_{30} = N \cdot T_1 \cdot K \cdot \Phi_{еф} \cdot K_c \cdot \beta, \quad (4.5)$$

де  $N$  – кількість робітників, що обслуговують установку ( $N = 1$  чол);

$T_1$  – годинна тарифна ставка робітника 1-го розряду ( $T_1 = 22$  грн/год);

$K$  – тарифний коефіцієнт 5-го розряду ( $K_5 = 2,33$ ), 6-го розряду ( $K_6 = 2,7$ );

$\Phi_{еф}$  – ефективний фонд часу обслуговування (згідно техніко-економічного обґрунтування  $\Phi_{еф} = 150$  днів  $\cdot 0,5$  год = 75 год/рік);

$K_c$  – коефіцієнт співвідношень, встановлений генеральною угодою між профспілками і урядом ( $K_c = 1$ );

$\beta$  – частка часу, який витрачає робітник на обслуговування установки в загальному часі своєї роботи ( $\beta = 1$  для базового варіанту,  $\beta = 0,85$  для нового варіанту).

Основна заробітна плата для базового та нового варіантів відповідно становить:

$$C_{\text{зо б}} = 1 \cdot 22 \cdot 2,33 \cdot 75 \cdot 1 \cdot 1 = 3845 \text{ (грн/рік)},$$

$$C_{\text{зо н}} = 1 \cdot 22 \cdot 2,7 \cdot 75 \cdot 1 \cdot 0,85 = 3787 \text{ (грн/рік)}.$$

Додаткова заробітна плата  $C_{\text{зд}}$  становить 10% від основної заробітної плати [27]:

$$C_{\text{зд}} = 0,1 \cdot C_{\text{зо}}. \quad (4.6)$$

Додаткова заробітна плата для базового та нового варіантів відповідно становить:

$$C_{\text{зд б}} = 0,1 \cdot 3845 \approx 384 \text{ (грн/рік)},$$

$$C_{\text{зд н}} = 0,1 \cdot 3787 \approx 379 \text{ (грн/рік)}.$$

Розрахунок нарахувань на заробітну плату зведемо в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Розрахунок нарахувань на заробітну плату

Показник	Сума	
	базовий варіант	новий варіант
Основна заробітна плата $C_{\text{зо}}$ , грн/рік	3845	3787
Додаткова заробітна плата $C_{\text{зд}}$ , грн/рік	384	379
Разом основна і додаткова заробітна плата ( $C_{\text{зо}} + C_{\text{зд}}$ ), грн/рік	4229	4165

Продовження таблиці 4.2

Показник	Сума	
	базовий варіант	новий варіант
Єдиний внесок на загальнообов'язкове соціальне страхування (22%) $C_{zn}$ , грн/рік	930	916
Всього нарахування, грн/рік	5159	5082

#### 4.2.3 Розрахунок витрат на силову енергію

Витрати на споживану електроенергію визначаються для кожного елемента по кожному варіанту за формулою [27]:

$$C_e = \frac{P}{\eta} \cdot \Phi \cdot K_3 \cdot B, \quad (4.7)$$

де  $P$  – установлена потужність ( $P = 4,0$  кВт);

$\eta$  – ККД;

$\Phi$  – дійсний фонд часу роботи електропривода за рік (згідно техніко-економічного обґрунтування  $\Phi = 864$  год/рік);

$K_3$  – коефіцієнт завантаження (використання за потужністю) (приймаємо  $K_3 = 0,8$ );

$B$  – вартість електроенергії (відповідно до тарифів на електроенергію  $B = 2,83$  грн/кВт·год).

Коефіцієнт корисної дії для обох варіантів обчислений як добуток коефіцієнтів корисної дії двигуна і силового перетворювача. Для першого варіанту коефіцієнт корисної дії буде дорівнювати 60 %, для другого – 83 %.

Витрати на електроенергію по двох варіантах складуть:

$$C_{e6} = \frac{4,0}{0,6} \cdot 864 \cdot 0,8 \cdot 2,83 = 13041 \text{ (грн/рік)},$$

$$C_{ен} = \frac{4,0}{0,83} \cdot 864 \cdot 0,8 \cdot 2,83 = 9393 \text{ (грн/рік)}.$$

#### 4.2.4 Розрахунок витрат на поточний ремонт обладнання

Поточний ремонт електроустаткування здійснюється на місці встановлення з його відключенням і зупинкою силами змінного ремонтного персоналу [25].

Витрати на проведення ремонтних робіт включають витрати на комплектуючі і запасні частини та інші елементи, які підлягають заміні та витрати на оплату праці персоналу, який проводить ремонтні роботи. Для визначення витрат на оплату праці робітників-ремонтників необхідно розрахувати трудомісткість ремонтних робіт. Трудомісткість ремонтних робіт визначається згідно графіка планово-попереджувальних ремонтів, у якому зазначено тривалість міжремонтних періодів та трудомісткість кожного виду ремонту [25]

Графік планово – попереджувальних ремонтів для базового та нового варіантів наведено в таблицях 4.3 та 4.4.

Таблиця 4.3 – Графік ремонтів для базового варіанту

Найменування обладнання	Види ремонтів по місяцях												Трудомісткість, люд·год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Система керування			6				6				8		18
Двигун		5				5					5		15
Кабельна мережа				3				3				3	9
Апарати захисту		3				3				3			9
Сенсори	3				3				3				9
Загальна трудомісткість												60	

Таблиця 4.4 – Графік ремонтів для нового варіанту

Найменування обладнання	Види ремонтів по місяцях												Трудомісткість, люд·год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Система керування			4				4				4		12
Двигун		4				4					5		13
Кабельна мережа				3				3				3	9
Апарати захисту		2				2				2			6
Сенсори	3				3				3				9
Загальна трудомісткість												49	

Вважаємо, що ремонтні роботи проводить електрик шостого розряду. З врахуванням того, що нам відома трудомісткість робіт, основну заробітну плату розрахуємо за формулою [27]:

$$C_{з\ по} = T_1 \cdot k \cdot \Phi_{рем}, \quad (4.8)$$

де  $k$  – тарифний коефіцієнт 6-го розряду ( $k = 2,7$ );

$\Phi_{рем}$  – трудомісткість ремонтних робіт,

$$C_{з\ по\ б} = 22 \cdot 2,7 \cdot 60 = 3564 \text{ (грн/рік)},$$

$$C_{з\ по\ н} = 22 \cdot 2,7 \cdot 49 = 2911 \text{ (грн/рік)}.$$

Нарахування на заробітну плату (22%):

$$C_{з\ пн} = 0,22 \cdot C_{з\ по}, \quad (4.9)$$

$$C_{з\ пн\ б} = 0,22 \cdot 3564 = 784 \text{ (грн/рік)},$$

$$C_{з\ пн\ н} = 0,22 \cdot 2911 = 640 \text{ (грн/рік)}.$$

Всього витрати на заробітну плату для проведення ремонтних робіт становлять [27]:

$$C_{з пр} = C_{з по} + C_{з пн}, \quad (4.10)$$

$$C_{з пр б} = 3564 + 784 = 4348 \text{ (грн/рік)},$$

$$C_{з пр н} = 2911 + 640 = 3551 \text{ (грн/рік)}.$$

Витрати на матеріали, комплектуючі та запасні частини для поточного ремонту приймають рівними 15% витрат від основної заробітної плати [27]:

$$C_{м пр} = 0,15 \cdot C_{з по}, \quad (4.11)$$

$$C_{м пр б} = 0,15 \cdot 3564 = 535 \text{ (грн/рік)},$$

$$C_{м пр н} = 0,15 \cdot 2911 = 437 \text{ (грн/рік)}.$$

Всього витрати на поточний ремонт обладнання становлять [27]:

$$C_{пр} = C_{з пр} + C_{м пр}, \quad (4.12)$$

$$C_{пр б} = 4348 + 535 = 4883 \text{ (грн/рік)},$$

$$C_{пр н} = 3551 + 437 = 3988 \text{ (грн/рік)}.$$

#### 4.2.5 Інші витрати

Розмір інших витрат приймається рівним 5% від загальної суми попередніх витрати [27]:

$$C_{ін} = 0,05 \cdot (C_a + C_z + C_e + C_{пр}), \quad (4.13)$$

$$C_{ін б} = 0,05 \cdot (3571 + 5159 + 13041 + 4883) = 1333 \text{ (грн/рік)},$$

$$C_{ін н} = 0,05 \cdot (4472 + 5082 + 9393 + 3988) = 1147 \text{ (грн/рік)}.$$

Розрахунок загальної суми експлуатаційних витрат наведено у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Експлуатаційні витрати

Найменування витрат	Базовий варіант	Новий варіант
Амортизаційні відрахування $C_a$ , грн/рік	3571	4472
Заробітна плата $C_z$ обслуговуючого персоналу, грн/рік	5159	5082
Витрати на електроенергію $C_e$ , грн/рік	13041	9393
Витрати на поточний ремонт $C_{пр}$ , грн/рік	4883	3988
Інші витрати $C_{ін}$ , грн/рік	1333	1147
Всього експлуатаційні витрати $C$ , грн/рік	27986	24081

### 4.3 Визначення економічної ефективності проекту

За критерій економічної ефективності нового технічного рішення приймаємо термін окупності капітальних вкладень  $T_o$  та коефіцієнт економічної ефективності  $E_{еф}$ .

Визначимо термін окупності капітальних вкладень [27]:

$$T_o = \frac{\Delta K}{\Delta C}, \quad (4.14)$$

$$T_o = \frac{44723 - 35706}{27986 - 24081} = 2,31 \text{ (роки)}.$$

Коефіцієнт економічної ефективності [27]:

$$E_{еф} = \frac{1}{T_o}, \quad (4.15)$$

$$E_{еф} = \frac{1}{2,31} = 0,43.$$

Річний економічний ефект [27]:

$$EE = E_{нд} \cdot (\Delta K) + (\Delta C), \quad (4.16)$$



де  $E_{нд}$  – нормативний коефіцієнт економічної ефективності ( $E_{нд} = 0,2$ ),

$$EE = 0,2 \cdot (44723 - 35706) + (27986 - 24081) = 2101 \text{ (грн)}.$$

З результатів виконаних розрахунків можна зробити висновок, що модернізація даної системи автоматизованого електропривода є економічно виправданою. Термін окупності складає 2,31 роки, річний економічний ефект становить 2101 грн.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У магістерській роботі модернізується електропривод стрічкового транспортера завантаження скіпа в умовах Приватного акціонерного товариства «Продовольча компанія «Поділля». Підприємство відноситься до I категорії електропостачання, живлення здійснюється від двох підстанцій 10/0,4 кВ. На електротехнічний оперативно-ремонтний персонал, який обслуговує технологічне обладнання підприємства, зокрема електропривод транспортеру, впливають такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори за ГОСТ 12.0.003-74:

### 1) фізичні:

- рухомі машини та механізми, незахищені рухомі елементи виробничого обладнання;
- підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони;
- підвищена і понижена температура повітря робочої зони;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень вібрації;
- підвищена та понижена рухомість повітря;
- підвищена та понижена вологість повітря;
- небезпечний рівень напруги в електричному колі, замикання якого може відбутися через тіло людини;
- нестача природного світла;
- недостатня освітленість робочої зони;
- пряма і відбита блискість;

### 2) психофізіологічні:

- фізичні перевантаження (динамічні);
- нервово-психічні перевантаження (перенапруга аналізаторів, монотонність праці).

