

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і механотроніки

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

## **Пояснювальна записка**

до кваліфікаційної роботи

бакалавр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Модернізація електроприводу машини для вироблення бавовняної стрічки типу ЧМ-80»

Виконав: студент 2 курсу, групи 201-пМЕ  
спеціальності 141 «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Заєць А.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник Єрмілова Н.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Захарченко Р. В.

(прізвище та ініціали)

Полтава - 2021 рік

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
 Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і механотроніки  
 Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій  
 Освітньо-кваліфікаційний рівень Бакалавр  
 Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

## ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматки, електроніки  
та телекомунікацій

\_\_\_\_\_ О.В. Шефер  
 “ 11 ” травня 2021 р.

## З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРУ СТУДЕНТУ

**Зайцю Антону Андрійовичу**

1. Тема роботи «Модернізація електроприводу машини для вироблення бавовняної стрічки типу ЧМ-80»

**керівник роботи Єрмілова Наталя Василівна, к.т.н., доцент**

затверджена наказом вищого навчального закладу від 03.03.2021 року № 158 - фа

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 15.06.2021 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) технологічна документація на машину для вироблення бавовняної стрічки типу ЧМ-80. Продуктивність установки 40 кг/год. Лінійна щільність стрічки, що виробляється 5,55 ктекс. Задана частота обертання приймального барабана 800 об/хв. Провести модернізацію електропривода, забезпечити перерегулювання у межах 30 %, час регулювання не більше 0,5 сек.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Опис роботи машини. Аналіз недоліків електроприводу і постановка задачі на проектування. Розрахунок навантажень та вибір електродвигуна. Розробка структурної та принципової схеми керування електроприводом машини. Розроблення функціональної та принципової схеми ЕП живлячих циліндрів. Розроблення структурної схеми САК ЕП живлячих циліндрів. Визначення передавальної функції. Визначення якісних параметрів системи. Перевірка стійкості системи.

Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):

- 1) загальний вид машини;
- 2) структурна схема ЕП машини ;
- 3) принципова схема ЕП машини;
- 4) функціональна схема ЕП живлячих циліндрів;
- 5) принципова схема блоку керування тиристорами ЕП живлячих циліндрів;
- 6) структурна схема САК ЕП живлячих циліндрів;
- 7) дослідження САК ЕП живлячих циліндрів.

6. Дата видачі завдання 11.05.2021 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
		Дата початку	Категорія	Відсоток виконання	
1	Опис роботи машини. Аналіз недоліків електроприводу і постановка задач на кваліфікаційну роботу.	18.05.21		25%	Пл. 1
2	Розрахунок навантажень та вибір електродвигуна. Розробка структурної схеми керування електроприводом машини.	26.05.21	I	50%	Пл. 2
3	Модернізація принципової схеми керування електроприводом машини.	02.06.21		60%	Пл. 4
4	Розроблення структурної схеми САК. Визначення передавальної функції. Визначення якісних параметрів системи. Перевірка стійкості системи	09.06.21		80 %	Пл. 5
5	Оформлення кваліфікаційної роботи бакалавра	15.06.21	II	100%	Пл. 6

Студент \_\_\_\_\_

( підпис )

Заєць А.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_

( підпис )

Єрмілова Н.В.

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

кваліфікаційної роботи бакалавра

«Модернізація електроприводу машини для вироблення бавовняної стрічки  
типу ЧМ-80»

Робота містить 56 сторінок, 16 ілюстрацій, 9 таблиць, 20 використаних джерел.

Ключові слова: бавовняна стрічка, електропривод, двигун постійного струму, стійкість системи.

Об'єктом розроблення кваліфікаційної роботи є електропривод машини для вироблення бавовняної стрічки типу ЧМ-80.

В роботі проведений розрахунок та вибір двигуна головного руху, визначено статичні та динамічні навантаження на двигун, проведена перевірка електродвигуна за умовами нагріву та перевантажувальній здатності, яка дала позитивні результати. Виявлено, що вибраний електродвигун має достатній запас за температурою нагрівання.

Проведена модернізація принципової схеми керування електропривода машини для вироблення бавовняної стрічки, розроблена функціональна схема електроприводу живлючих циліндрів. Розроблена схема блоку керування тиристорами, проаналізовано графіки її роботи. Також проведена оцінка якості та стійкості роботи модернізованого електропривода живлючих циліндрів. Система перевірена на стійкість за критеріями Гурвіца та Михайлова, доведено, що система є стійкою. Отримані високі показники перехідного процесу забезпечують достатню швидкодію і стійкість системи керування електроприводом машини для вироблення бавовняної стрічки.

Робота має практичну цінність і її результати після більш детальної доробки можуть бути розглянуті для використання на даному підприємстві.

## ABSTRACT

Bachelor's thesis

"Modernization of the electric drive of the machine for the production of cotton tape type World Cup-80"

The work contains 56 pages, 16 illustrations, 9 tables, 20 used

Key words: cotton tape, electric drive, DC motor, system stability.

The object of qualification work is the electric drive of the machine for making cotton tape type ChM-80.

The calculation and selection of the main motion motor are performed, static and dynamic loads on the motor are determined, the electric motor is checked for heating conditions and overload capacity, which gave positive results. It was found that the selected electric motor has a sufficient margin for heating temperature.

Modernization of the basic control scheme of the electric drive of the machine for the production of cotton tape, developed a functional diagram of the electric drive of the power cylinders. The scheme of the thyristor control unit is developed, the schedules of its work are analyzed. The quality and stability of the modernized electric drive of the power cylinders were also evaluated. The system is tested for stability according to the Hurwitz and Mikhailov criteria, it is proved that the system is stable. The obtained high indicators of the transient process provide sufficient speed and stability of the control system of the electric drive of the machine for the production of cotton tape.

The work has practical value and its results after more detailed completion can be considered for use in this enterprise

## Зміст

	Арк
Вступ.....	6
1 Технологічна частина.....	8
1.1Технологія переробки бавовняної сировини.....	8
1.2Призначення , склад та робота машини для вироблення бавовняної стрічки типу ЧМ – 80.....	8
1.3Висновки.....	13
2. Конструкторсько-розрахункова частина .....	15
2.1Розрахунок і вибір електродвигуна головного руху.....	15
2.2Визначення динамічних і статичних навантажень привода головного руху.....	18
2.3Попередній вибір редуктора живлючих циліндрів.....	22
2.4Розрахунок і вибір електродвигуна живлючих циліндрів.....	23
2.5Визначення динамічних і статичних навантажень привода живлючих циліндрів.....	25
2.6Розрахунок клинопасової передачі на довговічність .....	26
2.7Аналіз існуючих систем керування електроприводом.....	28
2.8Структурна схема електропривода машини для вироблення бавовняної стрічки	32
2.9Модернізація принципової схеми керування електропривода машини для вироблення бавовняної стрічки.....	34
2.10. Модернізація системи керування електроприводом живлючих циліндрів.....	35
3. Оцінка якості та стійкості роботи електропривода живлючих циліндрів .....	41
3.1 Розробка структурної схеми САК.....	41
3.2 Розрахунок параметрів САК.....	42
3.3 Оцінка якості роботи САК за допомогою ПЕОМ.....	46
3.4 Визначення стійкості САК.....	48
Висновки .....	52
Література .....	53

## ВСТУП

Машини для вироблення бавовняної стрічки застосовуються на перших етапах обробки бавовни, що є дуже важливим моментом. Від якості очищення, прочісування та паралелізації бавовняних волокон залежить подальший технологічний процес створення тканини.

**Актуальність теми** полягає в тому, що сучасна текстильна промисловість знаходиться у стані повільного розвитку, тому що обладнання, зокрема електроприводи і схеми їх керування, автоматика, які використовуються, технічно застаріли.

Такими ознаками є: велика матеріалоемність, застаріла елементна база; низька надійність; не компактне розташування, що затрудняє обслуговування і ремонт; зони нечутливих елементів, що суттєво впливають на точність виготовлення бавовняної стрічки; недосконалість конструкцій, що призводить до частого виходу з ладу. Розвиток науки і техніки передбачає тісну взаємодію науки з практикою, широке здійснення комплексної механізації і автоматизації виробництва, керування електроприводами на основі застосування мікропроцесорної та обчислювальної техніки. Цей прогрес у рівній мірі відноситься і до процесу прочісування бавовняних волокон. Процес передбачає широке впровадження нових технологій, нових систем керування електроприводами, що суттєво дозволить підвищити точність та якість прочісування бавовни і збільшити продуктивність.

Дана проблема вирішується завдяки створенню нових автоматизованих систем очищення, корінним переоснащенням діючих підприємств, що значно підвищують якість роботи та продуктивність.

**Метою даної роботи** є удосконалення електроприводу машини для вироблення бавовняної стрічки ЧМ – 80 шляхом переходу на новіші засоби технічного забезпечення текстильної промисловості, сучасні засоби автоматизації технологічного процесу.

Це дозволить підвищити якість очищення бавовни, точність виготовлення бавовняної стрічки, знизить об'єм браку та збоїв у роботі машини, звільнити працівників від ручної праці при мінімально можливих затратах.

Для досягнення поставленої мети роботи необхідно вирішити наступні **завдання**:

- модернізувати дану модель, для цього необхідно замінити старе обладнання на сучасне;

- необхідно розробити нову систему автоматичного керування живленням машини для вироблення бавовняної стрічки, що дозволить отримувати на виході стрічку необхідної товщини з мінімальним відхиленням від заданого номеру;

провести дослідження модернізованої системи на якість та стійкість

## 1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 1.1 Технологія переробки бавовняної сировини

Ускладненням переробки бавовни є наявність грудочок різноманітних розмірів, характеру та ступеню щільності. Ці недоліки виникають в процесі отримання, або в процесі переробки волокон на текстильних підприємствах внаслідок несправності обладнання, порушення технологічних процесів, поганої роботи персоналу, який обслуговує цей процес.

Наявність грудочок та сміттєвих домішок у волокнах ускладнює технологічний процес переробки їх в прядінні, часто потрібна додаткова обробка, зменшується вихід пряжі та збільшується собівартість продукції. Крім того при недостатній очистці грудочки та домішки можуть бути зароблені в пряжу і, таким чином, погіршується її якість, а потім переходять у виріб, тканини та трикотаж, створюючи на них дефекти. Тому дефекти волокон потрібно обов'язково усувати.

Для видалення дефектів волокон застосовується спеціальне обладнання, до якого відноситься машина для вироблення бавовняної стрічки. В машині в процесі багатократного процесу проводиться розділення пучків волокон на окремі волокна. Також проводиться паралелізація та очищення волокон від сміттєвих домішок, видаляється пух та різноманітні пороки та вузли.

Після переробки волокон на машині для вироблення бавовняної стрічки сировина потрапляє на прядильні верстати для подальшої переробки бавовняних або синтетичних волокон.

### 1.2 Призначення, склад та робота машини для вироблення бавовняної стрічки типу ЧМ – 80

Машина для вироблення бавовняної стрічки типу ЧМ – 80 використовується в бавовнопрядильному виробництві текстильної промисловості та призначена для переробки волокон бавовни в стрічку при холстовому або бункерному завантаженні.

Основними вузлами машини для вироблення бавовняної стрічки ЧМ – 80 є (рис.1.1): остов, вузол живлення (подачі сировини), вузол приймального барабану, головний барабан, механізм приводу та очищення шляпочного полотна, механізм розриву, розпушувальний валик, знімний барабан, механізм знімання, випускний стіл.

Остов машини складається з двох підсилених ребрами жорсткості рам, з'єднаних чотирма зв'язками. На основі змонтовані всі контрприводи та елементи натягування приводних ремнів. З метою полегшення монтажу в остові встановлюються сопла видалення угарів з-під знімного барабану, головного барабану, приймального барабану та з'єднувальні сопла, а також нижня частина повітряних відводів системи знепилювання машини. Всі сопла підведені в камеру, з якої відсмоктуються усі угари, шляпочні паноси та пил в централізовану систему або в спеціальні ящики.

Шляпочні паноси видаляються пневматично через водухопровід із сопла, котрий має з лівої сторони машини постійний повітряний піддув для кращого видалення паносів, котрий йде від крестовини, до котрої підводиться стиснуте повітря.

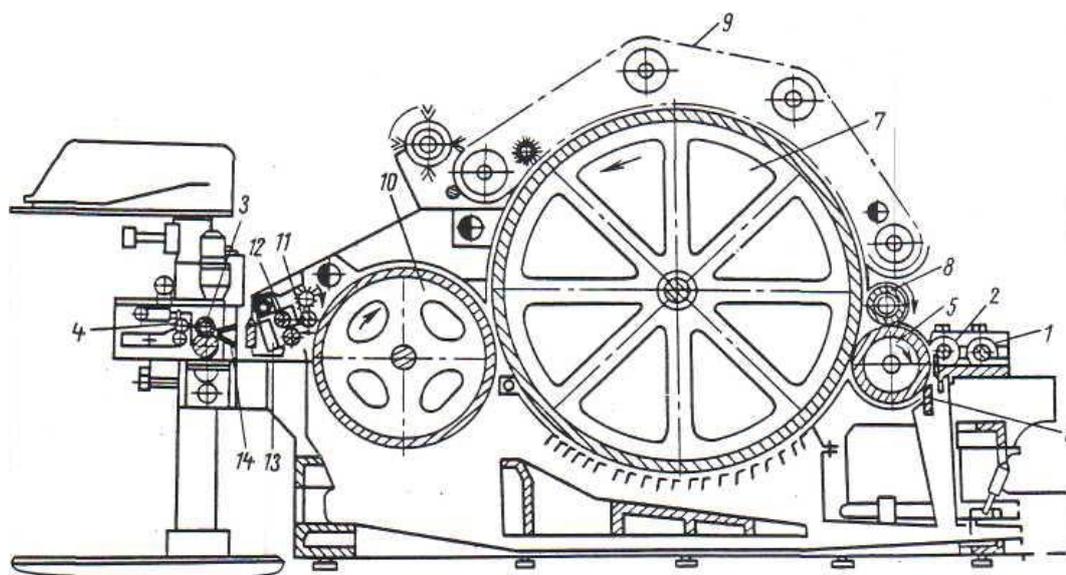


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд машини ЧМ – 80

(1,2 - живлючі циліндри, 3,4 – валики, 5,6 – вузол подачі сировини, 7 – головний барабан, 8 – валик, 9 – корпус, 10 – знімний барабан, 11,12 - механізм знімання, 13-поперечний транспортер, 14 - формуюча воронка)

Пил та пух, котрі виділяються при роботі машини, відсмоктуються постійно централізованим або груповим засобом через камеру з під кожуха знімного барабана через встановлені з обох боків машини повітровідводи.

Вузол живлення складається з живлячого столу та двох кронштейнів.

При роботі машини передній живлючій циліндр ущільнює шар бавовни, а задній живлючий циліндр прижимає шар бавовни до столу під дією чотирьох зібраних з тарільчастих шайб пакетів, котрі передають в межах від 75 і відповідно до 100 кг навантаження на кожний кінець живлючих циліндрів по ходу технологічного продукту.

На кронштейнах живлючого столу змонтовані важільні системи, призначені для подавання сигналу при утовщенні та утонченні шару бавовни на мікроперемикачі зупинки машини.

Вузол живлення кінематично вимикається поворотом маховика на мажорному валу.

Вузол приймаючого барабана призначений для попереднього розписування та очистки волокон від сміттєвих домішок.

Зверху та знизу приймаючий барабан по своєму периметру має закріплені на щоках листові кожухи.

На закріплених кронштейнах встановлений сміттєвідбійний ніж, котрий регулюється по висоті болтами.

Для торцевого ущільнення сміттєвідбійний ніж має тонкі пластини, які відхиляються.

Головний барабан є одним з основних робочих органів машини. Для приводу головного барабану з лівої сторони на валу встановлений плоский шків. Для передачі обертання черв'ячному редуктору привода шляпочного полотна і механізму очеса шляпок з правої сторони на валу встановлений шків.

По периметру головного барабану на торцевих радіально-регулюємих вкладках встановлені: задня плита, верхній ніж, відкидна плита, закладний ніж.

Знизу на радіально-регулюємих кронштейнах встановлена колосникова решітка, яка складається з двох частин.

Основним робочим елементом механізму привода та очищення шляпочного полотна є гребінь, який нахилено встановлений по відношенню до ширини шляпки. Гребінь отримує коливальний рух через встановлену на вісі важільну систему від ексцентрика, який знаходиться на шківі для привода черв'ячного редуктора. Для кращого відводу шляпочних очесів нижче гребня встановлений механізм розриву. Для кінцевої очистки шляпочного полотна вище гребня встановлений обтягнутий гольчатою гарнітурою очистний валик.

Механізм розриву складається з гольчатою планки, яка здійснює коливальний рух, двох утримувачів, двох шатунів і тяги. Він призначений для розділення складного шару шляпочних очесів на окремі полоски за допомогою гольчатої планки, яка рухається відносно своєї вісі і має привід від щімки очищення шляпочного полотна.

Валик розпушувальний встановлений за допомогою кронштейнів на рамах машини з розводкою відносно гарнітури приймаючого та головного барабанів, обертається в напрямку приймаючого барабану зі швидкістю, котра в два рази більше швидкості живлючого циліндра та служить для додаткового розпушування і вирівнювання шару волокнистої маси перед входом в зону чесання "головний барабан-шляпки". Очистка валика здійснюється приймаючим барабаном. Валик розпушувальний складається з обійчатки, обтягнутої цільнометалевою пильчатою стрічкою, обмежувачем якої по ширині навивки є реборда.

Знімний барабан обертається в сферичних шарикопідшипниках, змонтованих в діаметрально-роз'ємних корпусах. Для привода знімного барабану з лівої сторони на валу встановлено циліндричне зубчате колесо. Для передачі обертання через карданий вал живлючому циліндру з правої сторони встановлене конічне зубчате колесо.

Знімний валик обтягнутий цільнометалевою пильчатою стрічкою, змонтованою на радіально-сферичних шарикопідшипниках, розміщених в щоки. Знімний валик приводиться в рух від нижнього давильного валу.

Давильні вали представляють собою два металевих циліндра з високою чистотою поверхні. Очистка давильних валів здійснюється раклями.

