

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА
РОБОТА**

02.02 – МКР. 1666“С” 2024.09.26. 039 ПЗ

МЕЛЬНИКА Олександра Олександровича

2024

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І
ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

УДК 631.171:621.311

ПОГОДЖЕНО
Директор ННІ енергетики,
автоматики і енергозбереження

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
електротехніки, електромеханіки
та електротехнологій

проф., д.т.н. /КАПЛУН В.В./
вчене звання, науковий ступінь підпис

доц., к.т.н. /ОКУШКО О.В./
вчене звання, науковий ступінь підпис

” _____ 2024 р.
число місяць рік

” _____ 2024 р.
число місяць рік

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему: «Удосконалення системи електрообладнання цукрового
заводу з розширеним використанням частотного регулювання
приводів середньої потужності»**

Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(код і назва)

Освітня програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

к.т.н., доцент Усенко С.М.
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Керівник магістерської роботи

д.т.н., проф. Червінський Л.С.
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Виконав

_____ МЕЛЬНИК О.О.
(підпис) (ПІБ)

КИЇВ – 2024

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
електротехніки, електромеханіки
та електротехнологій

К.Т.Н., доцент _____ /ОКУШКО О.В./
науковий ступінь, вчене звання підпис ПІБ
” _____ ” _____ 2023 р.
число місяць рік

З А В Д А Н Н Я

до виконання магістерської кваліфікаційної роботи

МЕЛЬНИКУ Олександр Олександровичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітня програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: **« Удосконалення системи електрообладнання цукрового заводу з розширеним використанням частотного регулювання приводів середньої потужності»**

затверджена наказом ректора НУБіП України від “ 26 ” 09 2024 р. №1666“С”

Термін подання завершеної роботи на кафедру 2024.11.10
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи:

а) Результати науково-дослідницької роботи кафедри ЕЕЕ.

б) Публікації за темою магістерського дослідження .

в) Нормативні документи: ПУЕ, ПТЕЕС та ПБЕЕС, ДСТУ, ДБН тощо.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

а) Аналіз характеристик і стану сучасного електрообладнання цукрового заводу

б) Науково-технічне обґрунтування доцільності використання частотного керування електроприводами змінного струму

в). Особливості схем керування електроприводом дифузійного апарату .

г) Вибір елементної бази системи керування електроприводом .

д) Дослідницька частина. Розробленням і дослідження схеми керування електроприводом дифузійного апарату

е) Охорона праці та техніко-економічне обґрунтування .

Перелік графічного матеріалу (за потреби) _____

Дата видачі завдання “ 15 ” квітня 2023 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи _____ **Червінський Л.С.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____ **Мельник О.О.**
(підпис) (прізвище та ініціали студента)

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ЕЗС – електропривід змінного струму

$\cos\varphi$ – коефіцієнт потужності;

ЧПН- частотний перетворювач напруги

ЕЕС – електроенергетична система;

ЕП – електричний привід;

ЕМ – електричні мережі;

ЛЕП – лінія електропередачі;

НС – СКЕ - система керування електроприводом ;

РЕМ – розподільча електрична мережа;

ДФЦ – Дифузійний апарат цукру;

ТП – трансформаторна підстанція.

ЕМІ – електромагнітний імпульс

g – прискорення вільного падіння;

$I_{\text{РОЗР}}$ – розрахунковий струм;

K_3 – коефіцієнт запасу;

K_0 – коефіцієнт одночасності, який залежить від кількості споживачів;

$U_{\text{К}\%}$ – напруга короткого замикання ;

$U_{\text{Н}}$ – номінальна напруга мережі;

V – об'єм приміщення;

z – коефіцієнт нерівномірності освітлення;

$\Delta P_{\text{КЗ}}$ – втрати короткого замикання;

ΔU – втрата напруги;

РЕФЕРАТ

Актуальність.

Сучасний цукровий завод, як агропромисловий комплекс (АПК) України є важливою галуззю вітчизняного виробництва, подальший розвиток якого неможливий без широкого впровадження сучасних технологій. Пояснюється це тим, що переробна промисловість є енергоємним виробництвом технологічні процеси в якому забезпечуються електроприводами різного типу. В їхньому переліку особливо важливе місце займає автоматизований електропривод на забезпечення роботи якого іде понад вісімдесят відсотків усієї споживаної підприємством електроенергії. Тому правильний вибір електропривода повинен забезпечувати не тільки роботу технологічного обладнання але і економити електроенергію. Таким чином дослідження, пов'язані із пошуком більш раціональних способів керування електроприводами об'єктів цукрового заводу (центрифуги, бурякорізки, транспортери і т.д.) та оцінка можливого підвищення енергоефективності, є актуальними.

Метою є дослідження удосконалення системи електрообладнання бурякопереробного цеху цукрового заводу з частотним регулювання електроприводів середньої потужності основних технологічних процесів.

Об'єктом дослідження є електрообладнання цеху та система керування процесом роботи електроприводу середньої потужності приводу дифузійного апарату цукрового заводу.

Предметом дослідження є параметри електрообладнання та їх характеристики на прикладі системи автоматизованого керування роботою дифузійного апарату.

Методи дослідження. При виконанні роботи, в основному, застосовуються аналітичні методи розрахунку та моделі, більша частина яких реалізується за допомогою сучасного програмного забезпечення на ПК.

Наукова новизна. Науковою новизною роботи є проектні рішення по

організації системи керування і реалізації заходів з енергозбереження, що отримані на основі проведеного аналізу і з застосуванням засобів САПР і які дозволили підвищити енергоефективність і досягти оптимальних характеристик роботи системи автоматичного керування роботою електрообладнання бурякопереробного цеху.

Апробація результатів магістерської роботи. Матеріали магістерської роботи доповідались на конференціях та семінарах кафедри «Електротехніки, електромеханіки та електротехнологій» та конференціях ННІ енергетики, автоматики та енергозбереження НУБІП України в 2023 та 2024 роках. Є тези доповідей.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів.....	4
Реферат.....	5
Вступ.....	8
Розділ 1. Системний аналіз технологічного процесу та систем електроприводів механізмів цукрового виробництва.....	9
1.1. Аналіз технологічних процесів цукрового виробництва.....	9
1.2. Огляд і характеристики електроприводу дифузійного апарату.....	14
1.3. Механічні характеристики для електроприводу дифузійного апарату.....	19
Висновок до розділу 1.....	20
Розділ 2. Обґрунтування та дослідження електропривода дифузійного та розвантажувального апарату.....	21
2.1. Загальні відомості про електропривод.....	21
2.2. Аналіз характеристик привода на базі двигуна постійного струму.....	23
2.3. Розробка та дослідження трифазного мостового керованого випрямляча.....	32
2.3.1. Аналіз характеристик привода на базі змінного струму (структурна схема привода).....	41
2.3.2. Діапазон швидкості.....	44
2.4. Частотний перетворювач.....	47
Висновок до розділу 2.....	57
Розділ 3. Синтез системи керування дифузійним апаратом з прилеглими засобами.....	59
3.1. Аналіз функціональних вимог системи керування.....	59
3.2. Формування алгоритму функціонування системи керування.....	69
3.3. Розроблення системи керування автоматизованого електроприводу з та розрахунок основних параметрів приводного двигуна.....	75
3.4. Система автоматизації бурякопереробного відділення з дифузійними установками.....	83
Висновок до розділу 3.....	87
Висновки.....	88
Література.....	90

ВСТУП

Одним із найважливіших засобів забезпечення технологічних процесів в багатьох галузях виробництва є електричний привід. Це енергоємний електротехнічний комплекс, який у більшості випадків є основою виробництва. Тому правильний вибір типу електропривода повинен забезпечувати не тільки роботу технологічного обладнання, але й економити електроенергію[1].

Автоматизований електропривод відрізняється здатністю працювати в автоматичному режимі за заданою програмою без втручання оператора або комбінації, при необхідності, такого режиму з втручанням обслуговуючого персоналу. Основні функціональні завдання автоматизованого електроприводу в переважній більшості є регулювання швидкості в якості приводного двигуна і робочої машини. Таке завдання на сучасному етапі розвитку електротехніки вирішується двома способами. Це може бути привід або постійного або змінного струму. Обидва типи відрізняються один від одного за типом двигуна і способом регулювання його швидкості. Значні відмінності мають їх джерело живлення і система управління.

Дифузійний апарат цукрового заводу є одним з ключових пристроїв в технології виробництва цукру. Це саме в ньому відбувається витяг насиченого цукрового соку з бурякової стружки. Ця великорозмірна структура, яка рухається механічно перемішуючи порізаний в бурякову стружку цукровий буряк. Швидкість перемішування суміші стружки, води і соку впливає на якість екстрагування і, відповідно, на відсоток виходу готової продукції. Таким чином, правильний вибір електроприводу істотно впливає на ефективність роботи заводу.

РОЗДІЛ 1. СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ МЕХАНІЗМІВ ЦУКРОВОГО ВИРОБНИЦТВА

1.1. Аналіз технологічних процесів цукрового виробництва

Враховуючи, що більшість цукрових заводів так чи інакше входить у сферу впливу великих торгово-промислових компаній, все більш актуальним стає впровадження АСУТП з єдиною системою управління та контролю цукрового виробництва на базі сучасних обчислювальних засобів та технологій [13].

Технологія починається з комплексу обладнання для підготовки буряків до виробництва, яка складається з установки для піднімання буряка, гідротранспортера, піскоуловлювача, уловлювача бадилля, каменеуловлювача, водороздільника, а також бурякомийної машини. Провідний комплекс обладнання лінії складається з конвеєра з магнітним сепаратором, бурякорізки, ваг, дифузійної установки, шнекового преса і сушарки для жому. Наступний комплекс обладнання представляють фільтри з пристроями для підігрівання, апарати попередньої та основної дефекації, сатуратори, відстійники, сульфитатори та фільтри.

Найбільш енергоємним комплексом обладнання лінії є випарна установка з концентратором, а також вакуум-апарати, мішалки і центрифуги. Завершальний комплекс обладнання лінії складається з віброконвеєру, сушильно-охолоджувальної установки і вібросита. Машинно-апаратна схема лінії виробництва цукру-піску з цукрових буряків представлена на рис. 1.1

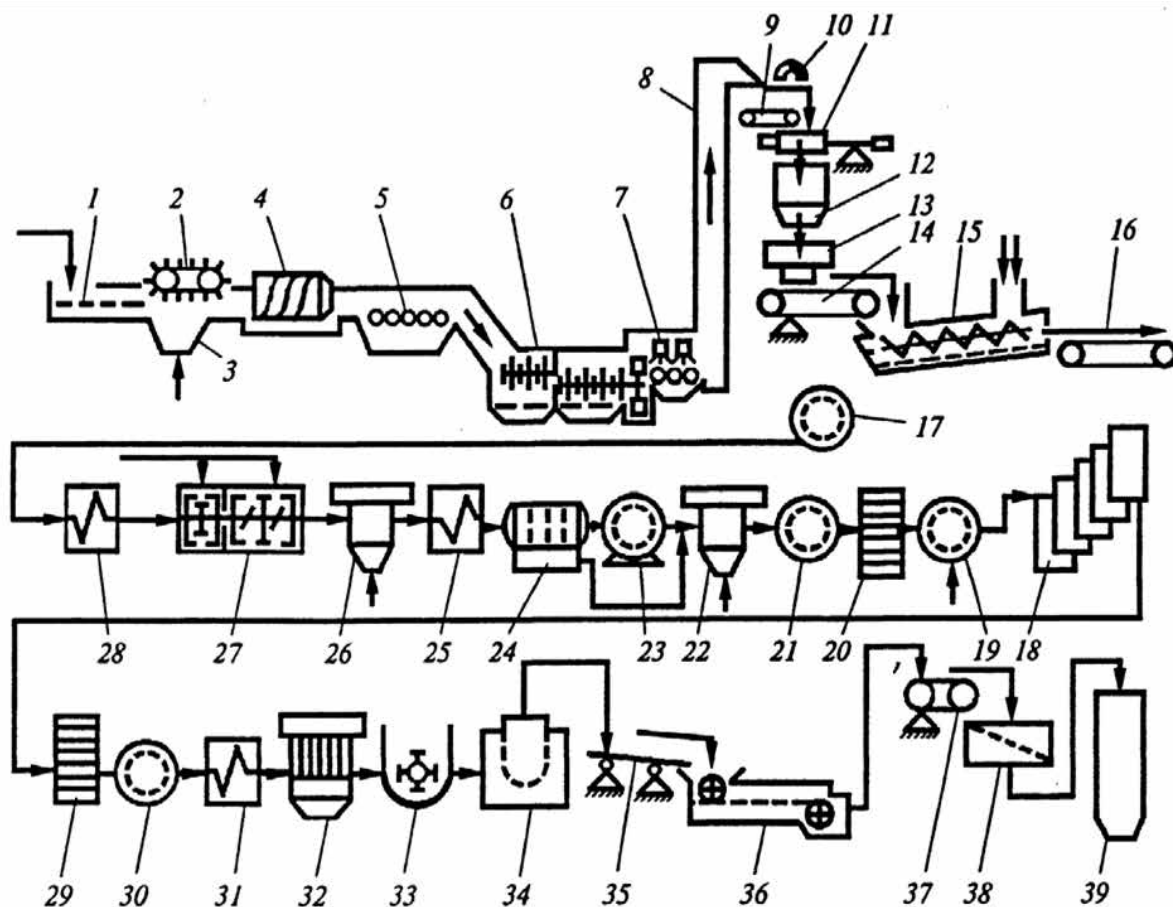


Рис. 1.1. Машино-апаратурна схема виробництва цукру із цукрового буряка
Будова і принцип дії технологічної лінії. Цукровий буряк подається на завод з бурячного або кагатного поля. По гідравлічному конвеєру він надходить до буряконасосів і піднімається на висоту до 20 м. Подальше переміщення його для здійснення різних операцій технологічного процесу відбувається самопливом. По довжині гідравлічного конвеєра 1 послідовно встановлені уловлювач бадилля 2, каменеуловлювач 4 і водороздільники 5. Це технологічне обладнання призначене для відділення легких (солома, бадилля) і важких (пісок, каміння) домішок, а також для відокремлення транспортерно-мийної води. Для інтенсифікації процесу уловлювання соломи і бадилля в поглиблення 3 подається повітря. Цукрові буряки після водороздільників надходить в мийну машину

Мийна машина призначена для остаточного очищення буряків (кількість землі при ручному збиранні буряка становить 3 ... 5%, а при механізованому збиранні комбайнами - 8 ... 10%). Кількість води, яка подається на миття буряків,

залежить від ступеня їх забруднення, конструкції машини і в середньому становить 60 ... 100% до маси буряків. У стічні води гідравлічного конвеєра і мийної машини потрапляють відламані хвостики буряків, невеликі шматочки і дрібні коренеплоди (всього 1 ... 3% до маси буряків), тому транспортерно-мийні води попередньо направляються в сепаратор для відділення від хвостиків і шматочків буряка, які після оброблення надходять на стрічковий конвеєр 14.

Відмитий цукровий буряк зрошується чистою водою зі спеціальних пристроїв 7, піднімається елеватором 8 і надходить на конвеєр 9, де електромагніт 10 відокремлює металеві предмети, які випадково потрапили в буряк. Потім буряк зважують на вагах 11 із бункера 12 направляють в подрібнювальні машини-бурякорізки 13. Стружка повинна бути рівною, пружною і без мезги, пластинчастого або ромбовидного перерізу, товщиною 0,5... 1,0 мм.

Бурякова стружка з подрібнювальних машин за допомогою стрічкового конвеєра 14, на якому встановлені конвеєрні ваги, подається в дифузійну установку 15.

Цукор, розчинений в буряковому соку коренеплоду, витягується з клітин проти-течійною дифузією, за якою стружка надходить в головну частину агрегату і рухається до хвостової частини, цукор віддається дифузією в воду,

яка рухається назустріч буряковій стружці. З кінця хвостової частини агрегату виводиться стружка з малою концентрацією цукру, а екстрагент, збагачений цукром, виводиться як дифузійний сік. З 100 кг буряка отримують приблизно 120 кг дифузійного соку. Жом відводиться з дифузійних установок конвеєром 16 в цех для пресування, сушіння та брикетування.

Дифузійний сік пропускається через фільтр 17, підігрівається в пристрої 28 і направляється в апарати попередньої та основної дефекації 27, де він очищається в результаті коагуляції білків і фарбувальних речовин і осадження ряду аніонів, що дають нерозчинні солі з іоном кальцію, що містяться у вапняковому молоці (розчин вапна). Вапняне молоко вводиться в сік за допомогою дозувальних

пристроїв.

Сік дефекації подається в котел першої сатурації 26, де він додатково очищається шляхом адсорбції розчинних нецукрів і особливо фарбувальних речовин на поверхні частинок дрібного осаду CaCO_3 , який утворюється при пропущенні діоксиду вуглецю через сік дефекації. Сік першої сатурації подається через підігрівач 25 в гравітаційний відстійник 24. У відстійниках сік поділяється на фракції: освітлену (80% усього соку) і згущену суспензію, що надходить до вакуум-фільтрів 23.

Відфільтрований сік першої сатурації направляється в апарат другої сатурації 22, де з нього відділяється вапно у вигляді CaCO_3 .

Сік другої сатурації подається на фільтри 21. Соки цукрового виробництва фільтруються декілька разів. Залежно від мети фільтрування користуються різними схемами процесу і фільтрувальним обладнанням.

Відфільтрований сік з фільтра 21 подається в котел сульфитації 20. Ціль сульфитації - зменшення кольоровості соку шляхом оброблення його діоксином сірки, який отримують при спалюванні сірки.

Сульфітований сік направляють на станцію фільтрів 19, а потім транспортують через підігрівачі в перший корпус випарної станції 18. Випарні установки призначені для послідовного згущення очищеного соку в сатураторі до концентрації густого сиропу; при цьому вміст сухих речовин у продукті збільшується з 14 ... 16% в першому корпусі, до 65 ... 70% (згущений сироп) в останньому. Свіжа пара надходить тільки в перший корпус, а наступні корпуси обігрівуються вторинною парою попереднього корпусу. Площа поверхні нагрівання випарної станції цукрового заводу продуктивністю 5000 т буряка на добу становить 10 000 м².

Отриманий сироп направляють у сульфитатор 29, а потім на станцію фільтрації 30. Відфільтрований сироп підігрівається в підігрівачі 31, звідки надходить у вакуум-апарати першого продукту 32. Сироп у вакуум-апаратах

уварюється до перенасичення, цукор виділяється у вигляді кристалів. Продукт, отриманий після уварювання, називається утфелем. Він містить близько 7,5% води і близько 55% кристалізованого цукру.

Утфель є гетерогенною системою, яка складається з двох фаз - рідкої та твердої. Тверда фаза – кристали сахарози, рідка – багатоконпонентний водний розчин, насичений щодо сахарози та ненасичений щодо не цукрів.

Сироп уварюють в періодично діючих вакуум-апаратах. Утфель першої кристалізації з вакуум-апаратів надходить до приймальників утфеле-мішалки 33, звідки його направляють в розподільчу мішалку, а потім у центрифуги 34, де під дією відцентрової сили кристали цукру відокремлюються від міжкристалічної рідини. Ця рідина називається першим відтоком. Чистота першого відтоку 75 ... 78%, що значно нижче чистоти утфелю.

Щоб отримати з центрифуги білий цукор, його кристали промивають невеликою кількістю гарячої води - відбілюють. При відбілюванні частина цукру розчиняється, тому з центрифуги відходить відтік більш високої чистоти -другий відтік. Другий і перший відтоки подають у вакуум-апарат другий (останньої) кристалізації, де отримують утфель другої кристалізації, що містить близько 50% кристалічного цукру. Цей утфель поступово охолоджують до температури 40 ° С при перемішуванні в утфелемішалках - кристалізаторах. При цьому додатково викристалізовується ще деяка кількість цукру. Нарешті, утфель другої кристалізації направляється в центрифуги, де від кристалів цукру відокремлюється меляса, яка є відходом цукрового виробництва, тому що одержання з неї цукру методом подальшого згущення і кристалізації не вигідно. Жовтий цукор другої кристалізації рафінують першим відтоком, отриманий утфель, який направляється в розподільну мішалку, а потім в центрифуги. Отриманий цукор розчиняється, і сік надходить у лінію виробництва.

Білий цукор, який вивантажується з центрифуг 34, має температуру 70 ° С і вологість 0,5% при відбілюванні паром або вологість 1,5% при відбілюванні

водою. Він потрапляє на вібруючий конвеєр 35 і транспортується в сушильно-охолоджувальну установку 36. Після сушіння цукор-пісок надходить на ваговий стрічковий конвеєр 37 і далі на вібросито 38. Грудочки цукру відділяються, розчиняються і повертаються в продуктивний цех. Товарний цукор-пісок надходить в силосні башти 39 (склади тривалого зберігання) [1].

1.2. Загальні характеристики дифузійного апарату, його призначення

Дифузійні апарати – це технологічні пристрої, які використовуються в цукрових заводах для видобутку цукрози шляхом розриву клітин бурякової стружки, з наступним витіканням насиченого цукрозою клітинного соку. Зовнішній вигляд апарату зображено на рис.1.2. Екстрагування відбувається шляхом розриву клітин бурякової маси з наступним витіканням насиченого цукрозою клітинного соку. Цей сік змішується з баричною водою і насосом відкачується на установку для фільтрації та подальшої обробки.



