

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Бакалаврська дипломна робота на тему:

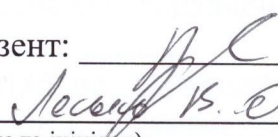
«ГОЛОВНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД ЦЕНТРИФУГИ ПЕРШОГО ПРОДУКТУ
ЦУКРОВОГО ЗАВОДУ»

Виконав: студент 4 курсу, гр. ЕМ-22мс
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка)
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Вадим СТЕФАНИШИН 
(ім'я ПРІЗВИЩЕ, підпис)

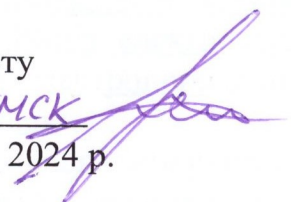
Керівник: к.т.н., ст. викл. кафедри КЕМСК
Андрій КОВАЛЬ
(ім'я ПРІЗВИЩЕ, підпис)

«28» 05 2024 р.

Рецензент: 
Леся В. О.
(прізвище та ініціали)

«10» 06 2024 р.

Допущено до захисту

Зав. кафедри КЕМСК 
«28» 05 2024 р.

Вінниця ВНТУ – 2024 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет Електроенергетики та електромеханіки
Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань 14 – Електрична інженерія
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітньо-професійна програма «Електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувачкафедри

к.т.н., доц.

Микола МОШНОРИЗ

“11” 03 2024 року

**З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Стефанишину Вадиму Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Головний електропривод центрифуги першого продукту цукрового заводу

Керівник роботи Коваль Андрій Миколайович, к.т.н., ст. викл каф. КЕМСК

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “11” 03 2024 року № 80

2. Термін подання студентом роботи _____

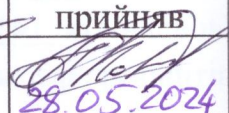
3. Вихідні дані до роботи: механізм – центрифуга першого продукту ФПН-1251, час роботи центрифуги 140 с, фактична тривалість включення – 100 %, максимальна маса обертових частин центрифуги 2960 кг, діапазон керування частоти обертання 0 – 1300 об/хв

4. Зміст текстової частини: Вступ. 1. Загальна характеристика технологічних процесів та обладнання об'єкту дослідження. 2. Основні параметри центрифуги першого продукту цукрового заводу та режими її роботи 3. Розрахунок потужності двигуна ротора центрифуги. 4. Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода 5. Вибір електродвигуна та основних елементів силових кіл 6. Система керування електроприводом центрифуги та технологічним процесом 7. Охорона праці висновки

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

Короткі відомості про технологічний процеси цукрової галузі Актуальність теми. Мета, об'єкт та задачі дослідження Технічні характеристики центрифуги ФПН – 1251 Задачі роботи Режими роботи центрифуги першого продукту Діаграма розрахункової потужності центрифуги Техніко-економічне обґрунтування вибору системи привода Вибір двигуна Перевірка двигуна за моментом Вибір перетворювального пристрою Структурна схема перетворювача частоти ATV930C31N4C Структурна схема центрифуги утфелю 1 продукту, як об'єкту автоматизації Схема керування технологічним процесом Часові

6. Консультанти розділів роботи

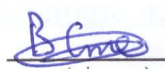
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Спеціальна частина	к. т. н., ст. викл. каф. КЕМСК Коваль А.М.	 11.03.2024.	 28.05.2024.
Охорона праці	Зав. каф. БЖДПБ, д.пед.н., проф. Кобилянський О. В.	 11.03.24	 28.05.24

7. Дата видачі завдання 11.03.24р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування та затвердження теми бакалаврської дипломної роботи (БДР)	11.03.2024.	
2	Виконання спеціальної частини БДР. Перший рубіжний контроль виконання БДР	21.05.2024.	
3	Виконання спеціальної частини БДР. Другий рубіжний контроль виконання БДР	28.05.2024	
4	Виконання розділу «Охорона праці»	28.05.2024.	
5	Попередній захист БДР	28.05.2024	
6	Нормоконтроль БДР	28.05.2024	
7	Рецензування БДР	10.06.2024.	
8	Захист БДР	11.06.2024.	

Студент

 Смерак Ірина В.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

 Коваль А.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Стефанишин В. С. "Головний електропривод центрифуги першого продукту цукрового заводу". Бакалаврська дипломна робота. – Вінниця.: ВНТУ. 2024.– 101 с. Бібліог.: 23. Іл.: 21. Табл.: 16.

Виконана розробка головного електропривода центрифуги першого продукту типу ФПН-1251. Досліджено технологічний механізм, визначено його характеристики та режими функціонування. Здійснено розрахунок необхідної потужності електропривода впродовж робочого циклу центрифуги. Проведено техніко-економічне обґрунтування вибору системи приводу на основі ПЧ-АД. На основі параметрів керованого двигуна вибрано тип та номінальні параметри елементів силової схеми та схеми керування, розраховано та побудовано тахограми робочого механізму, діаграми навантажень двигуна, розроблено систему керування технологічного процесу центрифугування утфелю першого продукту.

Ключові слова: ротор, центрифуга, частотний електропривод, система керування, електродвигун, технологічний процес.

ANNOTATION

Stefanyshyn V. S. "The main electric drive of the centrifuge of the first product of the sugar factory". Bachelor thesis. – Vinnytsia.: VNTU. 2024.– 119 p. Bibliog.: 23. Illustration: 21. Table: 16.

The development of the main electric drive of the centrifuge of the first product type FPN-1251 was completed. The technological mechanism was studied, its characteristics and modes of operation were determined. The calculation of the required power of the electric drive during the operating cycle of the centrifuge was carried out. A technical and economic substantiation of the choice of a drive system based on the IF-AD was carried out. Based on the parameters of the controlled engine, the type and nominal parameters of the elements of the power circuit and the control circuit were selected, tachograms of the working mechanism, engine load diagrams were calculated and built, and the control system of the technological process of centrifugation of the first product was developed.

Key words: rotor, centrifuge, frequency electric drive, control system, electric motor, technological process.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ОБЛАДНАННЯ ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	8
1.1 Короткий опис технології виробництва цукру.....	8
1.2 Особливості технології центрифугування.....	11
1.3 Опис конструкції підвісних центрифуг.....	14
2. ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ ЦЕНТРИФУГИ ПЕРШОГО ПРОДУКТУ ЦУКРОВОГО ЗАВОДУ ТА РЕЖИМИ ЇЇ РОБОТИ.....	19
3. РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ДВИГУНА РОТОРА ЦЕНТРИФУГИ.....	23
3.1 Вимоги до вибору потужності електродвигуна.....	23
3.2 Режим роботи двигуна ротора центрифуги.....	26
3.3 Розрахунок потужності електропривода центрифуги.....	31
4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА.....	35
4.1 Технічне обґрунтування вибору системи електропривода.....	36
4.2 Економічне обґрунтування вибору системи електроприводу.....	38
5. ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА ТА ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СИЛОВИХ КІЛ.....	45
5.1. Вибір та перевірка електродвигуна головного електропривода центрифуги.....	45
5.2 Вибір перетворювального пристрою.....	48
6. СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ЦЕНТРИФУГИ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ.....	54
7. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	63
7.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту.....	63
7.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць в пожежонебезпечних зонах.....	63
7.1.2 Електробезпека.....	65
7.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії.....	67

7.2.1. Мікроклімат.....	67
7.2.2. Склад повітря робочої зони.....	68
7.3 Пожежна безпека.....	69
ВИСНОВКИ.....	73
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	74
ДОДАТКИ	77

ВСТУП

Практично у всіх технологічних процесах важливе місце займає електропривод і є основним керованим джерелом механічної енергії.

Інтенсифікація технологічних процесів, підвищення точності, вдосконалення технології, прагнення до ведення процесів з мінімальними втратами енергії обумовлені тенденціями вдосконалення розвитку автоматизованого електроприводу, початком якого можна вважати появу швидкодіючих напівпровідникових джерел живлення електродвигунів. Характерним для цього етапу автоматизації електроприводу є не тільки інтенсивне застосування напівпровідникової техніки, але й широке впровадження уніфікованих керуючих пристроїв, призначених виключно для перетворення інформації.

Впровадження нової технології велика різноманітність механізмів, машин і агрегатів формують перед системою автоматичного керування електроприводами нові та складні завдання. Якщо для окремих механізмів потрібне лише забезпечення плавного пуску електродвигуна, то при установці механізмів в одну технологічну лінію (для підвищення продуктивності) з'являється необхідність плавно та синхронно змінювати робочу частоту обертання всіх двигунів. В цих випадках вимоги точності стабілізації частоти обертання кожного двигуна визначаються лише необхідністю підтримки заданої продуктивності.

Актуальність теми. Сучасні промислові центрифуги – це складне технологічне обладнання, що складається з багатьох механізмів високої точності та характеризується високими швидкостями обертання. Керування таких механізмів здійснюється за допомогою складних електрогідравлічних, електропневматичних або електричних систем. Надійна робота центрифуг залежить від дотримання технологічної дисципліни, знання їх конструкції, а також правил налагодження, пуску, експлуатації та ремонту.

Викладені вище обставини дають підстави стверджувати, що одним з основних шляхів розвитку та вдосконалення сучасних промислових центрифуг є цілеспрямована зміна способів керування та вдосконалення силової схеми системи електропривода шляхом застосування сучасних силових модулів.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження в даній роботі є підвищення енергоефективності та працездатності електропривода ротора фільтруючої підвісної центрифуги типу ФПН-1251.

У відповідності із поставленою метою необхідно вирішити наступні завдання:

- проаналізувати режими роботи та привести основні характеристики фільтруючої підвісної центрифуги типу ФПН-1251;
- виконати розрахунок та вибір потужності електродвигуна центрифуги;
- виконати техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода;
- здійснити розрахунок, вибір та побудову структурної, функціональної та електричної принципової схем керування електроприводу;
- для вибраної системи електроприводу виконати розрахунок механічних характеристик електродвигуна, моделювання перехідних процесів та розрахунок динаміки електропривода;
- сформулювати комплекс заходів для забезпечення належних умов праці обслуговуючого персоналу та безпечної експлуатації центрифуги.

Об'єкт дослідження є процеси перетворення енергії, які протікають у електротехнічній системі електропривода ротора фільтруючої підвісної центрифуги типу ФПН-1251.

Предметом дослідження є математичні моделі та структури, які дозволяють підвищити ефективність електропривода ротора фільтруючої підвісної центрифуги типу ФПН-1251.

Методи дослідження засновані на використанні методів теорії електричних машин, теорії управління, методів синтезу нелінійних систем управління, теорії та методів математичного моделювання, методів системних досліджень в енергетиці.

Особистий внесок здобувача. Основні результати бакалаврської дипломної роботи отримано автором самостійно.

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ОБЛАДНАННЯ ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Короткий опис технології виробництва цукру

Цукрове виробництво має ряд особливостей:

1. сезонність роботи (сезон цукроваріння триває 40...100 діб);
2. безперервність роботи, при чому впродовж сезону можливі зупинки однієї чи декількох ланок безперервного технологічного ланцюга призводять до величезних втрат, оскільки потребують повторного пуску з непродуктивними витратами сировини та енергії;
3. висока потреба у тепловій та електричній енергії, що порівняно мало коливається впродовж доби та сезону цукроваріння;
4. різноманітність теплоносіїв та їх параметрів у схемі теплопостачання заводу: водяна пара різних тисків, конденсати, гаряча вода, гаряче повітря, димові гази та ін.;
5. велика кількість вторинних енергоресурсів (випарена пара, конденсати, гаряча вода, димові гази тощо), які можуть бути використані і значною мірою використовуються.
6. розвинена та ефективна теплотехнологічна схема (порівняно з іншими галузями), що пояснюється великим теплоспоживанням, довгою історією галузі та сезонністю роботи, що залишає час для щорічних модернізацій під час ремонту;
7. наявність власних ТЕЦ, що одночасно генерують пару та електроенергію для виробничих потреб, а також для опалення, вентиляції та гарячого водопостачання. [1]

Основною сировиною для виготовлення цукру у світі є цукрова тростина, яка містить 18-21% сахарози та росте здебільшого в тропічних широтах. Основною сировиною українського цукрового виробництва є цукровий буряк, вміст сахарози, в кореноплодах якого може коливатись в залежності від сорту та умов вирощування в межах від 15 до 23%.

На рис. 1.1 подано узагальнену технологічну схему усього цукрового виробництва, особливостями якої є складність, безперервність, наявність повернень та зворотних зв'язків тощо.

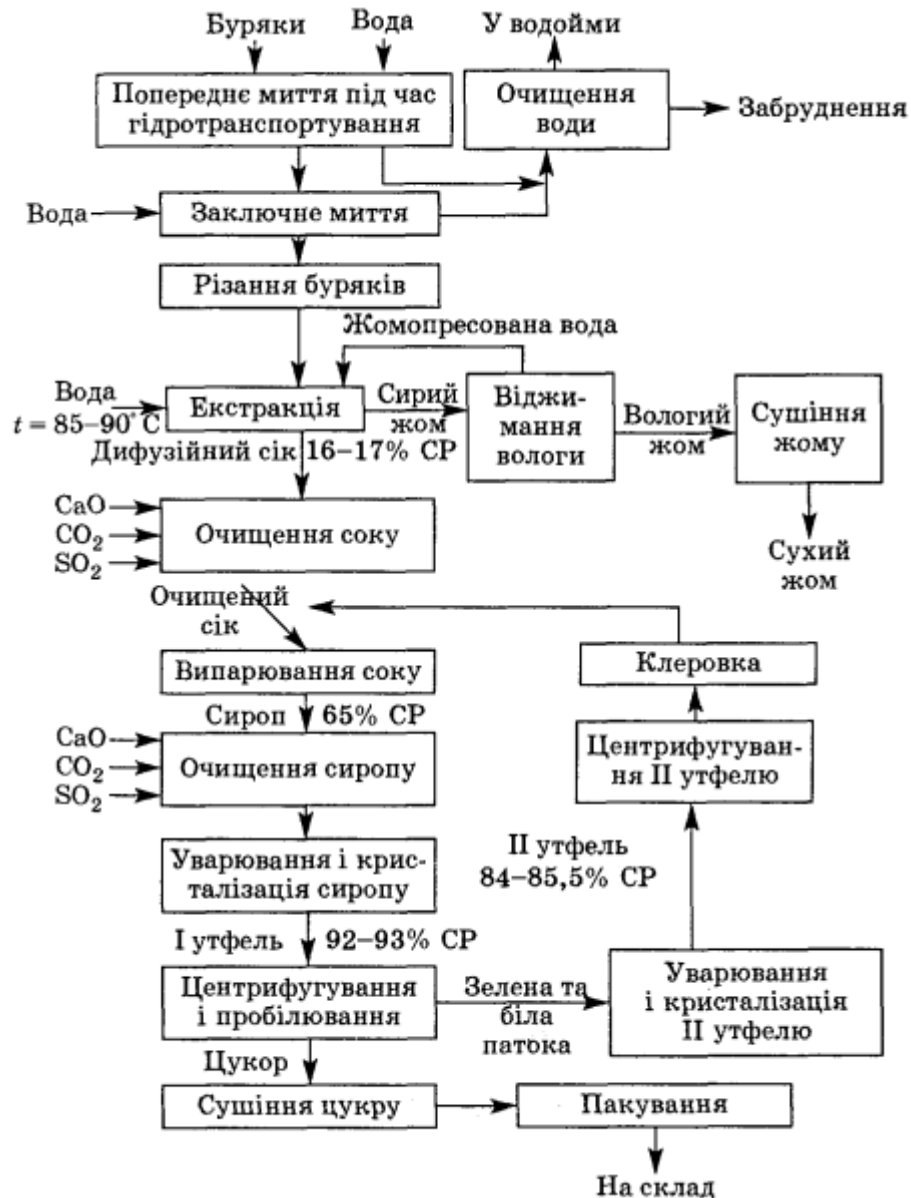


Рисунок 1.1 – Технологічна схема цукрового виробництва

Цукрове виробництво містить такі основні процеси:

1. Підготовка сировини, що полягає в транспортуванні, очищенні та подрібненні цукрового буряка у стружку.
2. Екстракція з бурякової стружки соку за допомогою явища дифузії у спеціальних дифузійних установках.

3. Очищення дифузійного соку від наявних у ньому органічних та неорганічних, розчинних та нерозчинних у воді домішок, що відбувається у декілька стадій: механічна очистка, відстоювання, фільтрування, обробка гашеним вапном, діоксидом вуглецю, діоксидом сірки.
4. Концентрування соку – випаровування з очищеного соку зайвої вологи у багатокорпусній випарній установці до концентрації сахарози 65-70%.
5. Уварювання випареного соку у вакуумних апаратах, метою якого є кристалізація цукру із сиропу, в результаті чого утворюється утфель – суміш, що містить 55-60% кристалізованого цукру та міжкристальний розчин, який складається із води та розчиненого у ній сахарозу та інші нецукрові домішки.
6. Центрифугування – відділення вказаних домішок від продуктового цукру. Технологічні процеси цього етапу будуть розглянуті нижче більш детально.
7. Висушування та пакування товарного цукру.

