

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування закладу вищої освіти)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

бакалавра
(ступінь вищої освіти)

на тему **УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ
ЛІНІЄЮ ВИРОБНИЦТВА ТРУБ З ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Виконав: студент 3 курсу, групи 3пМЕ
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
(цифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Коновал М. Д.
(прізвище та ініціали)

Керівник Шефер О.В.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Леві Л.І.
(прізвище та ініціали)

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри
автоматики, електроніки та
телекомунікацій

_____ д.т.н., проф. О.В. Шефер
“ ___ ” _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Коновалу Миколі Дмитровичу

1. Тема проекту (роботи) **«УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЛІНІЄЮ ВИРОБНИЦТВА ТРУБ З ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ»**

керівник проекту (роботи) Шефер Олександр Віталійович, д.т.н., професор
затверджена наказом вищого навчального закладу від “ ___ ” _____ 2023 року № _____

2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____ 2023 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи). Напруга мережі живлення 380В; номінальна потужність 2,5кВт; максимальна частота обертання 3000 об/хв; число витків обмотки якоря 540; опір обмотки якоря і додаткових полюсів 1,9 Ом; номінальний ККД 73,5%; можливе зниження напруги мережі живлення 10%.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз основних чинників технології виробництва труб з полімерних матеріалів та виявлення недоліків. Аналіз системи електрообладнання та автоматизації лінії та постановка завдань на дипломне проектування. Комплексна модернізація схеми електромеханічної частини лінії. Розроблення та розрахунок елементів САК привода. Розрахунок характеристик електропривода. Розроблення системи імпульсно-фазного керування приводом. Оптимізація контурів регулювання основних параметрів ЕП. Дослідження динамічних процесів у контурах САК. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів): Загальний вигляд сучасних ліній виробництва полімерних труб. Принципова схема виробництва труб з полімерних матеріалів. Алгоритм програмного керування технологічної лінії. Алгоритм обробки інформації в режимі регулювання. Електрична принципова схема силової частини перетворювача частоти. Характеристики вентильного перетворювача. Часові діаграми роботи електропривода. Структурні схеми контурів регулювання параметрів. ЛАЧХ та ЛФЧХ контуру регулювання швидкості.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання _____ .23 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи		Примітка
1.	Аналіз основних чинників технології виробництва труб з полімерних матеріалів.	26.04.23	25%	Пл.1
2.	Модернізація системи автоматичного керування лінією виробництва труб з полімерних матеріалів. Розроблення та розрахунок САК привода барабанів. Розрахунок характеристик перетворювача для привода.	10.05.23	50%	Пл.2
3.	Розроблення системи імпульсно-фазного керування електроприводом та оптимізація контурів регулювання основних параметрів привода. Дослідження динамічних процесів у контурах САК на цифровій моделі	24.05.23	70%	Пл.3,4
4.	Висновки. Оформлення кваліфікаційної роботи	07.06.23		Пл.5
5.	Підготовка графічних матеріалів..	14.06.23	100%	Пл.6

Студент _____
(підпис)

Коновал М. Д. _____
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Шефер О.В. _____
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра удосконалення системи автоматичного керування лінією виробництва труб з полімерних матеріалів

Робота містить 90 сторінок, 40 ілюстрацій, 11 таблиць та 12 джерел, додатки.

Ключові слова: системи автоматичного керування, вентильний перетворювач, кутова швидкість, комплектний електропривод.

Дана кваліфікаційна робота спрямована на модернізацію технологічної лінії за рахунок застосування сучасного комплексного електроприводу та мікропроцесорної системи регулювання технологічними параметрами в заданих межах з необхідною точністю

В процесі модернізації удосконалена структура системи регулювання.

Розроблений алгоритм обробки інформації в режимі регулювання.

Регулятор реалізує пропорційно-диференційний або пропорційно-інтегрально- диференційний алгоритм керування.

Регулятор має роздільні виходи для керування обігрівом та охолодженням з незалежним завданням параметрів налаштувань (датчики гольчаті термо пари)

Для використання в системі автоматичного керування приводу барабанів обґрунтований та вибраний комплектний тиристорний перетворювач.

Розроблена функціональна схема. (постійний струм, забезпечує великий момент на валу двигуна).

Залежності ккд перетворювача від кутової швидкості вала двигуна побудовані відповідно до розрахункових параметрів для номінального режиму роботи.

В процесі удосконалення електропривода проведена оптимізація системи, підпорядкованого регулювання де зовнішнім або головним є контур регулювання швидкості.

Для визначення запасу стійкості системи автоматичного керування приводів барабанів побудовані логарифмічні амплітудно-частинних та фазо-частинних характеристик контурів.

Удосконалення системи автоматичного керування лінією виробництва труб з полімерних матеріалів дала можливість знизити споживання електроенергії за

рахунок використання комплектного електропривода, підвищеною точністю регулювання параметрів та покращити якість вихідного продукту.

Abstract

Bachelor's qualification work on the improvement of the system of automatic control of the production line of pipes made of polymer materials

The work contains 90 pages, 40 illustrations, 11 tables and 12 sources, appendices.

Keywords: automatic control systems, valve converter, angular speed, complete electric drive.

This qualification work is aimed at the modernization of the technological line due to the use of a modern complex electric drive and a microprocessor system for regulating technological parameters within the given limits with the required accuracy

In the process of modernization, the structure of the regulatory system was improved.

An algorithm for information processing in regulation mode has been developed.

The regulator implements a proportional-differential or proportional-integral-differential control algorithm.

The regulator has separate outputs for controlling heating and cooling with independent assignment of setting parameters (needle thermocouple sensors)

A complete thyristor converter is justified and selected for use in the automatic control system of the drum drive.

A functional scheme has been developed. (direct current, provides a large torque on the motor shaft).

Dependencies of the ccd converter on the angular speed of the motor shaft are constructed according to the calculated parameters for the nominal operating mode.

In the process of improving the electric drive, the optimization of the system of subordinate regulation where the external or the main one is the speed regulation circuit was carried out.

To determine the margin of stability of the system of automatic control of drum drives, logarithmic amplitude-partial and phase-partial characteristics of the circuits are constructed.

The improvement of the system of automatic control of the production line of pipes made of polymeric materials made it possible to reduce the consumption of electricity due to the use of a complete electric drive, with increased accuracy of parameter regulation and to improve the quality of the output product.

ЗМІСТ

<i>Вступ</i>	10
<i>1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</i>	11
<i>1.1 Опис технології виробництва труб з полімерних матеріалів</i>	11
<i>1.2 Технологічні параметри процесу екструзії</i> ..	17
<i>1.3 Аналіз системи електрообладнання та автоматизації лінії</i>	25
<i>1.4 Задачі дипломного проектування</i>	26
<i>2. КОНСТРУКТОРСЬКО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА</i>	27
<i>2.1 Модернізація схеми електричної принципової керування охолодження преса</i>	27
<i>2.2 Модернізація схеми електричної принципової керування приводом барабанів</i>	37
<i>2.3 Розроблення та розрахунок САК привода барабанів</i>	39
<i>2.3.1 Розрахунок та вибір джерела живлення</i>	40
<i>2.3.1.1 Розрахунок та вибір перетворювального трансформатора</i>	40
<i>2.3.1.2 Розрахунок параметрів і вибір силових вентилів</i>	43
<i>2.3.1.3 Розрахунок параметрів зрівняльних реакторів</i>	45
<i>2.3.2 Розрахунок силового ланцюга електропривода</i>	46
<i>2.3.3 Розрахунок запасу за напругою ТП якоря двигуна</i>	51
<i>2.3.4 Розрахунок елементів захисту</i>	52
<i>2.3.5 Розрахунок характеристик привода</i>	55
<i>2.3.5.1 Розрахунок зовнішніх характеристик перетворювача</i>	55
<i>2.3.5.2 Розрахунок регулювальних характеристик перетворювача</i>	55
<i>2.3.5.3 Розрахунок електромеханічних характеристик системи ТП-ДПС</i>	57
<i>2.3.5.4 Розрахунок обмежувальних характеристик перетворювача</i>	58

2.3.5.5 Розрахунок енергетичних характеристик перетворювача...	58
2.3.5.6 Розрахунок ККД перетворювача.....	60
2.3.6 Розрахунок і побудова часових діаграм перетворювача	61
2.3.7 Вибір типу комплектного тиристорного перетворювача.	64
3. ОПТИМІЗАЦІЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ СТРУКТУРИ ЕП.....	68
3.1 Оптимізація контуру струму якоря.....	68
3.2 Оптимізація контуру швидкості.....	71
3.3 Оптимізація контуру струму збудження двигуна.....	74
3.4 Розрахунок швидкісних характеристик і їх статизму в замкненій і розімкненій системах електропривода.....	77
3.5 Розрахунок величини динамічного падіння швидкості двигуна при накиданні моменту навантаження	79
3.6 Оцінка впливу внутрішнього зворотного зв'язку за ЕРС на процеси, що протікають в контурі струму.....	80
3.7 Розрахунок і побудова динамічних характеристик електро- привода.....	82
3.8 Дослідження динамічних процесів у контурах САК на цифровій моделі.....	84
3.9 Розрахунок контуру струму та його дослідження	85
3. 10 Розрахунок контуру швидкості.	88
Висновки.....	91
Література.....	92
Додатки.....	93

ВСТУП

Задача підвищення якості поліетиленових труб, що випускаються за допомогою технологічних ліній ЛТ63х30-25/63 розв'язується найбільш ефективно шляхом модернізації існуючого обладнання. Комплекс заходів по модернізації включає, як правило, застосування сучасних засобів автоматизації, які забезпечують проведення технологічного процесу з дотриманням технологічних параметрів в заданих межах з необхідною точністю.

Даний дипломний проект орієнтований на модернізацію за рахунок застосування сучасного комплектного електропривода БТУ-3601 та сучасного мікропроцесорного регулятора для регулювання температури преса технологічної лінії.

Для досягнення такої мети в ході дипломного проектування поставлений і розв'язаний комплекс таких задач:

В системі керування приводами барабанів забезпечено керування електродвигуном постійного струму за системою ТПЧ-ДПС.

Для цього розраховано та вибрано джерело живлення та його елементи; визначено параметри силового ланцюга електропривода; виконано розрахунок елементів захисту; побудовано характеристики перетворювача; проведено оптимізацію контурів регулювання САК; розраховано швидкісні характеристики в замкненій та розімкненій САК; досліджено систему керування на цифровій моделі; розроблено систему імпульсно-фазного керування. Для спостереження за зміною частоти обертання барабанів без оцінки її значення з нормованою точністю застосовано індикатор частоти обертання. Для вимірювання струму, споживаного електродвигуном, передбачено вимірювальний прилад. В схемі електричній принциповій охолодження преса для регулювання температури зон преса застосовано багатоканальний регулятор температури типу «мікроТЕРМ» моделі с137.11.01.

1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 ОПИС ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ТРУБ З ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

Виробництво труб з полімерних матеріалів – це безперервний технологічний процес. Основним методом виробництва полімерних труб є екструзія.

Основним технологічним агрегатом в процесі виробництва полімерних труб є екструдер.

Вітчизняними машинобудівними підприємствами випускаються різні моделі екструдерів. Класифікація екструдерів найбільш часто проводиться за характером робочого органу, в якості якого можуть бути черв'як (шнек), диск або їх комбінації. У вітчизняній літературі екструдери, робочим органом яких служить черв'як, називають також черв'ячними пресами. У виробництві по переробці пластмас застосовуються наступні типи екструдерів:

одночерв'ячні преси; двочерв'ячні преси; дискові екструдери; комбіновані екструдери каскадного типу; черв'ячні осцилюючі змішувачі, вживані при пластикації композиційних матеріалів.

Одночерв'ячні преси. Ці машини отримали найбільше розповсюдження. Залежно від розташування циліндра вони можуть бути горизонтальними і вертикальними. Одночерв'ячний прес з горизонтальним розташуванням циліндра схематично зображений на рис. 1.1.

Циліндр преса 3 кріпиться до вузла підшипника. Зовнішня частина циліндра виконана з товстостінної зварної труби, в яку запресована зносостійка гільза 2 з азотованої сталі. Обігрів циліндра проводиться електронагрівачами 4, які створюють декілька теплових зон. Завантажувальна частина циліндра ізольована від першої зони нагріву водяною сорочкою для запобігання передчасного плавлення і зависання

термопласту під час роботи преса і для захисту упорного підшипника редуктора від нагріву.

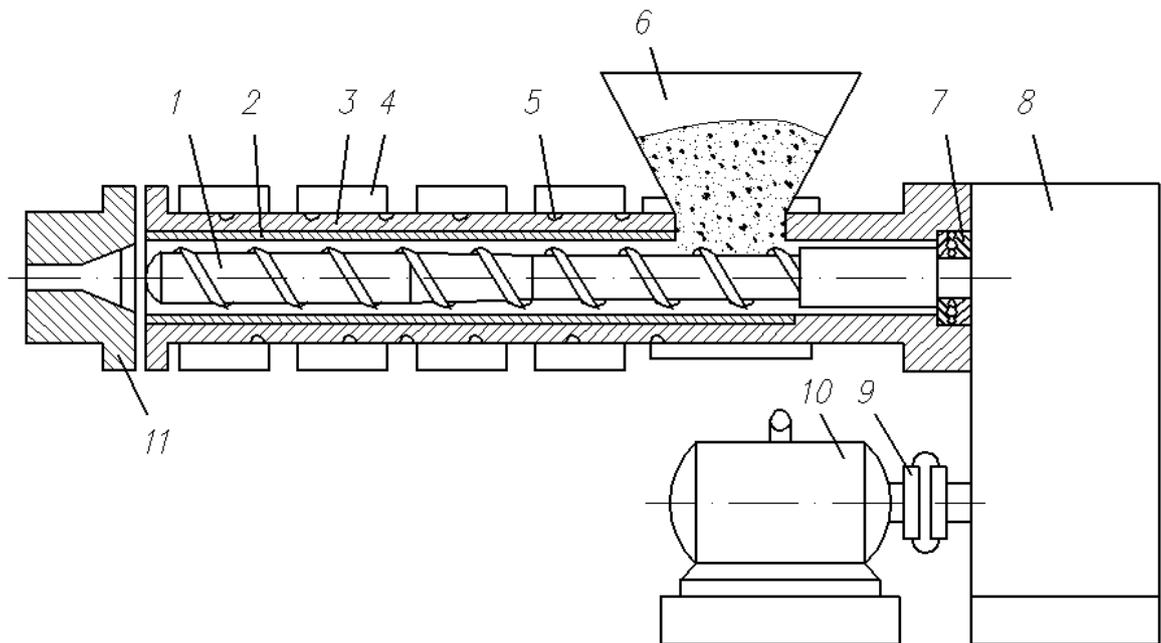


Рисунок 1.1. Одночерв'ячний прес з горизонтальним розташуванням циліндра:

1 – черв'як; 2 – гільза; 3 – циліндр; 4 – електронагрівач; 5 – система охолодження; 6 – завантажувальна воронка; 7 – вузол упорного підшипника; 8 – редуктор; 9 – муфта; 10 – електродвигун; 11 – формуюча головка

Електродвигун 10 через еластичну муфту 9 приводить в обертання зубчаті пари редуктора 8 і черв'як 1. Регулювання частоти обертання черв'яка здійснюється за допомогою змінних шестерень редуктора. На вихідному валу редуктора змонтований вузол упорного підшипника, що сприймає осеві зусилля, які виникають при екструзії розплаву. Для живлення екструдера термопластом призначена завантажувальна воронка 6 з оглядовим вікном для спостереження за рівнем матеріалу. На зовнішній поверхні циліндра розміщуються трубчасті змійовики 5 для охолоджуючої води. Системи обігріву і охолодження черв'ячних пресів призначені для автоматичного регулювання і підтримки теплового режиму по зонах. З цією метою в кожній зоні циліндра встановлена термопара з виводом на мілівольтметр або потенціометр.

Сучасні екструдери відрізняються універсальністю, високою продуктивністю і надійністю в роботі. Черв'ячні преси останніх конструкцій мають поліпшену компоновку (виносні упорний підшипник і електродвигун, зручні для обслуговування системи охолодження і нагрівання преса) і сучасне зовнішнє оформлення.

В екструдерах, призначених для перероблення схильних до деструкції полімерів (полівінілхлориду, ацетилцелюлозних етролів і ін.), передбачають пристрої для відсмоктування летючих. Черв'яки таких екструдерів відрізняються від звичайних тим, що в них за зоною стиснення слідує зона дегазації, що має меншу глибину нарізки, ніж в зоні стиснення. Витки черв'яка в цій зоні заповнені розплавом не повністю. Саме в цьому місці матеріального циліндра розташовується отвір газозвідного каналу.

Двочерв'ячні преси. На відміну від одночерв'ячних машин в циліндрі двочерв'ячних пресів паралельно розташовано два черв'яка. За характером розташування і напрямом обертання черв'яків розрізняють двочерв'ячні машини з черв'яками, що зачіпляються і не зачіпляються; з однаковим або зустрічним напрямом обертання черв'яків. На рис. 1.2 показана принципова схема двочерв'ячного пресу.

Прес складається з циліндра 1, що обігрівається, черв'яків 2 і 2а, блоку упорних підшипників 5 і 5а з косозубими шестернями 4 і 4а, триступінчатого редуктора 7, з'єданого з веденим черв'яком за допомогою ланцюгової передачі 6. Привод черв'яків здійснюється від електродвигуна 8. Матеріал, що переробляється, завантажується у воронку 3, розплав подається через головку 9. Відбувається процес екструзії.

На рис. 1.3 показане зачеплення черв'яків двочерв'ячного пресу, що обертаються в одному напрямку.

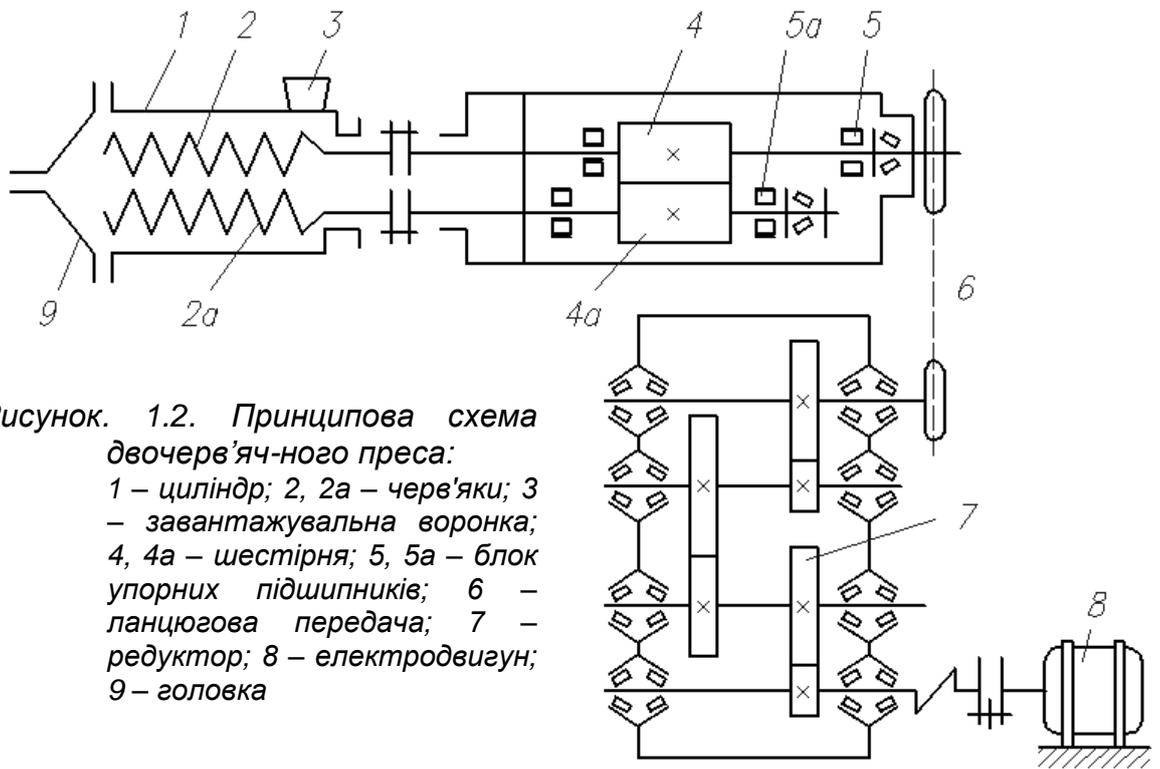


Рисунок. 1.2. Принципова схема двочерв'ячного преса:

1 – циліндр; 2, 2а – черв'яки; 3 – завантажувальна воронка; 4, 4а – шестірня; 5, 5а – блок упорних підшипників; 6 – ланцюгова передача; 7 – редуктор; 8 – електродвигун; 9 – головка

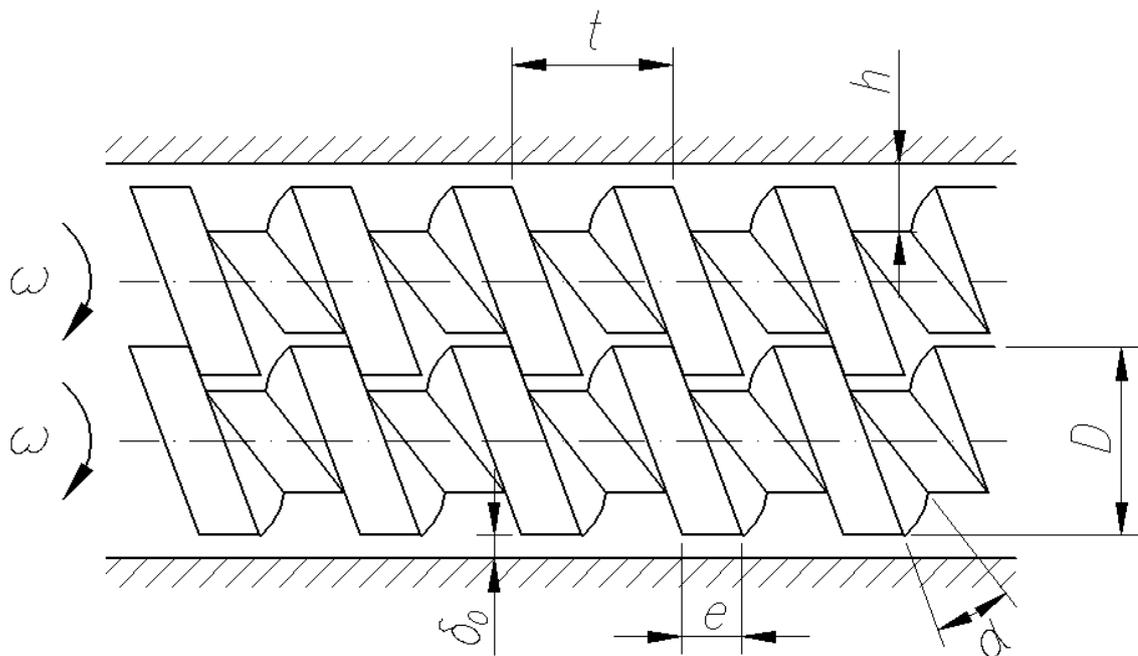


Рисунок. 1.3. Зачеплення черв'яків двочерв'ячного преса

Двочерв'ячні преси застосовуються для перероблення порошкоподібних матеріалів, що мають невеликі насипну масу і коефіцієнт тертя об стінки циліндра. Це зв'язано з тим, що продуктивність двочерв'ячних пресів, на відміну від одночерв'ячних, не залежить від сил тертя між робочими органами і матеріалом, оскільки матеріал залучається черв'яками і примусово просувається ними вперед. Продуктивність зони живлення залежить від вільного об'єму між

витками і від рівномірності подачі матеріалу. Ці машини знайшли широке застосування при переробці порошкоподібних композицій на основі ПВХ.

Дискові екструдери. Принцип дії дискового екструдера пояснює рис. 1.4. Термопластичний матеріал через завантажувальну воронку потрапляє в периферійну зону зазору 7, утвореного диском 1, що обертається, і корпусом екструдера 3, і залучається до кругового руху. Корпус оснащений електронагрівачем 4, диск 1 також має електрообігрів. Стикаючись з гарячими поверхнями, матеріал розігрівається, плавиться і виходить з екструдера через центральний отвір 6 і канал формуючої головки 5 у вигляді профілю. Цей осьовий рух розплаву є наслідком виникаючих в зазорі деформацій зсуву, які викликають напруження, що направлені вздовж осі диска.

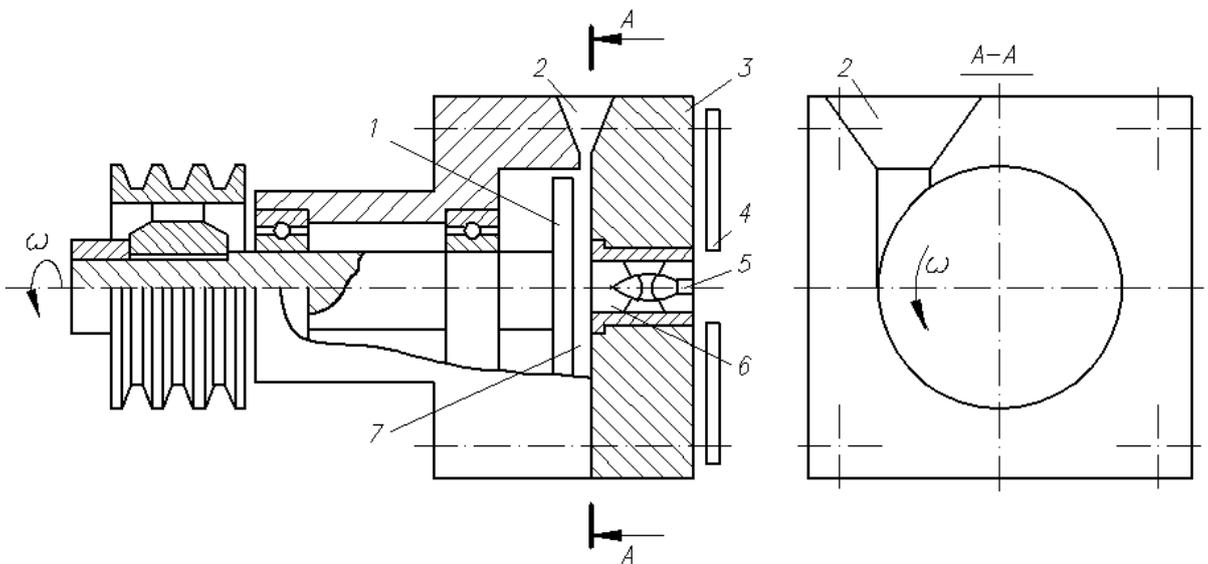


Рисунок. 1.4. Принципова схема дискового екструдера:

1 – диск; 2 – завантажувальна воронка; 3 – корпус; 4 – електродвигун; 5 – канали формуючої головки; 6 – центральний отвір; 7 – дисковий робочий зазор

Дискові екструдери в порівнянні з черв'ячними більш прості за конструкцією, дешеві і мають менші габарити; якість змішування в них краща, а час перебування матеріалу в екструдері набагато менший, що важливо для перероблення термочутливих полімерів. Недоліками цих машин є пульсації продуктивності і невисокий тиск в головці, що обмежує їх застосування при роботі з головками великого опору. Недоліки дискових екструдерів частково усуваються в дисково-

черв'ячних екструдерах, що є комбінацією дискових і черв'ячних екструдерів. Розплав, що видавлюється з дисково-черв'ячного екструдера, потрапляє в циліндр з черв'яком, а вже з нього через формуючу головку виходить у вигляді профілю. Дисково-черв'ячні екструдери розвивають високий тиск і придатні для виготовлення профільованих виробів.

Черв'ячні осцилюючі змішувачі (ЧОЗ) застосовуються для пластикації композицій на основі в'язких і термочутливих полімерів, таких як полівінілхлорид, ефіри целюлози і ін. Черв'як осцилюючого змішувача виконує разом з обертальним поворотно-поступальний, або осцилюючий (коливальний) рух.

На рис. 1.5 зображений загальний вид черв'ячного осцилюючого змішувача.

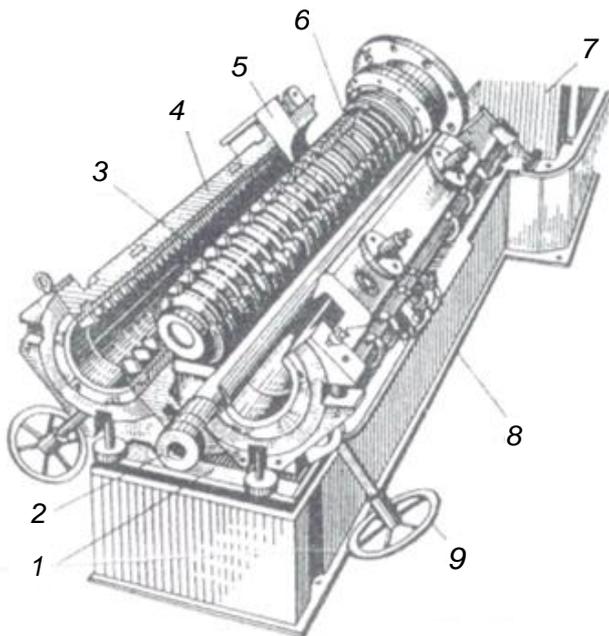


Рисунок. 1.5. Загальний вигляд черв'ячного осцилюючого змішувача (ЧОЗ):
1 – стійки; 2 – шарнір; 3 – зубці для перемішування матеріалу; 4 – циліндр; 5 – завантажувальний пристрій; 6 – черв'як; 7 – редуктор; 8 – станина; 9 – пристрій для

На станині 8 на спеціальних стійках 1 змонтований циліндр 4 із завантажувальним пристроєм 5 і зубцями 3 на внутрішній поверхні. На станині монтується пристрій 9 для розкриття циліндра і шарнір 2 для його повороту. Циліндр має дві зони обігріву і одну зону охолодження (в області завантажувального пристрою). Зони обігріваються рідким теплоносієм, який циркулює по спеціальних каналах на поверхні циліндра. Зона завантажувальної воронки охолоджується водою. Підведення і

відведення теплоносія в кожну зону – індивідуальне; управління тепловим режимом по зонах – автоматичне. Циліндр роз'ємний, може розкриватися на дві половини, як показано на рисунку. Половини з'єднуються між собою спеціальними охоплюючими роз'ємними хомутами, які з одного боку затягуються болтами, а з іншого боку скріпляються за допомогою шарніра. Подібний пристрій забезпечує швидке розкриття корпусу на час чищення або ремонту і щільне закриття його при роботі. Черв'як змішувача одержує обертальний поворотно-поступальний рух від редуктора 7. Гвинтова нарізка черв'яка має пази, в яких входять зубці 3, які розбивають потік розплаву. Це сприяє інтенсивній гомогенізації розплаву в процесі його проходження уздовж циліндра.

ТЕХНІЧНІ ПАРАМЕТРИ І МОДЕЛІ ЕКСТРУДЕРІВ

Основними технічними параметрами черв'ячних пресів є діаметр черв'яка D , відношення робочої довжини черв'яка до його діаметра L/D і продуктивність по якому-небудь термопласту. Перші два параметри зазвичай відображаються в маркуванні машин. Крім того, важливими параметрами екструдерів є діапазон частот обертання черв'яка, встановлена потужність електроустаткування, число температурних зон.

1.2 ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ ПРОЦЕСУ ЕКСТРУЗІЇ

До основних технологічних параметрів екструзії відносяться:

- температура розплаву в циліндрі і в головці;
- тиск розплаву в головці;
- частота обертання черв'яка.

Вибір оптимального режиму перероблення матеріалу залежить від багатьох факторів:

- виду термопласту, його молекулярної маси;

- складу композиційного матеріалу;
- вигляду, розмірів і конфігурації виробу;
- типу устаткування, що використовується.

При виборі температурного режиму екструзії рекомендується температуру циліндра підвищувати від завантажувальної зони до головки по можливості плавно. Температуру матеріального циліндра поблизу завантажувального бункера задають зазвичай на 10-15°C вище, ніж температура плавлення матеріалу. Якщо основа завантажувальної воронки або матеріальний циліндр біля неї охолоджуються водою, то можливі більш високі температури в цій зоні. Температура в головці може бути рівна або на 5-10°C нижча, ніж температура останньої (по ходу екструзії) зони матеріального циліндра, що сприяє поліпшенню гомогенізації розплаву. Найвища температура повинна забезпечуватися на ділянці, де встановлений пристрій для фільтрації розплаву, оскільки він створює, як правило, найбільший опір потоку.

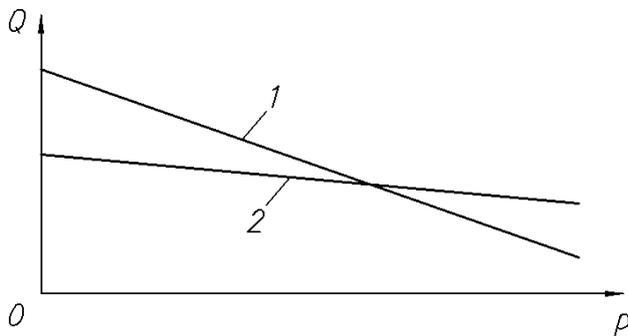


Рисунок. 1.6 Характеристики черв'яків з глибоким (1) і мілким (2) каналами

Тиск розплаву в головці обумовлюється опором головки і фільтруючих сіток. Це необхідно для ретельного перемішування розплаву. Недостатній тиск приводить до різних дефектів екструдата: «віспини» на поверхні листів, шорсткість на

трубах, раковини, тьмяна поверхня, зниження механічних властивостей.

Частота обертання черв'яка визначає продуктивність процесу і впливає на якість виробу. При високій швидкості екструзії через наявність шорсткостей на поверхнях основних робочих органів машини (циліндра і черв'яка) поверхня екструдера стає тьмяною. Із зростанням частоти обертання черв'яка в розплаві за рахунок внутрішнього тертя виникають великі тепловиділення, що може бути причиною деструкції матеріалу, що знижує фізико-механічні характеристики виробу.

Збільшення частоти обертання черв'яка може привести до пульсуючого режиму течії (іноді називають – еластичної турбулентності). При цьому спостерігаються огрубіння, горбисті поверхні екструдата. Це знижує якість виробу. Параметри екструзії, при яких виникає нестійкий режим перебігу розплаву, називаються критичними.

Підвищення температури перероблення, використання формуючого інструменту з ретельно хромованою і полірованою поверхнею дозволяє підвищити швидкість екструзії без настання нестійкого перебігу розплаву, тобто збільшити критичні параметри екструзії.

Дані рекомендації можуть служити основою для первинного вибору технологічного режиму екструзії. Кінцевий вибір оптимальних параметрів перероблення проводиться при практичному налагодженні процесу.

В таблиці 1.3 наведені орієнтовні значення температури і тиску розплаву при переробленні деяких термопластів екструзією.

Основними стадіями виробництва труб є:

- прийом і зберігання сировини;
- розтарювання сировини;
- вхідний контроль сировини;
- підготовка сировини.

Труби виготовляються з поліетилену високої густини (ПЕВГ) і поліетилену низької густини (ПЕНГ).

Таблиця 1.3

Орієнтовні режими екструзії деяких типів полімерів

Тип полімеру	Виріб	Температура циліндра по зонах $\pm 5^{\circ}\text{C}$					Температура формуючого інструмента, $^{\circ}\text{C}$		Тиск в формуючому інструменті, МПа
		1	2	3	4	5	головка	формуюча лінія	
ПЕНГ	Рукавні плівки	125	135	135	145	145	145	145	10–18
	Плоскі плівки	155	165	180	195	195	195	200	15–25
	Листи	130	140	150	180	180	180	190	–

ПЕСГ	Листи	120	150	160	170	170	190	195	10–16
	Рукавні плівки	130	140	140	150	150	150	150	13–20
ПЕВГ	Листи	130	150	170	180	180	190	200	10–18
	Рукавні плівки	140	150	160	170	170	180	185	15–20
ПП	Листи	190	210	220	230	230	230	240	–
	Плоскі плівки	196	220	245	260	260	265	265	20–32
Непластифікований ПВХ	Листи	150	165	175	190	190	180	185	10–20
Удароміцний ПС	Листи	170	180	195	200	200	195	205	15–25
ПММА	Листи	160	165	170	170	170	170	180	5–10
ПК	Листи	165	180	190	220	250	300	305	25–40
	Плоскі плівки	165	180	190	220	250	300	305	25–40
Ацетат целюлози	Плоскі плівки	160	175	195	200	200	200	205	15–20

Напірні труби з поліетилену, виготовлені методом безперервної шнекової екструзії, повинні відповідати діючим стандартам. Відповідно до них, труби з ПЕВГ випускаються діаметром від 10 до 630 мм (середній зовнішній діаметр), труби з ПЕНГ – діаметром від 10 до 160 мм. Труби випускаються як відрізками (6, 8, 10, 12 м), так і змотаними в бухти (зазвичай труби діаметром до 40–50 мм).