Основним робочими елементами поперечних параметрів є дві безканавочні гумові стрічки з продольними паралельними рифлями з внутрішньої сторони для утримання них на вертикальних роликах, котрі мають такі ж самі рифлі.

Прочіс знімається знімним валиком і прижимається давильними валами, котрі мають гвинтові канавки з метою покращення виводу прочосу поперечними транспортерами формуючими виходячий з жала давильних валів прочіс в стрічку, ліквідуючи, тим самим, трикутник прочосу, котрий піддається в залежності від коливань температурно-зволожуючого режиму порушенню і обриву.

Випускний стіл закріплений за допомогою болтів до рам. В столі встановлений на шарикопідшипниках привідний вал. Від привідного валу здійснюється привід стрічкоукладача.

В машині для вироблення бавовняної стрічки ЧМ – 80 при бункерному живленні застосовується вузол живлення з двома живлючими циліндрами 1 і 2 та регулятор щільності стрічки з контролюємою товщину стрічки парою валиків 3 і регулюємою через шаровий варіатор витяжною парою валиків 4. При бункерному живленні бавовна потрапляє під задній живлючий циліндр 1, котрий має блокування на зупинку машини при утовщенні настилу бавовни, потім під передній живлючий циліндр 2; котрий має блокування на зупинку машини при утонченні настилу бавовни. Волокна, проходячи вище описаний технологічний процес чесання після виходу з поперечного транспортера 13 потрапляють у формуючу воронку 14 регулятора щільності стрічки, після чого сформована стрічка проходить через контрольну пару валиків 3 і витяжну пару валиків 4.

Регулятор щільності стрічки має межі регулювання на змінення товщини стрічки до  $\pm 20\%$ . Стрічка, проходячи регулятор щільності стрічки, йде через плющільні валики стрічкоукладача і укладається рівномірними кільцями в таз.

Технічні характеристики машини для вироблення бавовняної стрічки

Продуктивність, кг/год:

- для тонковолокнистої бавовни

20

- для середньоволокнистої бавовни	40
Засмічченість перероблюваних сумішей, %	до 5,5
Робоча ширина машини, мм:	1020
Довжина перероблюваного волокна, мм:	
- середньоволокнистої бавовни	28/29÷35/36
- тонковолокнистої бавовни	33/31÷41/42
Лінійна щільність виробляємої стрічки, ктекс	
- для середньоволокнистої бавовни	5,55÷3,33
- для тонковолокнистої бавовни	4,45÷2,5
Частота обертання основних робочих органів	
барабана приймаючого, об/хв:	
- для середньоволокнистої бавовни	800
- для тонковолокнистої бавовни	640
барабана головного, об/хв:	
- для середньоволокнистої бавовни	400
- для тонковолокнистої бавовни	320
барабана знімного, об/хв:	
- робоча швидкість	18,22÷38,73
- заправочна швидкість	2,2÷4,67
Електродвигун:	
привода приймаючого і головного барабанів:	
- тип	1PL3096-7ДВ20
- потужність, кВт	0,15/1,5
- частота обертання, об/хв	350,2900
привода щітки очищення знімного валика:	
- тип	АПН-12-2
- потужність, кВт	0,27/АПН-12-2
- частота обертання, об/хв	2800
привода механізму зміни тари	
- тип	АПН-11-2

- потужність, кВт	0,18
частота обертання, об/хв	2800
Габарити зі стрічкоукладачем, мм	
- довжина	3788
- ширина	1970
- висота	1710
Маса, кг	4800

### 1.3 Висновки

Проаналізувавши принцип дії машини для вироблення бавовняної стрічки ЧМ – 80, а також її роботу на виробничому підприємстві, можна зробити висновки:

□ на сьогоднішній час машина такої марки не може приносити прибутки підприємству, тому що існують набагато продуктивніші моделі. Обладнання машини для вироблення бавовняної стрічки ЧМ – 80 фізично та морально застаріле. Принцип дії окремих елементів машини також не дозволяє їй конкурувати із сучасними розробками;

□ для того, щоб модернізувати дану модель, необхідно замінити старе обладнання на сучасне. Деякі елементи системи керування та автоматики потрібно замінити новими. Також необхідно розробити нову систему автоматичного керування живленням машини для вироблення бавовняної стрічки, що дозволить отримувати на виході стрічку необхідної товщини з мінімальним відхиленням від заданого номеру. Внаслідок проведення усіх оновлень підвищиться якість оброблення бавовни, зменшиться кількість збоїв та простоїв у роботі, це дозволить машині для вироблення бавовняної стрічки ЧМ – 80 працювати на рівні сучасних моделей.

## **. КОНСТРУКТОРСЬКО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА**

### **2.1. Розрахунок і вибір електродвигуна головного руху**

Як відомо, тип електродвигуна вибирається з урахуванням ряду факторів, в першу чергу це:

- призначення механізму, для якого проектується даний привод;
- величини потужності, яка споживається;
- обмежень за масою, габаритними розмірами та умовами роботи приводу;
- режиму роботи й забезпечення відповідної механічної характеристики.

У даному випадку привод головного барабану машини для вироблення бавовняної стрічки призначений для подачі бавовняних волокон до пристрою чесання, тому електродвигун повинен забезпечувати тривалий режим роботи, графік якого зображено на рис.2.1. Пусковий момент  $M_n$  повинен бути достатнім для забезпечення розгону механізму з певним прискоренням. Одночасно потужність електродвигуна не повинна бути надзвичайно великою, щоб високі прискорення не вплинули негативно на роботу окремих механізмів машини.

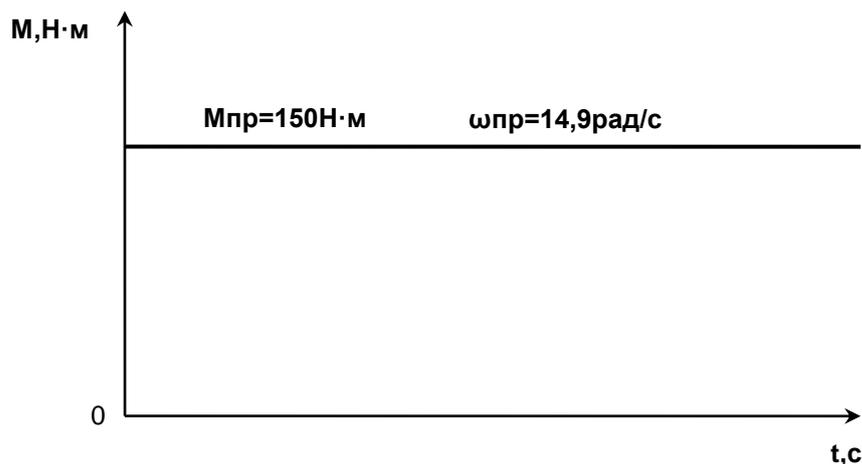


Рисунок 2.1– Графік навантаження електроприводу головного барабана

Спочатку визначимо корисну потужність, яка необхідна для приводу механізму за формулою:

$$P = M_{\text{пр}} \cdot \omega_{\text{пр}}, \quad (2.1)$$

де  $M_{\text{пр}}$  – момент корисного опору на приводному валу за графіком навантаження,  $\text{H}\cdot\text{м}$ ;

$\omega_{\text{пр}}$  – кутова швидкість приведенного валу,  $\text{с}^{-1}$ .

Враховуючи характер навантаження, одержуємо:

$$P = 150 \cdot 14.9 = 2241 \text{ Вт.}$$

Необхідну потужність електродвигуна визначаємо за формулою:

$$P_{\text{необх}} = \frac{P}{\eta_{\text{н.м}}}, \quad (2.2)$$

де  $\eta_{\text{н.м}}$  - коефіцієнт корисної дії передавального механізму, який визначається за формулою:

$$\eta_{\text{ГМ}} = \eta_{\text{ПП}} \cdot \eta_{\text{ПП}} \cdot \eta_{\text{ПП}} \cdot \eta_{\text{Підш}}, \quad (2.3)$$

де  $\eta_{\text{ПП}}$  – ККД пасової передачі;

$\eta_{\text{Підш}}$  – ККД підшипників.

Підставивши табличні значення вказаних елементів, отримаємо:

$$\eta_{\text{ГМ}} = 0,95 \cdot 0,95 \cdot 0,95 \cdot 0,97 = 0,83.$$

Таким чином отримуємо потужність:

$$P_{\text{необх}} = \frac{2241}{0,83} = 2700 \text{ Вт.}$$

Номінальну потужність  $P_{\text{ном}}$  встановлюваного електродвигуна визначаємо за довідником [7], виходячи із співвідношення:

$$P_{\text{ном}} \geq P_{\text{необх}}$$

Враховуючи, що електродвигуни змінного струму за масою на 50% легші та вимагають у 4,5 рази менших витрат міді порівняно з електродвигунами постійного струму, мають більш високий ступінь захисту, тому вибираємо трифазний асинхронний електродвигун змінного струму з короткозамкненим ротором, як найбільш простий, надійний і дешевий, технічні дані якого наведені у табл. 2.1:

Таблиця 2.1 – Характеристики електродвигуна 4A100S4У3

Параметр	Значення
1. Тип	4A100S4У3
2. Номінальна потужність, кВт	3
3. Номінальна частота оберт., об/хв	1435
4. Номінальний струм стат., А	6,7
5. ККД, %	82
6. $\cos \varphi$	0,83
7. Момент інерції, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$	0,0087
8. $M_{\text{п}} / M_{\text{ном}}$	2
9. $M_{\text{мін}} / M_{\text{ном}}$	1,6
10. $M_{\text{мак}} / M_{\text{ном}}$	2,4
11. $I_{\text{п}} / I_{\text{ном}}$	6
12. Маса, кг	36
13. Виконання	IP54

Таблиця 2.2 – Кінематичні і силові параметри привода головного руху

Параметр		Вал	Послідовність з'єднань елементів привода по кінематичній схемі	
			дв→ПП→ПП→ПП	
Потужність Р, кВт		1	3	
		2	2,85	
		3	2,707	
		4	2,242	
Частота обертання n, об/хв	Кутова швидкість $\omega, c^{-1}$	1	1435	150
		2	915,9	95,9
		3	443,7	46,5
		4	158,2	16,5
Параметр		Вал	Послідовність з'єднань елементів привода по кінематичній схемі	
			дв→ПП→ПП→ПП	
Обертаючий момент М, Н·м		1	20	
		2	29,7	
		3	58,2	
		4	135,8	

## 2.2. Визначення динамічних і статичних навантажень привода головного руху

Для того, щоб упевнитись у правильності вибору електродвигуна, а також у стабільності його роботи проведемо розрахунок рівняння руху електроприводу головного руху.

У загальному випадку усі сили та моменти, які діють у передавальному механізмі, діляться на:

- зовнішні або ті, що задані;
- внутрішні або реакція зв'язків;
- власної ваги та інерції складових частин передавального механізму;

Рухомий момент  $M_{рух}$ , прикладений до ведучої ланки передавального механізму – це обертаючий момент, який розвиває якір електродвигуна і направлений у бік обертання ведучої ланки. Внаслідок дії навантаження, які сприймає виконавчий механізм робочого органу при виконанні своїх функцій, а також сил тертя, виникають сили і моменти опору рухів і електроприводу. Тому вони діляться на сили і моменти позитивного та негативного опору. Позитивні – виникають при виконанні технологічного процесу: прикладені до робочого органу машини, при цьому направлені проти переміщення точок їх прикладення. Негативні – виникають при відносному русі складових частин передавального механізму і їхня дія на потужність електропривода враховують головним чином безпосередньо коефіцієнти корисної дії.

В нашому випадку електропривод головного барабана машини для вироблення бавовняної стрічки працює в усталеному режимі, тому навантаження електродвигуна є статичним. А як відомо, статичне навантаження визначається статичним моментом навантаження  $M_c$ :

$$M_c = M_\partial = \frac{P_\partial}{\omega_\partial}, \quad (2.4)$$

де  $P_\partial$  – номінальна потужність електродвигуна, Вт;

$\omega_\partial$  – номінальна швидкість електродвигуна,  $c^{-1}$ .

При зміні кутової швидкості електроприводу збільшується або зменшується частота обертання вала електродвигуна, тобто настає перехідний режим роботи електропривода. У цьому режимі на вал приводного електродвигуна окрім статичного моменту  $M_c$  діє і динамічний момент

$$M_{дин} = I_{пр} \frac{d\omega}{dt}, \quad (2.5)$$

де  $I_{пр}$  – приведений до вала двигуна момент інерції,  $кг \cdot м^2$ .

Таким чином, основне рівняння руху електроприводу має вигляд:

$$M_{рух} - M_c = \pm M_{дин}, \quad (2.6)$$

де “ – ” – при гальмуванні;

“ + ” – при розгоні.

Динамічне навантаження електроприводу зумовлене силами інерції, які виникають при русі його складових частин з прискорення або гальмуванням. Робота, здійснюється силами інерції може бути додатня, від’ємна або рівна нулю і враховується при перехідних процесах в електроприводі при зміні швидкості руху.

Знайдемо  $M_c$ :

$$M_c = \frac{P_k}{\omega_d \cdot \eta_{ПМ}}, \quad (2.7)$$

де  $P_k$  – потужність приводного валу, Вт:

$$M_c = \frac{2242}{150 \cdot 0.83} = 18 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Як відомо:

$$I_{ПР} = I_1 + I_2 \left( \frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 + I_3 \left( \frac{\omega_3}{\omega_1} \right)^2 + I_4 \left( \frac{\omega_4}{\omega_1} \right)^2; \quad (2.8)$$

де  $I_1 - I_4$  – моменти інерції валів механізму,  $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ ;

$\omega_1 - \omega_4$  – кутові прискорення валів механізму,  $\text{с}^{-1}$ .

Звідси:

$$I_{ПР} = 35 \cdot 10^{-3}, \text{ кг}\cdot\text{м}^2$$

Для обчислення кутового прискорення визначаємо час пуску двигуна за формулою:

$$t_{\text{пуск}} = \frac{I_{\text{пр}} \cdot \omega_{\text{ном}}}{M_{\text{п}}}, \quad (2.9)$$

де  $I_{\text{пр}}$  – приведений до валу двигуна момент інерції,  $\text{кг}\cdot\text{м}^2$

$\omega_{\text{ном}}$  – номінальна кутова швидкість вала двигуна,  $\text{с}^{-1}$ ;

$M_{\text{п}}$  – пусковий момент двигуна, Н·м.

$$M_{\text{п}} = \lambda \cdot M_{\text{н}}, \quad (2.10)$$

де  $\lambda$  – кратність пускового моменту до  $M_H$ ,

$M_H$  – номінальний обертовий момент двигуна, Н·м

Тоді:

$$t_{\text{пуск}} = \frac{35 \cdot 10^{-3} \cdot 150}{40} = 0,13 \text{ с.}$$

Як відомо, кутове прискорення можна визначити за формулою:

$$\xi = \frac{\omega_{\text{ном}}}{t_{\text{пуск}}} \quad (2.11)$$

Тоді:

$$\xi = \frac{150}{0,13} = 1051 \text{ с}^{-2}$$

Знайдемо динамічний момент  $M_{\text{дин}}$  за формулою (2.5):

$$M_{\text{дин}} = 35 \cdot 10^{-3} \cdot 1051 = 36,78 \text{ Н·м}$$

За основним рівнянням електропривода визначаємо рухомий момент, який розвиває двигун при пуску:

$$M_{\text{рух}} = k \cdot M_{\text{ст}} + M_{\text{дин}}, \quad (2.12)$$

де  $M_{\text{ст}}$  - момент корисного опору, приведений до валу двигуна, Н·м;

$k = 1 - \eta_{\text{ПМ}}$  - коефіцієнт, який враховує втрати на тертя при пуску електропривода.

Тоді:

$$M_{\text{рух}} = (1 - 0,83) \cdot 18 + 36,78 = 39,8 \text{ Н·м,}$$

що менше за  $M_{\text{П}}$ , тобто:

$$M_{\text{рух}} = 39,8 \text{ Н·м} < M_{\text{П}} = 40 \text{ Н·м}$$

Таким чином видно, що двигун працює у нормальному режимі.

Перевіримо електродвигун на перевантаження і перегрівання. Перевірка двигуна виконується для можливих несприятливих умов експлуатації, коли напруга

у мережі падає на 10% (це відповідає зменшенню обертового моменту двигуна на 19%), а навантаження досягає максимального значення.

Перевантаження і зупинка двигуна не відбудуться за умови:

$$M'_{об.МАХ} > M_{P.МАХ}, \quad (2.13)$$

де,  $M'_{об.МАХ}$  - максимальний обертовий момент, який розриває двигун при несприятливих умовах експлуатації, розраховується за формулою:

$$M'_{об.МАХ} = 0,81 \cdot M_{НОМ} \cdot K_T, \quad (2.14)$$

де,  $K_T$  - кратність максимального обертового моменту для вибраного електродвигуна.

Звідси:

$$M'_{об.МАХ} = 0,81 \cdot 20 \cdot 2,4 = 38,8 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Знайдемо  $M_{P.МАХ}$  - максимальний обертовий момент на валу двигуна, що створюється робочим навантаженням за формулою:

$$M_{P.МАХ} = \frac{M_{ПР.МАХ}}{(u_{ЗАГ} \cdot \eta_{ЗАГ})}, \quad (2.15)$$

де,  $M_{ПР.МАХ}$  - максимальний обертовий момент на приводному валу робочого органу машини;

$u_{ЗАГ}$  - передаточне число між двигуном та робочим органом машини.

Звідси:

$$M_{P.МАХ} = \frac{150}{9 \cdot 0,83} = 19,9 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Зробимо перевірку за умовою (2.13)

$$19,9 = M_{P.МАХ} < M'_{об.МАХ} = 38,8$$

Таким чином, перевірка електродвигуна за умовами нагріву та перевантажувальній здатності дала позитивні результати. Вибраний електродвигун має запас за температурою нагрівання. Тому можна вважати, що момент корисного опору не буде давати негативного впливу на працездатність двигуна на протязі його строку служби.