## **5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта**

### **5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочого місця**

При організації робочого місця потрібно враховувати, що при виконанні роботи з фізичними навантаженнями бажаною є "стояча" поза, а при малих зусиллях "сидяча". При сидячій роботі нижня частина тіла розслаблена, а основне статичне навантаження припадає на м'язи шийї, спини, таза, стегон. Неправильна робоча поза при сидячій роботі може викликати застій крові в ногах, а при великому обсязі робіт руками до запалення суглобів. Зручна робоча поза має забезпечувати стійке положення тіла людини, ніг, рук, голови під час роботи, мінімальну затрату енергії та максимальну результативність праці.

Технічний відділ, який представлено на рисунку 5.1 відноситься до середньої важкості умов праці:

– періодичне перебування в незручній позі (робота з поворотом тулуба, незручним розташуванням кінцівок) та/або фіксованій позі (неможливість зміни взаєморозташування різних частин тіла відносно одна одної) до 25% часу зміни;

– перебування у вимушеній позі до 10%, в позі «стоячи» - до 60% часу зміни.

При організації робочого місця, залежно від робочої пози, потрібно розподіляти статичні напруження, зменшувати їх величину та передбачувати можливість зміни пози під час предметної діяльності.

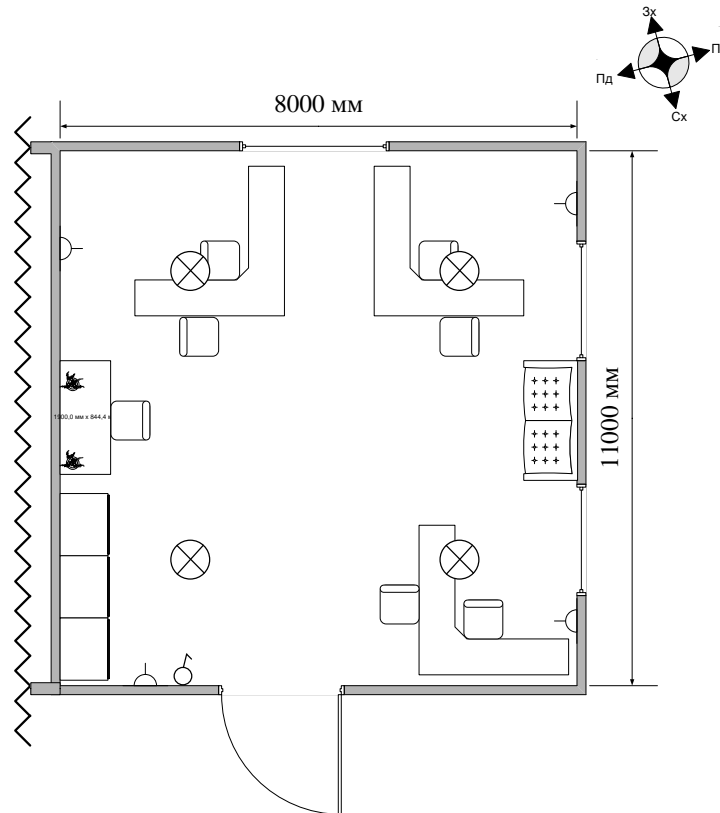


Рисунок 5.1 – План організації робочих місць у технічному відділі

### 5.1.2 Електробезпека

Живлення силового обладнання та системи освітлення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 x 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В).

Категорія умов по небезпеці електротравматизму – підвищеної небезпеки, у зв'язку з наявністю у цехах підвищеної вологості. Технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

1. Для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмовідними елементами електроустаткування, необхідно:
  - розміщувати неізольовані струмовідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах;
  - використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи,

таблички, попереджувальні знаки;

- підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

2. При живленні однофазних споживачів струму від трипровідної мережі при напрузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник. При його використанні пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі.

Згідно з вимогами нормативів, повинна бути забезпечена необхідна кратність струму К.З. залежно від типу запобіжного пристрою, повинна бути забезпечена цілісність нульового захисного провідника.

### 3. Електрозахисні засоби захисту.

Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000 В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В):

діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

При роботі, яка зв'язана з дотиком до струмоведучих частин кранів або до їх обертових частин, який приводить в рух механізм, необхідно його зупинити та на пусковому пристрої або ключі керування повісити плакат "НЕ ВМИКАТИ, ПРАЦЮЮТЬ ЛЮДИ".

Якщо дозволяє конструктивне виконання апаратів та характер роботи, можливо здійснювати розшировку або від'єднання кінців кабелю від комутаційного апарату або обладнання, на якому повинна проводитись робота. Розшировку або від'єднання кабелю при підготовці робочого місця може виконати ремонтний робітник, який має третю групу. Під наглядом чергового або оперативно-ремонтного робітника. З найближчих до робочого міста струмоведучих частин до наступних доторканню повинна бути знята напруга або вони повинні бути огорожені.

Відключене положення комутаційних апаратів до 1000 В з недоступними для огляду контактами (автоматичні вимикачі, пакетні вимикачі, рубильники в закритому виконанні тощо) визначається перевіркою відсутності на їх затискачах або на відходячих шинах, проводах або затискачах обладнання, яке відключається цими комутаційними апаратами. В електроустановках до 1000 В при роботах на збірних шинах РУ, щитів, збірок напруга з шин повинна бути знята та шини (за винятком шин, які виконані ізольованим проводом) повинні бути заземлені. Необхідність та можливість встановлення на приєднання цих РУ, щитів, збірок та підключеного до них обладнання визначає працівник, який видає розпорядження.

Випробування електроприводів разом з виконуючим механізмом потрібно проводити з дозволу начальника зміни технологічного цеху, в якому вони встановлені. Ремонт і наладку електросхем електроприводів, не з'єднаних з виконуючим механізмом, регулюючих органів та запірної арматури, можна

проводити по розпорядженню. Дозвіл на їх випробування дає працівник, який дав розпорядження на вивід електропривода в ремонт, наладку.

## 5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

### 5.2.1 Мікроклімат

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні встановлюють допустиму температуру, відносну вологість і швидкість руху повітря у певних діапазонах в залежності від періоду року та категорії робіт і допустиму інтенсивність опромінення.

Таблиця 5.1 – Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні з категорією робіт Па

Період року	Категорія робіт	Допустимі		
		t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	Середньої важкості, Па	18-27	65 при 26°C	0,2-0,4
Холодний		17-23	До 75%	не більше 0,3

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату проектом передбачено:

1. Температура внутрішніх поверхонь будівельних конструкцій робочої зони і зовнішніх поверхонь обладнання при забезпеченні оптимальних параметрів мікроклімату не повинні бути більше ніж на 2°C за діапазон норм.

2. Якщо температура поверхонь вище або нижче оптимальної температури повітря, то робочі місця повинні бути віддалені від них на відстань не менше їм.

3. Для забезпечення нормованих значень руху кисню проектом передбачається витяжна та припливна вентиляційні системи.

### 5.2.2 Склад повітря робочої зони

Робочою зоною вважається простір, який обмежений огорожуючими конструкціями виробничих приміщень, що мають висоту 2 м над рівнем підлоги або площини, на яких знаходяться місця постійного або непостійного перебування працюючих. Склад повітря робочої зони залежить від складу атмосферного повітря і впливу на нього ряду шкідливих виробничих факторів, утворених в процесі трудової діяльності людини. Склад повітря залишається постійним. Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/м<sup>3</sup>.

Таблиця 5.2 – Можливі забруднювачі повітря можуть і їх ГДК

Найменування речовини	ГДК, мг/м <sup>3</sup>		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньодобова	
Пил рослинного походження	4	4	4

Для нормалізації складу повітря робочої зони потрібно здійснювати щоденне прибирання робочого місця. Нагромадження пилу будь-де вказує на необхідність у вживанні заходів по його очищенню. Чим дрібніше пил (зернистість), тим вище пожежна небезпека.

Тому необхідно здійснювати наступні заходи:

- очищувати пил якнайчастіше;
- щодня протирати гарячі поверхні;
- принаймні, двічі в рік проводити генеральне прибирання всього обладнання з використанням пилососа;
- при високих концентраціях обробляти обладнання по частинам.

Низька вологість збільшує потенційну небезпеку.

Планувати прибирання так щоб воно приходилось на час, коли



устаткування виключене, як, наприклад, у другу половину дня п'ятниці або на вихідні.

### 5.2.3 Виробниче освітлення

Природне освітлення.

В залежності від джерела світла промислове освітлення поділяється на: - природне освітлення - освітленість приміщень світлом неба (прямого або відображеного), яке проникає через світлові пройми в зовнішніх огорожених конструкціях. По своєму спектральному складу воно є найбільш сприятливим. Природне освітлення характеризується коефіцієнтом природної освітленості КПО ( $e_n$ ). КПО - відношення природного освітлення, яке створюється в деякій точці заданої площини всередині приміщення світлом неба, до значення зовнішньої горизонтальної освітленості.

КЕО при природному та суміщеному освітленню.

Характеристика зорової роботи при виконанні - роботи середньої точності;

Розряд - IV;

Підрозряд зорової роботи - в;

Контраст об'єкту розпізнавання - середній;

Характеристика фону - середній;

Бокове КЕО, %:

- природне 1,5;

- суміщене 0,9.

Основною величиною для розрахунку і нормування природного освітлення є коефіцієнт природної освітленості (КПО). Прийняте роздільне нормування КЕО для бічного і верхнього освітлення. Ті місця, що освітлюється тільки бічним світлом, нормується мінімальне значення КЕО в межах робочої зони, що повинно бути забезпечене в точках, найбільше віддалених від вікна.

Нормоване значення коефіцієнта природної освітленості КПО згідно

ДБН В.2.5-28-2006 визначається за формулою:

$$e_N = e_H \cdot m_N, \quad (5.1)$$

де  $e_N$  – значення КПО;

$m_N$  – коефіцієнт теплового клімату( при орієнтації вікон на схід  $m_N = 0,85$ );

$N$  – номер групи забезпеченості природним світлом.

Природне:

$$e_N = 1,5 \cdot 0,85 = 1,3 \text{ (\%)}.$$

Суміщене:

$$e_N = 0,9 \cdot 0,85 = 0,9 \text{ (\%)}.$$

Штучне освітлення.

Штучне освітлення буває двох систем: загальне або комбіноване. Загальне освітлення - освітлення, при якому світильники розміщуються у верхній зоні приміщення рівномірно або пристосувальне до розташування обладнання. Комбіноване освітлення - додаткове освітлення, при якому до загального освітлення додається ще й місцеве. Місьцеве освітлення - освітлення, яке створюється світильниками, які концентрують світловий потік безпосередньо на робочих місцях.