Держстандарти передбачають виготовлення труб таких типів:

Тип труби	Максимальний тиск води при 20 °С, МПа
Л (легкий).....	0,25
СЛ (середньолегкий).....	0,4
С (середній).....	0,6
В (важкий).....	1,0

Принципова технологічна схема виробництва труб з поліетилену з порошкоподібної композиції приведена на рис. 1.7

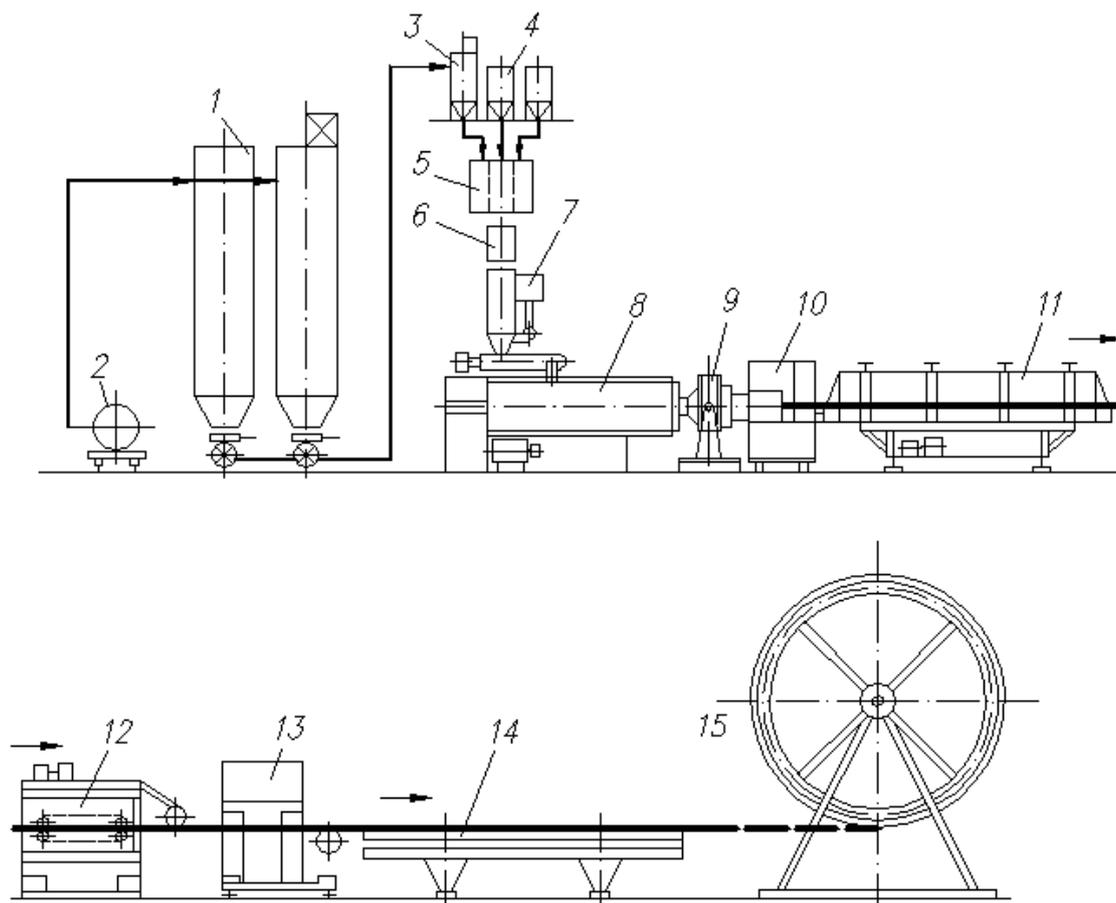


Рисунок 1.7. Принципова схема виробництва труб з поліетилену:

1 – місткості для зберігання сировини; 2 – цистерна; 3 – проміжна місткість для поліетилену; 4 – проміжні місткості для добавок; 5 – пристрій для дозування трьох компонентів; 6 – прилад для виявлення металевих частинок; 7 – пристрій для підсушення і підігріву гранул; 8 – екструдер; 9 – головка; 10 – калібруючий пристрій; 11 – ванни охолодження; 12 – пристрій витягування і рахунково-маркіруючий пристрій; 13 – відрізний пристрій; 14 – приймальний пристрій; 15 – намотувальний пристрій

Сировина – гранульований поліетилен поступає великими партіями в цистернах 2, з яких централізованим пневмотранспортом подається в складські місткості 1. З них централізованим пневмотранспортом поліетилен подається в проміжні місткості 3. Дозування сировини і можливих добавок (фарбників, стабілізаторів) з місткостей 4 здійснюється за допомогою дозуючого пристрою 5. Оскільки у виробництві напірних труб використання технологічних відходів забороняється, для виробництва цих труб застосовуються трикомпонентні дозатори. Сировина, пройшовши через прилад пошуку металевих частинок 6, підігрівається і підсушується за допомогою спеціальної системи 7.

Надходження сировини в завантажувальну зону екструдера 8 здійснюється при постійному рівні сировини. Температура завантажувальної зони повинна бути постійною, для чого передбачається її охолодження водою з постійними параметрами.

Для екструзії труб з гранульованого поліетилену застосовуються лінії на базі одночерв'ячних екструдерів. В додатку 1 наводяться технічні характеристики ліній для виробництва труб з пластмас.

Готові труби формуються в пакет за допомогою дерев'яних рамок, встановлених на відстані 1,5 м один від одного. Пакет труб транспортується до місця технологічного складування і потім на склад готової продукції.

Випуск труб заданого асортименту і якості в певній мірі залежить від комплектності устаткування. В додатку 2 наводяться дані про комплектність ліній для виробництва труб з поліетилену.

Гранульований матеріал черв'яком транспортується, ущільнюється, плавиться, гомогенізується і видавлюється з головки 9 у вигляді заготовки труби, яка калібрується в пристрої 10 і охолоджується в першій ванні, потім поступає в наступні ванни.

Відбір труб забезпечується пристроєм витягування 12. Кількість виготовлених труб (в метрах) фіксується лічильником, що працює в комплексі з рахунково-маркувальним пристроєм. Труби ріжуться на відрізки заданої довжини відрізним пристроєм 13 і поступають на приймальний пристрій 14 або на намотувальний пристрій 15.

Продуктивність лінії для виробництва труб з поліолефінів визначається технічними характеристиками устаткування, а також типом і діаметром труб, що випускаються. Значення продуктивності устаткування при виготовленні труб з ПЕНГ, визначені паспортом на устаткування, а також рекомендовані для розрахунку потужностей, приводяться в додатку 3.1. Значення продуктивності ліній при виготовленні труб з ПЕВГ приведені в додатку 3.2.

Відгуки експлуатаційного персоналу та аналіз якості випущеної продукції свідчать, що виробництво труб з поліетилену оптимальної потужності (25–50 тис. т/рік) необхідно здійснювати на обладнанні з сучасною системою керування.

Параметри технологічного процесу визначаються типом труб, що випускаються, та сировиною і устаткуванням, що використовується.

Температурний режим виробництва труб з ПЕНГ такий (наближено):

Черв'ячний прес		Головка	
Зона	t, °C	Зона	t, °C
I.....	140–160	V.....	170
II.....	160–170	VI і подальші.....	145–160
III і подальші.....	175–185		

Температурний режим при виробництві труб з ПЕВГ децю інший:

Черв'ячний прес		Головка	
Зона	t, °C	Зона	t, °C
I.....	135–175	V.....	170–200
II.....	170–175	VI.....	170–190
III.....	175–200	Подальші.....	160–190
IV.....	180–200		

Широке розповсюдження у вітчизняному виробництві поліетиленових труб отримала лінія ЛТ 63х30–25/63. Принципова технологічна схема такої лінії наведена на рис. 1.8.

Лінія складається з наступних основних машин і обладнання:

- прес черв'ячний ЧП 63х30 (1);
- головка трубна ГТ 25–63 (2);
- ванна охолодження вакуумна (3);
- ванни охолодження (4);
- витягувальна машина (5);
- пристрій маркування (6);
- пристрій відрізний (7);
- пристрій приймальний (8);
- машина намотувальна (9);

– бункер (10).

Продуктивність лінії в залежності від матеріалу, що переробляється, і типорозміру труби повинна відповідати додатку 4.1 та 4.2.

ПРИНЦИП РОБОТИ ЛІНІЇ

Гранульований матеріал подається в бункер преса, звідки поступає в циліндр, де розплавляється, гомогенізується, і у вигляді гладкої трубчастої заготовки видавлюється через формуючий отвір головки. З формуючої головки заготовка труби поступає в калібр, де калібрується по зовнішньому діаметру і попередньо охолоджується до утворення на зовнішній поверхні труби твердої кірки. Остаточне охолодження труби до температури 30–40°C відбувається у ваннах охолодження. Протягування труби через калібр і ванни охолодження проводиться машиною тягучою, яка потім подає трубу на пристрій відрізний, де труби ріжуться на відрізки не більше 6м. Відрізки труб подаються на лоток пристрою приймального і по сигналу кінцевого вимикача скидаються в накопичувач. В накопичувачі відбувається утворення пакету з подальшою перев'язкою його вручну металевою або пластмасовою стрічкою.

При намотуванні труби в бухту, після відліку заданої труби подається команда на відрізок труби і на відключення барабана машини намотувальної.

Одночасно подається світловий сигнал. Після цього оператор вручну закріплює кінець на другому, вільному барабані і включає його. Потім оператор включає перший барабан, домотує той кінець труби, що залишився після відрізки, перев'язує бухту і знімає її з машини намотувальної.

Привод складається з електродвигуна постійного струму, редуктора черв'ячного, від якого обертання через ланцюгову передачу передається на проміжний вал. На проміжному валу встановлені «зірочки», які пов'язані з валом через електромагнітні муфти, що вільно

обертаються. Ці зірочки знаходяться в зачепленні із зірочками валів барабанів. При включенні відповідної електромагнітної муфти, приводиться в обертання відповідний барабан.

Підтримка постійного натягнення намотуваної труби діаметром більше 25мм здійснюється релейно-контактною схемою керування.

При досягненні трубою крайнього правого або лівого положення на барабані, каретка своїм упором натискує на відповідний кінцевий вимикач, який дає команду на перемикання приводу розкладчика на реверс – каретка змінює напрям руху.

1.3 АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ ЛІНІЇ

Комплект електроустаткування лінії призначений для керування приводами преса і допоміжними приводами машин і пристроїв, що входять до складу лінії, і складається з пульта і шафи керування.

Керування приводом постійного струму преса здійснюється з пульта керування, а керування допоміжними приводами – з місцевих постів, розташованих на машинах і пристроях.

Приводом витягувальної машини можна також керувати з пульта керування, на якому розташована дублююча апаратура.

Релейно-контакторна апаратура, розташована в шафі керування.

Живлення силових ланцюгів лінії здійснюється від мережі змінного струму лінійною напругою 380В, частотою 50Гц, через звідний автоматичний вимикач, встановлений в шафі керування. Ланцюги керування живляться фазною напругою 220В змінного струму.

Для аварійного відключення приводів усієї лінії, окрім приводів ванни охолодження вакуумної, на пульті керування і посту відрізного пристрою встановлені аварійні кнопки.

Не дивлячись на добрі відгуки експлуатаційного персоналу та технологів, технологічні можливості такої лінії обмежені внаслідок

недосконалої системи керування технологічним процесом. Це приводить до погіршення якості поліетиленових труб – продукції, що випускається.

Система керування технологічним процесом, що здійснюється на цій лінії, не забезпечує:

- керування електродвигуном постійного струму за системою ТПЧ–ДПС в системі керування приводом барабанів;
- спостереження за зміною частоти обертання барабанів;
- вимірювання струму, споживаного електродвигуном;
- якісне регулювання температури зон преса в схемі принципів охолодження преса.

Метою даного дипломного проекту є модернізація системи автоматичного керування лінією з виробництва поліетиленових труб для підвищення їх якості.

1.4 ЗАДАЧІ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

Для досягнення мети у ході дипломного проектування необхідно розв'язати комплекс таких задач:

- в системі керування приводом барабанів забезпечити керування електродвигуном постійного струму за системою ТПЧ–ДПС;
- для спостереження за зміною частоти обертання барабанів без оцінки її значення з нормованою точністю застосувати індикатор частоти обертання;
- для вимірювання струму, споживаного електродвигуном, передбачити вимірювальний прилад;
- в схемі електричній принципів охолодження преса забезпечити регулювання температури зон преса;

2. КОНСТРУКТОРСЬКО–РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 МОДЕРНІЗАЦІЯ СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ ОХОЛОДЖЕННЯ ПРЕСА

Схема забезпечує керування електродвигунами змінного струму вентиляторів охолодження преса.

Схемою передбачено охолодження чотирьох зон преса.

Електродвигуни 1М6–1М9 отримують живлення через вимикачі автоматичні 1QF6–1QF9 та магнітні пускачі 1KM6–1KM9.

Захист електродвигунів від перевантаження та струмів короткого замикання здійснюється за допомогою вимикачів автоматичних.

Вмикання і вимикання електродвигунів здійснюється комплектним пристроєм регулювання температури типу «Електротерм-1100».

Така система регулювання температури, за відгукami технологів та експлуатаційного персоналу даної лінії, не задовольняє технологічним вимогам. Так, значення температури коливаються в межах, які приведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Тип поліетилену	Номер зони							
	1	2	3	4	5	6	7	8
НТ-273-79	160±5	220±6	240±10	250±8	250±6	245±9	250±8	240±10
ВТ-102-04	120±5	150±6	170±10	170±8	165±6	175±9	170±8	165±10

Такі коливання ведуть до випуску бракованої продукції.

У ході дипломного проектування проведена модернізація системи регулювання температури. Для цього застосований багатоканальний мікропроцесорний регулятор температури типу «мікроТЕРМ» моделі С137.11.01.

ПРИЗНАЧЕННЯ РЕГУЛЯТОРА

Регулятор температури призначений для контролю і регулювання температури в зонах обігріву технологічного обладнання в різних галузях промисловості.

Регулятор реалізує цифровий ПД/ПІД–алгоритм керування з двопозиційним аналоговим вихідним сигналом.

Регулятор має роздільні виходи для керування обігрівом і охолодженням з незалежним завданням параметрів настройки.

Технічні характеристики регулятора наведені в додатку 5.

БУДОВА ТА РОБОТА РЕГУЛЯТОРА

Регулятор виконаний у вигляді касети з установленими в ній блоком мережним (БМ), блоком завдання (БЗ) і функціональними модулями з уніфікованого набору, які утворюють блок керування (БК) регулятора.

Структурна схема регулятора температури приведена на рис. 2.1.

До складу регулятора входить датчик температури холодних кінців термопар (ДХК), який встановлюється на лінії в місці підключення холодних кінців термопар до клемної колодки і підключається до входу регулятора за допомогою екранованої витної пари. Датчик ДХК виконаний на мікросхемі K101KT1A. Вихідний сигнал датчика, що змінюється пропорційно температурі в місці підключення холодних кінців термопар, поступає на вхід додаткового каналу термокомпенсації модуля підсилювачів аналогових сигналів (МПАС). При зміні температури від +5 до +40°C сигнал на виході додаткового каналу модуля змінюється від 2,7В до 3,13В.

Блок БМ являє собою функціонально закінчений вузол регулятора. Він призначений для живлення модулів регулятора.

В залежності від виконання, регулятор комплектується вбудованим, виносним і дистанційним блоком БЗ, який визначений для завдання і відображення технологічної інформації, забезпечення виконання процедур діагностичного контролю модулів блока БК.

Оскільки лінія має досить велику довжину, регулятор оснащується дистанційним пультом, котрий може бути розташований на відстані до 500 м.

Вбудований блок БЗ містить з'єднані за допомогою крос-плати наступні модулі:

модуль завдання параметрів і режимів (МЗПР);

модуль індикації параметрів і режимів (МІПР);

модуль пам'яті блока завдання (МПБЗ).

Зв'язок між модулями регулятора здійснюється за допомогою уніфікованого інтерфейсу міжмодульного зв'язку (УІМЗ).

Модуль МПАС підсилює до нормованого значення в діапазоні від 0 до 10 В сигнали від термопар по восьми основним і чотирьом додатковим каналам, а також сигнал від датчика температури холодних кінців термопар, котрий встановлюється в місці підключення до клемної колодки.

Модуль МАЦП забезпечує аналого-цифрове перетворення по шістнадцяти основним і двох додаткових каналах нормованих сигналів, що поступають від модулів МПАС, адресацію каналів і запуск схем контролю стану термопар. До шістнадцяти основних каналів двох модулів підключені виводи основних каналів двох модулів МПАС, до першого додаткового – виходи модулів МПАС, до другого додаткового – вихід каналу термокомпенсації.

Модуль МЦПК забезпечує логічну і арифметичну обробку інформації про реальний час, виконання операцій зберігання і ввода-вивода інформації в процесі функціонування регулятора. Модуль являє собою одноплатну мікро-ЕОМ, яка має ППЗП ємністю 16 кбайт, 20-розрядну шину адреси, 15-рівневу систему переривань, 4 вільно програмуємих таймера, схеми розширення адресного простору, керування пам'яттю і вводом-виводом, організації мікропроцесорних плат.

Модуль МККН перетворює двійкові коди обчислених у відповідності з цифровим ПД/ПІД-алгоритмом величин керуючих впливів в кожному

каналі в широтно-модульовані сигнали керування обігрівом і охолодженням. Модуль має вісім виходів керування обігрівом і вісім виходів керування охолодженням, причому параметри настройки для керування обігрівом і охолодженням можуть бути задані різними. В модулі присутня схема контролю обриву фаз мережі і схема контролю струму навантаження, які дозволяють знайти несправності в системі обігріву. Остання визначає частковий і повний обрив нагрівальних елементів і коротке замикання, причому при короткому замикання в одному з каналів модуль МККН знімає сигнали з усіх виходів керування обігрівом.

Модуль МІЖН забезпечує перетворення мережної напруги 220 В, 50 Гц в послідовності імпульсів з частотою $f \leq 40$ кГц і амплітудами, необхідними для отримання стабілізованих напруг «+5 В» і «±12 В». Принцип роботи модуля МІЖН оснований на імпульсній стабілізації напруги зі зміною шпаруватості імпульсів при постійній частоті. До складу модуля входять випрямляч, інвертор, задаючий генератор, формувач пилкоподібної напруги, підсилювач потужності, підсилювач зворотного зв'язку, допоміжне джерело живлення, схеми захисту по перенапрузі та від перевантаження інвертора.

Інтерфейс УІМЗ виконаний у вигляді крос-плати і займає тільки верхній ряд роз'ємів модулів, що дозволяє використовувати нижній ряд для зв'язку регулятора з об'єктом. Сигнали інтерфейсу передаються за допомогою шин, згрупованих за функціональною ознакою.

Програмне забезпечення регулятора складається з наступних керуючих і виконавчих програм (рисунок 2.1):

- головна керуюча програма (Головний монітор);
- керуюча програма режиму діагностичного контролю системи (Монітор ДКС);
- керуюча програма режиму вводу технологічних параметрів (Монітор ВТП);
- керуюча програма режиму роботи (Монітор РАБ);

- програми керування індикацією і клавіатурою;*
- діагностичні тести;*
- програми запису і читання параметрів;*
- програми, що виконують робочі функції регулятора;*
- програми контролю аварійних ситуацій регулятора.*

Кожен монітор визначає порядок виконання виконавчих програм відповідних режимів роботи регулятора. Для зв'язку керуючих і виконавчих програм прийнята система обміну інформацією через приймальну і передаючу «поштові скриньки», котрі організовані в ЗУПВ.

Інформація про поточний стан регулятора міститься в передаючій «поштовій скриньці» і в узагальненому вигляді в його слові стану процесу (ССП). Передаюча «поштова скринька» використовується для відображення на панелі індикації блоку БЗ поточного стану регулятора: температури зон обігріву, аварійних ситуацій, некоректних параметрів.

Параметри і керуючі ознаки для завдання режимів роботи регулятора розміщуються в приймальній «поштовій скриньці» і в узагальненому вигляді в його слові керування процесом (СКП). Керуючі ознаки і параметри записуються в приймальну «поштову скриньку» головним монітором після аналізу поточного стану регулятора та заданих параметрів регулювання.

В каналах, працюючих в підрежимі «Контроль температури» регулятор забезпечує вимірювання температури і відображення на панелі індикації блоку БЗ заданого і виміряного значень температури. Цей підрежим використовується для вимірювання температури розплаву під час пластикації. Результати вимірювання температури розплаву можуть бути використані при багатопараметрному керуванні процесом.

В каналах, що працюють в підрежимі «Регулювання температури», регулятор забезпечує вихід об'єкта на заданий температурний режим і підтримання заданих значень температури в кожному каналі. Крім операцій, безпосередньо зв'язаних з контролем і регулюванням

температури, монітор РАБ забезпечує оперативний контроль усієї системи регулювання температури, що полягає у визначенні: 1) наявності фаз трифазної мережі; 2) обриву і правильності установки термопар; 3) працездатності схеми АЦП модуля МАЦП; 4) часткового чи повного обриву нагрівальних елементів; 5) справності тиристорів; 6) короткого замикання нагрівальних елементів; 7) верхнього й нижнього граничних значень температури.

Алгоритм послідовності обробки інформації в підрежимі «Регулювання температури» наведений на рисунку 2.3.

В цьому підрежимі регулятор проводить послідовне виконання циклів регулювання температури, які повторюються в кожному каналі у відповідності із заданим періодом квантування нагріву Тон і включають в себе наступні операції: вимірювання температури, обробка вимірювань, визначення дійсної температури, визначення розузгодження, обчислення керуючого впливу та керування обігрівом/охолодженням.

Цикл роботи регулятора починається з вимірювання температури в каналі термокомпенсації, а потім в основних каналах. Сигнали з термопар, пропорційні значенням температури у відповідних зонах обігріву, поступають на входи основних і додаткових каналів модуля МПАС, де підсилюються до нормованого значення.

До нормованого значення підсилюється також сигнал по додатковому каналу термокомпенсації, що надходить від датчика температури холодних кінців термопар, який встановлений в місці підключення термопар до клемної колодки на обладнанні. Підсилені сигнали надходять на основні й додаткові входи багатоканального модуля МАЦП, який шляхом послідовного опитування усіх каналів, (включаючи і додатковий канал термокомпенсації) виконує перетворення сигналів у двійкові коди, пропорційні рівням сигналів на основних і додаткових входах.

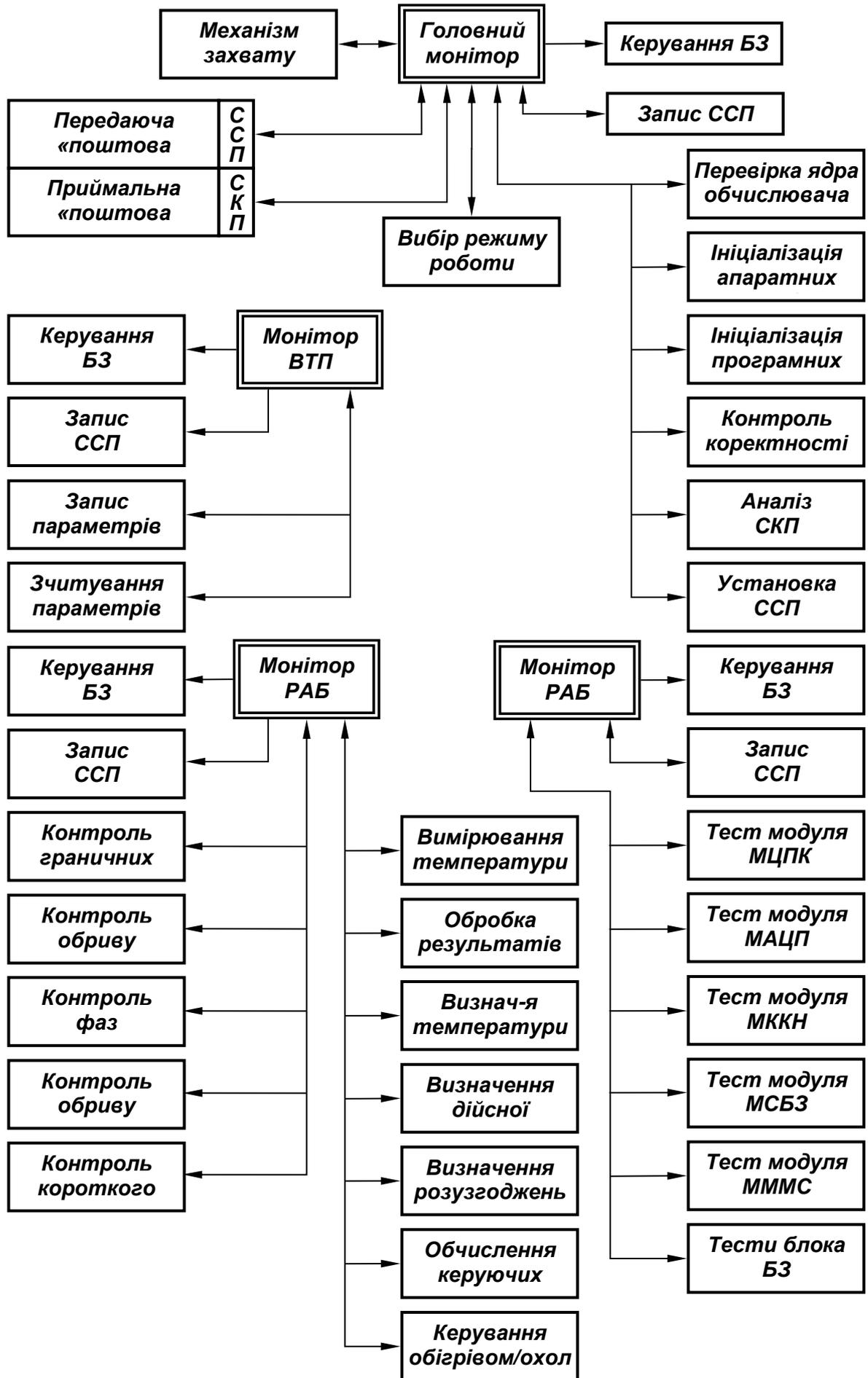


Рисунок. 2.1. Структура програмного забезпечення регулятора

Для підвищення заводозахищеності і точності вимірювання температури процедура опитування основних і додаткових каналів виконується 16 разів, у результаті чого в ЗУПВ модуля МЦПК формується масив з 16 комірок, в який заносяться результати аналого-цифрового перетворення. Після накопичення необхідної кількості вимірів виконується статистична обробка ряду замірів і визначається середньостатистичне значення результату перетворення по каналу.

Після цього проводиться лінійна інтерполяція середньостатистичних значень у відповідності з градуювальною таблицею термопари ХК63, у результаті чого визначається виміряне значення температури як сума виміряного значення температури в цьому каналі та в каналі термокомпенсації:

$$t_{д}^{\circ} = t_{ВМ}^{\circ} + t_{ХК}^{\circ}, \quad (2.2.1)$$

де $t_{д}^{\circ}$ – дійсне значення температури в n -му каналі;

$t_{ВМ}^{\circ}$ – виміряне значення температури в n -му каналі;

$t_{ХК}^{\circ}$ – значення температури холодних кінців термопар.

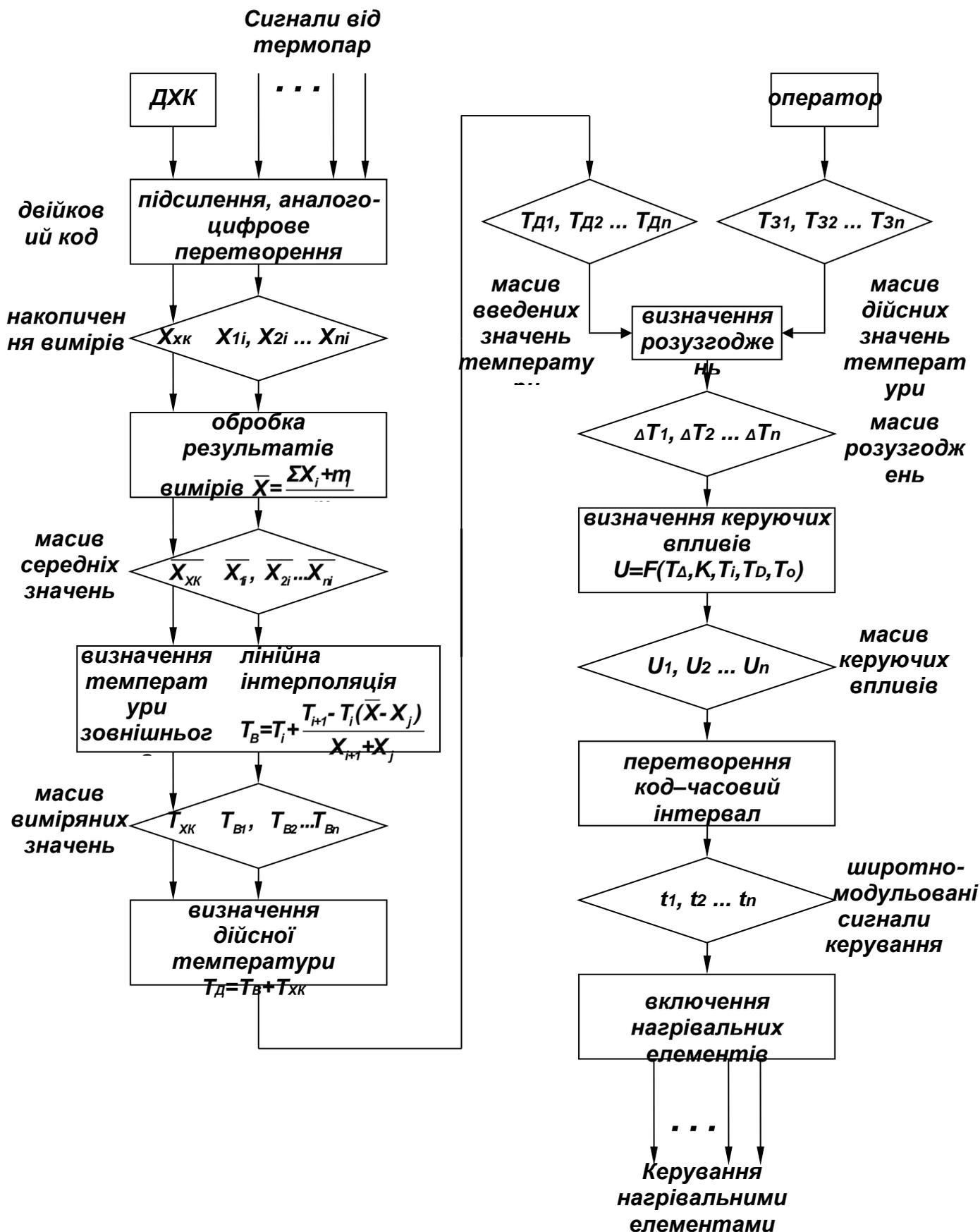


Рисунок. 2.2. Алгоритм обробки інформації в підрежимі «Регулювання»

При цьому виконується також контроль на допустимість відхилень температури від заданих граничних значень:

$$t_{\text{ан}}^{\circ} < t_{\text{д}}^{\circ} < t_{\text{ст}}^{\circ}, \quad (2.2.2)$$

де $t_{\text{ан}}^{\circ}$ – задана допустима мінімальна температура в n -му каналі;

$t_{\text{ст}}^{\circ}$ – задана допустима максимальна температура в n -му каналі.

Після цього виконується визначення розузгодження між заданим і дійсним значеннями температури. Розузгодження служить для визначення керуючого впливу, котре є функцією розузгодження і параметрів настройки

$$U = f(e, K, T_i, T_d, T_o). \quad (2.2.3)$$

Визначення керуючого впливу в поточному циклі регулювання виконується у відповідності з цифровим ПД/ПІД-алгоритмом. Обчислені керуючі впливи по кожному каналу є вихідними даними для функціонування модуля МККН.

На рисунку 2.4 приведена часова діаграма роботи регулятора, на якій відмічено два режими роботи: перехідний і усталений.

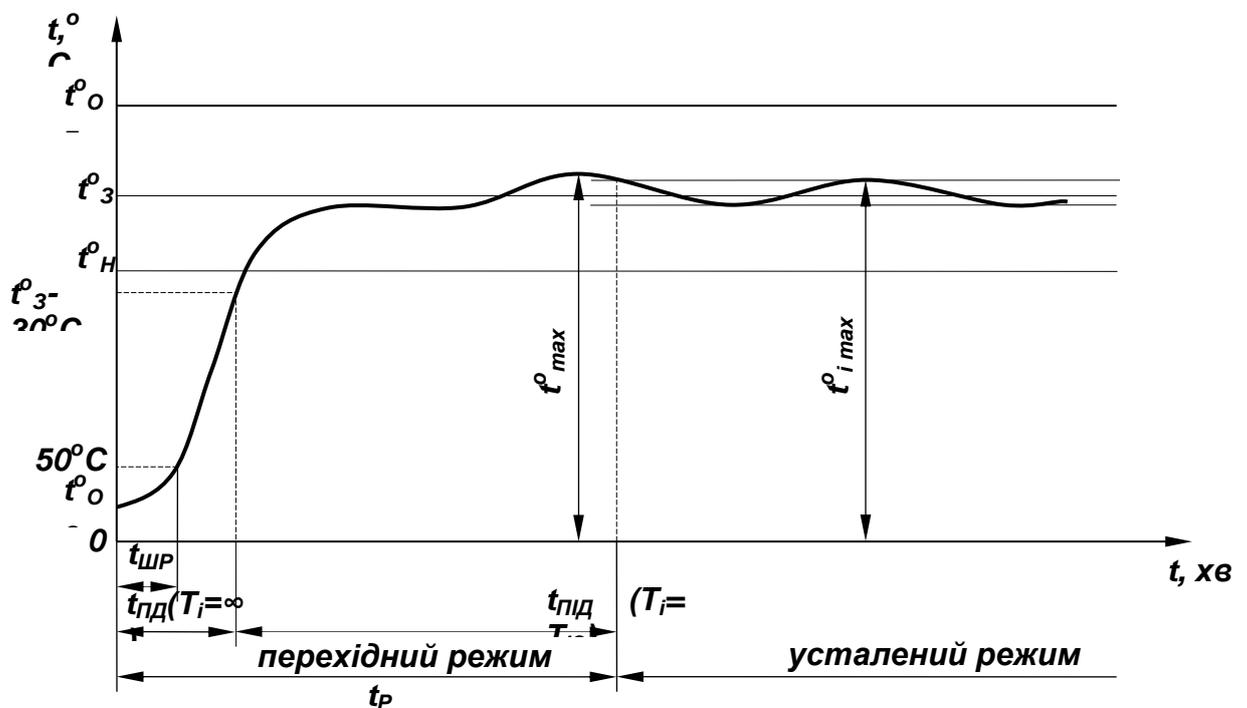


Рисунок. 2.3. Часова діаграма роботи регулятора

В перехідному режимі на відрізку температур від $t_{д}^{\circ} = t_{3}^{\circ} - 30^{\circ}\text{C}$ до досягнення об'єктом температури t_{3}° регулятор функціонує за ПІД-алгоритмом, завдяки чому забезпечується плавний підхід до заданої температури з мінімальним перегулюванням. При досягненні температурою значення $t^{\circ} > t_{\text{сн}}^{\circ}$ по всіх каналах, на виході «Блок» модуля МККН, встановлюється високий рівень сигналу ($U \geq 21,6 \text{ В}$). Сигнал з цього виходу використаний в системі керування лінією для виробництва поліетиленових труб. В усталеному режимі регулятор підтримує з точністю, вказаною в таблиці 2.2, задані значення температури в кожному каналі.