Як видно з поданого опису, цукрове виробництво є сукупністю пов'язаних між собою складних процесів, що містять велику кількість різних зворотних зв'язків та повернень, як технологічних речовин, так і теплоносіїв, а також додаткових підготовчих процесів, серед яких виробництво пари, електроенергії, сатураційних та сульфітаційних газів, вапнякового молока тощо.

Усе це у комплексі утворює складне виробництво, що працює протягом сезону у безперервному режимі. Це породжує значні вимоги щодо надійності роботи обладнання та виконання окремих технологічних процесів, одним з яких є центрифугування та отримання продуктового цукру.

1.2 Особливості технології центрифугування

Центрифугуванням або фугуванням називається розділення неоднорідних сумішей за допомогою відцентрових сил.

Машини для розділення неоднорідних систем у відцентровому полі називаються центрифугами. Важко уявити галузь промисловості, де не застосовуються центрифуги. Вони знаходять своє використання в хімічній, харчовій, медичній, металургійній та інших галузях господарства.

Центрифугування технічних суспензій і шлаків проводиться двома методами. Перший метод базується на розділенні суспензій і шлаків завдяки використанню об'ємних сил дисперсної фази. Другий метод передбачає використання об'ємних сил дисперсного середовища та частково дисперсної фази. У першому випадку центрифугування відбувається в роторах із суцільною стінкою, у другому – з перфорованою.

Процес розділення в суцільних роторах схожий на відстоювання у полі тяжкості. Центрифугування в перфорованих роторах є процесом подібним до фільтрації, пресування шлаків тощо.

Одним з основних показників роботи центрифуги є індекс продуктивності, за яким оцінюють відносну розділяючу здатність центрифуги. Він розраховується за формулою:

$$\Sigma = 2 \cdot \pi \cdot r_{PT} \cdot L \cdot F_y, \quad (1.1)$$

L – довжина ротора центрифуги періодичної дії або циліндричної частини ротора шнекової центрифуги, м;

r_{PT} – радіус ротора, м;

F_y – чинник розділення на радіусі ротора r_{PT} .

Чинник розділення – це безрозмірний параметр, що показує, у скільки разів прискорення відцентрового поля в центрифугі перевищує прискорення вільного падіння. Його визначають за допомогою рівняння:

$$F_y = \frac{\omega_p^2 \cdot r_{PT}}{g}, \quad (1.2)$$

де ω_r – кутова швидкість ротора, рад/с;

g – прискорення вільного падіння ($g=9,81$ м/с²).

Значення r_{PT} и ω_r залежать від конструктивних параметрів центрифуги.

Зі зростанням величин цих параметрів фактор розділення зростає. Його максимальне значення практично досягається збільшенням кутової швидкості (в разі примусового зменшення радіуса ротора).

Центрифугування суспензій та шлаків у перфорованих роторах називається відцентровою фільтрацією. Загалом, цей процес складається з трьох етапів, які відбуваються під дією відцентрових сил інерції:

- Фільтрація з утворенням осаду – відокремлення частинок, зважених у рідині, під час проходження рідини через проникну стінку ротора центрифуги.
- Віджимання рідини з осаду – зменшення вмісту рідини в осаді, що супроводжується його ущільненням.
- Промивка
- Видалення рідини, утримуваної молекулярними силами – видалення залишкової рідини, що утримується в місцях зіткнення частинок та на їх поверхні.

Відцентрова фільтрація з утворенням осаду схожа на звичайну фільтрацію. Після цього відбувається віджим рідини з осаду, що призводить до його ущільнення. Наступний етап – видалення рідини, яка утримується на поверхні частинок і в місцях їх зіткнення. За режимом роботи фільтруючі центрифуги поділяються на центрифуги безперервної та перервної дії (рис. 1.2)

Процес, що включає віджимання та видалення плівкової і капілярної рідини, називається відцентровим віджиманням. Прикладами такого процесу є центрифугування цукрового утфелю та сульфату амонію.

Підвісні центрифуги з верхнім приводом є машинами періодичної дії. Процес центрифугування в них зазвичай проходить так: ротор центрифуги, працюючи на неповній або повній швидкості обертання, завантажується

матеріалом. Якщо завантаження відбувається при неповному обертанні ротора, то після завершення завантаження швидкість ротора доводять до максимальної.



Рисунок 1.2 – Класифікація фільтруючих центрифуг

При центрифугуванні в перфорованих роторах тверда фаза до кінця процесу містить мінімальну кількість відокремлюваної рідини, яка утримується на поверхні частинок твердої фази і в місцях їх зіткнення. Щоб позбутися залишків рідкої фази, осад промивають іншою рідиною (іноді декількома).

Під дією відцентрового поля промивна рідина видаляється, і її вміст в осаді з часом стає мінімальним. Вивантаження осаду за допомогою механічних ножів здійснюється при обертанні ротора на невеликій швидкості.

Утфель 1-го продукту, що утворюється у вакуумних апаратах першого продукту, містить кристалічний цукор та міжкристальний розчин (патоку). Для його розділення використовують центрифуги першого продукту, які працюють за циклічним принципом. За рахунок відцентрових сил при обертанні зі швидкістю, що змінюється певним чином, спершу відділяється від кристалів основна частина міжкристального розчину (перший відтік, зелена патока) і виводиться з центрифуги у збірник першого відтоку.

На наступному етапі видаляють плівку міжкристального розчину з великим вмістом нецукрів, що ще залишається на поверхні кристалів цукру та

надає кристалам жовтого кольору. Для видалення цієї плівки утфель промивають гарячою питною водою (витрата 3...3,5% до маси утфелю), розчиняючи разом із цим поверхневий шар кристалів (у ньому міститься більшість нецукрів, що залишилися та більша частка цукрів) і також виводиться з центрифуги (другий відтік, біла патока). Цей процес має назву відбілювання. Очищений білий цукор з вмістом вологи 0,8...1,2% вивантажується з центрифуг на вібротранспортер, яким транспортується на висушування.

Відтоки, що виводяться з центрифуг, є розчинами, що мають значну частку сахарози, яку теж доцільно вилучити. Із них виварюють утфелі другого та третього продуктів у вакуум-апаратах, так само, як утфель першого продукту. Зараз цукрозаводи найчастіше ведуть уварювання утфелю за трипродуктовою чи двопродуктовою схемами. Перевагою трипродуктової схеми є повніше вилучення сахарози, а отже менші її втрати у мелясі, недоліками – складність, вища вартість, вищі витрати пари.

1.3 Опис конструкції підвісних центрифуг

Вітчизняна промисловість випускає центрифуги всіх типів, зокрема сучасні фільтруючі центрифуги безперервної дії з пульсуючим поршневым вивантаженням осаду продуктивністю до 100 т/ч; осаджуючі центрифуги безперервної дії зі шнековим вивантаженням осаду пропускною спроможністю по суспензії до 60 м³/ч; високопродуктивні автоматичні центрифуги з програмним керуванням (разове завантаження ротора складає до 1250 кг) і ножовим вивантаженням осаду; високошвидкісні трубчасті центрифуги з кількістю обертів 15000 за хвилину.

Центрифуга, конструкція якої подана на рис. 1.3, є фільтруючою підвісною вертикальною машиною періодичної дії з нижнім ручним вивантаженням продукту через днище ротора, призначену для розділення суспензій із дрібно- та середньозернистою твердою фазою.

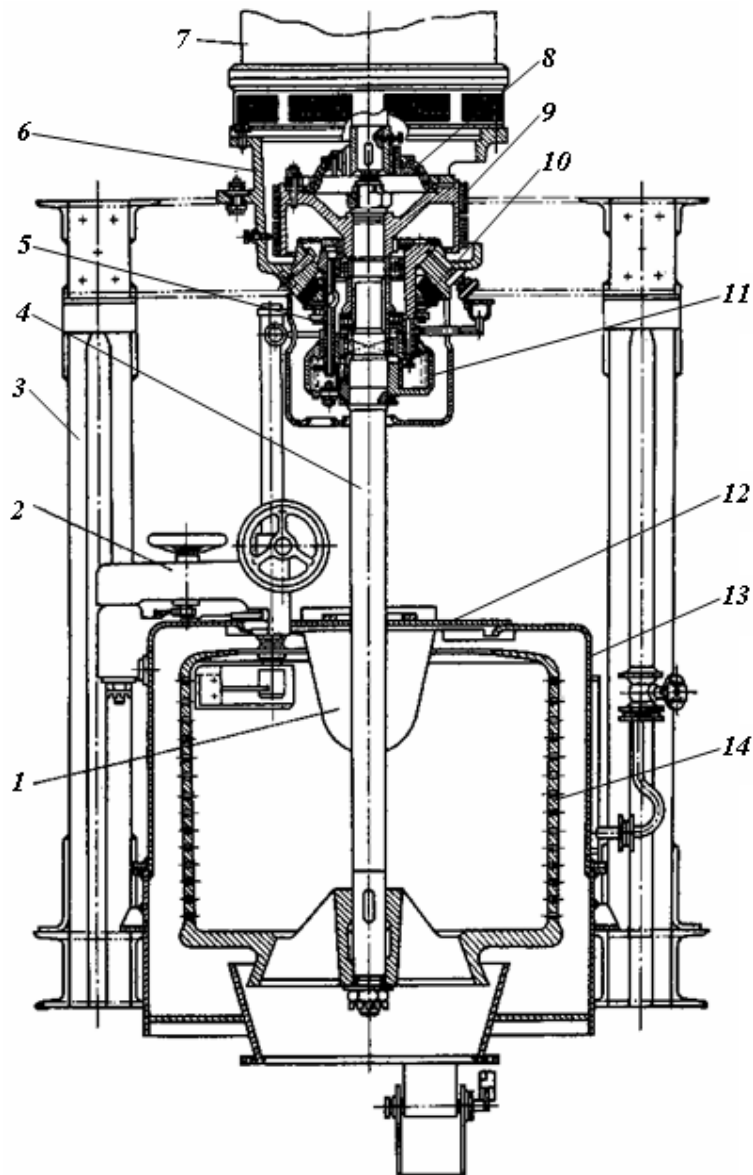


Рисунок 1.3 – конструкція підвісної центрифуги

На рисунку 1.3 прийняті наступні позначення:

1 – завантажувальний лоток; 2 – механізм зрізу осаду; 3 – металоконструкція; 4 – вал; 5 – корпус підшипників; 6 – корпус приводу; 7 – електродвигун; 8 – гумова муфта; 9 – стрічкове гальмо; 10 – гумовий амортизатор; 11 – привод; 12 – кришка кожуха; 13 – кожух; 14 – ротор.

Центрифуга виготовляється з вуглецевої сталі та чавуну. Встановлюється вона на металоконструкції, що складається з двох опорних стійок і двох повздовжніх балок-швелерів, з'єднаних болтами у верхній частині стійок. Обертання центрифуги забезпечується вертикальним двигуном (7),

розрахованим на безперервну роботу при завантаженні від 800 до 1200 кг сировини.

Електродвигун призначений для роботи при температурі навколишнього середовища до $+90^{\circ}\text{C}$ і відносній вологості 95%.

Вал ротора під час обертання може відхилятися від вертикального положення через деформацію гумового амортизатора, що забезпечує самоврівноваження обертових мас.

Ротор центрифуги, що має циліндричну форму з перфорованою зовнішньою стінкою, підвішений на нижньому кінці валу і викладений всередині підкладним та фільтруючим ситами. Завантаження ротора проводиться за допомогою спеціального лотка 1, закріпленого на кожусі. Механізоване вивантаження осаду з ротора (механізм зрізу 2) здійснюється за допомогою ножа спеціальної конструкції, закріпленого на кришці кожуха.

Ротор підвісної центрифуги (див. рисунок 1.4) складається з обичайки 2, верхнього днища 3, розетки 6 і нижнього днища 1. Розетка складається з маточини 5, обода 7 та спиць 4, через отвори яких проводиться розвантаження ротора.

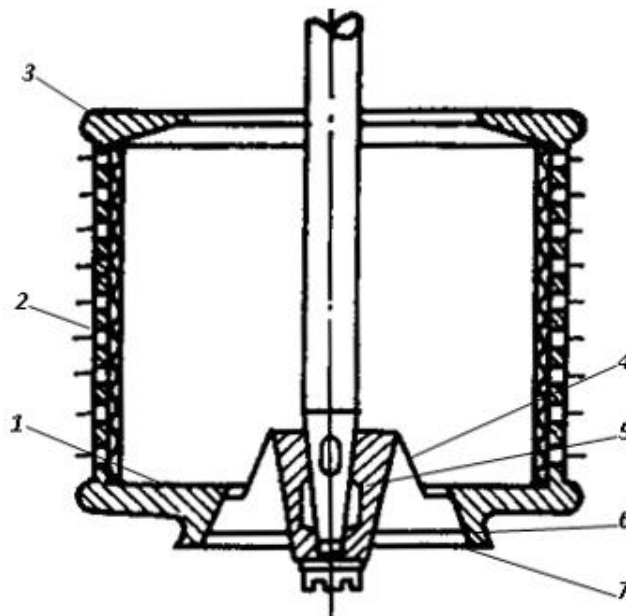


Рисунок 1.4 – Конструкція ротора

Всі фільтруючі ротори комплектують фільтруючою основою, що складається з підкладкового дренажного сита та фільтруючої сітки. Застосовують металеві сітки саржевого плетіння та сітки з тонколистової латуні із штампованими отворами прямокутного або круглого перерізів.

Привод підвісної центрифуги (див. рисунок 1.5) є шарнірною опорою валу та призначений для передачі обертання ротору від електродвигуна через еластичну з'єднувальну муфту. Муфта закріплена на гальмівному шківі та з'єднана з валом двигуна за допомогою шліцьових втулок.

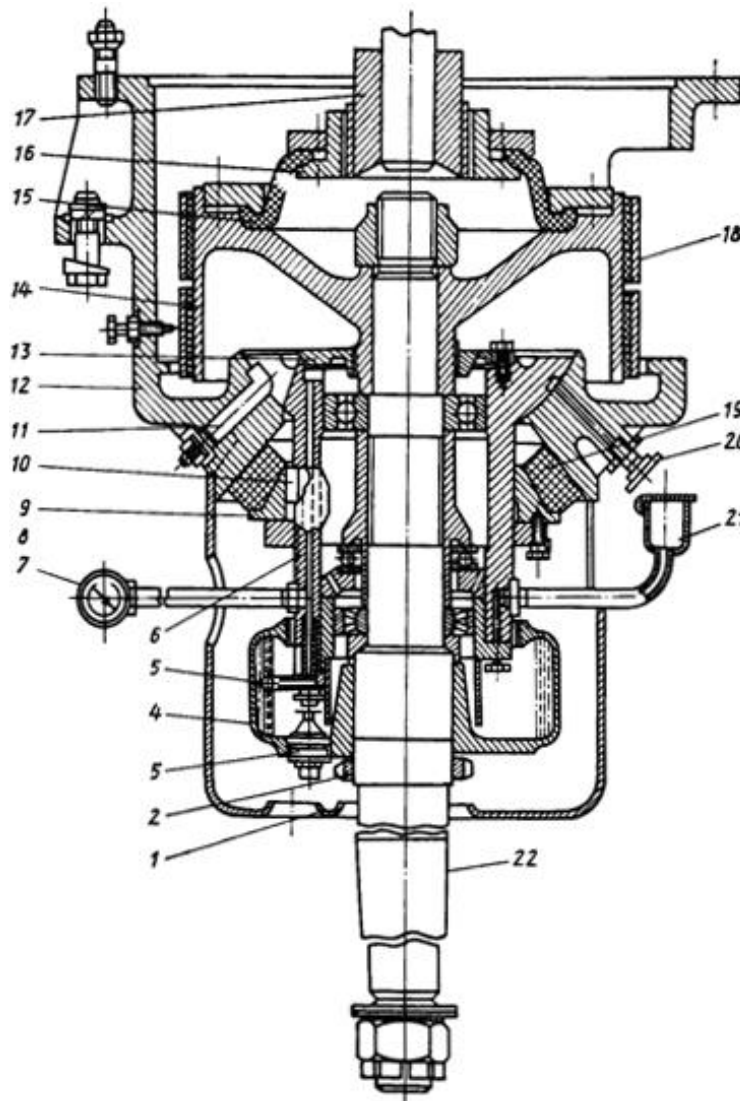


Рисунок 1.3 – Привод центрифуги

Основні деталі приводу: корпус (12), гальмівний шків (14), еластична гумова муфта (15), стрічкове гальмо (18). Корпус підшипників (6) опирається

верхньою кульовою поверхнею на кублі корпусу приводу і зафіксований від кругового обертання спеціальним болтом (11). Алюмінієва коробка (4) для масла закріплена на валу (22) і обертається разом з ним. Крім того, передбачені: запірна трубка (5), що подає масло на підшипники, Захисний кожух (1), Манометр (7) для контролю тиску масла. Маслянки (20) та (21), призначені для змащування кульової поверхні та заливки масла в алюмінієву коробку відповідно.