### 2.3. Попередній вибір редуктора живлючих циліндрів

Вибір типу редуктора робимо за умови:

$$M_m \geq M_{IP}, \quad (2.16)$$

де  $M_m$  - номінальний обертовий момент на тихохідному валу редуктора за каталогом, Н·м;

$M_{IP}$  - розрахунковий тривалодіючий момент на тихохідному валу, Н·м.

$$U_{НОМ} \approx U_P, \quad (2.17)$$

де  $U_{НОМ}$  - номінальне передаточне число редуктора;

$U_P$  - розрахункове передаточне число редуктора.

Знайдемо  $U_P$  за наступною формулою:

$$U_{НОМ} = \frac{\omega_\delta}{\omega_T}, \quad (2.18)$$

де  $\omega_\delta$  - номінальна швидкість обертання двигуна, рад/с;

$\omega_T$  - швидкість обертання тихохідного валу, рад/с;

Тоді:

$$U_{НОМ} = \frac{314}{0,5} = 628$$

Враховуючи обертовий момент на приводному валу  $M_{np} = 550$  Н·м і швидкість обертання живлючих циліндрів за довідником [5] вибираємо хвильовий редуктор типу В3. Так, як необхідне передаточне число дуже високе, беремо два однакових редуктори і з'єднуємо їх послідовно.

Таким чином дані редуктора В3:

$U_{НОМ} = 625$  – номінальне передаточне число;

$M_T = 600$  Н·м – номінальний обертовий момент на тихохідному валу редуктора;

$n_\delta = 3000$  об/хв – частота обертання вхідного вала;

$m = 7$  кг – маса редуктора;

$\eta = 0,72$  – ККД редуктора

## 2.4. Розрахунок і вибір електродвигуна живлючих циліндрів

У даному випадку привод живлючих циліндрів призначений для подачі шару бавовни до головного барабану машини для вироблення бавовняної стрічки, тому електродвигун повинен забезпечувати тривалий режим роботи, графік якого зображено на рис. 2.2.

При цьому потужність електродвигуна повинна бути достатньою для забезпечення оптимальної роботи живлючих циліндрів враховуючи всі навантаження.

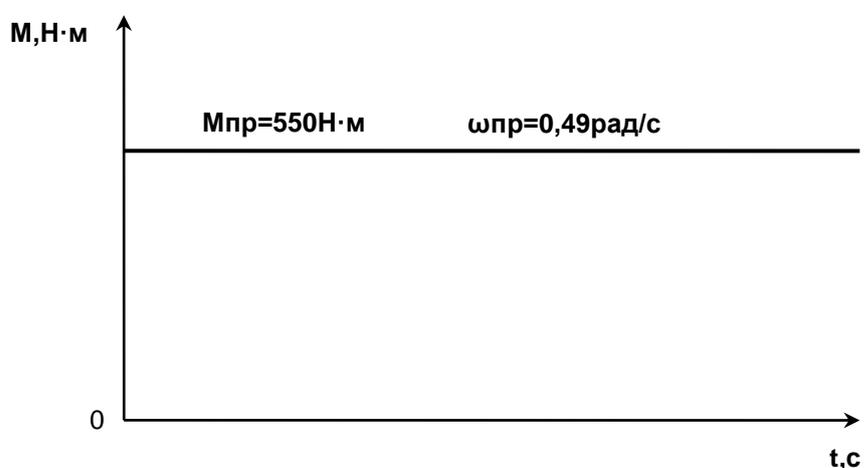


Рисунок 2.2 – Графік навантаження електроприводу

Визначаємо корисну потужність, яка необхідна для приводу механізму живлення машини для вироблення бавовняної стрічки за формулою (2.1):

$$P = 550 \cdot 0,49 = 269,6 \text{ Вт.}$$

Необхідну потужність електродвигуна визначаємо за формулою (2.2), попередньо розрахувавши коефіцієнт корисної дії передавального механізму, який визначимо за формулою:

$$\eta_{\text{ПМ}} = \eta_{\text{хв.р}} \cdot \eta_{\text{підш}}, \quad (2.19)$$

де  $\eta_{\text{хв.р}}$  - ККД хвильового редуктора;

$\eta_{\text{підш}}$  - ККД підшипників.

Тоді:

$$\eta_{ПМ} = 0,72 \cdot 0,97 = 0,69.$$

Визначимо необхідну потужність за формулою:

$$P_{необх} = \frac{P}{\eta_{ПМ}}, \quad (2.20)$$

де  $P$  – потужність на валу живлючих циліндрів, яка знайдена за формулою.

Тоді:

$$P_{необх} = \frac{269,6}{0,69} = 390,7 \text{ Вт}$$

Номінальну потужність  $P_{НОМ}$  встановленого електродвигуна визначаємо за довідником [2], виходячи із співвідношення:

$$P_{НОМ} \geq P_{необх} \quad (2.21)$$

До того ж швидкість обертання двигуна повинна бути достатньою, щоб відповідати передаточному числу вибраного раніше редуктора.

Враховуючи, що двигуни постійного струму забезпечують плавне регулювання швидкості у широких межах, мають відповідні механічні характеристики, дають змогу дістати достатню точність руху, тому вибираємо двигун постійного струму серії 2ПН90МГУХЛЧ з вбудованим тахогенератором з наступними характеристиками:

Номінальна потужність  $P_H = 0,55$  кВт.

Номінальна частота обертання  $n_H = 3000$  об/хв.

Кратність максимального обертового моменту  $\lambda_{МАХ} = 2,2$ .

Кратність пускового обертового моменту  $\lambda_{пуск} = 2,0$ .

Момент інерції  $I = 0.004$  кг·м<sup>2</sup>.

Маса  $m = 24$  кг.

Визначимо кінематичні і силові параметри привода живлючих циліндрів:

Потужність на валу двигуна:  $P_H = 550$  Вт

Потужність на валу живлючих циліндрів:  $P = 269,6$  Вт

Частота обертання на валу двигуна:  $n_H = 3000$  об/хв.

Частота обертання валу живлючих циліндрів:  $n_u = 4,7$  об/хв.

Кутову швидкість визначаємо за формулою:

$$\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60}, \quad (2.22)$$

де  $n$  – частота обертання валу, об/хв.

Кутова швидкість на валу двигуна буде рівна:

$$\omega_H = \frac{3000 \cdot 2 \cdot 3,14}{60} = 314,15 \text{ рад/с.}$$

Кутова швидкість валу живлючих циліндрів:

$$\omega_u = \frac{4,7 \cdot 2 \cdot 3,14}{60} = 0,49 \text{ рад/с.}$$

Обертовий момент двигуна розраховуємо за формулою:

$$M_{\text{об.}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\omega_{\text{НОМ}}}, \quad (2.23)$$

де  $P_{\text{НОМ}}$  - номінальна потужність на валу двигуна, Вт;

$\omega_{\text{НОМ}}$  - номінальна кутова швидкість.

Тоді:

$$M_{\text{об.}} = \frac{550}{314,15} = 1,75 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Обертовий момент на приводному валу визначаємо за формулою (2.23):

$$M_{\text{пр.}} = \frac{269,6}{0,49} = 550 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

## 2.5. Визначення динамічних і статичних навантажень привода живлючих циліндрів

Для складання рівняння руху електропривода живлючих циліндрів застосовуємо методику пункту 2.2.

Знайдемо статичний момент за формулою (2.7):

$$M_c = \frac{269,6}{314,15 \cdot 0,69} = 1,24 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Приводний момент інерції знайдемо за формулою (2.8):

$$I_{np} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Для обчислення кутового прискорення визначаємо час пуску двигуна за формулою (2.9):

$$t_{\text{пуск}} = \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot 314,15}{3,5} = 0,44 \text{ с.}$$

Визначаємо кутові прискорення за формулою (2.11):

$$\xi = \frac{314,15}{0,44} = 628 \text{ с}^{-1}$$

Знайдемо динамічний момент  $M_{\text{дин}}$  за формулою (2.5):

$$M_{\text{дин}} = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 628 = 3,14 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

За основним рівнянням електропривода визначаємо рушійний момент, який двигун повинен розвивати при пуску за формулою (2.12):

$$M_{\text{рух}} = (1 - 0,69) \cdot 1,24 \cdot 3,14 = 3,4 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

що менше пускового моменту, тобто:

$$M_{\text{рух}} = 3,4 \text{ Н} \cdot \text{м} < M_{\text{пуск}} = 3,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Таким чином, можна вважати, що пуск двигуна забезпечений.

Проведемо перевірку двигуна на перевантаження за методикою п.2.2.

Знаходимо  $M'_{\text{дв.МАХ}}$  за формулою (2.14):

$$M'_{\text{дв.МАХ}} = 0,81 \cdot 1,75 \cdot 2,2 = 3,1 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Знаходимо  $M_{\text{р.МАХ}}$  за формулою (2.15):

$$M_{\text{р.МАХ}} = \frac{550}{625 \cdot 0,7} = 1,25 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Робимо перевірку за умовою (2.13):

$$M_{\text{р.МАХ}} = 1,25 < M'_{\text{дв.МАХ}} = 3,1$$

Таким чином, теплова перевірка електродвигуна дала позитивний результат. Вибраний електродвигун має запас за температурою нагрівання при перевантаженні.

Вибраний у п. 2.3. редуктор хвильовий В3 вважаємо задовільним для приводу живлючих циліндрів. Умова (2.16) виконується:

$$M_m = 600 \text{ Н}\cdot\text{м} > M_{np} = 550 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Передавальне число  $U = 625$  вважаємо задовільним.

## 2.6. Розрахунок клинопасової передачі на довговічність

Як відомо, пас працює при змінних напруженнях, до того ж один цикл напружень відповідає повному пробігу пасу. Посередня оцінка довговічності паса може бути зроблена за умовою обмеження числа пробігів в одиницю часу,  $c^{-1}$ :

$$i = \frac{U}{l} \leq [i], \quad (2.24)$$

де  $U$  – швидкість паса, м/с;

$l$  – довжина паса, м.

Допустимо, число пробігів паса рекомендують  $[i] < 10 c^{-1}$  згідно [1] клинкових пасів.

Тоді:

$$i = \frac{8,5}{1,4} = 6,07 \text{ } c^{-1}$$

Як бачимо, умова (2.24) виконується, тому вважаємо довговічність паса у даній передачі задовільною. Уточнюємо строк служби паса. Позначимо, що за один пробіг паса число циклів напружень  $n$  (число шківів у передачі), то загальне число циклів зміни напружень до руйнування паса становить:

$$N = 3600 \cdot \ln \cdot h \cdot \nu, \quad (2.25)$$

де  $\nu$  – коефіцієнт, що враховує різний ступінь впливу напружень згину в пасі на малому та великому шківів ( $\nu=1$ ).

Проте відомо, що руйнування пасів обумовлене явищами втоми і для матеріалів пасів справедливе рішення кривої втоми:

$$\sigma_{MAX}^m \cdot N = \sigma_N^m \cdot N_0; \quad (2.26)$$

де  $\sigma_{MAX}$  – максимальне напруження у пасі при роботі передачі;

$\sigma_N$  - обмежена границя витривалості паса при базі випробувань  $N_0 = 10^7$ , в даному випадку  $\sigma_N = 9$  МПа;

$m$  – показник степені кривої втоми паса ( $m = 8$ ).

Підставивши вираз (2.25) в (2.24), знайдемо строк служби паса:

$$h = 10^7 \frac{(\sigma_N / \sigma_{MAX})^m}{3600 \cdot i \cdot n \cdot v}$$

Максимальне напруження у пасі визначаємо за методикою [1], беремо

$$\sigma_{MAX} = 6,8 \text{ МПа.}$$

Звідси :

$$h = 10^7 \frac{(9/6.8)^8}{3600 \cdot 6.07 \cdot 2 \cdot 1} = 2154 \text{ год}$$

Порівнявши це значення із середнім строком служби пасів при усереднених режимах навантаження згідно з ГОСТ 1284.2 – 89, бачимо, що визначений строк служби паса не менший за середній строк, який становить 2000 год. Тому отриманий строк служби вважаємо задовільним.

## 2.7. Аналіз існуючих систем керування електроприводом

Регулювати швидкість руху робочого органу виробничого механізму можна двома способами: зміною кутової швидкості приводного двигуна та зміненням передавального відношення механічних передач, котрі встановлюються між двигуном та робочим органом. Регулювання за рахунок змінення передавального відношення потребує встановлення коробки швидкостей, механічних варіаторів або інших пристроїв. При цьому способі, як правило, не вдається отримати плавного регулювання швидкості. По цим причинам регулювання швидкості намагаються здійснити регулюванням основної ланки перетворення механічної енергії – електродвигуна.

Змінення швидкості електропривода шляхом впливу на його електромеханічні параметри називається регулюванням. Регулювання швидкості, котре викликається ростом або зниженням навантаження і проходить у відповідності з властивостями механічної характеристики двигуна.

Можливі способи регулювання та керування в електроприводі підрозділяються на параметричні та автоматичні. Під параметричним способом розуміють зміну напруги, струму, частоти або іншого параметру шляхом встановлення нового значення, від котрого залежить механічна характеристика двигуна. Цей спосіб широко використовується в розімкнених системах електропривода, де зміна регулюємого параметру здійснюється автоматично в залежності від регулюємої величини за допомогою передбаченого для цієї мети зворотнього зв'язку, має місто автоматичне регулювання параметра, а регулюємий параметр буде здійснювати керуючий вплив.

Можливі три основних способи регулювання кутової швидкості двигунів постійного струму шляхом зміни: 1) зовнішнього опору в ланцюзі якоря двигуна: 2) магнітного потоку; 3) напругою, котра підводиться до якоря двигуна.

Зміна опору в ланцюзі якоря двигуна – спосіб регулювання, котрий часто називається реостатним, тому що в силовий ланцюг включаються резистори (реостати). Реостати повинні мати властивість проводити великі струми. Регулювання швидкості цим способом здійснюється при постійному моменті. Механічна потужність на валу двигуна зі змінням кутової швидкості буде знижуватись, а електрична буде незміною. Таким чином розглянутий спосіб регулювання відносно простий, але одночасно має наступні недоліки: при зниженні кутової швидкості охолодження двигуна погіршується, внаслідок чого статичне навантаження для запобігання перегрівання двигуна повинне бути знижене. А також для отримання низької швидкості в ланцюг якоря потрібно включати великий опір. Швидкість при незначних коливаннях навантаження нестабільна. При невеликих значеннях навантаження швидкість мало змінюється, навіть при включенні великих опорів.

Вказані недоліки дозволяють здійснювати регулювання швидкості обертання у діапазоні  $D_{\text{шн}} \approx 1:2$ . Також даний спосіб вимагає використовувати реостати великої маси для потужних двигунів.

Зміна магнітного потоку двигуна. Регулювання здійснюється змінням струму збудження у двигуна незалежного збудження та шунтуванням обмотки

опором шунтування у двигуна послідовного збудження. Так як магнітна система двигунів в номінальному режимі роботи насичена, то практично впливати на магнітний потік можливо тільки в напрямку його зменшення, в результаті чого кутова швидкість двигуна збільшиться. Цей спосіб простий та економічний, і тому дуже широко використовується, особливо для двигунів незалежного збудження. Плавність регулювання може бути достатньо високою. Даний спосіб відноситься до регулювання з постійною швидкістю. Діапазон регулювання для двигунів незалежного збудження  $D_{\text{пв}} = 3:1 \div 8:1$ .

Зміна напруги, котра підводиться до якоря двигуна є дуже поширеним способом регулювання швидкості двигуна. Спосіб регулювання здійснюється, як правило, за допомогою регулюємих джерел живлення: окремих, керованих електричних генераторів, керованих перетворювачів з використанням вентилів або тиристорів, електромагнітних або магнітних підсилювачів та інших пристроїв.

Напруга, котра підводиться на якір двигуна, як правило, змінюється в межах до номінального значення, а тому регулювання кутової швидкості можливе лише в сторону пониження від основної швидкості, котра визначається природньою характеристикою двигуна.

При змінненні електрорушійної сили перетворювача і, відповідно, напруги на якорі кутова швидкість двигуна змінюється пропорційно значенням живлючої напруги. Жорсткість характеристик залишається незмінною, так як опір ланцюга якоря двигуна не змінюється. У двигунів незалежного збудження кутова швидкість регулюється при номінальному магнітному потоку  $\Phi = \Phi_{\text{ном}}$ . Внаслідок цього в режимі навантаження двигуна струм в якорі при регулюванні швидкості не повинен використовувати роботу двигуна при перевищенні номінального значення.

Існують три основних системи регулювання швидкості електропривода постійного струму: “генератор - двигун”, де робочий двигун отримує живлення від електромагнітного перетворювача, котрий складається з керованого генератора постійного струму і двигуна, котрий обертає генератор; “керований випрямляч - двигун”, де двигун отримує живлення від керованих статичних перетворювачів. При живленні двигуна від магнітного підсилювача з виходом на постійний струм

система називається “магнітний підсилювач - двигун”, а від магнітного електричного підсилювача “електромагнітний підсилювач - двигун”.

Перевагою регулювання швидкості зміненням напруги за допомогою перетворювачів є той факт, що для змінення е.р.с перетворювача необхідно впливати не на параметри головного (силового) ланцюга, а на параметри ланцюга керування пристрою – струм збудження в електромагнітному перетворювачі, кут регулювання вентилів в керованому статичному перетворювачі, струм підмагнічування в магнітному підсилювачі. Потужності цих ланцюгів набагато менше потужності регулюємого двигуна, а тому питання про збільшення числа ступенів, а значить і плавності регулювання швидкості вирішується просто.

Система “генератор - двигун”. Зміною напруги на якорі двигуна, котрий приводить в рух робочий механізм, здійснюється регулювання електрорушійної сили генератора електромашинного перетворювача. Генератор приводиться до руху з постійною кутовою швидкістю приводним асинхронним двигуном. Обмотки збудження двигуна і генератора живляться від мережі постійного струму або від регулюємих джерел постійного струму (генератора збуджувача, тиристорного, електромашинного або магнітного підсилювачів). Будь-який режим приводного двигуна генератора можна отримати зміненням значення і знаку струму, що підводиться до якоря, та напруги, котра відрізняється від електрорушійної сили генератора на величину падіння напруги в опорах обмотки генератора.

Для того щоб змінити е.р.с. генератора, необхідно змінити магнітний потік генератора. Для цього змінюють струм збудження в обмотці збудження генератора за допомогою потенціометра. Так як напрямок обертання двигуна незмінний, то для зміни полярності е.р.с генератора користуються перемикачем полярності, в результаті чого змінюється полярність напруги на якорі двигуна та напрямок обертання валу.