2.2 МОДЕРНІЗАЦІЯ СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ КЕРУВАННЯ ПРИВОДОМ БАРАБАНІВ

У ході виконання дипломного проектування забезпечено керування ДПС за системою ТПЧ-ДПС.

У зв'язку з технологічною необхідністю застосовано реверсивний привод.

Регулювання частоти обертання якоря електродвигуна виконується зміною напруги на якорі електродвигуна при постійному струмі збудження.

Напруга 380В через ввідний автомат 9QF1 і магнітний пускач 9KM1 подається на тиристорний перетворювач, до якого через дросель підключений електродвигун.

Живлення ланцюгів керування здійснюється напругою 220В змінного струму. Про включений ввідний автомат і подачу напруги на ланцюги керування сигналізує сигнальна лампа 9HL1.

Уся пускова, вимірювальна і сигнальна апаратура розташована на пульті керування, встановленому на корпусі машини, а релейно-

контакторна апаратура і перетворювач тиристорний розташовані в шафі керування машини.

Вмикання і вимикання електродвигуна здійснюється за допомогою кнопок 9SB2 і 9SB1 відповідно.

Для регулювання частоти обертання якоря електродвигуна застосовано ручний задатчик резисторний, виконаний на базі резистора ППБ-50Г.

Для автоматичної підтримки частоти обертання якоря електродвигуна застосований жорсткий від'ємний зворотний зв'язок по частоті обертання.

У якості датчика частоти обертання використовується тахогенератор 9BP прибудований до електродвигуна.

Напруга, пропорційна частоті обертання, включена зустрічно із задаючою напругою, що знімається з регулятора частоти обертання 9R1, встановленого на задатчику резисторному.

Результуючий сигнал поступає на вхід тиристорного перетворювача.

Вмикання електродвигуна можливе тільки з нульової частоти обертання, тобто коли задатчик знаходиться в початковому положенні (замкнутий контакт мікроперемикача 9SQ1).

Схемою передбачені наступні види захисту:

- захист електродвигуна від обриву ланцюга збудження за допомогою реле мінімального струму 9KA1;
- максимальний струмовий захист за допомогою реле максимального струму 9KA2;
- захист від тривалих перевантажень і коротких замикань за допомогою розчеплювачів вимикача автоматичного 9QF1.

Для спостереження за зміною частоти обертання барабанів без оцінки її значення з нормованою точністю використано індикатор частоти обертання 9PV типу M42300. Для градуювання шкали вольтметра згідно надписів на встановленій табличці використано змінний резистор 9R4.

Для вимірювання струму, споживаного електродвигуном, передбачено амперметр 9РА типу М42300.

Для регулювання натягнення труби діаметром менше 25мм при намотуванні її на барабан на машині намотувальній використовується рамка, що контролює положення петлі прогинання труби і яка механічно з'єднана з ротором сельсина, кут повороту якого пропорційний зусиллю натягнення ланцюга. Сигнал, що знімається з сельсина, перетворюється і подається в систему керування електроприводом для підтримки заданого натягнення труби.

Підтримання постійного натягнення намотуваної труби діаметром більше 25мм здійснюється шляхом регулювання рівня струмової відсічки перетворювача тиристорного за допомогою змінного резистора 9R2, встановленого на посту керування.

2.3 РОЗРОБЛЕННЯ ТА РОЗРАХУНОК САК ПРИВОДА БАРАБАНІВ

Для розв'язання цієї задачі, у ході дипломного проектування необхідно:

- розрахувати та вибрати джерело живлення та його елементи;
- визначити параметри силового ланцюга електропривода;
- виконати розрахунок елементів захисту;
- побудувати характеристики перетворювача;
- провести оптимізацію контурів регулювання САК;
- розрахувати швидкісні характеристики в замкненій та розімкненій САК;
- дослідити систему керування на цифровій моделі;
- розрахувати систему імпульсно-фазного керування.

2.3.1 РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

У якості живлення електродвигуна приводу барабанів використана схема трифазного мостового зустрічно-паралельного вентильного перетворювача, що представлена на рис. 2.5. Дана схема використовується в реверсивних приводах малої та середньої потужності. Реверсивний перетворювач має роздільне керування.

2.3.1.1 РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

В даній схемі трансформатор необхідний для узгодження напруги мережі живлення (380 В) і напруги двигуна (якоря електродвигуна – 220 В).

Точне визначення вторинної фазної напруги трансформатора ускладнене, оскільки в початковій стадії розрахунку невідомі падіння напруги на окремих елементах силової схеми. Урахування цих падінь напруги здійснене за допомогою деяких коефіцієнтів.

Діюче значення напруги вторинної фазної обмотки визначається за формулою

$$U_{2\text{ф}} = k_u \cdot k_v \cdot k_r \cdot k_{\text{мер}} \cdot U_{\text{дн}} = 0,428 \cdot 1,05 \cdot 1,05 \cdot 1,11 \cdot 220 = 115,346 \text{ (В)}, \quad (2.3.1)$$

де $k_u = 0,428$ – коефіцієнт схеми вентильного перетворювача;

$k_v = 1,05$ – коефіцієнт, що враховує комутацію та асиметрію напруг;

$k_r = 1,05$ – коефіцієнт, що враховує падіння напруги у вентилях, обмотках трансформатора і реакторів;

$k_{\text{мер}}$ – коефіцієнт, що враховує можливе зниження напруги мережі,

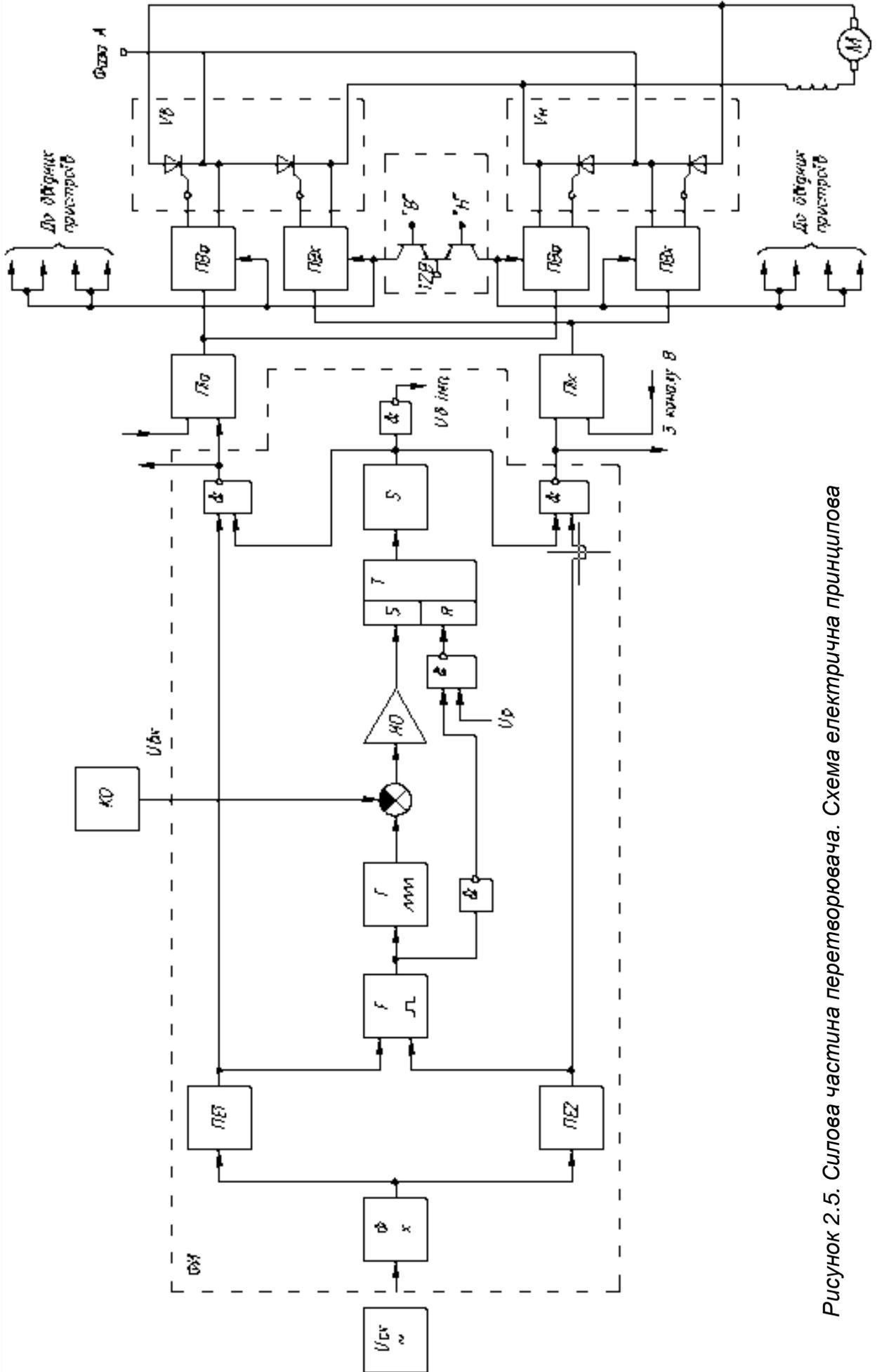


Рисунок 2.5. Силовая часть перетворювача. Схема електрична принципова

$$k_{\text{мер}} = \frac{U_{\text{дн}}}{U_{\text{дн}} - \Delta U_i \cdot U_{\text{дн}}} = \frac{380}{380 - 380 \cdot 0,1} = 1,111 \quad (2.3.2)$$

Розрахункова потужність силового трансформатора:

$$S_m = k_s \cdot P_{\text{до}} = 1,045 \cdot 4166,67 \text{ (Вт)}, \quad (2.3.3)$$

де k_s – коефіцієнт, що залежить від типу силової схеми ($k_s = 1,045$);

$P_{\text{до}}$ – найбільша споживана навантаженням потужність,

$$P_{\text{до}} = E_{\text{до}} \cdot I_{\text{дн}} = 269,5 \cdot 15,461 = 4166,67 \text{ (Вт)}, \quad (2.3.4)$$

де $E_{\text{до}}$ – найбільше середнє значення ЕРС вентильного перетворювача,

$$E_{\text{до}} = \frac{U_{2\text{ф}}}{k_u} = \frac{115,346}{0,428} = 269,5 \text{ (В)}; \quad (2.3.5)$$

$I_{\text{дн}}$ – номінальний струм двигуна,

$$I_{\text{дн}} = \frac{P_H}{U_{\text{дн}} \cdot \eta_H} = \frac{2500}{220 \cdot 0,735} = 15,461 \text{ (А)} \quad (2.3.6)$$

Для живлення електродвигуна приводом барабана вибраний трансформатор типу ТТ-5.

Технічні характеристики трансформатора ТТ-5:

– фазна напруга первинної обмотки $U_{\text{ф}} = 220 \text{ В}$;

– фазна напруга вторинної обмотки $U_{2\text{ф}} = 127 \text{ В}$;

– повна потужність трансформатора $S_t = 5 \text{ кВА}$;

– напруга короткого замикання $u_k = 7,5\%$.

Діючі значення лінійних струмів первинної та вторинної обмоток вентильного перетворювача:

$$I_1 = k_{i1} \cdot k_{21} \cdot I_{\text{дн}} = 0,817 \cdot 0,579 \cdot 15,461 = 7,312 \text{ (А)}; \quad (2.3.7)$$

$$I_2 = k_{i2} \cdot I_{\text{дн}} = 0,817 \cdot 15,461 = 12,631 \text{ (А)}, \quad (2.3.8)$$

де k_{i1} , k_{i2} – коефіцієнти схеми перетворювача ($k_{i1} = 0,817$, $k_{i2} = 0,817$);

k_{21} – коефіцієнт трансформації трансформатора,

$$k_{21} = \frac{U_{2\phi}}{U_{\phi}} = \frac{127}{220} = 0,579 \quad (2.3.9)$$

де U_{ϕ} – діюче значення напруги первинної фазної обмотки,

$$U_{\phi} = \frac{U_{*}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ (В)} \quad (2.3.10)$$

2.3.1.2 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ І ВИБІР СИЛОВИХ ВЕНТИЛІВ

Вибір вентилів проведено за середнім значенням струму, що протікає по них, і величиною прикладеної оберненої імпульсної напруги.

Розрахункове середнє значення струму вентиля визначене за формулою

$$I_{TAVp} = \frac{I_{\text{дн}}}{m} = \frac{15,461}{3} = 5,154 \text{ (А)} \quad (2.3.11)$$

де $m=3$ – у трифазних схемах вентиляльних перетворювачів.

Найбільше розрахункове значення імпульсної оберненої напруги на вентилях:

$$U_{RRMp} = k_s \cdot E_{\text{до}} = 1,045 \cdot 269,5 = 281,63 \text{ (В)} \quad (2.3.12)$$

де $k_s=1,045$ – коефіцієнт схеми перетворювача.

Для надійної роботи вентиляльного перетворювача необхідно, щоб параметри вибраних приладів задовольняли умовам

$$\begin{aligned} I_{TAVm} &\geq (2,2 \dots 2,4) I_{TAVp}; \\ U_{RRM} &\geq (1,3 \dots 1,5) U_{RRMp}. \end{aligned} \quad (2.3.13)$$

По розрахованих значеннях U_{RRMp} із довідника [27] вибрано тип вентилів, враховуючи, що при $I_{\text{дн}} < 300 \text{ А}$ зазвичай застосовують природне охолодження вентилів. При цьому вважається струм навантаження ідеально згладженим.

Технічні характеристики тиристора Т2-12-4:

- імпульсна обернена напруга $U_{RRM}=400$ В;
- найбільший допустимий прямий струм $I_{TAVm}=2,5$ А;
- ударний струм тиристора $I_y=250$ А;
- диференціальний опір прямої гілки вентиля $r_T=7 \cdot 10^{-3}$ Ом;
- максимально допустима температура структури $T_{jm}=125$ °С;
- сталий тепловий опір «перехід – середовище» $R_{thja}=1,6$ °С/В;
- порогова напруга вентиля $U_{TO}=1,02$ В;
- струм керування $I_K=50$ мА;
- перехідний тепловий опір «перехід – середовище» $Z_T=1,2$ °С/В;
- час відпирання тиристора $t_q=25$ мкс.

Для вибраного типу вентиля визначено найбільше значення прямого струму I_{TAVm} з урахуванням можливого 100% струмового перевантаження в динамічних режимах роботи приводу протягом інтервалу часу $\tau=1,5$ с. При цьому прийнято струм навантаження ідеально згладженим ($L_d \rightarrow \infty$).

$$I_{TAVm} = \frac{\sqrt{U_{TO}^2 + 4r_T k_\phi^2 \Delta P_\theta} - U_{TO}}{2r_T k_\phi^2}; \quad (2.3.14)$$

$$I_{TAVm} = \frac{\sqrt{1,02^2 + 4 \cdot 7 \cdot 10^{-3} \cdot 1,73^2 \cdot 68,896} - 1,02}{2 \cdot 7 \cdot 10^{-3} \cdot 1,73^2} = 37,955 \text{ (А)},$$

де $k_\phi=1,73$ – коефіцієнт форми струму вентиля для трифазних схем;

ΔP_θ – втрати в вентилі при струмовому перевантаженні,

$$\Delta P_\theta = \frac{T_{jm} - T_a - \Delta P R_{thja}}{Z_T} = \frac{125 - 40 - 5,813 \cdot 1,6}{1,2} = 68,896 \text{ (Вт)}, \quad (2.3.15)$$

де ΔP – втрати в номінальному режимі,

$$\Delta P = U_{TO} I_{TAVp} + r_T k_\phi^2 I_{TAVp}^2; \quad (2.3.16)$$

$$\Delta P = 1,02 \cdot 5,154 + 7 \cdot 10^{-3} \cdot 1,73 \cdot 5,154 = 5,813 \text{ (Вт)}.$$

Оскільки $I_{TAVm} \geq I_{TAVp}$, то вентиль вибраний правильно.

2.3.1.3 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЗРІВНЯЛЬНИХ РЕАКТОРІВ

Для зменшення пульсацій випрямленого струму та звуження зони переривчастих струмів ланцюг навантаження повинен мати достатню індуктивність.

При розрахунках L_d значення кута регулювання вибране таке, що відповідає номінальному режиму. Кут регулювання з достатньою точністю визначений з виразу:

$$\alpha_H = \arccos \left(\frac{U_{dH}}{E_{db}} \right) = \arccos \left(\frac{220}{269,5} \right) = 35^\circ 16'. \quad (2.3.17)$$

Амплітуда основної гармоніки вихідної напруги вентильного перетворювача

$$U_{d1m} = \frac{2E_{db} \cos(\alpha_H)}{m_2^2 - 1} \sqrt{1 + m_2^2 \tan^2(\alpha_H)}; \quad (2.3.18)$$

$$U_{d1m} = \frac{2 \cdot 269,5 \cdot \cos(35^\circ 16')}{6^2 - 1} \sqrt{1 + 6^2 \cdot \tan^2(35^\circ 16')} = 54,83 \text{ (В)}.$$

Необхідна величина індуктивності якірного ланцюга визначена з рівності

$$L_d = \frac{U_{d1m} \cdot 100}{\sqrt{2} \cdot m_2 \cdot \omega \cdot I_1' \cdot I_{dH}} = \frac{54,83 \cdot 100\%}{\sqrt{2} \cdot 6 \cdot 314,159 \cdot 5\% \cdot 15,461} = 0,027 \text{ (Гн)}, \quad (2.3.19)$$

де $m_2=6$ – кількість пульсацій випрямленої напруги перетворювача;

I_1' – допустиме відносне діюче значення основної гармоніки вихідного струму перетворювача у %. Прийнято $I_1'=5\%$;

ω – кутова частота обертання поля статора ($\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314,159$).

Індуктивність згладжуючого реактора:

$$L_{згл} = L_d - L_\pi = 27 \cdot 10^{-3} - 22,9 \cdot 10^{-3} = 3,707 \cdot 10^{-3} \text{ (Гн)}. \quad (2.3.20)$$

2.3.2 РОЗРАХУНОК СИЛОВОГО ЛАНЦЮГА ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Номінальна кутова швидкість вала електродвигуна

$$\Omega_H = \frac{\pi \cdot n_H}{30} = \frac{3,14 \cdot 1000}{30} = 104,72 \text{ (с}^{-1}\text{)} . \quad (2.3.21)$$

Номінальну ЕРС двигуна визначено за формулою

$$E_{\alpha H} = U_H - I_H \cdot R_a - \Delta U_{\omega} = 220 - 15,461 \cdot 3,771 - 2 = 159,7 \text{ (В)}, \quad (2.3.22)$$

де ΔU_{ω} – падіння напруги на щітковому контакті (прийнято $\Delta U_{\omega} = 2 \text{ В}$).

Опір щіткових контактів визначено з виразу

$$R_{\omega} = \frac{\Delta U_{\omega}}{I_H} = \frac{2}{15,461} = 0,129 \text{ (Ом)}. \quad (2.3.23)$$

Опір якірного ланцюга електродвигуна

$$R_a = \beta_m (r_{\alpha} + r_{\omega} + R_{\omega}) = 1,24 \cdot (1,843 + 0,129) = 2,446 \text{ (Ом)}. \quad (2.3.24)$$

Номінальний момент двигуна визначено як

$$M_H = \frac{P_H}{\Omega_H} = \frac{2500}{104,72} = 23,873 \text{ (Нм)}. \quad (2.3.25)$$

Конструктивний коефіцієнт електродвигуна знайдено за формулою

$$C_e = \frac{2p \cdot \omega_{\alpha}}{2\pi \cdot a} = \frac{4 \cdot 540}{2 \cdot 3,14 \cdot 2} = 343,775. \quad (2.3.26)$$

Коефіцієнт ЕРС і моменту електродвигуна

$$G = \frac{M_H}{I_H} = \frac{23,873}{15,461} = 1,544. \quad (2.3.27)$$

Номінальний потік дорівнює

$$\Phi_H = \frac{C}{C_e} = \frac{1,544}{343,775} = 4,491 \cdot 10^{-3} \text{ (Вб)}. \quad (2.3.28)$$

Опір обмотки збудження при температурі 80°С

$$R_{\omega 80} = \beta_m \cdot r_{\omega 80} = 1,24 \cdot 134 = 166,16 \text{ (Ом)}, \quad (2.3.29)$$

де $\beta_m=1,24$ – коефіцієнт, враховуючий зміну опору обмоток при нагріванні на 60°C .

Номінальний струм збудження становить

$$I_{3H} = \frac{U_{3H}}{R_{36}} = \frac{220}{166,16} = 1,324 \text{ (A)}. \quad (2.3.30)$$

Коефіцієнт нахилу кривої намагнічення при $\Phi=\Phi_H$

$$k_{\Phi} = \omega_3 \left(\frac{d\Phi}{dF} \right)_{\Phi=\Phi_H} = 950 \cdot \frac{(5,76 - 4,52) \cdot 10^{-3}}{750 - 574,319} = 6,73 \cdot 10^{-3} \text{ (Bб/A)}, \quad (2.3.31)$$

де $\frac{d\Phi}{dF}$ визначається по кривій намагнічення (рисунок 2.6).

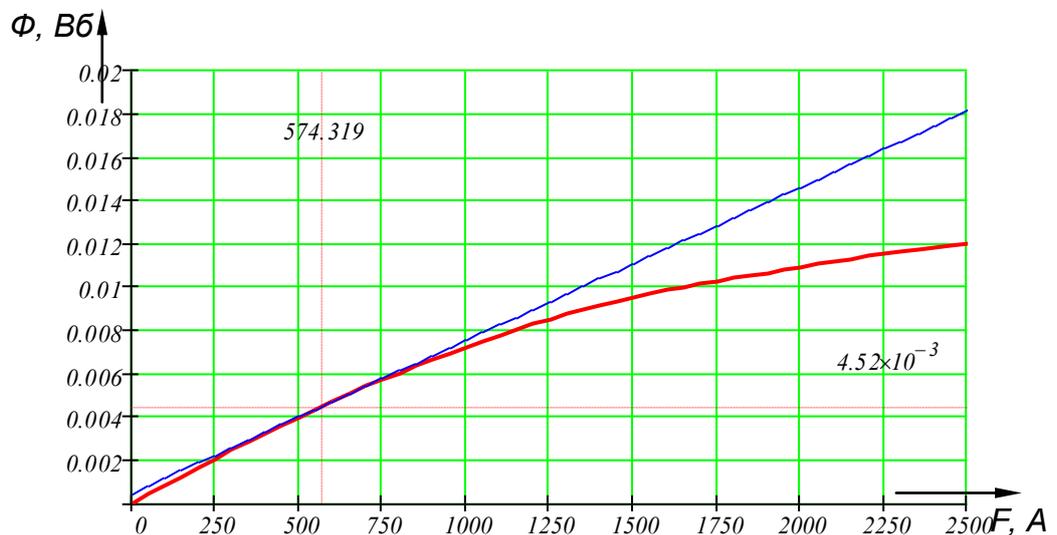


Рисунок. 2.6 Крива намагнічення

Індуктивність обмотки збудження

$$L_{36} = 2\rho\omega_3 \left[k_{\Phi} + \frac{0,5 \cdot (\sigma - 1) \Phi_H}{I_{3H}} \right]; \quad (2.3.32)$$

$$L_{36} = 4 \cdot 1000 \cdot \left[6,73 \cdot 10^{-3} + \frac{0,5 \cdot (1,085 - 1) \cdot 4,491 \cdot 10^{-3}}{1,324} \right] = 26,135 \text{ (Гн)},$$

де $\sigma=1,085$ – коефіцієнт розсіяння.

Електромагнітна постійна часу ланцюга збудження

$$T_{36} = \frac{L_{36}}{R_{36}} = \frac{26,135}{166,16} = 0,157 \text{ (с)}. \quad (2.3.33)$$

Постійна часу контуру вихрових струмів

$$T_{\text{ec}}=0,1 \cdot T_{\text{зб}}=0,1 \cdot 0,157=0,0157 \text{ (с)}. \quad (2.3.34)$$

Сумарна постійна часу ланцюга збудження становить

$$T_{\text{зб}\Sigma}=T_{\text{зб}}+T_{\text{ec}}=0,157+0,0157=0,173 \text{ (с)}. \quad (2.3.35)$$

Індуктивність якоря двигуна

$$L_a=k \cdot \frac{U_H}{I_H \cdot p \cdot \Omega_H} =0,6 \cdot \frac{220}{15,461 \cdot 2 \cdot 104,72} =0,041 \text{ (Гн)}, \quad (2.3.36)$$

де $k=0,6$ – для некомпенсованих машин.

Електромагнітна постійна часу якоря електродвигуна

$$T_a = \frac{L_a}{R_a} = \frac{0,041}{2,446} =0,017 \text{ (с)}. \quad (2.3.37)$$

Момент інерції механізму, приведений до валу електродвигуна

$$J_{\text{Мпр}}=0,15 \cdot J_{\Sigma}=0,15 \cdot 0,1115=0,0167 \text{ (кг}\cdot\text{м}^2\text{)}. \quad (2.3.38)$$

Момент інерції приводу

$$J_{\text{пр}}=J_{\Sigma}+J_{\text{Мпр}}=0,1115+0,0167=0,1282 \text{ (кг}\cdot\text{м}^2\text{)}. \quad (2.3.39)$$

Максимальне прискорення електродвигуна при пуску від задатчика інтенсивності

$$\varepsilon_{\text{max}} = \frac{M_{\text{вун}}}{J_{\text{пр}}} = \frac{23,873}{0,1282} =186,182 \text{ (рад/с}^2\text{)}, \quad (2.3.40)$$

при $M_{\text{вун}}=M_H=23,873 \text{ Н}\cdot\text{м}$

Приведений до ланцюга випрямленого струму опір трансформатора

$$R_m = \frac{u_k \cdot U_{2\text{ф}}}{I_{\text{дн}} \cdot 100} = \frac{7,5 \cdot 127}{12,631 \cdot 100} =0,754 \text{ (Ом)}. \quad (2.3.41)$$

Максимальна випрямлена ЕРС перетворювача ланцюга якоря

$$E_{\text{доЯ}}=k_{\text{cx}} \cdot U_{2\text{ф}}=2,34 \cdot 127=297,18 \text{ (В)}, \quad (2.3.42)$$

де $k_{\text{cx}}=2,34$ – коефіцієнт трифазної мостової схеми випрямлення.

Величина індуктивності розсіяння фази узгоджувального трансформатора визначена за формулою

$$L_m = \frac{u_k \cdot U_{2\phi}}{100 \cdot I_2 \cdot \omega} = \frac{7,5 \cdot 127}{100 \cdot 12,63 \cdot 314,159} = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ (Гн)}. \quad (2.3.43)$$

Індуктивний опір якорного ланцюга визначено як

$$x_d = \omega \cdot L_d = 314,159 \cdot 0,027 = 8,359 \text{ (Ом)}. \quad (2.3.44)$$

Приведений до вторинної обмотки індуктивний опір розсіяння трансформатора дорівнює

$$x_m = \omega \cdot L_m = 314,159 \cdot 2,4 \cdot 10^{-3} = 0,754 \text{ (Ом)}. \quad (2.3.45)$$

Еквівалентний опір трансформатора, що враховує зниження випрямленої напруги при комутації вентиля складає

$$R_x = \frac{3x_m}{\pi} = \frac{3 \cdot 0,754}{3,14} = 0,72 \text{ (Ом)}. \quad (2.3.46)$$

Опір згладжуючого дроселя

$$R_{з.др} = \frac{\Delta U_{з.др}}{I_{дн}} = \frac{2,2}{15,461} = 0,142 \text{ (Ом)}, \quad (2.3.47)$$

де $\Delta U_{з.др}$ – падіння напруги на активному опорі згладжуючого дроселя,

$$\Delta U_{з.др} = 0,01 \cdot U_{дн} = 0,01 \cdot 220 = 2,2 \text{ (В)}.$$

Опір шин і кабелів

$$R_w = 0,1 \cdot R_a = 0,1 \cdot 2,446 = 0,245 \text{ (Ом)}. \quad (2.3.48)$$

Опір ланцюга ТП – якор двигуна

$$R_e = R_a + R_m + R_x + R_{з.др} + R_w = 2,446 + 0,754 + 0,72 + 0,142 + 0,245 = 4,307 \text{ (Ом)}. \quad (2.3.49)$$

Індуктивність ланцюга ТП – електродвигун

$$L_e = L_a + 2L_m + L_{з.др} = 0,041 + 2 \cdot 2,4 \cdot 10^{-3} + 3,707 \cdot 10^{-3} = 49,3 \cdot 10^{-3} \text{ (Гн)}. \quad (2.3.50)$$

Максимальне значення коефіцієнта підсилення тиристорного перетворювача в ланцюзі якоря з СІФК, виконаної за вертикальним принципом керування з пилкоподібною напругою порівняння

$$K_{ВГН} = \frac{\pi \cdot E_{доя}}{U_{оп}} = \frac{3,14 \cdot 297,18}{10} = 93,362, \quad (2.3.51)$$

де $U_{оп} = 10 \text{ В}$ – амплітуда опорної напруги.

Електромагнітна постійна часу ланцюга ТП – електродвигун

$$T_e = \frac{L_e}{R_e} = \frac{49,3 \cdot 10^{-3}}{4,307} = 11,4 \cdot 10^{-3} \text{ (с)}. \quad (2.3.52)$$

Електромеханічна постійна часу

$$T_M = \frac{J_{пр} R_e}{C^2} = \frac{0,1282 \cdot 4,307}{1,544^2} = 0,232 \text{ (с)}. \quad (2.3.53)$$

Вибір шунтів в ланцюзі якоря та обмотки збудження електродвигуна проводиться при умові, що номінальний струм шунта повинен бути не менше номінального струму двигуна:

$$I_{шн} \geq I_n. \quad (2.3.54)$$

Зазвичай в якості шунтів в ланцюзі якоря та обмотки збудження двигуна використовують шунти типу 75 ШСМ на номінальну напругу 75 мВ.

Виходячи з таких умов шунт в ланцюзі якоря вибрано на струм $I_{шЯ} = 20 \text{ А}$, а шунт обмотки збудження на струм $I_{шВН} = 15 \text{ А}$.

Передавальний коефіцієнт шунта в ланцюзі якоря

$$k_{шЯ} = \frac{U_{шн}}{I_{шЯ}} = \frac{0,075}{20} = 3,75 \cdot 10^{-3} \text{ (Ом)}. \quad (2.3.55)$$

Передавальний коефіцієнт шунта в ланцюзі збудження

$$k_{шЗБ} = \frac{U_{шн}}{I_{шВН}} = \frac{0,075}{5} = 0,015 \text{ (Ом)}. \quad (2.3.56)$$

Коефіцієнт передачі комірки датчика струму якоря вибрано з умови:

$$\frac{U_{вих.п\grave{a}х}}{U_{вх.п\grave{a}х}} \leq k_{ДСЯ} \leq \frac{U_{вих.п\grave{a}х}}{2I_n k_{шЯ}}; \quad (2.3.57)$$

$$\frac{10}{0,3} \leq k_{ДСЯ} \leq \frac{10}{2 \cdot 15,461 \cdot 3,75 \cdot 10^{-3}}$$

$$33,33 \leq k_{ДСЯ} \leq 68,991$$

де $U_{\text{вх.пгх}}=0,3 \text{ В}$; $U_{\text{вих.пгх}}=10 \text{ В}$ –максимальні допустимі значення напруги на вході і на виході комірки датчика струму.

$k_3=1,2$ –коефіцієнт запасу, гарантуючий працездатність датчика при збільшенні струму на 20%.

Прийнято $k_{\text{ДС}}=69$.

Коефіцієнт передачі комірки датчика струму обмотки збудження вибрано з умови:

$$\frac{U_{\text{вих.пгх}}}{U_{\text{вх.пгх}}} \leq k_{\text{ДСб}} \leq \frac{U_{\text{вих.пгх}}}{2I_{\text{зб.н}} k_{\text{шзб}}}; \quad (2.3.58)$$

$$\frac{10}{0,3} \leq k_{\text{ДСб}} \leq \frac{10}{2 \cdot 1,324 \cdot 0,015};$$

$$33,33 \leq k_{\text{ДСб}} \leq 503,515.$$

Прийнято $k_{\text{ДС}}=503$.

Передавальний коефіцієнт тахогенератора

$$k_{\text{тг}} = e_{\text{тг}} \frac{30}{n_{\text{н тг}} \pi} = 220 \cdot \frac{30}{1000 \cdot 3,14} = 2,1 \text{ (Вс/рад)}. \quad (2.3.59)$$

Не скомпенсовані постійні часу контурів струму якоря і струму збудження прийнято $T_{\mu}=0,0095 \text{ с}$; $T_{\mu_3}=0,0095 \text{ с}$.

2.3.3 РОЗРАХУНОК ЗАПАСУ ЗА НАПРУГОЮ ТП ЯКОРЯ ДВИГУНА

Необхідний запас по напрузі становить

$$U_m^{\text{розр}} = \frac{E_{\text{доя}}^{\text{розр}}}{U_{\text{н}}} = \frac{313,36}{220} = 1,424, \quad (2.3.60)$$

$$\text{де } E_{\text{доя}}^{\text{розр}} = E_{\text{дн}} + \Delta E_{\text{д.зап}} = 180,187 + 133,173 = 313,36 \text{ (В)}, \quad (2.3.61)$$

$$\Delta E_{\text{д.зап}} = \max [\Delta E_{\text{д1}}, \Delta E_{\text{д2}}] = \max [133,173; 80,188] = 133,173 \text{ (В)}, \quad (2.3.62)$$

$$\Delta E_{\text{д1}} = \Delta E_{\text{дстат}} = I_{\text{пгх}} R_3 = 30,922 \cdot 4,307 = 133,173 \text{ (В)}; \quad (2.3.63)$$

$$\Delta E_{\text{д2}} = \Delta E_{\text{ддин}} = \frac{T_e}{2T_{\mu}} I_{\text{пгх}} R_3 = \frac{11,4 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,0095} \cdot 30,922 \cdot 4,307 = 80,188 \text{ (В)}. \quad (2.3.64)$$

Отриманий необхідний запас задовольняє умові $U_m^{\text{розр}} > 1,5$.

Фактичний коефіцієнт запасу

$$U_m^p = \frac{E_{доя}}{U_H} = \frac{297,18}{220} = 1,351. \quad (2.3.65)$$

Гранична величина ЕРС, до якої буде здійснюватись настройка контуру на модальний оптимум

$$E_{гран} = E_{доя} - \Delta E_{д.зап} = 297,18 - 133,173 = 164,007 \text{ (В)}. \quad (2.3.66)$$

2.3.4 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ЗАХИСТУ

Найбільш чутливими елементами силової частини випрямляча є напівпровідникові вентилі. Вони потребують захисту від струмів перевантаження та від перенапруг, оскільки мають відносно невелику перевантажувальну здатність по цих параметрах.

Для надійної роботи і збереження працездатності вентилів у разі виникнення аварії напівпровідниковий перетворювач потребує захисних пристроїв (рис.2.5). В даній схемі пристроями захисту є автоматичний вимикач QF1, плавкі запобіжники FU1-FU12, R-С–ланцюги, що складаються з резисторів R1-R12 і конденсаторів С1-С12, і допоміжний випрямляч, що включає діоди VD1-VD6, резистори R13, R14 і конденсатор С13.

Захист перетворювача від внутрішніх КЗ забезпечується плавкими запобіжниками шляхом узгодження їх амперсекундних характеристик з амперсекундними характеристиками вентилів. При цьому для будь-якого моменту часу допустимий струм вентиля I_{ϵ} повинен бути більше струму спрацювання захисту $I_{зах}$, тобто:

$$\left(\int i^2 dt \right)_{\epsilon} > \left(\int i^2 dt \right)_{зах}; \quad (2.3.67)$$

$$\left(\int i^2 dt \right)_{\epsilon} = \frac{I_y^2}{2} \cdot t_i = \frac{250^2}{2} \cdot 0,01 = 312,5 \text{ (Ас)}, \quad (2.3.68)$$

де I_y – значення ударного струму вентиля при тривалості перевантаження $t_u=10$ мс.