В корпусі підшипників розташований вал, підвішений на двох радіальних та одному опорному підшипниках кочення. З боку гальмівного шків корпус закритий кришкою (13).

Електрообладнання центрифуг зазвичай працює в умовах хімічно агресивного, невибухонебезпечного середовища з підвищеною відносною вологістю повітря (до 95%) при температурі до +40°C.

Висновки.

Цукрове виробництво є безперервним процесом з великою кількістю пов'язаних ланок. Вихід з ладу однієї ланки спричинює зупинку всього підприємства та призводить до значних збитків.

Центрифуги – це обладнання, що здійснює відфільтровування патоки від кристалічного цукру і є одним з основних обладнання продуктового цеху, від надійності якого значною мірою залежить надійність усього підприємства. Ця обставина вимагає детального пропрацювання при розробці системи електропривода центрифуги.

2 КОНСТРУКТИВНІ ПАРАМЕТРИ ЦЕНТРИФУГИ ПЕРШОГО ПРОДУКТУ ЦУКРОВОГО ЗАВОДУ ТА РЕЖИМИ ЇЇ РОБОТИ

Утфель 1-го продукту, що утворюється у вакуумних апаратах першого продукту, містить кристалічний цукор та міжкристальний розчин (патоку). Для його розділення використовують центрифуги першого продукту, які працюють за циклічним принципом.

Широке застосування для фугування утфелю першого продукту у вітчизняній цукровій галузі знайшли підвісні центрофуги ФПН-1251Л, зображена на рис. 2.1.

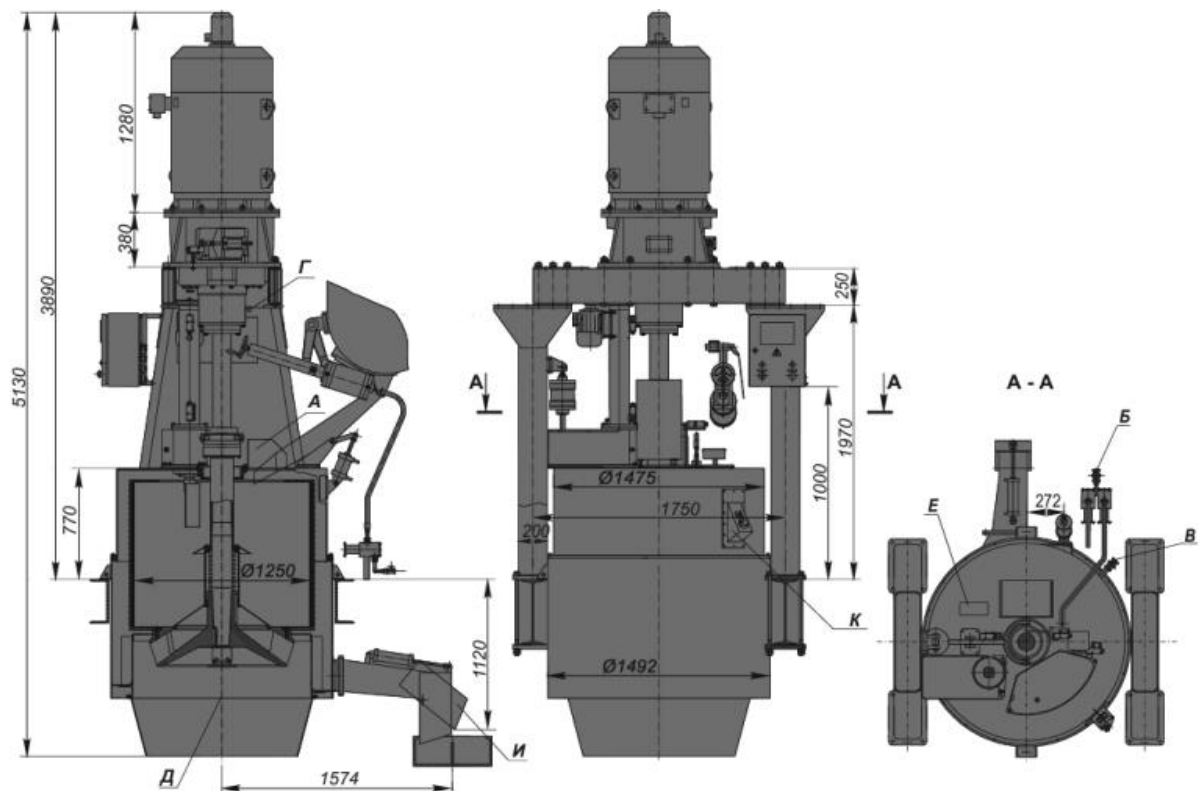


Рисунок 2.1 – Центрифуга ФПН-1251Л

На рис. 2.1 літерами позначено допоміжні механізми, що разом з основним приводом ротора центрифуги забезпечують виконання технологічного процесу. Їх умовні позначення приведені у табл. 2.1

Таблиця 2.1 – Умовні позначення допоміжних механізмів центрифуги ФПН 1251Л

Позначення	Назва з'єднань	Кількість	Діаметр,мм.	Тиск, мПа
А	Подання суміші	1	300	0,02
Б	Подання промивної води	1	25	0,4
В	Подача пари	2	20	0,3
Г	Подача повітря	2	15	0,8
Д	Вивід осаду	1	1248	-
Е	Вивід пари	1	100x200	-
И	Вивід промивної води	1	140x140	-
К	Відбір проби	1	80	-

Основні конструктивні параметри центрифуги подано на рис. 2.1 та таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Основні конструктивні параметри центрифуги ФПН 1251Л

Внутрішній діаметр ротора, мм	1250
Внутрішня висота ротора, мм	100
Робочий об'єм ротора, дм ³	700
Максимальна маса завантажувального продукту, кг	1000
Максимальна швидкість обертання ротора, об/хв	1500
Маса центрифуги в цілому, кг	4900
Маса обертових частин, кг	2960

Технологічні процеси фугування утфелю першого продукту відбуваються циклічно у наступній послідовності.

Після включення двигуна головного привода ротора центрифуги, його частота обертання доводиться до 200 – 250 об/хв. Тоді відкривається завантажувальний шибер і утфель по спеціальному лотку надходить до внутрішньої частини ротора. Обсяг завантаження визначається сенсором, спрацювання якого дає команду на закриття засувки.

Потім електродвигун набирає максимальну частоту обертання, на якій відбувається фугування утфелю. За рахунок відцентрових сил при обертанні зі швидкістю, що змінюється певним чином, спершу відділяється від кристалів

основна частина міжкристального розчину (перший відтік, зелена патока) і виводиться з центрифуги у збірник першого відтоку. Час фугування утфелю задається системою керування технологічним процесом.

На наступному етапі видаляють плівку міжкристального розчину з великим вмістом нецукрів, що ще залишається на поверхні кристалів цукру та надає кристалам жовтого кольору. Для видалення цієї плівки утфель промивають гарячою питною водою, розчиняючи разом із цим поверхневий шар кристалів (у ньому міститься більшість нецукрів, що залишилися та більша частка цукрів). Витрата води складає 3...3,5% до маси утфелю й задається системою керування за значеннями витратоміра) Цей процес ще має назву відбілювання. Одночасно з його початком система керування перемикає сегрегатор і патока під час відбілювання (другий відтік, біла патока) виводиться з центрифуги в інший збірник, оскільки вміст цукрів у ній більший, а домішок менший.

По закінченні промивки відбувається пропарювання й після невеликої витримки часу ротор центрифуги починає гальмуватись до швидкості вивантаження, яка складає 70 – 100 об/хв. При досягненні ротором вказаної частоти обертання піднімається запірний конус, що відкриває отвір у нижній частині центрифуги, а до шару цукру за допомогою пневмоциліндра підводиться ніж, який переміщується по вертикалі від електродвигуна, й зрізає з сит відфугований цукор. Очищений білий цукор вивантажується з центрифуги зі вмістом вологи 0,8...1,2% на вібротранспортер, яким транспортується на висушування.

Після закінчення розвантаження механізм зрізу займає початкове положення, запірний конус опускається вниз. Сита промиваються водою, і починається наступний цикл роботи.

Усі уставки часових проміжків (фуговки, промивки, пропарки), швидкості обертання роторів на різних стадіях циклу, кількості утфелю, що завантажується, тощо визначається оператором та технологом виробництва на підставі різних технологічних параметрів утфелю та вимог якості та задається

системі керування технологічним процесом. Таким чином загальний час одного циклу фуговки не є сталим й складає близько 2 хв.

Відтоки, що виводяться з центрифуг, є розчинами, що мають значну частку сахарози, яку теж доцільно вилучити. Із них виварюють утфелі другого та третього продуктів у вакуум-апаратах, так само, як утфель першого продукту. Зараз цукрозаводи найчастіше ведуть уварювання утфелю за трипродуктовою чи двопродуктовою схемами. Перевагою трипродуктової схеми є повніше вилучення сахарози, а отже менші її втрати у мелясі, недоліками – складність, вища вартість, вищі витрати пари.

Висновки

Таким чином аналіз технологічних та конструкційних особливостей роботи центрифуги дають змогу сформулювати наступні задачі пропонованої роботи:

1. Розрахунок потужності двигуна головного приводу ротора центрифуги.
2. Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода
3. Вибір силових елементів головного електропривода, що включає вибір двигуна, силового перетворювального пристрою та комутаційної апаратури.
4. Розробка системи керування центрифугою, що включатиме в себе керування швидкістю обертання ротора, а також керування допоміжними механізмами, що забезпечує якісне виконання технологічного процесу.
5. Математичне моделювання роботи електропривода в перехідних режимах роботи.

3. РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ДВИГУНА РОТОРА ЦЕНТРИФУГИ

3.1 Вимоги до вибору потужності електродвигуна

Правильний вибір потужності електродвигуна є ключовим, оскільки занижена потужність може значно знизити продуктивність механізму та спричинити передчасне виходження з ладу двигуна. У разі використання недостатньо потужного двигуна може відбутися його перегрівання, що призведе до скорочення терміну служби ізоляції обмоток.

З іншого боку, встановлення занадто потужного двигуна є економічно недоцільно і може призвести до зниження ефективності (зменшення коефіцієнта корисної дії та потужності), а також збільшення зносу та можливих поломок механізму.

Залежно від характеру роботи механізму, виділяють три режими навантаження електродвигуна:

- Тривалий режим, коли двигун нагрівається до сталої температури.
- Короткочасний режим, коли двигун не має часу нагрітися до сталої температури через перерви між робочими циклами.
- Повторно-короткочасний режим, коли двигун не має часу нагрітися до сталої температури за один цикл. Тоді температура буде коливатися між певними значеннями в кожному такому циклі.

Відповідно до цих режимів обирається потужність електродвигуна. Для двигунів у тривалому режимі вказується номінальна потужність без обмеження часу роботи. Для двигунів у короткочасному режимі вказується кілька значень часу роботи з відповідними номінальними потужностями. Обираються двигуни таким чином, щоб їхні розрахункові потужності не перевищували номінальних.

При розрахунку потужності електродвигуна та виборі привода ротора центрифуги беруться до уваги такі фактори:

- динамічні характеристики при пуску, гальмуванні та зміні навантаження,
- діапазон регулювання швидкості,
- потрібний тип механічної характеристики в часі та необхідна точність підтримання режиму,
- частота включень приводного механізму.

У центрифугах періодичної дії характерною особливістю є те, що момент інерції центрифуг перевищує момент інерції електродвигуна у 50-100 разів. Це співвідношення може значно змінюватися під час роботи центрифуги через виділення рідкої фази з оброблюваного продукту. Така особливість властива всім типам центрифуг періодичної дії.

При розрахунку потужності електродвигуна для центрифуг періодичної дії необхідно враховувати динамічні моменти, що виникають під час перехідних процесів. Ці моменти можуть бути дуже значними через великий момент інерції центрифуг.

Розрахунок необхідної потужності центрифуги періодичної дії на певній i -й ділянці тахограми складається з кількох частин:

$$P_{розр_i} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4, \quad (3.1)$$

де P_1 – потужність, необхідна для подолання моменту інерції обертової частини центрифуги:

$$P_1 = \frac{J_0 \cdot (\omega_{i+1}^2 - \omega_i^2)}{2\tau_i}, \quad (3.2)$$

де J_0 – момент інерції обертової частини центрифуги з порожнім барабаном, кг/м^2 ;

τ_i - тривалість i -ї ділянки тахограми, с;

ω_i, ω_{i+1} - кутова швидкість ротора центрифуги на початку й у кінці i -ї ділянки, с^{-1} .

P_2 – потужність, необхідна для подолання моменту інерції утфелю, що завантажений до центрифуги:

$$P_2 = \frac{J_y \cdot (\omega_{i+1}^2 - \omega_i^2)}{2\tau_i}, \quad (3.3)$$

де J_y – момент інерції завантаженого утфелю, що обертається в барабані барабаном, кг/м².

P_3 – потужність, що йде для подолання тертя в підшипниках на валу:

$$P_3 = \frac{f \cdot m_\Sigma \cdot \omega_{\max} \cdot D_u \cdot g}{2}, \quad (3.4)$$

де f - коефіцієнт тертя, що у практичних задачах знаходиться у межах 0.07..0.1;

m_Σ - сумарна маса обертової частини центрифуги із завантаженим утфелем, кг;

$\omega_{\max}$ - максимальна швидкість обертання ротора і-ї ділянки, с⁻¹;

$D_u = 0.05$ м – діаметр цапфи вала;

$g = 9,81 \frac{м}{с^2}$ - прискорення вільного падіння.

$$P_4 = R^5 \cdot n^3 \cdot 10^{-8} \quad (3.5)$$

де $R = 0,6$ м – радіус барабана зовні;

n – максимальна частота обертання ротора і-ї ділянки, об/хв;

Умовою вибору потужності двигуна є вираз:

$$P_{ном} \geq k_{зан} P_{розр_{\max}}, \quad (3.6)$$

де $k_{зан}$ - коефіцієнт запасу,

$P_{розр_{\max}}$ - розрахункова потужність ділянки з максимальним споживанням.

3.2 Режими роботи двигуна ротора центрифуги

Описані у 1.3 особливості роботи та технологічного процесу центрифугування утфелю першого продукту дають змогу побудувати типову тахограму циклу роботи привода ротора центрифуги, що подана на рис. 2.1

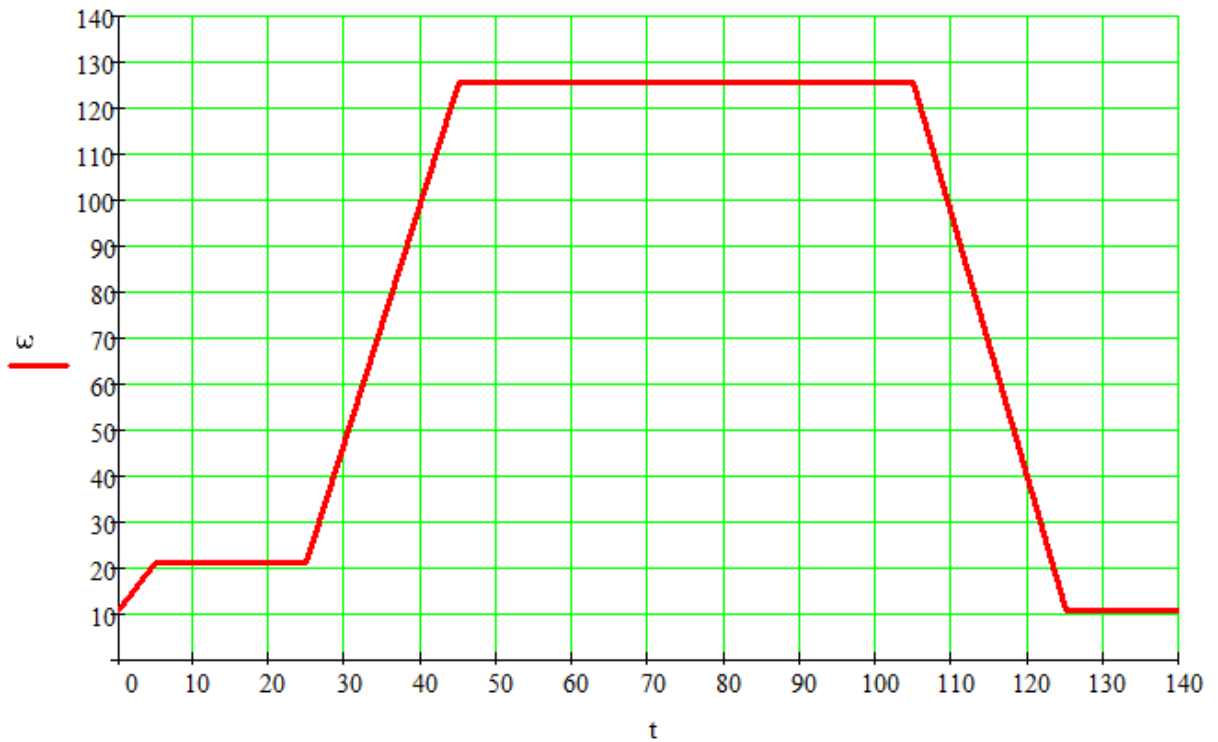


Рисунок 3.1 – Тахограма робочого циклу ротора центрифуги

Вона має 6 ділянок, опис яких зведено до табл. 3.1. Розрахунок швидкостей обертання здійснювалось на підставі опису технологічного процесу приведенного у 1.3.