Швидкість привідного двигуна робочого механізму регулюється нижче основної – зміною е.р.с. генератора при номінальному магнітному потоку двигуна, а вище основної швидкості – зменшенням магнітного потоку двигуна при номінальній е.р.с генератора.

При оцінюванні економічності регулювання слід мати на увазі, що в системі “генератор - двигун” здійснюється трикратне перетворення енергії. Кожна із ступеней перетворення супроводжується втратами електричної енергії, тому загальний коефіцієнт корисної дії достатньо низький.

Система “магнітний підсилювач - двигун”. Змінення напруги на зажимах якоря двигуна можна отримати за допомогою дроселів підмагнічування та магнітних підсилювачів, в ланцюзі робочих обмоток яких увімкненні некеровані вентилі.

Магнітний підсилювач відрізняється від звичайних дроселів наявністю ланцюга самопідмагнічування – внутрішнього зворотнього зв’язку по струму, за рахунок чого він має більший коефіцієнт підсилення, меншу масу і меншу інерційність.

Регулювання швидкості в системах “ магнітний підсилювач - двигун ” здійснюється випрямленою е.р.с. магнітного підсилювача. Основним недоліком цієї системи є низький ККД (до 30%), що обмежує її застосування у сучасних електроприводах.

Система “керований випрямляч - двигун”. Напруга на якорі двигуна змінюється за рахунок зміненні кута відкриття вентилів перетворювача (випрямляча). У зв’язку з цим електропривод, в якому перетворювальним пристроєм є керований статичний перетворювач, називається вентильним.

За допомогою вентильних перетворювачів енергія змінного струму перетворюється в енергію постійного струму і навпаки. Вентильні перетворювачі за рахунок більш високого ККД економічніші електромашинних та мають по відношенню з ними менші розміри і масу.

Для живлення якірних ланцюгів та обмоток збудження двигунів постійного струму найбільше розповсюдження отримали тиристорні перетворювачі. Електроприводи з такими перетворювачами називаються тиристорними.

В даній системі додаткові затрати, котрі зв’язані зі встановленням керованого випрямляча, повністю окуповуються високою керованістю систем, які забезпечують можливість ефективного автоматичного керування усіма режимами роботи

електропривода. Ці системи найчастіше використовуються в системах електропривода з автоматичним регулюванням. ККД. даної системи вище, ніж у системі «генератор – двигун» та інших. Маса набагато менша, ніж в описаних вище системах.

Таким чином із розглянутих виконавчих пристроїв для слідкуючих систем найбільш простішим, економічним і дешевим для застосування у якості привода живлючих циліндрів машини для вироблення бавовняної стрічки є двигун постійного струму з регулюванням швидкості зміною напруги в ланцюзі якоря. Для реалізації такого способу регулювання швидкості застосуємо систему “тиристорний перетворювач – двигун”. Для цього потрібно розробити відносно нескладну схему керування в порівнянні з іншими, яка забезпечить достатню точність відпрацювання розузгодження, що буде надійніше і ефективніше для даного технологічного процесу. Для приводу інших ланок машини для вироблення бавовняної стрічки застосуємо асинхронні електроприводи.

## **2.8. Структурна схема електропривода машини для вироблення бавовняної стрічки**

Електропривід машини для вироблення бавовняної стрічки ЧМ – 80 має у своєму складі п’ять електричних двигунів різної потужності, котрі приводять в рух окремі виробничі пристрої. В обертальний рух в машини для вироблення бавовняної стрічки приводяться такі основні частини як головний барабан, приймальний та змінний барабани, живлючі циліндри, щітка знімного барабану та механізм зміни тари, який вмикається при заповненні тари (рис.2.3).

Всі приводи, окрім привода живлючих циліндрів приводяться в рух асинхронними двигунами різної потужності, що мають загальний блок керування, в якому забезпечена їх оптимальна робота. Від одного двигуна забезпечується рух двох виконавчих пристроїв: головного та приймального барабанів. Рух від двигунів до робочих органів машини передається за допомогою передавальних механізмів. На механізмі головного, змінного та приймального барабанів встановлені кінцеві вимикачі, котрі попереджають аварійні ситуації, які можуть виникнути у виробничому процесі. До них відносяться: обрив бавовняної стрічки, утончення,

утовщення стрічки, забивання стрічководу та інші види захисту. Сигнали від вимикачів подаються до єдиного блоку автоматичного блокування та сигналізації, котрий живиться від блоку живлення змінного струму напругою 24В.

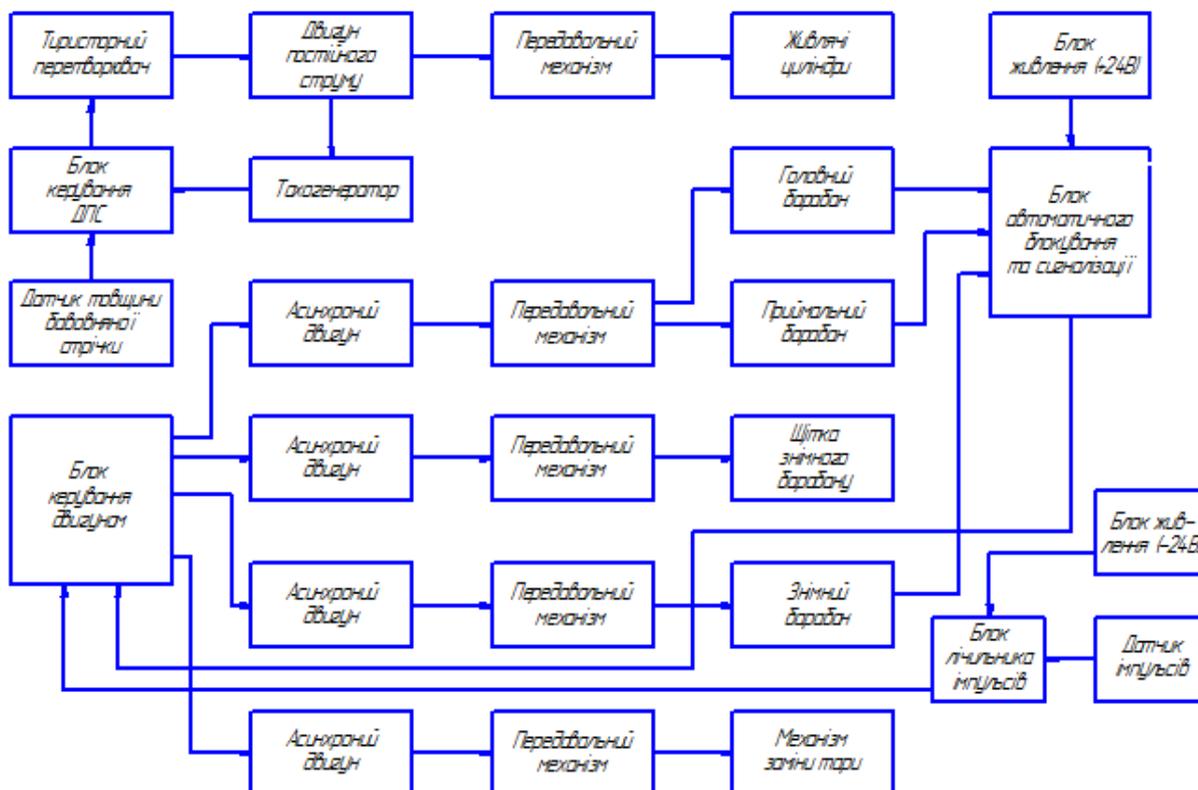


Рисунок 2.3 – Структурна схема електропривода машини для вироблення бавовняної стрічки

Механізм зміни тари також має окремий передавальний механізм. Асинхронний двигун механізму має зв'язок з блоком лічильника імпульсів, що створює сигнал для вмикання двигуна. Після вмикання двигуна створюється поворот механізму і відбувається зміна тари. Блок лічильника імпульсів живиться від блоку живлення постійного струму напругою 24В.

Електропривод живлючих циліндрів працює від двигуна постійного струму, котрий має власну систему керування та регулювання швидкості. Регулювання швидкості здійснюється за рахунок сигналу датчика товщини бавовняної стрічки та сигналу тахогенератора.

## 2.9. Модернізація принципової схеми керування електропривода машини для вироблення бавовняної стрічки

Модернізований привод машини складається з п'яти двигунів. Привод головного барабану та приймального вузла машини здійснюється асинхронним електродвигуном типу 4A100S4У3.

Привод системи “живлення – випуск” здійснюється від асинхронного двохшвидкісного електродвигуна типу IPL3090–2AA та двигуна постійного струму типу 2ПБ90М, привод очищувального валика здійснюється від двигуна АПН–12–2. Привод механізму зміни тазу здійснюється від електродвигуна АПН–11–2. В момент заміни тазу час роботи електродвигуна дорівнює приблизно 1,5 сек.

На машині для вироблення бавовняної стрічки встановлюються дві електромагнітні муфти, одна на мажорному валу системи живлення, друга на столі системи випуску. Муфти забезпечують включення системи “живлення – випуск” в нормальному технологічному режимі та роз'єднання кінематичного приводу при вимиканні. На машині встановлений клапан для пневмовидалення угарів, керований від програмного пристрою груповою системою пневмовидалення угарів.

Включення електродвигуна М2 привода знімного барабану здійснюється натисканням кнопки SB2, замикаються контакти магнітного пускача КМ3, у силовій частині, двигун починає рух на повільній швидкості. При натисканні SB4 двигун переходить на високу швидкість роботи за допомогою замикання контактів магнітного пускача КМ4 у силовому ланцюзі двигуна. При чому включення високої швидкості можливо лише після включення повільної.

При спрацюванні технологічних блокувань за допомогою кінцевих вимикачів SQ2 при утовщенні стрічки, SQ4 при утонченні стрічки або обриву бавовняного холста, SQ6 при забиванні стрічководу, SQ7 при обриві стрічки, заживлюються магнітні пускачі КМ13 та КМ16. Замикаються контакти контакторів, які вмикають реле часу КТ3 для зупинки електродвигуна М2, замикаються контакти сигнальної лампи НЛ3. Таким чином, при включенні електродвигуна М2 на повільну швидкість за допомогою магнітного пускача КМ11 вмикається муфта живлення та двигун очищувального валика М4. Час зупинки очищувального валика відраховується реле часу КТ4.

Контроль за наповнюванням тари здійснюється за допомогою встановленого на машині трьохзмінного лічильника, котрий отримує імпульси від контактної датчику SQ1. При заповненні тари замикається SQ1, що вмикає магнітний контактор KM18, який в свою чергу за допомогою своїх контактів та магнітних пускачів KM5 та KM6 змінює напрям обертання приводного двигуна M3. Також вмикається сигнальна лампа HL2 “наповнення тари” (рис. 2.5).

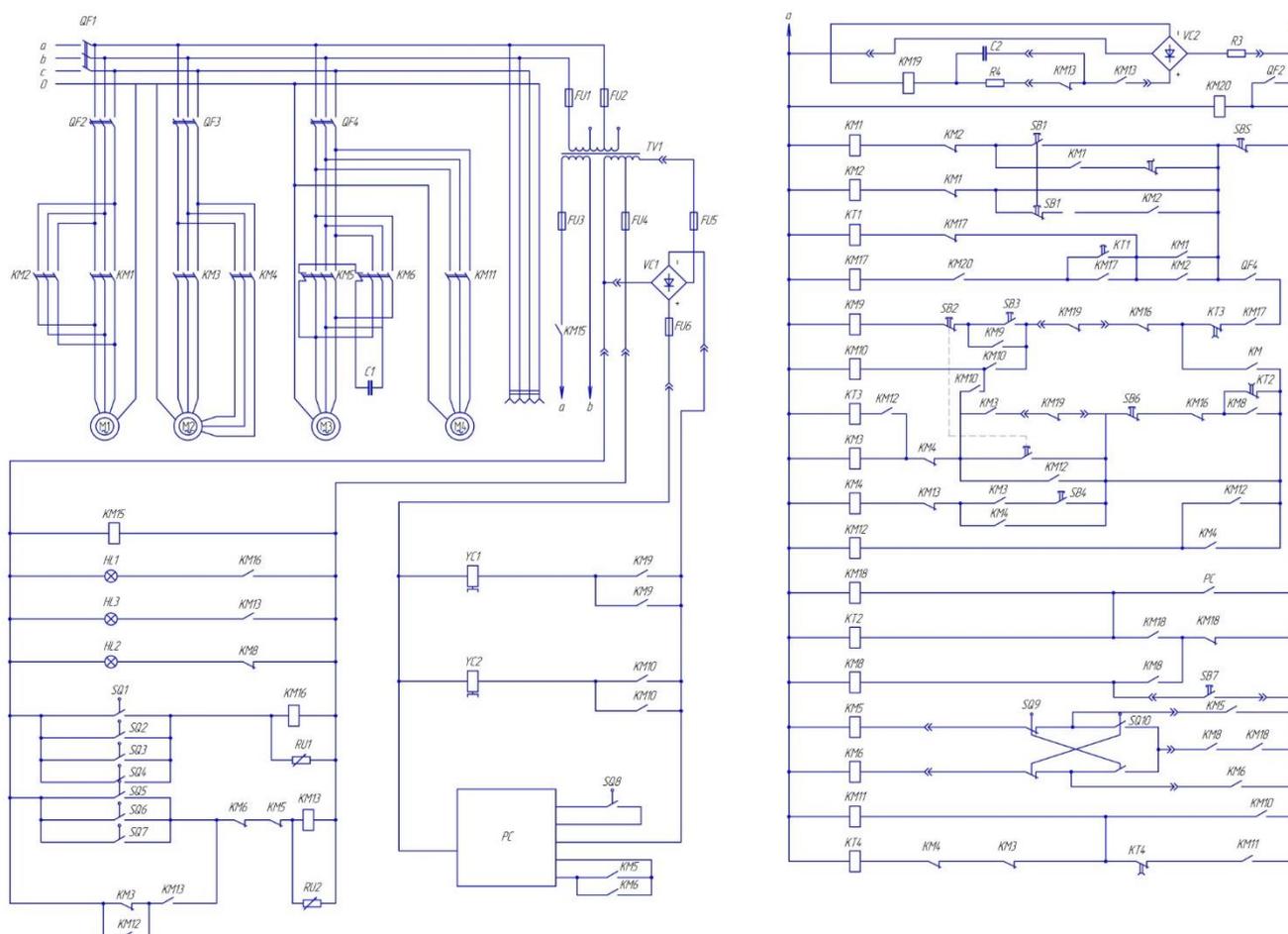


Рисунок 2.5 – Схема електрична схема принципова машини для вироблення бавовняної стрічки

## 2.10. Модернізація системи керування електроприводом живлючих циліндрів

Як відомо, електропривод з широким діапазоном регулювання можна отримати при використанні керованих напівпровідникових перетворювачів разом із пристроєм завдання швидкості та вузлами схем зворотніх з'язків.

Дана схема призначена для електроприводів невеликої потужності. В схемі використовується тиристорний перетворювач постійного струму (рис. 2.6). До

схеми входять: блок регулювання, блок силових вентиляторів, дроселі L1, L2, двигун М з обмоткою збудження, тахогенератор, задатчик швидкості та силовий трифазний трансформатор.

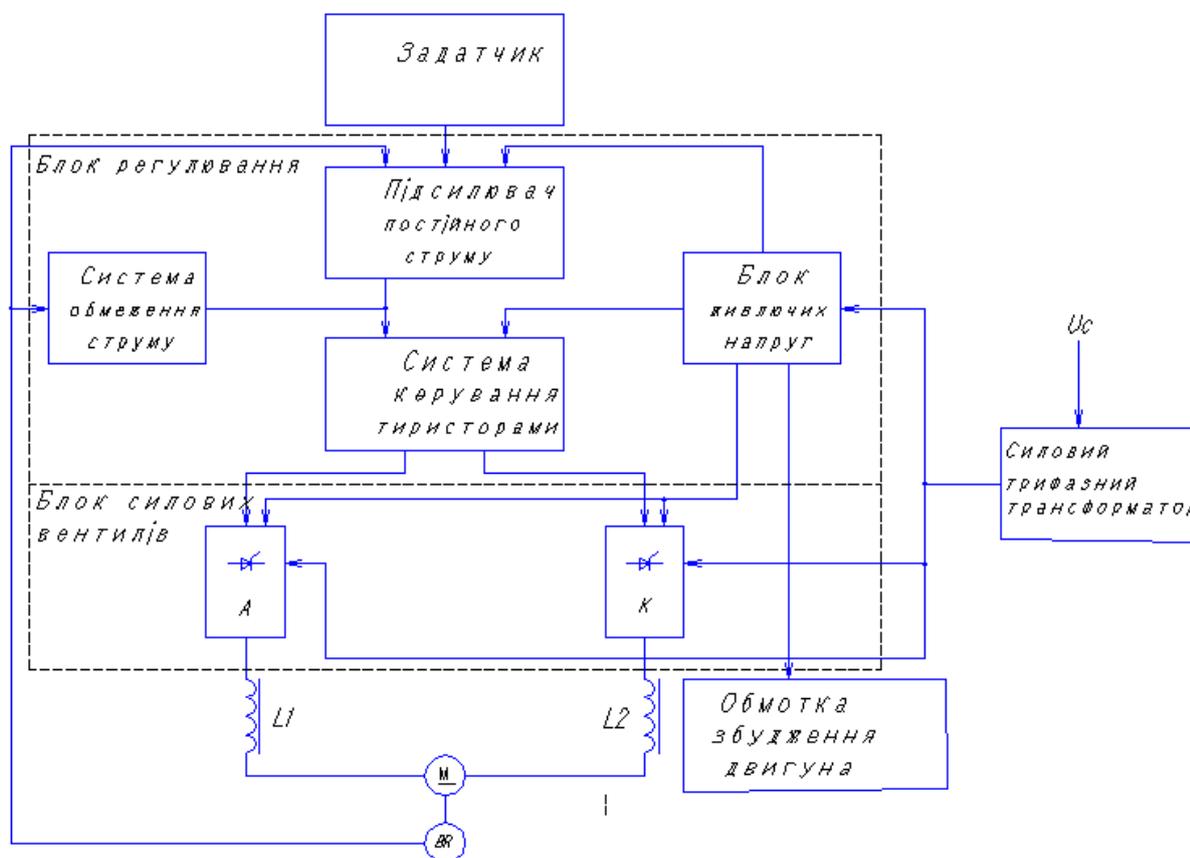


Рисунок 2.6 – Схема електрична функціональна ЕП живлючих циліндрів

Блок силових вентиляторів призначений для перетворення змінної напруги в регульовану випрямлену напругу. Він має анодну та катодну групи тиристорів, з'єднаних по трифазній силовій схемі, котра отримує живлення різної полярності і подає напругу на якір двигуна щоб здійснювати реверс. Тиристири живляться від вторинної обмотки силового трансформатора. Напівпровідниковий підсилювач призначений для підсилення сигналу розузгодження між задатчиком швидкості та фактичною кутовою швидкістю двигуна. Система обмеження струму здійснює обмеження пускових та гальмівних струмів та конструктивно виконана в блоці напівпровідникового підсилювача. Система керування тиристорами призначена для формування імпульсів керування анодною та катодною групами. Тиристири керуються за погоджувальним способом, погоджуванням їх кутів регулювання  $\alpha_2$ ,

по закону  $\alpha_1 + \alpha_2 = \pi$ , де  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$  – кути регулювання катодної та анодної груп вентилів. При такому способі регулювання, якщо один з перетворювачів працює в випрямляючому режимі, інший підготовлений до роботи в інверторному режимі і навпаки. Погоджувальний спосіб керування характеризується тим, що мають місця зрівнювальні струми в ланцюзі постійного струму. Для обмеження зрівнювальних струмів у блоці силових вентилів служать дроселі L1 та L2.