Рис.1.2. Похилий дифузійний апарат типу ДС-8 на Іллінецькому заводі

Дифузійний апарат, апарат для вилучення методом екстракції розчинних речовин з подрібненого твердого матеріалу. Дифузійні апарати широко застосовуються в харчовій промисловості, головним чином в цукровій, де вони є одним з основних видів технологічного обладнання. У цих апаратах здійснюється водна екстракція цукру з бурякової стружки або з подрібненого цукрового очерету.

Розрізняють дифузійні апарати періодичної і безперервної дії. До першого типу відносяться дифузійні батареї, що складаються з парного кількості 12-16 дифузюрів і такої ж кількості проміжних підігрівачів, сполучених в кільцеву систему. Батареї працюють за принципом протитечії: вода надходить в останній дифузюр, в якому знаходиться вже обезцукрена бурякова стружка, поступово збагачуючись цукром, вона послідовно прокачується через всі дифузюри знизу вгору і відводиться з останнього дифузюра у вигляді соку. Такі дифузійні апарати вельми громіздкі і вимагають значних витрат праці на обслуговування і ремонт.

Близько половини заводів СРСР оснащено дифузійними апаратами безперервної дії. Найбільш поширені вертикальні одно-і багатоклонні, похилі корита, горизонтальні ротаційні. У перших стружка переміщається знизу вгору шнековим, лопатевим або ланцюговим транспортером і вивантажується з верхньої частини апарату у вигляді жому, а вода безперервно протікає крізь стовп стружки зверху вниз, дифузійний сік відводиться через сито з нижньої частини колони. У похилих дифузійних апаратах стружка переміщається знизу вгору парою паралельних стрічкових шнеків і вивантажується у вигляді жому за допомогою лопатевого колеса. Апарат повністю автоматизований. У горизонтальних дифузійних апаратах до внутрішніх стінок барабана, що обертається жорстко прикріплені одно-або двухлоточні гвинтові перегородки, що розділяють його на ряд секцій, і решітки, перекидають стружку з секції в секцію,

назустріч протікає вздовж гвинтової перегородки воді.

Існують дифузійні апарати з нескінченної горизонтальної перфорованої стрічкою, що переміщає стружку, і системою насосів, послідовно протivotочно перекачувальних воду сік через окремі ділянки транспортера. Перспективне використання для витягання цукру з бурякової стружки серії гідроциклонів. Застосування дифузійних апаратів безперервної дії дозволяє повністю автоматизувати процес, в 5-8 разів скоротити витрати праці, знизити втрати цукру в жомі, підвищити загальну культуру виробництва. Продуктивність дифузійного апарата від 1500 до 3000 т буряка на добу.

Дифузія цукру відбувається в бурякопереробному відділенні цукрового заводу, де основним обладнанням є дифузійний апарат. Найбільш поширеними є дифузійні апарати похилого типу.

При розгляданні дифузійного апарату з його прилеглими агрегатами було виділено його основні характеристики та параметри які необхідні для його оптимальної роботи а саме:

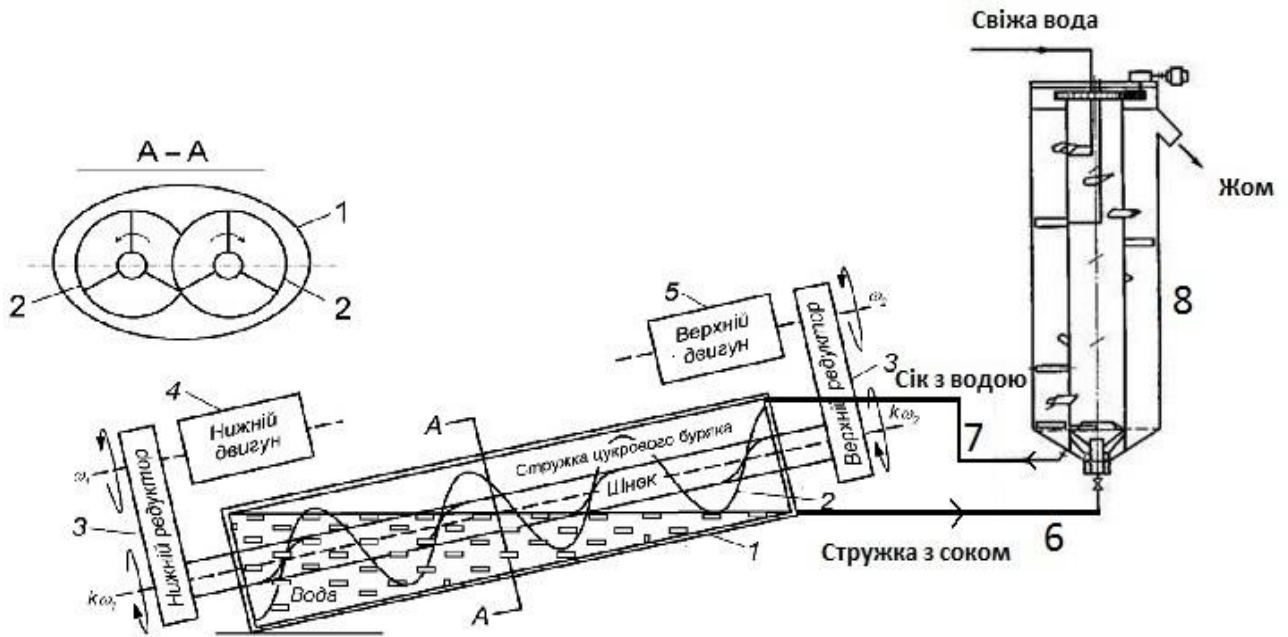
- повне проходження стружки вздовж апарату 70-80 хв.,
- мінімальна швидкість обертання 0,4 об/хв;
- максимальна швидкість обертання 1,2 об/хв;
- температура всередині дифузійного апарату 58-74⁰С;
- швидкість обертання двигуна оптимально 1500 об/хв;
- середня споживана двигуном потужність складає приблизно 90кВт;

Для зміни швидкості в межах від 0,4 до 1,2 обертів на хвилину є необхідність використання механічного редуктора з передатним понижувальним числом 1 до 250. При цьому мінімальна швидкість обертання валу двигуна постійного струму складає 0,4 оберта за хвилину зі збереженням його механічних властивостей. Як правило, у випадку роботи двигуна в

системі привода дифузії, його максимальна кількість обертів обмежується і не перевищує 1500 об/хв

Розглянемо основні особливості та будову похилого дифузійного апарату. Він складається з коритоподібного корпусу, позначеного на рис.1.2 цифрою 1. У внутрішній частині корпусу розташовані два шнекових вали 2, витки яких заходять один за одного, як це зображено на перетині А-А того ж рисунку. Довжина корпусу складає двадцять метрів, а його діаметр в середній частині – 2,5 метри. Діаметр шнека дорівнює 2 метра. Отже це велика за розмірами споруда, яка розташована під кутом у вісім градусів до горизонтальної площини. Нахил корпусу потрібен з технологічних міркувань[2].

Видалення цукру здійснюється за рахунок протитоку бурякової стружки та баричної води. Барична вода – це спеціально хімічно оброблена вода з якої видалені всі солі та важкі залишки. Вода подається у верхню частину розвантажувального пристрою 8 (див рис1.2), з якої вона потрапляє у дифузійний пристрій через канал 7 і стікає вниз назустріч буряковій стружці, яка посувається вгору за рахунок обертання шнекових валів. Буряковий сік стікає в нижню частину апарату, звідки через спеціальні фільтруючі сита концентрований сік попадає у соковідбірну камеру. Сита постійно прочищуються спеціальним скребком, який обертається разом із шнековим валом. На подальшу переробку сік подається насосом. Вимірюється кількість добутого соку з буряків та вираховується кількість цукру.



1 – корпус дифузійного апарату, 2 – зубчасте колесо, 3 – редуктор, 4 – нижній двигун, 5 – верхній двигун, 6 – трубопровід жому, 7 – трубопровід води, 8 – розвантажувальний апарат,

Рис.1.3. Похилий дифузійний апарат типу ДС-8

Транспортер подає бурякову стружку в завантажувальний бункер, там вона захоплюється шнеками і транспортується уздовж апарату до розвантажувального пристрою 8 через канал 6, звідки стружка транспортується вгору на подальшу переробку.

Як було зазначено вище, витки шнекових валів перекриваються, тобто виходять за межі один одного. Це особливість транспортуючої системи, яка не дозволяє стружці обертатись і намотуватись на вали, без цього стається розрив транспортованої маси і виникає закупорювання апарату. Робота в такому режимі спричиняє великі втрати. Крок витка для різних типів дифузій складає від 0,56 до 0,95 метра, відстань між витками паралельних шнеків менша ніж половина метра. Останній параметер вимагає дуже жорсткої синхронізації обертання всіх шнекових валів та контролю за станом їх закручування. Оскільки вал має велику довжину і пересуває великі маси, то відбувається його механічне закручування, ступінь якого може бути різним для обох валів. Внаслідок чого витки шнеків

перекриваються, торкаючись один одного і можуть зламатися, потужність приводних двигунів значно завищена, тому вірогідність такого закручування зростає і дифузійний апарат працює на межі допустимої безпеки.

У випадку поломки шнекових валів або інших механічних частин дифузійного апарату, він вийти з ладу на дуже тривалий час. З метою запобігання подібних несправностей застосовується як електрична, так і механічні системи захисту. Для ефективного видобування цукрози, бурякова стружка повинна знаходитись в апараті доволі тривалий, час. Найкращі показники виходу цукру мають місце за умови, якщо сокостружкова суміш буде знаходитись в них на протязі 70 – 80 хвилин, повільно просуваючись вздовж нагрівальних елементів апарату, кожен з яких має свій регулятор напруги та налаштований на окрему температуру Існує п'ять таких камер і температура стружки в них змінюється поступово по ходу руху в послідовності 56⁰С, 72⁰С, 74⁰С, 72⁰ 60⁰С. Тобто вивантаження жому відбувається при температурі 60⁰С. Вивантаження здійснюється за допомогою розвантажувального апарату який має свій привод[3].

1.3 Механічні характеристики для електроприводу дифузійного апарату

Швидкість просування бурякової стружки та її температура є визначними факторами якості роботи дифузійного апарату а тому і усього заводу в цілому. Очевидно, що від швидкості обертання шнекових валів залежить швидкість просування стружки. Тому для досягнення встановлених нормативів виходу цукру, ця швидкість повинна регулюватись в межах від 0,4 до 1,2 обертів на хвилину для вказаного типу дифузії.

На рис.1.3 цифрою 3 позначений редуктор. Його застосування виправдане через істотне збільшення механічного моменту вторинного валу редуктора, який безпосередньо пов'язаний зі шнековим валом дифузійного апарату. Враховуючи довжину валу дифузійного апарату, встановлюються два редуктори з обох його кінців, це дозволить рівномірно розподілити механічний момент вздовж всього валу та зводити ефект його закручування до мінімуму. Тому виникає потреба у

використанні двох приводних електродвигунів - верхнього та нижнього. На рис.1.4 вони позначені цифрами 4 та 5 відповідно[4].

Висновки до розділу 1

При розгляданні даного дифузійного апарату та його агрегатів та проаналізувавши технологічний процес було виділено такі його основні характеристики та параметри :

- повне проходження стружки вздовж апарату 70-80 хв.,
- мінімальна швидкість обертання 0.4 об/хв;
- максимальна швидкість обертання 1,2 об/хв;
- температура всередині дифузійного апарату 58-74⁰С;
- швидкість обертання двигуна оптимально 1500 об/хв;
- середня споживана двигунами потужність складає приблизно 90кВт;
- маса води та стружки в дифузійному апараті складає 385т;
- механічний редуктор з передатним понижувальним числом 1:525 для АСД, та 1:250 для ДПС.

РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ДИФУЗІЙНОГО ТА РОЗВАНТАЖУВАЛЬНОГО АПАРАТУ

2.1 Загальні відомості про електропривод

На даний момент існує два типи регульованого електроприводу: постійного та змінного струмів. Відповідно до типу електроприводу використовуються два типи регульованих джерел живлення. У першому випадку це керовані випрямлячі, які забезпечують перетворення змінної напруги промислової мережі в однополярну напругу зі струмом з одночасною можливістю регулювання їх середнього значення. Очевидно, що в даному випадку використовується двигун постійного струму, швидкість обертання валу якого залежить від середнього значення напруги, прикладеної до його роторної обмотки, а величина споживаного струму визначається механічним моментом на його валу.

У другому випадку в якості джерела живлення використовуються перетворювачі частоти з проміжним джерелом постійного струму. Такий тип перетворювача є дуже складним тому, що його робота забезпечується за рахунок потрійного перетворення електричної енергії. Спочатку напруга промислової мережі випрямляється, перетворюючись в однополярну пульсуючу, яка в подальшому фільтрується і стає постійною. Далі постійна напруга інвертується, перетворюючись в змінну. Доволі складний шлях перетворення дозволяє отримати в результаті перетворення змінну напругу з регульованою частотою та постійним значенням. Не важко зрозуміти, що зданим джерелом живлення потрібно застосовувати двигун змінного струму. У сучасних частотно-регульованих приводах в зазвичай використовують асинхронні двигуни з короткозамкнутим ротором.

Для зміни швидкості в межах від 0,4 до 1,2 обертів на хвилину існує необхідність для використання механічного редуктора з передатним понижувальним числом 1 до 250. При цьому мінімальна швидкість обертання

валу двигуна постійного струму складає 0,4 оберти за хвилину за умови збереження його механічних властивостей. У випадку роботи двигуна в системі привода дифузійної установки, його максимальна кількість обертів обмежується і не перевищує 1500 об/хв[6].

На даний момент використовують електроприводи з двигунами постійного струму. Перевагою цих двигунів є те що в них відносно легко регулювати частоту обертання.

Основні недоліки існуючих електроприводів постійного струму дифузійного апарату:

- низька ступінь захисту електродвигуна;
- низька завадостійкість;
- великі розміри
- складність в налаштуванні;
- нестабільність параметрів;
- регулярне технічне обслуговування;
- середній рівень надійності.

Всі перераховані вище недоліки, є наслідком двох основних проблем:

- Низький ступінь захисту двигунів постійного струму, які експлуатуються у важких кліматичних умовах з присутністю агресивних середовищ (пари аміаку, сірки). Все це призводить до їх значного зносу і передчасного виходу з ладу.
- Якість і надійність застосовуваних тиристорних перетворювачів вже не відповідає сучасним вимогам.

Асинхронний двигун є найбільш масовим електричним двигуном.

До переваг асинхронних двигунів можна віднести такі якості:

- Простота конструкції та експлуатації.
- Надійність у роботі та відносна простота ремонту.
- Відносно малі вага, габаритні розміри та вартість.

- В електроприводах робочих машин найбільше часто застосовуються асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором серій 4А, 4АМ та АИ, що мають такі граничні номінальні параметри:
- номінальна потужність: при напругах 220, 380, 660 В від 0,025 до 400 кВт; при напругах 6,10 кВ від 500 до 8000 кВт.
- синхронні частоти обертання: 500, 600, 750, 1000, 1500, 3000 об/хв.

Ці двигуни знайшли застосування у всіх галузях господарства. В даний час завдяки розвитку силової перетворювальної техніки створені і серійно випускаються різні види напівпровідникових перетворювачів частоти, що визначило випереджальний розвиток і широке застосування частотно-регульованого асинхронного електропривода. Основними перевагами цієї системи регульованого електропривода є:

- Плавність регулювання і висока жорсткість механічних характеристик, що дозволяє регулювати швидкість в широкому діапазоні;
- Економічність регулювання, обумовлена тим, що двигун працює з малими величинами абсолютного ковзання, і втрати в двигуні не перевищують номінальних.

2.2. Аналіз характеристик привода на базі двигуна постійного струму

Даний тип двигуна має незалежне збудження, що не є випадковим. Його позитивною особливістю є можливість змінювати величину проти ЕРС силової обмотки методом регулювання струму збудження. Напруга, яка прикладається до силової (роторної) обмотки в заданому режимі роботи двигуна врівноважується напругою на її опорах R_p та проти ЕРС ротора E_p , яка наводиться в обмотці під час його обертання в полі, яке створює обмотка збудження.

$$U_p = E_p + I_p \cdot R_p, \quad (2.1)$$

де U_p – напруга, яка прикладається до роторної обмотки;

E_p – протиерс ротора;

I_p – це струм, який споживає роторна обмотка;

R_p – опір роторної обмотки.

У виразі (2.1) I_p – це струм, що споживає роторна обмотка. Її опір складається з опору самої обмотки, опору додаткових полюсів, а також внутрішнього опору джерела живлення, яке зазвичай не враховується.

Проти е.р.с. ротора дорівнює:

$$E_p = k \cdot \Phi \cdot \omega, \quad (2.2)$$

де k – конструктивна стала електричної машини;

Φ – магнітний потік обмотки збудження, Вб;

ω – кутова швидкість обертання роторної обмотки.

Механічний момент, який розвиває двигун, пропорційний струму ротора та потоку збудження

$$M = k \cdot \Phi \cdot I_p. \quad (2.3)$$

Розв'язуючи рівняння (2.1), (2.2), (2.3) відносно змінної ω , отримуємо залежність швидкості від струму ротора $\omega = f(I_p)$ яка називається електромеханічною характеристикою двигуна

$$\omega = \frac{U_p}{k \cdot \Phi} - \frac{R_p \cdot I_p}{k \cdot \Phi}. \quad (2.4)$$

Механічну характеристику двигуна можна отримати замінивши струм ротора механічним моментом з формули (2.4), тобто

$$\omega = \frac{U_p}{k \cdot \Phi} - \frac{R_p \cdot M}{(k \cdot \Phi)^2} \quad (2.5)$$

Отримані вирази вказують на те, що напруга на двигуні залежить як від механічного моменту, так і від потоку збудження, який визначається струмом в обмотці збудження. Якщо даний струм буде сталим, а такий режим є найбільш вживаним та поширеним, то напруга двигуна стає пропорційною його механічному навантаженню за умови сталого числа обертів.

Цей висновок є надзвичайно важливим для забезпечення належної роботи дифузійного апарату. Під час практичних випробувань електрична напруга вимірюється на обох двигунах і в разі значних відмінностей відбувається налаштування пари двигунів на спільну роботу з метою усунення перекосу механічного навантаження на обох валах дифузії.

Проте ЕРС двигуна, як зазначено, залежить від числа обертів. Таким чином, під час операції, її розмір може варіюватися, що не бажано, так як швидкість обертання шнекових валів дифузійного апарату в правильно налаштованому технологічному процесі виробництва повинна залишатися постійною. З метою збереження сталої напруги на роторній обмотці двигуна використовується система автоматичного управління, яка є основною частиною СІФК. Робота та особливості цієї системи розглядаються більш докладно в наступному розділі.

Важливою частиною проектування автоматизованого електропривода є розрахунок потужності приводного двигуна за допомогою спеціальних таблиць вибору потужності двигунів які розроблені для усіх існуючих типів дифузій. В першу чергу вона залежить від необхідної продуктивності дифузійного апарату. Притому велике перевищення потужності двигуна неприпустиме з міркувань безпечного використання дифузійного апарату. Наприклад, згідно із таблиці, розробленої НДІ Укрцукор , для дифузійного апарату типу ДС-8 з продуктивністю дві тисячі тонн бурякової стружки за добу, необхідно використовувати два двигуни потужністю в 45 кВт.

Найважливішою характеристикою двигуна є механічна (n) . Вона вказує,

як залежить частота обертання двигуна від механічного моменту. Якщо до обмоток двигуна прикладені номінальні напруги і відсутні додаткові резистори в його ланцюгах, то двигун має механічну характеристику, що називається природною. На цій характеристиці знаходиться точка, що відповідає номінальним даними двигуна (M_n, P_n і т.д.).

У випадку коли напруга на обмотці якоря менше номінального, або $I_a < I_{aн}$, то двигун буде мати різні штучні механічні характеристики, на цих характеристиках двигун працює в режимі пуску, гальмування, реверсі і регулювання частоти обертання.

Рівняння електромеханічної характеристики $n(I_a)$:

$$n = \frac{U - I_a r_a}{k_e \Phi} = \frac{U}{k_e \Phi} - \frac{I_a r_a}{k_e \Phi}. \quad (2.10)$$

Після заміни в рівнянні (2.20) струму I_a , отримаємо рівняння механічної характеристики n :

$$n = \frac{U}{k_e \Phi} - M \frac{r_a}{k_e k_M \Phi^2}. \quad (2.11)$$

При $\Phi = \text{const}$, електромеханічна $n(I_a)$ і механічна $n(M)$ характеристики двигуна паралельного збудження являють собою прямі лінії. Виходячи з того що за рахунок реакції якоря магнітний потік трохи змінюється, то характеристики в дійсності дещо відрізняються від прямих.

Під час роботи вхолосту ($M = 0$) двигун має частоту обертання холостого ходу, яка визначається першим членом рівняння (2.11). Із збільшенням навантаження n зменшується. Як впливає з рівняння (2.11), це пояснюється наявністю опору якоря r_a .

Оскільки величина r_a не є великою то частота обертання двигуна при збільшенні моменту змінюється мало, і двигун має жорстку природну механічну характеристику (рис.2.1, характеристика 1).

З рівняння (2.11) впливає, що регулювання частоти обертання при

заданій постійній навантаженні ($M = \text{const}$) можливе за трьома способами:

- а) зміною опору кола якоря;
- б) зміною магнітного потоку двигуна;
- в) зміною напруги на затискачах якоря.

Для регулювання частоти обертання ротора двигуна першим способом в ланцюг якоря повинно бути включено додатковий опір r_d . Тоді опір в рівнянні (2.7) необхідно замінити на $r_y + r_d$.