Швидкість завантаження:

$$\omega_1 = \frac{2\pi}{60} n_1 = \frac{2\pi}{60} 200 = 20,944 \text{ рад/с}. \quad (3.7)$$

Швидкість фугування:

$$\omega_2 = \frac{2\pi}{60} n_2 = \frac{2\pi}{60} 1200 = 125,664 \text{ рад/с}. \quad (3.8)$$

Швидкість вивантаження:

$$\omega_3 = \frac{2\pi}{60} n_3 = \frac{2\pi}{60} 100 = 10,472 \text{ рад/с}, \quad (3.9)$$

Таблиця 3.1 Опис ділянок роботи центрифуги

№	Назва	Середня тривалість τ_i , с	Швидкість на початку ділянки $\omega_{поч}$, рад/с	Швидкість у кінці ділянки ω_k , рад/с
1	Розгін до швидкості завантаження	5	10,472	20,944
2	Завантаження центрифуги	20	20,944	20,944
3	Розгін до швидкості фугування	20	20,944	125,664
4	Фугування	60	125,664	125,664
5	Гальмування до швидкості вивантаження	20	125,664	10,472
6	Вивантаження	15	10,472	10,472

Момент інерції обертової частини на окремих ділянках є неоднаковим. Його необхідно розрахувати для ділянок, на яких змінюється швидкість обертання, тобто ділянках 1,3 та 5.

На ділянці 1 - це момент інерції, що складається з двох основних частин:

- моменту інерції порожнього барабану, яку можна наближено обрахувати:

$$J_{\phi} = m_{\phi} \cdot R_{\phi}^2, \quad (3.11)$$

де $m_{\phi} = 500 \text{ кг}$ - маса порожнього барабана центрифуги,

R_{ϕ} - середній радіус барабана, $R_{\phi} = \frac{1}{2} d_{\phi} = \frac{1}{2} 1,1 = 0,55 \text{ м}$.

$$J_{\phi} = 500 \cdot 0,55^2 = 151,25 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

- момент осьової частини, яку можна наближено обрахувати:

$$J_{oc} = m_{oc} \cdot R_{oc}^2, \quad (3.12)$$

де $m_{oc} = m_0 - m_{\phi} - m_y = 2960 - 500 - 1000 = 1460 \text{ кг}$ - маса осьової частини барабана,

R_{oc} - середній радіус барабана, $R_{oc} = 0.1 \text{ м}$.

$$J_{oc} = 1460 \cdot 0.1^2 = 14,6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Таким чином момент інерції обертової частини:

$$J_{01} = J_{\phi} + J_{oc} = 151,25 + 14,6 = 165,85 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

На ділянці 2, коли відбувається завантаження від є змінним, внаслідок зміни маси, що обертається й досягає максимального значення під кінець цієї ділянки.

На ділянці 3 момент інерції можна обрахувати як суму моменту інерції порожньої центрифуги J_{01} та моменту інерції завантаженого утфелю, що обертається:

$$J_y = m_y \cdot R_{\phi}^2, \quad (3.13)$$

Де $m_y = 1000$ - максимальне маса завантаженого утфелю.

При розрахунках потужності для цієї ділянки нехтуємо зменшенням моменту інерції внаслідок початкового відфільтровування патоки. Тоді:

$$J_y = 1000 \cdot 0,55^2 = 302,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{03} = J_{01} + J_y = 165,85 + 302,5 = 468,35 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

На ділянці 4 відбувається основне відфільтровування патоки, яка складає близько 30% маси утфелю. Тому на ділянці 5 момент інерції:

$$J_{05} = J_{01} + J_u = 165,85 + 211,75 = 377,6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

де $J_u = m_u \cdot R_{\phi}^2 = 700 \cdot 0,55^2 = 211,75 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

Загальний час роботи центрифуги складає:

$$t_p = \sum_{i=1}^6 t_i = 140 \text{ с}. \quad (3.14)$$

де t_i – тривалості окремих ділянок циклу.

Стандартна тривалість включення електропривода складає:

$$TV_{ст} = 100\%. \quad (3.15)$$

Враховуючи фактичну тривалість включення, можна зробити висновок, що режим роботи двигуна відповідає S8. Це режим роботи при періодичній зміні частоти обертання і навантаження. Він включає послідовність ідентичних робочих циклів, кожен з яких складається з періодів прискорення, роботи при постійному навантаженні з певною частотою обертання, а потім одного або декількох періодів роботи при інших постійних значеннях навантаження, відповідних іншим частотам обертання.

3.3 Розрахунок потужності електропривода центрифуги

Здійснимо розрахунок потужності для кожної ділянки робочого циклу центрифуги у відповідності до формул (3.1-3.5):

1. Ділянка розгону до швидкості завантаження.

$$P_1 = \frac{165,85 \cdot (20,944^2 - 10,472^2)}{2 \cdot 5} = 5456 \text{ Вт},$$

$P_2 = 0$, оскільки на ділянці 1 в барабані нема утфеля;

$$P_3 = \frac{0,1 \cdot 20,944 \cdot 1960 \cdot 0,05 \cdot 9,81}{2} = 1006 \text{ Вт},$$

$$P_4 = (0,6)^5 \cdot 200^3 \cdot 10^4 = 62 \text{ Вт},$$

$$P_{\Sigma 1} = 5456 + 0 + 1006 + 62 = 6525 \text{ Вт}$$

2. Ділянка завантаження:

$$P_1 = 0,$$

$P_2 = 0$, оскільки швидкість на початку і в кінці ділянки однакова;

$$P_3 = \frac{0,1 \cdot 20,944 \cdot 2960 \cdot 0,05 \cdot 9,81}{2} = 1520 \text{ Bm},$$

$$P_4 = (0,6)^5 \cdot 200^3 \cdot 10^4 = 62 \text{ Bm},$$

$$P_{\Sigma 2} = 0 + 0 + 1520 + 62 = 1582 \text{ Bm}$$

3. Ділянка розгону до швидкості фугування:

$$P_1 = \frac{165,85 \cdot (125,664^2 - 20,944^2)}{2 \cdot 20} = 63660 \text{ Bm},$$

$$P_2 = \frac{302,5 \cdot (125,664^2 - 20,944^2)}{2 \cdot 20} = 116100 \text{ Bm},$$

$$P_3 = \frac{0,1 \cdot 125,664 \cdot 2960 \cdot 0,05 \cdot 9,81}{2} = 9119 \text{ Bm},$$

$$P_4 = (0,6)^5 \cdot 1200^3 \cdot 10^4 = 13440 \text{ Bm},$$

$$P_{\Sigma 3} = 63660 + 11610 + 9119 + 13440 = 202300 \text{ Bm}$$

4. Ділянка фугування:

$$P_1 = 0,$$

$P_2 = 0$, оскільки швидкість на початку і вкінці ділянки однакова;

$$P_3 = \frac{0,1 \cdot 125,664 \cdot 2960 \cdot 0,05 \cdot 9,81}{2} = 9119 \text{ Bm},$$

$$P_4 = (0,6)^5 \cdot 1200^3 \cdot 10^4 = 13440 \text{ Bm},$$

$$P_{\Sigma 4} = 0 + 0 + 9119 + 13440 = 22560 \text{ Bm}$$

5. Ділянка гальмування до швидкості розвантаження:

$$P_1 = \frac{165,85 \cdot (10,472^2 - 125,664^2)}{2 \cdot 20} = -65020 \text{ Bm},$$

$$P_2 = \frac{211,75 \cdot (10,472^2 - 125,664^2)}{2 \cdot 20} = -83020 Bm,$$

$$P_3 = \frac{0,1 \cdot 125,664 \cdot 2660 \cdot 0,05 \cdot 9,81}{2} = 8195 Bm,$$

$$P_4 = (0,6)^5 \cdot 1200^3 \cdot 10^4 = 13440 Bm,$$

$$P_{\Sigma 5} = -65020 - 83020 + 8195 + 13440 = -1264 Bm$$

Знак «-» біля потужності означає, що на цій ділянці енергіє рекуперується у мережу.

6. Ділянка розвантаження:

$$P_1 = 0,$$

$P_2 = 0$, оскільки швидкість на початку і вкінці ділянки однакова;

$$P_3 = \frac{0,1 \cdot 10,472 \cdot 2660 \cdot 0,05 \cdot 9,81}{2} = 692 Bm,$$

$$P_4 = (0,6)^5 \cdot 100^3 \cdot 10^4 = 8 Bm,$$

$$P_{\Sigma 6} = 0 + 0 + 683 + 8 = 692 Bm$$

З аналізу отриманих результатів видно, що динамічні режими розгону та гальмування є більш складними для приводного двигуна. Це чудово ілюструє діаграма необхідної потужності на фоні тахограми робочого циклу центрифуги.

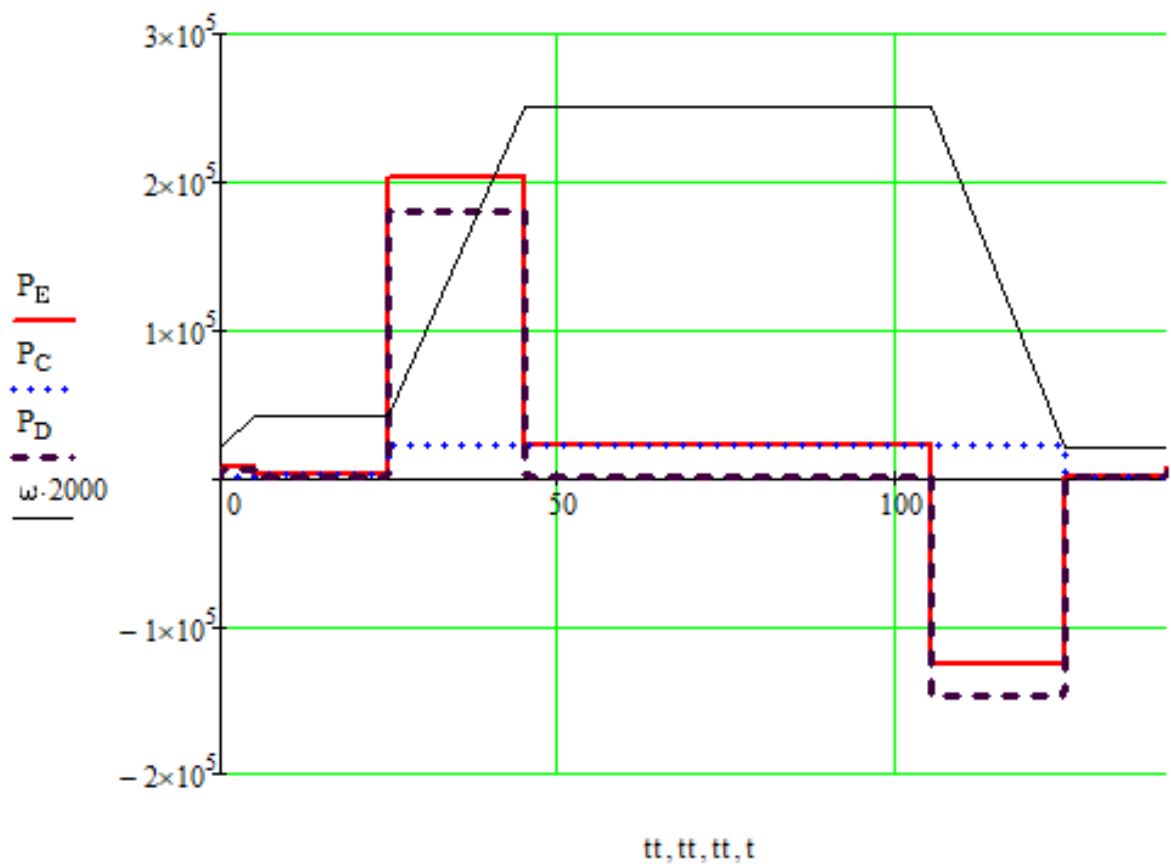


Рисунок 3.2 Діаграма розрахункової потужності центрифуги

На рис. 3.2 $P_c = P_3 + P_4$ – потужність, яка витрачається на статичне навантаження,

$P_D = P_1 + P_2$ – потужність, яка витрачається на динамічні навантаження,

P_Σ - загальна необхідна потужність.

Числові значення цих потужностей пиведено у табл. 3.2

Таблиця 3.2 Розрахункові значення потужностей на ділянках робочого циклу центрифуги

№	$\tau_i, \text{с}$	$\omega_{\text{поч}}, \text{рад/с}$	$\omega_k, \text{рад/с}$	$P_{ci}, \text{Вт}$	$P_{Di}, \text{Вт}$	$P_{\Sigma i}, \text{Вт}$
1	5	10,472	20.944	1069	5456	6525
2	20	20,944	20,944	1582	0	1582
3	20	20,944	125, 664	22560	179800	202300
4	60	125, 664	125, 664	22560	0	22560
5	20	125, 664	10, 472	21630	-148000	-126400
6	15	10, 472	10, 472	691	0	691

Як видно з розрахунків (табл.3.2) та діаграми (рис.3.2), найбільша потужність споживається на ділянці 3, коли відбувається розгін завантаженої центрифуги до швидкості фугування рівної 1200 об/хв.

Таким чином

$$P_{\text{розр}_{\text{max}}} = P_{\Sigma 3} = 202300 \text{ Вт} = 202,3 \text{ кВт}.$$

Для вибору номінальної потужності двигуна за (3.6) приймемо коефіцієнт запасу $k_{\text{зан}} = 1,2$. Тоді:

$$P_{\text{ном}} \geq 1,2 \cdot 202,3 = 242,76 \text{ кВт}$$

Таким чином приймаємо номінальну потужність двигуна привода центрифуги ФПН-1251 $P_{\text{ном}} = 250 \text{ кВт}$ з номінальною синхронною частотою обертання $n_{\text{ном}} = 1500 \text{ об/хв}$.

Висновки

Електропривод центрифуги працює в циклічному режимі. При виконанні технологічного процесу швидкість ротора центрифуги повинна змінюватись за заданими технологічними законами від 10 до 126 рад/с, що відображено на побудованій тахограмі циклу.

При цьому момент інерції обертової частини змінюється в залежності від завантаження барабана і є значно по відношенню до моменту інерції двигуна. Це та наявність у тахограмі роботи ділянок розгону та гальмування призводить до того, що динамічні моменти на валу двигуна значно більші за статичні.

Ця обставина зумовлює неможливість вибору потужності двигуна за статичним моментом. Тому було побудовано діаграму споживаної потужності у циклі роботи, що включає динамічні та статичні навантаження.

За цією діаграмою було прийнято номінальну потужність двигуна привода центрифуги ФПН-1251 $P_{ном} = 250 \text{ кВт}$.

4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода полягає в аналізі та оцінці технічних характеристик та економічних показників, щоб вибрати оптимальний варіант для конкретного застосування. Цей процес включає кілька ключових аспектів: технічних, економічних, інших важливих факторів.

Технічні аспекти вибору полягають у наступному:

- Вимоги до потужності та характеристик навантаження, що включають у собі аналіз необхідної потужності і крутного моменту та оцінку динамічного і статичного навантаження, режимів роботи.

- Параметри енергоефективності, що полягають у визначенні коефіцієнта корисної дії (ККД) електропривода та оцінка енергоефективності в умовах реальної експлуатації.

- Надійність і довговічність визначається за аналізом середнього часу безвідмовної роботи та здійснюється прогнозування строку служби без капітального ремонту.

- Сумісність і адаптивність: відповідність існуючим системам управління і обладнанню та можливість інтеграції з іншими компонентами системи.

- Умови експлуатації, до яких, наприклад, відносять врахування робочої температури, вологості, пилу та інших факторів середовища, визначення необхідного ступеня захисту (IP-рейтинг) тощо.