Для захисту перетворювача від КЗ із [28] вибрано запобіжник ПНБ-5-380/100 з параметрами:

– номінальна напруга пробою $U_{н.п.}=380$ В;

– номінальний струм пробою $I_{н.п.}=100$ А.

При комутаціях і аварійних режимах на вентиль діють періодичні і однократні перевантаження, для обмеження яких застосовують спеціальні захисні пристрої.

Для захисту вентилів від зовнішніх перенапружень, що виникають при включенні і відключенні перетворювального трансформатора застосовують допоміжний діодний випрямляч, навантажений на R-C контур. Параметри елементів C13, R13, R14 визначені за формулами:

$$C13=10^{-5} \cdot \frac{I_{\mu} \cdot I_2}{U_{2\phi}} = 10^{-5} \cdot \frac{4,6 \cdot 12,631}{127} = 4,46 \cdot 10^{-6} \text{ (Ф)}, \quad (2.3.69)$$

де $I_{\mu}=4,486$ А – струм намагнічення трансформатора (з графіка [25]).

Вибрано конденсатор типу КТП, C13=5,6 мкФ $\pm 10\%$.

$$R13=170 \cdot \frac{U_{2\phi}}{I_{\mu} \cdot I_2} = 170 \cdot \frac{127}{4,6 \cdot 12,631} = 381 \text{ (Ом)}. \quad (2.3.70)$$

$$R14 = \frac{2}{C13} = \frac{2}{5,6 \cdot 10^{-6}} = 357 \cdot 10^3 \text{ (Ом)}. \quad (2.3.71)$$

Вибрано із [28] наступні резистори:

R13 : C2-23, P=0,125 Вт; R=380 Ом $\pm 1\%$;

R14 : C2-33, P=0,125 Вт; R=350 кОм $\pm 5\%$.

Потужності резисторів у захисному мості дорівнюють:

$$P_1=60 \cdot R13 \left(\frac{U_{2\phi}}{R13+R14} \right)^2 = 60 \cdot 380 \cdot \left(\frac{127}{380+350 \cdot 10^3} \right)^2 = 0,003 \text{ (Вт)}; \quad (2.3.72)$$

$$P_2 = 60 \cdot R_{14} \left(\frac{U_{2\phi}}{R_{13} + R_{14}} \right)^2 = 60 \cdot 350 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{127}{380 + 350 \cdot 10^3} \right)^2 = 0,092 \text{ (Вт)}. \quad (2.3.73)$$

Діоди для допоміжного випрямляча вибираються аналогічно вентилям основного випрямляча по максимальному струму, що протікає через вихідний ланцюг допоміжного випрямляча. Цей струм можна знайти, знаючи ЕРС перетворювача і опір вихідного ланцюга (у ту мить, коли воно мінімальне і рівне R_{13}):

$$I_{2\phi} = \frac{E_{2\phi}}{R_{13}} = \frac{297,18}{380} = 0,782 \text{ (А)}, \quad (2.3.74)$$

$$E_{2\phi} = 2,34 \cdot U_{2\phi} = 2,34 \cdot 127 = 297,18 \text{ (В)}. \quad (2.3.75)$$

За розрахованими параметрами з довідникових даних [28] вибрано діоди VD1–VD6 типу Д226Б.

Для захисту вентилів від комутаційних перевантажень, викликаних накопиченням носіїв в напівпровідниковій структурі, паралельно вентилям включають захисні послідовні R-C ланцюжки, параметри яких вибирають в межах

$$C \neq (0,25..1) \text{ мкФ};$$

$$R \neq (10..30) \text{ Ом}$$

Прийнято: $C_1 = 0,25 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}; R_1 = 20 \text{ Ом}$.

Розрахункова потужність резистора R_1 вибирається в межах:

$$P_3 = 150 \cdot C_1 \cdot U_{RRV}^2 = 150 \cdot 0,25 \cdot 10^{-6} \cdot 281,63^2 = 2,974 \text{ (Вт)}. \quad (2.3.76)$$

Вибрані наступні елементи:

R_1 – R_{12} : ПЭВ, $P=3 \text{ Вт}; R=20 \text{ Ом} \pm 10\%$;

C_1 – C_1 : МБГО-2, $C=0,25 \text{ мкФ} \pm 5\%$.

2.3.5 РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК ПРИВОДА

2.3.5.1 РОЗРАХУНОК ЗОВНІШНІХ ХАРАКТЕРИСТИК

ПЕРЕТВОРЮВАЧА

Середнє значення вихідної напруги вентильного перетворювача є функцією двох змінних – струму навантаження і кута регулювання α , зв'язок між якими в режимі неперервного струму навантаження встановлюється наступним виразом:

$$U_d = E_{\text{об}} \cdot \cos(\alpha) - \frac{m_2 \cdot X_m}{2\pi} \cdot I_d \quad (2.3.77)$$

Необхідні кути регулювання знайдено з виразу

$$\alpha_H = \arccos \left[\frac{1}{E_{\text{об}}} \left(U_{\text{дн}} + \frac{m_2 \cdot X_m}{2\pi} \cdot I_{\text{дн}} \right) \right]; \quad (2.3.78)$$

Визначені значення кутів регулювання зведені в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3

$U_{\text{дн}}$	$U_{\text{дн}} = 220 \text{ В}$	$\frac{U_{\text{дн}}}{2} = 110 \text{ В}$	$-\frac{U_{\text{дн}}}{2} = 110 \text{ В}$	$-U_{\text{дн}} = 220 \text{ В}$
$I_{\text{дн}}$	$I_{\text{дн}} = 15,461 \text{ А}$	$\frac{I_{\text{дн}}}{2} = 7,73 \text{ А}$	$-\frac{I_{\text{дн}}}{2} = 7,73 \text{ А}$	$-I_{\text{дн}} = 15,461 \text{ А}$
α	$30^\circ 57'$	$64^\circ 36'$	$112^\circ 48'$	$140^\circ 48'$

Зовнішні характеристики вентильного перетворювача для значень кутів керування $\alpha = (0; 30^\circ 57'; 64^\circ 36'; \pi/2; 112^\circ 48'; 140^\circ 48'; \pi)$, побудовані за допомогою математичного пакету MathCad 2001, приведені на рисунку 2.7.

2.3.5.2 РОЗРАХУНОК РЕГУЛЮВАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

ПЕРЕТВОРЮВАЧА

Регулювальні характеристики (рисунок 2.8) будуються при постійному значенні I_d . Формула (2.3.77) при умові $I_d = \text{const}$ являє собою аналітичний вираз регулювальних характеристик вентильного перетворювача при номінальному навантаженні $I_d = I_{\text{дн}}$ та холостому ході $I_d = 0$.

Таблиця 2.4

α , рад		0	$\pi/6$	$\pi/3$	$\pi/2$	$2\pi/3$	$5\pi/6$	π
U_d, B	$I_d=I_{dH}$	258,367	222,261	123,617	-11,133	-145,883	-244,527	-280,633
	$I_d=0$	269,5	233,394	134,75	0	-134,75	-233,394	-269,5

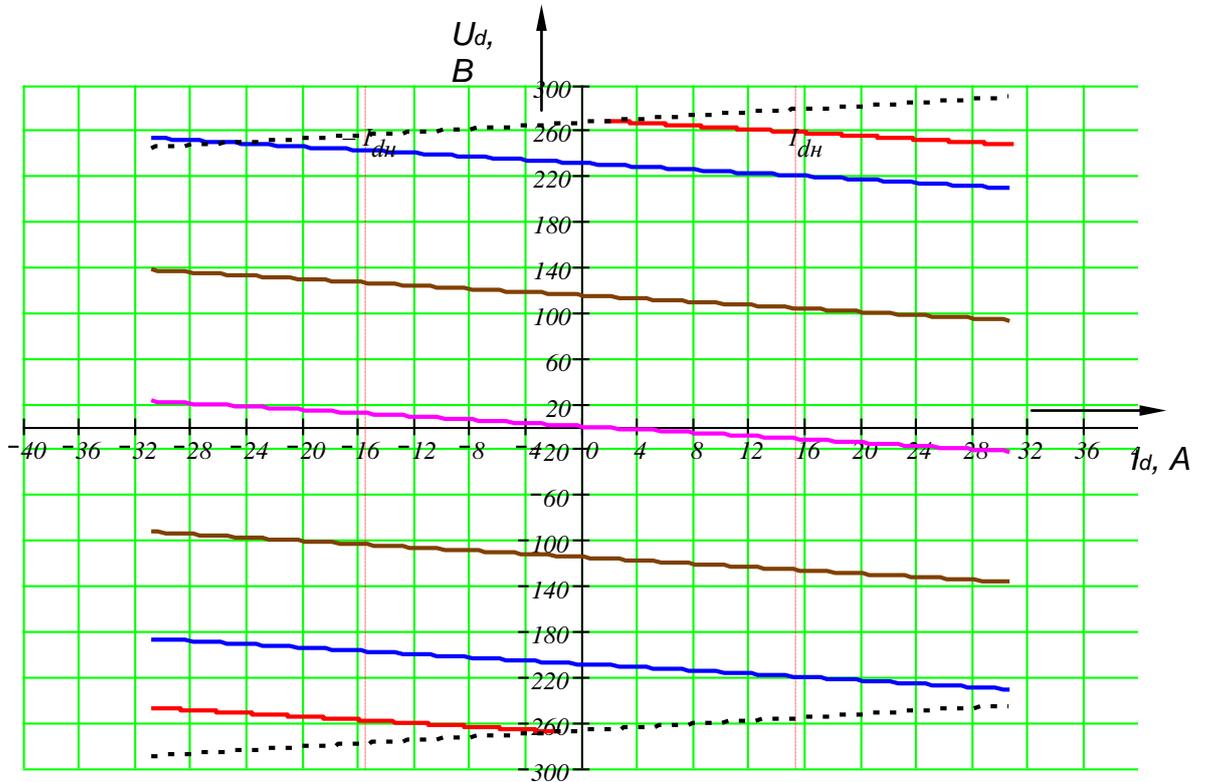


Рисунок. 2.7 Зовнішні та обмежувальні характеристики вентиляного перетворювача



Рисунок. 2.8 Регулювальні характеристики вентиляного перетворювача

2.3.5.3 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМИ ТП-ДПС

Електромеханічні характеристики системи тиристорний перетворювач – двигун постійного струму отримані підстановкою у формулу електромеханічної характеристики машини постійного струму значення вихідної напруги перетворювача:

$$\Omega_d(\alpha, I_d) = \frac{U_d(\alpha, I_d) - I_d \cdot R_e}{C_e \Phi}, \quad (2.3.79)$$

Електромеханічні характеристики наведені на рисунку 2.9.

Таблиця 2.5

I_d, A	$\Omega, \text{ рад/с}$						
	$\alpha=0$	$\alpha=30^\circ 57'$	$\alpha=64^\circ 36'$	$\alpha=\pi/2$	$\alpha=112^\circ 48'$	$\alpha=140^\circ 48'$	$\alpha=\pi$
15,461	125,596	100,749	25,529	-48,937	-123,468	-184,203	-223,47
-15,461	223,47	198,623	123,403	48,937	-25,593	-86,329	-125,596

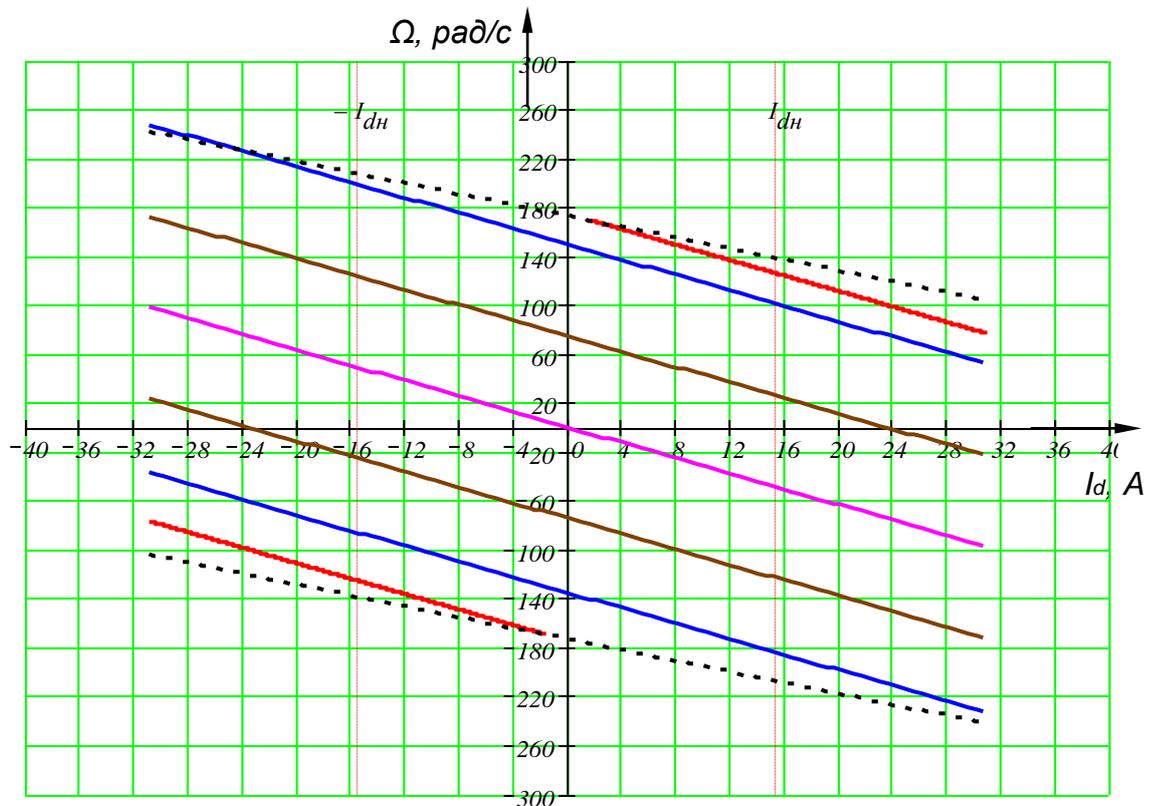


Рисунок. 2.9 Електромеханічні та обмежувальні характеристики електропривода

2.3.5.4 РОЗРАХУНОК ОБМЕЖУВАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕТВОРЮВАЧА

При роботі тиристорного перетворювача в інверторному режимі система керування повинна обмежувати величину мінімального кута інвертування для запобігання «перекидання» інвертора. Це веде до обмеження струму навантаження I_d залежно від величини напруги U_d перетворювача.

Рівняння обмежувальної характеристики має вид:

$$U_{d\text{ обм}} = E_{\text{до}} \cdot \cos(\delta + \psi) + \frac{m_2 \cdot X_m}{2\pi} \cdot I_d, \quad (2.3.80)$$

де δ – кут вмикання тиристора,

$$\delta = \omega \cdot t_q = 314,159 \cdot 250 \cdot 10^{-6} = 0,079 \text{ рад} = 4^\circ 30'; \quad (2.3.81)$$

$\psi = 3^\circ$ – кут, що враховує асиметрію імпульсів керування тиристора.

Мінімальне значення кута інвертування, яке визначається шляхом сумісного розв'язання рівнянь, що описують зовнішню і обмежувальну характеристики вентиляного перетворювача, з урахуванням можливого зниження напруги мережі живлення розраховані за формулою:

$$\beta_{\min} = \arccos \left(\cos(\delta_q + \psi) - \frac{m_2 \cdot X_m \cdot I_{\text{дн}}}{\pi \cdot (1 - \Delta U_1) \cdot E_{\text{до}}} \right); \quad (2.3.82)$$

$$\beta_{\min} = \arccos \left(\cos(4^\circ 30' + 3^\circ) - \frac{6 \cdot 0,754 \cdot 15,461}{\pi \cdot (1 - 0,1) \cdot 269,5} \right) = 25^\circ 53'.$$

Оскільки обмежувальні характеристики являють собою прямі, то для їх побудови достатньо двох точок: $I_{\text{дн}} = 2I_{\text{дн}}$ і $I_{\text{дн}} = 2I_{\text{дн}}$. Обмежувальні характеристики приведені разом із зовнішніми та електромеханічними характеристиками привода на рисунках 2.7 і 2.9.

2.3.5.5 РОЗРАХУНОК ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕТВОРЮВАЧА

Найважливішими енергетичними показниками вентиляного перетворювача є повна потужність S , активна потужність P , реактивна Q , потужність спотворення H та коефіцієнт потужності $K_{\text{п}}$.

Відносні значення цих показників при постійній величині струму навантаження $I_{дн}$ визначені наступним чином:

- відносне значення повної потужності

$$S(\alpha) = \frac{S}{P_{до}} = k_1 \cdot \sqrt{1 - k_2 \cdot \gamma(\alpha)}; \quad (2.3.83)$$

де $k_1=1,21$; $k_2=0,239$ – коефіцієнти схеми перетворювача;

- відносне значення активної потужності

$$P(\alpha) = \frac{P}{P_{до}} = \cos \left(\alpha + \frac{\gamma(\alpha)}{2} \right) \cdot \cos \left(\frac{\gamma(\alpha)}{2} \right); \quad (2.3.84)$$

- відносне значення реактивної потужності

$$Q(\alpha) = \frac{Q}{P_{до}} = \sin \left(\alpha + \frac{\gamma(\alpha)}{2} \right) \cdot \cos \left(\frac{\gamma(\alpha)}{2} \right); \quad (2.3.85)$$

- відносне значення потужності спотворення

$$H(\alpha) = \sqrt{S^2(\alpha) - P^2(\alpha) - Q^2(\alpha)}; \quad (2.3.86)$$

- коефіцієнт потужності перетворювача

$$K_{\gamma}(\alpha) = \frac{P(\alpha)}{S(\alpha)}. \quad (2.3.87)$$

У наведених виразах величина кута комутації $\gamma(\alpha)$ визначена за формулою

$$\gamma(\alpha) = \arccos \left(\cos(\alpha) - \frac{X_m \cdot I_{дн}}{\sqrt{2} \cdot U_{2ф} \cdot \sin \left(\frac{\pi}{n2} \right)} \right) - \alpha; \quad (2.3.88)$$

Таблиця 2.6

α	0	$30^{\circ} 57'$	$\pi/6$	$\pi/3$	$\pi/2$	$2\pi/3$	$\alpha=140^{\circ} 48'$	$5\pi/6$
S	1,133	1,178	1,178	1,189	1,191	1,187	1,178	1,146
$ P $	0,935	0,793	0,801	0,435	0,065	0,565	0,84	0,931
Q	0,246	0,6	0,588	0,897	0,996	0,821	0,529	0,296
H	0,591	0,633	0,632	0,647	0,65	0,644	0,627	0,599
$ K_{\gamma} $	0,825	0,673	0,68	0,366	0,055	0,476	0,673	0,813

Графіки залежностей енергетичних характеристик побудовані у функції від ступеню регулювання $\cos(\alpha)$ наведені на рисунку 2.10.

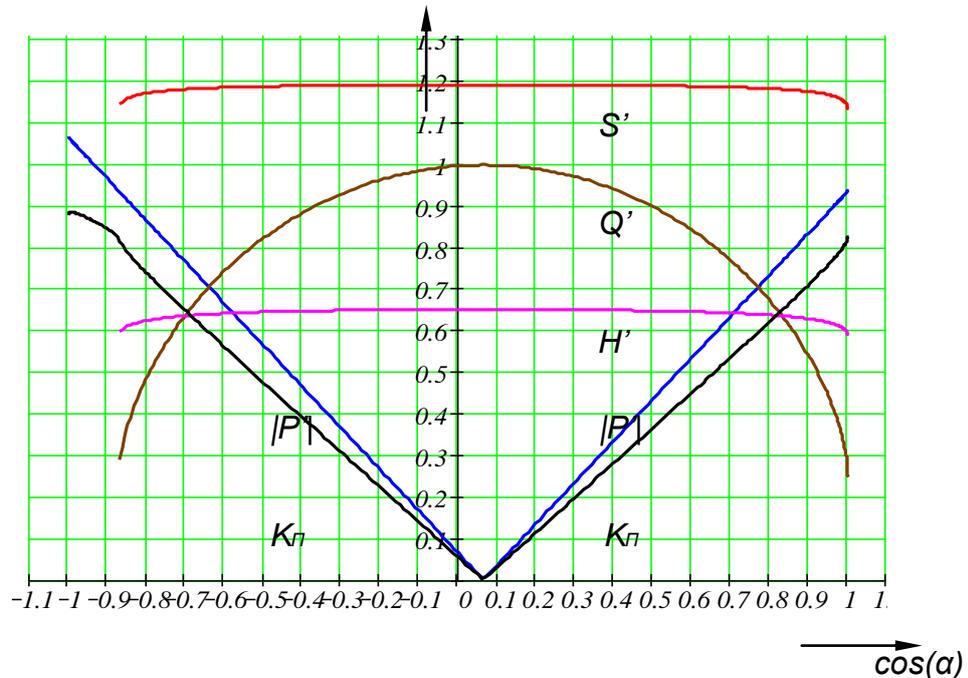


Рисунок. 2.10 Енергетичні характеристики перетворювача

2.3.5.6 РОЗРАХУНОК ККД ПЕРЕТВОРЮВАЧА

Величина сумарних втрат визначена як

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_m + \Delta P_e + \Delta P_3 = 150 + 11,626 + 9,25 = 170,876 \text{ (Вт)}, \quad (2.3.89)$$

де ΔP_m – втрати в силовому трансформаторі,

$$\Delta P_m = (1 - \eta_m) \cdot S_m = (1 - 0,97) \cdot 5000 = 150 \text{ (Вт)}, \quad (2.3.90)$$

де $\eta_m = 0,97$ – середнє значення ККД трансформаторів;

ΔP_e – втрати в вентилях,

$$\Delta P_e = \Delta P \cdot \eta_e = 5,813 \cdot 2 = 11,626 \text{ (Вт)}, \quad (2.3.91)$$

де $\eta_e = 2$ – число одночасно обтічних струмом навантаження вентилів;

ΔP_3 – втрати в ланцюгах захисту,

$$\Delta P_3 = n_3 \cdot P_3 + (P_1 + P_2) = 3 \cdot 3 + 0,125 + 0,125 = 9,25 \text{ (Вт)}, \quad (2.3.92)$$

де n_3 – число захисних R-C ланцюгів, шунтуючих вентиль.

Залежність ККД перетворювача від кутової швидкості вала двигуна визначається виразом

$$\eta(\Omega) = \frac{1}{1 + \frac{\Delta P_{\Sigma}}{(C_{\Phi} \Omega + R_a \cdot I_d)}} , \quad (2.3.93)$$

$$\eta(\Omega) = \frac{1}{1 + \frac{170,876}{(1,544 \cdot 104,72 + 2,446 \cdot 15,461)} \cdot 15,461} = 94,75 \%$$

Таблиця 2.7

Ω , рад/с		0	10	20	40	60	80	100	104,7
η	$I_d = I_{dн}, \alpha = \text{const}$	0,774	0,828	0,861	0,9	0,922	0,936	0,946	0,948
	$I_d = 0,5I_{dн}, \alpha = \text{const}$	0,461	0,608	0,693	0,785	0,835	0,866	0,887	0,891

На рисунку 2.11 наведені залежності ККД перетворювача від швидкості обертання вала двигуна при номінальному та при половинному навантаженні.

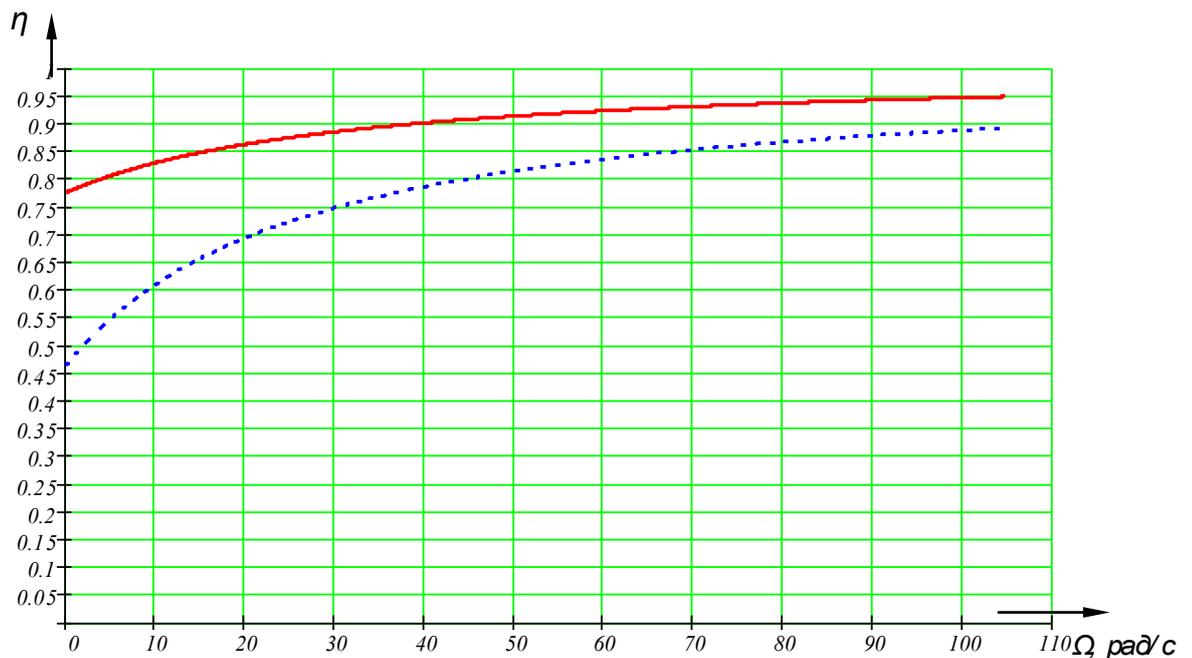


Рисунок. 2.11 Залежності ККД перетворювача від кутової швидкості обертання вала двигуна при струмах якоря $I_d = 0,5I_{dн}$ та $I_d = I_{dн}$

2.3.6 РОЗРАХУНОК І ПОБУДОВА ЧАСОВИХ ДІАГРАМ ПЕРЕТВОРЮВАЧА

Часові діаграми роботи перетворювача будуться відповідно до розрахованих параметрів для номінального режиму роботи.

Вихідні напруги випрямної, інверторної та перетворювальної груп будуються при значенні кута регулювання випрямляча $\alpha=30^{\circ}57'$.

На рисунку 2.12 наведені часові діаграми напруг випрямляча та інвертора. Часова діаграма вихідної напруги перетворювача представлена на рисунку 2.13.

Часова діаграма напруги на вентилі побудована на рисунку 2.14.

Струм вентиля і струм споживання перетворювача будуються з урахуванням кута комутації при номінальному режимі $\gamma=0,216 \text{ рад}=12^{\circ}20'$. Побудовані діаграми приведені на рисунках 2.15 і 2.16.

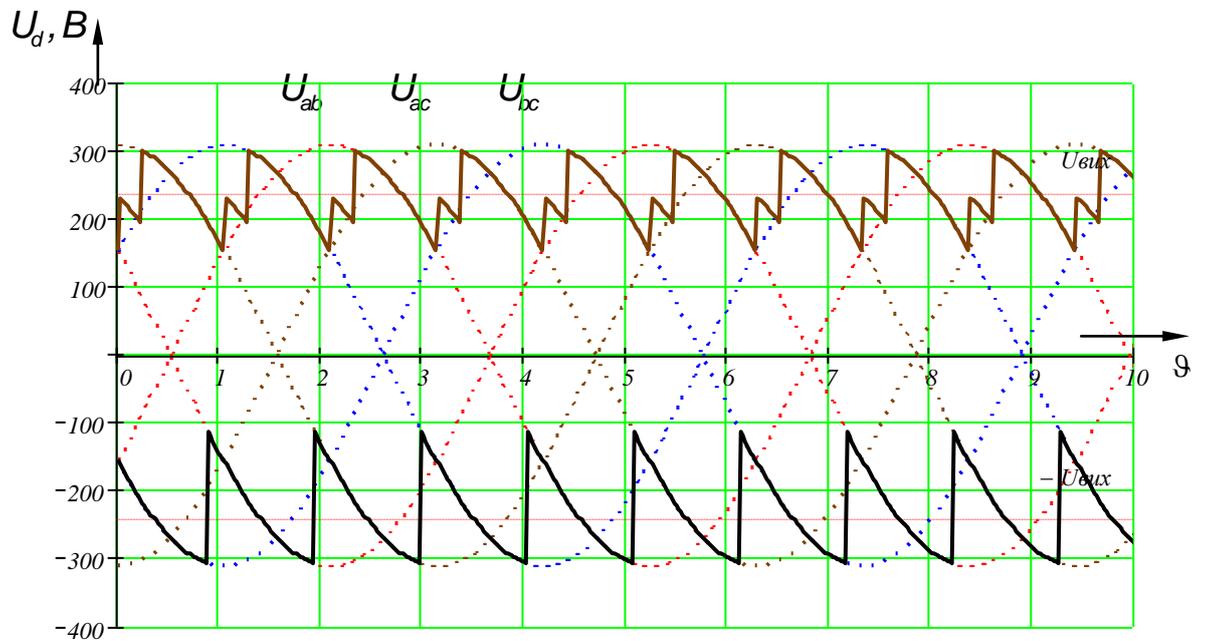


Рисунок. 2.12 Часові діаграми напруг випрямляча та інвертора

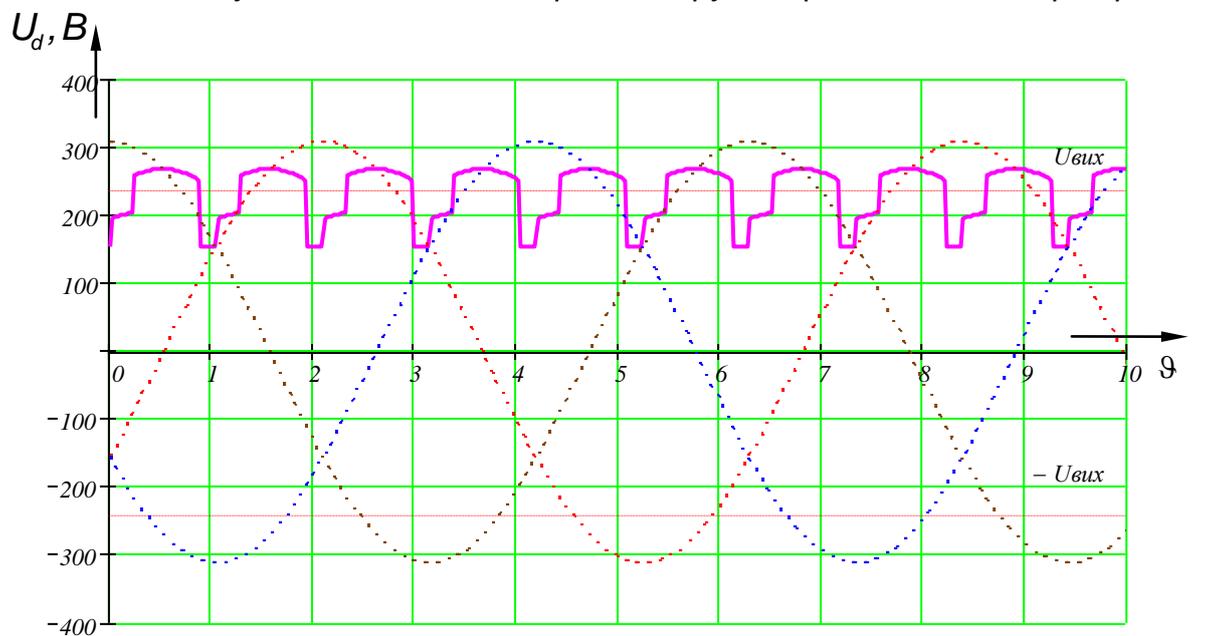


Рисунок. 2.13 Часова діаграма вихідної напруги перетворювача

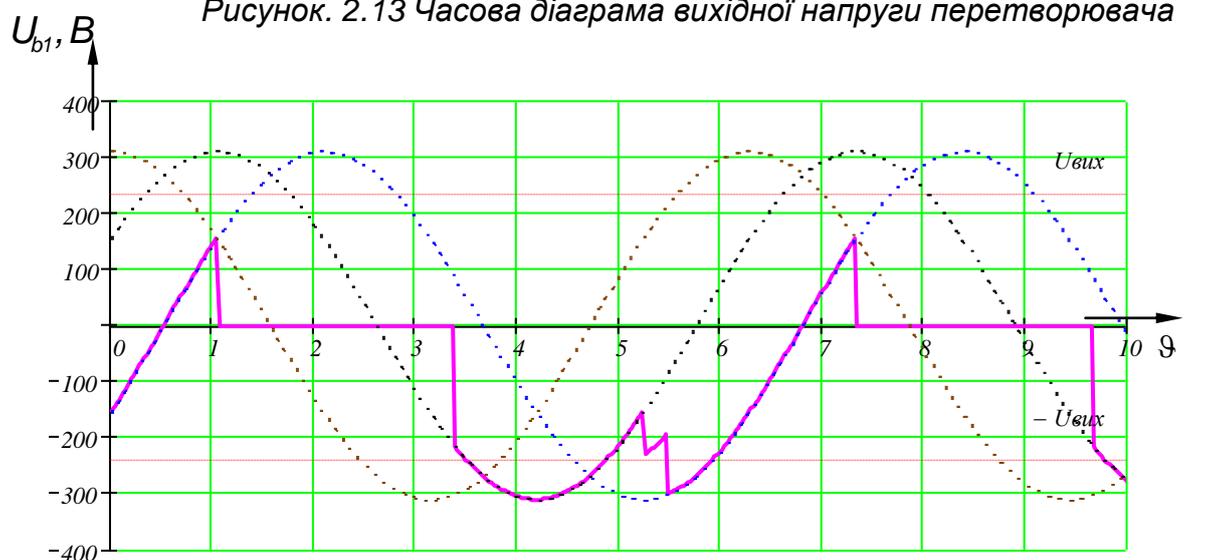


Рисунок. 2.14 Часова діаграма напруги на вентилі

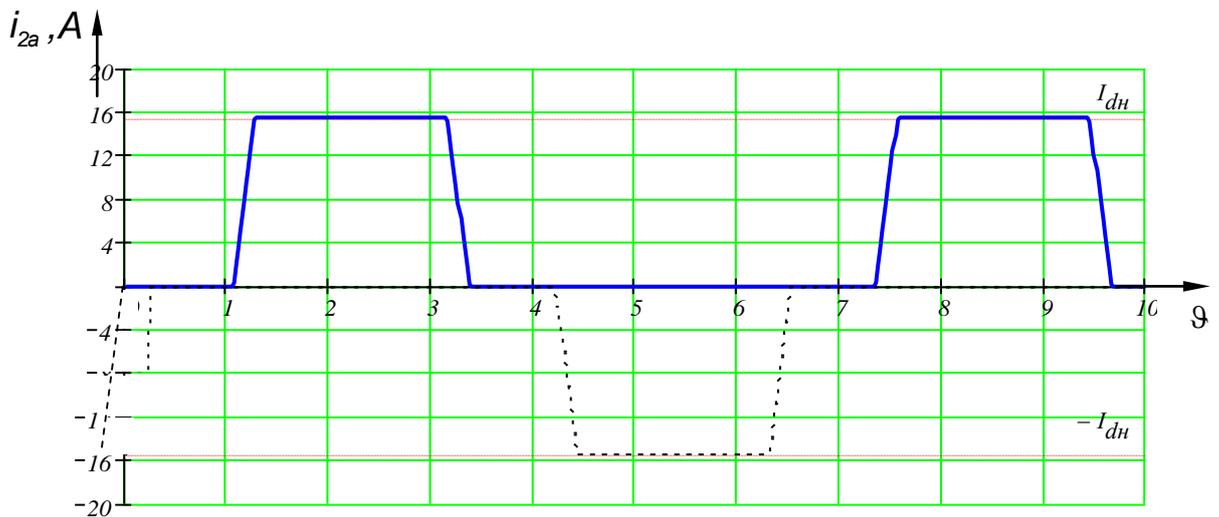


Рисунок. 2.15 Часова діаграма струму вентилля



Рисунок. 2.16 Часова діаграма струму споживаного з мережі

2.3.7 ВИБІР ТИПУ КОМПЛЕКТНОГО ТИРИСТОРНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА

Системи підпорядкованого керування поєднують в собі достоїнства методів послідовної корекції з можливістю обмеження координат руху, що здійснюються за допомогою каскадного включення регуляторів так, що вихідна напруга попереднього регулятора являється завданням для послідуєчого. Під координатами руху розуміється вихідні значення ланок системи регулювання, які змінюються в часі, наприклад n , I , U_{PC} , $U_{PШ}$ і т.д.