Як виходить з рівняння (2.11), частота обертання n пов'язана з опором ланцюга якоря $r_y + r_d$ при постійному навантаженні ($M = \text{const}$) лінійною залежністю тобто при збільшенні опору частота обертання ротора зменшується, отже різним опорам r_d відповідають різні штучні механічні характеристики, одна з яких наведена на рис.2.1, характеристика 2. За допомогою механічної характеристики 2 при заданому моменті M_1 можна отримати частоту обертання n_2 .

Як ми бачимо з рівняння (2.11), при постійному навантаженні ($M = \text{const}$) частота обертання знаходиться в залежності від магнітного потоку Φ . Аналіз рівняння (2.11) вказує на те що в деякому діапазоні зміни магнітного потоку Φ зменшення останнього провокує збільшення частоти обертання, саме цей діапазон зміни потоку використовують при регулюванні частоти обертання.

Для того щоб регулювати частоту обертання зміною напруги на затискачах якоря, необхідно мати відносно потужне регульоване джерело напруги, кожному значенню напруги відповідає штучна механічна характеристика двигуна, одна з яких наведена на рис.2.1, характеристика 3. За допомогою механічної характеристики 3 при даному моменті M_1 можна отримати частоту обертання n_3 .

Розрахунок виходить з визначення потужності, яку потрібно витратити

для доставки соко-стружкової маси на висоту h , зумовленому нахилом дифузії. Враховуючи кут нахилу дифузії, матимемо:

$$h = L \cdot \sin \alpha , \quad (2.12)$$

де L – довжина дифузії в метрах,

$\sin \alpha$ – кут нахилу.

$$h = 20 \cdot \sin 8^\circ = 4,125 \text{ м ,}$$

Кількість сокостружкової сировини, що постійно знаходиться в дифузійному апараті визначається з його продуктивності, для дифузії ДС-8 цукрового заводу ,ця цифра, складає дві тисячі тонн на добу.

Враховуючи термін знаходження бурякової стружки в об'ємі дифузійного апарату, її маса в апараті складає:

$$M_{сг} = \frac{M_{сд}}{24} = 83,3 \text{ т .} \quad (2.13)$$

де: $M_{сг}$ – маса стружки за годину;

$M_{сд}$ – маса стружки за добу.

$$M_{сг} = \frac{2000}{24} = 83,3 \text{ т}$$

З технологічних норм, відомо що маса рідини в апараті на двадцять відсотків перевищує масу стружки. Отже маса суміші складає:

$$M_c = M_{сг} + 1,2 \cdot M_{сг} . \quad (2.14)$$

де: M_c – маса стружки в апараті;

$M_{сг}$ – маса стружки за годину,

$$M_c = 83,3 + 1,2 \cdot 83,3 = 183 \text{ т}$$

Витрачена робота на її переміщення складає:

$$A = M_c \cdot h \quad (2.15)$$

$$A = 183 \cdot 4,125 = 754 \text{ Дж}$$

Виходячи із вищесказаного для дифузійного апарату потрібен діапазон регулювання швидкості 0,4-1,2 об/хв. Розглянемо можливості двигуна постійного струму з точки зору діапазону регулювання його швидкості, для цього згідно виразу 2.11 побудуємо механічні характеристики двигуна постійного струму.

Вкажемо на даній характеристиці навантажувальний момент дифузійного апарату, в точці M_n характеристика відповідає максимальним та мінімальним вимогам значенню n_1 та n_2 .

Виходячи з малюнку 2.2 двигун постійного струму забезпечує потрібний діапазон регулювання, який складає 1500 об/хв, та задовольняє вимоги нашого дифузійного апарату

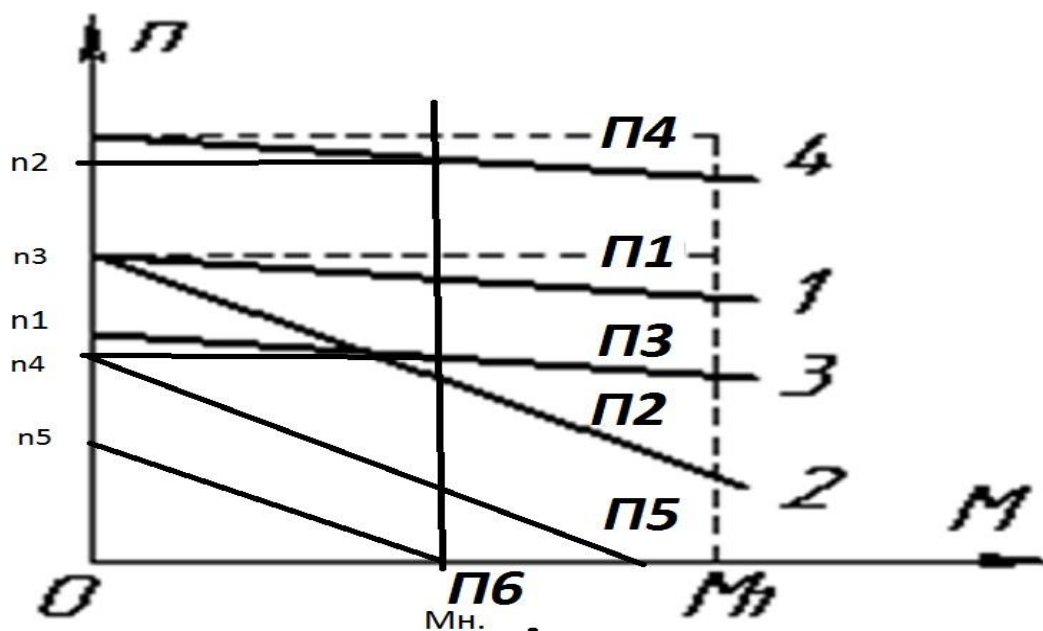


Рис. 2.2 Механічна характеристика двигуна постійного струму робочого діапазону

Діапазон регулювання кутової швидкості - це відношення можливих сталих швидкостей: максимальної ω_{max} до мінімальної ω_{min} при заданій точності регулювання (із встановленим статичним падінням швидкості електропривода) для заданих меж зміни моменту навантаження та інших збурювань.

$$D = \omega_{max} / \omega_{min} \quad (2.16)$$

За даними з формули (2.16) швидкість двигуна постійного струму можливо регулювати за допомогою таких параметрів:

1. Напруга джерела живлення U , до якого підключене коло обмотки якоря. Виходячи з виразу (2.16) зміна напруги спричиняє прямо пропорційну зміну частоти обертання якоря, цей спосіб регулювання може забезпечити плавне регулювання швидкості в діапазоні від нуля до номінального значення і вище;

2. Додатного опору R_d , що вводиться в коло обмотки якоря, збільшення величини якого зменшує жорсткість механічної характеристики та зумовлює зниження швидкості обертання якоря. Даний параметр, за умови плавного регулювання, дозволяє також плавно регулювати швидкість від нуля до номінального значення;

3. Магнітний потік Φ . Оскільки за номінального значення магнітного потоку магнітна система машини знаходиться в насиченому стані, збільшувати магнітний потік вище номінального значення неефективно, тому на практиці використовують регулювання швидкості за допомогою магнітного потоку лише в сторону його зменшення. За допомогою цього досягається збільшення швидкості від номінального значення і вище.

Зміна швидкості регулюванням струму збудження (або магнітного потоку Φ , що визначається струмом збудження) є одним із найбільш простих і економічно вигідних способів. Це обумовлене тим що потужність, споживана обмоткою збудження двигуна, становить близько 2÷2,5 % потужності двигуна. Струм збудження у випадку з двигунами малої потужності регулюють за допомогою резистора (рис. 2.2), або за допомогою регулятора напруги РН (рис. 2.3).

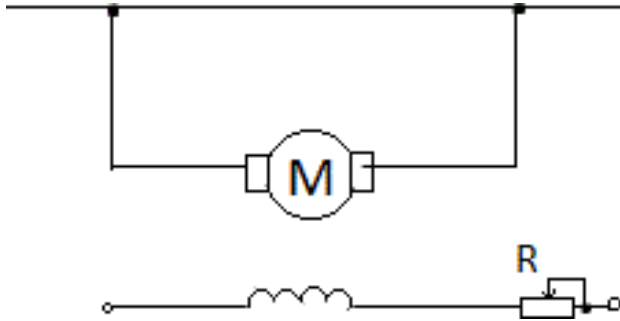


Рис. 2.3. Регулювання струму збудження за допомогою змінного опору

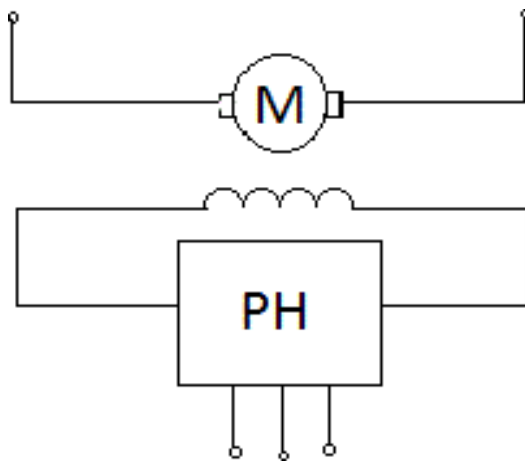


Рис. 2.4. Регулювання струму збудження за допомогою регулятора напруги

Регулюванням швидкості в цьому випадку виконується уверх від основної, притому допустимий момент двигуна змінюється за законом гіперболи, а припустима потужність залишається сталою.

За умов що припустиме навантаження визначається струмом, який відповідає номінальному, то потужність, що досягається двигуном, є постійною ($P = P_{ном} = const$). Електромеханічній характеристиці $\omega = f(I)$ при зміні струму збудження відповідають різні значення кутової швидкості ідеального холостого ходу що обумовлені формулою:

$$\omega = U/k \cdot \Phi \quad (2.16)$$

Обумовлений двигун має швидкість обертання 1500 об/хв. Шнек має обертатися зі швидкістю 0,4-1,2 об/хв, отже для зменшення кількості обертів потрібно використати редуктор..

2.3. Розроблення та дослідження трифазного мостового керованого випрямляча

Для того щоб краще розуміти матеріал стосовно роботи обраного типу автоматизованого електропривода, необхідно розглянути схему та принцип роботи регульованого джерела живлення постійного струму. Трифазні мостові керовані випрямлячі використовуються для електроприводів середньої та великої потужності, як це зазначалось вище. Принципова схема даного випрямляча зображена на рис.2.6, це є складний, введений в мережу комутатор в якості перемикаючих приладів в якому можуть використовуватись звичайні тиристори і повністю керовані, або двоопераційні, тиристори. Розглянемо найбільш поширену схему на звичайних тиристорах які, у більшості випадків, використовуються в промислових перетворювачах. Зразком подібного перетворювача є тиристорний агрегат ТЕ4-200/440-УХЛ2 різні модифікації якого використовуються на більшості цукрових заводів України.

За своїми електричними характеристиками тиристор є керованим діодом. У більшості випадків тиристор має ту особливість, яка дозволяє увімкнути його в коло керуючого електрода. Але його вимкнення можливе лише у випадку зміни полярності напруги між його анодом і катодом. Або таке вимкнення може відбутись за умови розриву його анодного кола, тобто заумови падіння прямого струму майже до нуля.

На відміну від попереднього двоопераційний тиристор, може бути увімкненим і вимкнутим по колу керуючого електрода, в обох випадках в структурі керованого випрямляча повинна бути так звана система імпульсно – фазового керування (СІФК), яка зображена на рис .2.6 умовним

прямокутником. За своєю будовою – це складна електронна система в функції якої входять наступні завдання:

- Фазування анодної напруги тиристора з його вмикаючим імпульсом;
- Формування заданої кількості вмикаючих імпульсів, амплітуда та тривалість яких достатня для надійного вмикання тиристорів;
- Регулювання фази вмикаючих імпульсів в межах тривалості прямої анодної напруг тиристорів;
- Забезпечення як ручного, так і автоматичного регулювання фази вмикаючих тиристорів імпульсів.

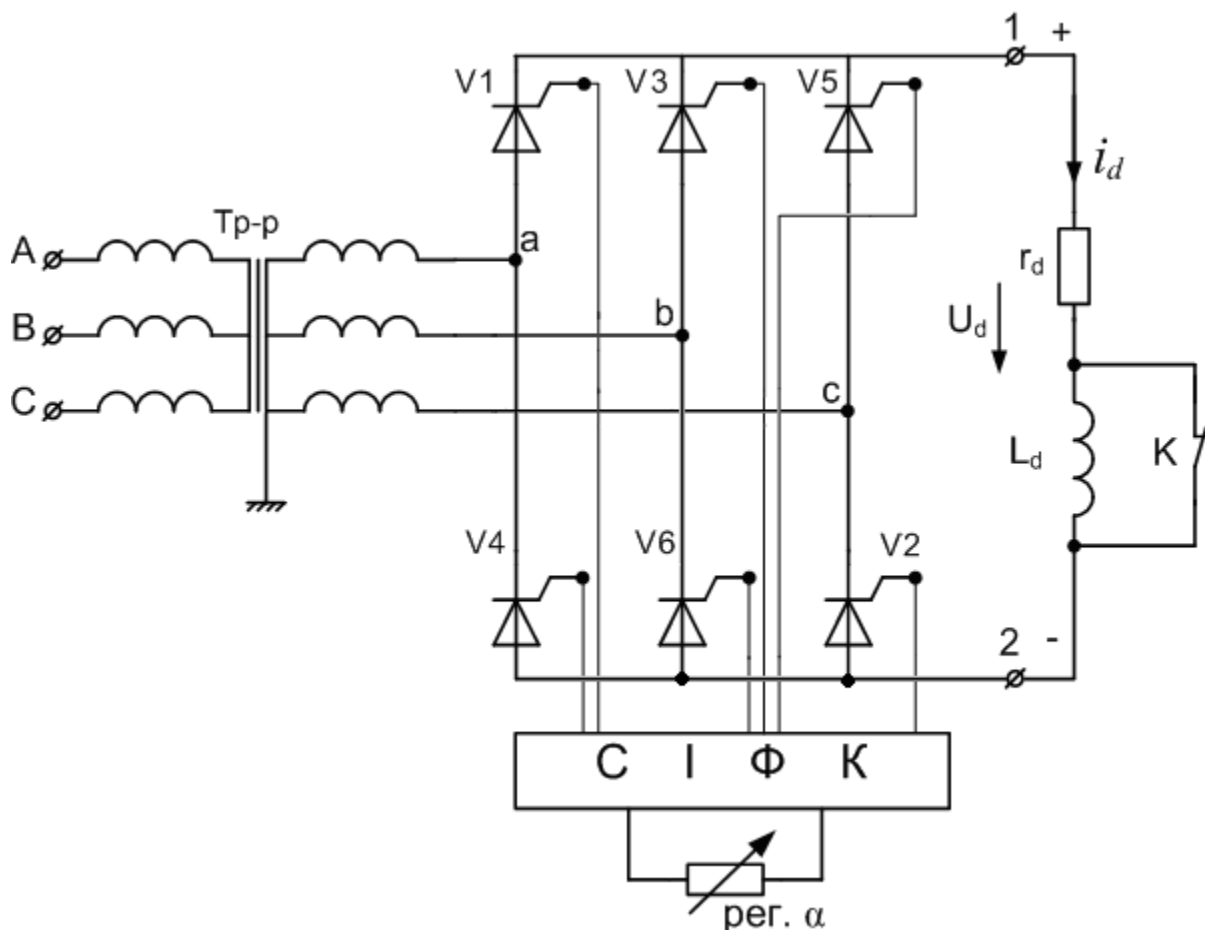


Рис. 2.6. Принципова схема трифазного мостового керованого випрямляча

Трансформатор може бути спеціального призначення, або це типовий

мережний трансформатор 6 / 0,4 кВ, що встановлений на підстанції підприємства.

Зображений на схемі ключ К призначений для зміни характеру навантаження, в промислових зразках перетворювачів він відсутній.

Розглянувши роботу схеми ми бачимо що її принцип базується на так званому імпульсно- фазовому регулюванні, де за рахунок зміни моменту вмикання тиристора змінюється площа прикладених до навантаження півперіодів напруги мережі живлення, в результаті чого зміна моменту вмикання тиристора залежить від положення, тобто фази, вмикаючих імпульсів УК. Тиристри в схемі керованого випрямляча використовуються в якості швидкодіючих перемикачів за допомогою яких перерозподіляється миттєва напруга між самим тиристором та навантаженням випрямляча.

Такий перерозподіл можливий лише тоді коли тиристор буде вмикатись та вимикатись за дуже короткі проміжки часу, що і є в дійсності, тривалість половини періоду напруги мережі живлення складає 10 мілісекунд, тоді як тривалість вмикання низькочастотного тиристора не перевищує 10 мікросекунд, а тривалість його вимикання не більше 50 мікросекунд, тобто різниця в часі між тривалістю півперіоду та тривалістю вмикання та вимикання тиристора складає три порядки.

Ця різниця в часі, дає право вважати процес перемикавання тиристора майже миттєвим, а це означає те, що останній може вмикатись в будь-який момент часу на інтервалі того півперіоду напруги мережі живлення який для тиристора є позитивним, тобто прямим. На даному принципі і базується робота керованого випрямляча. Штучно змінюючи момент вмикання тиристора на інтервалі позитивного півперіоду, можна змінювати ту частину його площі, яка прикладається до навантаження, регулюючи тим самим постійну складову напруги на ньому, вимкнення тиристора відбувається природним шляхом у момент зміни знаку напруги мережі живлення.

Числовий індекс біля тиристора вказує порядок вступу його в роботу. На

кожному часовому інтервалі, який складає одну шосту періоду, одночасномають працювати два тиристори, на інтервалі 0102 увімкнена пара тиристорів V1-V6. На кінці інтервалу вимикається тиристор V6 і вмикається тиристор V2, отже на інтервалі 0203 працюватиме пара V1-V2, на наступному інтервалі – пара V2-V3 і так буде продовжуватися через кожен період. Точки перетину фазних напруг на діаграмі вказують на моменти перемикання тиристорів і в спеціальній літературі називаються точками природної комутації [9,10].

На рис.2.7 принцип роботи схеми зображено часовими діаграмами на яких кут α змінюється в послідовності: $\alpha = 30^0$, $\alpha = 60^0$, $\alpha = 90^0$, як очевидно з рисунку, граничним кутом для схеми, що розглядається є кут $\alpha = 60^0$, в результаті його збільшення, тобто пересування імпульсу вправо, то випрямлена напруга стає перервною і в її миттєвих значеннях виникають нульові проміжки (див. діаграму рис.2.7, г). При зменшенні кута α нульові проміжки зникають і крива випрямленої напруги стає безперервною (діаграма б) виникає режим роботи який має місце у випадку чисто резистивного навантаження і характерний двома різними за виглядом залежностями середньої напруги від кута α , оскільки форма кривої випрямленої напруги на кожному із зазначених інтервалів буде різною.

Важливо розглядати роторну обмотку двигуна постійного струму як активно - індуктивне навантаження з проти.е.р.с (ключ К на рис.2.6 розімкнута). Для такого навантаження робота випрямляча має ряд особливостей, головним з яких є відсутність нульових проміжків в кривій випрямленої напруги для всього діапазону регулювання кута вмикання тиристорів. Це пояснюється тим, що індуктивність навантаження накопичує енергію в магнітному полі, забезпечуючи тим самим безперервність струму навантаження, за такого режиму роботи тиристори випрямляча будуть перемикатись не в точках природної комутації, а в моменти вмикання наступного тиристора.

Внаслідок чого в кривій випрямленої напруги з'являються ділянки від'ємних півперіодів напруги мережі живлення і крива випрямленої напруги стає

безперервною, як це зображено на рис.2.8, б), останнє означає, що залежність випрямленої напруги від кута α стає єдиною в усьому діапазоні його зміни.

У випадку коли тривалість вмикаючих імпульсів буде меншою ніж 60° , таке коло не утвориться і перетворювач не буде працювати, але сформувати шість імпульсів тривалістю 60° є досить складним технічним завданням, враховуючи необхідність гальванічної розв'язки між системою керування та силовими колами тиристорів, яка досягається шляхом використання імпульсних трансформаторів. При цьому, тривалий імпульс буде додатково нагрівати керуючий $p-n$ – перехід тиристора, що не є бажаним.