Штучне освітлення, лк: загальне - 200 лк; комбіноване – 400 лк.

#### 5.2.4 Виробничий шум

Рівень звука вимірюється в децибелах і визначається за формулою:

$$L = 20 \cdot \lg \left( \frac{P}{P_0} \right) = 20 \cdot \lg \left( \frac{U}{U_0} \right), \quad (5.2)$$

де  $L$  – рівень шуму, дБ;

$P$  – звуковий тиск, Па;

$U_0$  – коливальна швидкість ( $U_0 = 5 \cdot 10^{-8}$  м/с);

$P_0$  – нульове значення звукового тиску на нижньому порозі чутності в октавній смузі зі середньгеометричною частотою 1000 Гц, умовно прийняте рівним  $2 \cdot 10^{-5}$  Па.

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки».

Таблиця 5.3 – Допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку

Вид трудової діяльності, робоче місце	Рівні звукового тиску, дБ в октавних смугах із середньгеометричними частотами, Гц								
	1,5	3	25	50	500	1000	2000	4000	8000
На постійному робочому місці	107	95	87	82	78	73	73	71	69

Шум порушує нормальну роботу шлунка, особливо впливає на центральну нервову систему. Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні, проектом передбачено засоби колективного захисту: акустичні, архітектурно-планувальні й організаційно-технічні.

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту - «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі;
- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

### **5.2.5 Виробнича вібрація**

Вібрація відноситься до факторів, які мають велику біологічну активність. Як загальна, так і локальна вібрація несприятливо впливає на організм людини, викликає зміну у функціональному стані вестибулярного апарату, центральної нервової, серцево-судинної систем, погіршує самопочуття та може призвести до розвитку професійних захворювань.

У нашому цеху присутня вібрація типу - За. Тобто технологічна вібрація, яка діє на персонал цеху, або яка передається на робочі місця, не маючи джерел випромінювання.

Джерелами вібрацій в умовах, що розглядаються в проекті, являються лінії з виготовлення карамелі та пакувальне обладнання, яка відноситься до типу загальної вібрації.

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено:

- динамічне погашення вібрації - приєднання до захисного об'єкту системи, реакції якої зменшують розмах вібрації об'єкта в точках приєднання системи;
- зміна конструктивних елементів машин;
- застосування засобів індивідуального захисту, а саме рукавиці, вкладиші і прокладки, віброзахисне взуття з пружнодемпферуючим низом.

Таблиця 5.4 – Допустимі рівні вібрації на постійних робочих місцях

Вид вібрації	Октавні полоси з середньгеометричними частотами, Гц									
	2	4	8	16	32	63	125	250	500	1000
Загальна вібрація: на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях	$\frac{1,3^*}{108}$	$\frac{0,45}{99}$	$\frac{0,22}{93}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	-	-	-	-
Локальна вібрація	-	-	$\frac{2,8}{115}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$

В чисельнику середньоквадратичне значення вібрації, м/с\*10", в знаменнику - логарифмічні рівні вібрації, дБ.

### 5.2.6 Психофізіологічні фактори

Психофізіологічні фактори безпеки – чинники, обумовлені особливостями фізіології та психології людини, що можуть завдати їй шкоди за певних обставин.

Психофізіологічну основу праці складає працездатність, тобто здатність організму підтримувати під час трудового процесу відповідне фізичне і нервово-психологічне навантаження та забезпечувати нормальний ритм трудової діяльності у визначений час.

Психофізіологічні фактори постійно або тимчасово підвищують можливість виникнення небезпек, але це не означає, що їх наявність завжди призводить до небезпечної ситуації. Такі чинники небезпек безпосередньо впливають на фізичні та фізіологічні процеси, працездатність, настрій, продуктивність праці, життєдіяльність загалом. Хронічне психоемоційне напруження призводить до стійких порушень системи імунітету організму: захворювань серцево-судинної, нервової систем, зниження уваги,

працездатності і, як наслідок, створює передумови для травматизму, нещасних випадків, аварій. Тому для того, щоб це не відбувалося встановлюють для працівників раціональний режим праці і відпочинку, облаштовують робочі місця, налагоджують професійний добір та профорієнтацію тощо.

За таблицею «Класи умов праці за показниками важкості праці» визначаємо, що дана професія належить до другого класу (середньої важкості), де періодичне перебування в незручній позі (робота з поворотом тулуба, незручним розташуванням кінцівок) та/або фіксованій позі (неможливість зміни взаєморозташування різних частин тіла відносно одна одної) до 25% часу зміни; перебування у вимушеній позі до 10%, в позі «стоячи» - до 60% часу зміни.

Згідно таблиці «Класи умов праці за показниками напруженості праці» визначаємо, що працівник є відповідальним за функціональну якість основної роботи (завдання). Вимагає виправлень за рахунок додаткових зусиль всього колективу (групи, бригади тощо).

### **5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи електропривода транспортера в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій**

Під стійкістю роботи підприємства розуміють його спроможність в умовах надзвичайної ситуації випускати продукцію в запланованому обсязі та номенклатурі, а при отриманні середніх руйнувань або порушенні зв'язків з кооперації та поставок відновлювати виробництво у мінімальні терміни.

При роботі електричне устаткування частинами, що труться, може викликати іскроутворення. Галі вибухобезпечного виконання виготовлені з врахуванням високих стандартів безпеки і призначені для роботи у вибухонебезпечних зонах класу ВІ і групи вибухонебезпечної суміші ІВ Т5

згідно з "Правилами пристрою електроустановок". Корпуси і об'ємні деталі, де може статися іскроутворення виконані вибухонепроникними, але із зазорами для охолодження. Корпус талі досить міцний, щоб витримати внутрішній вибух.

В надзвичайних ситуаціях транспортер використовується для транспортування важких частин та для перенесення людей на безпечну відстань. Загальнопромислові транспортери мають міру захищеності Ip21 тому не призначені для використання в місцях скупчення вибухонебезпечних, легкозаймистих речовин, так само в місцях скупчення вибухонебезпечного і струмопровідного пилу, парів і газів, що не насичують достатньою мірою атмосферу для створення вибухо і пожежобезпечної ситуації. Так само підймальні механізми не придатні для транспортування персоналу, для роботи на суднах під час хитавиці.

В електроприводі транспортера найбільш чутливим до дії іонізуючого випромінювання є перетворювач частоти, який містить в собі випрямляч, інвертор, фільтри, мікропроцесорну схему керування, блок живлення, пульт керування.

В результаті опромінення іонізуючим випромінюванням в інверторі зміниться зворотній струм і коефіцієнт підсилення, в конденсаторах понизиться напруга пробую і опір витоку, зміниться провідність і внутрішнє нагрівання. В ізоляційних і діелектричних матеріалах зміняться такі параметри: електрична провідність, діелектрична провідність і тангенс кута втрат.

### **5.3.1 Дослідження стійкості роботи електропривода транспортера в умовах дії іонізуючого випромінювання**

Електропривод, що розробляється призначений для використання на заводах. Якщо врахувати, що даний приклад використовується в приміщенні, стіни якого послаблюють іонізуюче випромінювання в 5 разів ( $K_{осл}=5$ ),

установка має коефіцієнт надійності ( $K=0,95$ ), то можна визначити потужність експозиційної дози для кожного елемента.

Визначаємо граничні значення дози опромінення  $D_{грi}$ , для елементної бази електропривода транспортера, при яких виникають незворотні зміни. Отримані дані заносимо в таблицю 5.5.

Таблиця 5.5 – Експозиційні дози для елементів електропривода транспортера

Структурні блоки	Елементи електропривода	$D_{грi}, P$	$D_{гр}, P$
I. Автономний інвертор напруги	Конденсатори СП5-30	$10^7$	$10^4$
	Напівпровідники Т171-320-1.6	$10^5$	
	Транзистори КТ-646	$10^4$	
	Діоди Д220А	$10^4$	
II. Випрямляч	Діоди Д220А	$10^4$	
III. Блок управління	Мікросхеми К 155 РЕЗ	$10^5$	
	Інтегральні схеми ІС155К	$5 \cdot 10^5$	
	Конденсатори СП5-30	$10^7$	
	Резистори ПЭВ 100-150 Ом	$10^7$	
	Напівпровідники Т171-320-1.6	$10^5$	

Проаналізувавши дані таблиці 5.5 визначили, що самим уразливим елементом системи електропривода транспортера з мінімальною дозою  $D_{грi} = 10^4 P$  є транзистори та діоди, а також елементи блоку живлення. Блок живлення в разі дії на нього іонізуючих випромінювань можна перенести в підвальне приміщення, що збільшить його стійкість. Визначаємо можливу дозу опромінення за формулою:



$$D_m = \frac{2 \cdot P_1 (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_{\Pi}})}{K_{\text{осл}}}, \quad (5.3)$$

де  $P_1$  – максимальне значення рівня радіації ( $P_1 = 4,28$  Р/год);

$t_k$  – час кінця опромінення ( $t_k = 131400$  год (5 років));

$t_{\Pi}$  – час початку опромінення ( $t_{\Pi} = 1$  год).

$K_{\text{осл}}$  – коефіцієнт послаблення радіації ( $K_{\text{осл}} = 5$ ).

$$D_m = \frac{2 \cdot 4,28 (\sqrt{131400} - \sqrt{1})}{2} = 1551,4 \text{ (Р)}.$$

Оскільки  $D_{\text{грi}} > D_m$ , то дана система стійка до дії радіації. Визначимо допустимий час роботи РЕА в заданих умовах за формулою:

$$t_d = \frac{D_{\text{гр}} \cdot K_{\text{осл}} + 2 \cdot P_1 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot P_1}, \quad (5.4)$$

$$t_d = \frac{10^4 \cdot 2 + 2 \cdot 4,28 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 4,28} = 2337,4 \text{ (год)}.$$

Отже, можлива доза опромінення елементної бази  $D_m = 1551,4$  Р, а допустима –  $10^4$  Р. Отже, на основі проведених розрахунків можна зробити висновок, що дана установка може безпечно працювати всередині будівлі. Допустимий час роботи в заданих умовах становить 2337,4 год., при рівні радіації 4,28 Р/год.