Економічні аспекти:

- Оцінка вартості придбання і встановлення, що полягає у аналізі початкових витрат на придбання електропривода та визначенні витрат на встановлення і налагодження.

- Оцінка експлуатаційних витрат: визначення вартості електроенергії, необхідної для роботи електропривода та аналіз витрат на технічне обслуговування і ремонти.
- Термін окупності: розрахунок терміну окупності інвестицій, враховуючи всі витрати і економію від підвищеної ефективності.
- Економія енергії: оцінка потенційної економії енергії при використанні більш ефективного привода.

До інших аспектів вибору відносять екологічні вимоги (відповідність екологічним стандартам і нормам, вплив на навколишнє середовище, включаючи рівень шуму і викидів), аналіз умов гарантії та доступності сервісного обслуговування, оцінка репутації виробника і постачальника.

Таким чином техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода дозволяє знайти баланс між технічними можливостями і економічною доцільністю, забезпечуючи оптимальне рішення для конкретних умов експлуатації.

4.1 Технічне обґрунтування вибору системи електропривода

Основними вимогами до електроприводу центрифуг є такі: забезпечення оптимальних динамічних режимів при постійному прискоренні та сповільненні центрифуги; стабілізація частоти обертання центрифуги під час завантаження, вивантаження та фугування.

Враховуючи великі моменти інерції центрифуг, динамічні режими розгону та гальмування супроводжуються протіканням значних струмів та призводять до нерівномірного споживання електроенергії з мережі. Це особливо важливо в умовах цукрового виробництва, система електропостачання якого працює автономно від генераторів власної ТЕЦ. Нерівномірність графіка споживання з різким зростанням чи спаданням ускладнює регулювання генерованої потужності, що є дещо інерційним і не завжди може відпрацювати за ним.

Це зумовлює необхідність плавного регулювання швидкості обертання ротора центрифуги від мінімальної ("повзучої") швидкості 10 об/хв до максимальної.

Наявність в робочому циклі ділянок гальмування важливість застосування економічного електроприводу, який забезпечує рекуперацію енергії в мережу під час гальмування.

Живлення електроприводу здійснюється від цехової трифазної мережі змінного струму з напругою 380 В стандартної частоти 50 Гц.

У якості електропривода центрифуг зустрічається використання багатошвидкісних асинхронних двигунів. Принцип роботи яких полягає в переключенні декількох наборів трифазних статорних обмоток по черзі та з включенням їх у зірку та трикутник. Таким чином досягають ступінчатого регулювання швидкості обертання барабана.

Однак, не зважаючи на простоту самого принципу роботи, така система має ряд суттєвих технічних недоліків. Ступінчастість регулювання призводить до складних ділянок розгонів та гальмування, що супроводжуються протіканням значних струмів та чинять перевантаження в системі електропостачання. Система керування перемиканням обмоток містить значну кількість комутаційної апаратури, що перемикають обмотки, а це ускладнює технічне обслуговування електроприводу та призводить до зниження надійності.

Для центрифуг підходить швидкодіючий електропривод постійного струму за системою ТП-Д. Вибір системи електроприводу для центрифуги залежить в основному від технологічного процесу, при цьому необхідно враховувати такі чинники, як необхідна швидкодія, капітальні та експлуатаційні витрати, ККД, складність і надійність електроприводу тощо.

До основних технічних недоліків такої системи відносять обмежену надійність: Щітки і колектори є механічними частинами, які схильні до зносу і пошкоджень, що може призводити до зниження надійності приводу.

Для регульованого приводу центрифуги можна застосувати також електропривод змінного струму за системою ПЧ-АД або електропривод з вентильним двигуном. За техніко-економічними показниками і експлуатаційними характеристиками приводи цих типів мають значні переваги порівняно з електроприводами постійного струму. Наразі застосування частотного регулювання швидкості обертання електродвигунів змінного струму стає промисловим стандартом. Це обумовлено досягненнями у сфері розробки і виготовлення сучасних перетворювачів частоти, які дозволяють реалізовувати найбільш економічні алгоритми управління двигуном для кожного конкретного технологічного процесу. Застосування частотно-регульованих електроприводів дозволяє зекономити від 20 до 50% електроенергії порівняно з іншими електроприводами, що не оснащені перетворювачами частоти.

4.2 Економічне обґрунтування вибору системи електроприводу

Для порівняння техніко-економічних показників системи електроприводу центрифуги розглядатимемо такі системи:

- тиристорний перетворювач із двигуном постійного струму (ТП-ДПС);
- багатошвидкісний асинхронний двигун з релейно-контакторною системою керування (БШД);
- перетворювач частоти – асинхронний двигун (ПЧ-АД).

Розглянемо ці варіанти з економічної точки зору. При виборі використаємо метод приведених витрат:

$$Z = E_n \cdot K + C, \quad (4.1)$$

де E_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності ($E_n=0,17$);

K – капіталовкладення, в які входять вартість двигуна D та системи керування СК;

C – витрати на обслуговування, що лягають у собівартість кінцевого товару.

$$C = C_p + C_a + C_0 + C_{\Delta W}, \quad (4.2)$$

де C_p – витрати на ремонт.

$$C_p = E_p \cdot K, \quad (4.3)$$

де E_p – коефіцієнт ($E_p = 0,02$)

C_a – амортизаційні відрахування.

$$C_a = E_a \cdot K, \quad (4.4)$$

де E_a – коефіцієнт ($E_a = 0,05$);

C_0 – витрати на технічне обслуговування.

$$C_0 = 0,05 \cdot (C_A + C_D + C_P). \quad (4.5)$$

$C_{\Delta W}$ – витрати на електроенергію.

$$C_{\Delta W} = m_0 \cdot \Delta W, \quad (4.6)$$

де m_0 – вартість електроенергії;

ΔW – кількість втраченої електроенергії за рік.

$$\Delta W = \Delta P \cdot T_p, \quad (4.7)$$

де T_p – річний час роботи механізму.

Час роботи механізму за рік:

$$T_p = d \cdot z \cdot t, \quad (4.8)$$

де d – кількість робочих днів (для підприємств цукрової галузі у середньому $d = 100$);

z – кількість змін ($z = 2$);

t – кількість робочих годин в зміні ($t = 12$).

$$T_p = 100 \cdot 2 \cdot 12 = 2400 \text{ (год)}.$$

Середня вартість електроенергії для непобутових споживачів на енергоринку з врахуванням доставки $m_0 = 8 \text{ грн}$ в 2023 році.

Втрати потужності:

$$\Delta P = k_3 \cdot P_H \cdot (1 - \eta_d) / \eta_d, \quad (4.9)$$

де k_3 – коефіцієнт завантаження ($k_3=0,5$).

η_d – ККД двигуна ($\eta_d = 0,925$ для асинхронного двигуна).

Термін окупності:

$$T = K / Z. \quad (4.10)$$

Здійснимо розрахунок техніко економічних показників для системи ПЧ-АД. Вартість асинхронного двигуна складає 331 тис. грн, а системи керування – 1250 тис. грн.

Тоді капітальні витрати:

$$K = 331 + 1250 = 1581 \text{ тис.грн.}$$

Річні капітальні витрати:

$$K_{\text{річні}} = 0,17 \cdot 1581 = 268,77 \text{ тис. грн.}$$

Витрати на амортизацію:

$$C_a = 0,05 \cdot 1581 = 79,05 \text{ тис. грн.}$$

Витрати на ремонт:

$$C_p = 0,02 \cdot 1581 = 31,62 \text{ тис. грн.}$$

Витрати на електроенергію:

$$\Delta P = 0,5 \cdot 250 \frac{1 - 0,925}{0,925} = 10,135 \text{ кВт};$$

$$\Delta W = 10,135 \cdot 2400 = 24320 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

$$C_{\Delta W} = 0,008 \cdot 24320 = 194,595 \text{ тис. грн.}$$

Витрати на технічне обслуговування:

$$C_o = 0,05 \cdot (79,05 + 31,62 + 194,595) = 15,263 \text{ тис. грн.}$$

Загальні витрати:

$$C = 79,05 + 31,62 + 194,595 + 15,263 = 320,528 \text{ тис. грн.}$$

Таким чином приведені затрати складуть:

$$З = 268,77 + 320,528 = 589,298 \text{ тис. грн.}$$

Аналогічним чином здійснимо розрахунок техніко-економічних показників для системи ТП-ДПС. Вартість двигуна постійного струму складає 540 тис. грн, а системи керування – 700 тис. грн. Для системи ТП-ДПС приймемо $E_a = 0,1$; $E_p = 0,05$, оскільки загальна надійність такої системи дещо нижче від ПЧ-АД; $ККД = 92\%$

Тоді капітальні витрати:

$$K = 540 + 700 = 1240 \text{ тис.грн.}$$

Річні капітальні витрати:

$$K_{річні} = 0,17 \cdot 1240 = 210,8 \text{ тис.грн.}$$

Витрати на амортизацію:

$$C_a = 0,1 \cdot 1240 = 124 \text{ тис. грн.}$$

Витрати на ремонт:

$$C_p = 0,05 \cdot 1240 = 62 \text{ тис. грн.}$$

Витрати на електроенергію:

$$\Delta P = 0,5 \cdot 250 \frac{1 - 0,92}{0,92} = 10,87 \text{ кВт};$$

$$\Delta W = 10,87 \cdot 2400 = 26090 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$C_{\Delta W} = 0,008 \cdot 26090 = 208,696 \text{ тис. грн.}$$

Витрати на технічне обслуговування:

$$C_o = 0,05 \cdot (124 + 62 + 208,696) = 15,263 \text{ тис. грн.}$$

Загальні витрати:

$$C = 124 + 62 + 208,696 + 15,263 = 414,43 \text{ тис. грн}$$

Таким чином приведені затрати складуть:

$$З = 210,8 + 414,43 = 625,23 \text{ тис. грн}$$

Аналогічно для системи БШД. Вартість багатошвидкісного асинхронного двигуна складає 560 тис. грн, а системи керування – 300 тис. грн. Для системи ТП-ДПС приймемо $E_a = 0,05$; $E_p = 0,03$, оскільки загальна надійність такої системи дещо нижче від ПЧ-АД; $ККД = 85 \%$

Тоді капітальні витрати:

$$K = 560 + 300 = 860 \text{ тис. грн.}$$

Річні капітальні витрати:

$$K_{річні} = 0,17 \cdot 860 = 146,2 \text{ тис. грн.}$$

Витрати на амортизацію:

$$C_a = 0,05 \cdot 860 = 43 \text{ тис. грн.}$$

Витрати на ремонт:

$$C_p = 0,03 \cdot 860 = 25,8 \text{ тис. грн.}$$

Додаткові витрати на електроенергію:

$$\Delta P = 0,5 \cdot 250 \frac{1 - 0,85}{0,85} = 22,059 \text{ кВт} ;$$

$$\Delta W = 22,059 \cdot 2400 = 52940 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$C_{\Delta W} = 0,008 \cdot 52940 = 423,529 \text{ тис. грн.}$$

Витрати на технічне обслуговування:

$$C_o = 0,05 \cdot (43 + 25,8 + 423,529) = 24,616 \text{ тис. грн.}$$

Загальні витрати:

$$C = 43 + 25,8 + 423,529 + 15,263 = 516,946 \text{ тис. грн}$$

Таким чином приведені затрати складуть:

$$З = 146,2 + 516,946 = 663,146 \text{ тис. грн}$$

Результати розрахунків зведемо до табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Порівняльна таблиця економічних показників

Показник	Системи електропривода		
	ТП-Д	ПЧ-АД	БШД
Потужність двигунів, кВт	250	250	250
Вартість двигунів Д, тис. грн.	331	540	560
Вартість системи керування СК, тис. грн.	1250	700	300
Капітальні затрати К, тис. грн.	1581	1240	860
Річні капітальні затрати $K_{річні}$, тис. грн.	268,77	210,8	146,2
Амортизаційні відрахування C_A , тис. грн./рік	79,05	124	43
Відрахування на ремонт C_P , тис. грн./рік	31,62	62	25,8
Додаткові відрахування $C_{\Delta W}$, тис. грн./рік	194,595	208,96	423,529
Відрахування обслуговування C_O , тис. грн./рік	15,263	19,735	24,616
Загальні відрахування С, тис. грн./рік	320,528	414,43	516,946
Приведені затрати З, тис. грн./рік	589,298	625,23	663,146

Висновки

Аналізуючи показники таблиці 4.1, можна зробити висновок, що найбільш вигідними з економічної точки зору є система ПЧ-АД, оскільки вона має найменше значення приведених витрат. З точки зору енергозбереження, надійності функціонування та динамічних характеристик електропривода, дана система також є найкращою.

Оскільки в нашому випадку ключовим критерієм вибору системи електропривода є рівень споживання електроенергії, обираємо систему ПЧ-АД. Використання плавного частотного запуску забезпечить:

- обмеження пускових струмів двигуна та виключення значних коливань механічного моменту при прямому запуску двигуна від мережі, що підвищує довговічність двигуна і механічної частини;
- зменшення теплових ударних навантажень при прямому запуску;
- уникнення підвищених електродинамічних зусиль в обмотках двигуна, які можуть призводити до механічного руйнування ізоляції обмоток;
- виключення великих пускових струмів в мережах, що особливо важливо на підприємствах цукрової галузі, які працюють автономно від власної ТЕЦ та можуть мати недостатню потужність електроенергетичних систем.

5. ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА ТА ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СИЛОВИХ КІЛ.

5.1. Вибір та перевірка електродвигуна головного електропривода центрифуги

Враховуючи розрахункову потужність електродвигуна ротора центрифуги вибираємо асинхронний двигун типу АІР 355 У3 потужністю 250 кВт та номінальною частотою 1490 об/хв

Характеристики двигуна типу АІР 355 У3 приведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Паспортні характеристики двигуна типу АІР 355 У3

Параметр, одиниця вимірювання	Позначення	Значення
Потужність, кВт	$P_{\text{ном}}$	250
Частота обертання, об/хв	$n_{\text{ном}}$	1490
Струм статора, А	$I_{\text{Iном}}$	443
Коефіцієнт потужності	$\cos\varphi$	0,9
ККД	η	0,925
Напруга статора, В	$U_{\text{Iн}}$	380
Частота мережі живлення, Гц	f	50
Кількість фаз	m	3
Кратність пускового моменту	$\lambda_{\text{п}}$	2,1
Кратність пускового струму		6,9
Кратність максимального моменту	λ_{max}	2,2
Кількість пар полюсів	$2p$	2
Момент інерції, кг·м ²	J_p	6,5
Маса, кг	m	1720

Для перевірки двигуна за моментом побудуємо навантажувальну діаграму електроприводу. На кожній ділянці тахограми робочого циклу знайдемо необхідний момент, як суму двох складових: статичного та динамічного моментів.

Статичний момент електропривода рівний статичному моменту механізму, оскільки електропривод обертає ротор центрифуги напряду без редуктора. Його можна обрахувати за виразом:

$$M_{Ci} = \frac{P_{Ci}}{\omega_i} \quad (5.1)$$

де P_{Ci} - потужність, що витрачається на додання статичних навантажень i -ї ділянки тахограми, розрахована у розділі 3;

ω_i - швидкість обертання ротора центрифуги i -ї ділянки (для ділянки розгону та гальмування береться більше значення).

Динамічний момент йде на додання інерції обертової частини центрифуги та знаходиться за виразом:

$$M_{Di} = J_i \frac{\omega_{ki} - \omega_{поч i}}{t_i} \quad (5.2)$$

Де J_i - момент інерції обертової частини i -ї ділянки;

$\omega_{ki}, \omega_{поч i}$ - швидкості обертання в кінці і на початку ділянки;

t_i - тривалість i -ї ділянки.

Здійснимо обрахунок моментів для 1-ї ділянки:

$$M_{C1} = \frac{1069}{20,944} = 51,023 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{D1} = 165.85 \frac{20.944 - 10.472}{5} = 347,355 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\Sigma 1} = 51,023 + 347,355 = 398.378 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Аналогічно здійснимо обрахунок для решти ділянок тахограми, а результати зведемо до табл. 5.2

Таблиця 5.2 Статичні та динамічні моменти ротора центрифуги

№	$\tau_i, \text{с}$	$\omega_{\text{поч}},$ рад/с	$\omega_k, \text{рад/с}$	$M_{\text{ci}}, \text{Нм}$	$M_{\text{Di}}, \text{Нм}$	$M_{\Sigma i}, \text{Нм}$
1	5	10,472	20,944	51	347	398
2	20	20,944	20,944	76	0	76
3	20	20,944	125,664	180	2452	2632
4	60	125,664	125,664	179	0	179
5	20	125,664	10,472	172	-2175	-2003
6	15	10,472	10,472	66	0	66

Отримані у табл. 5.2 дані дозволяють побудувати навантажувальну діаграму, подано на рис. 5.1.