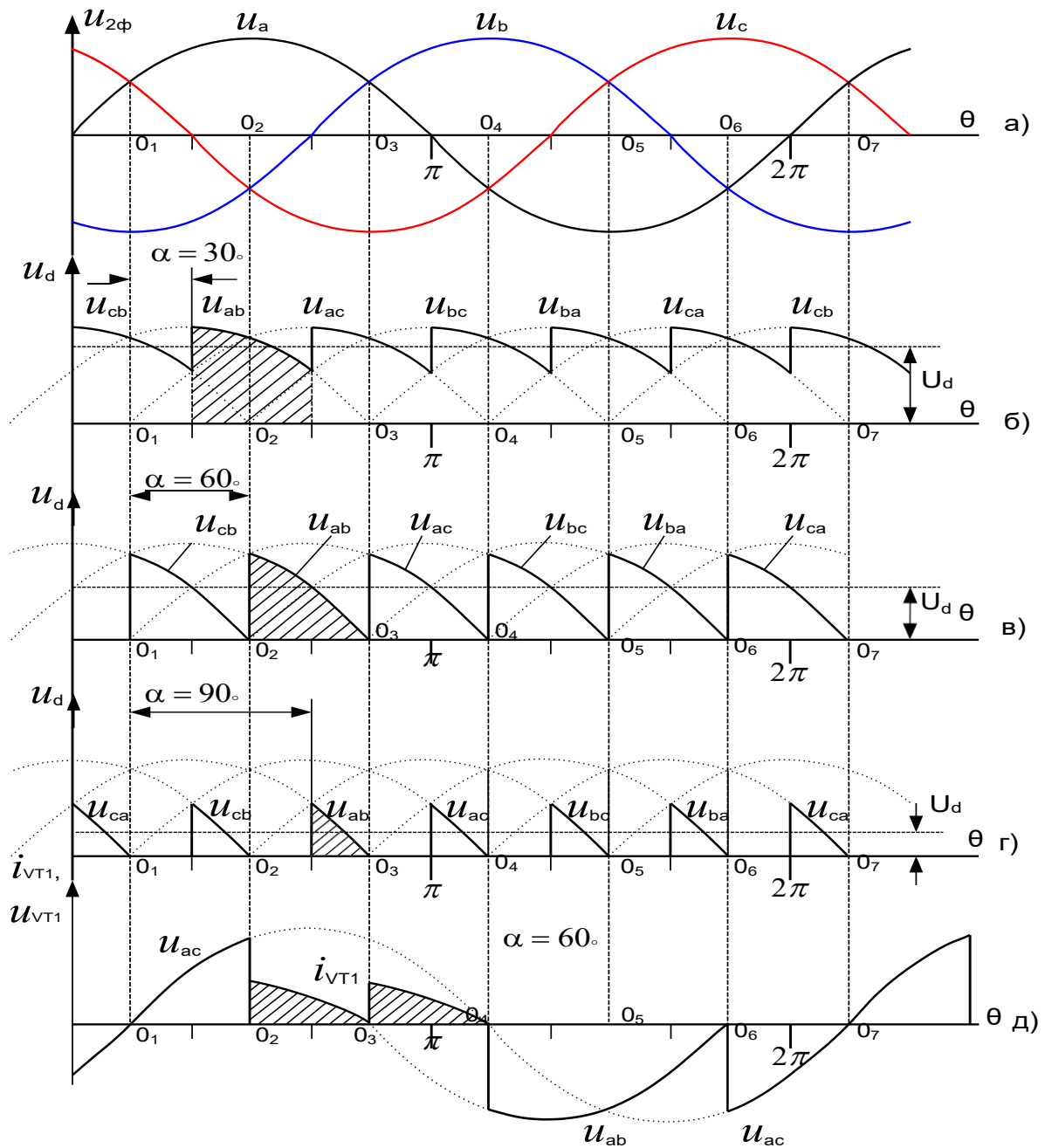


Рис.2.7. Амплітудні та діючі значення напруг і струму в діаграмі роботи трифазного мостового керованого випрямляча струму

$$U_d = \int_{\frac{2\pi}{3} + \alpha}^{\frac{\pi}{3} + \alpha} \sqrt{2} U_{\text{Л}} \sin \omega t \, d\omega t = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} U_{\text{Л}} \cos \alpha, \quad (2.24)$$

$$\frac{\pi}{3} + \alpha$$

де $U_{\text{л}}$ – діюче значення лінійної напруги мережі живлення;

U_d – середнє значення випрямленої напруги;

α – кут вмикання тиристорів.

Рівняння (2.24) називається регулюючою характеристикою випрямляча і є одним із виразів що використовуються при проектуванні систем автоматизованих електроприводів постійного струму.

На рис.(2.8, б) жирною лінією вказані миттєві показники випрямленої напруги в режимі активно-індуктивного навантаження а саме в режимі роботи на роторну обмотку двигуна постійного струму, з неї виходить, що для кутів вмикання тиристорів які перевищують 60° в кривій випрямленої напруги з'являються ділянки від'ємних півперіодів напруги мережі живлення, які суттєво знижують рівень середнього значення випрямленої напруги U_d . При цьому струм навантаження I_d залишається згладженим (див. діаграму рис.2.8, в).

Подібна картина роботи випрямляча є дещо ідеалізованою, але в дійсності, за умови зростання кута α , особливо коли він перевищує 60° , струм в роторних обмотках двигунів середньої та великої потужності стає переривчастим, а в кривій випрямленої напруги виникають нульові проміжки. Такий режим роботи двигуна можливий у випадках приближених до його холостого ходу.

За умов зростання механічного навантаження, тобто зростання струму в роторі, нульові проміжки зникають і режим роботи в системі випрямляч-двигун буде наближатися до ідеального, тобто буде відповідати рис.2.8, Що буде особливо помітно зі зростанням потужності двигуна.

Варто вказати, що діапазон регулювання кута α для трифазної мостової схеми випрямляча складає третину періоду, а так як тривалість відкритого стану тиристора для вказаної схеми складає саме цю величину, в системах

автоматизованого електропривода величина кута α може змінюватись за програмою, яку задає контролер, або ж регулюватись вручну в залежності від обраного методу регулювання. В промислових зразках перетворювачів кут α змінюється за законом $(\pi - \alpha)$, що дає змогу плавно регулювати випрямлену напругу від нуля до потрібного рівня.

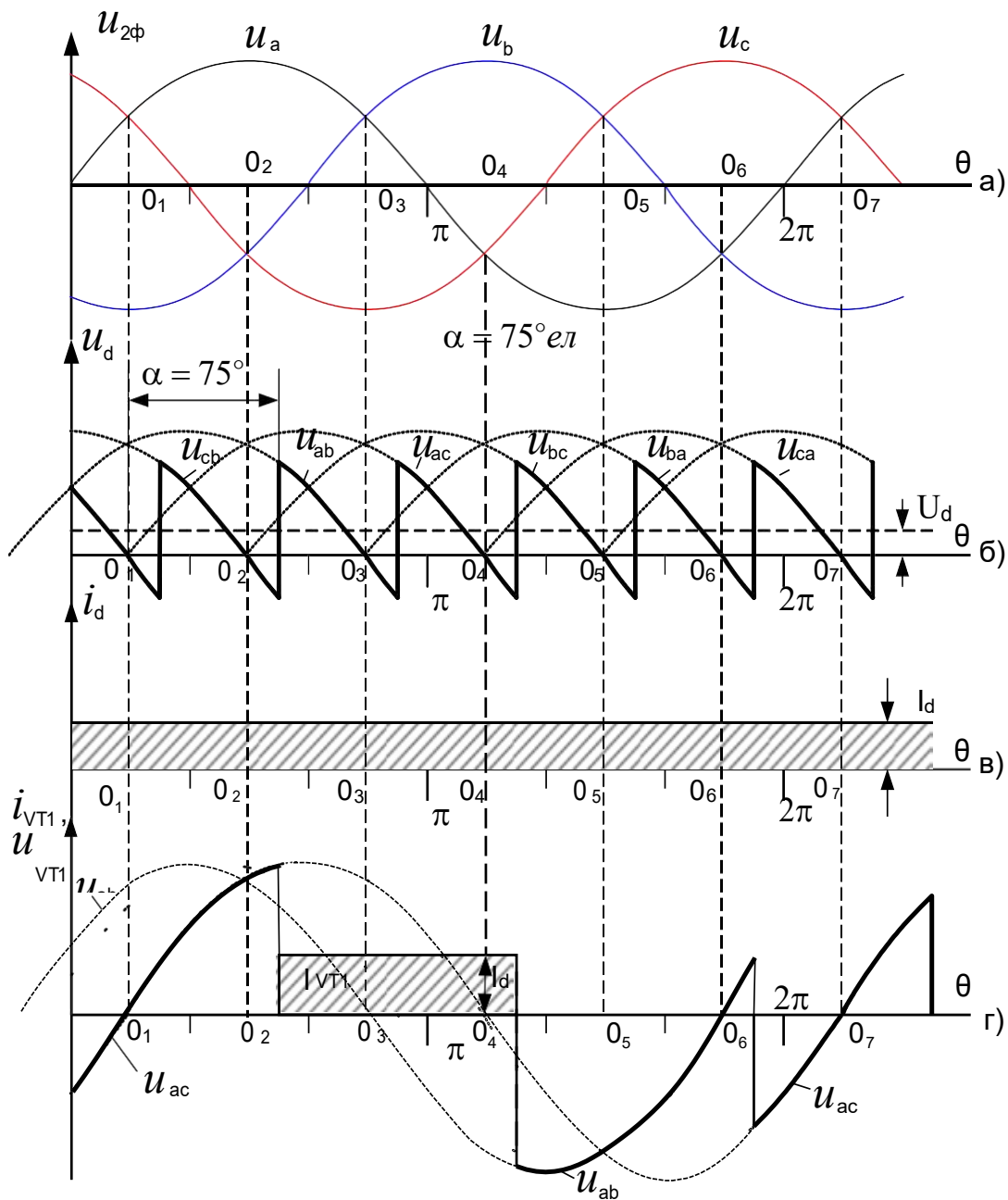


Рис.2.8. Часові діаграми роботи випрямляча на активно-індуктивне навантаження.

На рис.2.7 та рис.2.8 розташування керуючих імпульсів вказане кутом α , які відраховуються від точок природної комутації $0_1, 0_2, 0_3, 0_4, 0_5, 0_6$. В промислових перетворювачах вони створюються з двох коротких імпульсів, тривалість яких складає одну мілісекунду, передні фронти яких зсунуті на 60° , або на шосту частину періоду, що є інтервалом перемикання усіх тиристорів. Сутністю даного технічного рішення є те, що необхідно створити коло вмикання пари тиристорів, де один увімкнений в анодну групу (непарні номери тиристорів), а інший - в катодну (парні номери тиристорів).

Підсумовуючи сказане слід віднести наступні властивості до переваг трифазного мостового керованого випрямляча:

- Випрямляється не фазна, а лінійна напруга мережі живлення.
- Коефіцієнт передачі випрямляча становить 1,35 по відношенню до діючого значення лінійної напруги промислової мережі живлення.
- Крива випрямленої напруги містить шість пульсацій і в режимі активно-індуктивного навантаження залишається безперервною.
- Частота головної гармоніки випрямленої напруги в шість разів перевищує частоту мережі живлення, що дозволяє легко фільтрувати пульсації цієї напруги.
- За кутів вмикання менших 60° струм навантаження залишається безперервним і практично згладженим.
- Випрямляч рівномірно завантажує мережу
- Коефіцієнт корисної дії випрямляча перевищує 95% [8].
- За багатьма показниками автоматизований електропривод постійного струму має ряд незаперечних переваг і його застосування відповідає сучасним вимогам щодо техніко-економічних показників та надійності експлуатації дифузійного апарату.

2.3.1. Аналіз характеристик привода на базі змінного струму (структурна схема привода)

Заради дослідження можливостей приводу потрібно скористатися системами рівнянь (2.24) (2.25), що пов'язують входні і вихідні функції електротехнічної та механічної компонент. Для розрахунку моменту двигуна можна використовувати методику [6]. Схема заміщення фази двигуна при частотному управлінні зображена на рисунку 2.10.

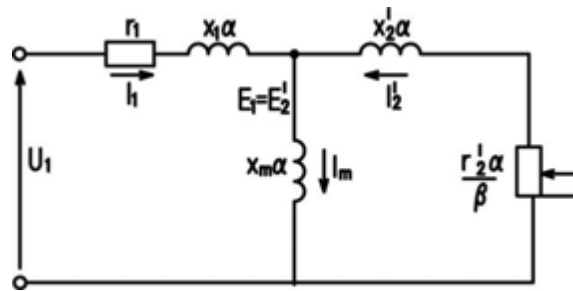


Рис. 2.10. Схема заміщення фази асинхронного двигуна при частотному управлінні

Відносна частота статора - відношення частоти струму статора до її номінального значення f_{1n} .

$$\alpha = f_1 / f_{1n}. \quad (2.25)$$

Характеристика абсолютного ковзання, або відносна частота ротора - відношення абсолютного ковзання $\Delta\omega$ до синхронної швидкості при номінальній частоті

$$\beta = \Delta\omega / \omega_{1H} = f_2 / f_{1H}. \quad (2.26)$$

Параметр β використовується замість скозання s та зв'язаний з (2.26) ним відношенням

$$s = \Delta\omega / \omega_1 = f_2 f_{1H} / f_1 f_{1H} = \beta / \alpha. \quad (2.27)$$

Коефіцієнт розсіювання відповідно для статора і ротора:

$$\tau_1 = \frac{x_1}{x_m}. \quad (2.28)$$

$$\tau_2 = \frac{x_2'}{x_m}. \quad (2.29)$$

Загальний коефіцієнт розсіювання:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_1 \tau_2 \quad (2.30)$$

Крім того, з метою спрощення формул введені наступні позначення:

$$b = r_1(1 + \tau_2), \quad (2.31)$$

$$c = x_m \tau, \quad (2.32)$$

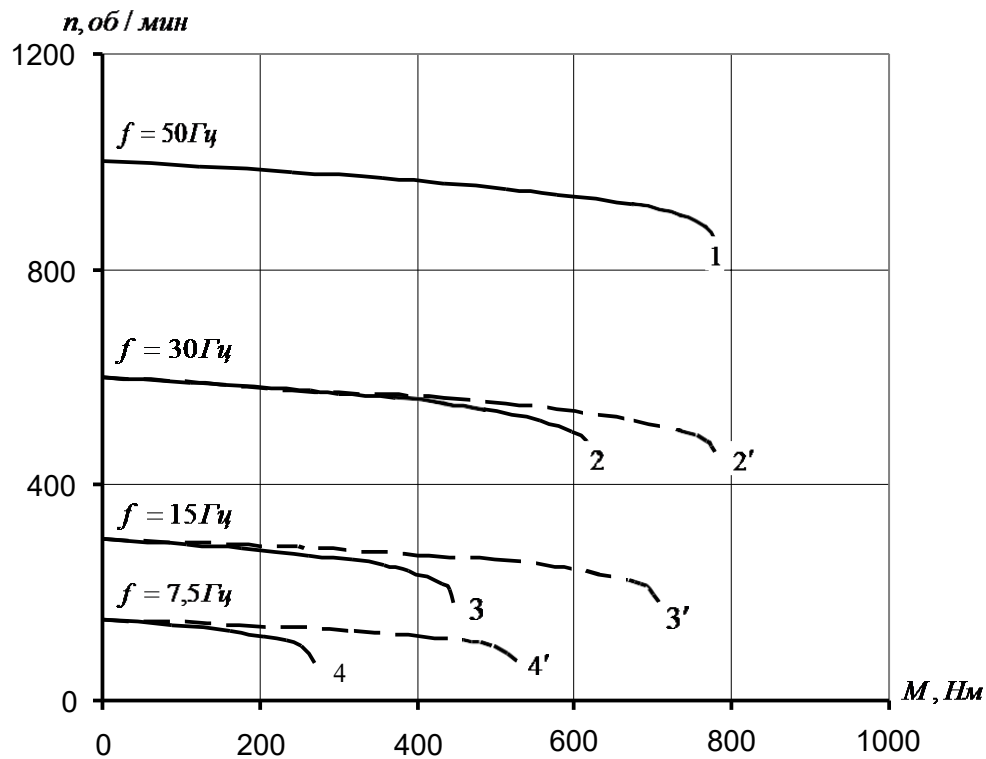
$$d = r_1 / x_m, \quad (2.33)$$

Електрична енергія ε_l зі значеннями U і f переходить в механічний обертовий рух, пояснюється моментом $M_{Дi}$ і кутовою частотою обертання $\omega_{Дi}$.

Опис залежність вихідних параметрів модулів ПЕВ_i від вхідних приводиться в системі рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} M_{дi} = \frac{m_1 U_1^2}{\omega_{1и}} \frac{(b^2 + c^2 \alpha^2) \beta^2}{+ 2r_1 r_2} \frac{r_2' \beta}{+ d + e} \left(\frac{c^2 \alpha^2}{r_2} \right)^{n_2} \\ \omega_{дi} \equiv f_i \end{array} \right\} i=1,2 \quad (2.34)$$

За допомогою використання виразів системи 2.24, зображені механічні характеристики двигуна, представлені на рисунку 2.11, а також тягові характеристики.



1, 2, 3, 4 - для закону регулювання $U/f = const$; 1', 2', 3', 4' - для закону регулювання, що забезпечує збільшення навантажувальної здатності двигуна

Рис. 2.11. Механічні характеристики двигуна при частотному регулюванні

Для розрахунку максимального моменту та реалізованої перевантажувальної здатності приводу (відношення максимального тягового зусилля до необхідного зусилля для даної швидкості подачі) застосуємо формулу:

$$M_{\max} = \frac{m_1 U_1^2}{2 \omega_{1н} r_1 \alpha \pm \sqrt{(b^2 + c^2 \alpha^2)(d^2 + e^2 \alpha^2)}}, \quad (2.35)$$

2.3.2 Діапазон швидкості

Стійкий момент приводу в якому два двигуни може обраховуватися за формулою:

$$M(\alpha) = \frac{M_k(\alpha)}{1 + 3V_c} \quad (2.36)$$

де $M_k(\alpha) = 2 \cdot \text{мкд}(\alpha)$ - критичний момент приводу з двома двигунами;

$\text{Мкд}(\alpha)$ - критичний момент одного електродвигуна;

$\alpha = f_1 / f_{1\text{ном}}$ - відносна частота напруги (струму) статора;

f_1 - частота напруги (струму) статора;

$f_{1\text{ном}} = 50$ Гц.

У виразі (2.37) пропонується формула для обрахунку значень критичного моменту асинхронного електродвигуна на будь-який необхідній штучній характеристиці:

$$M_{кд}(\alpha) = \frac{1}{2 \cdot \omega_{1\text{ном}}} \cdot \frac{m \cdot U_{1нф}^2 \cdot \gamma^2}{r_1 \alpha + \sqrt{(b^2 + c^2 \alpha^2)(d^2 + e^2 \alpha^2)}} \quad (2.37)$$

де $U_{1нф}$ - фактичне значення напруги обмотки двигуна при $f_{1\text{ном}} = 50$ Гц;

$m_1 = 3$ - число фаз статора;

$\omega_{1\text{ном}}$ - номінальне значення кутової частоти обертання;

$\gamma = U_1 / U_{1нф}$ - відносна напруга на статорі;

U_1 - напруга на статорі;

$\tau_1 = x_1 / x_0$ - коефіцієнт розсіювання статора;

$\tau_2 = x / 2 / x_0$ - коефіцієнт розсіювання ротора;

$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_1 \tau_2$ - загальний коефіцієнт розсіювання;

$b = r_1 (1 + \tau_2)$; $c = x_0 \tau$; $d = r_1 / x_0$; $e = (1 + \tau_1)$ - коефіцієнти, що залежать від параметрів схеми заміщення;

r_1, x_1 - активний і індуктивний опір статора;

$x / 2$ - наведене індуктивний опір ротора;

x_0 - реактивний опір контуру намагнічування.

Для електродвигуна ЕКВ4-30-6-02: $U_{1нф} = 548$ В, $\omega_{1ном} = 103$ с⁻¹, $r_1 = 1,09$ Ом, $x_1 = 2,35$ Ом, $r_2 = 0,724$ Ом, $x_2 = 2,50$ Ом, $x_0 = 53$ Ом.

В дифузійних апаратах у більшості випадків пропонується розімкнута система управління по закону частотного регулювання $U_1 / f_1 = \text{const}$ (або $\gamma = \alpha$) при регулюванні вниз від номінальної частоти ($\alpha < 1$), а при $\alpha > 1$ приймається закон регулювання $U_1 = \text{const}$. Ефективне використання складніших замкнутих систем управління (як скалярних, так і векторних) істотно ускладнюється. Така будова приводу обумовлена жорсткими вимогами по його габаритними розмірами, в першу чергу по висоті.

Навантаження та частота обертання двигунів у довільний момент часу можуть сильно відрізнятись між собою, що робить неефективним керування зі зворотним зв'язком по струму або частоті обертання одного з двигунів. Використання двох частотних перетворювачів в разі їх розміщення на штреку вимагає проведення окремого кабелю до кожного двигуна, що важко технічно реалізувати.

Для виведення залежності $M_{кд}(\alpha)$ зазначеного вище двухзонного керування в формулі 2.27 слід приймати $\gamma = \alpha$ при $\alpha < 1$ і $\gamma = 1$ при $\alpha > 1$, на

рис.2.12 виведені графіки залежностей $M_k(\alpha)$ і $M_y(\alpha)$ для параметрів приводу з двома електродвигунами.