Блок живлючих напруг призначений для живлення ланцюгів підсилення обмотки збудження двигуна і складається з чотирьох трьохфазних випрямлячів та стабілізаторів напруги. Задатчик швидкості складається з трьох опорів, один з яких є резистивним датчиком товщини стрічки, і призначений для встановлення необхідної швидкості двигуна живлючих циліндрів.

Система керування тиристорами (рис. 2.7 – показаний перший канал) працює по вертикальному методу порівняння напруги постійного струму, котрий поступає з підсилювача, та розгортаючої синусоїдальної напруги.

Блок керування тиристорами складається з вузла складання напруг керування, нуль – органу (блокуючого генератора, виконавчого на операційному підсилювачі DA4), інвертора DA3 та підсилювача потужності DA6. На вхід кожного каналу подаються від трансформатора TV4, розміщеного в блоці живлючих напруг, три зсунутих по фазі на  $120^\circ$  відносно один одного синусоїдальних сигнали  $U_{оп}$ , амплітуда яких регулюється змінним резистором R28. Ланцюг R30, C38 є частиною фазозсувного та захисту від перешкод ланцюга і призначений для встановлення початкового кута керування тиристорами.

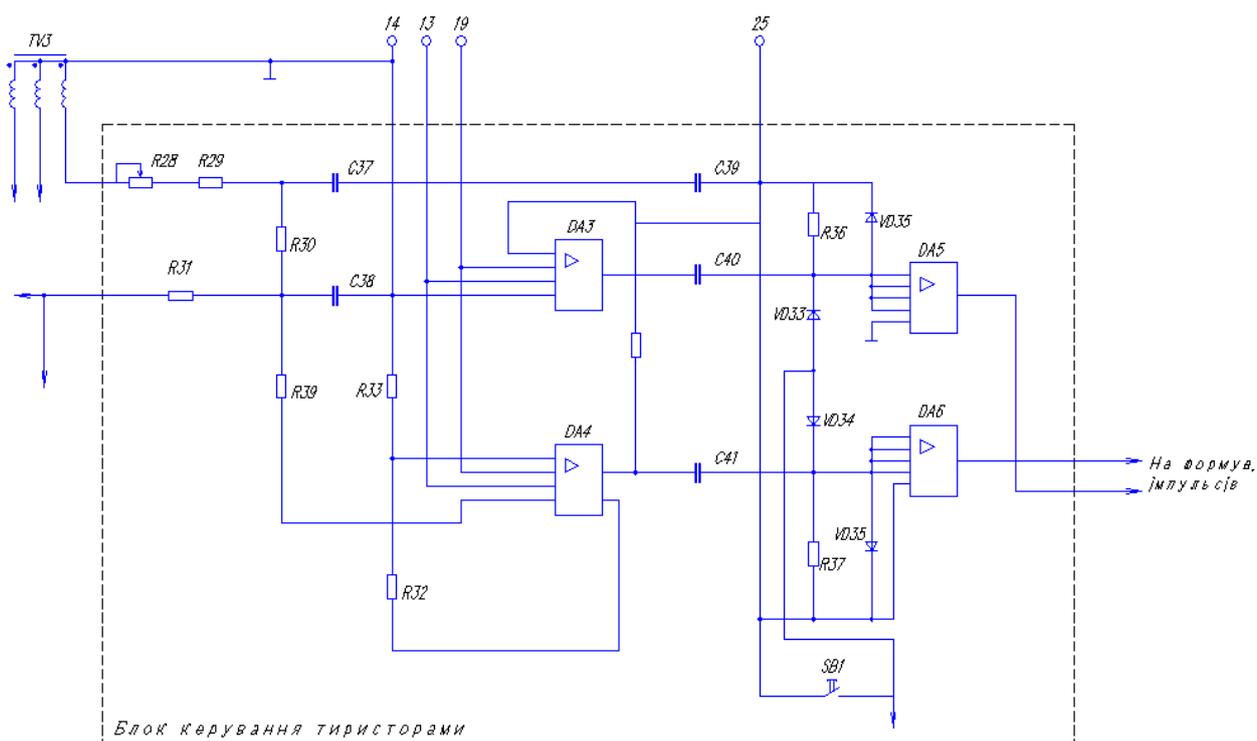


Рисунок 2.7 – Блок керування тиристорами

В точці А (рис. 2.8) складаються синусоїдальні напруги  $U_{оп}$  та керуюча напруга постійного струму  $U_{КЕР}$ , котра потрапляє з виходу підсилювача П. Сумарний сигнал точки А подається на вхід підсилювача DA4. В залежності від значення та знаку  $U_{КЕР}$  на виході DA4 змінюється ширина прямокутного імпульсів керування.

При  $U_{КЕР} = 0$  на виході DA4 з'являється напруга прямокутної форми з однаковою шириною додатніх та від'ємних частин (рядок графіків III). Після диференціювання конденсатором C40 на вході підсилювача DAS (точка B) з'являються два різнополярних імпульси, розташовані так, що кут відпирання тиристора VS1 катодної групи  $\alpha_1 = 90^0$  (рядок VIII, I). У відповідності з виразом  $E_d = E_{d0} \cdot \cos \alpha$  ( $E_d$  – середня випрямлена е.р.с.;  $\alpha$  – кут регулювання) напруга на виході випрямляча  $U_{вих} = 0$ . Другий імпульс керування тиристорами (рядок IV) в системі не використовується.

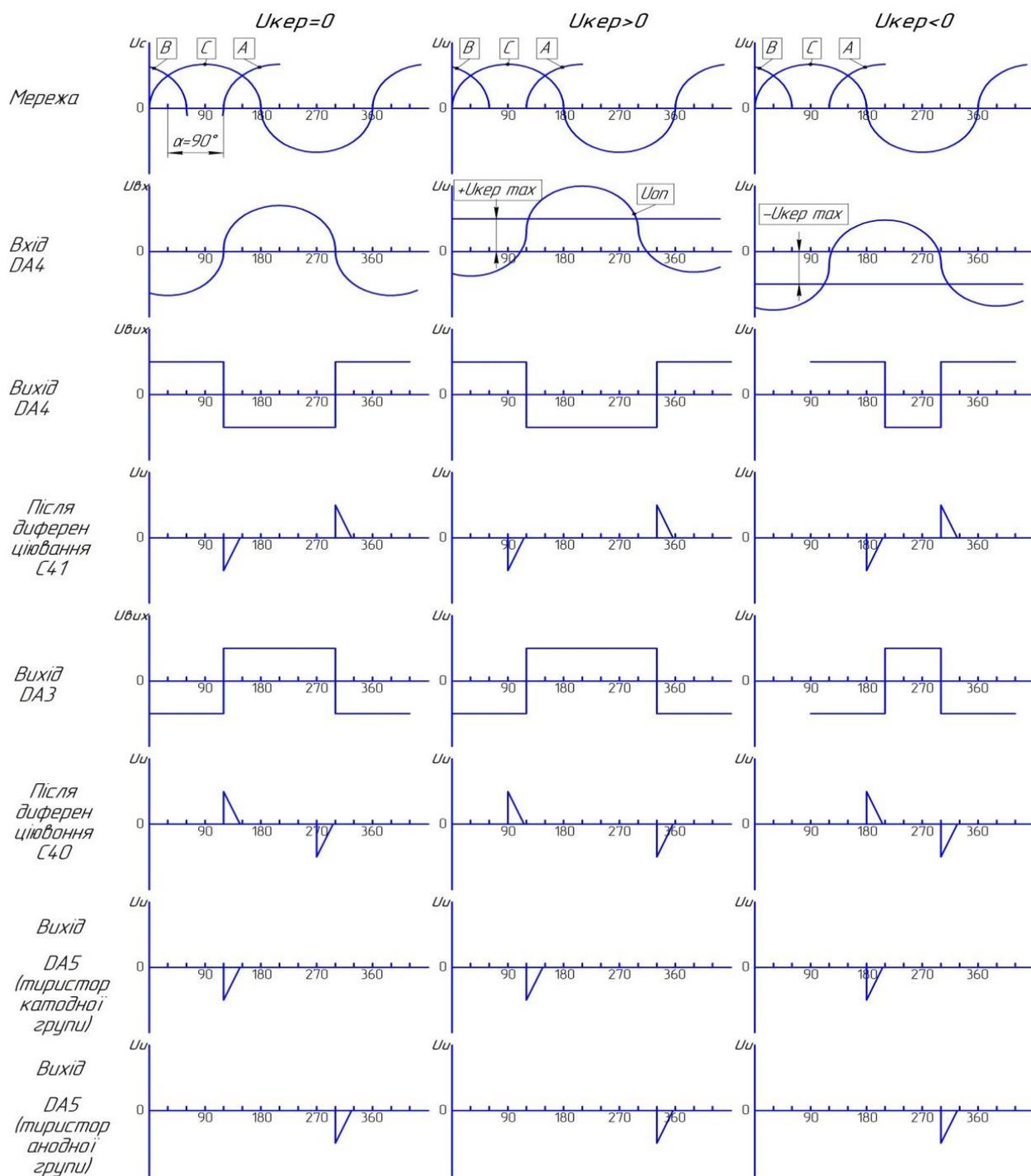


Рисунок 2.8 – Графіки роботи блоку керування тиристорами

Тиристор анодної групи VS4 для відтворення закону узгодженого керування в зсуві куту відпирання відносно катодної групи на  $180^\circ$  отримує імпульс від інверсного підсилювача DA3, вхід котрого з'єднаний з виходом підсилювача DA4 через резистор R35.

Прямокутна напруга на виході DA3 (рядок V) диференціюється конденсатором C41 та підсилюється підсилювачем DA6. З виходу DA6 імпульс, зсунутий на  $180^{\circ}$  по відношенню до імпульсу катодної групи (рядок VIII), потрапляє на керуючий електрод VS4. При керуючій напрузі синусоїда  $U_{КЕР} > 0$  або  $U_{КЕР} < 0$ , яка розгортається до опорної напруги  $U_{оп}$ , піднімається або опускається (рядок II). Імпульси керування розсуваються або зсуваються, що відповідає закону погоджувального керування.

Якщо імпульси керування тиристорами зсуваються так, що зменшується кут відпирання, наприклад анодної групи, то збільшується випрямлена напруга на якорі двигуна. Кутова швидкість двигуна також збільшується. При збільшенні навантаження на двигун його кутова швидкість зменшиться. Таким чином забезпечується надійне керування електроприводом.

### 3. ОЦІНКА ЯКОСТІ ТА СТІЙКОСТІ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ЖИВЛЮЧИХ ЦИЛІНДРІВ

#### 3.1 Розробка структурної схеми САК

Розробленій системі автоматичного регулювання товщини бавовняної стрічки на виході машини для вироблення бавовняної стрічки ЧМ – 80 та стабілізації швидкості двигуна відповідає структурна схема, приведена на рис. 3.1.

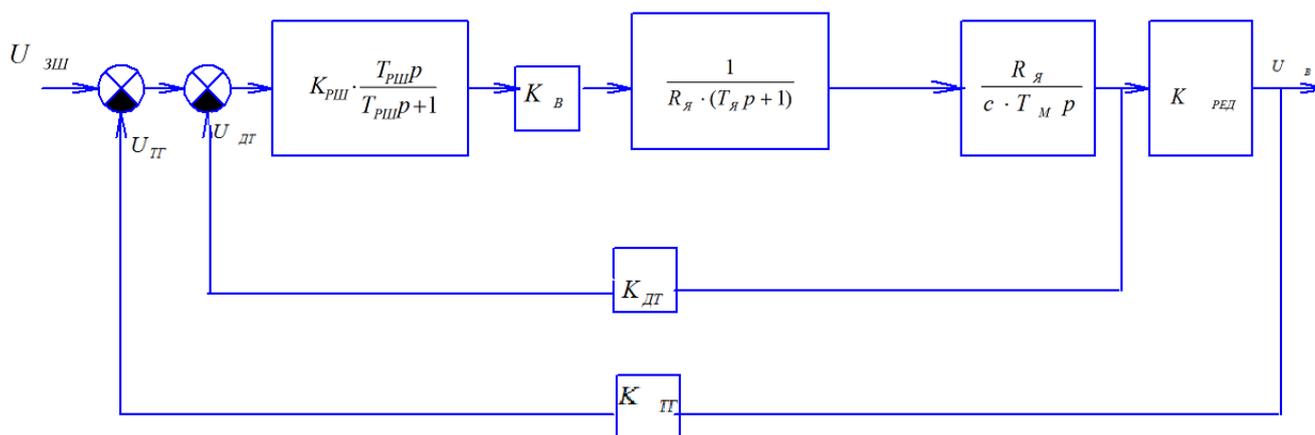


Рисунок 3.1 – Структурна схема САК електропривода живлючих циліндрів

Позначення на структурній схемі відповідають :

$U_{зш}$  – напруга завдання швидкості;

$U_{дт}$  – напруга датчика товщини стрічки;

$U_{тг}$  – напруга тахогенератора;

$U_{рш}$  – напруга на виході регулятора швидкості;

$U_{в}$  – напруга на виході керованого випрямляча;

$K_{рш}$  – коефіцієнт підсилення регулятора швидкості;

$T_{рш}$  – постійна часу регулятора швидкості;

$K_{в}$  – коефіцієнт підсилення керованого випрямляча;

$R_{я}$  – еквівалентний опір ланцюга якоря двигуна;

$c$  – конструктивна постійна двигуна;

$T_{М}$  – електромеханічна постійна двигуна;

$K_{m\omega}$  – коефіцієнт зворотного зв'язку по швидкості;

$K_{\omega m}$  – коефіцієнт зворотного зв'язку по товщині.

Дана замкнена автоматична система керування призначена для підтримання та регулювання швидкості електропривода. Система керування електроприводом живлючих циліндрів включає в себе такі елементи та пристрої: задатчик швидкості, елементи порівняння сигналів, регулятор швидкості, керований випрямляч, двигун, тахогенератор, редуктор, датчик товщини бавовняної стрічки.

Сигнали від тахогенератора та датчика товщини потрапляють на елементи порівняння, де вони складаються з сигналом задатчику швидкості. Результуючий сигнал потрапляє на регулятор, який, в свою чергу, формує сигнал для керованого випрямляча. Необхідна напруга потрапляє на якірну обмотку електродвигуна.

Якщо статичне навантаження збільшується, то кутова швидкість двигуна і напруга тахогенератора відповідно зменшуються. В результаті дії від'ємного зворотного зв'язку сигнал, який потрапляє з елемента порівняння збільшиться, що викликає збільшення напруги керованого випрямляча. Кутова швидкість двигуна збільшиться до заданого значення.

Якщо датчик товщини показує, що товщина стрічки збільшується, то спрацьовує від'ємний зворотній зв'язок. Сигнал потрапляє на елемент порівняння. Напруга на регуляторі зменшується, напруга керованого випрямляча зменшує швидкість двигуна.

### 3.2 Розрахунок параметрів САК

Розрахуємо параметри регулятора швидкості, коефіцієнт зворотного зв'язку по швидкості, параметри якірного ланцюга, редуктора та інші параметри структурної схеми.

Приведений до вала двигуна момент інерції згідно (п.2.5) рівний:

$$I_{np} = 0,005 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Вибраний раніше двигун постійного струму має вбудований тахогенератор з параметрами  $U = 220 \text{ В}$ ,  $n_{\max} = 4000 \text{ об/хв}$ .

Параметри настройки системи  $A=0,823$ ;  $B=0,2$ ;  $C=0,7$ .

Число фаз перетворювача  $m=6$ .

Визначимо коефіцієнт періодичності за формулою:

$$K_m = \frac{m}{\pi} \cdot \sin \frac{\pi}{m} \quad (3.1)$$

$$K_m = \frac{6}{\pi} \cdot \sin \frac{\pi}{6} = 0,955$$

Визначимо амплітуду лінійної напруги:

$$E_m = \sqrt{2} \cdot U_{л} \quad (3.2)$$

для мережі 220В:

$$E_m = \sqrt{2} \cdot 220 = 311 \text{ В}$$

Амплітуда опорної напруги рівна 10 В.