### 5.3.2 Дослідження стійкості роботи електропривода транспортера в умовах дії електромагнітного імпульсу

Визначимо горизонтальну складову напруженості електромагнітного поля:

$$E_{\Gamma} = 6,5, \text{ (кВ/м)},$$

Визначаємо горизонтальну та вертикальну напругу наводки.

$$U_{\Gamma i} = E_{\Gamma} \cdot l_{\Gamma i}, \text{ [В]},$$

$$U_{ri} = 6,5 \cdot 10^3 \cdot 3,5 = 9750 \text{ (В)}.$$

$$U_{vi} = E_r \cdot 1_v, \text{ В},$$

$$U_{vi} = 6,5 \cdot 0,5 = 3,25 \text{ (В)}.$$

Визначаємо допустимі коливання напруги живлення для різних блоків:

$$U_d = U_{ж} + \frac{U_{ж}}{100} \cdot N, \quad (5.5)$$

де  $N$  – відсоток допуску.

$$U_d = 12 + \frac{12}{100} \cdot 15 = 13,8 \text{ (В)};$$

$$U_d = 24 + \frac{24}{100} \cdot 15 = 27,6 \text{ (В)};$$

$$U_d = 380 + \frac{380}{100} \cdot 15 = 418 \text{ (В)}.$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки для кожної ділянки:

$$K_{\sigma} = 20 \cdot \lg \frac{U_d}{U_{r(v)}} \geq 40 \text{ [дБ]}. \quad (5.6)$$

Горизонтальної:

$$K_{\sigma_{r1}} = 20 \cdot \lg \frac{13,8}{9750} = -131,2 \text{ (дБ)},$$

$$K_{\sigma_{r2}} = 20 \cdot \lg \frac{27,6}{9750} = -117,34 \text{ (дБ)},$$

$$K_{\sigma_{r3}} = 20 \cdot \lg \frac{418}{9750} = -63 \text{ (дБ)}.$$

Вертикальної:

$$K_{\sigma_{v1}} = 20 \cdot \lg \frac{13,8}{3,25} = 28,92 \text{ (дБ)},$$

$$K_{\sigma_{v2}} = 20 \cdot \lg \frac{27,6}{3,25} = 42,78 \text{ (дБ)},$$

$$Kb_{вз} = 20 \cdot \lg \frac{418}{3,25} = 97,13 \text{ (дБ)}.$$

Отримані дані заносимо в таблицю 5.6.

Таблиця 5.6 – Значення коефіцієнтів безпеки системи електропривода транспортера

Найменування блоків	$Kb_{г}$ , дБ	$Kb_{в}$ , дБ	Результат дії
Блок живлення, 12 В	-131,2	28,92	Нестійкий
Блок управління, 24 В	-117,34	42,78	Нестійкий
Силові елементи, 380 В	-63	97,13	Нестійкі

Границя стійкості блока живлення найбільш нестійкого  $Ka_{ізг} = -131,2$  дБ, а  $Ka_{ад} = 97,13$ . Отже, система електропривода транспортера є нестійкою в умовах дії електромагнітного імпульсу. Для підвищення стійкості необхідно використовувати екранування напівпровідникових елементів та горизонтальних струмопровідних елементів.

### 5.3.3 Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи електропривода транспортера в умовах надзвичайних ситуацій

Захист від іонізуючих випромінювань може здійснюватись шляхом використання наступних принципів:

- використання джерел з мінімальним випромінюванням шляхом переходу на менш активні джерела, зменшення кількості ізотопа;
- скорочення часу роботи з джерелом іонізуючого випромінювання;
- віддалення робочого місця від джерела іонізуючого випромінювання;
- екранування джерела іонізуючого випромінювання.

Екрани можуть бути пересувні або стаціонарні, призначені для поглинання або послаблення іонізуючого випромінювання. Екранами можуть бути стінки контейнерів для перевезення радіоактивних ізотопів, стінки сейфів для їх зберігання

Для захисту від нейтронного випромінювання використовують матеріали, котрі містять водень (вода, парафін), а також бор, берилій, кадмій, графіт. Враховуючи те, що нейтронні потоки супроводжуються гамма-випромінюванням, слід використовувати комбінований захист у вигляді шаруватих екранів з важких та легких матеріалів (свинець-поліетилен).

Покажемо для прикладу перехідне гасіння енергії електричного поля екраном для сталі:

$$A = 40 + K\beta_{\text{мін}}, \quad (5.7)$$

Для БЖ:

$$A_1 = 40 + 131,2 = 171,2 \text{ (дБ)}.$$

Для БУ:

$$A_2 = 40 + 117,34 = 157,34 \text{ (дБ)}.$$

Для СЕ:

$$A_3 = 40 + 63 = 103 \text{ (дБ)}.$$

Розрахуємо товщини захисних екранів:

$$t = \frac{A}{5,2 \cdot \sqrt{f}}, \quad (5.8)$$

де  $f$  – найбільш характерна частота ( $f = 15$  кГц).

Для БЖ:

$$t_1 = \frac{171,2}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,26 \text{ (см)}.$$

Для БУ:

$$t_2 = \frac{157,34}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,24 \text{ (см)}.$$

Для СЕ:

$$t_3 = \frac{103}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,16 \text{ (см)}.$$

Отже, при екрануванні блоку живлення та блоку керування з використанням екрану товщиною 0,26 см зі сталі, система керування буде стійкою в умовах дії електромагнітного імпульсу, при екрануванні силових елементів з використанням екрану товщиною 0,16 см, силові елементи будуть стійкими в умовах дії електромагнітного імпульсу.

Також в даному розділі було досліджено, що в умовах дії іонізуючого випромінювання система електропривода транспортера залишається стійкою. Тому іонізуюче випромінювання для обладнання не є таким небезпечним, як для обслуговуючого персоналу. Для нормальної роботи об'єкта під час аварій з такими наслідками, як іонізуюче випромінювання, потрібно розраховувати робочі зміни для обслуговуючого персоналу з врахуванням їх допустимої дози опромінення.

Після проведених розрахунків визначено, що робота системи електропривода транспортера стійка при заданому рівні радіації 4,2 Р/год. До дії ЕМІ система керування виявилась нестійкою. Застосування екранування систем управління і автоматики ЕП суттєво підвищує її стійкість в умовах дії електромагнітного імпульсу.

В результаті застосування екранів система електроприводу транспортера буде працювати стійко аж до значення напруженості вертикальної складової 6,5 кВ/м. Ще одним варіантом підвищення стійкості апаратури до дії ЕМІ є зменшення струмопровідних провідників (їх довжини) шляхом вдосконалення схемокомпоновки елементів управління та автоматики ЕП. Крім цього необхідно екранувати кабелі живлення, а також застосувати прилади, які б вимикали електронні схеми на період впливу ЕМІ.

## ВИСНОВКИ

Цукрова промисловість є однією із стратегічно важливих галузей харчової промисловості України. Підвищення її рентабельності досягається, в тому числі, і за рахунок зменшення споживання енергоресурсів. Магістерська кваліфікаційна робота орієнтована саме на підвищення енергетичної ефективності електропривода транспортера завантаження скіпа вапнякової печі в умовах Приватного акціонерного товариства «Продовольча компанія «Поділля».

На основі аналізу технологічного процесу виробництва цукру-піску із цукрового буряка визначено, що для стрічкового транспортера завантаження скіпа вапнякової печі доцільно використовувати системи електричного привода, які забезпечують плавний пуск та гальмування, передбачають неглибоке регулювання швидкості вниз від основної, а також забезпечують високий пусковий момент, захист від перевантаження та проковзування стрічки тощо.

На основі техніко-економічного обґрунтування, ґрунтуючись на критерії приведених витрат вибрано найбільш вигідну систему – ПЧ-АД з КЗ ротором. Приведені витрати для неї складають 6518 грн/рік, що на 13,8% менше ніж наступної по рейтингу системи електричного привода типу ТП-Д.

Для привода стрічкового транспортера завантаження скіпа вапнякової печі вибрано АД з КЗ ротором типу 4A100L4 потужністю 4,0 кВт та побудовано його природні механічну та електромеханічну характеристики. Побудовано навантажувальну діаграму привода та виконано перевірки вибору приводного двигуна. Оскільки умови перевірок виконуються, то двигун вибрано вірно і він не буде перегріватись при експлуатації забезпечуючи необхідні пускові характеристики.

Розроблено систему автоматизованого електропривода стрічкового транспортера завантаження скіпа вапнякового відділення та розраховано параметри налаштувань регуляторів моменту та швидкості. Здійснено

моделювання роботи модернізованої системи в Matlab. Отримані графіки перехідних процесів відповідають результатам розрахунків, які були проведені раніше.

Здійснено вибір основної елементної бази САЕП стрічкового транспортера завантаження скіпа. Зокрема блок керування реалізовано на основі типового програмованого реле типу LOGO! 240 фірми Siemens.

Запропоновано визначати фактичне напруження на відмову приводного двигуна з врахуванням експлуатаційного коефіцієнта, який відображає реальні умови експлуатації привода і визначається за допомогою нечіткої моделі.

Базуючись на результатах проведених економічних розрахунків очевидно, що модернізація даної системи автоматизованого електропривода є економічно виправданою. Термін окупності складає 2,31 роки, річний економічний ефект становить 2101 грн.

Розроблено ряд заходів з охорони праці та проведено дослідження безпеки роботи система керування транспортера завантаження скіпа вапнякової печі у надзвичайних ситуаціях.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Україна. Цукрова промисловість. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.ukrexport.gov.ua/ukr/prom/ukr/160.html>
2. Продовольча компанія “Поділля”. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.upi-agro.com.ua/ua/Home/MapDetails/3>
3. Крижопільський цукровий завод. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.upi-agro.com.ua/ua/Home/MapDetails/2>
4. Цукор. Вікіпедія. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D1%83%D0%BA%D0%BE%D1%80>
5. Технологическая схема производства сахара из свеклы [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.rossahar.ru/Production-of-sugar/>
6. Обладнання для обпалювання вапна [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://studfiles.net/preview/5194328/page:9/>
7. Ключев В. И. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов / В. И. Ключев, В. М. Терехов. – М. : Энергия, 1980. – 360 с.
8. Волотковский С. А. Типовой электропривод промышленных установок / С. А. Волотковский, В. И. Емец, В. К. Козло. – К. : Вища школа, 1983. – 312 с.
9. Чиликин М. Г. Общий курс электропривода / М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер. – М. : Энергоиздат, 1981. – 576 с.
10. Теорія електропривода. Курсове та дипломне проектування. Самостійна та індивідуальна робота студентів : навчальний посібник / А. А. Видмиш, С. М. Бабій, В. В. Петрусь. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 101 с.
11. Электродвигатель 4А100L4 4 кВт 1500 об/мин [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://nasos-k.zakupka.com/p/448691832-elektrodivigatel-4am100l4-4-kvt-1500-ob-min-4a100l4/>
12. Danfoss VLT Micro Drive FC 51 5,5 кВт/3ф [Електронний ресурс]. Режим доступу <https://ovk.ua/shop/product/132f0028-danfoss-fc-51>



13. ПАТ «Вінницяобленерго». Тарифи [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://www.voe.com.ua/consumers/legal\\_entities/fees?year=2018&month=5](http://www.voe.com.ua/consumers/legal_entities/fees?year=2018&month=5)

14. Автоматизований електропривод типових виробничих механізмів. Курсове та дипломне проектування. Самостійна та індивідуальна робота студентів / Грабко В. В., Бабій С. М., Мошноріз М. М. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 119 с.