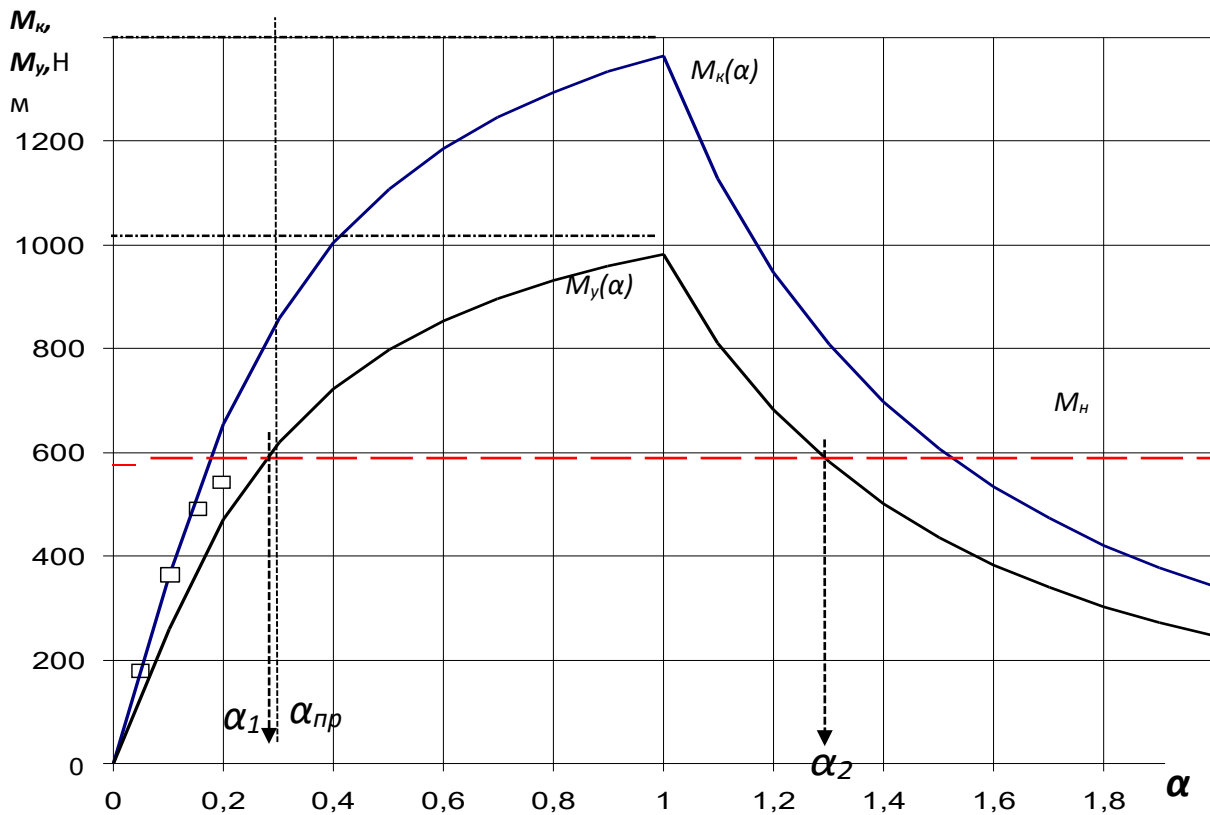


Рис. 2.12. Критичний і стійкий момент приводу механізму переміщення з двома електродвигунами ЕКВ4-30-6-02.

Значками на рис. 2.12 вказані точки, що були отримані при експериментальних дослідженнях приводу при стаціонарному навантаженні, вони цілком відповідають точкам кривої $M_k(\alpha)$, що підтверджує можливість використання виразу (2) для оцінювання критичного моменту електродвигунів.

На рис. 2.12 вказано значення номінального моменту M_n приводу з двома двигунами (пунктирна лінія), який, зазвичай, визначається з умови допустимого нагріву двигуна в тривалому режимі роботи при номінальній частоті живлення (тобто $\alpha = 1$). Попри це прийнято, що величина допустимого

по нагріванню моменту в розглянутому діапазоні регулювання не залежить від частоти живлення (або від α), для двигунів з незалежним збудженням при зменшенні номінальної частоти це припущення сумнівів не викликає. При збільшенні номінальної частоти для перевірки цього припущення доцільно проведення додаткових досліджень.

Точки перетинання кривої $M_u(\alpha)$ з лінією M_n встановлюють межі діапазону регулювання α_1 і α_2 , в яких стійкий момент приводу перевищує номінальний.

В нашому випадку $\alpha_1 = 0,28$, $\alpha_2 = 1,28$, отже номінальний момент двигуна може бути реалізований при частотах живлення від 14 до 64 Гц, отримані граничні значення α повинні відповідати мінімальній і максимальній робочій швидкості дифузійного механізму.

Отримані графіки вказують на те, що при законі регулювання $\gamma = \alpha$ зі зниженням частоти величина критичного моменту теж буде зменшуватися. Для підтримки моменту на постійному рівні необхідно в усьому діапазоні регулювання при малих частотах зменшувати напругу в меншій мірі, ніж знижується частота, у цьому випадку закон регулювання напруги буде мати вигляд [5].

У даного двигуна швидкість обертання змінюється в діапазоні 210 - 2100 об/хв, шнек повинен обертатися зі швидкістю 0,4-1,2 об/хв, тому для зменшення кількості обертів потрібно використовувати редуктор з передаточним числом 1:525.

2.4. Частотний перетворювач

Частотні перетворювачі електронного типу зазвичай застосовують для плавного регулювання швидкості асинхронного або синхронного двигуна за рахунок створення на виході перетворювача електричної напруги потрібної

частоти. Зазвичай регулювання частоти і напруги відбувається в відповідності до заданої характеристикою V / f , в сучасних перетворювачах реалізовано так зване векторне управління. Частотний асинхронний перетворювач частоти призначений для перетворення мережевого трифазного або однофазного змінного струму частотою 50 Гц в трифазний або однофазний струм, частотою від 1 Гц до 800 Гц.

Управління приводом виконує частотний перетворювач з широтно-імпульсним управлінням (ПП з ШІМ) по заданій формулі співвідношення напруга / частота, перетворювач забезпечує плавний пуск асинхронного двигуна і зменшує пускові струми в 4-5 разів. Частотний перетворювач сприяє економії по споживанню енергії до 50%, з'являється можливість вмикання зворотних зв'язків між суміжними приводами, тобто автоматичне налаштування обладнання під поставлені вимоги і зміна умов роботи всієї системи. За принципом роботи частотний перетворювач з ШІМ являє собою інвертор з подвійним перетворенням напруги, спочатку мережеве або 380 В випрямляється вхідним доданім мостом, потім згладжується і фільтрується за допомогою конденсаторів.

Структура и принцип роботи низьковольтного перетворювача частоти на IGBT транзисторах.

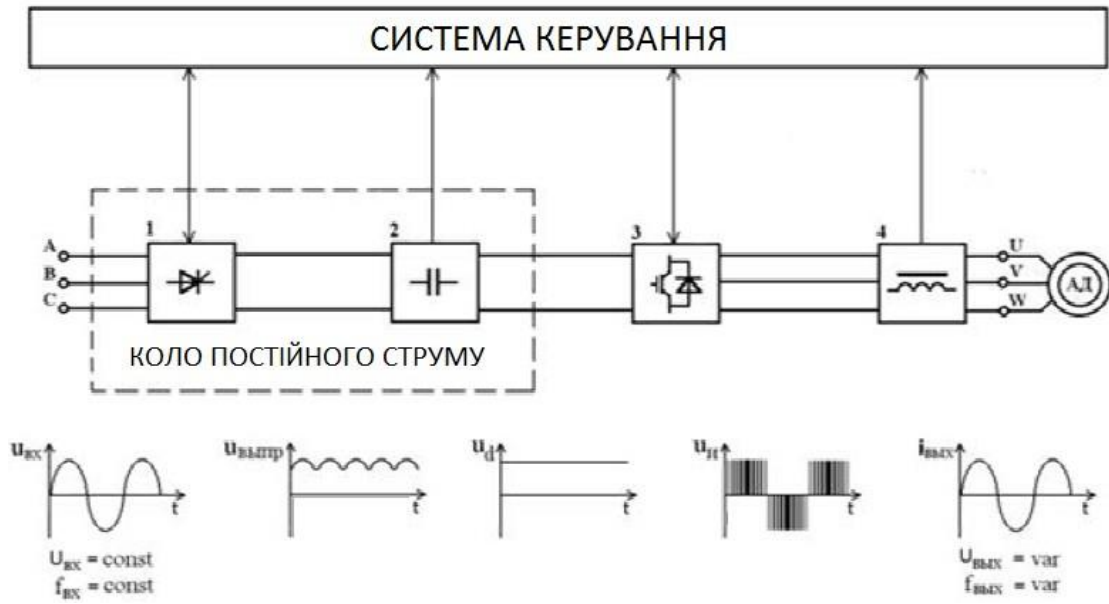


Рис. 2.13. Низьковольтний перетворювач частоти на IGBT транзисторах

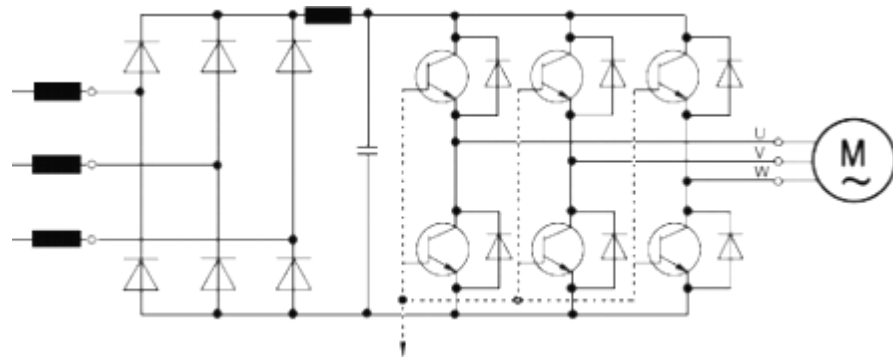
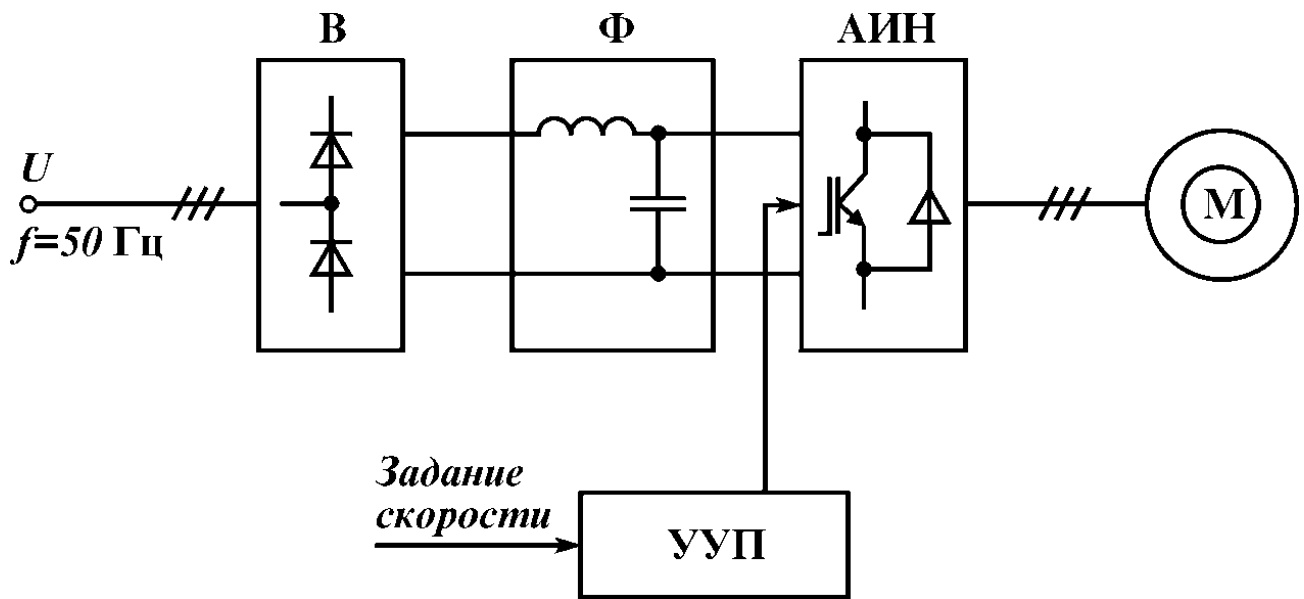
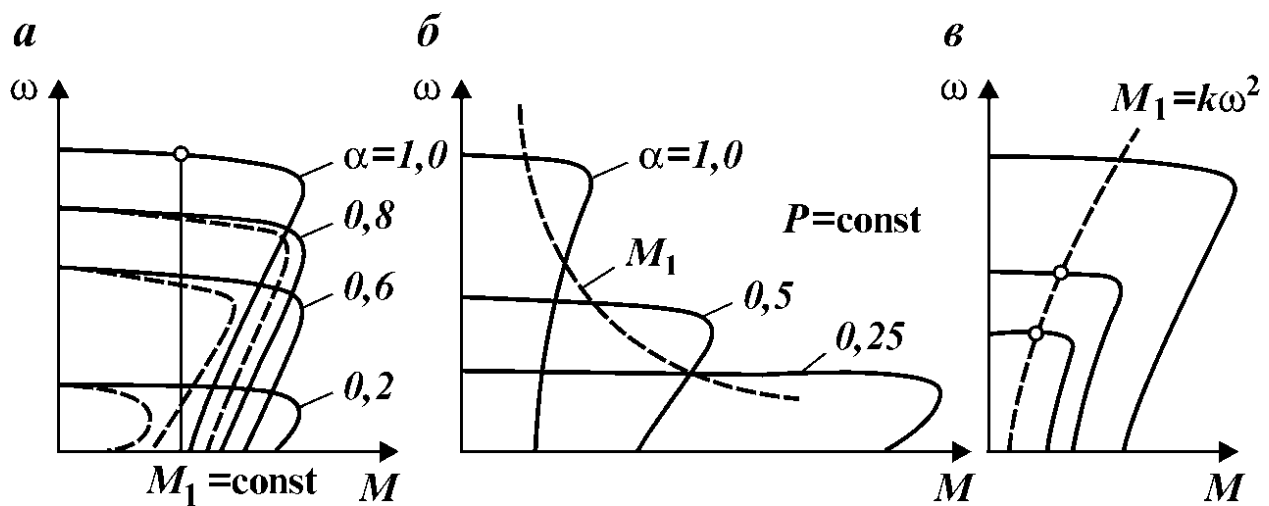


Рис. 2.14. Перетворювач частоти



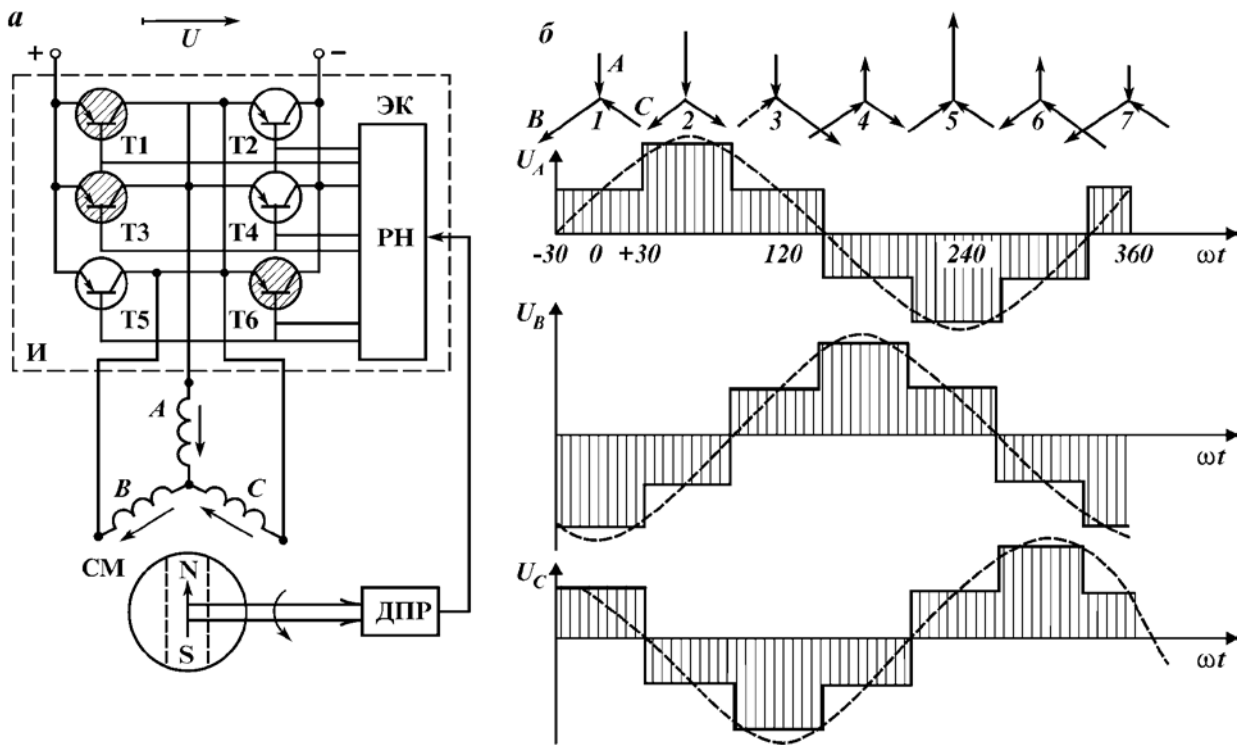
В — випрямляч; Ф — фільтр; АИН — автономний IGBT-інвертор напруги; УУП — прилад керування перетворювачем частоти; М — двигун.

Рис. 2.15. Перетворювач частоти



а - при постійному моменті; б - при постійній потужності; в - при вентиляторної навантаженні.

Рис. 2.16. Механічні характеристики приводу, керованого по системі перетворювач частоти – асинхронний двигун.



а - принципова схема; б - векторні діаграми напруг на затискачах обмотки статора і графіки фазних напруг.

Рис. 2.17. Частотно – регульований електропривод з вентильним двигуном.

Під час другого етапу з постійної напруги, за допомогою мікросхем управління і вихідних мостових ключів, створюється ШІМ послідовність певної частоти і шпаруватості. На виході частотного перетворювача утворюються пачки прямокутних імпульсів, але завдяки індуктивності обмоток статора асинхронного двигуна, вони інтегруються і перетворюються нарешті в напругу близьку до синусоїди. За типом управління, необхідно визначитися, що вибирати, скалярне або векторне управління. В більшості сучасних частотних перетворювачів реалізоване векторне управління, недоліком таких перетворювачів є те що вони дорожчі, ніж частотні перетворювачі зі скалярним керуванням.

У процесі використання векторного управління виникає можливість більш точного управління, знижуючи статичну помилку а скалярний режим

тільки підтримує постійне співвідношення між вихідною напругою та вихідною частотою, але допустимо, для вентиляторів цього цілком достатньо. Якщо потужності устаткування приблизно однакові, то можна вибирати перетворювачі однієї фірми за потужністю максимального навантаження. Так можна забезпечити взаємозамінність і спростити обслуговування обладнання. Ще варто звернути увагу на розташування сервісних центрів фірми, бажано, щоб сервіс центр обраного частотного перетворювача знаходився у вашому місті або не далеко від нього. Крім того важлива верхня межа регулювання частоти при використанні двигунів з високими номінальними робочими частотами, наприклад для шліфувальних машин це (1000 Гц і більше). Варто переконатися, що діапазон частот відповідає вашим потребам, нижня межа встановлює діапазон регулювання швидкості приводу, за стандарт приймається 1:10. У випадку необхідності більш широкого діапазону, слід вибирати тільки векторне управління, можна запросити параметри приводу у виробника. Проте навіть заявлена межа від 0 Гц, не може гарантувати стійку роботу приводу.

Дискретні входи необхідні для введення команд керування (пуск, стоп, реверс, гальмування і т.д.), аналогові входи потрібні для введення сигналів зворотного зв'язку. Цифрові входи забезпечують введення високочастотних сигналів від цифрових датчиків швидкості та положення. Кількості входів багато не буває, але від кількості входів залежить складність системи яку можна побудувати та її вартість. Дискретні виходи застосовуються для виведення сигналів про різні події (аварія, перегрів, вхідна напруга вище або нижче рівня, сигнал помилки і т.д.), аналогові ж виходи використовуються для конструювання складних систем із зворотними зв'язками. Необхідно вибирати потужність частотного перетворювача на 10-15% більшу ніж потужність двигуна. Струм перетворювача має бути більшим

номінального струму двигуна і небагато більшим струму можливих перевантажень.

Розглянемо принцип роботи частотного перетворювача. В основу роботи цього пристрою, закладено подвійна зміна форми сигналу електричної мережі.

В першу чергу промислова напруга подається на силовий випрямний блок з потужними діодами, що прибирають синусоїдальні гармоніки, але залишають пульсації сигналу. Для їхнього усунення використовується батарея конденсаторів з індуктивністю (LC-фільтр), що забезпечує стабільну, згладжену форму випрямленої напруги.

Далі сигнал подається на вхід перетворювача частоти, який являє собою трифазну схему з шести силових транзисторів типу IGBT або MOSFET з діодами захисту від пробивної напруги зворотної полярності. Тиристри що використовувалися для цих цілей раніше працювали з великими перешкодами та мали досить малу швидкодію .

Для вмикання режиму «гальмування» двигуна в схему можна встановити керований транзистор з потужним резистором, що буде розсіювати енергію. Подібний прийом дозволяє прибирати генеровану двигуном напругу та захистити конденсатори фільтра від перезарядки та виходу з ладу.

Метод векторного регулювання частотою перетворювача дозволяє будувати схеми, які будуть виконувати автоматичне регулювання сигналу системами САР. Для цього використовують систему керування:

- Амплітудна;
- ШІМ (широтного імпульсного моделювання).

Амплітудний метод регулювання побудований на принципі зміни вхідної напруги, а ШІМ на зміні алгоритму перемикаць силових транзисторів при незмінній напрузі входу.

При ШІМ регулюванні створюється період модуляції сигналу, при якому обмотка статора підключається по суворій послідовності до позитивних і негативних виходів випрямляча.

У зв'язку з тим що частота такту генератора досить висока і розташована в межах $2 \div 15$ кГц, то в обмотці електродвигуна, що має індуктивний опір, виконується їх згладжування до синусоїди нормальної форми [8].