З навантажувальної діаграми видно, що найбільші моменти механізму пов'язані з динамічними режимами розгону та гальмування. Найбільше значення сумарного моменту механізм має на 3 ділянці:

$$M_{\text{мех max}} = 2632 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Номінальне значення моменту приводного двигуна визначається з паспортних даних за виразом:

$$M_{\text{ном}} = 9550 \cdot \frac{P_{\text{ном}}}{n_{\text{ном}}} = 9550 \frac{250}{1490} = 1602 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (5.3)$$

Максимальне значення крутного моменту обраного двигуна:

$$M_{\text{кр}} = \lambda_{\text{max}} M_{\text{ном}} = 2.1 \cdot 1602 = 3365 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (5.4)$$

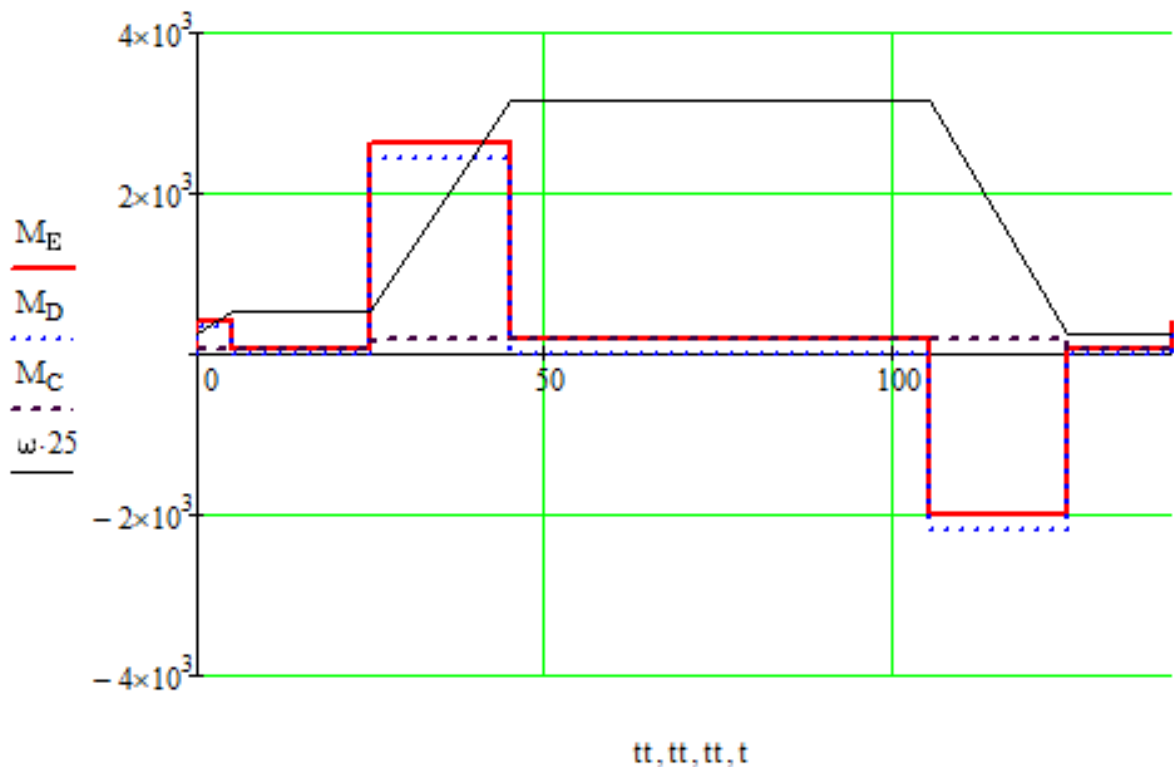


Рисунок 5.1 Навантажувальна діаграма електропривода центрифуги

Для перевірки перевантажувальної здатності повинна виконуватись умова:

$$0,9 \cdot M_{KP.} > M_{\text{max}} \cdot \quad (5.5)$$

$$0,9 \cdot 3365 > 2632. \quad (5.6)$$

Оскільки дана умова виконується, то можна зробити висновок, що перевантажувальна здатність двигуна знаходиться в дозволеніх межах, а отже, двигун обрано вірно.

5.2 Вибір перетворювального пристрою

У системі електропривода ПЧ-АД перетворювальним пристроєм, що забезпечує регулювання швидкості обертання двигунів є перетворювач частоти (ПЧ).

Перетворювач частоти - це електронний пристрій, що перетворює напругу змінного струму промислової частоти в змінну напругу регульованої

амплітуди та частоти. Вихідна частота сучасних перетворювачів може варіюватися в широкому діапазоні і бути як вищою, так і нижчою за частоту живильної електромережі.

Будь-який перетворювач частоти складається з силової та керуючої частин. Силу частину зазвичай виконують на тиристорах або IGBT-транзисторах, які працюють як електронні ключі. Керуюча частина, побудована на цифрових мікропроцесорах, забезпечує управління силовими ключами, а також виконує численні допоміжні функції, такі як контроль, діагностика та захист.

На виході ПЧ за допомогою широтно-імпульсної модуляції формується напруга, діюче значення та частота якої є регульованою й можуть змінюватись в широких межах, при цьому співвідношення між діючим значенням напруги та значенням частоти може бути різним.

Якщо між напругою та частотою є прямий математичний зв'язок, то така система керування має назву скалярною і вона може реалізовувати один з двох основних законів регулювання: лінійний та квадратичний.

Більш досконалими є алгоритми векторного керування, що дозволяють забезпечити точність регулювання та нівелюють вплив різних сторонніх факторів (коливання напруги живлення, зміну навантаження тощо). Завданням системи керування є забезпечення чіткого виконання заданій тахограмі роботи електропривода ротора центрифуги. Тому для електропривода центрифуги варто застосовувати перетворювачі частоти, які використовують алгоритми векторного керування.

Для нашої схеми з врахуванням номінальної потужності двигуна, режимів його роботи був обраний частотний перетворювач марки Schneider серії ATV930. На рисунку 3.2 подано зовнішній вигляд ПЧ ATV930C31N4C, а у таблиці 3.3 наведено його характеристики.



Рисунок 5.2 Зовнішній вигляд ПЧ ATV930C31N4C

Таблиця 5.3 Основні технічні характеристики ПЧ ATV930C31N4C

Номінальна напруга мережі, В	380...440
Потужність двигуна, кВт	315,0 - норм. режим роботи 250,0 - важкий режим роботи
Ступінь захисту за IP	IP21
Номінальна частота комутації	2.5 kHz
Лінійний струм	569,0 А на 380 V (норм. режим роботи) 457,0 А на 380 V (важкий режим роботи) 461,0 А на 480 V (норм. режим роботи) 375,0 А на 480 V (важкий режим роботи)
Максимальний струм у перехідних режимах	739 А протягом 60 с (норм. режим роботи) 722 А протягом 60 с (важкий режим роботи)
Кількість дискретних входів	16
Кількість релейних виходів	3
Фізичний інтерфейс	Ethernet 2-провідний RS 485

Обраний ПЧ дозволяє керувати швидкістю обертання двигуном потужністю 250 кВт у важких режимах, що відповідає розрахунковим режимам роботи центрифуги ФПН – 1251.

Його внутрішня структурна схема та схема підключення силових кіл зображена на рис. 5.3.

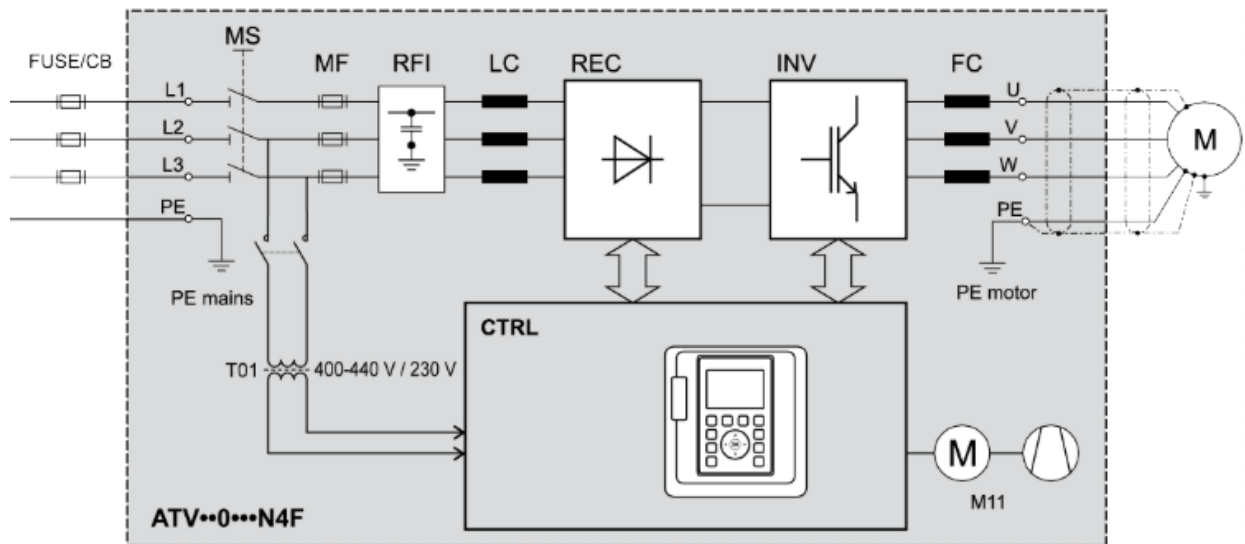


Рисунок 5.3 Структурна схема ПЧ ATV930C31N4C

ПЧ має такі основні елементи:

- вхідний контактор MS;
- плавкі запобіжники для захисту від надструмів короткого замикання MF;
- вхідні фільтри RFI та LC, які забезпечують електромагнітну сумісність з мережею;
- випрямляч змінного струму REC, що перетворює змінну напругу мережі у постійну;
- інвертор INV, виконаний на IGBT, що формує за допомогою широтно-імпульсної модуляції напругу на виході;
- вихідний фільтр FC;
- система керування CTRL, що здійснює керування ключами REC та INV, здійснюючи запрограмовані алгоритми на основі вбудованих

(сенсорів вхідних та вихідних струму та напруги) або виносних (сенсорів положення ротора, температури тощо) пристроїв.

- напруга мережі під'єднується через плавкі запобіжники до вхідних клем L1..L3, двигун під'єднується до вихідних клем U, V, W.

Структурна схема блоку регуляторів алгоритму векторного керування представлена на рис. 5.4

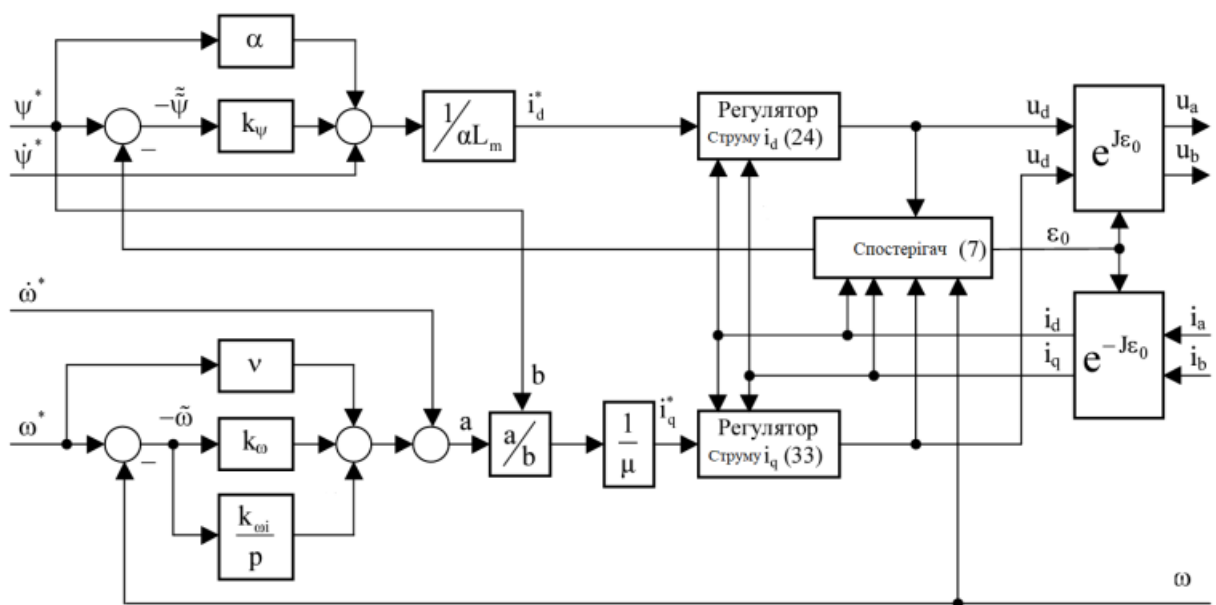


Рисунок 5.4 – Структурна схема алгоритму векторного керування

Завдяки можливості вибрати структуру спостерігача та параметри його коригувальних зв'язків досягається точність та нечутливість до параметричних збурень АД.

Завдання на керування може бути реалізовано за допомогою аналогового входу, дискретних входів, вручну від задатчика або за допомогою інтерфейсу RS – 485, що дозволяє інтегрувати ПЧ в систему керування технологічним процесом, виконуючи задані ним завдання щодо швидкості. Зокрема, таким чином можна реалізувати виконання тахограми робочого циклу.

Ще одним завданням системи керування є захист елементів електропривода, двигуна від різних аварійних режимів: струмів короткого замикання, обрив лінійного провідника, перевантаження тощо.

Висновки

Отже, у розділі на підставі визначених параметрах та опису режимів роботи було вибрано двигун AIP 355 УЗ потужністю 250 кВт та номінальною частотою обертання 1450 об/хв. Побудова навантажувальної характеристики дала змогу перевірити відповідність моменту двигуна з механізмом. Керування головним електроприводом центрифуги ФПН 1251 буде здійснюватись за допомогою перетворювача частоти Schneider ATV930C31N4C.

6. СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ЦЕНТРИФУГИ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ

Сучасна приладобудівна промисловість випускає безліч різноманітних засобів автоматизації, які відповідають вимогам цукрового виробництва. Одночасно в цукровій промисловості розробляються та успішно впроваджуються спеціальні прилади та пристрої, необхідні через специфічні властивості продуктів.

Впровадження засобів автоматизації в цукрову промисловість значною мірою залежить від правильного вибору типів і місць встановлення сенсорів та виконавчих механізмів.

На рис. 6.1 подано структурну схему центрифуги утфелю 1 продукту, як об'єкту автоматизації.

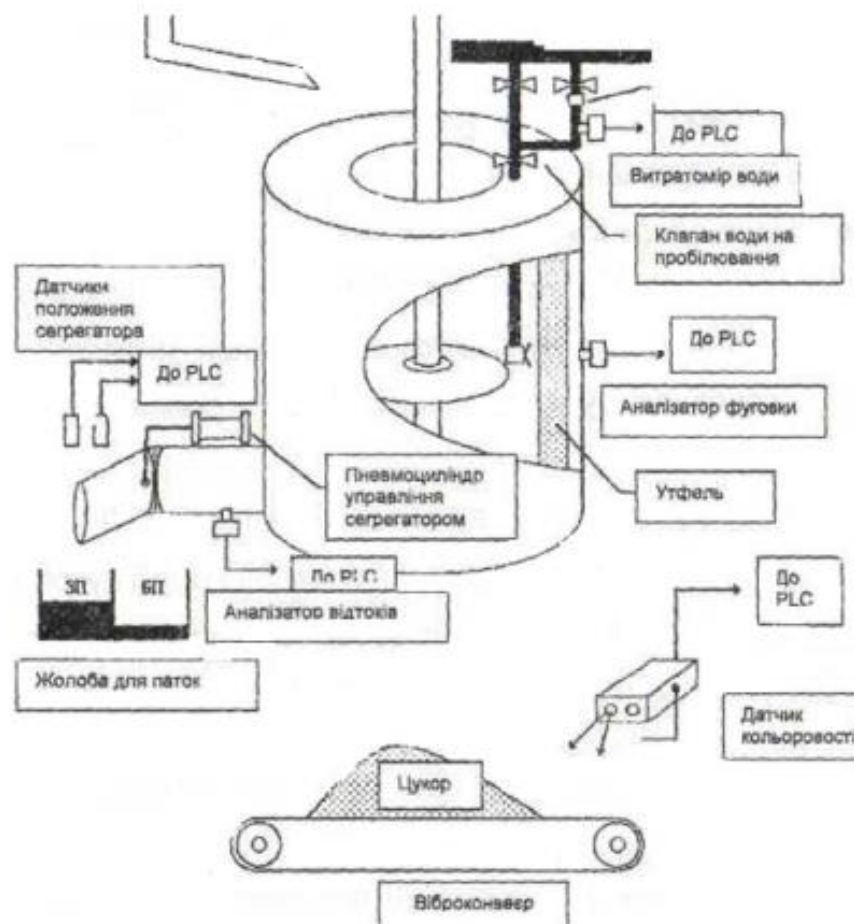


Рисунок 6.1 Структурна схема центрифуги 1 продукту як об'єкта автоматизації

Виконання технологічного процесу забезпечується програмованим логічним контролером PLC та певною кількістю допоміжних виконавчих механізмів, дискретних сенсорів положень цих механізмів та аналогових сенсорів. До них належать:

- електромагніт шибера, що здійснює завантаження утфелю;
- дискретний сенсор положення шибера;
- аналоговий сенсор завантаження утфелю;
- аналоговий сенсор – аналізатор відтоків;
- електромагнітний запірний клапан, що вмикає воду на пробілку;
- аналоговий витратомір води;
- електромагніт керування пневматичним циліндром керування сегрегатором;
- дискретний сенсор положення сегрегатора;
- електромагніт керування пневматичним циліндром керування конусом, що здійснює вивантаження утфелю;
- дискретний сенсор положення конуса;
- аналоговий сенсор кольоровості, що визначає колір вивантаженого утфелю та здійснює поправку на кількість води для промивки цукру.