Визначимо коефіцієнт підсилення керованого випрямляча за формулою:

$$K_{\epsilon} = \frac{K_m \cdot E_m}{U_{он}} \cdot \pi \quad (3.3)$$

де  $K_m$  – коефіцієнт періодичності;

$E_m$  – амплітуда лінійної напруги, В;

$U_{он}$  – амплітуда опорної напруги, В.

$$K_{\epsilon} = \frac{0,955 \cdot 311}{10} \cdot \pi = 93,3$$

Активний опір якоря двигуна, приведений до температури  $80^{\circ}\text{C}$ , визначаємо за формулою:

$$R_{\partial\epsilon} = 1,24 \cdot (r_{я} + r_{\partial n}) \quad (3.4)$$

де  $r_{я}$  – опір якорної обмотки двигуна при температурі  $15^{\circ}\text{C}$ , Ом;

$r_{\partial n}$  – опір додаткових полюсів двигуна при температурі  $15^{\circ}\text{C}$ , Ом.

Тоді :

$$R_{\partial\epsilon} = 1,24 \cdot (3,99 + 2,55) = 8,1 \text{ Ом}$$

Активний опір силового трансформатора, приведений до вторинної обмотки

$$R_{mp} = 0,11 \text{ Ом}$$

Індуктивний опір силового трансформатора, приведений до вторинної обмотки

$$X_{mp} = 0,275 \text{ Ом}$$

Приведений активний опір трансформатора знайдемо за формулою:

$$R_{mp.np.} = 1,75 \cdot R_{mp} + \frac{3}{\pi} \cdot X_{mp}; \quad (3.5)$$

$$R_{mp.np.} = 1,75 \cdot 0,11 + \frac{3}{\pi} \cdot 0,275 = 0,455 \text{ Ом.}$$

Еквівалентний опір якірного ланцюга визначаємо за формулою:

$$R_{я} = R_{\text{дв}} \cdot R_{mp.np.} \quad (3.6)$$

$$R_{я} = 8,1 \cdot 0,455 = 8,55 \text{ Ом.}$$

Індуктивність трансформатора визначаємо за формулою:

$$L_{mp} = \frac{X_{mp}}{\omega_0}; \quad (3.7)$$

де  $\omega_0$  – кутова частота мережі живлення:

$$\omega_0 = 2\pi \cdot f,$$

$$\omega_0 = 2\pi \cdot 50 = 314 \text{ с}^{-1}.$$

тоді:

$$L_{mp} = \frac{0,275}{314} = 0,000876 \text{ Гн.}$$

Еквівалентна індуктивність якірного ланцюга:

$$L_{я} = L_{\text{дв}} + L_{mp}$$

$$L_{я} = 0,082 + 0,000876 = 0,082876 \text{ Гн.}$$

Електромагнітну постійну часу визначаємо за формулою:

$$T_{я} = \frac{L_{я}}{R_{я}}, \quad (3.8)$$

підставивши значення індуктивності та опору якірного ланцюга отримаємо:

$$T_{Я} = \frac{0,082876}{8,55} = 0,0096 \text{ с}$$

Електромеханічну постійну часу визначаємо за формулою:

$$T_M = \frac{I_{np} \cdot L_{Я}}{c^2}, \quad (3.9)$$

де  $c$  – коефіцієнт, що згідно (п.2.12) рівний 1.225 В/с.

$$T_M = \frac{0,003 \cdot 8,55}{1,225^2} = 0,017 \text{ с.}$$

Коефіцієнт зворотнього зв'язку по швидкості знайдемо за формулою:

$$K_{зи=} = \frac{E_{mг}}{E_{дв}}, \quad (3.10)$$

де  $E_{mг}$  – напруга тахогенератор, В;

$E_{дв}$  – відповідна напрузі тахогенератора електрорушійна сила двигуна.

$$E_{дв} = n_{мг} \cdot C_e, \quad (3.11)$$

де  $C_e$  – конструктивний коефіцієнт двигуна, який знаходимо за формулою:

$$C_e = \frac{U_{НОМ} - R_{дв} \cdot I_{НОМ}}{n_{НОМ}}, \quad (3.12)$$

де  $U_{НОМ}, I_{НОМ}, n_{НОМ}$  – номінальні параметри двигуна.

$$C_e = \frac{220 - 8,1 \cdot 14}{3000} = 0,0355 \text{ В/об/хв};$$

$$E_{дв} = 4000 \cdot 0,0355 = 142,1 \text{ В.}$$

Підставимо, отримані значення в (3.10) і отримаємо:

$$K_{mг=} = \frac{220}{142,1} = 1,54.$$

Резонансну частоту системи вибираємо  $\omega_p = 150$  рад/с.

Коефіцієнт підсилення регулятора швидкості визначаємо за формулою:

$$K_{пу=} = \frac{A \cdot T_M \cdot c \cdot T_{Я}}{0,49 \cdot K_{г} \cdot K_{mг} \cdot 6}, \quad (3.13)$$

де  $A$  – параметр настройки системи;

$c$  – коефіцієнт рівний 1,225 згідно попередніх розрахунків.

$$K_{pi=} = \frac{0,823 \cdot 0,017 \cdot 1,225 \cdot 0,0096}{0,49 \cdot 93,3 \cdot 1,54 \cdot 6} \cdot 150^2 = 0,06$$

Постійну часу регулятора визначаємо за формулою:

$$T_{pi=} = \frac{A \cdot c}{B \cdot \omega_p}, \quad (3.14)$$

де  $A$ ,  $B$ ,  $C$  – параметри настройки системи.

Тоді:

$$T_{pi=} = \frac{0,823 \cdot 0,7}{0,2 \cdot 150} = 0,0192 \text{ с.}$$

Згідно паспортних даних на резистивний датчик товщини стрічки SOB1 коефіцієнт передачі  $K_{om} = 32$ .

### 3.3 Оцінка якості роботи САК за допомогою ПЕОМ

Серед відомих методів дослідження електромеханічних систем в даний час широкого поширення набув метод комп'ютерного моделювання. В багатьох випадках, особливо при аналізі та синтезі складних нелінійних систем, цей метод є найбільш точним і дозволяє найбільш адекватно і детально відобразити процеси, що відбуваються в реальних системах.

Для моделювання розробленої системи керування електроприводом подачі бавовни машини для вироблення бавовняної стрічки використовуємо пакет прикладних програм Matlab, що є досить універсальним і орієнтованим на розрахунок перехідних процесів в неперервних, дискретних, дискретно-неперервних, лінійних і нелінійних, стаціонарних і нестаціонарних системах. Перехідні процеси можуть бути побудовані як у функції часу так і у фазовій площині. Результат розрахунків може виводиться у вигляді таблиці або графіка, причому можна отримувати вихідний сигнал на виході будь-якої ланки модельованої системи.

За допомогою моделюючої програми досліджуємо реакцію системи на вхідну задавальну дію у вигляді одиничної ступеневої функції  $U_s = 1$ . Отриманий графік перехідного процесу зображено на рис.3.2.

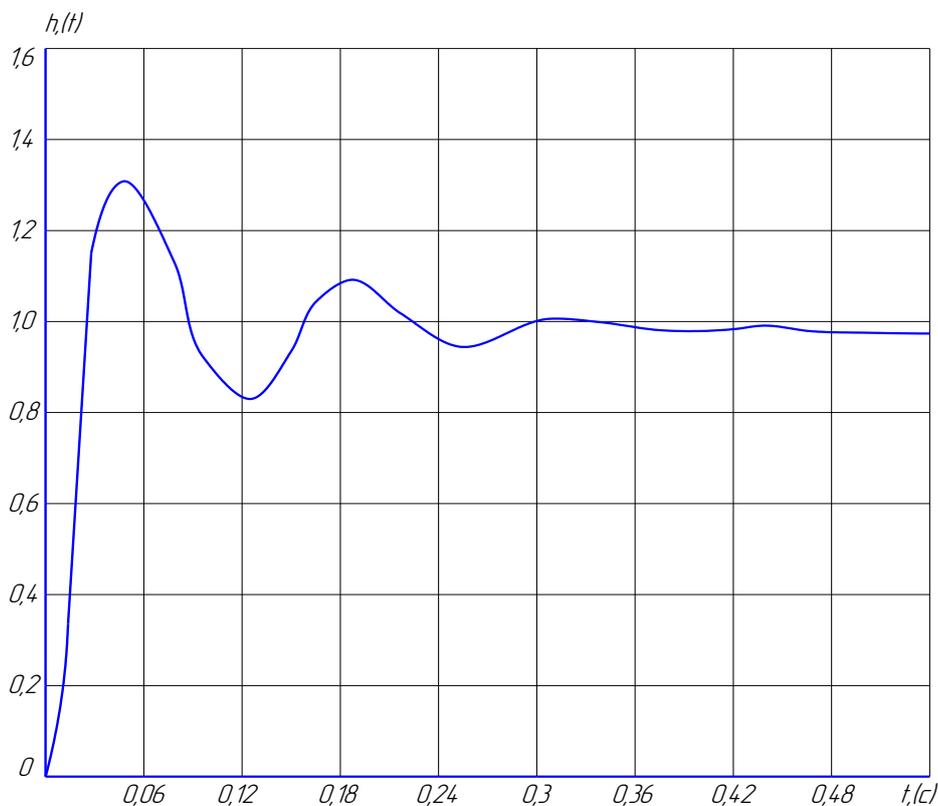


Рисунок 3.2 – Графік перехідного процесу САК

По графічних залежностях перехідного процесу оцінюємо якість процесу регулювання системи. Основними показниками якості є час регулювання, перерегулювання, коливальність, декремент згасання коливань.

Час регулювання  $t_p$  визначає тривалість перехідного процесу. Звичайно приймають, що по закінченню часу  $t_p$  відхилення регулюємої величини від значення, що встановилось, повинне бути не більше наперед заданої величини похибки  $\varepsilon$ , тоді, аналізуючи швидкодію перехідного процесу, отримуємо час регулювання  $t_p = 0,4$  с, ( $\varepsilon$  – приймаємо 5%).

Перерегулюванням називається максимальне відхилення регулюємої величини від усталеного значення, виражене в процентах:

$$\sigma\% = \frac{h_{\max} - h_0}{h_0} \cdot 100\% = \frac{A_1}{h_0} \cdot 100\% . \quad (3.15)$$

Для даного графіка перерегулювання становить:

$$\sigma = 30\% .$$

Коливальність систем характеризується числом коливань регулюємої величини за час регулювання  $t_p$ . Для досліджуваної системи цей показник становить близько 3 коливань.

Декремент затухання визначається із співвідношення:

$$\alpha = |h_{\max 1} - h_0| / |h_{\max 2} - h_0| \quad (3.16)$$

Підставивши значення амплітуд у формулу (3.16) отримаємо:

$$\alpha = \frac{1,3 - 1,0}{1,1 - 1,0} = 3.$$

Визначаємо період коливань в системі. Згідно графіку перехідного процесу  $T \approx 0,1$  с.

Таким чином, отримані високі показники перехідного процесу забезпечують достатню швидкодію і стійкість системи керування електроприводом машини для вироблення бавовняної стрічки ЧМ – 80.

### 3.4 Визначення стійкості САК

Система стійка, якщо вона повертається до усталеного стану після припинення дії збурення, що вивело її із стійкості.

Для визначення стійкості системи знайдемо передавальну функцію замкненої системи.

Передавальна функція I-го контуру системи:

$$W_I(p) = \frac{K_{PШ} \cdot \frac{T_{PШ} p}{T_{PШ} p + 1} \cdot K_{\epsilon} \cdot \frac{1}{R_{Я}(T_{Я} p + 1)} \cdot \frac{R_{Я}}{c \cdot T_M \cdot p}}{1 + K_{PШ} \cdot \frac{T_{PШ} p}{T_{PШ} p + 1} \cdot K_{\epsilon} \cdot \frac{1}{R_{Я}(T_{Я} p + 1)} \cdot \frac{R_{Я}}{c \cdot T_M \cdot p} \cdot K_{ТГ}}; \quad (3.17)$$

Після підстановки значень отримаємо:

$$W_I(p) = \frac{26,125 p \cdot 11,29}{8,16 \cdot 10^{-7} p^3 + 8,5 \cdot 10^{-5} p^2 + 2,38 p + 124,56};$$

Таким чином підставивши дані у формулу отримаємо:

$$\begin{bmatrix} 8,16 \cdot 10^{-7} & 3,686 & 0 \\ 0 & 8,5 \cdot 10^{-5} & 124,56 \\ 0 & 8,16 \cdot 10^{-7} & 3,686 \end{bmatrix} = 8,16 \cdot 10^{-7} \cdot 8,5 \cdot 10^{-5} \cdot 3,6 + \\ + 0 + 0 - 0 - 3,686^2 \cdot 0 - 124,56 \cdot (8,16 \cdot 10^{-7})^2 = 2,5 \cdot 10^{-10} - \\ - 8,29 \cdot 10^{-11} = 1,67 \cdot 10^{-10} > 0$$

З розрахунків видно, що за критерієм Гурвіца система стійка.

За критеріями Михайлова система стійка, якщо годограф Михайлова починається на додатній напіввісі комплексної площини, та проходить проти часової стрілки три квадранту комплексної площини (при третій степені оператора Лапласа  $p$ ). При збільшенні частоти годограф уходить до нескінченності у третьому квадраті.

З характеристичного рівняння (3.19) отримуємо рівняння 3-го порядку:

$$D(p) = 8,16 \cdot 10^{-7} p^3 + 8,5 \cdot 10^{-5} p^2 + 3,386 p + 124,56; \quad (3.21)$$

Зробимо заміну  $p \rightarrow j\omega$ :

$$D(j\omega) = 8,16 \cdot 10^{-7} (j\omega)^3 + 8,5 \cdot 10^{-5} (j\omega)^2 + 3,386(j\omega) + 124,56; \quad (3.22)$$

Перетворимо вираз (3.22) в наступний вид; враховуючи, що  $(j\omega)^3 = -j\omega^3$ ;

$$(j\omega)^2 = -\omega^2:$$

$$D(j\omega) = -j8,16 \cdot 10^{-7} \omega^3 - 8,5 \cdot 10^{-5} \omega^2 + j3,386 + 124,56; \quad (3.23)$$

Представимо вираз (3.23) в наступному виді:

$$D(j\omega) = X(\omega) + jY(\omega), \quad (3.24)$$

де  $X(\omega)$  – дійсна частина;

$Y(\omega)$  – уявна частина.

$$D(j\omega) = (124,56 - 8,5 \cdot 10^{-5} \omega^2) - j(3,686 - 8,16 \cdot 10^{-7} \omega^3). \quad (3.25)$$

Таким чином:

$$X(\omega) = 124,56 - 8,5 \cdot 10^{-5} \omega^2;$$

$$Y(\omega) = 3,686\omega - 8,16 \cdot 10^{-7} \omega^3.$$

Дослідження стійкості електропривода живлючих циліндрів машини для вироблення бавовняної стрічки проводимо на основі критерія Михайлова.

Результати обчислень  $X(\omega)$  та  $Y(\omega)$  при змінній значень від 0 до  $\infty$  зведені в таблицю 3.1. На основі результатів розрахунку на комплексній площині побудована крива Михайлова, графік якої зображено на рис. 3.3.

Таблиця 3.1 – Розрахунок годографа Михайлова

$\omega$	$X(\omega)$	$Y(\omega)$
0	124,56	0
1	124,45	3,86
100	123,71	367,78
200	121,16	730,67
500	103,31	1741
1000	39,56	2870
1200	0	3013
1300	-19,31	3381
1400	-42,04	2921,2
2000	-215	843,9
2100	-250	183
2125	-259	0
2150	-268	-184
2200	-286	-579
2300	-325	-1450
2500	-406	-3535
3000	-640	-10166
5000	-2000	-83570

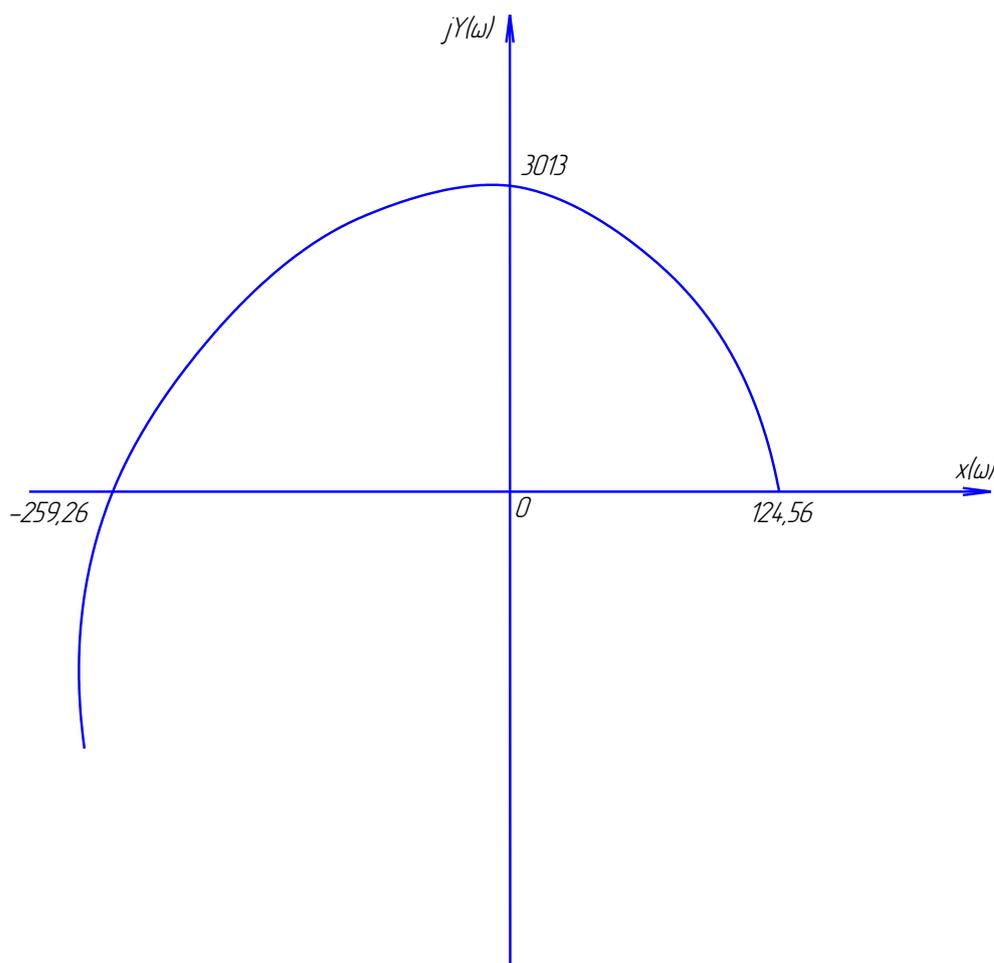


Рисунок 3.3 – Графік годографа Михайлова

Годограф Михайлова для характеристичного рівняння 3-го порядку починається на додатній напіввісі комплексної площини, та проходить проти часової стрілки 3-го квадранта комплексної площини при збільшенні частоти від 0 до  $\infty$  та уходить до нескінченності в III-му квадранті.