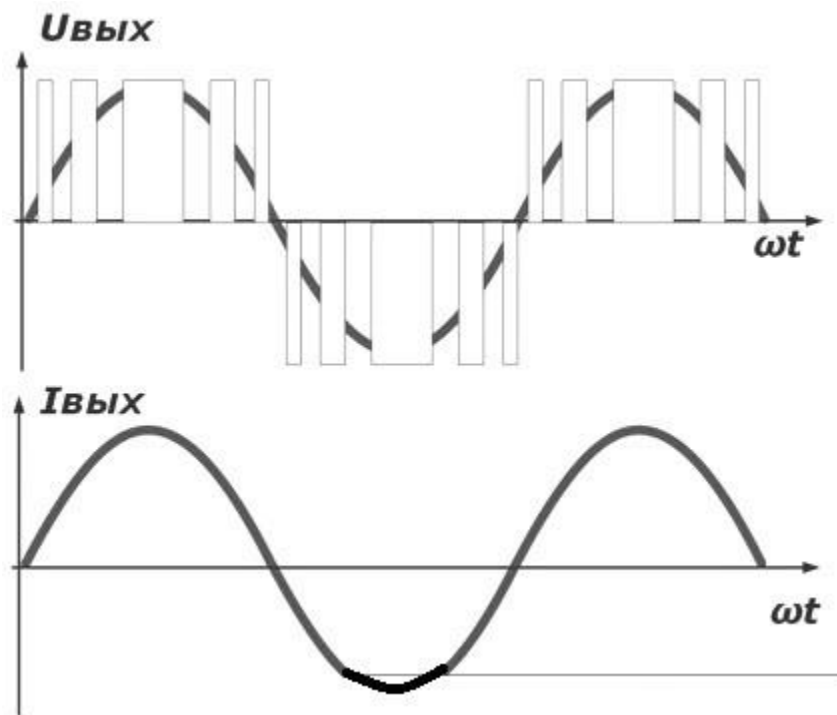


Рис. 2.18. Широтно – імпульсна модуляція

Методи ШІМ керування дають можливість максимально знизити втрати енергії і забезпечують високий ККД перетворення за рахунок одночасного управління частотою та амплітудою. Ці способи стали доступні завдяки розвитку технологій керування силовими замикаючими тиристорами серії GTO або біполярних марок транзисторів IGBT, які мають ізолюваний затвор.

Принципи їх підключення для керування трифазним двигуном вказані на зображенні.

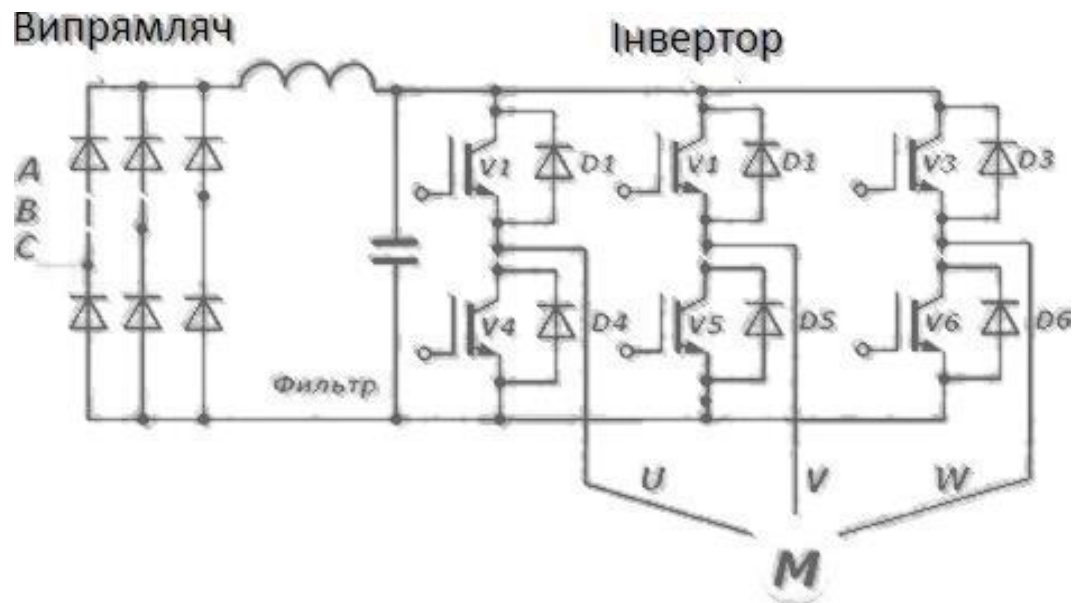


Рис. 2.19. Схема включення трифазного двигуна

Кожен із шести IGBT-транзисторів V1 - 6 підключається по зустрічно-паралельною схемою до свого діоду зворотного струму D1 – 6, при цьому через силовий ланцюг кожного транзистора проходить активний струм асинхронного двигуна, а його реактивна складова прямує через діоди.

Для усунення впливу зовнішніх електричних перешкод на роботу інвертора і двигуна в конструкцію схеми перетворювача частоти може вмикатися заводозахистний фільтр, що позбувається:

- радіоперешкод;
- електричних розрядів що утворюються працюючими електричними приладами .

Їхнє утворення сигналізує контролер, а для зменшення впливу можна використовувати екрановану проводку між двигуном і вихідними клемми інвертора.

З метою покращення точності роботи асинхронних двигунів в схему керування частотних перетворювачів включають:

- введення зв'язку з розширеними можливостями інтерфейсу;
- вбудований контролер;
- карту пам'яті;
- програмне забезпечення;
- інформаційний Led-дисплей, який відображає основні вихідні параметри;
- гальмовий переривник і вбудований ЕМС фільтр;
- систему охолодження схеми, засновану на обдуванні вентиляторами підвищеного ресурсу;
- функцію прогріву двигуна за допомогою постійного струму та деякі інші можливості.

Для роботи з однофазними або трифазними мережами створюються частотні перетворювачі. Але, якщо присутні промислові джерела постійного струму з напругою 220 вольт, то інвертори можна живити від них.

Схема підключення частотного перетворювача до двигуна може бути виконана за схемами:

- зірки;
- трикутника.

Вибираючи спосіб підключення електричного двигуна до перетворювача частоти треба звертати увагу на співвідношення потужностей, які може створити працюючий двигун на всіх режимах, включаючи повільний, навантажений запуск, з можливостями інвертора.

Виходячи з міркувань що були наведені вище, було прийнято рішення використати привод змінного струму як такий, що забезпечує потрібний режим роботи технологічного комплексу у більшості несприятливих умов експлуатації дифузійного апарату, та такий, що має найвищі цінові характеристики.

Найбільш шкідливим режимом використання дифузійного апарату похилого типу є періодичне виникнення так званих «розривів маси» в результаті чого виникають ущільнення сокостружкової маси всередині дифузійного апарату. Подібне ущільнення суттєво підвищує механічний опір бурякової стружки, що переміщується вздовж корпусу апарату, що в свою чергу призводить до збільшення механічного моменту на обох валах приводних двигунів, що в даній системі електропривода працюють за схемою «механічний вал» і електрично з'єднані між собою послідовно. Тобто, один, або обидва двигуни мають можливість зайти на критичну ділянку механічної характеристики та втратити працездатність.

Враховуючи можливість виникнення подібних ситуацій та з метою їх запобігання необхідно вибирати тип двигуна з жорсткою механічною характеристикою, що дає змогу на короткочасне значне перевантаження за споживаним струмом, отже здатний подолати аварійні перевантаження без необхідності зупинки виробництва. Усім цим вимогам відповідає двигун постійного струму з незалежним збудженням, однією з основних властивостей якого є жорстка механічна характеристика та стійкість до короткочасних перевантажень. Тобто в нашому випадку головним критерієм вибору типу автоматизованого електропривода є здатність приводного комплексу до перевантажень без значного підвищення потужності двигуна.

Висновок до розділу 2

Виходячи з вище сказаного, асинхронний двигун змінного струму легший по масі за двигун постійного струму в 2 рази, по діапазону

регулювання швидкості 1:7 двигун змінного струму влаштовує наші вимоги.

Двигуни постійного струму мають ширший діапазон регулювання 1:75, але нас влаштовує і діапазон регулювання двигуна змінного струму.

Цінова характеристика двигунів значно відрізняється один від одного: ціна двигуна змінного струму 20.000грн, а постійного 75.000грн, отже двигун змінного струму дешевший майже в чотири рази, об'єм двигуна змінного струму 68 см/куб, а двигуна постійного струму 108 см/куб, різниця майже в два рази. Частотний перетворювач має більші габарити та складніший у виконанні, ніж регулятор напруги у двигуні постійного струму.

В загальному, асинхронний двигун змінного струму має свої переваги та недоліки, по діапазону регулювання поступається двигуну постійного струму, але оскільки він відповідає усім нашим вимогам та має нищу ціну та більш надійний, ми вибираємо асинхронний двигун змінного струму, для регулювання його швидкості будемо використовувати регулятор частоти.

Таким чином для подальших розробок для приводу дифузійного апарату приймається частотно – регульований привід на базі частотного перетворювача та електродвигуна змінного струму з короткозамкнутим ротором.

Закон регулювання приймається – скалярний, $U1 / f1 = \text{const}$.

найважливіших завдань системи керування дифузійним апаратом, в тому числі і його приводом, який грає основну роль у технологічному процесі дифузії.

Для керування електроприводом застосовується різна апаратура за допомогою якої реалізується інформаційний канал електропривода, призначений для управління параметрами руху (обертання) робочого органу машини у відповідності до вимог технологічного процесу, сукупність апаратів управління та датчиків електричних, механічних та технологічних параметрів створюють інформаційно – керуючий пристрій електропривода.

Аналізуючи технічні та технологічні параметри обладнання, представленого на рис.3.1, можна відзначити, найбільш важливе обладнання яке впливає на технологічний процес : бункер для буряків, бурякорізки Т2М СЦ2Б-16, стрічковий конвеєр для бурякової стружки, дифузійний апарат ДС-8, збірник барометричної води, шнек для виведення жому, грабельний транспортер жому перед пресами, стрічкові транспортери видалення жому, збірник дифузійного соку.

Розрахування потужності встановленого обладнання в дифузійному відділенні відбувається визначення можливості його використання при паспортній продуктивності дифузійного апарату ДС-8 на основі нормативно-технологічних характеристик [3]:

1. Технічна норма продуктивності бункера перед бурякорізками (30 м³), яка визначається формулою:

$$A = 1,44 \cdot (V \cdot \varphi \frac{\rho}{\tau}) \quad (3.1)$$

де A - технічна норма продуктивності, тон/ доб .;

V - об'єм бункера, м³;

φ - коефіцієнт заповнення;

ρ - об'ємна маса буряків, кг / м³;

t - час перебування буряка в бункері згідно нормативу, хвилин.

Технічна норма продуктивності при нормативному часу перебування буряка 15 хвилин складе:

$$A = 1,44 \cdot (30 \cdot 0,9 \frac{600}{1800}) = 1555 \text{ т. бур} / \text{д}$$

Час перебування буряка в бункері при продуктивності = 1800 т бур./доб.:

$$\tau = 1,44 \cdot (40 \cdot 0,9 \frac{600}{1800}) = 13 \text{ хв.},$$

а при = 2200 т бур./доб.:

$$\tau = 1,44 \cdot (30 \cdot 0,9 \frac{600}{2200}) = 10 \text{ мин.}$$

2. Продуктивність бурякорізок, визначається співвідношенням:

$$A = 0,001296 \cdot n \cdot u \cdot \rho \cdot K_k \frac{K_e}{(S \cdot L)}, \quad (3.2)$$

де A - продуктивність бурякорізок, т / добу .;

n - кількість ножів в бурякорізках, шт;

u - швидкість різання, м / с;

ρ - об'ємна маса буряків, кг / м³;

K_k, K_e - відповідно конструктивний і експлуатаційний коефіцієнти;

S - крок ножа, м;

L - довжина стружки, м в 100 м

При використанні безреберних ножів продуктивність 16-ти рамної бурякорізки з кроком 8,25 мм при отриманні бурякової стружки довжиною 7-

10 м. в 100 м, швидкості різання - 6 м / с, при наявній резервної бурякорізками складає:

- при довжині бурякової стружки 7 м в 100 г:

$$A = 0,001296 \cdot 32 \cdot 6 \cdot 600 \cdot 0,9 \cdot \frac{0,9}{(0,00825 \cdot 7)} = 2094 \text{ м. бур. / д},$$

- при довжині бурякової стружки 10 м в 100 м

$$A = 0,001296 \cdot 32 \cdot 6 \cdot 600 \cdot 0,9 \cdot \frac{0,9}{(0,00825 \cdot 10)} = 1465 \text{ м. бур. / д},$$

3. Продуктивність стрічкового конвеєра бурякової стружки обчислюється як:

$$A = 86,4 \cdot M \cdot u \cdot K_e, \quad (3.3)$$

де A - продуктивність стрічкового конвеєра, т св. / добу;

M - погонна навантаження, кг / м;

u - швидкість стрічки, м / с;

K_e - експлуатаційний коефіцієнт.

Погонна навантаження визначається наступним виразом:

$$M = K_1 \cdot K_2 \cdot B^2 \cdot \frac{\gamma}{3600}, \quad (3.4)$$

де K_1 , K_2 - коефіцієнти, що враховують форму і кут нахилу стрічки відповідно;

B - ширина стрічки, м;

γ - насипна щільність св. стружки, кг / м³.

Підставивши значення (3.4) в (3.5), отримаємо:

$$A = 86,4 \cdot \left[150 \cdot 0,9 \cdot 1^2 \cdot \frac{500}{3600} \right] \cdot 2,0 \cdot 1,0 = 3240 \text{ т.св./д},$$

4. Продуктивність шнека для видалення жому після дифузійного апарату ДС-8 (D = 900 мм, L = 4500 мм) визначається наступним чином:

$$A = 3,6 \cdot F_m \cdot L_1 \cdot \varphi \cdot \gamma \cdot K \cdot t \cdot n,$$

(3.5)

де A - продуктивність шнека, т жому / год;

$F_m = \pi D^2 / 4$ - площа перетину шнека, м²;

L_1 - довжина-1м;

φ - коефіцієнт заповнення;

γ - об'ємна маса жому, кг / м³;

K - коефіцієнт, що враховує кут шнека;

t - крок шнека, м;

n - частота обертів шнека,

Продуктивність при частоті обертів шнека - 0,33 с-1 складе:

$$A = 3,6 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,9}{4} \cdot 1,0 \cdot 0,5 \cdot 600 \cdot 0,6 \cdot 0,6 \cdot 0,33 = 81,6 \text{ жому/час}$$

що відповідає продуктивності по буряках, при виході будинку до 80% до маси буряка, ~ 2448 т. бур. /доб.

5. Продуктивність грабельного транспортера жому перед пресами ГН-2 визначається за формулою:

$$A = 86,4 \cdot M \cdot u \cdot \left(\frac{100}{a} \right)^e \cdot K \text{ т.бур/доб} \quad (3.6)$$

де M - маса будинку на 1 м довжини, кг / м;

u - швидкість руху ланцюга, м / с;
 a - кількість жому, % до маси буряка;
 Ke - експлуатаційний коефіцієнт.

Маса жому на одному метрі довжини обчислюється так:

$$M = B \cdot h_{жс} \cdot L_1 \cdot \gamma \cdot K, \quad (3.7)$$

де B - ширина жолоба, м;

$h_{жс}$ - висота жолоба, м;

L_1 - довжина 1м;

γ - об'ємна маса жому, кг / м³;

K - коефіцієнт, що враховує кут нахилу конвеєра.

Продуктивність грабельного транспортера при швидкості ланцюга 0,8 м / з (рекомендовано не більше 0,8 м / с) складе:

$$A = 86,4 \cdot (0,42 \cdot 0,24 \cdot 1,0 \cdot 600 \cdot 0,5 \cdot 100) \cdot 1,0 = 2612 \text{ т.}$$

7. Збірник дифузійного соку ($B = 2500$ мм, $H = 4500$ мм).

Обсяг збірника визначається так:

$$V = \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} \right) \cdot H \quad (3.8)$$

та складе:

$$V = 1,44 \cdot \left(\frac{3,14 \cdot 2,5^2}{4} \right) \cdot 4,5 = 22,1 \text{ м}^3.$$

Аналізуючи отримані результати розрахунків в дифузійному відділенні ми можемо зробити наступні висновки:

1. В силу малої ефективності роботи станції доочистки буряків і мийного відділення на бурякорізки надходив погано відмитий буряк отже, в дифузійний апарат попадала бурякова стружка сірого кольору (брудна), в результаті чого, в дифузійний апарат вносилося додаткове джерело мікробіологічного зараження, що, як наслідок, призводить до збільшення неврахованих втрат цукру на дифузії, зниження якості дифузійного соку, тобто зниження ефекту очищення, і, отже, збільшення втрат цукру і меляси.

2. Якість отриманої стружки з відцентрової бурякорізки можна класифікувати однозначно. При довжині бурякової стружки - 7,9 ... 10,9 м в 100 г середній вміст браку складає ~ 10,9; 4,2 - 3,8%.

При нормативі в 3% браку, бурякову стружку довжиною 9,2 - 10,9 м в 100 г можна класифікувати, як задовільну (шлюб склав 3,8 - 4,2%).

Отже до причин незадовільної якості стружки, із середнім вмістом шлюбу ~ 10,9%, можна віднести

- Високу забрудненість буряків;
- Порушення технологічного режиму експлуатації різкий, а саме, не оптимальність швидкості різання;
- Незадовільну заточку дифузійних ножів.

3. Використання дифузійного апарату проходила при низькому коефіцієнті використання його потужності.

В середньому фактична продуктивність екстрактора по буряках становить тисячу чотириста вісімдесят-дев'ять тон на добу (тобто 74,5% від номінальної) при високому шлюбі бурякової стружки (більш ніж в два рази від нормативу) і відкачування дифузійного соку ~ 129, 0% до маси буряка (нормативна ~ 120% до м. бур.).

У випадку такої експлуатації дифузійного апарату дуже важко підтримувати рівномірне питоме наповнення в апараті, а отже, і протито - течійний рух взаємодіючих фаз, що призводить до збільшення тривалості процесу екстрагування.

За цих умов, збільшення тривалості екстрагування буде призводити до збільшення неврахованих втрат цукру під час дифузії, зниження ефекту очищення на дифузю, попадання в сік додаткових твердих домішок та нецукрів, ускладнень по дефекосатурації, та особливо для фільтрації, збільшення витрат вапна і збільшенню цукру в мелясі.

До усього вище сказаного можна додати що, підвищене відкачування спричиняє наднормативну витрату палива (10% наднормативне відкачування - збільшення витрати палива ~ на 0,39% у.п. до маси буряка).

4. Високий вміст рН живильної води на дифузю 6,8 ... 7,0 замість 5,5 ... 5,8 - це фактор, який пропорційно з тривалістю і температурою сильно впливає на якість дифузійного соку, при цьому в декілька разів збільшується перехід в сік пектинових речовин.

Використання живильної води подібної якості призводить до ефекту так званого «розварювання» стружки, погіршуючи її транспортування та дренажні здібності.

5. Низька якість бурякової стружки, живильної води та тривале перебування потоку стружки зумовлює високий вміст пульпи в дифузійному соці, яке становить в середньому 10 г / л, при нормі 1 г / л, це впливає на ефективність роботи пульпоуловлювачів дифузійного соку, і як в свою чергу, впливають на якість дифузійного соку, що надходить на виробництво.

Варто зазначити, що при збільшенні пульпи в дифузійному соку до 10 г / л збільшується вміст цукру в мелясі на 0,56% і зумовлює збільшення витрат вапна на 0,1% до маси буряка.

6. Ефективність роботи пресів GH-2 в кількості 3 штук можна розглядати тільки як роботу пресів для попереднього віджиму, так як сухі речовини пресованого жому становили 9-11%, для комутації силових електричних кіл, пристроїв блокувань та захисту використовуються зазвичай контактні електричні апарати. З метою виконання логічних функцій управління, оптимізації параметрів руху електропривода значно частіше стали використовуватися засоби обчислювальної техніки, наприклад мікропроцесорні пристрої та системи, програмовані контролери та промислові комп'ютери.

Електромеханічні апарати керування електроприводами відрізняються за функціями, величинами комутуючого струму та напруги. За виконавчими функціями їх поділяють на:

- апарати захисту: автоматичні вимикачі, реле максимального та мінімального струму, плавкі запобіжники, теплові реле;
- комутаційна апаратура, призначена для оперативного перемикання електричних кіл. Головними типами цих апаратів є контактори та магнітні пускачі;
- реле управління: проміжні реле, реле часу, струму та напруги;
- апарати оперативного керування: кнопки, перемикачі, командо контролери;

Автоматичні вимикачі (автомати) призначені для комутації електричних ліній і приймачів електричної енергії та їх захисту від струмів короткого замикання та струмів перевантажень, відключення автоматів відбувається під дією розмикачів: максимальних, теплових та незалежних. Захист від струмів короткого замикання виконується розмикачами електромагнітного типу, налаштованими на максимально допустимий струм короткого замикання, теплові розмикачі забезпечують захист від струмів перевантаження. На даний

момент використовуються автоматичні вимикачі серій АК-63, АЕ-1000, АЕ-2000, АЗ100, АЗ700, ВА та їх закордонні аналоги.

Автоматичні вимикачі підбираються за номінальним струмом, типом розмикачів та їх струмом спрацювання, для силових електричних апаратів прийнято ряд номінальних значень струмів: 10, 16, 25, 40, 63, 100, 160, 250, 400, 630, 1000А та більше.