Усі ці сенсори з'єднанні з аналоговими та дискретними входами та дискретними виходами контролера у відповідності до табл. 6.1.

Таблиця 6.1 Під'єднання сенсорів до PLC

DI1	дискретний сенсор положення шибера
DI2	дискретний сенсор положення сегрегатора
DI3	дискретний сенсор положення конуса
AI1	аналоговий сенсор завантаження утфелю
AI2	аналоговий сенсор – аналізатор відтоків
AI3	аналоговий витратомір води
AI4	аналоговий сенсор кольоровості
DO1	електромагніт шибера
DO2	електромагнітний клапан води на пробілку
DO3	електромагніт сегрегатора
DO4	електромагніт керування конусом
DO5	Електропривод охолодження головного двигуна
RS485	Зв'язок з ПЧ головногоприводу

Таким чином для автоматизації технологічного процесу фугування необхідний контролер із щонайменше трьома дискретними входами, чотирма аналоговими входами та чотирма дискретними виходами.

Вибір контролера, сенсорів та виконавчих механізмів розробка програмного забезпечення не входять в пропоновану роботу. Задачею є лише розробка загальної структурної схеми та визначення послідовності виконання задач, подана на рис. 6.2.

На рисунку 6.2 зображено під'єднання силових кіл, що живиться від промислової трифазної мережі з напругою 0,4 кВ через силовий автоматичний вимикач QF1, призначений для захисту від надструмів короткого замикання. Перетворювач частоти ALT930 головного електропривода додатково захищені плавкими запобіжниками F1..F3, а його двигун під'єднаний до вихідних клем U, V, W.

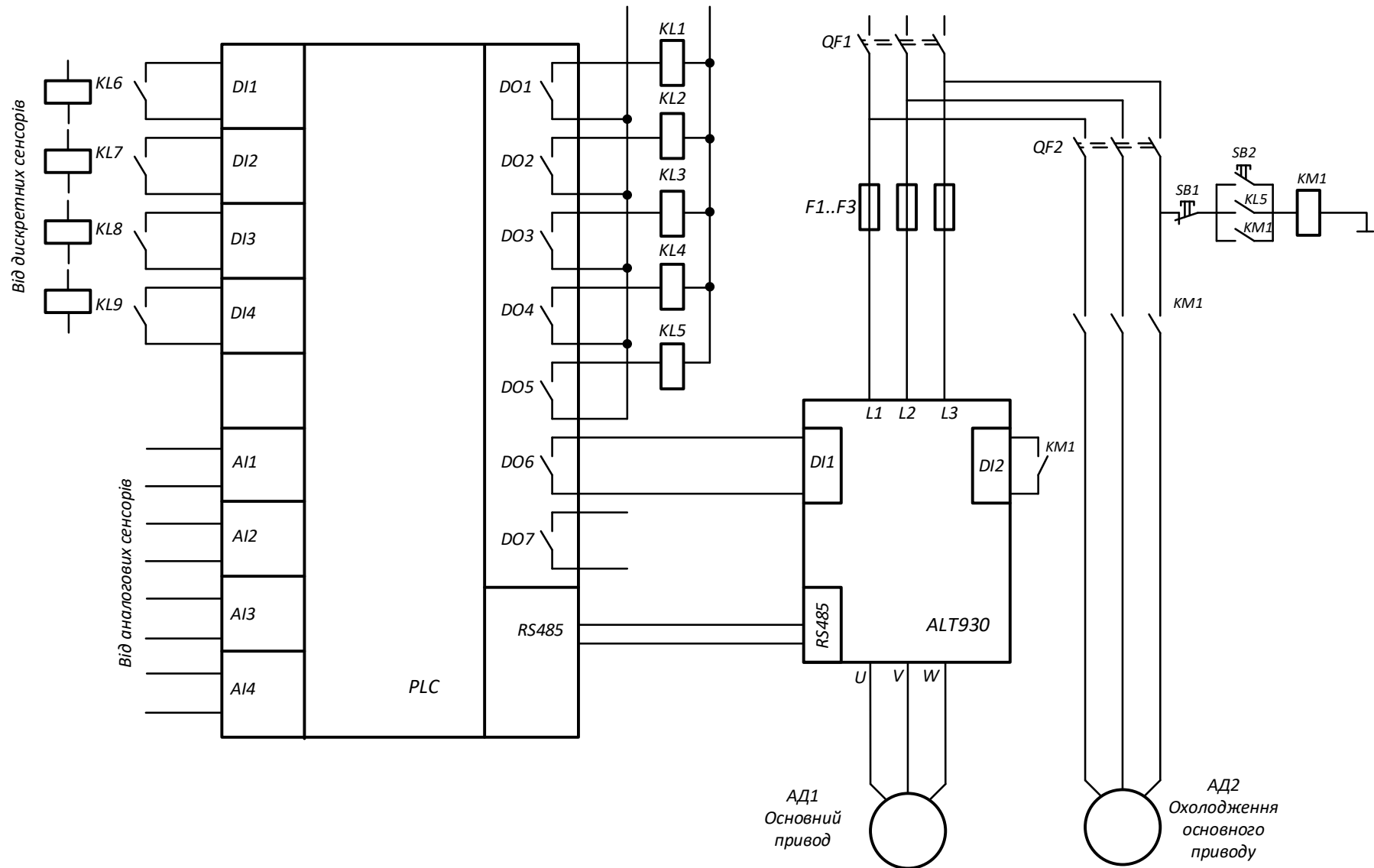


Рисунок 6.2 Схема електрична принципова підключення системи електропривода центрифуги

Також силові кола містять підключення додаткового електропривода АД2, що здійснює охолодження двигуна головного привода. Він захищений автоматичним вимикачем QF2 та пускається в роботу магнітним контактором КМ1 за одним з двох способів: ручним за допомогою кнопок SB1 та SB2 або автоматичним за допомогою проміжного реле KL5, що керується дискретним виходом DO5 контролера.

Схема пуску в роботу ПЧ відбувається від PLC за допомогою програмованого дискретного входу ПЧ DI1 з дозволом схеми включення двигуна охолодження. Для цього контакт КМ1 під'єднано до програмованого дискретного входу DI2.

Схема автоматизованої системи керування технологічним процесом включає у себе контролер PLC з описаними у табл. 6.1 входами та виходами. Дискретні виходи DO1..DO5 гальванічно розв'язані від виконавчих механізмів проміжними реле KL1..KL5 відповідно.

Дискретні сенсори положення механізму під'єднані до входів DI1..DI4 теж через проміжні реле KL6..KL9 відповідно, а аналогові сенсори - до аналогових входів AI1..AI4.

Зв'язок між контролером та перетворювачем частоти здійснюється за протоколом RS485 за допомогою якого відбуваються команди керування швидкістю обертання ротором центрифуги та береться зворотний зв'язок за станом та основними параметрами електропривода.

Роботу системи автоматизації пояснюють часові діаграми на рис. 6.2.

Після розгону ротора центрифуги до швидкості завантаження ω_1 PLC формує на своєму виході DO1 сигнал для включення шибера і відбувається завантаження.

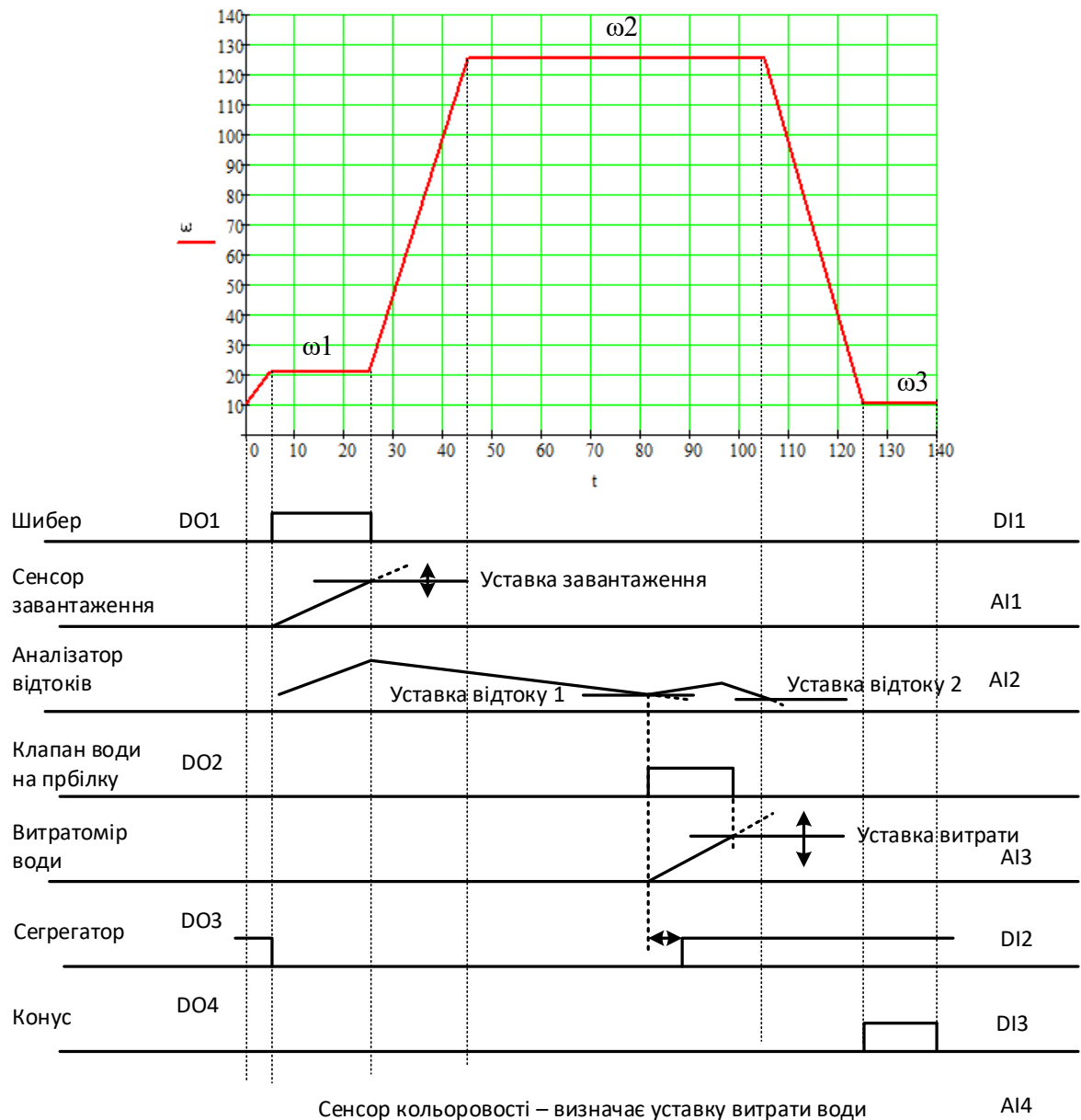


Рисунок 6.2 Часові діаграми роботи системи автоматизованого керування технологічним процесом

Рівень завантаження визначається за аналоговим сенсором завантаження, з'єднаним з аналоговим входом AI1. При досягненні значення аналогової величини на цьому вході наперед заданої уставки з виходу DO1 забирається сигнал і шибер закривається. Таким чином час завантаження визначається об'ємом завантаженого утфелю та швидкості, з якою здійснюється його завантаження

Про закриття шибера сигналізує сенсор положення шибера, оскільки зникає сигнал на дискретному вході DI1. Це дає дозвіл на розгін ротора центрифуги до швидкості фугування ω_2 . Час розгону визначається параметрами головного електропривода й задається при налаштуванні ПЧ.

Під час розгону розпочинається й на швидкості ω_2 продовжується відфільтровування зеленої патоки, так як сегрегатор знаходиться в цьому стані. Система обладнана аналоговим сенсором – аналізатором відтоків, який під'єднаний до аналогового входу AI2. При зменшенні відтоку зеленої патоки зменшується відповідно рівень аналогового сигналу на вході AI2 й при досягненні ним значення уставки відтоку 1 на дискретному виході DO2 формується сигнал, що відкриває електромагнітний запірний клапан, що включає воду на пробілку.

Через невеликий проміжок часу визначений технологами на виході DO3 формується сигнал, який переключає сегрегатор на видалення білої патоки. Кількість води на пробілку контролюється витратоміром води, під'єднаним до аналогового входу AI3. При досягненні уставки витрати води на дискретному виході DO2 зникає сигнал й пробілка припиняється.

Ця уставка визначається на підставі аналогового сигналу AI4, до якого під'єднано вихід сенсору кольоровості вивантаженого на трясун цукру. Якщо цукор має темний колір, тоді в наступному циклі буде збільшена уставка води для промивки цукру пропорційно рівню сигналу.

Після закінчення промивки протягом ще деякого часу буде відфільтровуватись біла патока. Це буде продовжуватись доти, поки рівень сигналу на AI2 не зменшиться до уставки відтоку 2. Тоді по RS – 485 подається завдання ПЧ на гальмування, час якого є технічним параметром, заданим ПЧ при налаштуванні.

Після зменшенні швидкості ротора центрифуги до швидкості вивантаження на виході DO4 формується сигнал, який включає виконавчий механізм підняття конуса у нижній частині барабана і цукор вивантажується на трясун.

Після цього процес повторюється.

Таким чином технологічний персонал визначають:

- об'єм завантаженого утфелю;
- час між включенням промивки й переключенням сегрегатора;
- уставки 1 та 2 відтоку зеленої та білої патоки відповідно.

Для обслуговуючого персоналу для контролю над технічними та технологічними показниками надзвичайно важливим є зручна взаємодія. Це відбувається за допомогою панелі керування у межах створеної SCADA системи, зовнішній вигляд якої може виглядати як показано на рис. 6.3



Рисунок 6.3 Можлива візуалізація технологічного процесу

Технічний персонал, що обслуговує автоматизований електропривод визначають час розгону та гальмування, керуючись допустимими динамічними навантаженнями електроприводу у цих режимах.

Решту задач система автоматизованого керування технологічним процесом виконує в автоматичному режимі.

Висновки до розділу

Головний електропривод центрифуги є складовою автоматизованого технологічного процесу центрифугування утфелю першого продукту цукрового заводу.

Тому система керування електроприводом є частиною системи керування технологічним процесом, що окрім нього включає у себе керування різного роду виконавчими механізмами та допоміжними електроприводами.

Система також обладнана дискретними сенсорами положення механізмами, а також аналоговими сенсорами завантаження утфелю, витрати води на промивку, відтоку патоки та її кольору. У розділі розроблено схему керування технологічним процесам.

7. ОХОРОНА ПРАЦІ

У цьому розділі бакалаврської роботи розробляються заходи з охорони праці під час монтажу та експлуатації системи керування електродвигуна головного приводу центрифуги цукрового заводу. Отже, на оперативно-ремонтний персонал, що здійснює монтаж та експлуатацію системи керування електродвигуна, впливають такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо);
- хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії (пил);
- фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: інтелектуальні, сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

7.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту

7.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць в пожежонебезпечних зонах

Вимоги поширюються на електроустановки, що розміщуються в пожежонебезпечних зонах всередині і зовні приміщень. До експлуатації в пожежонебезпечних зонах допускається електрообладнання, що відповідає

вимогам з урахуванням показників пожежо- вибухонебезпеки матеріалів (рідин, пилу, волокон).

Електрообладнання з частинами, що іскрять під час нормальної роботи або нагріваються понад небезпечні температури (тобто є імовірними джерелами займання) рекомендується встановлювати поза межами пожежонебезпечних зон. Для забезпечення ступеня захисту оболонок електрообладнання від проникнення пилу на рівні IP54, кришки, інші з'ємні частини оболонки і місця вводу кабелів слід ущільнювати за допомогою еластичних (гумових) прокладок, ущільнювальних кілець, сальників тощо.