Дослідження системи, проведені за критеріями Гурвіца та Михайлова, свідчать що модернізована система електроприводу машини для виготовлення бавовняної стрічки є стійкою.

## ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі було проведено модернізацію електроприводу машини для вироблення бавовняної стрічки типу ЧМ-80. Проаналізовано переваги та недоліки даного електроприводу. Виявлено, що сучасна текстильна промисловість знаходиться у стані повільного розвитку, тому що обладнання, зокрема електроприводи і схеми їх керування, автоматика, які використовуються, є технічно застарілими, мають низьку надійність, некомпактне розташування, що ускладнює їх обслуговування і ремонт, застарілу елементну базу, значні зони нечутливих елементів, які суттєво впливають на точність виготовлення бавовняної стрічки; недосконалість конструкцій, що призводить до частого виходу з ладу.

Було проведено розрахунок та вибір двигуна головного руху, визначено статичні та динамічні навантаження на двигун, проведена перевірка електродвигуна за умовами нагріву та перевантажувальній здатності, яка дала позитивні результати. Виявлено, що вибраний електродвигун має достатній запас за температурою нагрівання.

Проведена модернізація принципової схеми керування електропривода машини для вироблення бавовняної стрічки, розроблена функціональна схема електроприводу живлючих циліндрів. Розроблена схема блоку керування тиристорами, проаналізовано графіки її роботи.

В роботі проведена оцінка якості та стійкості роботи модернізованого електропривода живлючих циліндрів, для чого розроблена структурна схема САК та розраховані її параметри. Проведена оцінка стійкості системи за критеріями Гурвіца та Михайлова, які довели, що система стійка.

Отримані високі показники перехідного процесу забезпечують достатню швидкодію і стійкість системи керування електроприводом машини для вироблення бавовняної стрічки ЧМ – 80.

Робота має практичну цінність і її результати після більш детальної доробки можуть бути розглянуті для використання на даному підприємстві.

## Література

1. Теорія електропривода. Підручник / М.Г. Попович, М.Г. Борисюк, В.А. Гаврилюк та ін.; за ред. М.Г. Поповича. – К.: Вища шк., 1993. – 494с.
2. Б.С. Гершунський. Основи електроніки і мікроелектроніки. – К.: Вища школа, 1997. – 422с.
3. А. А. Видмиш, Л. В. Ярошенко. Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1. / Навчальний посібник. – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 387 с.
4. В. М. Тарасов. Експлуатація компресорних установок. — М.: Машинобудування, 1987. – 136 с.
5. Воронежский А. В. Современные центробежные компрессоры. — М.: Премиум Инжиниринг, 2007. – 140 с.
6. Ключев В.И. Теория электропривода: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат. 1985. - 560с.
7. Моделювання електроприводів: Навч. посібник / Л.Д. Костинюк, В.І. Мороз, Я.С. Паранчук. - Львів: Видавництво Національного Університету «Львівська політехніка», 2004.- 404 с.
8. Тиристоры: Справочник / О.П. Григорьев, В.Я. Замятин, В.В. Кондратьев, С.Л. Пожидаев. - М.: Радио и связь, 1990. – 272 с.
9. Шефер О.В. Автоматизований електропривод загальнопромислових механізмів: конспект лекцій. – Полтава: ПолтНТУ, 2020. – 154 с.
10. Попович М.Г., Лозинський О.Ю., Клепиков В.Б. та інш. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи. Навч. посіб. за напрямом «Електромеханіка» / М.Г. Попович, О.Ю. Лозинський, В.Б. Клепиков та інш. – К.: Либідь, 2005. – 680 с. Ч1.
11. Попович М.Г., Лозинський О.Ю., Клепиков В.Б. та інш. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи. Навч. посіб. за напрямом «Електромеханіка» / М.Г. Попович, О.Ю. Лозинський, В.Б. Клепиков та інш. – К.: Либідь, 2005. – 680 с. Ч2.

12. Гульков Г.И. Системы автоматизированного управления электроприводами: учеб. пособие / Гульков, Ю.Н. Петренко, Е.П. Раткевич, ОЛ. Симоненкова; под общ. ред. Ю.Н. Петренко. – 2-е изд., испр. и доп. – Минск: Новое знание, 2007. – 394 с.
13. Файнштейн В.Г., Воробейчик О.С. Цифровые системы управления электроприводов: монография / Под редакцией Учителя Л.Д. – Кривой Рог: Издательство ГВУЗ «КНУ», 2014. – 159 с.
14. Лимонов Л.Г. Автоматизированный электропривод промышленных механизмов. – Х : – Изд-во «ФОРТ», 2009. – 272 с.
15. Шефер О.В., Єрмілова Н.В., Кислиця С.Г. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» – Полтава: НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2021. – 14 с.
16. В.Р. Асадченко. Расчет пневматических тормозов железнодорожного подвижного состава: Учеб. пособие для вузов ж.-д. транспорта. – М.: Маршрут, 2004.–120с.
17. А.А. Устинський, Б.М. Степенский, Н.А. Цибуля. Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте: уч-к для ВУЗов ж.-д. трансп., М.: Транспорт, 1985 г. - 439 с.
18. Правила улаштування електроустановок. Україна, вид. 5-е, перероб. і доп.: Видавництво «Мінпаливенерго»,– 2017. – 736 с.
19. Костин В.Н. Электропитающие системы и электрические сети: учебнометодический комплекс (учебное пособие) / В.Н. Костин .– СПб.: Изд-во СЗТУ, 2007 – 154с.
20. Галай М.В. Теорія автоматичного керування: неперервні та дискретні системи: Навчальний посібник. – Полтава: ПНТУ, 2002

# ДОДАТКИ

## 1. TECHNOLOGICAL PART

### 1.1 Technology of processing of cotton raw materials

A complication of cotton processing is the presence of lumps of various sizes, nature and degree of density. These shortcomings arise in the process of obtaining, or in the process of processing fibers in textile enterprises due to equipment failure, violation of technological processes, poor performance of personnel who service this process.

The presence of lumps and impurities in the fibers complicates the technological process of processing them into spinning, often requires additional processing, reduces the yield of yarn and increases the cost of production. In addition, with insufficient cleaning, lumps and impurities can be earned in the yarn and, thus, its quality deteriorates, and then pass into the product, fabric and knitwear, creating defects on them. Therefore, fiber defects must be eliminated.

To remove fiber defects, special equipment is used, which includes a machine for making cotton tape. In the machine in the process of multiple processes is the separation of fiber bundles into individual fibers. It also parallelizes and cleans the fibers from debris, removes down and various defects and knots.

After processing the fibers on the machine for the production of cotton tape, the raw material enters the spinning machines for further processing of cotton or synthetic fibers.

### 1.2 Purpose, composition and operation of the machine for production

cotton tape type World Cup - 80

The machine for production of a cotton tape like the World Cup - 80 is used in cotton spinning production of the textile industry and is intended for processing of cotton fibers into a tape at canvas or bunker loading.

The main components of the machine for the production of cotton tape World Cup - 80 are (Fig.1.1): frame, power supply unit (raw material supply), receiving drum unit, main drum, mechanism for driving and cleaning the hat blade, tearing mechanism, loosening roller, removable drum, mechanism removal, graduation table.

The frame of the machine consists of two frame-reinforced frames connected by four ties. All counter drives and tensioning elements of drive belts are mounted on the base. To facilitate installation in the frame, nozzles are installed to remove soot from under the removable drum, main drum, receiving drum and connecting nozzles, as well as the lower part of the air outlets of the dedusting system of the machine. All nozzles are brought into the chamber, from which all fumes, hat diarrhea and dust are sucked into the centralized system or into special boxes.

Cap diarrhea is removed pneumatically through a water line from the nozzle, which has a constant air blow on the left side of the machine for better removal of diarrhea, which goes from the cross to which compressed air is supplied.

#### Figure 1.1 - General view of the car World Cup - 80

(1,2 - feed cylinders, 3,4 - rollers, 5,6 - raw material supply unit, 7 - main drum, 8 - roller, 9 - housing, 10 - removable drum, 11,12 - removal mechanism, 13 - transverse conveyor, 14 - forming funnel)

Dust and down, which are released during the operation of the machine, are sucked out by a constantly centralized or group means through the chamber from under the cover of the removable drum through the air vents installed on both sides of the machine.

The power supply unit consists of a power table and two brackets.

When the machine is running, the front feed cylinder seals the cotton layer, and the rear feed cylinder presses the cotton layer to the table under the action of four packet

assembled from plate washers, which transmit in the range from 75 and up to 100 kg load on each end of the feed cylinders.

On the feed table brackets are mounted lever systems designed to give a signal when thickening and thinning the cotton layer on the microswitch to stop the machine.

The power unit is kinematically turned off by turning the flywheel on the major shaft.

The receiving drum unit is designed for pre-painting and cleaning the fibers from debris.

At the top and bottom of the receiving drum on its perimeter has sheet casings attached to the cheeks.

On the fixed brackets the garbage knife which is regulated on height by bolts is established.

For end sealing, the garbage knife has thin plates that deflect.

The main drum is one of the main working bodies of the machine. A flat pulley is mounted on the shaft to drive the main drum on the left side. A pulley is mounted on the shaft on the right side to transmit rotation to the worm gear reducer of the cap cloth drive and the mechanism of combing the caps.

Along the perimeter of the main drum on the end radially adjustable tabs are installed: rear plate, top knife, folding plate, mortgage knife.

At the bottom of the radially adjustable brackets is a grate, which consists of two parts.

The main working element of the mechanism of the drive and cleaning of a hat cloth is a crest which is inclined in relation to width of a hat. The comb receives oscillating motion through an axle-mounted lever system from an eccentric located on the worm gear drive pulley. For better removal of cap hairs below the crest, a rupture mechanism is

installed. A cleaning roller covered with a needle set is installed above the crest for the final cleaning of the hat cloth.

The mechanism of rupture consists of a needle bar, which performs oscillating motion, two holders, two connecting rods and a rod. It is designed to divide a complex layer of hat eyes into separate strips with a needle bar, which moves relative to its axis and has a drive from the cleaning pin of the hat cloth.

The loosening roller is mounted by means of brackets on the frames of the machine with wiring relative to the set of receiving and main drums, rotates in the direction of the receiving drum at twice the speed of the feed cylinder and serves for additional loosening and leveling the layer of fibrous mass before entering the entrance. the main drum-hat ”. The roller is cleaned by the receiving drum. The loosening roller consists of a shell covered with an all-metal saw tape, the limiter of which on the width of the winding is a flange.

The removable drum rotates in spherical ball bearings mounted in diametrically detachable housings. A cylindrical gear wheel is mounted on the shaft to drive the removable drum on the left side. A bevel gear is mounted on the right side to transmit rotation through the cardan shaft to the feed cylinder.

The removable roller is covered with an all-metal saw tape mounted on radial-spherical ball bearings placed in the cheeks. The removable roller is driven by the lower pressure shaft.

Pressure shafts are two metal cylinders with high surface cleanliness. Pressure shafts are cleaned with squeegees.

The main working elements of the transverse parameters are two grooveless rubber bands with longitudinal parallel grooves on the inside to hold them on vertical rollers that have the same grooves.

The comb is removed with a removable roller and pressed by pressure shafts, which have helical grooves in order to improve the output of the comb by transverse conveyors forming the protruding from the tip of the pressure shafts comb into the tape, thus eliminating the triangle of combing, which is subject to temperature fluctuations. precipice.

The final table is fixed by means of bolts to frames. The drive shaft is mounted on ball bearings in the table. The drive shaft is driven by the drive shaft.

In the machine for production of a cotton tape of the World Cup - 80 at bunker food the food unit with two feeding cylinders 1 and 2 and the regulator of density of a tape with the controlled thickness of a tape by pair of rollers 3 and adjustable through a ball variator by an exhaust pair of rollers 4 is applied. the feeding cylinder 1, which has a lock to stop the machine when thickening the cotton flooring, then under the front feeding cylinder 2; which has a lock to stop the machine when thinning the cotton flooring. The fibers, passing the above-described process of combing after leaving the transverse conveyor 13 fall into the forming funnel 14 of the belt density regulator, after which the formed tape passes through the control pair of rollers 3 and the exhaust pair of rollers 4.

The tape density regulator has limits of adjustment on change of thickness of a tape to  $\pm 20\%$ . The tape, passing the regulator of density of a tape, goes through flattening rollers of a tape-layer and keeps within uniform rings in a basin.

Technical characteristics of the machine for production of a cotton tape

Productivity, kg / h:

- for fine-fiber cotton 20

- for medium-fiber cotton 40

Contamination of recycled mixtures,% up to 5.5

Working width of the car, mm: 1020

Length of the processed fiber, mm:

- medium-fiber cotton  $28/29 \div 35/36$
- fine-fiber cotton  $33/31 \div 41/42$

Linear density of the produced tape, ktex

- for medium-fiber cotton  $5.55 \div 3.33$
- for fine-fiber cotton  $4,45 \div 2,5$

Frequency of rotation of the main working bodies

receiving drum, rpm:

- for medium-fiber cotton 800
- for fine-fiber cotton 640

drum head, rpm:

- for medium-fiber cotton 400
- for fine-fiber cotton 320

removable drum, rpm:

- working speed  $18.22 \div 38.73$
- refueling speed  $2.2 \div 4.67$

Electric motor:

drive of the receiving and main drums:

- type 1PL3096-7DV20
- power, kW  $0,15 / 1,5$

- speed, rpm 350,2900

drive brush cleaning removable roller:

- type APN-12-2

- power, kW 0,27 / APN-12-2

- speed, rpm 2800

drive mechanism for changing containers

- type APN-11-2

- power, kW 0.18

speed, rpm 2800

Dimensions with a tape stacker, mm

- length 3788

- width 1970

- altitude 1710

Weight, kg 4800

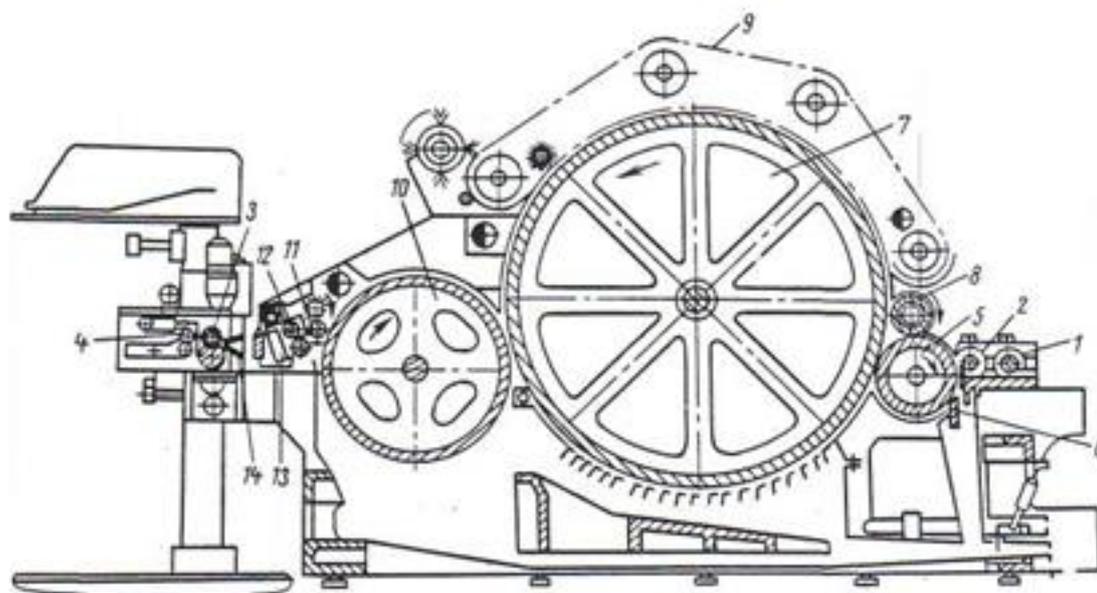
### 1.3 Conclusions

After analyzing the principle of operation of the machine for the production of cotton tape World Cup - 80, as well as its work at the production plant, we can conclude:

- Today, a car of this brand can not bring profit to the company, because there are much more productive models. The equipment of the machine for the production of cotton tape World Cup - 80 is physically and morally obsolete. The principle of operation of individual elements of the machine also does not allow it to compete with modern developments;

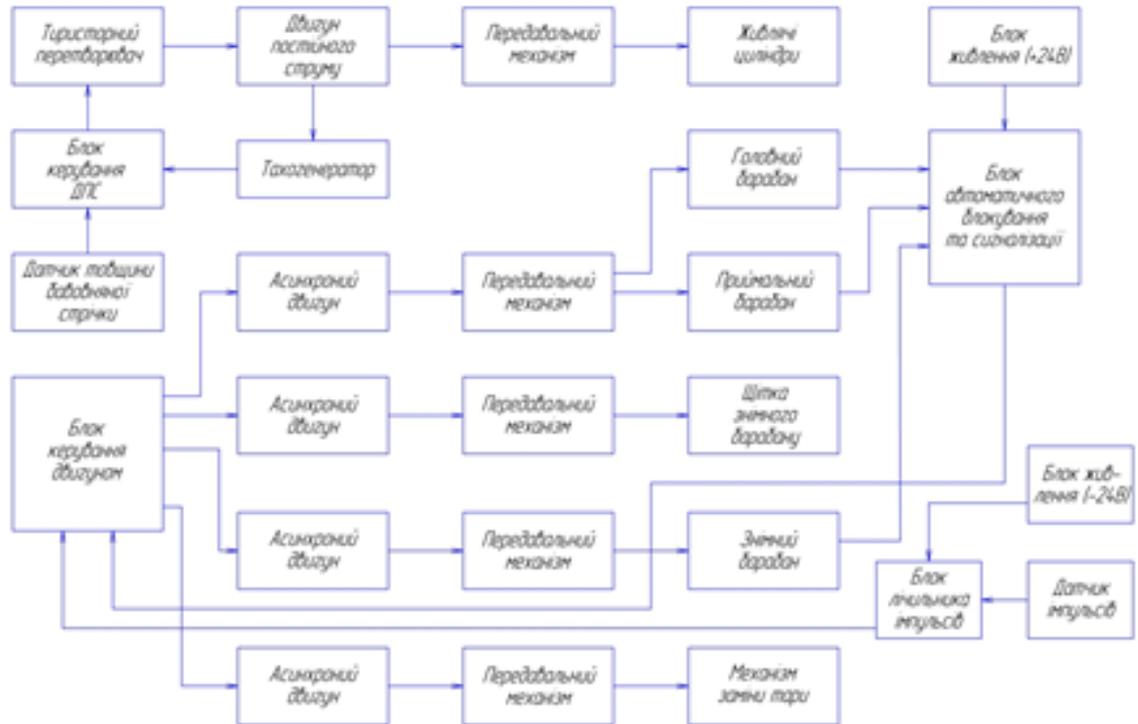
- in order to upgrade this model, it is necessary to replace the old equipment with modern ones. Some control and automation elements need to be replaced with new ones. It is also necessary to develop a new system of automatic power control of the machine for the production of cotton tape, which will receive the output tape of the required thickness with minimal deviation from the specified number. As a result of all the updates, the quality of cotton processing will increase, the number of failures and downtimes will decrease, this will allow the machine for the production of cotton tape World Cup - 80 to work at the level of modern models.