Електромагнітні контактори використовуються для оперативного дистанційного вимкнення та розмикання силових електричних кіл та схем. Контактори розрізняють за типом струму (постійний та змінний), числом головних контактів (одно та двополюсні постійного струму, триполюсні змінного струму); за напругою живлення котушки керування; числом блок-контактів та інших параметрами. Так як контактори комутують великі за величиною струми в колах, що містять індуктивність, вони комплектуються іскрогасниками, які встановлюються на силових контактах.

В промисловості використовуються контактори постійного струму одно- та двополюсні серій КП та КПД на струми від 25 до 250 А, а також контактори постійного струму однополюсні для частого вмикання серій КПВ600, КПВ620 на струми від 100 до 630А, контактори змінного струму серій КТ6000, КТ7000, КТП600 випускаються на струми від 63 до 1000А та мають від двох до п'яти(частіше три) головних (силових) контактів.

Контактори серії МК на струми до 160А можуть використовуватися в колах постійного та змінного струмів .

Магнітні пускачі є спеціалізованими контакторами, які призначені для керування асинхронними двигунами з коротко замкнутим ротором, до складу пускача входять: комутуючий пристрій що являє собою контактор, який може бути реверсивним, або нереверсивним (реверсивний пускач містить два

контактори), теплові реле захисту, сигнальну арматуру, а також кнопку групу «пуск» та «стоп».

Промислові зразки магнітних пускачів поділяють на такі типи реверсивні та неревверсивні, за рівнем номінального струму на шість габаритів (10, 25, 40, 63, 100, 160А), а також наявність теплових реле та інших вмонтованих елементів, на даний час промисловістю виготовляються магнітні пускачі серій ПМЛ, ПАЕ, ПА, ПМЕ та інші.

Вказана інформація не є повною, але вона досить зрозуміла що дає можливість розібратися та зрозуміти принципи побудови та використання апаратів та пристроїв в схемах керування автоматизованими електроприводами.

Що до електромагнітних реле, то вони також бувають різних типів, в системах управління автоматизованим електроприводом дифузійного апарату застосовуються проміжні реле типу РНП, які вмикаються в коло змінного струму, а також електромагнітні реле – геркони типу КЭМ-1, які використовуються в якості реле струму в колах захисту обмоток збудження приводних двигунів[12].

3.2 Формування алгоритму функціонування системи керування

Для того щоб краще зрозуміти технологічний та алгоритм його спрацювання наведено блок-схему алгоритму увімкнення технологічних пристроїв на рис 3.2.

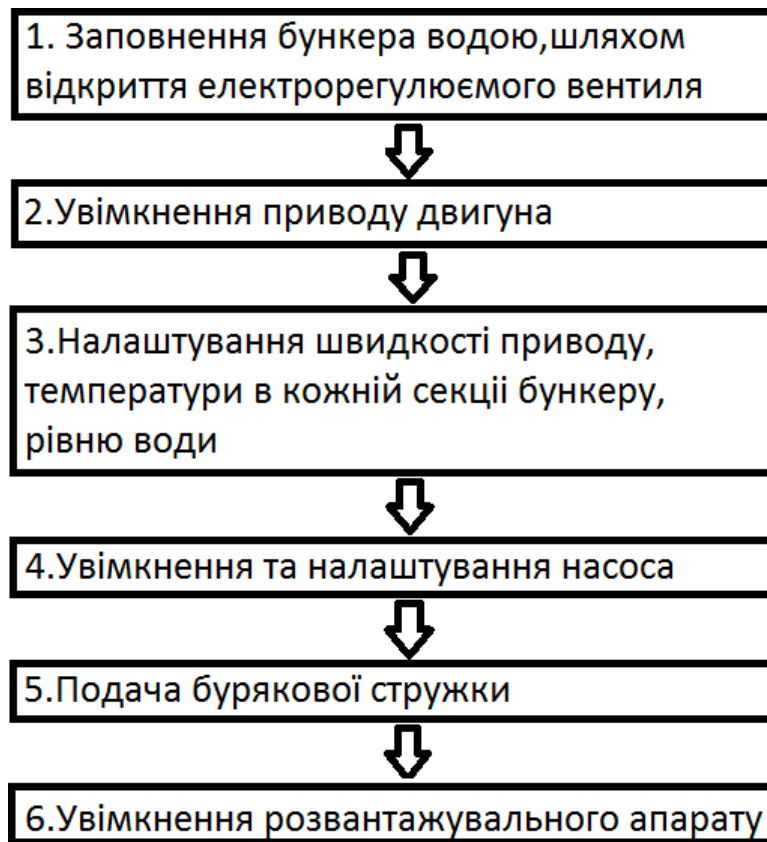


Рис 3.2. Блок-схема алгоритму послідовності увімкнення технологічних пристроїв

Алгоритм керування дифузійної установкою дає можливість:

- стабілізувати витрату стружки при автоматичному управлінні бурякорізко і контролі рівнів в бункері;
- оптимізувати процес екстракції (вимивання водою соку з рослинних клітин бурякової стружки);
- ефективно управляти гідродинамічним і температурним режимом дифузійної установки;
- раціонально проводити підготовку живильної води[13].

Для видалення цукру з буряка дифузійним способом буряк необхідно подрібнити та надати вигляду стружки, заповнивши бункер 1 водою та увімкнувши привод шнекових валів 4, 5 (рис.3.4), одночасно відрегулювавши потрібну кількість обертів шнека за показниками давача швидкості 15, в

діапазоні 0.4-1.2 об/хв, бурякову стружку з бурякорізки подають до дифузійного апарату за допомогою стрічкового транспортера 22. Його зовнішній вигляд продемонстрований на рис.3.3.

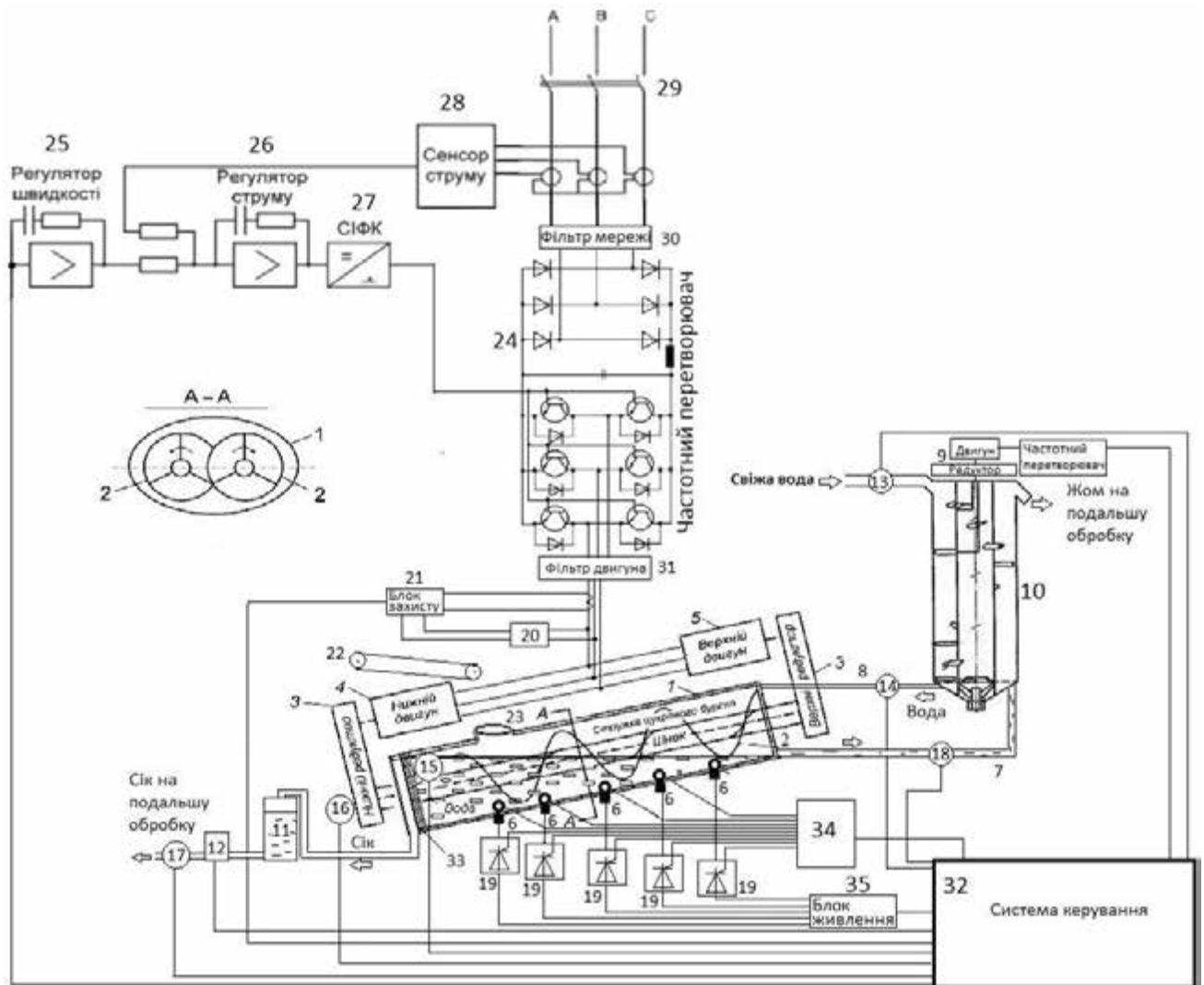


Рис.3.3. Зовнішній вигляд стрічкового транспортера на виробництві

При швидкості руху стрічки в 3-4 м/сек транспортер з шириною стрічки 0,5 м може подавати до 9 тис кг стружки на добу, вся стружка, що надходить автоматично зважується на порційних вагах. Процес отримання бурякової стружки з плоду здійснюється на бурякорізках за допомогою ножів, встановлених в спеціальних кріпленнях ,продуктивність дифузійної установки і вміст цукру у знецукреній стружці в дуже сильно залежить від якості стружки . Зазвичай прийнято що товщина нормальної стружки становить (0.5-1) мм, і вона повинна бути гладкою та без пошкоджень .

Отже при потраплянні в дифузійний апарат стружка розпочинає омиватися проточною підігрітою приблизно до 60⁰С водою, яка подається за допомогою водопровідного каналу з електричним вентилям 13 для можливості регулювання подачі води у розвантажувальний апарат 10, та з нього через

канал 8 потрапляє у дифузійний апарат, у цьому каналі розташований давач, який вимірює кількість води що надходить. Максимальний вихід цукрового соку із стружки починається при температурі води 60⁰С—80⁰С, саме при такій температурі відбувається руйнування клітин в буряку та вивільнення з них цукрового соку.



1 – корпус дифузійного апарату, 2 – зубчасте колесо, 3 – редуктор, 4 – нижній двигун, 5 – верхній двигун, 6 – ТЕН та давачі температури, 7 – трубопровід жому, 8 – трубопровід води, 9 – редуктор, двигун, частотний перетворювач розвантажувального апарату, 10 – розвантажувальний апарат, 11 – соковідбірна камера, 12 – насос, 13 – вентиль з електроприводом, 14 – витратомір води, 15 – вимірювач рівня, 16 – давач швидкості, 17 – вимірювач кількості соку, 18 – насос жому, 19 – регулятор напруги, 20 – сенсор напруги,

21 – блок захисту, 22 – транспортувальна лінія, 23 – завантажувальний бункер, 24 – частотний перетворювач, 25 – регулятор швидкості, 26 – регулятор струму, 27 – СІФК, 28 – сенсор струму, 29 – вимикач напруги, 30 – фільтр мережі, 31 – фільтр двигуна, 32 – блок керування, 33 – фільтруюче сито, 34 – блок температурного контролю, 35 – блок живлення ТЕН.

Рис.3.4. Функціональна схема обладнання та системи керування

Проточна вода вимиває даний сік та тече далі через фільтруючі сита 33 по каналу у соковідбірну камеру 11, з якої вона потім відкачується насосом 12, де її кількість фіксується вимірювачем 17, та поступає далі на подальшу обробку. В середині апарату відбувається вимірювання рівня води давачем 15, рівень має відповідати нормам, за яких вода має перевищувати кількість стружки у 1,2 рази.

Температура суміші підтримується за допомогою термічно-нагрівальних елементів (ТЕН) 6, над якими в середині апарату встановлені давачі температури. Кожен ТЕН підтримує окрему температуру згідно з технологічного процесу: 56⁰С, 72⁰С, 74⁰С, 72⁰ і 60⁰С відповідно для кожної із секцій дифузійного апарату, регулювання температури для кожного ТЕНу виконується шляхом зміни напруги регуляторами 19.

У механізованих дифузійних апаратах що працюють безперервно бурякова стружка і дифузійний сік знаходяться в безперервному противоточному русі. Одною із найважливіших вимог до дифузійних апаратів - є жорстке дотримання принципу протитоку соку і стружки при їхньому рівномірному заповненні всього апарату, стружка не має перемішуватися в ході процесу, а лише рухатися на верх апарату. Процес повного проходження стружкою усієї довжини апарату триває 70 – 80хв, для отримання дифузійного соку високої якості ,в апараті вивантаження жому по звуженому каналу 7 відбувається при температурі 60⁰С. Наступним етапом жом підіймається догори по розвантажувальному апараті, де через нього також протікає вода та вимиває залишені в ньому рештки цукрози після дифузійного апарату. Потім

проходить вивантаження жому, в процесі якого він просувається на подальшу переробку, тобто пресування. Втрати цукру в процесі дифузії не повинні перевищувати встановлених норм, а втрати тепла мають бути зменшені до мінімуму.

Дещо жорсткіший температурний режим в апаратах безперервної дії призвів до застосування більш грубої стружки і необхідності пригнічення мікробіологічних процесів. Для регулювання температури використовують воду для екстракції стружки з $t \approx 70^{\circ}\text{C}$ і рН 6,2-6,5, підвищення мікробіологічних процесів викликало за собою невраховані втрати цукру та корозію металів.

У випадку дотримання оптимального технологічного режиму, в основному температури, коли діяльність мікроорганізмів пригнічена, невраховані втрати не перевищують 0,13% до маси буряка, коли режим порушений, або поступає буряк низької якості з великим вмістом шлаку, зараженого бактеріями, грибами; життєдіяльність мікроорганізмів інтенсифікується і невизначена, то втрати сахарози зростають до 0,5% і більше, що негативно позначається не тільки на роботі дифузійної установки, а й на роботі всього заводу, так як кожна з 0,1% неврахованих втрат сахарози призводить до зниження виходу цукру на (0,2-0,25)% від загальної маси буряка.

Через те що в головній і хвостовій частинах апарату частіше буває температура 60°C і нижче, то для пригнічення мікрофлори в точку, розташовану на $1/4$ активної довжини дифузійного апарату, від місця подавання свіжої води, через кожні дві години вводять 40%-ий розчин формаліну (10л на 100 т буряка).

Для досягнення тривалішої дії антисептика та для зменшення його витрат, цю дозу формаліну можливо розділити на декілька частин та вводити їх одночасно і швидко в різні точки дифузійного апарату.

В кінцевому результаті дифузії сахарози виходить: 98% дифузійного соку, солей кальцію на 80%, солей натрію на 60%, білкових речовин на 30%, вийшовши з дифузійного апарату свіжий жом пресують до вмісту сухих речовин в 22%, що дає можливість повертати воду на дифузію.

Після дифузійної установки жом поступає на двоступеневу систему пресування, після першого ступеня похилих пресів СВ = 12%, жом направляється до другої ступені пресування де СВ = 22%. У результаті другого ступеня пресування жом направляється у відділення висушування в барабанних жомосушілках до СВ = 87%.

Дифузійний сік, позбувшись від стружки на ротаційних пульпоуловлювачах типу ПР-25/30, рухається на вапняно-вуглекислотне очищення.

3.3 Розроблення системи керування автоматизованого електроприводу з та розрахунок основних параметрів приводного двигуна

Система призначена для управління і контролю достовірності роботи приводу похилого дифузійного апарату, привод дифузійного апарату складається з двох асинхронних електродвигунів з частотними перетворювачами, які призначені для керування його оборотами. Система управління виконує команди, які були поставлені оператором за допомогою використання комп'ютера, або інших технічних пристроїв. Система управління має такі завдання:

- Керування електроприводом дифузійного апарату.
- Контроль основних параметрів електроприводів: стан роботи, коди помилок і ін.
- Автоматичне виявлення зупинки одного, чи другого приводу.
- Вимірювання витрат води, виробленої продукції.
- Вимірювання виробітку продукції.
- Контроль і запобігання аварійних ситуацій.

- Контроль економічності.
- Аварійне вимикання приводу дифузії при виникненні небезпеки.
- Налаштування системи внутрішніх блокувань, з можливістю тимчасового відключення.
- Зв'язок з системою управління верхнього рівня (порізочними цехами).

Для налаштування системи, а також контролю і відображення стану в реальному часі та історичних даних використовується сенсорна графічна панель, до функцій якої входить:

- Візуалізація вимірюваних і розрахункових параметрів.
- Ведення історії по вимірюваним та розрахунковим параметрам з можливістю перегляду в вигляді тимчасових графіків.
- Ведення історії та візуалізація аварійних ситуацій.
- Повний доступ до налаштувань системи з захистом від несанкціонованого доступу.

Стандартне використання двох двигунів, вали яких з'єднані механічно, спричиняє ряд проблем як в електричній, так і в механічній частинах приводу, оскільки шнекових валів два, то і вихідних валів редукторів також повинно бути два. Але попри це вхідний вал редуктора спільний і до нього через ремінну передачу приєднується електричний двигун, тобто редуктор розділений на дві ідентичні частини з одним первинним валом. Виходить, що обертання обох частин редуктора має бути абсолютно синхронним та рівномірним з іншого боку, приводні двигуни також повинні працювати з однаковими механічними моментами.

В процесі практичних випробувань електропривода визначається напруга на обох двигунах і в разі її значного розходження відбувається налаштування пари двигунів на спільну роботу з метою виправлення перекосу механічного навантаження на обох валах дифузії. На такому ж принципі

влаштована система захисту приводу від механічних перевантажень, у разі значного збільшення різниці напруг між двигунами, спрацьовує система диференційного захисту, яка відмикає тиристорний перетворювач від мережі живлення та зупиняє дифузю. За встановленим нормативом, безпечно використання дифузійного апарату можливе, якщо ця різниця напруг не перевищує 25 В. Правильно налаштований електропривод може мати і нульову різницю, як правило, попередньо здійснюється підбір пари двигунів з метою найбільшого співпадання їхніх електромеханічних характеристик[15].

Система управління електроприводом дифузійного апарату є складним електричним та електронним комплексом головною метою якого є забезпечення роботи електроприводу в режимах, що найбільше підходять до вимог технологічного процесу.

Для керування електроприводами використовується різна апаратура за допомогою якої реалізується інформаційний канал електропривода, призначений для керування параметрами руху (обертання) робочого органу машини у відповідності до вимог технологічного процесу, сукупність апаратів керування та датчиків електричних, механічних і технологічних параметрів утворюють інформаційно – керуючий пристрій електропривода.

Електромеханічні апарати керування електроприводами розрізняються за функціями, величиною комутуючого струму та напруги.

За виконавчими функціями розрізняють

- апарати захисту: автоматичні вимикачі, реле максимального та мінімального струму, плавкі запобіжники, теплові реле;
- комутаційна апаратура, призначена для оперативного перемикавання електричних кіл. Головними типами цих апаратів є контактори та магнітні пускачі;
- реле управління: проміжні реле, реле часу, струму та напруги;
- апарати оперативного керування: кнопки, перемикачі, команди

контролери;

Автоматичні вимикачі (автомати) призначені для комутації електричних ліній і приймачів електричної енергії та їх захисту від струмів короткого замикання та струмів перевантажень, відключення автоматів відбувається під дією розмикачів: максимальних, теплових та незалежних. Захист від струмів короткого замикання виконується розмикачами електромагнітного типу, налаштованими на максимально допустимий струм короткого замикання, теплові розмикачі забезпечують захист від струмів перевантаження. На даний момент використовуються автоматичні вимикачі серій АК-63, АЕ-1000, АЕ-2000, АЗ100, АЗ700, ВА та їх закордонні аналоги.

Автоматичні вимикачі підбираються за номінальним струмом, типом розмикачів та їх струмом спрацювання, для силових електричних апаратів прийнято ряд номінальних значень струмів: 10, 16, 25, 40, 63, 100, 160, 250, 400, 630, 1000А та більше.

Електромагнітні контактори використовуються для оперативного дистанційного вимкнення та розмикання силових електричних кіл та схем. Контактори розрізняють за типом струму (постійний та змінний), числом головних контактів (одно та двополюсні постійного струму, триполюсні змінного струму); за напругою живлення котушки керування; числом блок-контактів та інших параметрами. Так як контактори комутують великі за величиною струми в колах, що містять індуктивність, вони комплектуються іскрогасниками, які встановлюються на силових контактах.

В промисловості використовуються контактори постійного струму одно- та двополюсні серій КП та КПД на струми від 25 до 250 А, а також контактори постійного струму однополюсні для частого вмикання серій КПВ600, КПВ620

на струми від 100 до 630А, контактори змінного струму серій КТ6000, КТ7000, КТП600 випускаються на струми від 63 до 1000А та мають від двох до п'яти(частіше три) головних (силових) контактів.

Контактори серії МК на струми до 160А можуть використовуватися в колах постійного та змінного струмів .

Магнітні пускачі є спеціалізованими контакторами, які призначені для керування асинхронними двигунами з коротко замкнутим ротором, до складу пускача входять: комутуючий пристрій що являє собою контактор, який може бути реверсивним, або нереверсивним (реверсивний пускач містить два контактори), теплові реле захисту, сигнальну арматуру, а також кнопку групу «пуск» та «стоп».