15. Піцан Р., Бардачевський В., Бойчук Б. Збірник задач до курсу «Електропривід». Навчальний посібник / Р. Піцан, В. Бардачевський, Б. Бойчук. – Львів: Видавництво Державного університету «Львівська політехніка», 1999. – 426 с.

16. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи / М. Г. Попович, О. Ю. Лозинський, В. Б. Клепиков та ін.; За ред. М. Г. Поповича, О. Ю. Лозинського. – К.: Либідь, 2005. – 680 с.

17. Преобразователи частоты. Основы выбора и подбора [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://powergroup.com.ua/vibor\\_preobrazovatelya\\_chastoti](http://powergroup.com.ua/vibor_preobrazovatelya_chastoti)

18. Danfoss VLT Micro Drive FC 51 5,5 кВт [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://ewi-engineering.com.ua/danfoss-vlt-micro-drive-fc-51-55-kvt-380v.html>

19. Частотный преобразователь Danfoss VLT Micro Drive FC-051 [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://частотники.рф/vlt\\_fc51.html](http://частотники.рф/vlt_fc51.html)

20. Частотный преобразователь Danfoss VLT Micro Drive FC-51 5.5кВт/380В/3ф [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://obvent.ru/catalog/avtomatica/preobrazovateli/Danfoss\\_VLT/micro\\_drive\\_fc-51/chastotnyy\\_preobrazovatel\\_danfoss\\_vlt\\_micro\\_drive\\_fc-51\\_5-5kvt-380v-3f](http://obvent.ru/catalog/avtomatica/preobrazovateli/Danfoss_VLT/micro_drive_fc-51/chastotnyy_preobrazovatel_danfoss_vlt_micro_drive_fc-51_5-5kvt-380v-3f)

21. Системы управления электроприводами / [Голубь А. П., Кузнецов Б. И., Опрышко И. А., Соляник В. П.]; под ред. В. П. Соляника. – К. : УМК ВО, 1992. – 376 с.

22. Черных И. В. Моделирование электромеханических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink / Черных И. В. – М. : ДМК Пресс; СПб. : Питер, 2008. – 288 с.

23. Логические модули LOGO! для промышленной автоматизации [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://electricalschool.info/automation/1682-logicheskie-moduli-logo-dlja.html>

24. Логический модуль Siemens LOGO! 24о [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://promspecrele.ru/documents/24o.html>

25. Бабій С. М. До питання підвищення надійності електроприводів з асинхронними двигунами /С. М. Бабій, А. А. Бартецький // Тези доповідей XIV Міжнародної конференції «Контроль і управління в складних системах (КУСС-2018)», м. Вінниця, Вінницький національний технічний університет, 15-17 жовтня 2018 р. – Вінниця : ВНТУ, 2018. –151 с. – С. 83.

26. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети / Ротштейн А.П. – Вінниця: УНІВЕРСУМ–Вінниця, 1999. – 320 с.

27. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Менеджмент та маркетинг в системах електроспоживання» / Уклад. Демов О. Д., Мельничук Л. М. – Вінниця : ВНТУ, 2002. – 58 с.

28. Кобилянський О. В. Методичні вказівки щодо опрацювання розділу “Охорона праці” в дипломних проектах і роботах студентів електротехнічних спеціальностей / О. В. Кобилянський, О. П. Терещенко. – Вінниця: ВНТУ, 2003.– 46 с.

## Додаток А

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет  
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ПОГОДЖЕНО

Заступник дек. ФЕЕЕМ з НМР

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ О. Б. Бурикін

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри ЕМСАПТ

д.т.н., проф.

\_\_\_\_\_ В. М. Кутін

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

### ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу

**Підвищення енергетичної ефективності електропривода  
транспортера завантаження скіпа в умовах Приватного акціонерного  
товариства «Продовольча компанія «Поділля»**

08-16.МКР.012.00.000 ТЗ

Керівник роботи

к.т.н., доц.

\_\_\_\_\_ С. М. Бабій

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Виконавець: ст. гр. ЕПА-18м

Тсаса Закаріаш Душ Анжуш Лембе

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Вінниця ВНТУ 2019

## **1 Загальні відомості**

Повне найменування розробки – «Підвищення енергетичної ефективності електропривода транспортера завантаження скіпа в умовах Приватного акціонерного товариства «Продовольча компанія «Поділля».

Скорочене найменування розробки – «Електропривод стрічкового транспортера».

## **2 Підстави для розробки**

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем магістерських кваліфікаційних робіт.

## **3 Призначення розробки і галузь використання**

Стрічковий транспортер завантаження скіпа вапнякової печі призначений для завантаження скіпа сумішшю фракційного вапняку та вугілля.

## **4 Вимоги до розробки**

Автоматизований електропривод стрічкового транспортера завантаження скіпа вапнякової печі повинен забезпечувати надійну та безвідмовну роботу при тривалій роботі, плавний пуск, а також однозонне регулювання швидкості.

## **5 Комплектація розробки**

Виріб складається з стрічкового транспортера, системи керування, контролера.

## 6 Технічні характеристики

Параметри	Значення
Продуктивність	36 т/год
Діаметр приводного барабана	420 мм
Діаметр натяжного барабана	420 мм
Довжина транспортера	15 м
Опорні ролики: – кількість	12 шт.
– діаметр	120 мм
Ширина стрічки	600 мм
Кут нахилу транспортера	6 град.
Передаточне число механічної передачі	31,5
Швидкість стрічки	0,98 м/с

## 7 Джерела розробки

1. Автоматизований електропривод типових виробничих механізмів. Курсове та дипломне проектування. Самостійна та індивідуальна робота студентів / Грабко В. В., Бабій С. М., Мошноріз М. М. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 119 с.

2. Белов М. П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов / Белов М. П., Новиков М.А., Рассудов Л.Н. – М. : Академия, 2007. – 576 с.

## 8 Етапи виконання

Основна частина	
Графічна частина	

## **9 Елементна база**

Двигун, апаратура керування і захисту, провідники, кабелі і т.п. виробництва України, країн близького зарубіжжя та Європи.

## **10 Конструктивне виконання**

Автоматизований електропривод стрічкового транспортера завантаження скіпа вапнякової печі виготовляється окремими блоками, котрі реалізуються у відповідності до вимог електробезпеки у пило-вологозахищеному виконанні.

## **11 Показники технологічності**

Автоматизований електропривод стрічкового транспортера завантаження скіпа вапнякової печі виконується на сучасній елементній базі, його монтаж, заземлення, струмопровід повинні відповідати правилам улаштування електроустановок.

## **12 Технічне обслуговування і ремонт**

Технічне обслуговування здійснюється слюсарями-електромонтажниками відповідної кваліфікації. Технічний огляд пристрою здійснюється мінімум один раз на місяць. Ремонт здійснюється інженерами-електромеханіками фахівцями з електромеханічних систем автоматизації та електропривода.

## **13 Живлення електропривода**

Живлення електропривода повинно бути виконане напругою 380 В промислової частоти.

**Додаток Б**  
**Ілюстративні матеріали**

## **Мета та задачі дослідження**

**Метою роботи** є підвищення енергетичної ефективності електропривода транспортера завантаження скіпа в умовах Приватного акціонерного товариства «Продовольча компанія «Поділля» за рахунок використання сучасної елементної бази з високими енергетичними показниками.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі **завдання**:

1. Здійснити короткий характеристику технологічного процесу виробництва цукру-піску із цукрового буряка. Виділити в ньому роль та місце об'єкта проектування.
2. Розрахувати потужність привода стрічкового транспортера та вибрати приводний двигун.
3. Розробити систему автоматизованого електропривода стрічкового транспортера та вибрати його елементи.
4. Перевірити правильність отриманих проектних рішень шляхом комп'ютерного моделювання.
5. Провести економічні розрахунки.
6. Розробити ряд заходів з охорони праці та описати умови безпечної експлуатації розробленої системи.

**Об'єкт дослідження** – процес виробництва цукру.

**Предметом дослідження** є система автоматизованого електропривода стрічкового транспортера завантаження скіпа вапнякової печі.



# Виробництво цукру із цукрового буряка

Процес отримання цукру-піску складається з таких стадій:

- подача буряків і очищення їх від домішок;
- отримання дифузійного соку з бурякової стружки;
- очищення дифузійного соку;
- згущення соку випаровуванням;
- варіння утфелю і отримання кристалічного цукру;
- сушка, охолодження і зберігання цукру-піску.

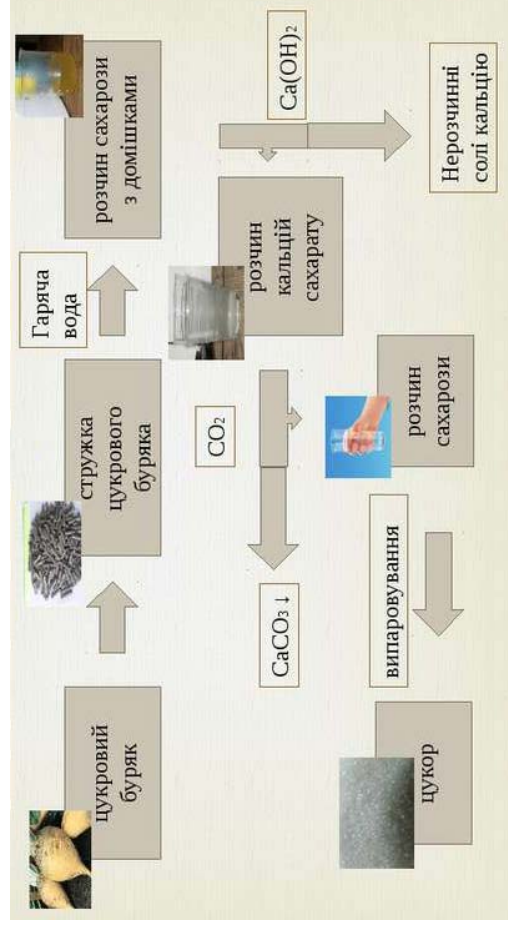
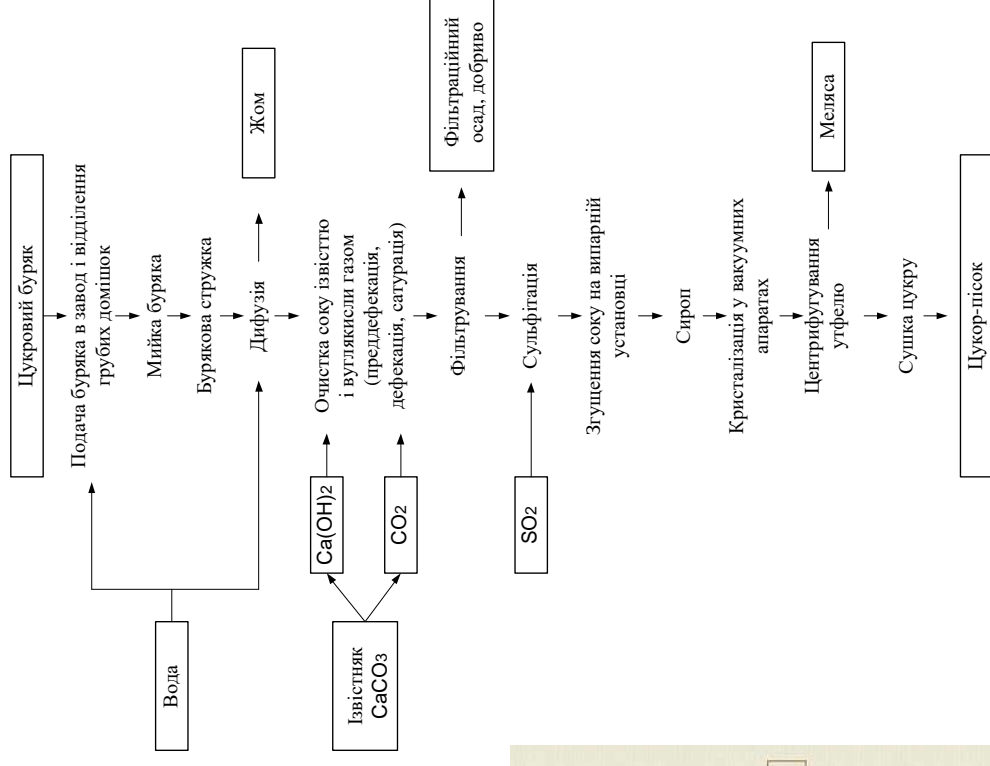