Обмеження чи формування за визначеним законом вихідної напруги попереднього регулятора викликає обмеження чи зміну визначеному

закону координати, що регулюється послідуочим регулятором. Таким чином, необхідне обмеження декількох координат руху досягається за допомогою багатоконтурної системи регулювання.

Для застосування в САК приводу барабанів, з урахуванням попередніх розрахунків, вибраний комплектний тиристорний перетворювач на базі БТУ 3601, функціональна схема якого, представлена в графічній частині..

Дана система з регулюванням швидкості й стабілізацією струму збудження побудована за принципом підпорядкованого керування і має два контури регулювання: внутрішній контур струму якоря та зовнішній контур швидкості.

Внутрішній контур регулювання струму якоря (РС) включає ПІ-регулятор струму, вентильний перетворювач якоря двигуна (ВПЯ), якірний ланцюг двигуна, датчик струму якоря.

Зовнішній контур регулювання швидкості (РШ) включає ПІ-регулятор швидкості, контур регулювання струму, механічну частину приводу, датчик швидкості.

На вході РШ алгебраїчно сумується напруга завдання U_3 від задатчика швидкості ЗШ і сигнал зворотного зв'язку від тахогенератора BR.

Вихідний сигнал РШ $U_{РШ}$ є задаючим для внутрішнього контуру струму, тому обмеження максимальної величини за допомогою резистора R17 приводить до обмеження максимально можливого струму в перехідних режимах і при перевантаженнях. Регулятор швидкості містить термостабільний попередній підсилювач регулятора швидкості (ППРШ) з подвійним перетворенням сигналу (модулятор–підсилювач–демодулятор) з коефіцієнтом близько 100. Модулятор і демодулятор працюють на частоті 2–3 кГц, що виробляється генератором прямокутних імпульсів.

Параметри ПІ-регуляторів змінюються шляхом відповідного вибору резисторів R10, R20 і ємностей C3, C4, C7 плати E1.

Для забезпечення постійності коефіцієнта підсилення керованого випрямляча в режимі безперервного і переривистого струмів в канал регулювання введена нелінійна ланка (НЛ) з характеристикою, зворотною регулювальній характеристиці керованого випрямляча в режимі переривистого струму.

Керуюча напруга U_k на виході НЛ являє собою суму сигналів, пропорційних величині струму і ЕРС двигуна: $U_k = U_{PC} + U_E$.

Сигнал U_E , пропорційний ЕРС двигуна, формується за допомогою функціонального перетворювача ЕРС (ФПЕ), що має арксинусну характеристику. Величина сигналу встановлюється за допомогою змінного резистора $R16$ при номінальній швидкості двигуна на холостому ході так, щоб середнє значення вихідної напруги регулятора струму U_{PC} було рівним нулю. При такій настройці сигнал U_{PC} стає пропорційним тільки струму двигуна, і тому обмеження його максимального рівня резистором $R33$ обмежує також максимальну величину складової випрямленої напруги $U_d = E_d - I_d R_e$, яка безпосередньо визначає струм якоря двигуна.

Таким чином відбувається додаткове обмеження максимально можливого струму двигуна (попереджуваче струмообмеження). Основне струмообмеження здійснюється шляхом обмеження максимальної величини сигналу $U_{PШ}$ за допомогою резистора $R17$ РШ плати $E1$. Додаткове струмообмеження використовується тільки для обмеження першого кидка струму.

Для узгодження однополярної регулювальної характеристики СІФК $\alpha = f(U_{вх})$ з реверсивним сигналом U_k служить перемикач характеристик (ПХ), виконаний на операційному підсилювачі $A1$ і транзисторних ключах $VT1$.

Для обмеження кута регулювання і установки його початкового значення служить керуючий орган СІФК. Початковий кут регулювання

$\alpha_{\text{поч}}=120$ ел.град. встановлюється за допомогою резистора R41, максимальний $\alpha_{\text{max}}=150$ ел.град. – за допомогою резистора R49, мінімальний кут $\alpha_{\text{min}}=5-10$ ел.град. – за допомогою резистора R50.

Сигнал зворотного зв'язку за струмом формується за допомогою датчика струму (ДС), що живиться від трансформаторів струму ТА2-ТА4, встановлених у ланцюзі живлення комплекту тиристорів КТ «В» і «Н». Реверсування сигналу зворотного зв'язку за струмом забезпечується транзисторними ключами V16 плати E2.

Підключення системи імпульсно-фазного керування (СІФК) до необхідного комплекту тиристорів здійснюється логічним пристроєм ЛП, який включає: перемикач характеристик ПХ, ключі V16, нуль-орган (НО), тригери на пряму струму – заданого T1 і істинного T2, схему співпаданя стану тригерів (СС), елемент відліку витримки часу, датчик провідності вентилів (ДПВ).

Логічний пристрій переключає групи вентилів при зміні полярності сигналу на виході НЛ після отримання сигналу з ДПВ про відсутність струму у вентилях протягом часу спрацьовування елемента витримки часу. Якщо за час безструмової паузи полярність задаючого сигналу знов зміниться на попередню, то попередній комплект вентилів буде знов включений без витримки часу. Це дозволяє зменшити безструмові паузи і забезпечити тим самим стійку роботу приводу.

3. ОПТИМІЗАЦІЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ СТРУКТУРИ ЕП

3.1 ОПТИМІЗАЦІЯ КОНТУРУ СТРУМУ ЯКОРЯ

Оптимізацію системи, побудованої за принципом підпорядкованого регулювання, почато з внутрішнього контуру струму якоря.

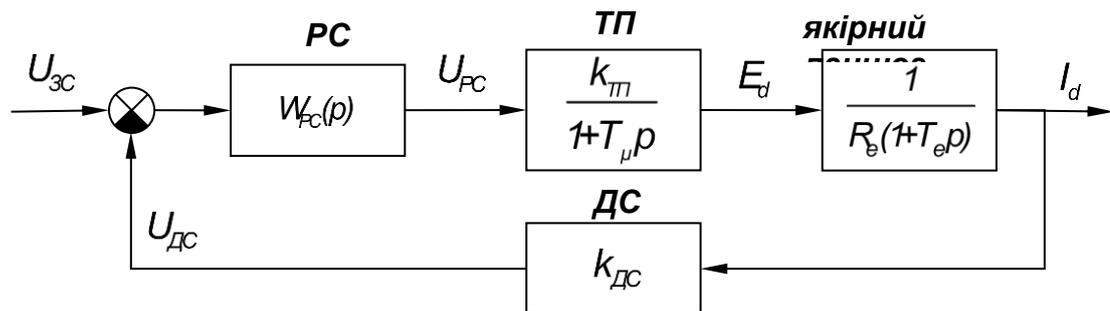


Рисунок. 3.1 Структурна схема контуру струму якоря

РС – регулятор струму;

ТП – тиристорний перетворювач якоря двигуна;

ДС – датчик струму.

Оптимізація проведена при наступних припущеннях:

– усі малі постійні часу знаходяться в тиристорному

перетворювачі: $T_\mu = T_{\text{ТП}} + T_{\text{ДС}} + T_{\mu\text{РС}}$;

– датчик струму вважається безінерційним;

– двигун загальмований ($E=0$).

Оптимізація контуру струму на модульний оптимум:

$$W_{\text{КС}}^p(p) = W_{\text{РС}}(p) \frac{k_{\text{ТП}}}{(1 + T_\mu p) \cdot R_e \cdot (1 + T_e p)} \cdot k_{\text{ДС}} = \frac{1}{2T_\mu p \cdot (1 + T_e p)}, \quad (3.1)$$

тоді

$$W_{\text{РС}}(p) = \frac{R_e \cdot (1 + T_e p)}{2T_\mu k_{\text{ТП}} k_{\text{ДС}} p} \cdot \frac{T_e}{T_e} = \frac{R_e T_e}{2T_\mu k_{\text{ТП}} k_{\text{ДС}}} \cdot \frac{T_e p + 1}{T_e p} = k_{\text{РС}} \frac{T_e p + 1}{T_e p}, \quad (3.2)$$

$$\text{де } k_{\text{РС}} = \frac{R_e T_e}{2T_\mu k_{\text{ТП}} k_{\text{ДС}}} = \frac{R_e T_e}{2T_\mu k_{\text{ТП}} k_{\text{ДС}} k_{\text{УЯ}}}. \quad (3.3)$$

Отриманій передавальній функції відповідає регулятор струму пропорційно-інтегрального типу.

Передавальна функція замкнутого контуру струму має вигляд

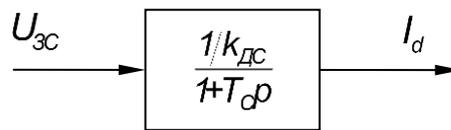
$$W_{\text{КС}}^p(p) = \frac{W_{\text{КС}}^p(p) / k_{\text{ДС}}}{1 + W_{\text{КС}}^p(p)} = \frac{1}{1 + \frac{1}{2T_{\mu}p(1+T_{\mu}p)} k_{\text{ДС}}} = \frac{1}{1 + 2T_{\mu}p + 2T_{\mu}^2p^2} \quad (3.4)$$

Оскільки величина T_{μ}^2 мала, то доданком $2T_{\mu}^2p^2$ можна знехтувати, тоді вважаючи $2T_{\mu}^2p^2 \in 0$, отримано

$$W_{\text{КС}}^p(p) \approx \frac{1}{1 + 2T_{\mu}p} = \frac{1}{1 + T_{\text{С}}p}, \quad (3.5)$$

де $T_{\text{С}} = 2T_{\mu}$ – еквівалентна постійна часу налаштованого на модульний оптимум контуру струму.

Структурна схема замкнутого контуру струму має вигляд:



Розрахунок параметрів регулятору струму:

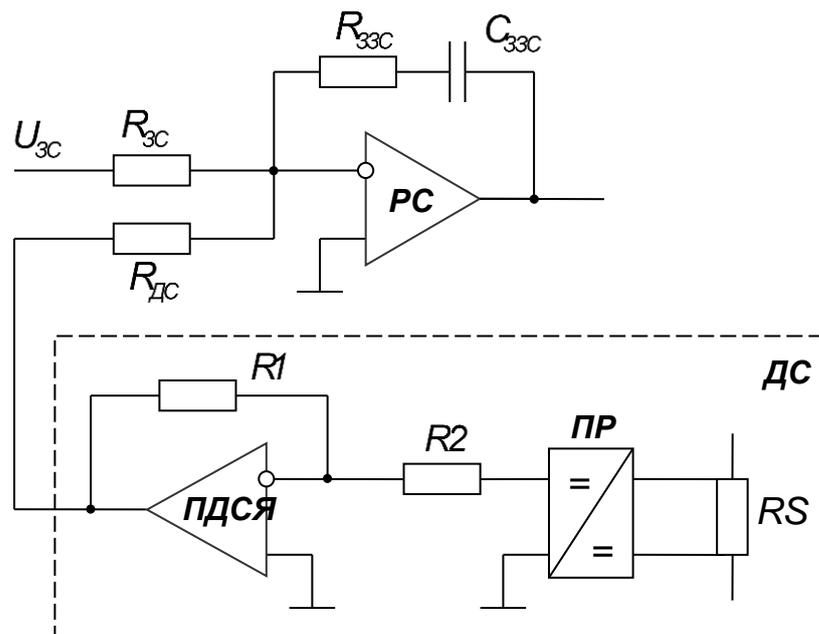


Рисунок. 3.2 Регулятор струму якоря

Величина ємності конденсатора в ланцюзі зворотного зв'язку операційного підсилювача регулятора струму прийнята $C_{ззс}=1,5 \text{ мкФ}$.

Опір резистора в ланцюзі зворотного зв'язку операційного підсилювача регулятора струму

$$R_{ззс} = \frac{T_e}{C_{ззс}} = \frac{0,014}{1,5 \cdot 10^{-6}} = 7,63 \cdot 10^3 = 7,63 \text{ (кОм)}. \quad (3.6)$$

Опір в ланцюзі датчика струму

$$R_{дс} = \frac{2T_{\mu} k_{\mu} k_{дс} k_{\text{яя}}}{R_{\epsilon} C_{ззс}} = \frac{2 \cdot 0,0095 \cdot 93,362 \cdot 86 \cdot 3,75 \cdot 10^{-3}}{4,307 \cdot 1,5 \cdot 10^{-6}} = 88,6 \cdot 10^3 \text{ (Ом)}. \quad (3.7)$$

Опір в ланцюзі задатчика струму знайдено з умов сталого режиму, в якому $U_{зс} = U_{дс}$, звідки

$$\frac{U_{зс\text{гях}}}{R_{зс}} = \frac{U_{дс\text{гях}}}{R_{дс}} \Rightarrow R_{зс} = R_{дс} \frac{U_{зс\text{гях}}}{U_{дс\text{гях}}} = 88,6 \text{ (кОм)}, \quad (2.3.165)$$

вважаючи $U_{зс\text{гях}} = U_{дс\text{гях}}$.

Коефіцієнт підсилювача датчика струму якоря

$$k_{дс\text{я}} = k_{ГР} \cdot k_{ГДс\text{я}}, \quad (3.8)$$

де $k_{ГР}=1$ – коефіцієнт підсилення пропорційного регулятора.

$$\text{Тоді } k_{ГДс\text{я}} = \frac{k_{дс\text{я}}}{k_{ГР}} = \frac{86}{1} = 86. \quad (3.9)$$

Коефіцієнт передачі зворотного зв'язку за струмом

$$k_{дс} = k_{\text{яя}} \cdot k_{дс\text{я}} \frac{R_{зс}}{R_{дс}} = 3,75 \cdot 10^{-3} \cdot 86 \cdot \frac{88,6 \cdot 10^3}{88,6 \cdot 10^3} = 0,323. \quad (3.10)$$

Коефіцієнт регулятора струму

$$k_{РС} = \frac{T_e R_{\epsilon}}{2T_{\mu} k_{\mu} k_{дс}} = \frac{0,014 \cdot 4,307}{2 \cdot 0,0095 \cdot 93,362 \cdot 0,323} = 0,086. \quad (3.11)$$

Максимальна напруга завдання для струму якоря становить

$$U_{зс\text{гях}} = I_n \cdot I_{\text{гях}} \cdot k_{дс} = 15,461 \cdot 30,922 \cdot 0,323 = 154,182 \text{ (В)}. \quad (3.12)$$

Для визначення опору R_2 використане співвідношення

$$k_{ГДСЯ} = \frac{R_2}{R_1}, \quad (3.13)$$

де R_1 прийнято 5 кОм, тоді $R_2 = R_1 \cdot k_{ГДСЯ} = 5 \cdot 86 = 430$ (кОм).

3.2 ОПТИМІЗАЦІЯ КОНТУРУ ШВИДКОСТІ

Оптимізація контуру швидкості проведена на модульний оптимум відповідно до структурної схеми (рис. 2.27).

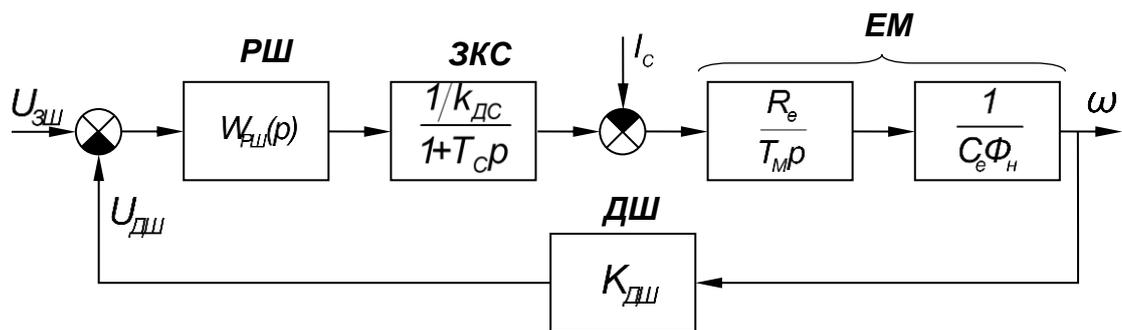


Рисунок. 3.3 Структурна схема контуру швидкості

$РШ$ –регулятор швидкості;

$ЗКС$ –замкнений контур струму;

$ЕМ$ –електромеханічна частина двигуна;

$ДШ$ –датчик швидкості.

Передавальна функція розімкненого контуру швидкості, налаштованого на модульний оптимум

$$W_{кш}^p(p) = W_{рш}(p) \cdot \frac{1/k_{дс}}{1+T_{ср}p} \cdot \frac{R_e}{T_м p} \cdot \frac{1}{C_e \Phi_n} \cdot k_{дш} = \frac{1}{2T_{ср}p(1+T_{ср}p)}. \quad (3.14)$$

Тоді

$$W_{рш}(p) = \frac{(1+T_{ср}p)T_м p C_e \Phi_n k_{дс}}{2T_{ср}(1+T_{ср}p)R_e k_{дш}} = \frac{T_м C_e \Phi_n k_{дс}}{2T_{ср}R_e k_{дш}} = k_{рш} \quad (3.15)$$

Отриманій передавальній функції відповідає регулятор швидкості П-типу. З таким регулятором система буде астатичною за завданням і статичною за збуренням.

Передавальна функція замкнутого контуру швидкості

$$W_{кш}^p(p) = \frac{W_{рш}^p(p) / k_{дш}}{1 + W_{кш}^p(p)} = \frac{1}{2T_{\sigma}p(1+T_{\sigma}p)k_{дш}} = \frac{1}{k_{дш}} \cdot \frac{1}{1+2T_{\sigma}p+2T_{\sigma}^2p^2} \approx \frac{1}{1+T_{\omega}p}, \quad (3.16)$$

де $T_{\omega} = 2T_{\sigma} = 4T_{\mu}$ – еквівалентна постійна часу налаштованого на модульний оптимум контуру швидкості.

Через наявність інерційності в датчику швидкості перехідний процес протікатиме з великим перерегулюванням. Для зменшення перерегулювання на вхід системи включають фільтр з постійною часу, рівною інерційності датчика.

$$W_{кш}^{p+\phi}(p) = \frac{1}{1+T_{\omega}p} \cdot \frac{1}{1+2T_{\omega}p} \approx \frac{1}{1+3T_{\omega}p}. \quad (3.17)$$

Розрахунок параметрів регулятора швидкості:

Коефіцієнт датчика швидкості

$$k_{дш} = \frac{U_{дштmax}}{\Omega_0} = \frac{10}{104,72} = 0,096 \text{ (Вс/рад)}, \quad (3.18)$$

де $U_{дштmax} = 10 \text{ В}$ – максимальний вихідний сигнал датчика швидкості.

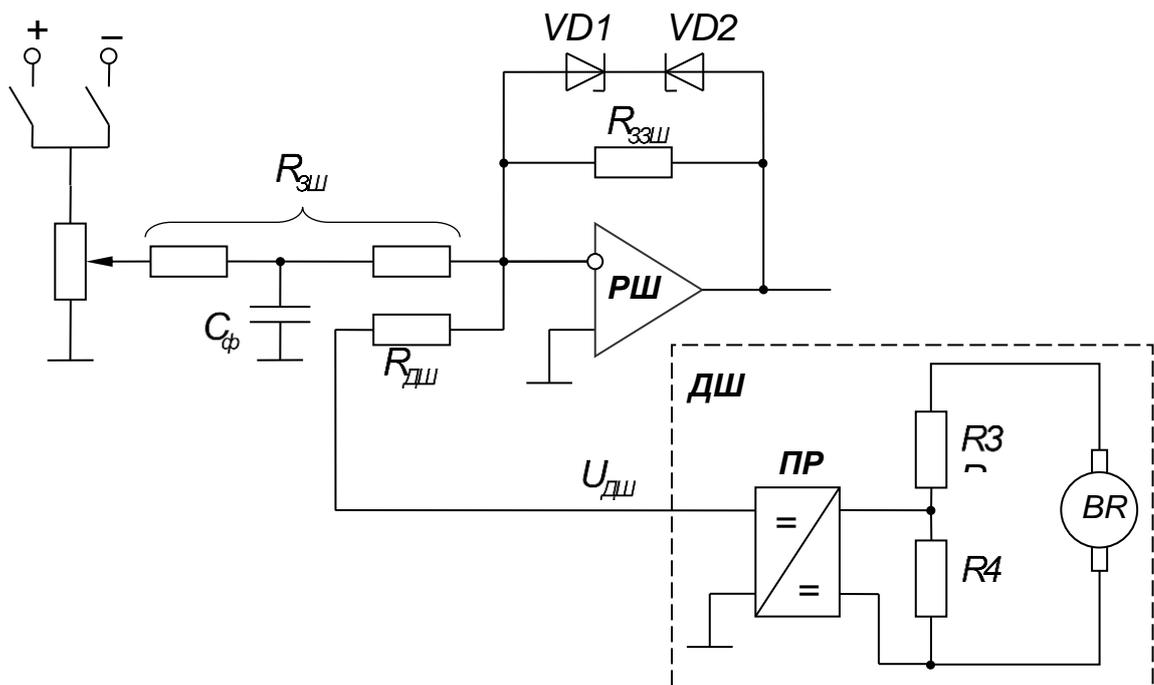


Рисунок. 3.4. Регулятор швидкості

Передавальний коефіцієнт регулятора швидкості

$$k_{PШ} = \frac{T_M C_{\Phi} k_{ДС}}{2T_C R_{\epsilon} k_{ДШ}} = \frac{0,232 \cdot 1,544 \cdot 0,323}{2 \cdot 0,019 \cdot 4,307 \cdot 0,096} = 7,381.$$

Опір в ланцюзі зворотного зв'язку операційного підсилювача регулятора напруги:

$$R_{ЗШ} = k_{PШ} \cdot R_{ДШ} = 7,381 \cdot 10 \cdot 10^3 = 73,81 \text{ (кОм)}. \quad (3.19)$$

де $R_{ДШ}$ – опір у вхідному ланцюзі регулятора швидкості. Прийнято $R_{ДШ} = 10 \text{ кОм}$.

Опір резистора в ланцюзі задатчика швидкості

$$R_{ЗШ} = R_{ЗШ} \cdot \frac{U_{ЗШ \max}}{\Omega_C k_{ДШ}} = 73,81 \cdot \frac{10}{142,487 \cdot 0,096} = 7,35 \text{ (кОм)}, \quad (3.20)$$

де $U_{ЗШ \max} = 10 \text{ В}$ – максимальний вихідний сигнал задатчика швидкості.

Ємність фільтру на вході (для зниження перерегулювання)

$$C_{\Phi} = \frac{4T_{\Phi}}{R_{ЗШ}} = \frac{16T_C}{R_{ЗШ}} = \frac{16 \cdot 0,019}{7,35 \cdot 10^3} = 41,4 \text{ (мкФ)}. \quad (3.21)$$

Коефіцієнт діляника виражено з формули $k_{ДШ} = k_{me} \cdot k_{ГР} \cdot k_{\text{дл}}$: (3.22)

$$k_{\text{дл}} = \frac{k_{ДШ}}{k_{me} k_{ГР}} = \frac{0,096}{2,11} = 0,045, \quad (3.23)$$

де $k_{ГР} = 1$ – передавальний коефіцієнт пропорційного регулятора.

Опори резисторів діляника визначені з виразу

$$k_{\text{дл}} = \frac{R3}{R3 + R4}, \text{ звідки } R3 = R4 \cdot \frac{1 - k_{\text{дл}}}{k_{\text{дл}}} = 1 \cdot 10^3 \cdot \frac{1 - 0,045}{0,045} = 21 \cdot 10^3 = 21 \text{ (кОм)} \quad (3.24)$$

де $R4$ прийнято рівним 1 кОм.

Обмеження вихідного сигналу регулятора швидкості здійснюється двома зустрічно включеними стабілітронами VD1 і VD2. Оскільки вихідний сигнал регулятора швидкості є сигналом завдання на струм,

то його обмеження приводить до обмеження струму двигуна на рівні максимально допустимого.

$$U_{VD} = U_{PШ}^{max} - \Delta U_{VD} = 10 - 1 = 9 \text{ (В)}, \quad (3.25)$$

де $U_{PШ}^{max} = 10 \text{ В}$ –максимально допустима напруга завдання на струм;

$\Delta U_{VD} = 1 \text{ В}$ –падіння напруги на стабілітронах.

3.3 ОПТИМІЗАЦІЯ КОНТУРУ СТРУМУ ЗБУДЖЕННЯ ДВИГУНА

Задачею оптимізації є стабілізація струму збудження на номінальному рівні незалежно від дії збурення і можливих змін параметрів.

Оптимізація контуру струму збудження на модульний оптимум проводиться відповідно до структурної схеми (рис. 2.29):

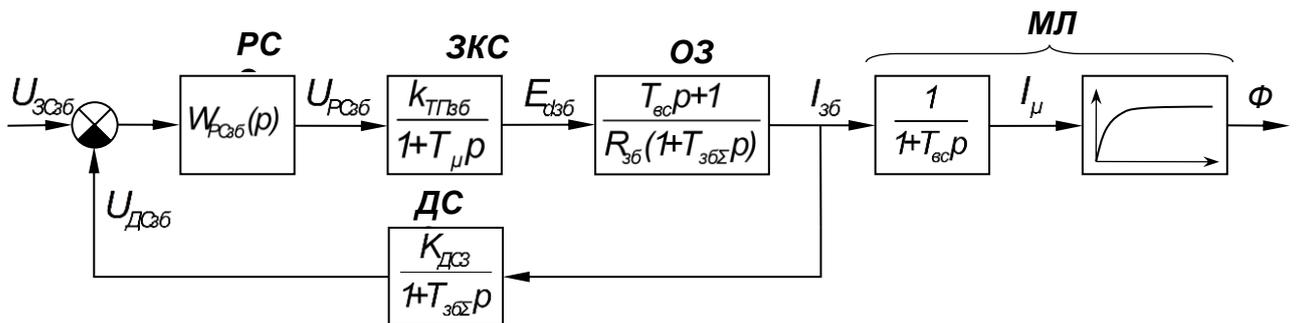


Рисунок. 3.5. Структурна схема контуру струму збудження

РСЗ –регулятор струму збудження;

ТПЗ –тиристорний перетворювач обмотки збудження;

ОЗ –електричний ланцюг обмотки збудження;

МЛ –магнітний ланцюг обмотки збудження;

ДСЗ –датчик струму збудження.

Передавальна функція регулятора струму збудження виражена з виразу

$$W_{PCзб}^p(p) = W_{PCзб}(p) \cdot \frac{k_{ТТВб}}{1 + T_{μзб}p} \cdot \frac{T_{еср}p + 1}{R_{зб}(1 + T_{збΣ}p)} \cdot k_{ДСЗ} \cdot \frac{1}{1 + T_{еср}p} = \frac{1}{2T_{μзб}p(1 + T_{μзб}p)}, \quad (3.26)$$

$$\begin{aligned}
 W_{PCЗб}(p) &= \frac{(1+T_{\muзб}p)R_{зб}(1+T_{зб\Sigma}p)}{2T_{\muзб}p(1+T_{\muзб}p)k_{TTвб}k_{ДСЗ}} = \frac{(1+T_{зб\Sigma}p)R_{зб}}{2T_{\muзб}pk_{TTвб}k_{ДСЗ}} \cdot \frac{T_{зб\Sigma}}{T_{зб\Sigma}} = \\
 &= \frac{R_{зб}T_{зб\Sigma}}{2T_{\muзб}k_{TTвб}k_{ДСЗ}} \cdot \frac{T_{зб\Sigma}p+1}{T_{зб\Sigma}p} = k_{PCЗб} \frac{T_{зб\Sigma}p+1}{T_{зб\Sigma}p},
 \end{aligned}
 \tag{3.27}$$

де $k_{PCЗб}$ – коефіцієнт регулятора струму збудження,

$$k_{PCЗб} = \frac{R_{зб}T_{зб\Sigma}}{2T_{\muзб}k_{TTвб}k_{ДСЗ}}.
 \tag{3.28}$$

Отриманій передавальній функції відповідає регулятор струму збудження ПІ–типу. Оскільки $T_{зб\Sigma} \gg T_{\mu}$, то можна використовувати більш простий регулятор П–типу з передавальною функцією

$$W_{PCЗб}(p) = k_{PCЗб} = \frac{R_{зб}T_{зб\Sigma}}{2T_{\muзб}k_{TTвб}k_{ДСЗ}}.
 \tag{3.29}$$

Розрахунок ланцюга регулятора струму збудження:

Коефіцієнт передачі тиристорного перетворювача ланцюга збудження

$$k_{TTвб(l_{зб.н})} = \frac{\pi E_{дзб}}{4U_{оп}} \cdot \sin \alpha_{зб.н} = \frac{3,14 \cdot 342}{4 \cdot 10} \cdot \sin(115^\circ 27') = 24,29,
 \tag{3.30}$$

де $E_{дзб}$ – максимальна випрямлена ЕРС перетворювача ланцюга збудження,

$$E_{дзб} = k_{сх} U_{лн} = 0,9 \cdot 380 = 342 \text{ (В)},
 \tag{3.31}$$

де $k_{сх} = 0,9$ – коефіцієнт схеми;

$\alpha_{зб.н}$ – номінальний кут керування перетворювача ланцюга збудження

$$\alpha_{зб.н} = \arccos \left(\frac{4U_{зб.н}}{E_{дзб}} - 3 \right) = \frac{4 \cdot 220}{342} - 3 = 115^\circ 27'
 \tag{3.32}$$

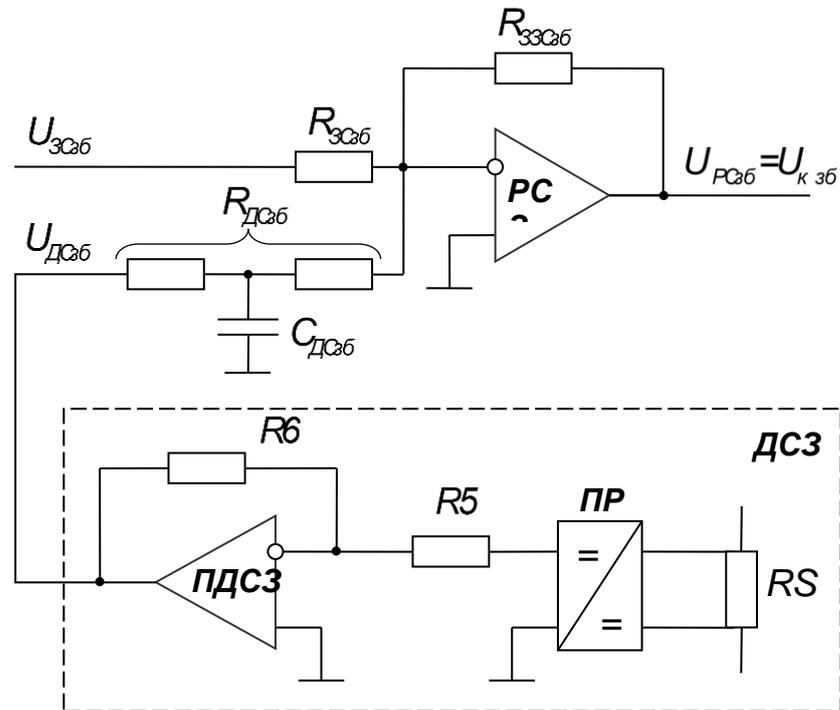


Рисунок. 3.6. Регулятор струму збудження

Коефіцієнт передачі регулятора струму збудження

$$k_{РСзб} = \frac{R_{зб} T_{зб\Sigma}}{2T_{узб} k_{ПГвб} k_{ДСЗ}} = \frac{166,16 \cdot 0,173}{2 \cdot 9,5 \cdot 10^{-3} \cdot 24,3 \cdot 7,553} = 8,248,$$

де $k_{ДСЗ}$ – коефіцієнт передачі зворотного зв'язку за струмом ланцюга збудження,

$$k_{ДСЗ} = k_{ДСзб} \cdot k_{увб} = 503 \cdot 0,015 = 7,553. \quad (3.33)$$

Ємність конденсатора в зворотному зв'язку регулятора струму збудження прийнято $C_{ДСзб} = 1,5 \text{ мкФ}$.

Опір резистора в ланцюзі зворотного зв'язку регулятора струму збудження

$$R_{зсзб} = \frac{T_{зб\Sigma}}{C_{зсзб}} = \frac{0,176}{1,5 \cdot 10^{-6}} = 1,153 \cdot 10^5 \text{ (Ом)}. \quad (3.34)$$

Опір резистора в ланцюзі датчика струму збудження

$$R_{ДСзб} = \frac{R_{зсзб}}{k_{РСзб}} = \frac{1,153 \cdot 10^5}{8,248} = 14 \text{ (кОм)}. \quad (3.35)$$

Опір резистора в ланцюзі задатчика струму збудження

$$R_{зсб} = R_{дсб} \frac{U_{зсб}}{k_{увб} k_{дсб} I_{збн}} = 11,11 \cdot 10^3 \cdot \frac{15}{0,015 \cdot 400 \cdot 1,324} = 20,98 \text{ (кОм)}, \quad (3.36)$$

де $U_{зсб}$ – номінальна напруга завдання на струм збудження.

Прийнято $U_{зсб} = 15 \text{ В}$.

Ємність конденсатора в ланцюзі датчика струму збудження

$$C_{дсб} = \frac{4T_{ес}}{R_{дсб}} = \frac{4 \cdot 0,016}{11,11 \cdot 10^3} = 5,66 \cdot 10^{-6} \text{ (Ф)}. \quad (3.37)$$

Коефіцієнт підсилювача датчика струму збудження

$$k_{дсб} = k_{увб} \cdot k_{ГР} \cdot k_{ГДсб}, \quad (3.38)$$

де $k_{ГР} = 1$ – коефіцієнт підсилення пропорційного регулятора.

$$k_{ГДсб} = \frac{k_{дсб}}{k_{увб} \cdot k_{ГР}} = \frac{503}{0,015 \cdot 1} = 33,57 \cdot 10^3.$$

Тоді

Для визначення опору R_6 використане співвідношення

$$k_{ГДсб} = \frac{R_6}{R_5}, \quad (3.39)$$

де R_5 прийнято рівним 1 кОм, тоді

$$R_6 = R_5 k_{ГДсб} = 1000 \cdot 33,57 \cdot 10^3 = 33,57 \text{ (МОм)}.$$

3.4 РОЗРАХУНОК ШВИДКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК І ЇХ СТАТИЗМУ В ЗАМКНЕНІЙ І РОЗІМКНЕНІЙ СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Механічні характеристики двигуна постійного струму лінійні, тому їх побудова проводиться по двох точках, відповідних режимам холостого ходу і номінального навантаження.

Вираз для розрахунку механічних характеристик має вигляд

$$\Omega = \Omega_0 - \Delta\Omega, \quad (3.40)$$

де Ω_0 – кутова швидкість ідеального холостого ходу,

$$\Omega_0 = \frac{U_n}{C_{еФн}} = \frac{220}{1,544} = 142,487 \text{ (рад/с)}; \quad (3.41)$$

$\Delta\Omega$ – величина падіння швидкості, що визначається моментом навантаження.