Промислові зразки магнітних пускачів поділяють на такі типи реверсивні та нереверсивні, за рівнем номінального струму на шість габаритів (10, 25, 40, 63, 100, 160А), а також наявність теплових реле та інших вмонтованих елементів, на даний час промисловістю виготовляються магнітні пускачі серій ПМЛ, ПАЕ, ПА, ПМЕ та інші.

Вибір комутуючих апаратів відбувається за розрахованим струмом, який споживають приводні двигуни з урахуванням втрат в установленому обладнанні, двигун змінного струму потужністю 45 кВт, з номінальною напругою 380 В, та ккд., рівним 0,87, споживає струм, середнє значення якого дорівнює:

$$I_d = \frac{P}{U \cdot \text{ККД}} = 418 \text{ А} . \quad (3.9)$$

Підставимо значення:

$$I_d = \frac{90000}{380 \cdot 0,87} = 418 \text{ А}$$

Діюче значення струму на його вході, з урахуванням характеру навантаження, розраховується за відомим виразом (3.2)

$$I_{2\phi} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \cdot \int_0^{\frac{2\pi}{3}} I_d^2 d\theta} = \sqrt{\frac{2}{3}} I_d \quad (3.10)$$

де $I_{2\phi}$ – фазний струм вторинної обмотки мережного трансформатора.

Підставимо значення:

$$I_{2\phi} = \sqrt{\frac{2}{3}} I_d = 0,816 \cdot 418 = 341 \text{ А}$$

З отриманих значень $I_{2\phi}$ можна розрахувати перетин жил кабелів живлення та обрати потрібний нам тип комутуючих апаратів, наприклад, для живлення перетворювача необхідний чотирижильний алюмінієвий кабель з перетином фазних жил 240 мм^2 [13].

Підключення силової лінії живлення, використання автомата силового захисту, підключення джерела силового живлення до клем живлення перетворювача завжди потрібно виконувати через автомат силового захисту (рекомендується з електромагнітним розчіплювачем):

- Струм спрацьовування автомата силового захисту слід вибирати в півтора-два рази більше споживаного частотним перетворювачем струму.
- Швидкодія автомата силового захисту потрібно вибирати виходячи з переважувальної здатності частотного перетворювача.
- Якщо автомат силового захисту призначений для використання з кількома частотними перетворювачами або спільно з іншим обладнанням, то послідовність підключення має бути такою, щоб при появі сигналу помилки на виході частотного перетворювача, напруга живлення відключалася.

Встановлення захисту на шині заземлення. У зв'язку з присутністю на виході частотного перетворювача високочастотних комутацій (вихідна ШІМ), перетворювач створює високочастотні струми витоків, в загальному випадку, кожен частотний перетворювач генерує струм витоків величиною близько 100 мА (при силовому кабелі довжиною 1 м) і ще приблизно 5 мА, на кожен наступний метр довжини кабелю.

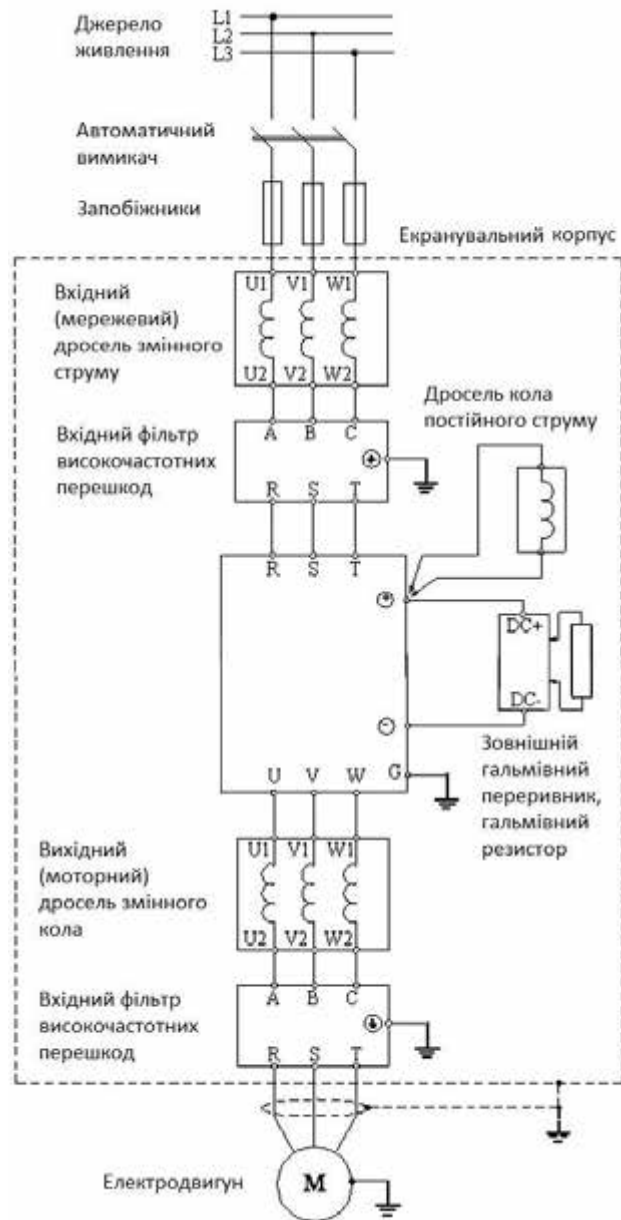


Рис.3.5. Схема підключення двигуна до частотного перетворювача

Підключення двигуна до частотного перетворювача серії СТА-С3.СS потужністю 45 кВт потрібно здійснювати відповідно до приведеної схеми підключення (рис.3.5).

Тому, в місці підключення силових ланцюгів до перетворювача, встановлюється спеціальний захисний переривник, що визначає струм витоку на частотах, що є небезпечними для персоналу станції, та не реагує на високочастотні струми витоку.

В якості спеціального захисного переривника застосовуйте переривник з чутливістю, щонайменше, 10 мА на кожен частотний перетворювач, при застосуванні захисних переривників загального призначення, використовуйте для кожного частотного перетворювача захисні переривники чутливістю 200 мА або більше, з швидкодією не менше 0,1 сек.

Застосування магнітного контактора. У випадку, коли живлення силового ланцюга має відключатися відповідно до вказаної послідовності роботи, замість автомата силового захисту можливе використання магнітного контактора. Для примусової зупинки механізму з боку живлення встановлений магнітний контактор, рекуперативне гальмування неможливо і механізм зупиняється за інерцією, механізм можна запустити та зупинити за допомогою включення і виключення контактора на стороні живлення, проте часті перемикання магнітного контактора можуть бути причиною поломки частотного перетворювача.

Мережевий дросель ланцюга змінного струму використовується для зменшення гармонік (гармонійних складових струмів і напруг) з боку мережі живлення, прибирає до мінімуму додаткові тепловиділення, які виникають при роботі перетворювача, та ймовірність виникнення різних збоїв в роботі приладів, які є наслідками нестабільності мережі живлення, рекомендується встановлювати, коли потужність мережі живлення на порядок перевищує

потужність частотного перетворювача або при наявності в мережі живлення перешкод від пристроїв що мають більшу потужність.

Застосування гальмівного резистора і гальмівного переривника. При гальмуванні двигун передає енергію назад - в частотний перетворювач (працює в генераторному режимі) в результаті чого напруга на шині постійного струму підвищується, частотний перетворювач намагається зменшити напругу, збільшуючи вихідну частоту, в процесі зменшуючи ковзання двигуна, інтенсивність гальмування в даному випадку залежить від втрат потужності в перетворювачі та двигуні. Частотний перетворювач можливо зупиняти з потужністю близько 20% від номінальної за рахунок власних втрат двигуна і перетворювача, цього у більшості випадків достатньо для невеликих неінерційних навантажень, або там, де кінетична енергія мала чи час гальмування не критичний. У випадку коли необхідно виконати швидке гальмування, потрібно застосовувати гальмівний переривник і гальмівний резистор.

Все вище розроблене було покладено в основу розробки системи контролю за процесами в бурякопереробному відділенні, яка наведена в наступному пункті даного розділу роботи.

3.5. Система автоматизації бурякопереробного відділення з дифузійними установками

Обладнання, охоплене системою автоматизації

- 4 бурякорізки (1 Putch і 3 на TE-4)
- 4 конвеєрних ваги СВЕДА
- 2 дифузійних апарати ДС-12
- 4 преси глибокого віджиму (в т.ч. 2 Babbini)
- схема підготовки живильної води (в т.ч. збірник і дозатор сірчаної кислоти)
- схема підготовки жомопресової води
 - 3 пульповловлювачі дифузійного соку та жомопресової води

Основні складові системи

- операторські приміщення з 4 щитами й комп'ютером оператора
- SCADA-сервер (в кабінеті начальника КВП), забезпечує підключення оператора, начальника виробництва, головного технолога, директора
- щити управління «Дифузія №1», «Дифузія №2», «Водопідготовка» зі станціями управління СУИМ 0/20-05 на кожному контурі аналогового регулювання
- щит перетворювачів ЕП та пульти управління бурякорізки на ТЕ-4
- датчики: ваги СВЕДА, витратоміри АВВ, рН-метри Honeywell, перетворювачі напруги (Е-857) й струму (Е-856), датчики тиску Arlisens різного виконання
- виконавчі механізми: затвори Omal, частотні перетворювачі АВВ і LG, дозатор сірчаної кислоти

Рис.3.6. Мнемосхема процесів цеху на пульта керування оператора

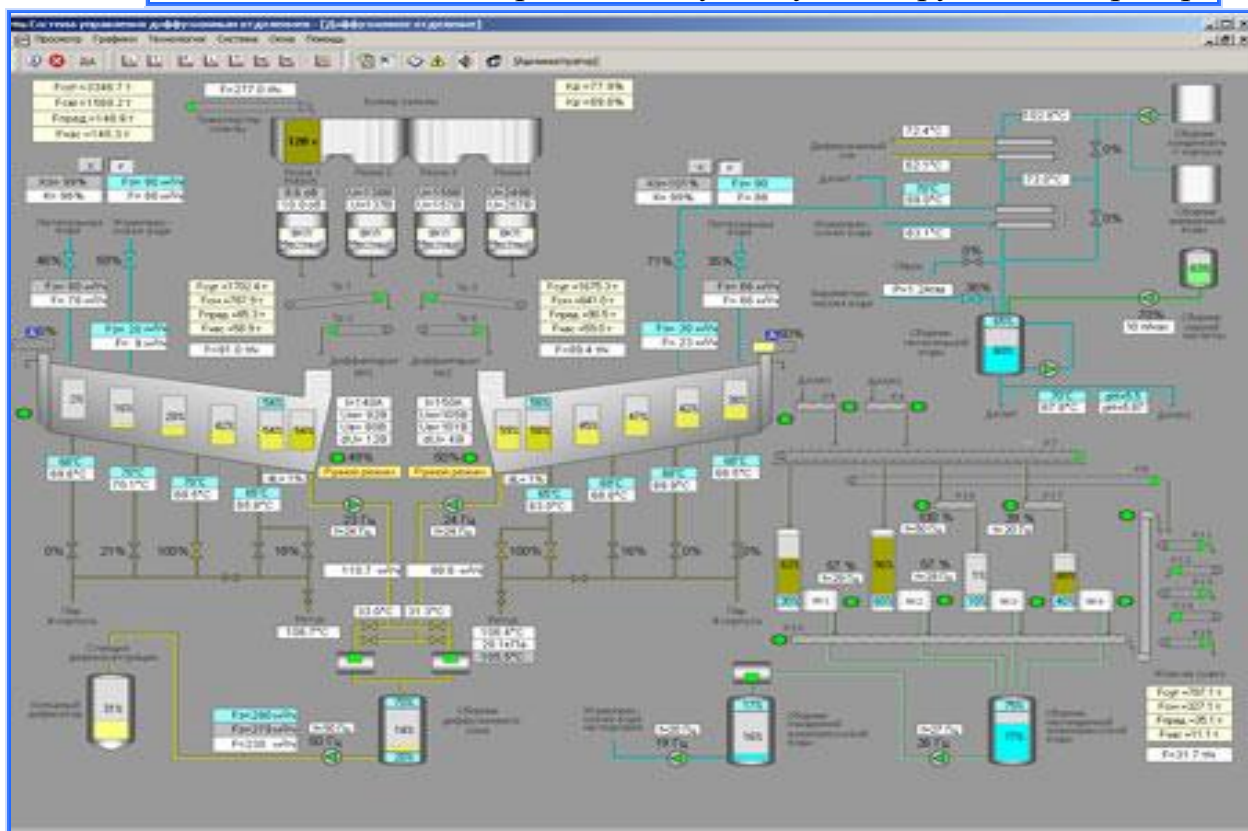




Рис.3.7. Шафи розміщення електрообладнання і керуючих процесорів технологічними процесами в бурякопереробному цеху.

В основі системи - 2 контроллери TSX Premium виробництва фірми Schneider Electric. Програми для контролерів виконані в Unity 3.0. Контроллери об'єднані мережею ModbusTCP через Ethernet.

Основні функції системи:

- стабілізація потоку стружки в дифузійні апарати шляхом автоматичного управління виробництвом бурякорізок
- регулювання температури по зонах дифузійних апаратів
- регулювання рівню перед ситом і в зоні вивантаження дифузійних апаратів
- регулювання витрати жомопресової та живильної води
- контроль витрати і згладжування потоку дифузійного соку на виробництво
- дистанційне управління оборотами шнеків дифузійних апаратів - оператор мишкою з мнемосхеми SCADA

- управління схемою підготовки живильної води: регулювання рН, температури, рівнів в збірниках
- управління схемою підготовки жомопресової води: регулювання температури, рівнів в збірниках
- управління системою жомових пресів з ціллю забезпечення оптимальних параметрів віджиму

Особливості системи:

- конвеєрні ваги СВЕДА (4шт.) підключені до системи через Modbus/RS485, що дає змогу відображати й вести історію витрат буряків, стружки та віджатого жому, використовуючи безпосередньо функції ваг - поточні, накоплені значення передаються, відображаються й реєструються без похибок і відповідають показам ваг
- бурякорізки управляються через нові пульти управління, на яких для оператора різок відображаються витрати стружки й буряків
- в систему інтегрована барабанна бурякорізка Putch на частотному перетворювачі ACS-800 фірми АВВ
- преси глибокого віджиму ВАВВІНІ управляються зміною частоти обертання шнеків (частотні перетворювачі ACS-800 фірми АВВ) по рівням в шахтах (датчики Aplisens)
- рН живильної води регулюється подачею сірчаної кислоти (мембранний насос-дозатор кислоти ALLDOS Primus 222-150D)
- рівні в збірниках живильної, жомопресової води и дифузійного соку регулюються обертами насосів (частотні перетворювачі серії SV фірми LG)

Загальний вид цеху з дифузійною установкою:



Висновок до розділу 3

Система автоматизованого керування електроприводом похилого дифузійного апарату є складним технічним комплексом, введення в використання якого вимагає залучення кваліфікованого персоналу та певних матеріальних затрат

Вибраний тип електропривода є ефективним як з точки зору експлуатаційної надійності, так і за техніко-економічними показниками.

Основу привода складають два двигуни змінного струму.

ВИСНОВКИ

В магістерській роботі було досліджено електрообладнання цукрового заводу. Зокрема проведено дослідження дифузійного апарату та його прилеглих агрегатів та визначені його будова та характеристики. В роботі проаналізовано технологічні та технічні характеристики приводу дифузійного апарату.

Зазначено що переважна більшість дифузійних апаратів оснащена приводами на основі електродвигунів постійного струму, які поряд з гарними характеристиками мають ряд суттєвих недоліків в частині надійності їх роботи та вимог до експлуатації.

В зв'язку з цим виникла ідея проаналізувати можливості використання частотно – регульованих електродвигунів змінного струму які в значній мірі позбавлені вище вказаних недоліків.

Вирішено завдання оптимізації автоматизованого електроприводу шляхом заміни двигуна постійного струму на двигун змінного струму. Було вказано якими методами можливо регулювати швидкість двигунів тим самим регулюючи швидкість дифузійного апарату за допомогою частотного перетворювача.

В роботі проаналізований різні закони регулювання що забезпечують необхідні механічні характеристики з урахуванням характеристик дифузійного апарату та обрано необхідний закон регулювання

- скалярний, $U1 / f1 = \text{const}$.

- В роботі проаналізовано технологічний процес роботи дифузійного апарату та сформульовані технічні вимоги до системи керування. На цій базі побудовано алгоритм функціонування системи керування. У роботі були наведені схеми керування швидкостями цих приводів та методи їх підключення..

Таким чином виконана робота дозволяє суттєво підвищити надійність та

ефективність роботи одного з базових процесів цукрового виробництва та зменшити затрати на обслуговування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Трегуб В.Г. Проектування систем автоматизації: Навч. посібник. – К.: Видавництво Ліра-К, 2017. – 344 с.
2. Дітковський І. П., Козаневич З. Я. Регулювання процесу попереднього очищення дифузійного соку у виробництві цукру (АКІТ-2017): матеріали Четвертої Мінародної науковопрактичної конференції молодих учених, аспірантів і студентів (19-20 квітня 2017р., м.Київ) / І.П.Дітковський, З. Я. Козаневич // - К.:НТУУ «КПІ», 2017р. – 204 с.
3. Технологія цукру = Sugar technology : підручник : в 3 т. Т. 2 : Очищення дифузійного соку / А. А. Ліпец, В. М. Логвін, К. Д. Скорик та ін. ; за ред. В. М. Логвіна, А. І. Українця ; Національний університет харчових технологій. – Київ : Експрес-об'ява, 2015. – 272 с.
4. Ляшенко С. О., Фесенко А. М., Ляшенко О. С., Юрченко В. В. Впровадження АСУТП цукрового виробництва в Україні: екологічні аспекти. Інженерія природокористування. 2018. № 2(10). С. 49-58.
5. John Howard Payne. Published by Elsevier Science Ltd, 1982 – 218 p.
6. Nishikawa, Y., N. Sanomiya, T. Ohta, and H. Tanaka A method for auto-tuning of PID control parameters / Y. Nishikawa, N. Sanomiya, T. Ohta, H. Tanaka // Automatica. – 1984. – Vol. 20. – N3. – P. 321-332.
7. Ладанюк А.П. Основи системного аналізу. Навчальний посібник. – Вінниця, Нова книга, 2004. – 176 с.
8. Aström, K. J. Automatic tuning of simple regulators with specifications on phase and amplitude margins / K. J. Aström, T. Hagglund // Automatica. – 1984. – Vol.20. – N3. – P. 645- 651.
9. Микитишин А.Г., Митник М.М., Стухляк П.Д. Телекомунікаційні системи та мережі
10. : навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно- інтегровані технології» – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017 – 384 с.

- 11 В.Ю.Кучерук, В.О.Поджаренко, П.І.Кулаков Програмування логічних контролерів Schneider Electric. Навчальний посібник. – В.: ВДТУ, 2001. - 134 с.
- 12 Галкін П.В., Ключник І.І. Програмування ПЛК в CODESYS: навчальний посібник/ Галкін П. В., Ключник І. І.- Харків: ФОП Панов А.М. - 2019. - 92 с.
- 13 Методика вибору електричного двигуна - офіційний сайт «Studfile» URL:<https://studfile.net/preview-/7812240/page:2/>
- 14 Мартиненко Н.С Введення в технології продуктів харчування 2004 – 96 с.
- 15 Особливості діяльності цукрових заводів - офіційний сайт «Sophus» http://sophus.at.ua/publ/2014_04_17_18_kampodilsk/sekcija_2_2014_04_17_18/osoblivosti_obliku_zapasiv_na_cukrovikh_zavodakh/52-1-0-887
- 16 Перспективи розвитку бурякоцукрового виробництва - Офіційний сайт «economy.-nayka.com.ua» URL: - <http://www.economy.-nayka.com.ua/?op=1&z=791>
- 17 Центрифуга ФПН, ФПІ для поділу утфелів на виробництві цукру - офіційний сайт «Iren» URL:- <https://iren.sumy.ua/centrifuga-fpn-fpi-dlya-podilu-utfeliv-na-virobnictvi-cukru/>Порівняння варіантів і вибір економічно доцільної схеми мережі - офіційний сайт «Studfile» URL: - <https://studfile.net/-preview/3910654/page:6/>
- 18 Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи / За редакцією М.Г.Поповича та О.Ю.Лозинського / Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом „Електромеханіка”. –К.: Либідь, 2005. -680 с
- 19.Сивко В.Й. Організаційні та правові основи охорони праці.- Навч. посібник 2003 . – 140 с.

- 20.Римар В.В. Актуальність автоматизації дифузійного апарату цукрового заводу/. Сучасні тенденції розвитку техніки та технологій в агропромисловому виробництві : зб. матер. Всеукр. наук.-практ.конф. (27 жовтня 2016 року, м. Ніжин) / За наук. ред. В. С. Лукача[та ін.]. — Ніжин,2016. — 310 с.
- 21.Червінський Л.С. Електротехнічні системи електроспоживання. /Червінський Л.С., Чміль А.І., Сторожук Л.О. і др./ частина 1. Навч посібник .-Київ. 2018.- 670с.
22. Червінський Л.С. Моделювання регульованого електропривода/ Голодний І.М., Червінський Л.С., Жильцов А.В. і др./ Підручник: –К. ФОП Ямчинський О.В., 2019 –266