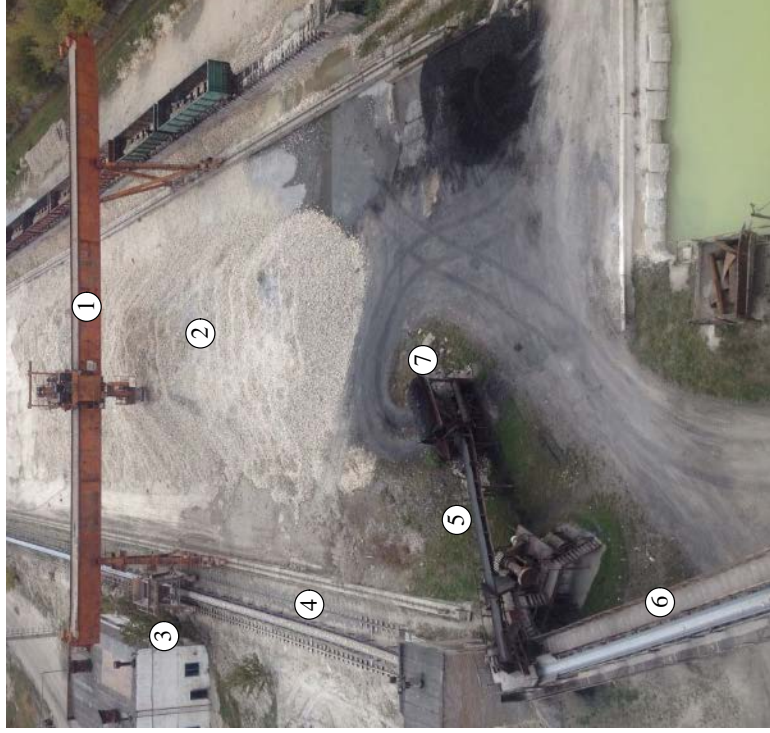
Схема одержання цукру із цукрового буряка

Принципова схема виробництва цукру із цукрового буряка

# Характеристика об'єкта проектування

Технічні характеристики стрічкового транспортера завантаження скіпа вапнякової печі

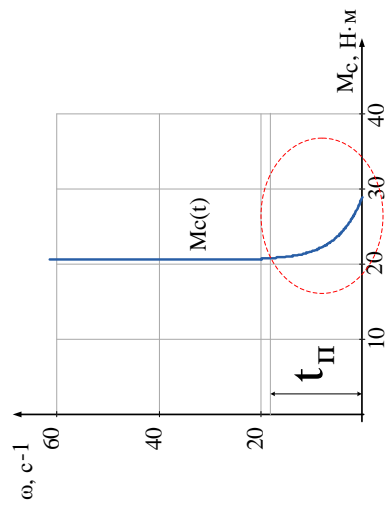
Параметри	Значення
Продуктивність	36 т/год
Діаметр приводного барабана	420 мм
Діаметр натяжного барабана	420 мм
Довжина транспортера	15 м
Опорні роликки: – кількість – діаметр	12 шт. 120 мм
Ширина стрічки	600 мм
Кут нахилу транспортера	6 град.
Передаюче число механічної передачі	31,5
Швидкість стрічки	0,98 м/с



Подача вапняку до скіпового підйомника вапнякової печі

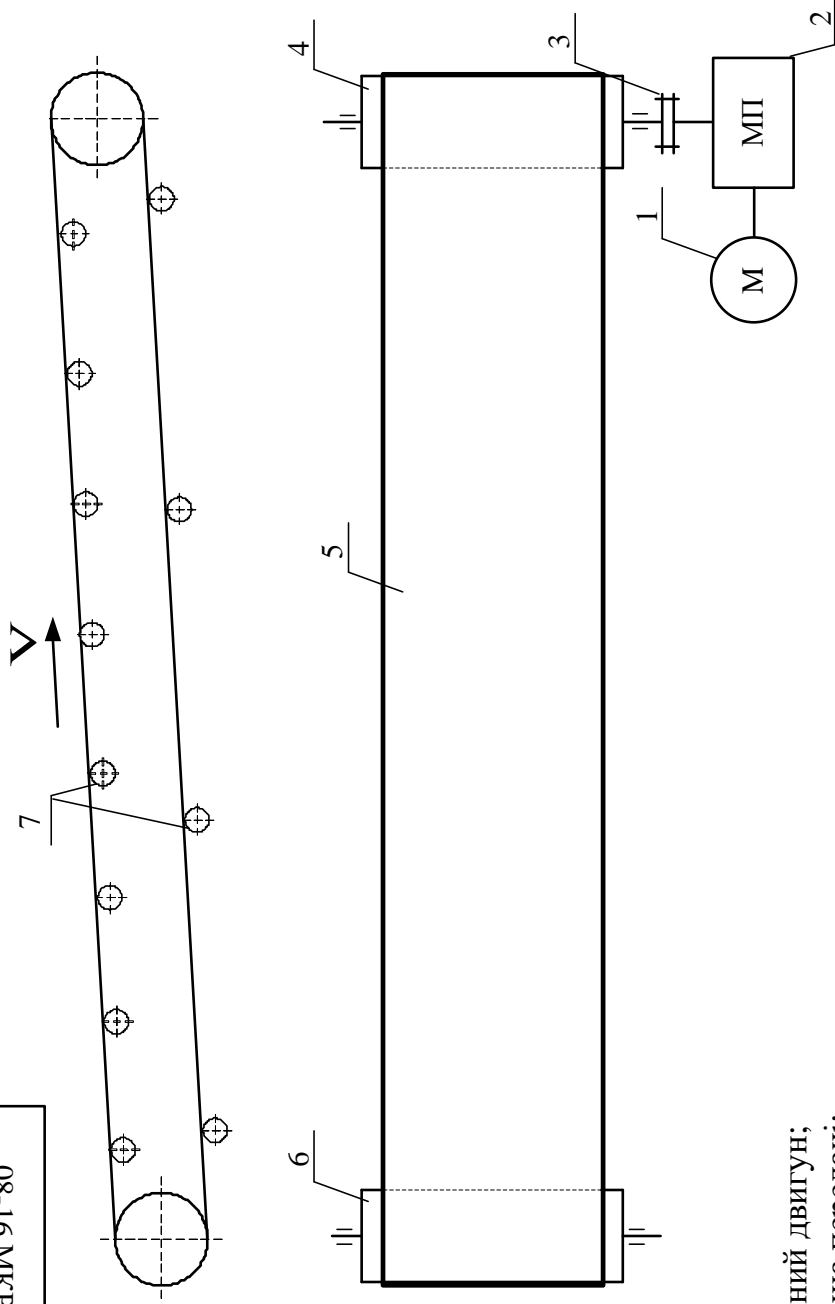


Завантаження скіпа



Механічна характеристика стрічкового транспортера

08-16.МКР.012.00.000 К



- 1 – приводний двигун;
- 2 – механічна передача;
- 3 – муфта ;
- 4 – приводний барабан;
- 5 – стрічка;
- 6 – натяжний барабан;
- 7 – опорні ролики

08-16.МКР.012.00.000 К

Зм.	№ докумен.	Підпис	Дата	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:	Таса Закаріац					
Перевірив:	Бабій С.М.					
Т. конгр.				Аркуш 1	Аркушів 1	
Підвищення енергетичної ефективності електропривода транспортера завантаження скіпа в умовах Приватного акціонерного товариства «Продовольча компанія «Поділья». Схема кінематична стрічкового транспортера						
Норм.кон.	Паянок О.А.			гр. ЕПА-18М		
Затверд.	Кутин В.М.					

Підпис і дата	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підпис і дата
---------------	-------------	--------------	---------------

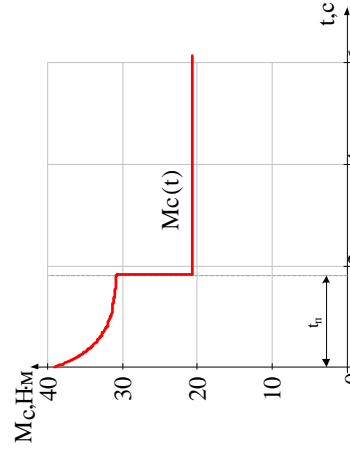
## Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода

Показники	Системи електричного привода			
	РКС-ДПС	РКС-АД з ФР	ТП-Д	ПЧ-АД
Вартість двигуна Д, грн	8040	6432	3216	3216
Вартість системи керування СК, грн	3663	4273,5	9768	12210
Капітальні вкладення К, грн	11703	10705,5	12984	15426
Річні капітальні витрати $K_{річнь}$ грн/рік	1989,51	1819,94	2207,28	2622,42
Амортизаційні відрахування $C_A$ , грн/рік	1170,30	1070,55	1298,40	1542,60
Відрахування на ремонт $C_p$ , грн/рік	234,06	214,11	259,68	308,52
Додаткові відрахування $C_D$ , грн/рік	8811,75	5225,57	3537,96	1858,96
Відрахування на обслуговування $C_O$ , грн/рік	510,81	325,51	254,80	185,50
Загальні відрахування $C_v$ , грн/рік	10726,91	6835,74	5350,84	3895,58
Приведені витрати З, грн/рік	12716,42	8655,68	7558,12	6518,00