Величина напруги завдання, відповідна до швидкості холостого ходу при $\Omega_{xx} = \Omega_0$; $\Omega_{xx} = 0,5\Omega_0$:

$$\begin{aligned} U_{\text{зшmax}} &= k_{\text{дш}} \Omega_0 = 0,07 \cdot 142,487 = 10 \text{ (В)}, \\ U_{0,5 \text{ зш}} &= k_{\text{дш}} \cdot 0,5 \cdot \Omega_0 = 0,07 \cdot 0,5 \cdot 142,487 = 5 \text{ (В)}. \end{aligned} \quad (3.42)$$

Величина падіння швидкості при прикладеному номінальному навантаженні

- на природній характеристиці

$$\Delta\Omega^{\text{прх}} = \frac{I_H R_a}{C_e \Phi_H} = \frac{15,461 \cdot 2,446}{1,544} = 24,491 \text{ (рад/с)}; \quad (3.43)$$

- в розімкненій системі

$$\Delta\Omega^{\text{рс}} = \frac{I_H R_e}{C_e \Phi_H} = \frac{15,461 \cdot 4,307}{1,544} = 43,126 \text{ (рад/с)}; \quad (3.44)$$

- в замкненій системі

$$\Delta\Omega^{\text{зс}} = \Delta\Omega^{\text{рс}} \cdot \frac{2T_m}{T_M} = 43,126 \cdot \frac{2 \cdot 9,5 \cdot 10^{-3}}{0,232} = 3,537 \text{ (рад/с)}. \quad (3.45)$$

Механічні характеристики електропривода представлені на рисунку 3.7.

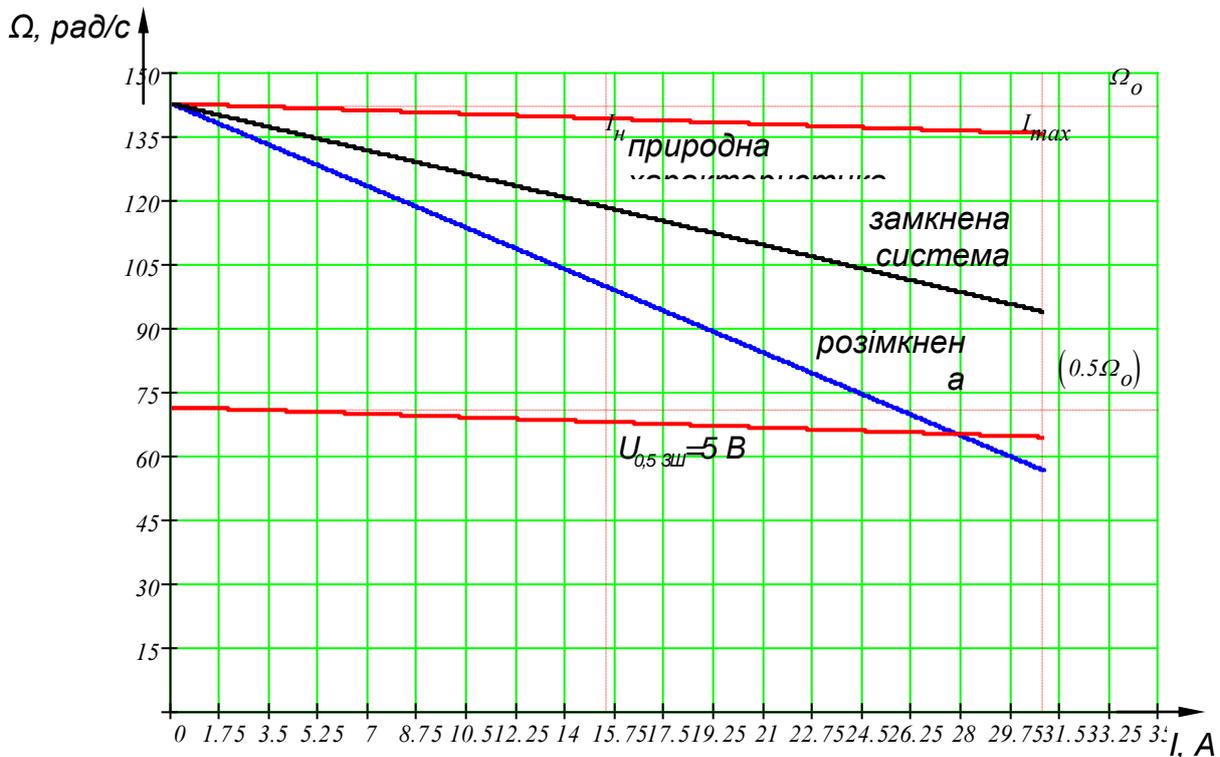


Рисунок. 3.7. Механічні (швидкісні) характеристики електропривода

Статизм механічних характеристик

- на природній характеристиці
$$S^{прх} = \frac{\Delta\Omega^{прх}}{\Omega_0} = \frac{24,491}{142,487} = 0,172; \quad (3.46)$$

- в розімкненій системі
$$S^{рс} = \frac{\Delta\Omega^{рс}}{\Omega_0} = \frac{43,126}{142,487} = 0,303; \quad (3.47)$$

- в замкненій системі
$$S^{зс} = \frac{\Delta\Omega^{зс}}{\Omega_0} = \frac{3,537}{142,487} = 0,025. \quad (3.48)$$

Діапазон регулювання швидкості

- на природній характеристиці
$$D^{прх} = \frac{\Omega_0}{\Delta\Omega^{прх}} = \frac{142,487}{24,491} = 5,818; \quad (3.49)$$

- в розімкненій системі
$$D^{рс} = \frac{\Omega_0}{\Delta\Omega^{рс}} = \frac{142,487}{43,126} = 3,304; \quad (3.50)$$

- в замкненій системі
$$D^{зс} = \frac{\Omega_0}{\Delta\Omega^{зс}} = \frac{142,487}{3,537} = 40,282. \quad (3.51)$$

З побудованих характеристик видно, що найбільшу жорсткість має механічна характеристика замкненої системи, а найменшу – розімкнена.

Причиною того, що жорсткість природної характеристики більше жорсткості характеристики розімкненої системи є наявність у випадку розімкненої системи додаткового (еквівалентного) опору в ланцюзі якоря. Найбільша жорсткість механічної характеристики замкненої системи пояснюється наявністю зворотного зв'язку. Замкнена система має найбільший діапазон регулювання. Розімкнена система має найбільший статизм, а отже, найменшу швидкодію.

3.5 РОЗРАХУНОК ВЕЛИЧИНИ ДИНАМІЧНОГО ПАДІННЯ ШВИДКОСТІ ДВИГУНА ПРИ НАКИДАННІ МОМЕНТУ НАВАНТАЖЕННЯ

На рисунку 2.32 представлена крива зміни падіння швидкості $\Delta\Omega_f(t)$ у функції часу t , отримана перерахунком кривої зміни відносного падіння

швидкості $\delta v = \frac{\Delta \Omega}{\Omega^{3c}}$ у функції відносного часу $\tau = \frac{t}{T_\mu}$. Параметри перехідного процесу відповідають налагодженню на модульний оптимум.

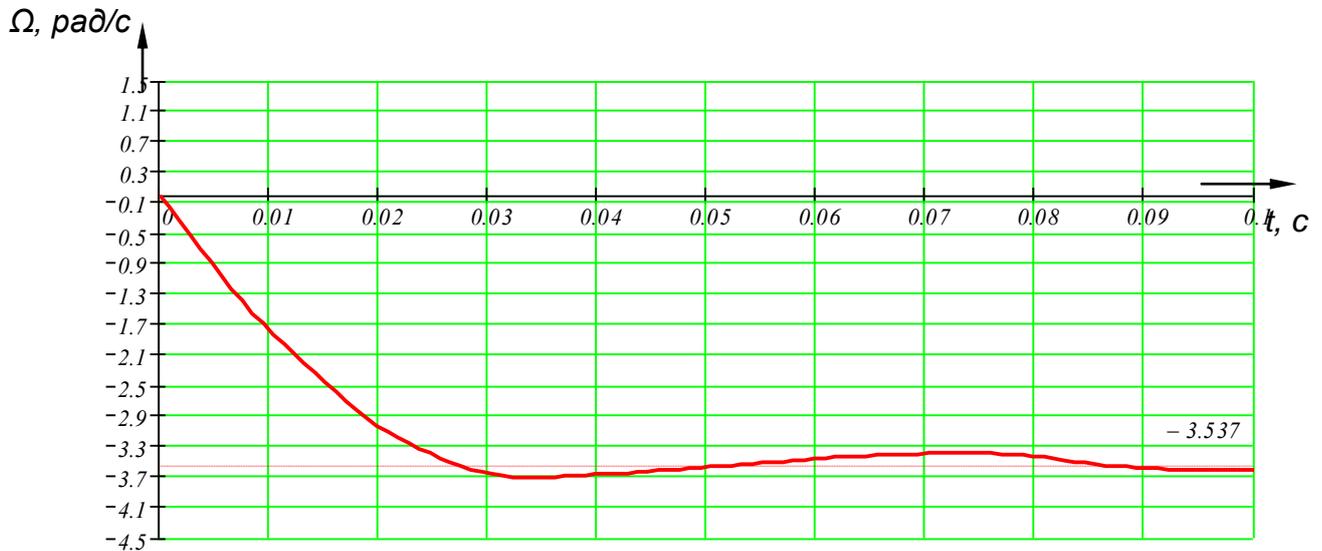


Рисунок. 3.8 Крива зміни падіння швидкості

3.6 ОЦІНКА ВПЛИВУ ВНУТРІШНЬОГО ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ ЗА ЕРС НА ПРОЦЕСИ, ЩО ПРОТІКАЮТЬ В КОНТУРІ СТРУМУ

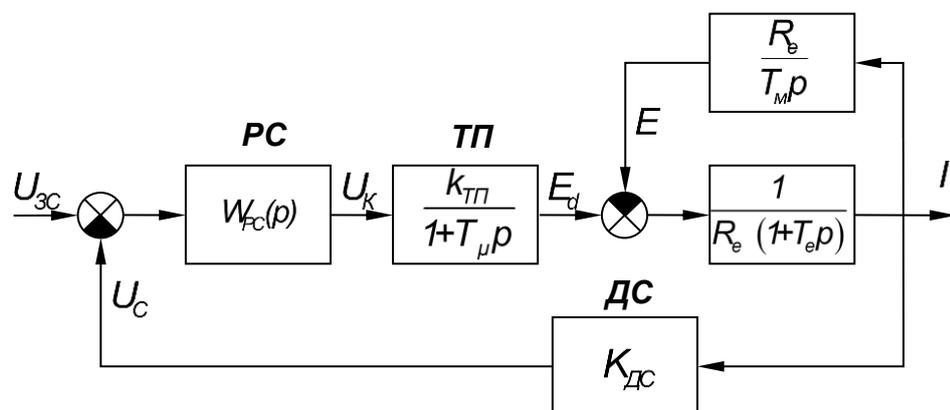


Рисунок. 3.9 Структурна схема контуру регулювання струму якоря з урахуванням дії внутрішнього ЗЗ

$$W'_{\text{зл}}(p) = \frac{I(p)}{E_a(p)} = \frac{W_{\text{тк}}(p)}{1+W^p(p)} = \frac{\frac{1}{R_e(T_e p+1)}}{1 + \frac{1}{R_e(T_e p+1)} \frac{R_e}{T_m p}} = \frac{T_m p}{R_e(1+T_m p+T_e T_m p^2)}. \quad (3.52)$$

Передавальна функція ланки якірного ланцюга в даному випадку має диференціюючі властивості, а отже компенсує інтегральні властивості регулятора.

Передавальна функція розімкненого контуру струму з урахуванням дії внутрішнього зворотного зв'язку за ЕРС становить

$$W'_{\text{кС}}(p) = \frac{T_e R_e}{2T_\mu k_{\text{ДС}} k_{\text{ТП}}} \cdot \frac{T_e p+1}{T_e p} \cdot \frac{k_{\text{ТП}}}{T_\mu p+1} \cdot \frac{1}{R_e} \cdot \frac{T_m p}{1+T_m p+T_e T_m p^2} \cdot k_{\text{ДС}} = \\ = \frac{T_m(T_e p+1)}{2T_\mu(T_\mu p+1)(1+T_m p+T_e T_m p^2)}. \quad (3.53)$$

Передавальна функція замкненого контуру струму з урахуванням дії внутрішнього зворотного зв'язку за ЕРС

$$W'_{\text{кС}}(p) = \frac{\frac{T_m}{2T_\mu k_{\text{ДС}}} \cdot \frac{T_e p+1}{(T_\mu p+1)(1+T_m p+T_e T_m p^2)}}{1 + \frac{T_m}{2T_\mu} \cdot \frac{T_e p+1}{(T_\mu p+1)(1+T_m p+T_e T_m p^2)}} = \\ = \frac{\frac{T_m}{k_{\text{ДС}}} (T_e p+1)}{2T_\mu(T_\mu p+1)(1+T_m p+T_e T_m p^2) + T_m(T_e p+1)}. \quad (3.54)$$

У сталому режимі $U_{\text{ЗС}} \lim_{p \rightarrow 0} W'_{\text{кС}}(p) = I_{\text{уст}}$ у контурі струму без урахування дії внутрішнього ЗЗ за ЕРС

$$I_{\text{уст}} = U_{\text{ЗС}} \lim_{p \rightarrow 0} W'_{\text{кС}}(p) = U_{\text{ЗС}} \frac{\frac{1}{k_{\text{ДС}}}}{\frac{2T_\mu}{T_m} + 1}, \quad (3.56)$$

$$I_{\text{уст}} = \frac{I_3}{\frac{2T_\mu}{T_m} + 1} = \frac{I_3}{\frac{2 \cdot 9,5 \cdot 10^{-3}}{0,232} + 1} = 0,924 \cdot I_3 \quad (3.57)$$

тоді Таким чином, контур струму в перехідному режимі ($\Delta E \neq 0$) стає статичним, у ньому з'являється похибка, яка тим більше, чим більше постійна часу T_μ .

Ще одним проявом впливу внутрішнього зворотного зв'язку за ЕРС є поява перерегулювання в контурі струму під час перехідних процесів пуску і гальмування. Величина перерегулювання збільшується по відношенню до усталеного, а не до заданого значення струму.

3.7 РОЗРАХУНОК І ПОБУДОВА ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Одним з варіантів визначення запасу стійкості системи автоматичного керування приводом барабанів є побудова логарифмічних амплітудно-частотних та фазочастотних характеристик, по яких визначається запас стійкості за амплітудою ΔL та за фазою $\Delta\varphi$.

Логарифмічна амплітудно-частотна характеристика системи описується рівнянням

$$L(\omega) = 20 \lg |W(j\omega)|. \quad (3.58)$$

Логарифмічна фазочастотна характеристика системи має вид

$$\varphi(\omega) = \frac{180}{\pi} \cdot \arg(W(j\omega)). \quad (3.59)$$

Для побудови логарифмічних характеристик використаний математичний пакет MathCAD 2001.

Передавальна функція розімкненого контуру струму має вид

$$W_{КС}^p(p) = W_{FC}(p) \frac{k_{ТП} \cdot k_{ДС}}{(1+T_{\mu}p) \cdot R_{\epsilon} \cdot (1+T_{\epsilon}p)}. \quad (3.60)$$

Передавальна функція розімкненого контуру струму з урахуванням впливу внутрішнього зворотного зв'язку за ЕРС

$$W_{КС}^p(p) = W_{FC}(p) \cdot \frac{k_{ТП} \cdot k_{ДС} \cdot T_{\mu}p}{R_{\epsilon} (T_{\mu}p+1) (1+T_{\mu}p+T_{\epsilon}T_{\mu}p^2)}. \quad (3.61)$$

Передавальна функція розімкненого контуру швидкості

$$W_{КШ}^p(p) = W_{FШ}(p) \cdot \frac{R_{\epsilon} k_{ДШ}}{T_{\mu}p (1+T_{\epsilon}p)}. \quad (3.62)$$

Логарифмічні амплітудно-частотні характеристики розімкнених контурів системи наведені на рисунках 3.10–3.12.

Як видно з побудованих характеристик для кожного контуру запас за амплітудою та фазою становить:

розімкнений контур струму $\Delta L=\infty$, $\Delta\varphi=38^\circ$;

розімкнений контур струму з урахуванням ЗЗ за ЕРС $\Delta L=\infty$, $\Delta\varphi=69^\circ$;

розімкнений контур швидкості $\Delta L=\infty$, $\Delta\varphi=65^\circ$.

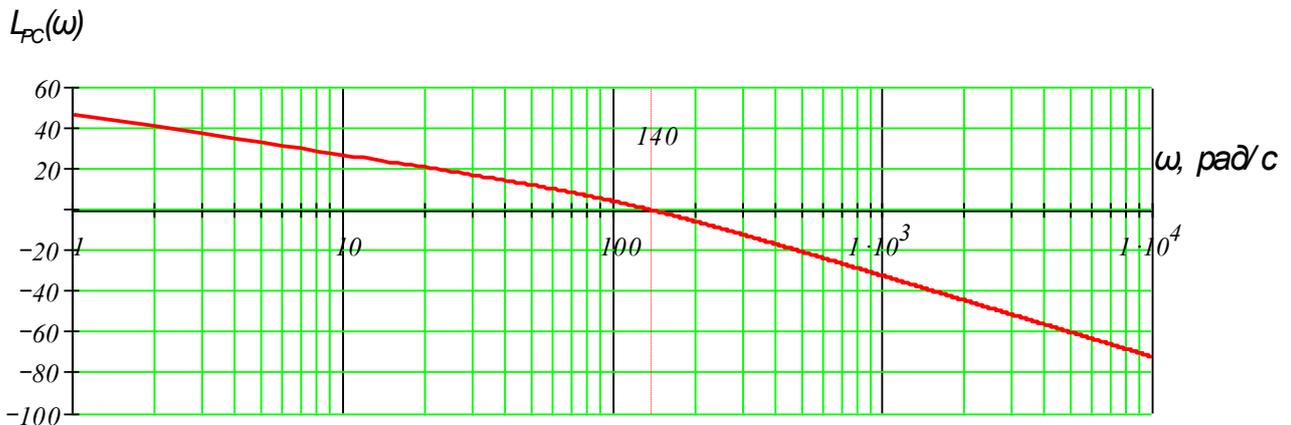


Рисунок. 3.10. Логарифмічна амплітудно-частотна характеристика контуру струму

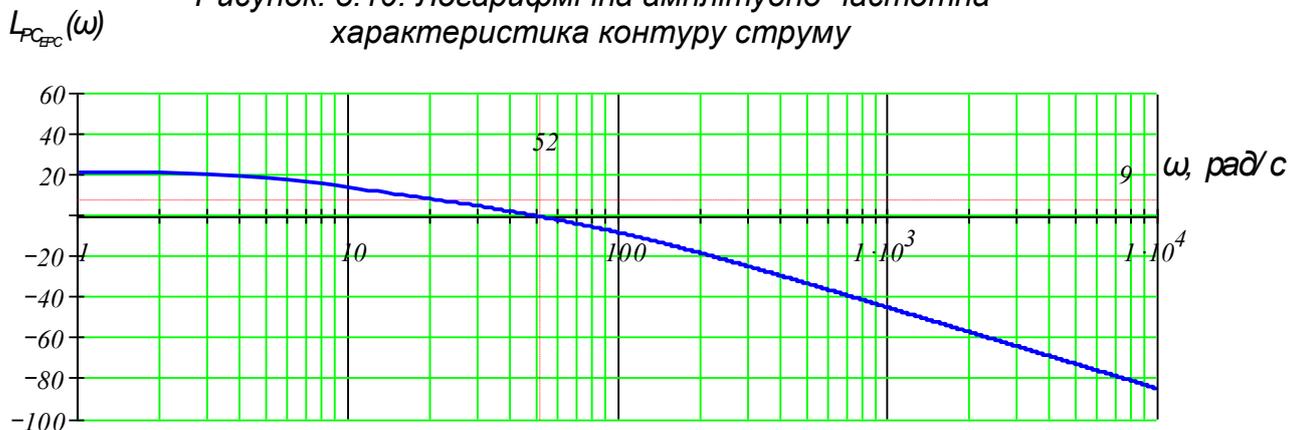


Рисунок. 3.11. Логарифмічна амплітудно-частотна характеристика контуру струму з урахуванням

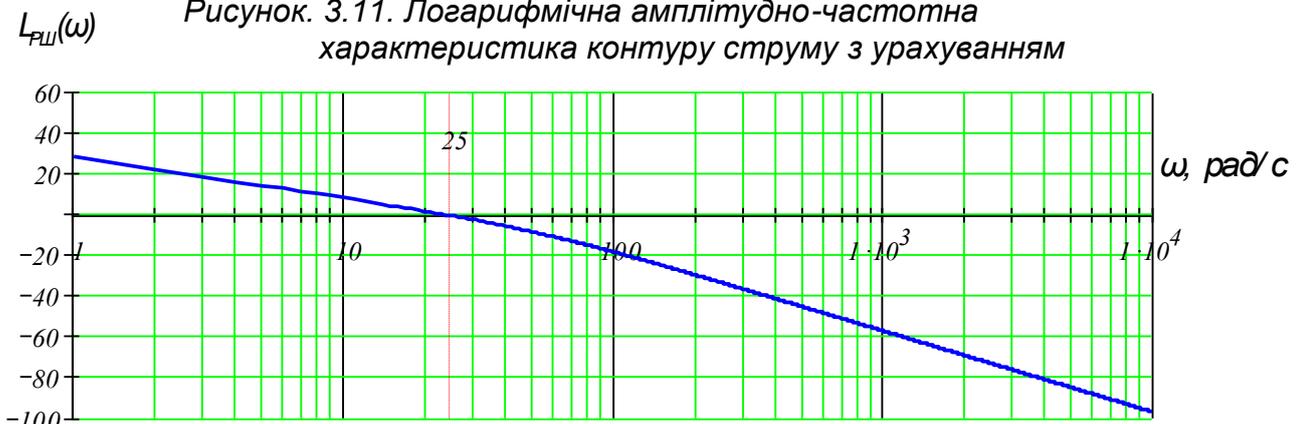


Рисунок. 3.12. Логарифмічна амплітудно-частотна характеристика контуру швидкості

Побудовані логарифмічні фазочастотні характеристики розімкнених контурів системи наведені на рисунках 3.13–3.15.



Рисунок. 3.13. Логарифмічна фазочастотна характеристика контуру струму



Рисунок. 3.14. Логарифмічна фазочастотна характеристика контуру струму з



Рисунок. 3.15. Логарифмічна фазочастотна характеристика контуру швидкості

3.8 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У КОНТУРАХ САК НА ЦИФРОВІЙ МОДЕЛІ

Дослідження процесів, що протікають у контурі струму якоря та швидкості обертання двигуна проведені за допомогою математичного пакету Matlab 5.1.

Вихідні дані:

Швидкість холостого ходу при пониженій напрузі

$$\Omega_{0,5} = 0,5\Omega_0 = 0,5 \cdot 142,487 = 71,24 \text{ (рад/с)}. \quad (3.63)$$

Сигнал завдання на швидкість холостого ходу $U_{\text{зхх}} = 5 \text{ В}$.

3.9 РОЗРАХУНОК КОНТУРУ СТРУМУ ТА ЙОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Таблиця 2.8

Параметри структурної схеми електропривода	
Електромагнітна постійна часу ланцюга ТП-Д, с	0,0114
Некомпенсована постійна часу якорного ланцюга, с	0,0095
Опір ланцюга ТП-Д, Ом	4,307
Коефіцієнт підсилення регулятора струму	0,086
Коефіцієнт передачі вентильного перетворювача	93,362
Коефіцієнт передачі датчика струму якоря	0,323

Таблиця 2.9

Параметри навантажувальної діаграми	
Тривалість ділянки, с	Сигнал завдання на струм, В
0,2	5
0	-5

На рисунку 3.16 представлено 9 графіків перехідних процесів. Графіки розташовані зліва направо за збільшенням постійної часу регулятора T_p , і зверху вниз по зменшенню коефіцієнта передачі регулятора k_p . На центральному графіку – перехідний процес при настройці системи на модульний оптимум. Як видно з графіків, при збільшенні постійної часу регулятора зменшується коливання перехідного процесу, а при зменшенні коефіцієнта передачі регулятора зменшується перерегулювання. Оптимальний перехідний процес спостерігається в системі, налаштованій на модульний оптимум.

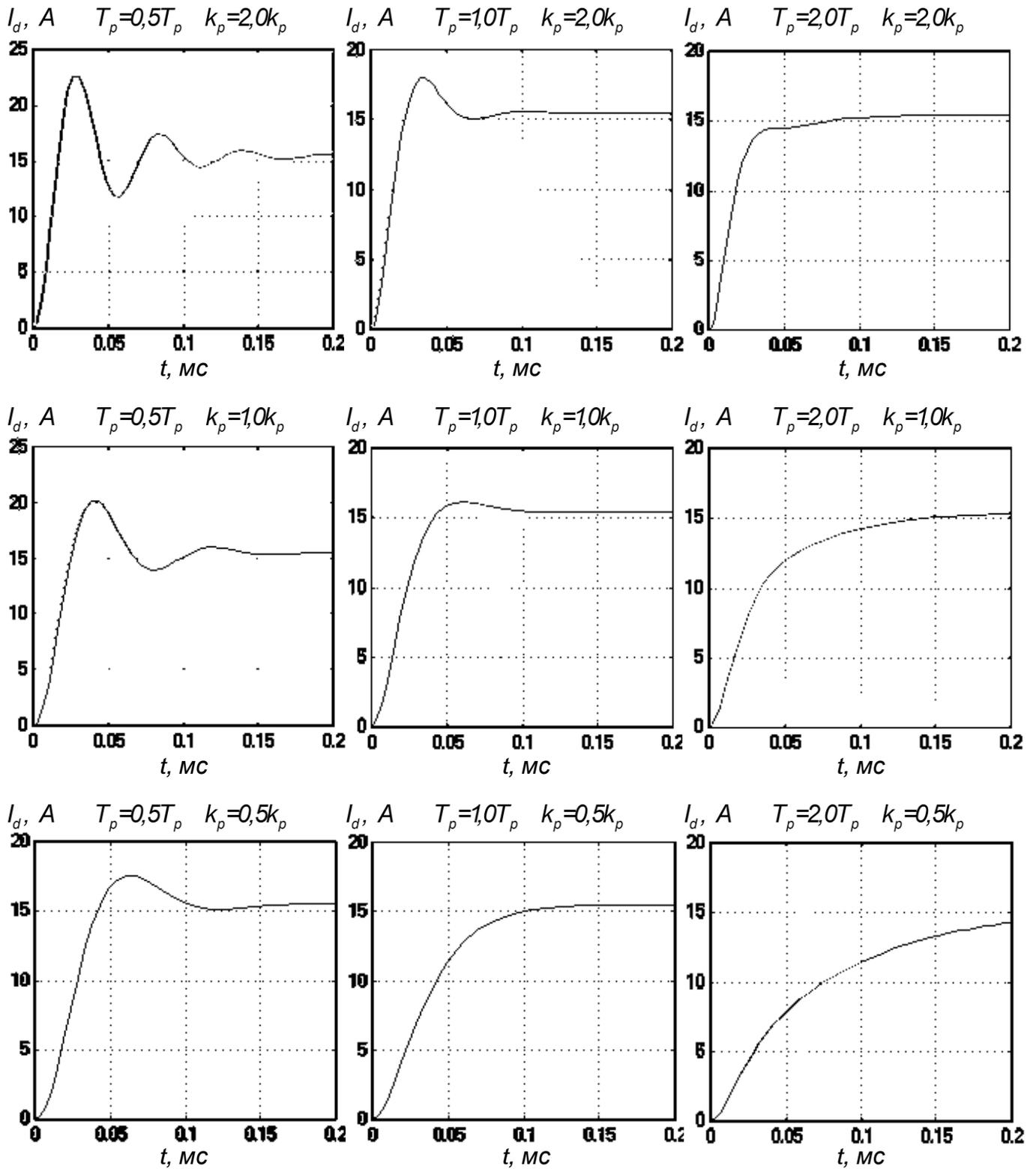


Рисунок. 3.16 Дослідження настройки контуру струму

ДОСЛІДЖЕННЯ КОНТУРУ СТРУМУ

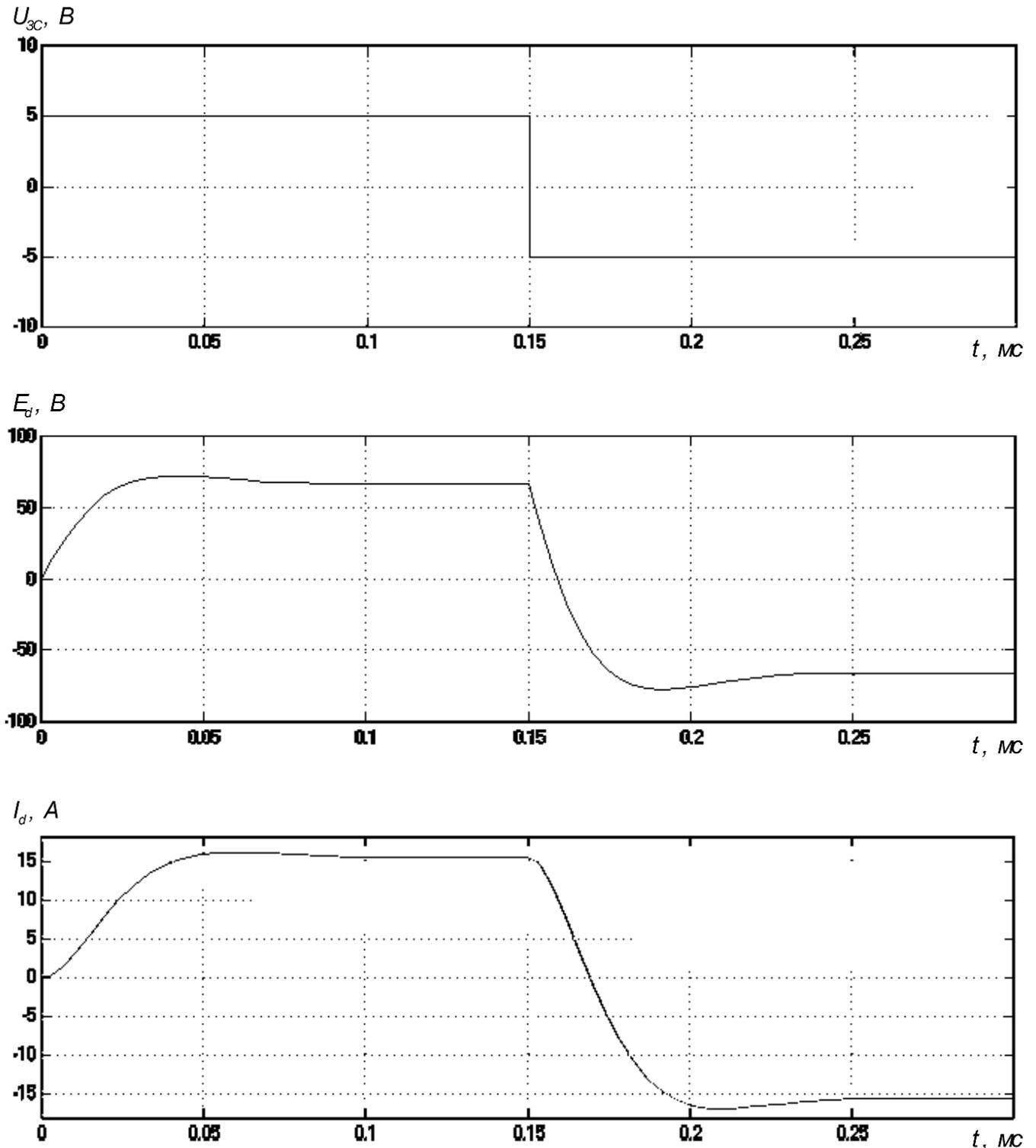


Рисунок. 3.17. Дослідження контуру струму

На рисунку 3.17 представлені перехідні процеси в контурі струму. Як видно з графіків, процеси носять аперіодичний характер, струм виходить на максимальний рівень відповідно до сигналу завдання з перерегулюванням приблизно 4,3%, причому при реверсі абсолютна величина перерегулювання більше в 2 рази ніж при пуску, оскільки більше

фактичне завдання на струм: при пуску фактичне завдання з 0 на I_{cm} , а при реверсі з I_{cm} на $-I_{cm}$, тобто $2I_{cm}$ – в 2 рази більше.

3.10 РОЗРАХУНОК КОНТУРУ ШВИДКОСТІ

$$\text{Статичний струм } I_{cm} = 0,9 I_n = 0,9 \cdot 15,461 = 13,915 \text{ (A)} \quad (3.64)$$

Таблиця 2.10

Параметри структурної схеми електропривода	
Електромагнітна постійна часу ланцюга ТП-Д, с	0,011
Некомпенсована постійна часу якірного ланцюга, с	0,0095
Електромеханічна постійна часу, с	0,232
Опір ланцюга ТП-Д, Ом	4,307
Коефіцієнт ЕРС і моменту ДПС	1,544
Коефіцієнт передачі вентильного перетворювача	93,362
Коефіцієнт передачі датчика струму якоря	0,323
Коефіцієнт передачі датчика швидкості	0,07

Таблиця 2.11

Параметри навантажувальної діаграми		
Тривалість ділянки, с	Сигнал завдання на струм, В	Статичний струм, А
0,5	10	0
0,5	10	13,915
1,5	-5	13,915
0,5	-5	0
1,0	0	0

На рисунку 3.18 наведені осцилограми сигналів завдання регулятора швидкості, статичного струму та криві залежності вихідної напруги і швидкості обертання двигуна у часі.

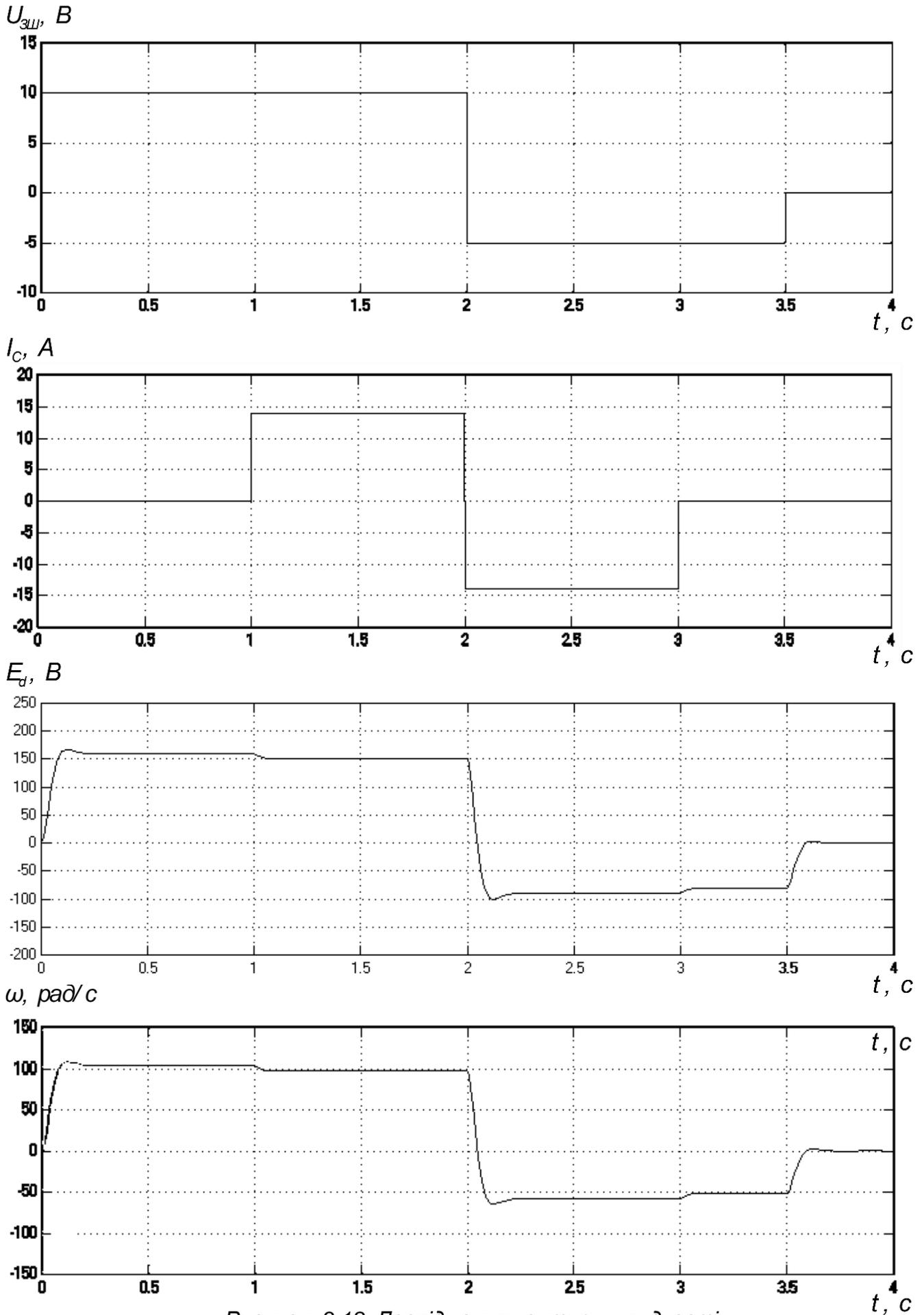


Рисунок. 3.18. Дослідження контуру швидкості

При розгоні на холостому ході по якорю двигуна протікає динамічний струм достатньо великої величини, йде розгін двигуна. Коли двигун виходить на сталу швидкість, струм в якорі спадає практично до нуля, оскільки розгін закінчений і динамічний струм вже рівний нулю, а момент навантаження ще не накинута і статичний струм ще рівний нулю. При накиданні моменту навантаження через якір двигуна починає протікати статичний струм, а швидкість двигуна зменшується на деяку величину $\Delta\Omega$, відповідну падінню швидкості при даному навантаженні, що показує, що система статична за збуренням. Під час реверсу струм в двигуні збільшується за рахунок кидка динамічного струму і одночасно змінює свій напрям. Коли перехідний процес реверсу закінчується, струм в двигуні спадає до статичного значення, а при знятті навантаження – зменшується до нуля. В останньому випадку швидкість двигуна збільшується на величину падіння швидкості $\Delta\Omega$ при накиданні навантаження. Далі йде процес гальмування на холостому ході, при цьому швидкість двигуна зменшується до нуля, а в якорі двигуна виникає динамічний струм, що забезпечує перехідний процес гальмування.

ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломного проекту проведена модернізація лінії для виробництва поліетиленових труб.

Для проведення такої модернізації виконано:

1. В системі керування приводами барабанів забезпечено керування електродвигуном постійного струму за системою ТПЧ-ДПС.

Для цього:

- розраховано та вибрано джерело живлення та його елементи;
- визначено параметри силового ланцюга електропривода;
- виконано розрахунок елементів захисту;
- побудовано характеристики перетворювача;
- проведено оптимізацію контурів регулювання САК;
- розраховано швидкісні характеристики в замкненій та розімкненій САК;
- досліджено систему керування на цифровій моделі;
- розроблено систему імпульсно-фазного керування.

2. Для спостереження за зміною частоти обертання барабанів без оцінки її значення з нормованою точністю застосовано індикатор частоти обертання.

3. Для вимірювання струму, споживаного електродвигуном, передбачено вимірювальний прилад.

4. В схемі електричній принциповій охолодження преса для регулювання температури зон преса застосовано багатоканальний регулятор температури типу «микроТЕРМ» моделі С137.11.01.

Застосування комплектного тиристорного перетворювача, виконаного на основі БТУ-3601 дало можливість знизити вартість машино-години праці та витрати на електроенергію.

У результаті впровадження заходів і засобів безпеки праці досягнуто відповідність техніки і технології сучасним вимогам техніки безпеки та виробничої санітарії, що в кінцевому рахунку створить безпечні та нешкідливі умови праці.

ЛІТЕРАТУРА

- 1) Мікульонок І. О. *Обладнання і процеси переробки термопластичних матеріалів з використанням вторинної сировини: монографія.* – К.: ІВЦ „Видавництво «Політехніка»”, 2009. – 265 с.: іл. – Бібліогр.: с. 239– 262.
- 2) Галай М.В. *Теорія автоматичного керування: неперервні та дискретні системи: Навчальний посібник.*– Полтава: ПНТУ, 2002.–454 с.
- 3) М.М. Казачковський, *Комплектні електроприводи. Навч. посібник.* Дніпропетровськ: НГУ, 2003. – 266 с.
- 4) *Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч.посібник / М.Г.Поповіч, О.Ю.Лозинський, В.Б.Клепиков та ін.; За ред. М.Г.Поповіча, О.Ю.Лозинського.* – К.: Либідь, 2005. – 680 с.
- 5) Панкратов А.І. *Системи керування електроприводами. Видання 2: Навч. посібник з дисципліни «Системи керування електроприводами» (для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно інтегровані технології» денної і заочної форми навчання)/* – Краматорськ: ДДМА, 2018. – 225 с.
- 6) Голодний І.М. *Регульований електропривод: Підручник / І.М. Голодний, Ю.М. Лавріненко, В.В. Козирський, Л.С. Червінський, Д.А. Абдураманов, А.В. Торопов, О.В. Санченко; За ред. І.М. Голодного.* – К.: ТОВ "ЦП "Компринт", 2015. – 509 с.: іл.
- 7) *Електропривод: [підручник для студ. вищ. навч. закл.] / Ю.М. Лавріненко, О.С. Марченко, П.І. Савченко, О.Ю. Синявський, Д.Г. Войтюк, В.П. Лисенко: за ред. Ю.М. Лавріненка.*– К.: Ліра-К, 2009. – 504 с.
- 8) *Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та поточкових ліній: [підручник для студ. вищ. навч. закладів] / Є.Л. Жулай, Б.В. Зайцев, Ю.М. Лавріненко, О.С. Марченко, Д.Г. Войтюк: за ред. Є.Л. Жулая.* – К.: Вища освіта, 2001. – 288 с.
- 9) *Softstarter handbook [Електрон. ресурс].* – Режим доступу: [http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/2985284834bcff7fc1256f3a00274038/\\$file/1sfc132002m0201.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/2985284834bcff7fc1256f3a00274038/$file/1sfc132002m0201.pdf)
- 10) Зеленов А.Б. *Теорія електропривода: Методика проектування електроприводів: Підручник.* – Луганськ: Вид-во "Ноулідж", 2010. – 670 с.
- 11) А. А. Видмиш, Л. В. Ярошенко. *Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1. / Навчальний посібник.* – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 387 с.
- 12) *Electrical Drives. Principles-Planning-Applications-Solutions.* Jens Weidauer, Richard Messer / Siemens, 2015. – 397 p.

ДОДАТКИ

1. TECHNOLOGICAL PART

1.1 DESCRIPTION OF THE TECHNOLOGY OF THE PRODUCTION OF PIPES FROM POLYMER MATERIALS

Production of pipes from polymer materials is a continuous technological process. The main method of production of polymer pipes is extrusion.

The main technological unit in the production of polymer pipes is the extruder.

Domestic machine-building enterprises produce various models of extruders. Extruders are most often classified according to the nature of the working body, which can be a worm (screw), disk or their combinations. In domestic literature, extruders whose working organ is a worm are also called worm presses. The following types of extruders are used in plastics processing:

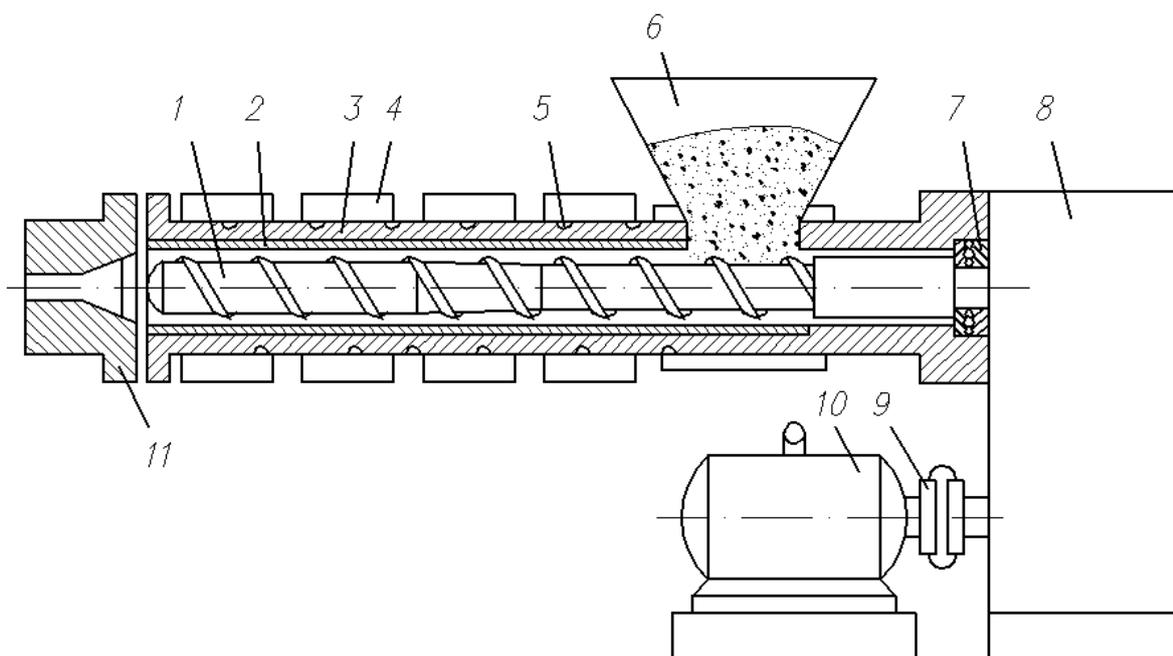
Single worm presses; twin worm presses; disk extruders; combined cascade type extruders; worm oscillating mixers used in plasticizing composite materials.

Single worm presses. These machines received the most distribution. Depending on the location of the cylinder, they can be horizontal or vertical. A single-worm press with a horizontal arrangement of the cylinder is schematically shown in fig. 1.1.

4 – electric heater; 5 – cooling system; 6 – loading. Press cylinder 3 is attached to the bearing assembly. The outer part of the cylinder is made of a thick-walled welded pipe, into which a wear-resistant sleeve 2 made of nitrided steel is pressed. The cylinder is heated by electric heaters 4, which create several thermal zones. The loading part of the cylinder is isolated from the first heating zone with a water jacket to prevent premature melting and freezing of the thermoplastic during press operation and to protect the gear thrust bearing

Figure 1.1. Single-worm press with a horizontal arrangement of the cylinder:

1 – worm; 2 – sleeve; 3 – cylinder; 4 – electric heater; 5 – cooling system; 6 – loading funnel; 7 – thrust bearing assembly; 8 – reducer; 9 – clutch; 10 – electric motor; 11 – forming head



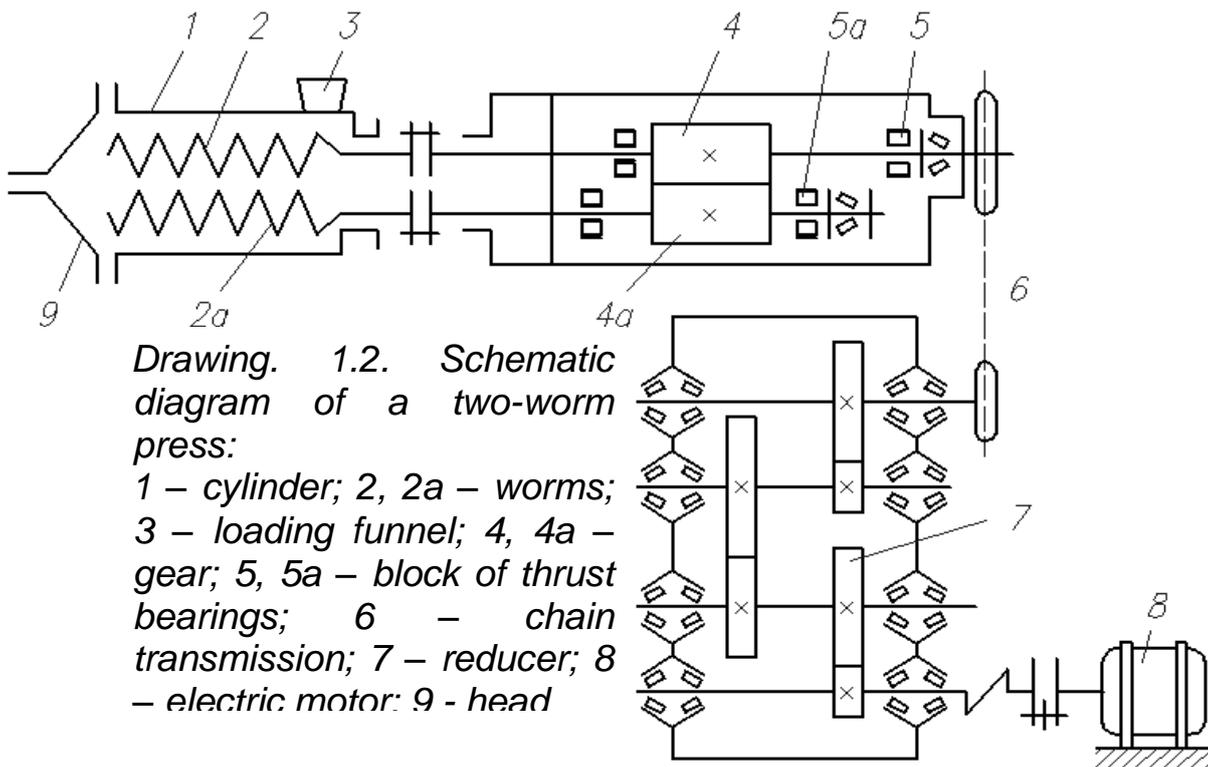
The electric motor 10 through the elastic coupling 9 rotates the gear pairs of the reducer 8 and the worm 1. The adjustment of the rotation frequency of the worm is carried out with the help of variable gears of the reducer. A thrust bearing unit is mounted on the output shaft of the reducer, which perceives the axial forces that occur during the extrusion of the melt. To feed the extruder with thermoplastic, a loading funnel 6 with an inspection window for monitoring the material level is designated. Tubular coils 5 for cooling water are placed on the outer surface of the cylinder. Heating and cooling systems of worm presses are designed for automatic regulation and maintenance of the thermal regime by zones. For this purpose, a thermocouple with a millivoltmeter or potentiometer output is installed in each zone of the cylinder.

Modern extruders are characterized by versatility, high productivity and reliability in operation. Worm presses of the latest designs have an improved design (remote thrust bearing and electric motor, convenient for maintenance of the cooling and heating system of the press) and a modern external design.

Extruders designed for the processing of polymers prone to destruction (polyvinyl chloride, acetylcellulose etrols, etc.) provide devices for suction of volatiles. The worms of such extruders differ from ordinary ones in that the compression zone is followed by a degassing zone, which has a smaller cutting depth than in the compression zone. The coils of the worm in this zone are not completely filled with melt. It is in this place of the material cylinder that the opening of the gas outlet channel is located.

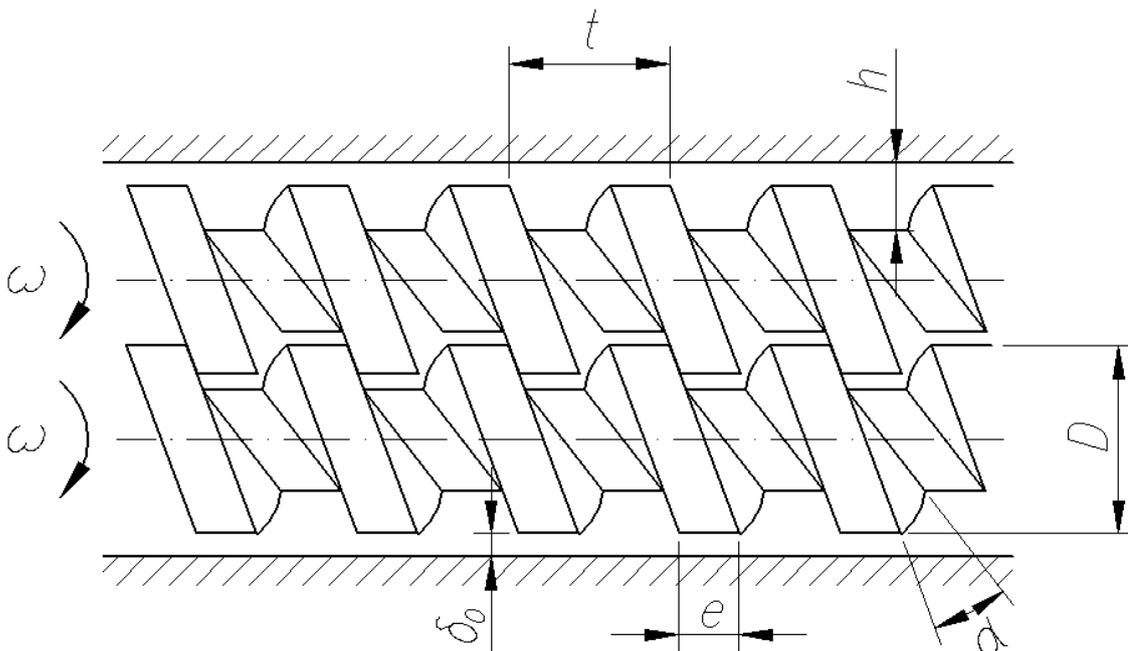
Two-worm presses. Unlike single-worm machines, two worms are located in parallel in the cylinder of two-worm presses. According to the nature of the location and direction of rotation of the worms, two-worm machines with engaging and non-engaging worms are distinguished; with the same or opposite direction of rotation of the worms. In fig. 1.2 shows the schematic diagram of a two-worm press.

The press consists of a heated cylinder 1, worms 2 and 2a, a block of thrust bearings 5 and 5a with helical gears 4 and 4a, a three-stage gearbox 7 connected to the driven worm by means of a worm chain 6. Drive which is carried out by the electric motor 8. The material to be processed is loaded into the funnel 3, the melt is fed through the head 9. The extrusion process takes place.



Drawing. 1.2. Schematic diagram of a two-worm press:

1 – cylinder; 2, 2a – worms; 3 – loading funnel; 4, 4a – gear; 5, 5a – block of thrust bearings; 6 – chain transmission; 7 – reducer; 8 – electric motor; 9 – head

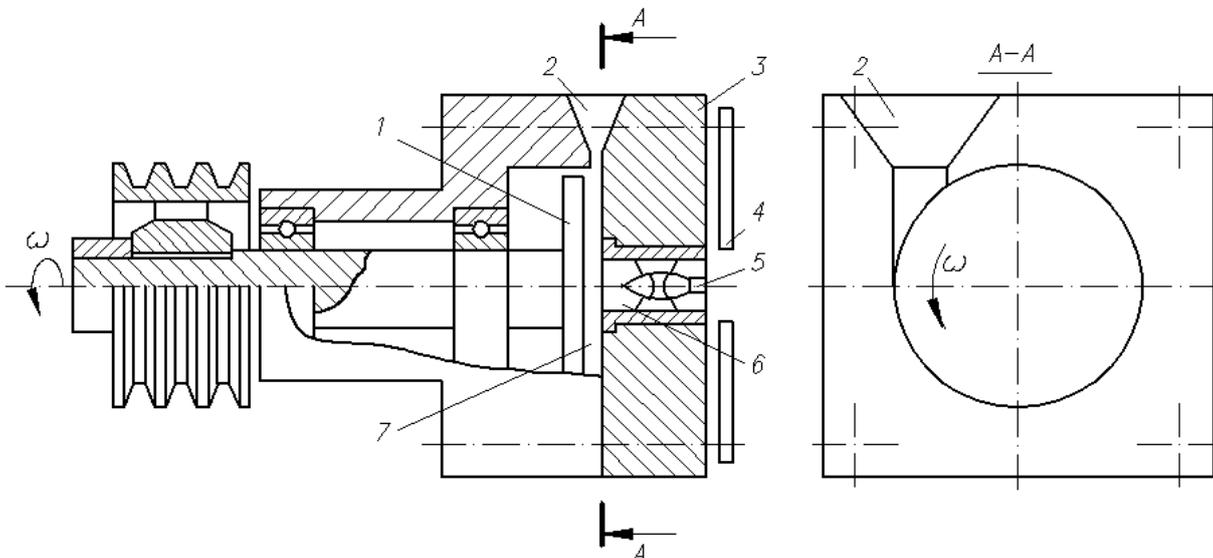


Drawing. 1.3. Hooking of worms of the two-worm press

Two-worm presses are used for processing powdery materials that have a small bulk mass and coefficient of friction against the cylinder walls. This is due to the fact that the performance of double-worm presses, unlike single-worm presses, does not depend on the frictional forces between the working bodies and the material, since the material is attracted by the worms and forced forward by them. The productivity of the feed zone depends on the free volume between the turns and on the uniformity of the material supply. These machines are widely used in the processing of PVC-based powder compositions.

Disc extruders. Fig. explains the principle of operation of the disk extruder. 1.4. The thermoplastic material enters the peripheral zone of the gap 7 formed by the rotating disk 1 and the extruder body 3 through the loading funnel, and is involved in

circular motion. The case is equipped with an electric heater 4, disk 1 also has electric heating. In contact with hot surfaces, the material heats up, melts and exits the extruder through the central hole 6 and the channel of the forming head 5 in the form of a profile. This axial movement of the melt is a consequence of shear deformations occurring in the gap, which cause stresses directed along the axis of the disk.



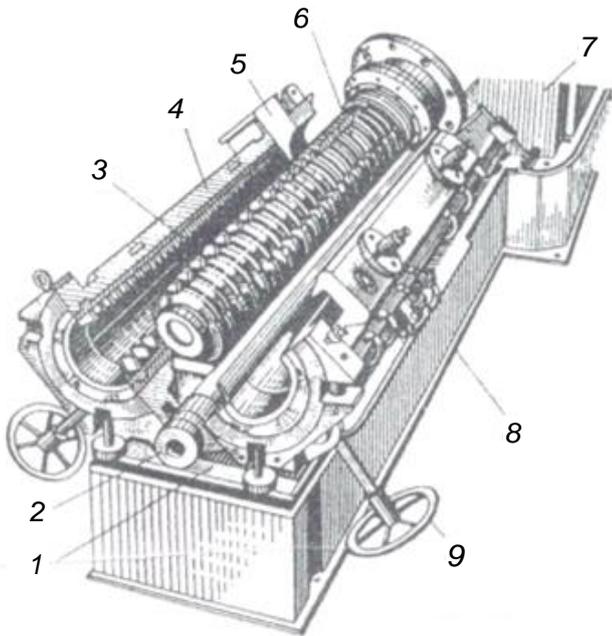
Drawing. 1.4. Schematic diagram of a disk extruder:

1 – disk; 2 – loading funnel; 3 – body; 4 – electric motor; 5 – channels of the forming head; 6 – central hole; 7 – disc working clearance

Compared to worm extruders, disk extruders are simpler in design, cheaper and have smaller dimensions; the quality of mixing in them is better, and the time the material stays in the extruder is much shorter, which is important for the processing of heat-sensitive polymers. The disadvantages of these machines are pulsations of performance and low pressure in the head, which limits their use when working with heads of high resistance. Disadvantages of disk extruders are partially eliminated in disk-worm extruders, which are a combination of disk and worm extruders. The melt squeezed out of the disk-worm extruder enters the cylinder with the worm, and exits from it through the forming head in the form of a profile. Disk-worm extruders develop high pressure and are suitable for manufacturing profiled products.

Oscillating worm mixers are used for plasticizing compositions based on viscous and heat-sensitive polymers, such as polyvinyl chloride, cellulose ethers, etc. The worm of the oscillating mixer performs a reciprocating, or oscillating (oscillating) movement together with the rotary one.

In fig. 1.5 shows the general view of a worm oscillating mixer.



Drawing. 1.5. General appearance of a worm oscillating mixer (WM): 1 – racks; 2 – hinge; 3 – teeth for mixing the material; 4 – cylinder; 5 – loading device; 6 – worm; 7 – reducer; 8 – bed; 9 – a device for opening the cylinder

A cylinder 4 with a loading device 5 and teeth 3 on the inner surface is mounted on the bed 8 on special racks 1. A device 9 for opening the cylinder and a hinge 2 for turning it are mounted on the frame. The cylinder has two heating zones and one cooling zone (in the area of the loading device). The zones are heated by a liquid coolant that circulates through special channels on the surface of the cylinder. The area of the loading funnel is cooled by water. Supply and removal of the heat carrier in each zone is individual; control of the thermal regime by zones is automatic. The cylinder is detachable, it can be opened in two halves, as shown in the figure. The halves are connected to each other by special encompassing detachable collars, which are tightened with bolts on one side, and fastened with a hinge on the other side. Such a device ensures quick opening of the housing during cleaning or repair and tight closing during operation. The worm of the mixer receives a rotary reciprocating motion from the reducer 7. The screw thread of the worm has grooves in which teeth 3 are included, which break the melt flow. This contributes to intensive homogenization of the melt during its passage along the cylinder.

TECHNICAL PARAMETERS AND MODELS OF EXTRUDER

The main technical parameters of worm presses are the diameter of the worm D , the ratio of the working length of the worm to its diameter L/D and the productivity of any thermoplastic. The first two parameters are usually displayed in the marking of machines. In addition, the range of worm rotation frequencies, the installed power of electrical equipment, and the number of temperature zones are important parameters of extruders.

1.2 TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE EXTRUSION PROCESS

The main technological parameters of extrusion include:

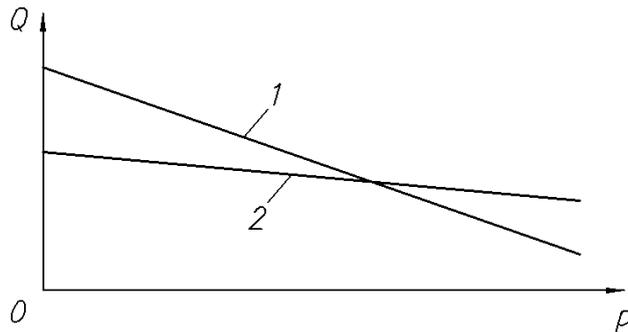
- temperature of the melt in the cylinder and in the head;*
- melt pressure in the head;*
- rotation frequency of the worm.*

The choice of the optimal material processing mode depends on many factors:

- type of thermoplastic, its molecular weight;*
- the composition of the composite material;*
- appearance, dimensions and configuration of the product;*

- type of equipment used.

When choosing the temperature mode of extrusion, it is recommended to increase the temperature of the cylinder from the loading zone to the head as smoothly as possible. The temperature of the material cylinder near the loading hopper is usually set 10-15°C higher than the melting temperature of the material. If the base of the loading funnel or the material cylinder near it is cooled by water, then higher temperatures are possible in this zone. The temperature in the head can be equal to or 5-10°C lower than the temperature of the last (in the course of extrusion) zone of the material cylinder, which helps to improve the homogenization of the melt. The highest temperature should be provided in the area where the device for filtering the melt is installed, since it creates, as a rule, the greatest resistance to flow.



Drawing. 1.6 Characteristics of worms with deep (1) and shallow (2) channels

The pressure of the melt in the head is determined by the resistance of the head and filter meshes. This is necessary for thorough mixing of the

melt. Insufficient pressure leads to various extrudate defects: "pimples" on the surface of the sheets, roughness on pipes, sinks, dull surface, reduction of mechanical properties.

The rotation frequency of the worm determines the productivity of the process and affects the quality of the product. At a high speed of extrusion, due to the presence of roughness on the surfaces of the main working organs of the machine (cylinder and worm), the surface of the extruder becomes dull. With the increase in the rotation frequency of the worm in the melt due to internal friction, large heat emissions occur, which can be the cause of the destruction of the material, which reduces the physical and mechanical characteristics of the product. An increase in the rotation frequency of the worm can lead to a pulsating flow regime (sometimes called elastic turbulence). At the same time, roughness and bumpy surfaces of the extrudate are observed. This reduces the quality of the product. Extrusion parameters, at which an unstable mode of melt flow occurs, are called critical.

Increasing the processing temperature, using a forming tool with a carefully chromed and polished surface allows you to increase the extrusion speed without the occurrence of an unstable flow of the melt, that is, to increase the critical parameters of extrusion.

These recommendations can serve as a basis for the initial selection of the technological mode of extrusion. The final selection of the optimal processing parameters is made during practical adjustment of the process.

Table 1.3 shows approximate values of melt temperature and pressure when processing some thermoplastics by extrusion.

The main stages of pipe production are:

- reception and storage of raw materials;

- crushing of raw materials;
- input control of raw materials;
- preparation of raw materials.

Pipes are made of high-density polyethylene (HDPE) and low-density polyethylene (LDPE).

Pressure pipes made of polyethylene, manufactured by the method of continuous screw extrusion, must comply with current standards. According to them, PEVG pipes are produced with a diameter from 10 to 630 mm (average outer diameter), PENG pipes with a diameter from 10 to 160 mm. Pipes are produced both in lengths (6, 8, 10, 12 m) and coiled into coils (usually pipes with a diameter of up to 40–50 mm).

State standards provide for the manufacture of pipes of the following types:

Pipe type Maximum water pressure at 20°C, MPa

L (light)..... 0.25

SL (medium-light)..... 0.4

C (average)..... 0.6

B (heavy)..... 1,0

The basic technological diagram of the production of polyethylene pipes from a powder-like composition is shown in fig. 1.7

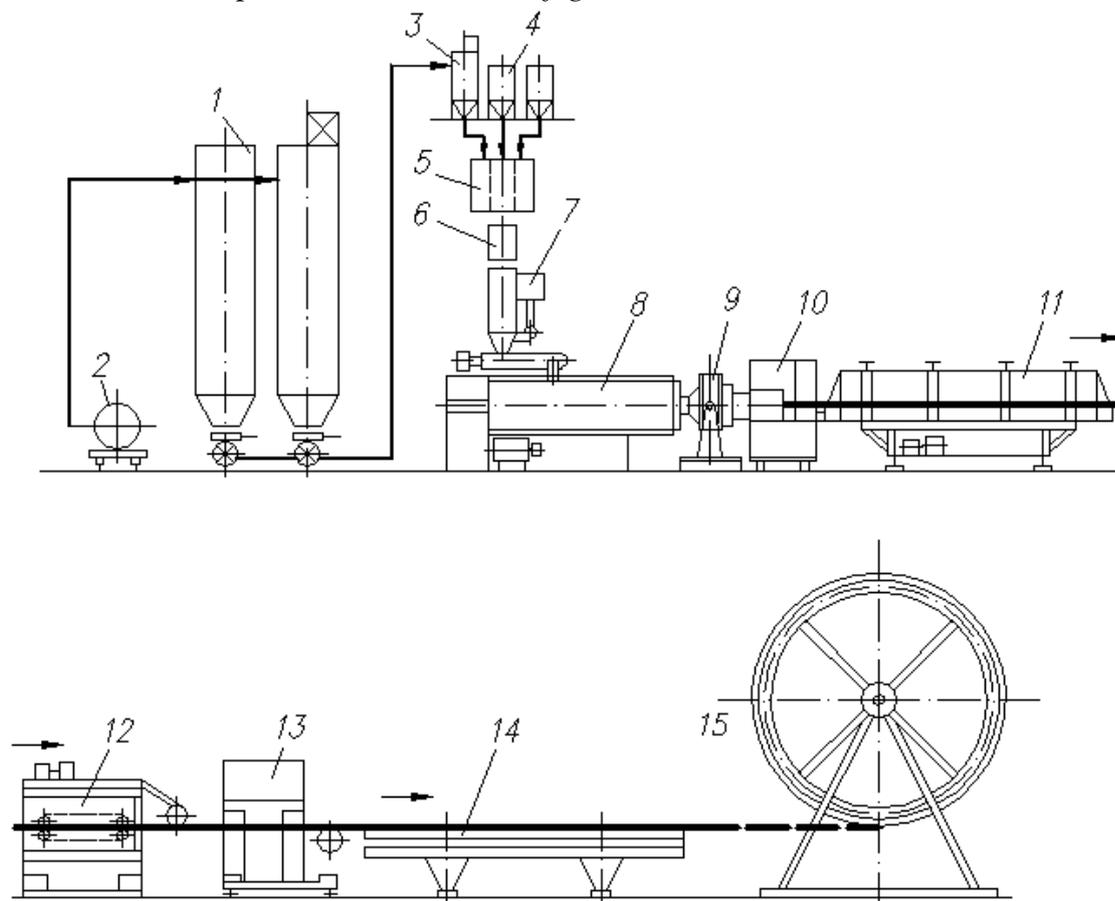


Figure 1.7. Schematic diagram of the production of polyethylene pipes:

1 – capacities for storage of raw materials; 2 – tank; 3 – intermediate capacity for polyethylene; 4 – intermediate capacities for additives; 5 – a device for dosing three components; 6 – a device for detecting metal particles; 7 – device for drying and heating granules; 8 – extruder; 9 – head; 10 – calibration device; 11 – cooling baths; 12 – extraction device and counting and marking device; 13 – cutting device; 14 – receiving device; 15 – winding device

Raw material - granulated polyethylene is supplied in large batches in cisterns 2, from which centralized pneumatic transport is supplied to storage capacities 1. From them, polyethylene is supplied to intermediate capacities 3 by centralized pneumatic transport. Dosing of raw materials and possible additives (dyes, stabilizers) from capacities 4 is carried out using a dosing device 5. Since the use of technological waste is prohibited in the production of pressure pipes, three-component dispensers are used for the production of these pipes. The raw material, having passed through the metal particle detector 6, is heated and dried using a special system 7.

Raw materials enter the loading zone of the extruder 8 at a constant level of raw materials. The temperature of the loading zone should be constant, for which it is supposed to be cooled by water with constant parameters.

Lines based on single-worm extruders are used for the extrusion of pipes from granulated polyethylene. Appendix 1 provides technical characteristics of lines for the production of plastic pipes.

The finished pipes are formed into a package with the help of wooden frames installed at a distance of 1.5 m from each other. The package of pipes is transported to the place of technological storage and then to the warehouse of finished products.

The production of pipes of a given assortment and quality depends to a certain extent on the completeness of the equipment. Appendix 2 provides data on the completeness of lines for the production of polyethylene pipes.

Granulated material is transported by the worm, compacted, melted, homogenized and squeezed out of the head 9 in the form of a pipe blank, which is calibrated in the device 10 and cooled in the first bath, then enters the following baths.

The selection of pipes is ensured by the pulling device 12. The number of manufactured pipes (in meters) is fixed by a counter working in combination with a counting and marking device. Pipes are cut into segments of a given length by the cutting device 13 and fed to the receiving device 14 or to the winding device 15.

The productivity of the line for the production of polyolefin pipes is determined by the technical characteristics of the equipment, as well as the type and diameter of the pipes produced. The performance values of the equipment for the production of pipes from PENG, determined by the passport for the equipment, and also recommended for calculating capacities, are given in Appendix 3.1. The performance values of the lines for the production of PEVG pipes are given in Appendix 3.2.

Reviews of the operating personnel and analysis of the quality of the released products indicate that the production of polyethylene pipes of optimal capacity (25–50 thousand tons/year) must be carried out on equipment with a modern control system.

The parameters of the technological process are determined by the type of pipes produced and the raw materials and equipment used.

The temperature regime for the production of PENG pipes is as follows (approximately):

Worm press Golovka

Zone t, °C Zone t, °C

And..... 140–160 V..... 170

II..... 160–170 VI and further..... 145–160

III and subsequent..... 175–185

The temperature regime during the production of PEVG pipes is slightly different:

Worm press Golovka

Zone t, □C Zone t, □C

And.....	135–175	V.....	170–200
II.....	170–175	VI.....	170–190
III.....	175–200	Further.....	160–190
IV.....	180–200		

The LT 63x30–25/63 line has gained wide distribution in the domestic production of polyethylene pipes. The basic technological scheme of such a line is shown in fig. 1.8. The line consists of the following main machines and equipment:

- worm press 63x30 (1);
- tubular head HT 25–63 (2);
- vacuum cooling bath (3);
- cooling baths (4);
- rawing machine (5);
- marking device (6);
- cutting device (7);
- receiving device (8);
- winding machine (9);
- bunker (10).