## Загальний вигляд машини типу ЧМ – 80

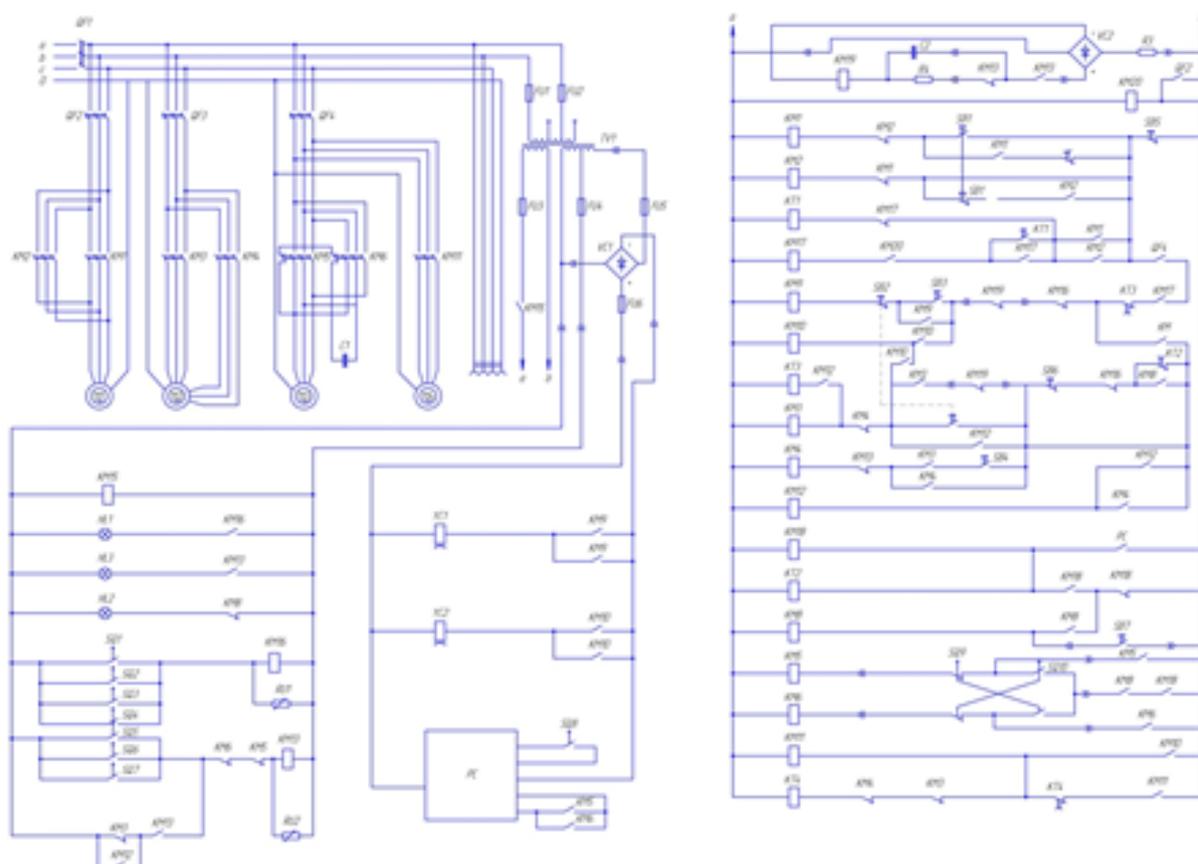


1,2 - живлючі циліндри, 3,4 - валики, 5,6 - вузол подачі сировини, 7 - головний барабан, 8 - валик, 9 - корпус, 10 - знімний барабан, 11,12 - механізм знімання, 13 - поперечний транспортер, 14 - формуюча воронка

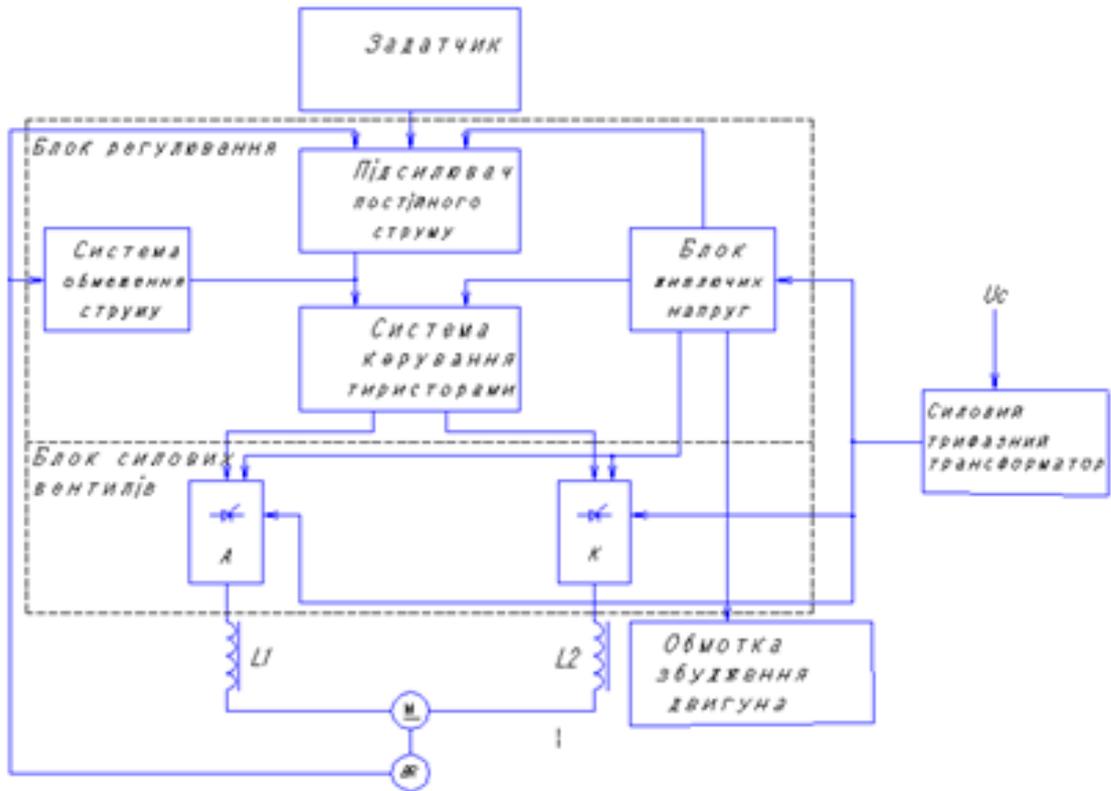
Електропривод машини типу ЧМ – 80. Схема структурна електрична



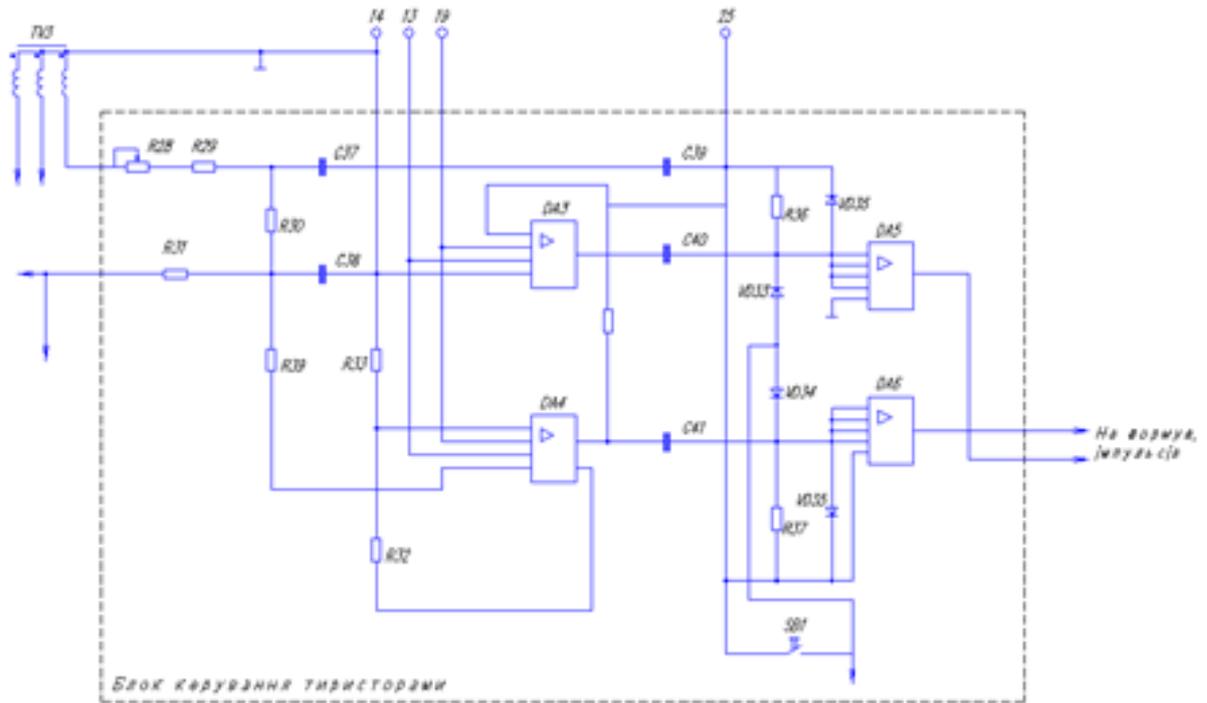
### Электропривод машины типу ЧМ – 80. Схема принципова електрична



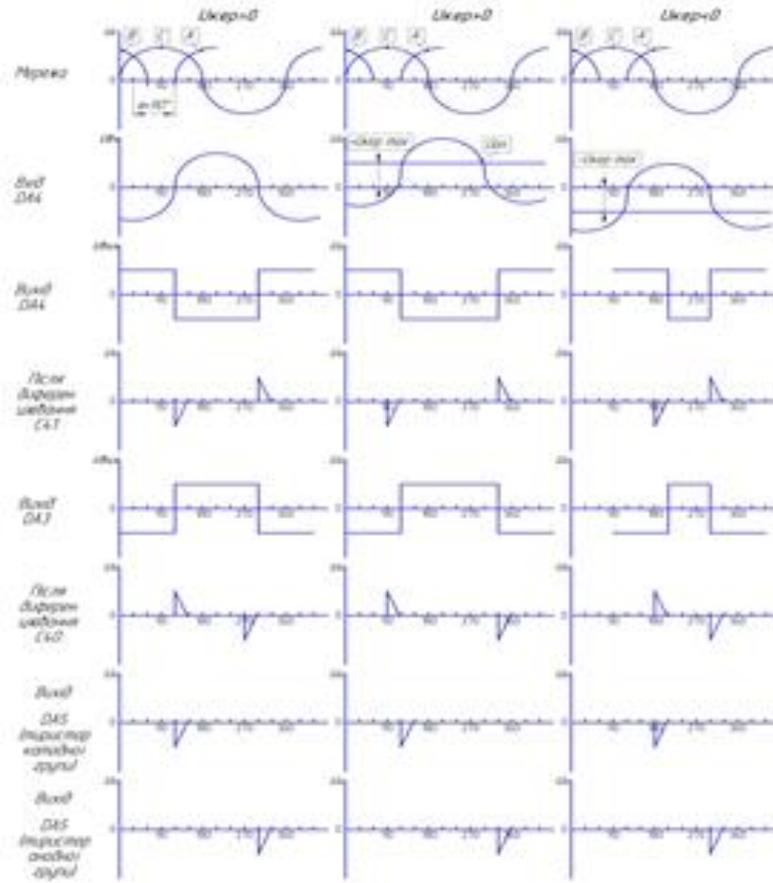
ЕП живлючих циліндрів. Схема функціональна електрична



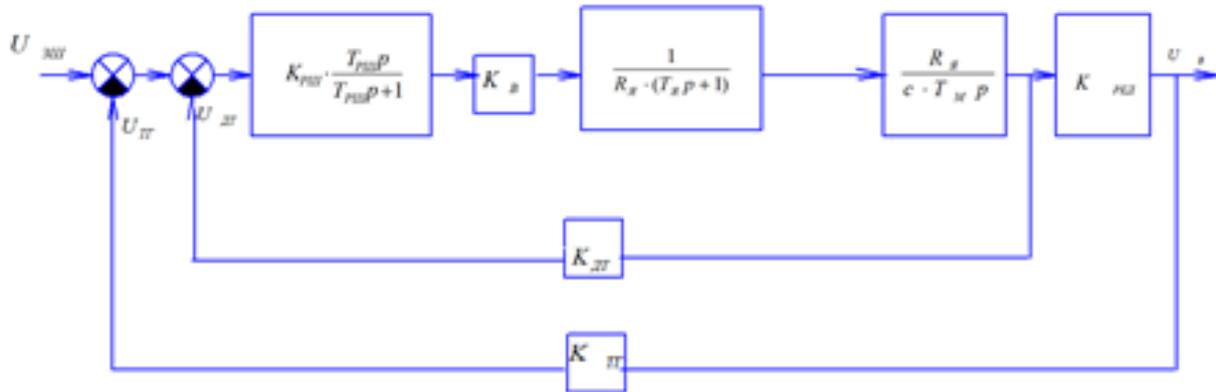
## ЕП живлючих циліндрів. Блок керування тиристорами



## Графіки роботи блоку керування тиристорами



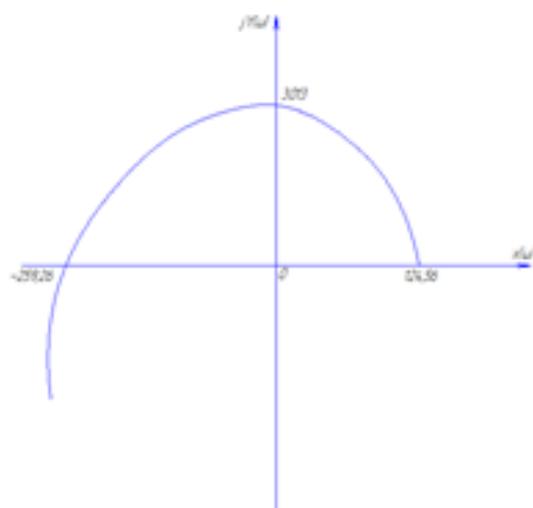
## Структурна схема САК електропривода живлючих циліндрів



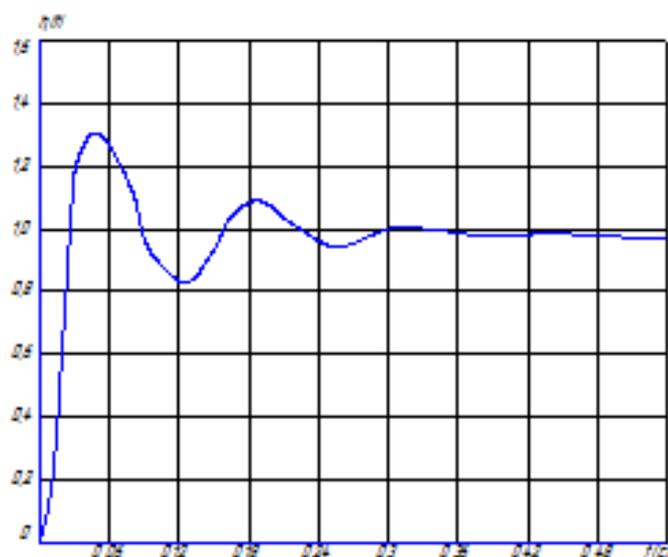
$$W_i(p) = \frac{K_{рш} \cdot \frac{T_{рш} p}{T_{рш} p + 1} \cdot K_з \cdot \frac{1}{R_я (T_я p + 1)} \cdot \frac{R_я}{c \cdot T_м \cdot p}}{1 + K_{рш} \cdot \frac{T_{рш} p}{T_{рш} p + 1} \cdot K_з \cdot \frac{1}{R_я (T_я p + 1)} \cdot \frac{R_я}{c \cdot T_м \cdot p} \cdot K_{п}}$$

$$W_i(p) = \frac{26,125 p \cdot 11,29}{8,16 \cdot 10^{-7} p^3 + 8,5 \cdot 10^{-5} p^2 + 2,38 p + 124,56}$$

## Дослідження САК електроприводу



Годограф Михайлова для характеристичного рівняння 3-го порядку починається на додатній напіввісі комплексної площини, та проходить проти стрілки годинника 3-го квадранти комплексної площини при збільшенні частоти від 0 до нескінченності та уходить до нескінченності в III-му квадранті. Система є стійкою.



Характеристики:

- час регулювання  $t_p = 0,4$  с, ( $\epsilon$  приймаємо 5%),
- перерегулювання  $\sigma = 30\%$
- число коливань регульованої величини за час регулювання – близько 3 коливань.