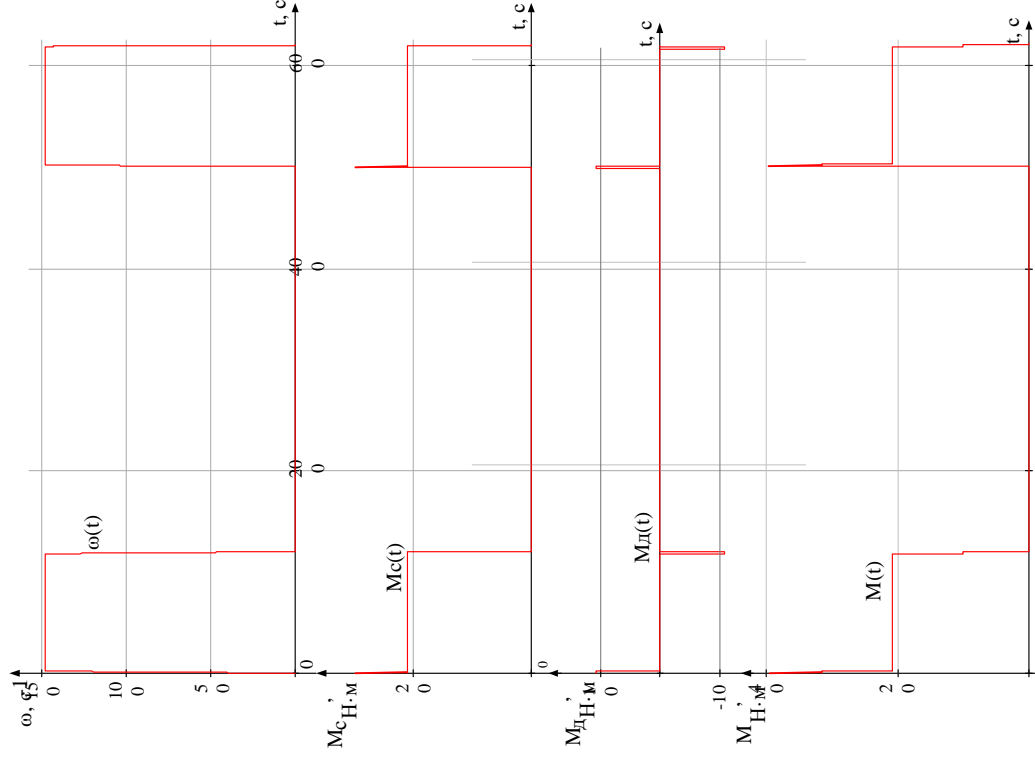
## Технічні характеристики приводного двигуна

Технічні дані приводного двигуна 4A100L4

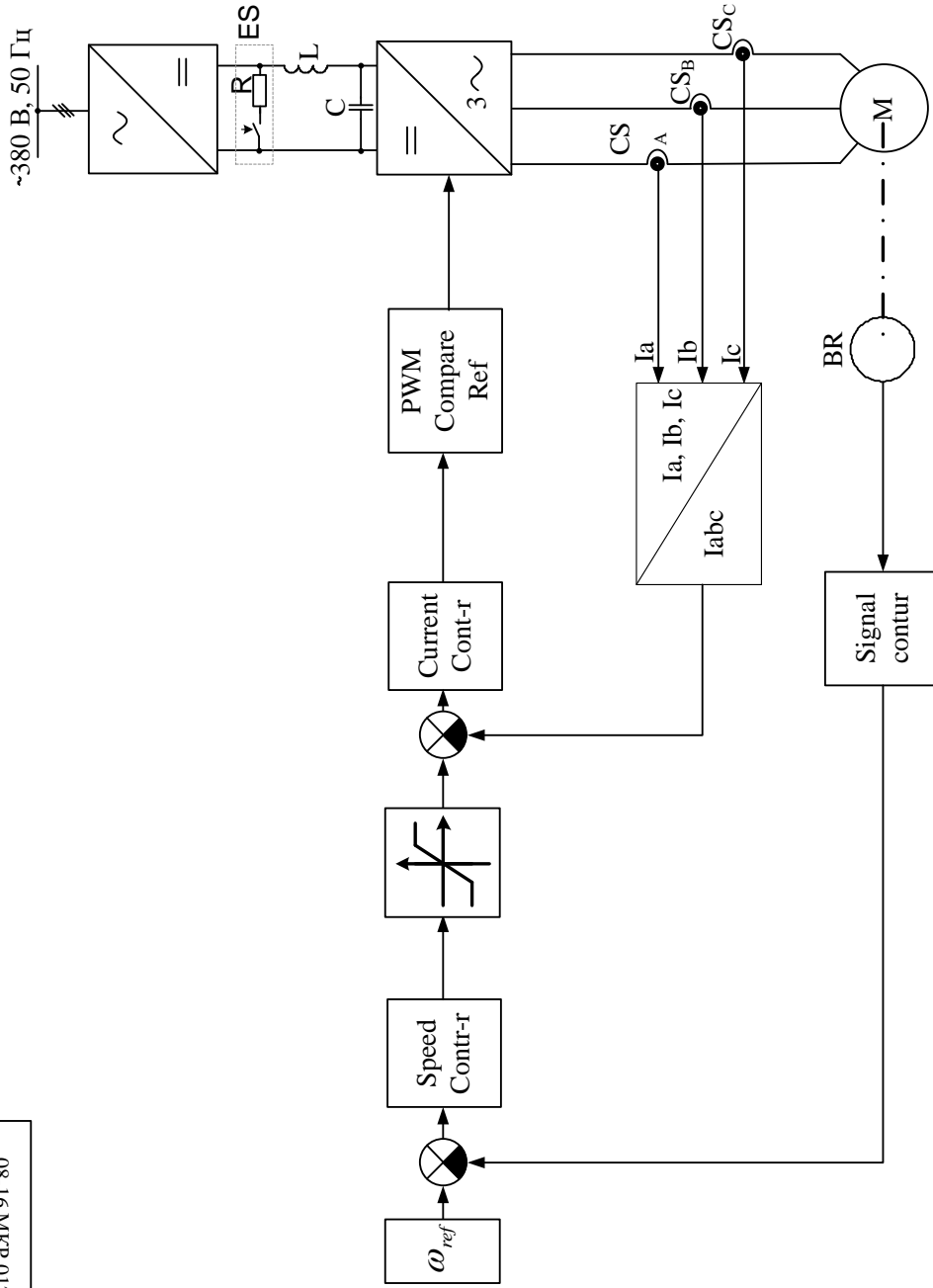
Параметри	Значення
Номінальна потужність $P_{дв.н}$ , кВт	4,0
Номінальна напруга $U_{дв.н}$ , В	380
Номінальна швидкість обертання $n_{дв.н}$ , об/хв	1431
Коефіцієнт потужності $\cos\varphi_{ном}$	0,84
Коефіцієнт корисної дії $\eta_{дв.н}$ , %	0,84
Кратність пускового моменту $\lambda_{пуск}$	2,1
Кратність критичного моменту $\lambda_k$	2,4
Кратність мінімального моменту $\lambda_{min}$	1,6
Номінальний струм статора $I_{дв.н}$ , А	8,59
Кратність пускового струму $\lambda_{I,пуск}$	6,0
Активний опір обмотки статора $R_1$ , Ом	1,72
Приведений активний опір обмотки ротора $R_2'$ , Ом	1,36
Індуктивний опір розсіювання обмотки статора $X_1$ , Ом	2,0
Приведений індуктивний опір розсіювання	3,59



Фрагмент навантажувальної діаграми привода стрічкового транспортера при пуску під навантаженням



Навантажувальна діаграма електропривода стрічкового транспортера

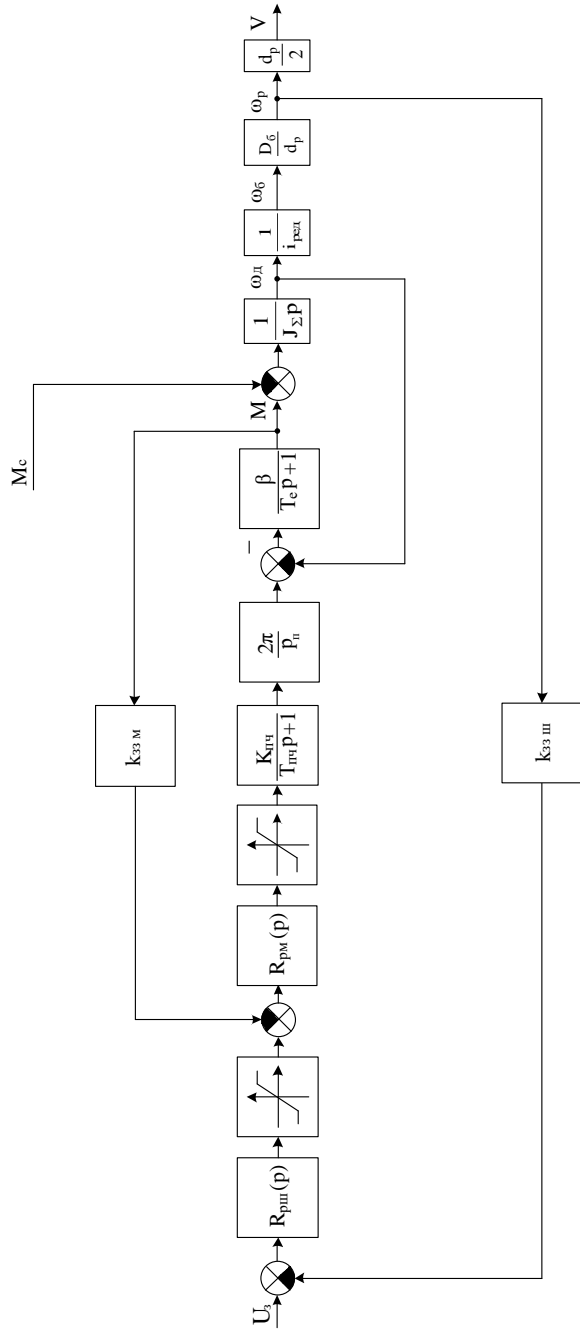


~380 В, 50 Гц

08-16.МКР.012.00.000 E2			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис
Розробив:	Тестів Закаріаш		Дата
Перевірив:	Бабій С.М.		
Т. конгр.			
Норм.кон.	Павлюк О.А.		
Затверд.	Кутин В.М.		
Підпис і дата		Підпис і дата	
Зам. інв. №		Зам. інв. №	
Інв. № збут.		Інв. № збут.	
Інв. № опр.		Інв. № опр.	
Масштаб		Масштаб	
Літ.		Літ.	
Місяц		Місяц	
Аркуші 1		Аркуші 1	
Аркуші 1		Аркуші 1	
тр. ЕПА-18м		тр. ЕПА-18м	

08-16.МКР.012.00.000 E2			
Підвищення енергетичної ефективності електропривода трансформера завантаженого скіпа в умовах Приватного акціонерного товариства «Продовольча компанія «Поділья». Схеми функціональна САЕП стрічкового транспортера			