The performance of the line, depending on the material being processed and the standard size of the pipe, must comply with Annex 4.1 and 4.2.

PRINCIPLE OF WORK OF THE LINE

The granulated material is fed into the hopper of the press, from where it enters the cylinder, where it is melted, homogenized, and in the form of a smooth tubular blank is squeezed out through the forming hole of the head. From the forming head, the pipe blank enters the gauge, where it is calibrated according to the outer diameter and pre-cooled to form a hard crust on the outer surface of the pipe. The final cooling of the pipe to a temperature of 30–40°C takes place in cooling baths. The pipe is drawn through the gauge and the cooling bath by a pulling machine, which then feeds the pipe to the cutting device, where the pipes are cut into lengths of no more than 6 m. The pipe segments are fed to the tray of the receiving device and are dumped into the storage device at the signal of the limit switch. In the drive, a packet is created from the remote

Таблиця Д 1

Технічні характеристики ліній для виробництва труб з поліетилену

Тип, марка лінії	Діаметр черв'яка [*]	Номенклатура труб, що випускаються (зовнішній діаметр, мм)	Матеріал, що переробляється	Встановлена потужність, кВт		Габаритні розміри, мм	Маса, кг
				електродвигунів	електронагрівачів		
ЛТ20–1/10 (інд. 591884)	20	1–10	Поліолефіни	3,7	2,9	1400x900x1850	3390
ЛТ45–6/20 (інд. 591397)	45	10–25	Поліолефіни, ПВХ	37,0	10,7	30750x1500x280 0	6080
ЛТ63x25–25/63 (інд. 591830)	63	25–63	Гранул. поліолефіни, непластифіков. ПВХ	49,5	34,4	40650x2530x283 0	8210
ЛТМ63x25–25/63	63	25–63	Поліетилен	73,2	32,1	37700x2570x320	1370
ЛТ90x25–75/160	90	75–160	Гранул. поліолефіни, непластифіков. ПВХ	84,8	54,6	50700x3550x390 0	1428 5
ЛТ125x25– 140/400 (інд. 591883)	125	140– 400	ПЕВГ і ПЕНГ	212,4	105,9	48800x2070x483 5	3450 0
ЛТ160–400/800 (інд. 691882)	160	400– 800	ПЕВГ	292,6	202,5	67500x3200x425 0	4650 0

* Число черв'яків – один, відношення довжини черв'яка до діаметра L/D=25.

Комплектує устаткування ліній для виробництва труб з поліетилену*

Найменування вузлів, агрегатів	ЛТ20– 1/10	ЛТ45– 6/20	ЛТ63x25– 25/63	ЛТ90x25– 75/160	ЛТ125x25– 140/400	ЛТ160– 400/800
Черв'ячний прес	ЧП20x 25	ЧП45x2 5	ЧП63x25	ЧП90x25	ЧП125x25	ЧП160x25
Трубна головка	ГФ 1:10	ГТ997– 758	ГТ25–40 ГТ40–50	ГТ75–160	ГТ140–225 ГТ250–400	ГТ400– 560 ГТ680– 800
Пристрій охолодження	+	+(2)	+(4)	+	+(4)	+
Пристрій витягування	+	+	+	+	+	+
Відрізний пристрій	+	+	+	+	+	+
Намотувальний пристрій	+	+	+	+	+	+
Приймальний пристрій	+	+	+	+	+	+
Маркувальний пристрій	+	+	+	+	+	+
Сушарка	–	–	СГ–300	СГ–300	СГ–1000	СГ–1000
Трикомпонентний дозатор	–	–	–	–	–	–
Прилад пошуку металевих частинок	–	–	–	–	–	–
Пристрій для пакетування труб	–	–	–	–	–	–

* Знак «+» означає наявність пристрою в лінії, «–» – відсутність його. Цифра в дужках означає кількість пристроїв.

Таблиця Д 3.1

Продуктивність устаткування при виготовленні труб з ПЕНГ

Діаметри труб, мм	Продуктивність, кг/год		
	ЛТ45– 6/20	ЛТ63х25– 25/63	ЛТ90х25– 75/160
10–12	15	–	–
16–25	32	35	–
32–50	–	62	–
63–90	–	85	90
110–160	–	–	110
Продуктивність паспортними даними	за До 65	До 150	До 300

Таблиця Д 3.2

Продуктивність устаткування при виготовленні труб з ПЕвГ

Діаметри труб, мм	Продуктивність, кг/год			
	ЛТ63х25– 25/63	ЛТ90х25– 75/160	ЛТ125х25 –140/400	ЛТ160х25 –400/800
32–50	70	–	–	–
63–90	90	115	–	–
110–160	–	140	250	–
180–400	–	–	280	385
450–630	–	–	–	400
Продуктив ність за паспортними даними	До 150	До 300	До 350	До 500

Таблиця Д 4.1

Технічна характеристика лінії

Найменування параметра	Значення параметра
1. Продуктивність, кг/год 1) для труб з ПЕВТ 2) для труб з ПЕНТ	див. табл. 1.9 90-255 135-255
2. Зовнішній діаметр труби, мм, номінальний	25, 32, 40, 50, 63
3. Довжина труби у відрізах, м	5,5 ± 0,05 6,0 ± 0,05
4. Довжина труби в бухті, м, не більше: для труби номінальним зовнішнім діаметром 25мм для труби номінальним зовнішнім діаметром 32мм для труби номінальним зовнішнім діаметром 40мм для труби номінальним зовнішнім діаметром 50мм для труби номінальним зовнішнім діаметром 63мм	500 450 400 350 300
5. Швидкість відведення труби, кінематично забезпечена механізмами, м/с (м/хв)	0,017-0,33 (1,0-20,0)
6. Споживана потужність, кВт, не більше	102
7. Струм мережі живлення – змінний трифазний із заземленою нейтраллю: напруга, В частота, Гц Норми якості електричної енергії згідно ДСТУ 13109-97	380/220 50
8. Повітропостачання – стиснуте повітря 7-9 класу забрудненості згідно ДСТУ 17433-93: тиск, МПа (кгс/см ²) об'ємна витрата стиснутого повітря, м ³ /ч, не більше	0,3-0,6 (3-6) 3,5
9. Водопостачання – з системи технологічного водопроводу тиск, МПа (кгс/см ²) шорсткість води загальна, мг.екв/л, не більше об'ємна витрата води, м ³ /год, не більше	0,2-0,4 (2-4) 7 4,5
10. Габаритні розміри, мм: довжина ширина висота	36000±500 2865±100 2730±100
11. Маса, кг	9000±500

Таблиця Д 4.2

Ма теріал труби	Діаметр труби, мм	Тип труби згідно ДСТУ 18599-94	Товщина стінки, мм	Продукти вність, кг/год, не менше
ПЕ НТ	25+0,3	С	2,0+0,4	135
		Т	2,3+0,5	140
	32+0,3	С	2,0+0,4	140
		Т	3,0+0,5	170
	40+0,4	СЛ	2,0+0,4	150
		С	2,3+0,5	170
		Т	3,7+0,6	210
	50+0,5	СЛ	2,0+0,4	190
		С	2,9+0,5	255
	63+0,6	Т	4,6+0,7	210
		Л	2,0+0,4	220
		СЛ	2,5+0,5	255
С		3,6+0,6	255	
Т		2,8+0,8	210	
ПЕ ВТ	25+0,3	СЛ	2,0+0,4	90
		С	2,7+0,5	100
		Т	4,2+0,7	130
	32+0,3	Л	2,0+0,4	100
		СЛ	2,4+0,5	110
		С	3,5+0,6	130
		Т	5,4+0,8	170
		Л	2,0+0,4	100
	40+0,4	СЛ	3,0+0,5	130
		С	4,3+0,7	150
		Т	6,7+0,9	200
		Л	2,4+0,5	130
50+0,5	СЛ	3,7+0,6	190	
	С	5,4+0,8	255	
	Т	8,4+1,1	210	
63+0,6	Л	3,0+0,5	200	
	СЛ	4,7+0,7	255	
	С	6,8+0,9	255	
	Т	10,5+0,3	210	

Таблиця Д.5

Технічна характеристика регулятора температури

Найменування параметра	Показники параметрів
1. Діапазон регулювання температури, °С	0÷500
2. Дискретність завдання температури, °С	0,1
3. Закон регулювання	цифровий ПД/ПІД
4. Похибка в усталеному режимі, % від верхнього значення діапазону регулювання	±0,25
5. Кількість основних каналів контролю/регулювання температури	8
6. Кількість додаткових каналів контролю температури	4
7. Тип терморпар	ХК68
8. Діапазон контролюємих сигналів по основним і додатковим каналам, мВ	0÷50
9. Діапазон компенсованих температур холодних кінців терморпар, °С	5÷40
10. Похибка схеми термокомпенсації, °С	±2
11. Діапазон завдання параметрів настройки: коефіцієнт підсилення (K), %/°С постійна диференціювання (Td), с постійна інтегрування (Ti), с період квантування (To), с	0,1÷99 99 0÷9999 0,1÷99 99 3,0÷6 54
12. Дискретність завдання параметрів настройки	0,1
13. Дискретність завдання струму навантаження, А	0,1
14. Час спрацювання захисту від КЗ в навантаженні, мс, не більше	10,0
15. Дискретний вихідний сигнал керування обігрівом/охолодженням високий рівень, В низький рівень, В струм керування, А	24±10 % 1,5 0,1
16. Аналоговий вихідний сигнал керування обігрівом/охолодженням	0÷±10 В або 0÷±5 мА

Міністерство освіти та науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія
Кондратюка»
Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

**Удосконалення системи автоматичного керування лінією виробництва
труб з полімерних матеріалів**

Кваліфікаційна робота бакалавра

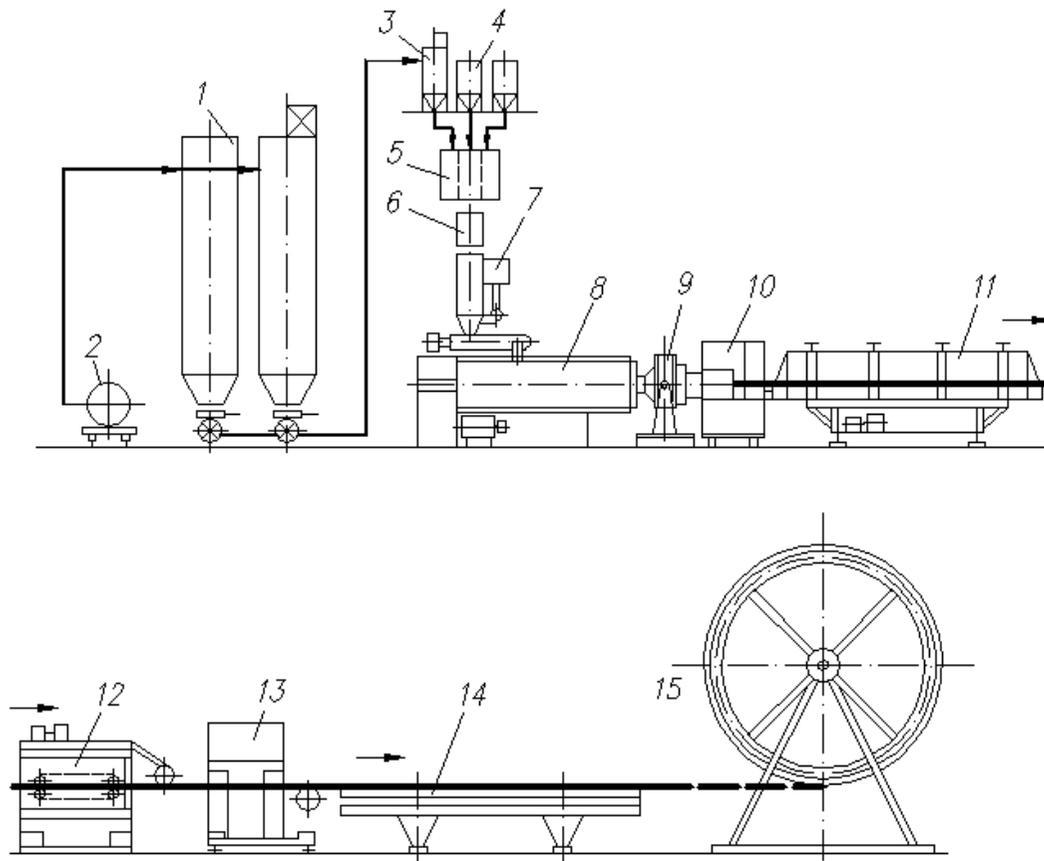
Виконав:
Студент ЗпМЕ групи
Керівник:

Коновал М.Д

Шефер О.В

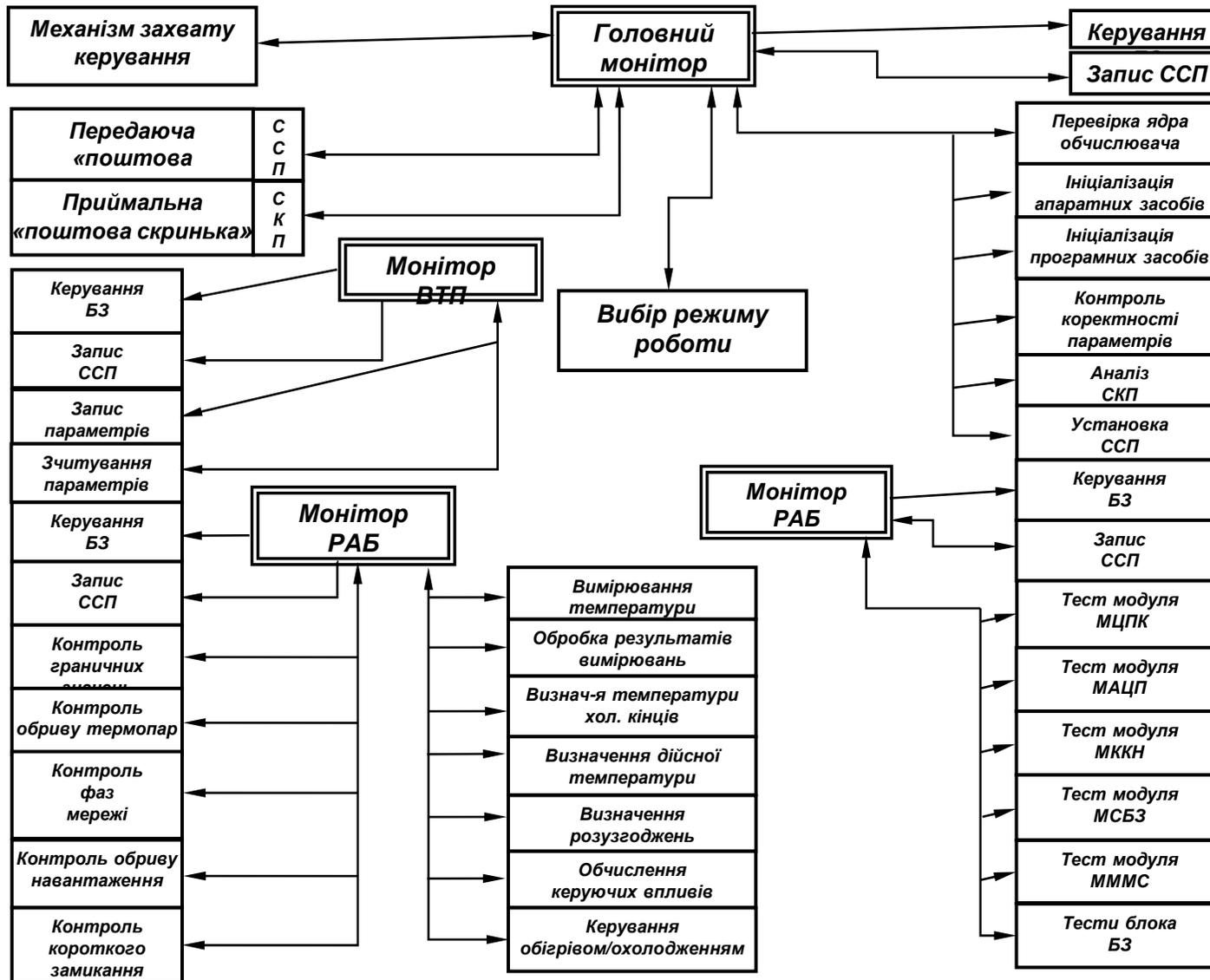
Полтава 2023

Технологічна лінія виробництва труб з поліетилену



1 – місткості для зберігання сировини; 2 – цистерна; 3 – проміжна місткість для поліетилену; 4 – проміжні місткості для добавок; 5 – пристрій для дозування трьох компонентів; 6 – прилад для виявлення металевих частинок; 7 – пристрій для підсушення і підігріву гранул; 8 – екструдер; 9 – головка; 10 – калібруючий пристрій; 11 – ванни охолодження; 12 – пристрій витягування і маркіруючий пристрій; 13 – відрізний пристрій; 14 – приймальний пристрій; 15 – намотувальний пристрій (для труб малого діаметра)

3



Алгоритмічна
структура
програмного
забезпечення
регулятора

Рисунок. 2.1. Структура програмного забезпечення регулятора

Алгоритм обробки інформації в підрежимі «Регулювання»

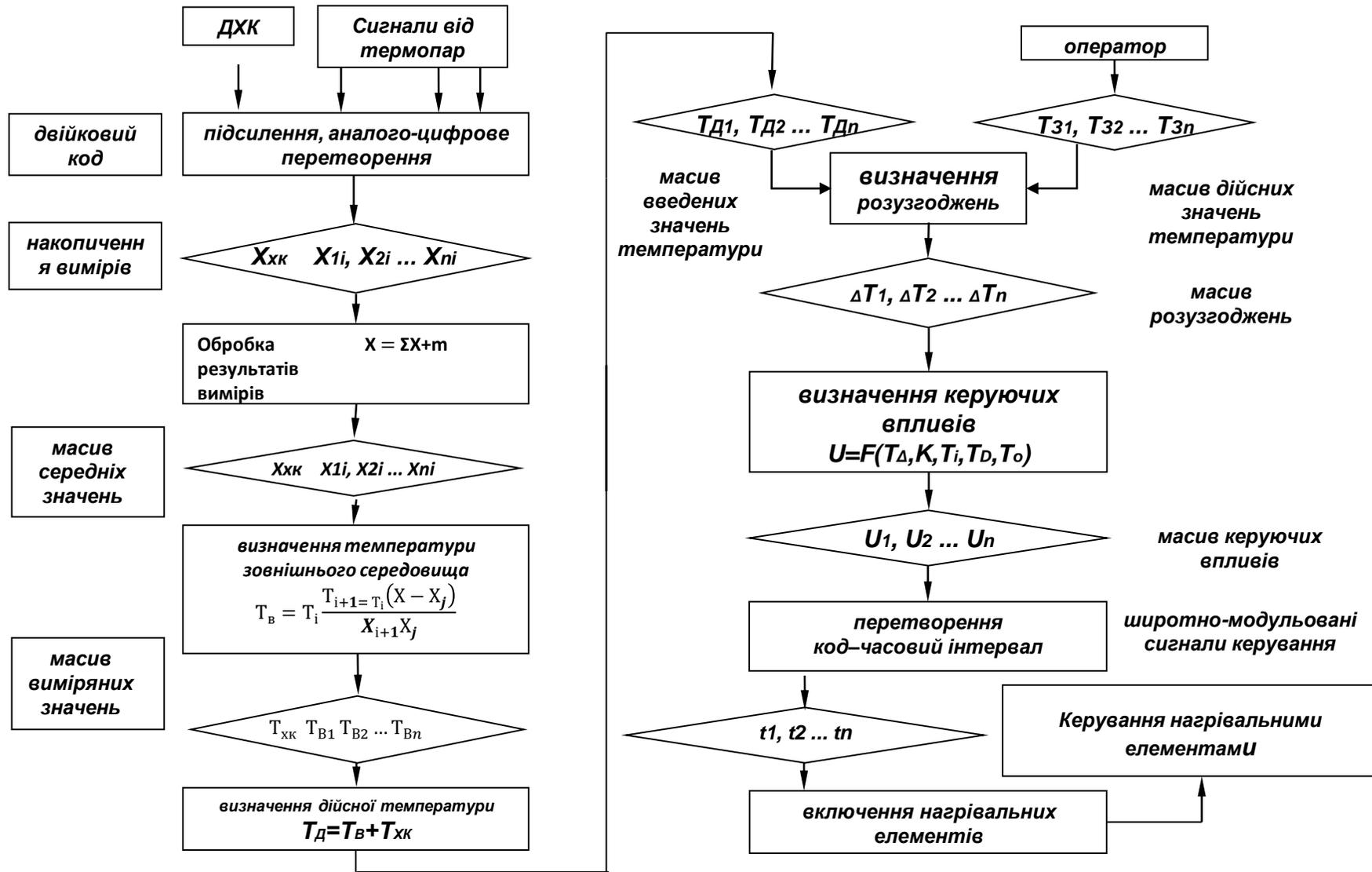
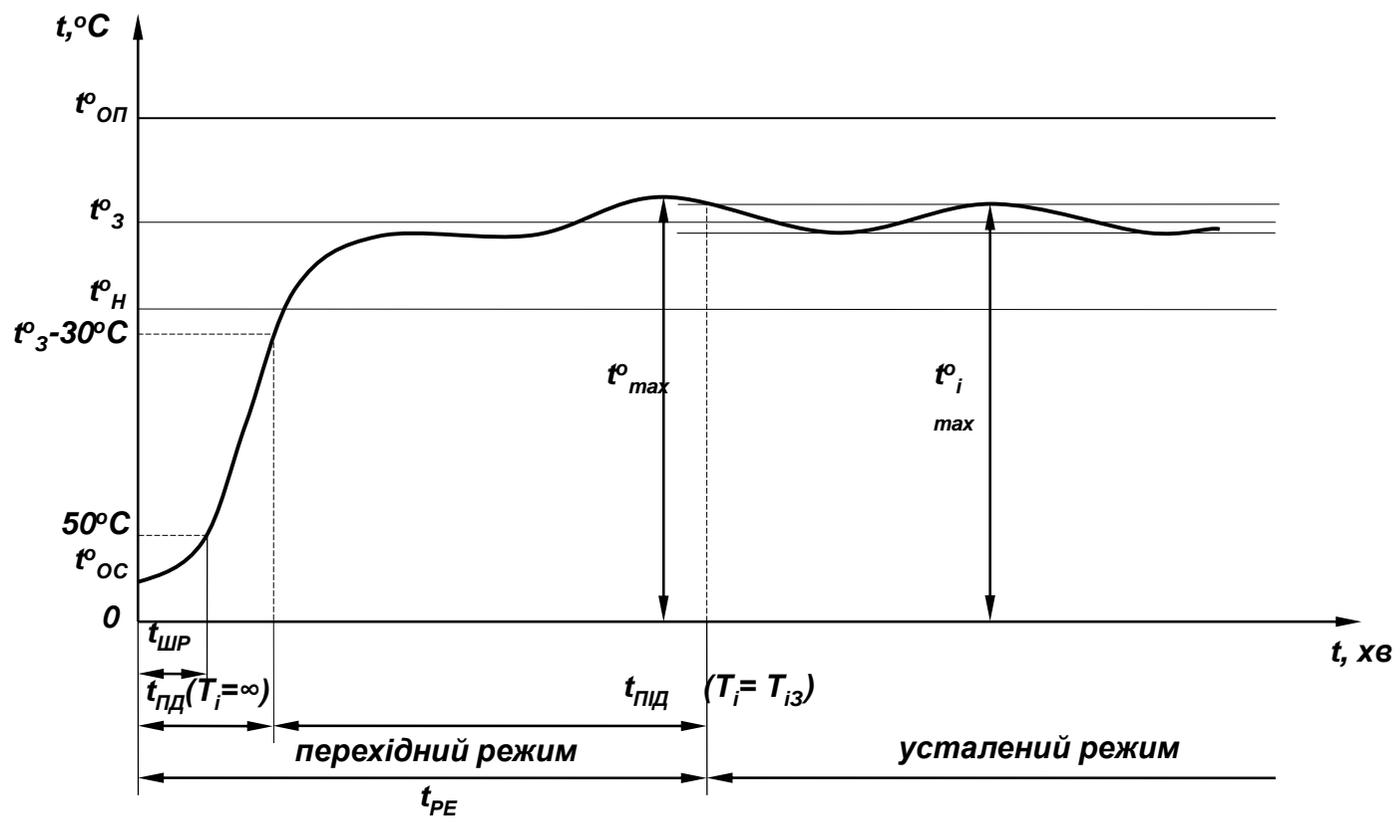
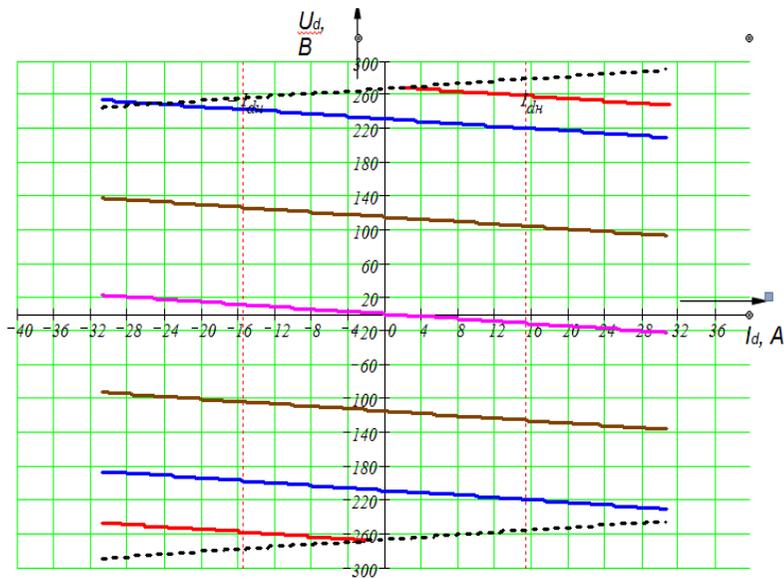


Рисунок. 2.2. Алгоритм обробки інформації в підрежимі «Регулювання» температури»



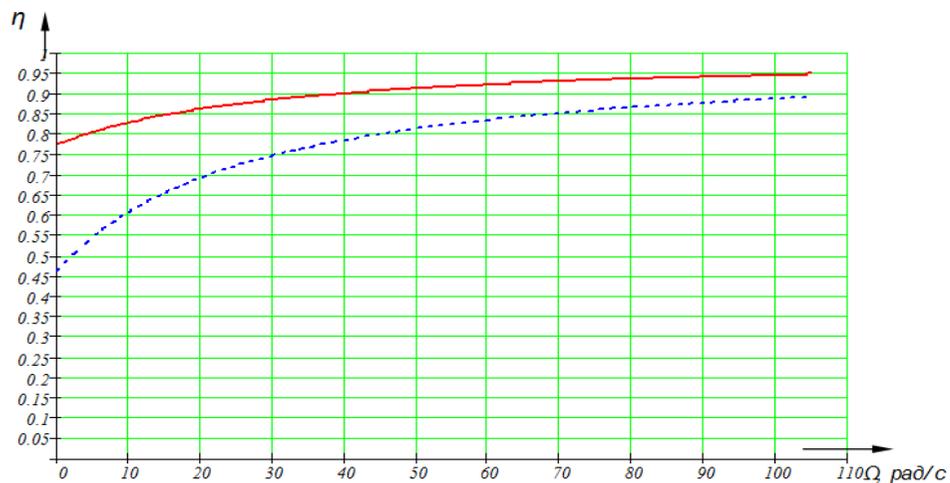
Часова діаграма роботи регулятора



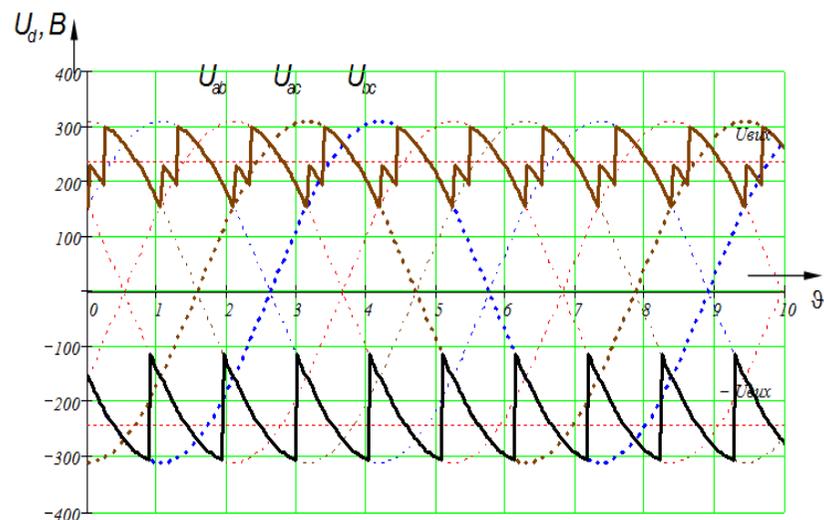
Зовнішні та обмежувальні
характеристики вентильного
перетворювача



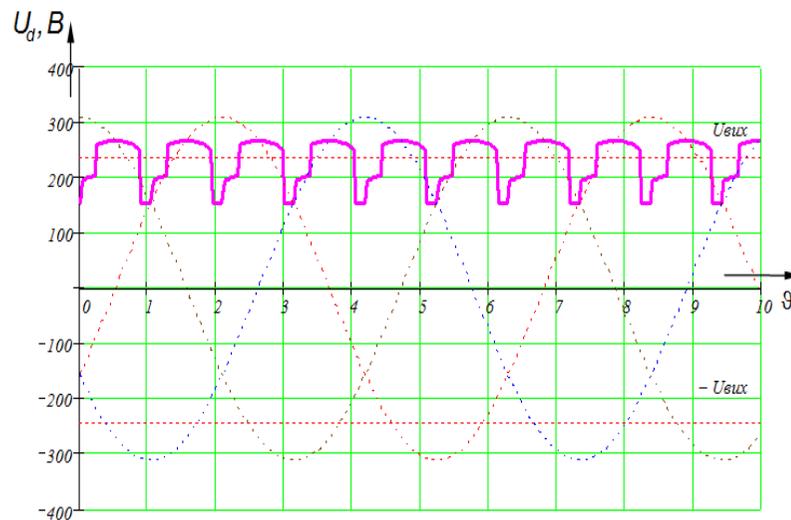
Регулювальні характеристики
вентильного перетворювача



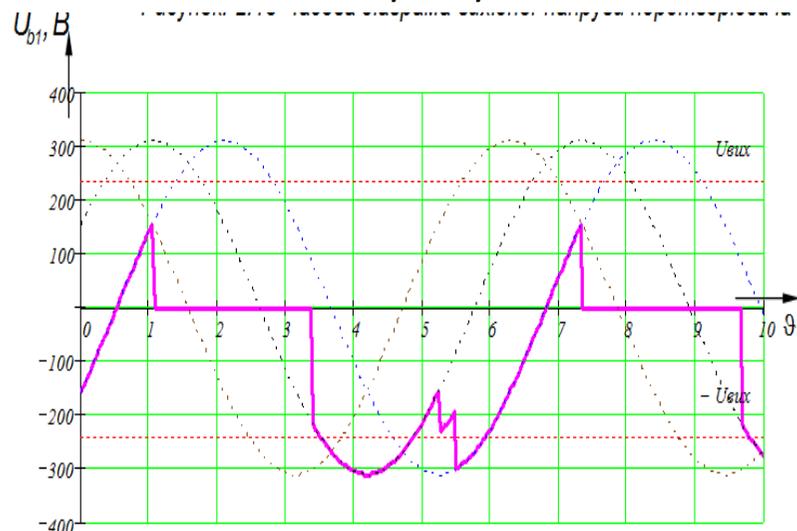
Залежності ККД
перетворювача від
кутової швидкості
обертання вала
двигуна при різних
струмах якоря



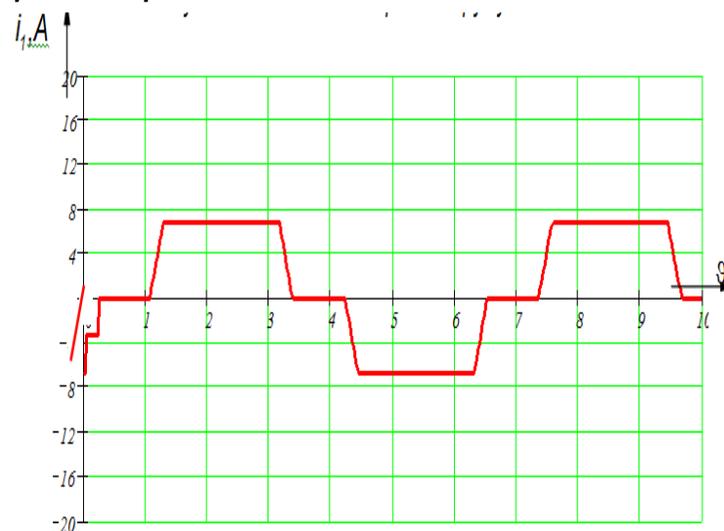
Часові діаграми напруг випрямляча та інвертора



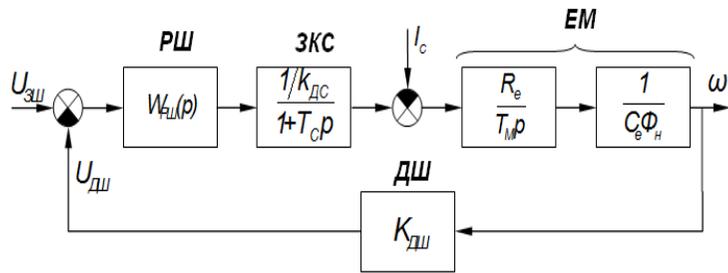
Часова діаграма вихідної напруги перетворювача



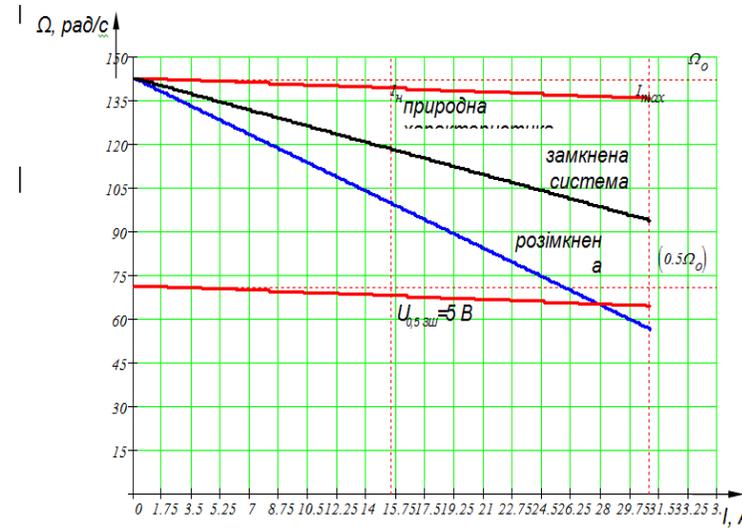
Часова діаграма напруги на вентилі



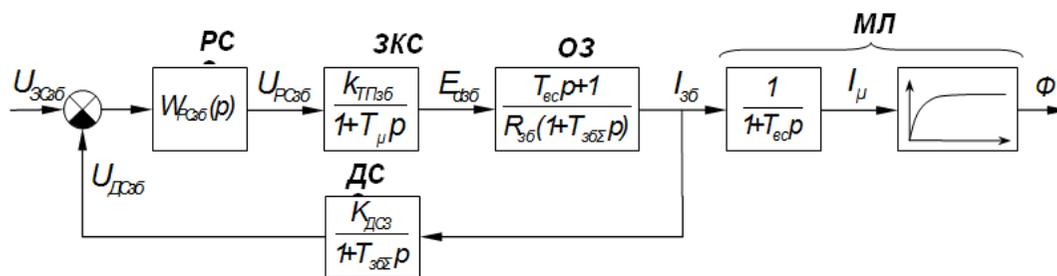
Часова діаграма струму споживаного з мережі



Структурна схема контуру швидкості



Механічні (швидкісні) характеристики електропривода



Структурна схема контуру струму збудження