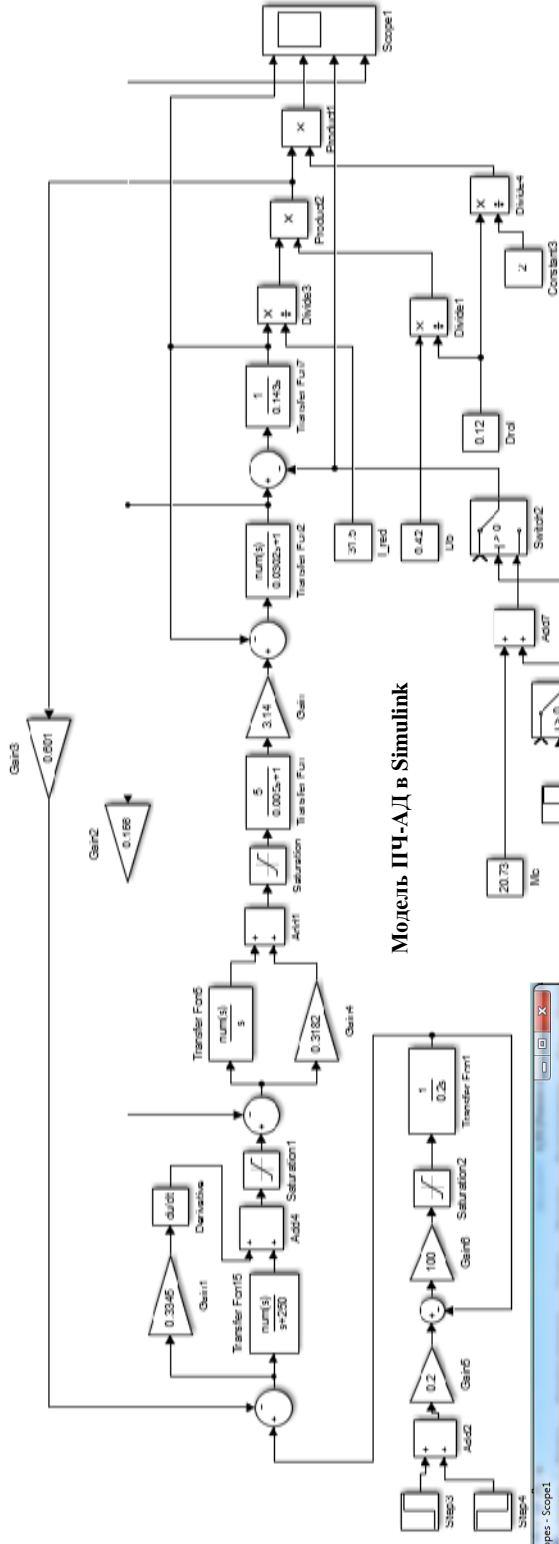
08-16.МКР.012.00.000 Е1



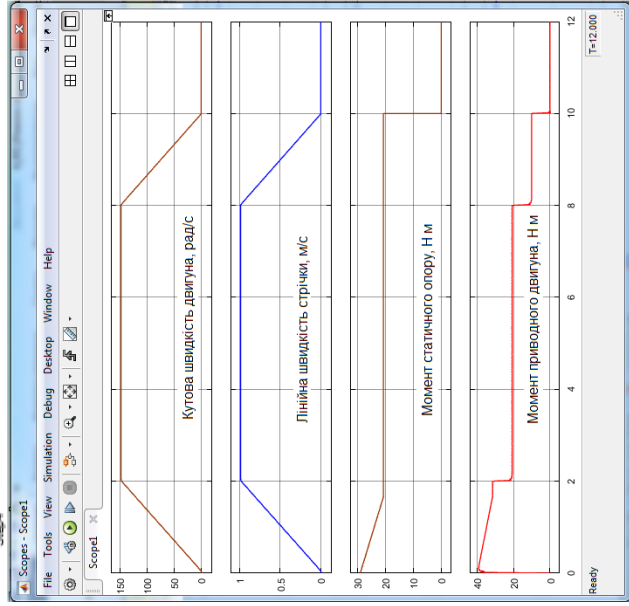
08-16.МКР.012.00.000 Е1										
Зм.	Арк.	№ докумен.	Пілля	Дяга	Підвищення енергетичної ефективності електропривода транспортного авіаційного судна в умовах Приватного акціонерного товариства «Продовольча компанія «Полділя». Схема структури САПІ електричного транспортера					
Розробив:	Тетяна Закарішч				Дата	Літ.	Місяц	Масштаб		
Т. вивір.	Віктор С.М.									
Норм. кон.	Пашок О.А.									
Затверд.	Кутин В.М.								гр. ЕПА-18м	

Лист № опр.	Лист № дата	Лист № дубл.	Зам. нм. №	Лист № дата
-------------	-------------	--------------	------------	-------------

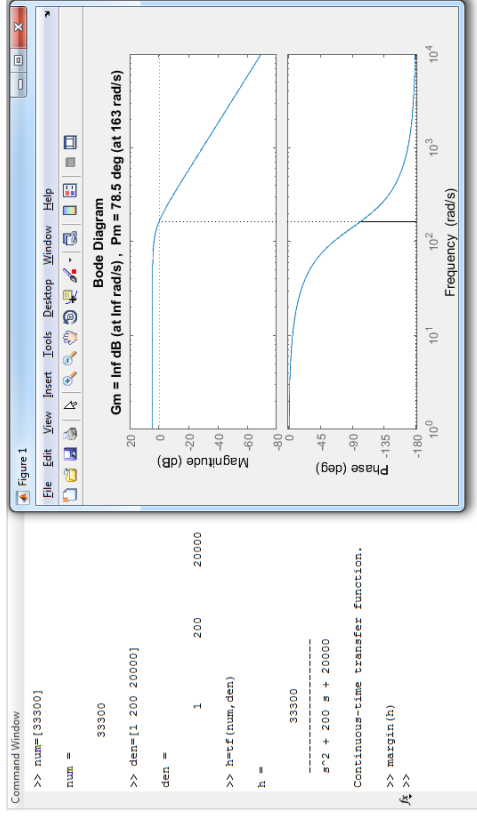
# Моделювання перехідних процесів



Модель ПЧ-АД в Simulink



Графіки перехідних процесів електропривода стрічкового транспортера



Визначення запасу стійкості САЕП стрічкового транспортера



## Вибір елементної бази САЕП стрічкового транспортера



Програмоване реле типу LOGO! 240



Перетворювач частоти  
Danfoss VLT Micro Drive  
FC51

### Технічні характеристики ПЛК

Параметр	Значення
Джерело живлення: - напруга живлення - допустимий діапазон	24 В DC 20,4 ... 28,8 В DC
Цифрові входи: - швидкодіючі - логічні рівні - довжина лінії (нескранованої)	8 DI (I1...I8) I3...I6 «0» < 5 В DC «1» > 12 В DC 100 м
Аналогові входи:	4 AI I1=AI3; I2=AI4 I7=AI1; I8=AI2 0 – 10 В DC 28,8 В DC 10 м ± 1,5 % при FS
Цифрові виходи: - тип - напруга живлення - вихідний струм - захист - паралельне вкл. вих. (для підв. потужн.)	4 транзисторні = нагр. живлення мак 0,3 А к.з. та перевантаж. не допускається
Ступінь захисту	IP20
Температура середовища при експлуатації: - min - max	навколишнього 0 °C 55 °C

### Технічні характеристики перетворювача частоти

Характеристики	Значення
Номінальна потужність	5,5 кВт
Номінальний струм	12 А
Число фаз / напруга на вході	3-ф/380–480 В ±10%
Частота мережі	50/60 Гц ± 5%
Максимальна короткочасна асиметрія фаз	3% від номінальної напруги
Коефіцієнт потужності активної	> = 0,4 при номінальному навантаженні
Коефіцієнт реактивної потужності	> 0,98
Включень по входу L1 / L2, L3 / N	не більше 2 разів на хвилину
Перевантажувальна здатність	150% протягом 60 с
Керування	векторне і скалярне
Вихідна напруга	0–100% від вхідної номінальної
Вихідна частота	0-200 Гц (VVC+), 0-400 Гц (u/f)
Час розгону/гальмування	0,01...3600 с
Цифрові входи	5, 0-24 В DC
Імпульсні входи	1, 0-24 В
Аналогові входи	2 (1-струмовий, 1-струм/напруга) 0-10 В (масштабований) 0/4-20 мА (масштабований)
Аналогові виходи	1 0/4-20 мА
Дискретні/частотні виходи	500 Ом (мак навантаження) 1, 0-24 В
Релейні виходи	1, 240 В, 2 А
Комунікація з шинами передачі даних	FC Protocol, Modbus RTU
Корпус	IP20



## До питання діагностування приводних двигунів

Асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором зазвичай розраховані на 15...20 років експлуатації без капітального ремонту за умови їх правильної експлуатації.

Фактичне напруження на відмову приводного двигуна:

$$T_f = T_n \cdot k$$

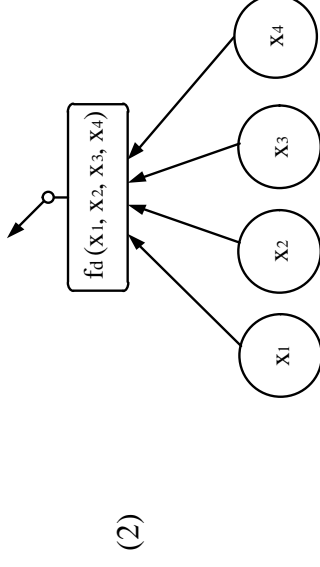
де  $T_n$  – паспортне напруження на відмову приводного двигуна;

$k$  – експлуатаційний коефіцієнт:

$$k = k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n$$

де  $k_1, k_2, \dots, k_n$  – вагові коефіцієнти, що враховують реальні умови експлуатації.

$$d_1 \quad d_2 \quad d_3 \quad d_4 \quad d_5 \quad (1)$$



### Лінгвістична оцінка змінних

Параметри	Назва	Діапазон значень	Терми
$x_1$	температура навколишнього середовища	0...100 С	низька (М), середня (С), висока (В)
$x_2$	вологість повітря	0...100%	низька (М), середня (С), висока (В)
$x_3$	умови пуску та гальмування	1...600	низька (М), середня (С), висока (В)
$x_4$	режим роботи	0...1	легкий (Л), помірний (П), важкий (В)
$d$	інтегральний експлуатаційний коефіцієнт	0...1	низький ( $d_1$ ), допустимий ( $d_2$ ), середній ( $d_3$ ), високий ( $d_4$ ), дуже високий ( $d_5$ )

### Дерево логічного висновку

Для опису термів вхідних  $x_1, x_2, x_3$  та вихідних  $d$  змінних рекомендується використовувати лінгвістичну оцінку відповідно до функції належності виду

$$\mu^T(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x-b}{c}\right)^2} \quad (3)$$

де  $b$  – координата максимуму функції належності;  
 $c$  – коефіцієнт концентрації-розтягування функції належності.