Відкриті частини електричних машин, які нормально іскрять (наприклад, контактні кільця), слід розташовувати на відстані не менше 1 м від місць розміщення горючих матеріалів, або відокремлювати від них екраном з негорючого матеріалу. Переносні електричні ручні машини (електрифікований інструмент), які застосовуються в пожежонебезпечних зонах, повинні мати ступінь захисту оболонок не менше IP44.

При використанні електронагрівальних приладів їх робочі частини, які нагріваються, слід захищати від контакту з горючими речовинами, а самі прилади встановлювати на поверхні із негорючих матеріалів і відділяти від горючих речовин екранами.

Електроустановки в пожежонебезпечних зонах будь-яких класів в разі необхідності повинні мати апарати, що відключають частково або повністю технологічне і сантехнічне устаткування у випадках аварій і пожеж. Обсяг відключення визначається технологами і сантехніками проектної організації і спеціалістами служб охорони праці, з урахуванням особливостей технологічного процесу. В пожежонебезпечних зонах всіх класів рекомендується використовувати силові і освітлювальні розподільчі пункти, що мають ступінь захисту оболонок IP54. Електрообладнання вантажопідіймальних механізмів (кранів, талей тощо), котрі перебувають в пожежонебезпечних зонах і зв'язані з технологічним процесом, повинне мати ступінь захисту оболонок згідно ПВЕ (як для пересувних механізмів) [3].

В пожежонебезпечних зонах слід використовувати світильники, що мають ступінь захисту не менший, ніж IP44. Світильники з лампами розжарювання не повинні мати відбивачів і розсіювачів з горючих матеріалів. В разі встановлення світильників, що не мають штепсельних роз'ємів, на металевих кронштейнах (стійках), заземлення кронштейна слід забезпечувати жорстким кріпленням до нього заземленого металевого корпусу. В свою чергу, заземлення корпусу світильника слід виконати за допомогою перемички між заземлювальним і нульовим затискачами всередині ввідного пристрою світильника. В пожежонебезпечних зонах всіх класів крім захисту від струмів КЗ провідники освітлювальних мереж слід захищати від перевантажень. Крім того, від перевантажень слід захищати силові мережі, які прокладаються в пожежонебезпечних зонах складських приміщень, і в інших випадках, якщо перевантаження може виникнути за умовами технологічного процесу. В пожежонебезпечних зонах будь-якого класу кабелі і проводи повинні мати покриття і оболонку з матеріалів, що не розповсюджують горіння.

Складські приміщення з пожежонебезпечними зонами будь-якого класу, які замикаються, повинні мати апарати для відключення іззовні силових і освітлювальних МЕРЕЖ незалежно від наявності апаратів для відключення всередині приміщень. В пожежонебезпечних зонах будь-якого класу складських приміщень забороняється застосування електронагрівальних приладів.

7.1.2 Електробезпека

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

Категорія умов по небезпеці електротравматизму – особливо небезпечні, так як виконуються назовні. Технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

- 1) Для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмопровідними елементами електроустаткування, необхідно:

- розміщувати неізольовані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах;
- використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки;
- підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

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

3) Електрозахисні засоби захисту

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

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

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

Є неприпустимими:

- експлуатація кабелів та проводів з пошкодженою або такою, що втратила захисні властивості за час експлуатації, ізоляцією; залишення під напругою кабелів та проводів з неізольованими провідниками;
- застосування саморобних подовжувачів, які не відповідають вимогам до переносних електропроводок;
- застосування для опалення приміщення нестандартного (саморобного) електронагрівального обладнання або ламп розжарювання;
- користування пошкодженими розетками, розгалужувальними та з'єднувальними коробками, вимикачами та іншими електровиробами, а також лампами, скло яких має сліди затемнення або випинання.
- підвішування світильників безпосередньо на струмопровідних проводах, обгортання електроламп і світильників папером, тканиною та іншими горючими матеріалами, експлуатація їх зі знятими ковпаками (розсіювачами);
- використання електроапаратури та приладів в умовах, що не відповідають вказівкам (рекомендаціям) підприємств-виготовлювачів.

Металеві труби та гнучкі металеві рукави повинні бути заземлені. Заземлення повинно відповідати вимогам ДНАОП 0.00-1.21-98 "Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів". Для підключення переносної електроапаратури застосовують гнучкі проводи в надійній ізоляції.

7.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

7.2.1. Мікроклімат

Мікроклімат приміщення – це сукупність фізичних параметрів повітря в виробничому приміщенні, які діють на людину в процесі праці на її робочому місці, в робочій зоні.

Нормуються параметри мікроклімату в виробничих приміщеннях та гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони. Тяжкість роботи розділяється на категорії залежно від загальних енерговитрат

організму, ккал/с (Вт). Параметри мікроклімату в виробничому приміщенні, де встановлена лінія, наведено в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Нормування параметрів мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура, °С	Відносна вологість	Швидкість руху
Теплий	Iб	22-28	55 при 28°С	0,1-0,2
Холодний	Iб	21-25	75 при 25°С	Не більше 0,1

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату на робочому місці технологічного персоналу передбачається:

- в холодну пору року використання калорифера;
- в літню пору застосування вентиляторів обдуву;
- провітрювання приміщення.

7.2.2. Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується концентраціями (ГДК) в мг/м. В умовах роботи на граничнодопустимих концентраціях можливими забруднювачами повітря робочої зони можуть бути пил та шкідливі гази, їх ГДК наведено в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони оператора лінії

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	0.5	0.15	4

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачено:

- провітрювання приміщення;
- цілісність вікон для перешкоджання попадання пилу в приміщення під час роботи лінії;

– встановлення пиловловлюючих засобів.

7.2.3. Виробниче освітлення

Характеристика зорових робіт – середньої точності.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 розряд зорової роботи IV, підрозряд «Г».

Таблиця 3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Х-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Х-ка фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	Г	середній великий великий	світлий світлий середній	-	200	4	2,4

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітленням, що створюється за допомогою світлодіодних ламп [E27 LED 15W NW A60 "SG"](#). Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 4,5 метра.

Світильники з світлодіодними лампами розміщують рядами; що дозволяє здійснювати їх послідовне включення (відключення) в залежності від величини природної освітленості. При експлуатації здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

7.3 Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують ССБТ «Пожежна безпека. Загальні вимоги». Типові правила пожежної безпеки для

промислових підприємств і інструкції на окремих об'єктах.

Отже, приміщення підприємства, де встановлені центрифуги цукрового заводу, система електропривода яких модернізується, відносяться до категорії В з вибухонебезпечними зонами класу 22 – простір, в якому вибухонебезпечний зерновий пил у завислому стані може з'являтися нечасто та існувати недовго (у разі аварії).

Виробничі приміщення відносяться до категорії В (пожежонебезпечна), якщо в них наявні горючі гази, легкозаймисті, горючі і/або важкогорючі рідини, а також речовини і/або матеріали, як здатні вибухати та горіти або тільки горіти під час взаємодії з водою, киснем повітря і/або один з одним; тверді горючі і/або важкогорючі речовини та матеріали (включно горючий пил і/або волокна), за умови, що приміщення, в яких вони знаходяться (зберігаються, пере-робляються, транспортуються), не відносяться до категорій А або Б і питома пожежна навантага для твердих і рідких легкозаймистих, горючих та важкогорючих речовин і/або матеріалів на окремих ділянках площею не менше 10 м² кожна перевищує 180 МДж•м⁻².

До II ступеня вогнестійкості відносяться будівлі з несучими і огорожувальними конструкціями з природних та штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону із застосуванням листових та плиткових негорючих матеріалів. В покриттях будівель допускається застосовувати незахищені сталеві конструкції. Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2002 наведено в таблиці 7.5.

Таблиця 7.5 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

Ступінь вогнестійкості і будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло-ни	сходові площадки, костури, сходи, балки, марші сходових кліток	пере-криття між поверхові (у т.ч. горищні та над підвалами)	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	само-несучі	зовнішні не-несучі	внутрішні не-несучі (перегородки)				плити, насти-ли, прого-ни	балки, ферми, арки, рами
II	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	EI 15 M0	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M0	RE 15 M0	R 30 M0

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2002 наведено в таблиці 6.

Найбільшу відстань до евакуаційного виходу визначаємо за об'ємом приміщення та ступені вогнестійкості будівлі.

В виробничому приміщенні, відстань при щільності людського потоку в загальному проході, чол/м² наступна: до 1 – 100 м².

Кількість людей для розрахунку ширини евакуаційних виходів показана в таблиці 7.6.

Таблиця 7.6 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи протипожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвиликах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбур-шлюзу, не нижче
Стіни	2	REI 60	2	1
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекрытия	2	REI 60	2	1

Таблиця 7.7 – Кількість людей для розрахунку ширини евакуаційних виходів

Об'єм приміщення, тис. м ³	Категорія приміщення	Ступінь вогнестійкості будівлі	Кількість людей на 1 м ширини Евакуаційного
0,126	Д	ІІ	100

На території виробничої будівлі встановлено 15 вогнегасників ВП-5.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання бакалаврської дипломної роботи на тему “Головний електропривод центрифуги першого продукту цукрового заводу” було закріплено та систематизовано знання з дисциплін «Теоретичні основи електротехніки», «Теорія електропривода», «Електричні машини», «Теорія автоматичного керування», «Автоматизація технологічних процесів» та ін.

В даній кваліфікаційній роботі виконано аналіз особливостей та режимів роботи підвісної фільтруючої центрифуги типу ФПН-1251, здійснений розрахунок потужності електродвигуна із подальшим вибором його типу. Після ретельно виконаного техніко-економічного порівняння в якості системи електроприводу для центрифуги обрано систему типу ПЧ-АД, яка є найбільш оптимальним варіантом, в поєднанні економічних та технічних показників експлуатації.

В процесі роботи було розраховано та вибрано елементи силового кола, комутуючі елементи та сенсори, визначено їх номінальні дані.

У ході роботи було розроблено систему керування технологічним процесом центрифугування утфелю першого продукту, що включає в себе керування швидкістю обертання двигуна головного частотно-регульованого електропривода за заданою тахограмою робочого циклу та різного роду допоміжними механізмами.

В розділі охорони праці розроблено основні положення щодо безпечної та оптимальної експлуатації об’єкта дослідження та створення належних умов праці для обслуговуючого персоналу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. М. М. Масліков, Сучасні технологічні процеси, обладнання та енерговикористання в харчовій промисловості. Цукрова, Олійна, Консервна галузі. Київ, Україна: Юнідо, 2015.
2. А. А. Ліпець, В. М. Логвін, К. Д. Скорик та ін., “Вирощування, зберігання цукрових буряків, видобування сахарози ”, у *Технологія цукру = Sugar technology*, В. М. Логвін, А. І. Українець, Ред. Київ, Україна: Нац. ун-т харч. технол. Експрес-об'ява, 2015, Т. 1, с. 288, підручник в 3 т.
3. Центрифугування цукрових утфелів. Теорія і практика : монографія / М. М. Пушанко, В. А. Лагода, Н. М. Пушанко, А. Ю. Гуменюк. – Київ : Вища освіта, 2010. – 439 с.
4. Особливості діяльності цукрових заводів - офіційний сайт «Sophus» [URL: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](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)
5. Перспективи розвитку бурякоцукрового виробництва - Офіційний сайт «economy.-nayka.com.ua» URL: - <http://www.economy.-nayka.com.ua/?op=1&z=791>
6. Центрифуга ФПН, ФПІ для поділу утфелів на виробництві цукру - офіційний сайт «Iren» URL:- <https://iren.sumy.ua/centrifuga-fpn-fpi-dlya-podiluutfeliv-na-virobnictvi-cukru/>
7. Грабко, В. В. Електропривод підприємств агропромислового комплексу [Текст] : навчальний посібник / В. В. Грабко, С. М. Левицький ; ВНТУ. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 198 с.
8. Автоматизований електропривод типових виробничих механізмів. Методичні вказівки до виконання контрольних робіт для спеціальностей 7.092203; 7.090603 заочної форми навчання. /укладач Видмиш А.А./ Вінниця: ВДТУ, 2001.
9. Вартість перетворювача частоти. Режим доступу: <https://eco-system.com.ua/uk/schneider-electric-atv930c31n4c-nd.html>.

10. Вартість приводного двигуна. Режим доступу:
<https://systemax.ua/ua/elektrodrigateli/trehfaznye-obshepromyshlennye-elektrodrigateli/air/air355m4--250-kvt-1500-ob-min-.html>
11. 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.
12. Голуб А.П., Кузнецов Б.І., Опришко І.О., Соляник В.П.. Системи керування електроприводами: Навчальний посібник. - К.: НМК ВО, 1992.- 352с.
13. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування. – К.: Либідь, 1997. – 544 с.
14. Чорний О. П., Луговой А. В., Д. Й. Родькін, Сисюк Г.Ю., Садовой О.В. Моделирование электромеханических систем. – Кременчук, 2001. – 376 с.
15. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.
16. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007 Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->.
17. НПАОП 40.1-1.21-98 (ДНАОП 0.00-1.21-98) Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48644.
18. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.
19. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.

20. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.
21. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885
22. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС України, 2014. 47 с.
23. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення. URL: <https://dwg.ru/dnl/15125>.

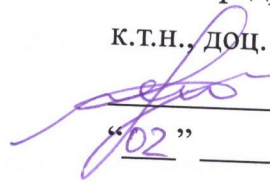
Додаток А

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри КЕМСК

к.т.н., доц.

 Микола МОШНОРИЗ
«02» 04 2024 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

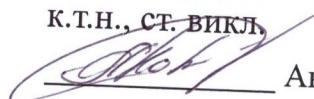
на бакалаврську дипломну роботу

ГОЛОВНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД ЦЕНТРИФУГИ ПЕРШОГО ПРОДУКТУ ЦУКРОВОГО ЗАВОДУ

08-24.БДР.030.00.000 ТЗ

Керівник роботи

к.т.н., ст. викл.

 Андрій КОВАЛЬ
«02» 04 2024 р.

Виконав: ст. гр. ЕМ-22мс

 Вадим СТЕФАНИШИН
«02» 04 2024 р.

Вінниця ВНТУ 2024

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки – «Головний електропривод центрифуги першого продукту цукрового заводу».

Скорочене найменування розробки – «Головний електропривод центрифуги першого продукту».

2 Підстави для розробки

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем бакалаврських дипломних робіт.

3 Призначення розробки і галузь використання

Центрифуга першого продукту є фільтруючою підвісною вертикальною машиною періодичної дії з нижнім вивантаженням продукту через днище ротора, призначену для розділення кристалічного цукру від міжкристалічного паточного розчину, що широко застосовується на підприємствах цукрової галузі

4 Вимоги до розробки

Основними вимогами до електроприводу центрифуг є наступні: забезпечення оптимальних динамічних режимів при постійному прискоренні та сповільненні центрифуги; стабілізація частоти обертання центрифуги при завантаженні, вивантаженні та фугуванні.

5 Комплектація розробки

Центрифуга містить завантажувальний лоток, механізм зрізу осаду, металоконструкцію, вал, корпус підшипників, корпус приводу, електродвигун, гумову муфту, стрічкове гальмо, гумовий амортизатор, привод, кришку кожуха, кожух та ротор.

6 Технічні характеристики

Таблиця 1 – Технічні характеристики

№п\п	Показник	Позначення	Величина
1.	Час роботи центрифуги, с	t_p	140
2.	Час паузи центрифуги, с	t_0	0
3.	Фактична тривалість включення, °/с	ТВ	100
4.	Коефіцієнт тертя °	f	0,03-0,09
5.	Максимальна маса обертових частин центрифуги, кг	m	2960
6.	Максимальне завантаження ротора, кг	m	1000

7 Джерела розробки

1. М. М. Масліков, Сучасні технологічні процеси, обладнання та енерговикористання в харчовій промисловості. Цукрова, Олійна, Консервна галузі. Київ, Україна: Юнідо, 2015.
2. А. А. Ліпець, В. М. Логвін, К. Д. Скорик та ін., “Вирощування, зберігання цукрових буряків, видобування сахарози ”, у *Технологія цукру = Sugar technology*, В. М. Логвін, А. І. Українець, Ред. Київ, Україна: Нац. ун-т харч. технол. Експрес-об'ява, 2015, Т. 1, с. 288, підручник в 3 т.
3. Центрифугування цукрових утфелів. Теорія і практика : монографія / М. М. Пушанко, В. А. Лагода, Н. М. Пушанко, А. Ю. Гуменюк. – Київ : Вища освіта, 2010. – 439 с.
4. Автоматизований електропривод типових виробничих механізмів. Методичні вказівки до виконання контрольних робіт для спеціальностей 7.092203; 7.090603 заочної форми навчання. /укладач Видмиш А.А./ Вінниця: ВДТУ, 2001.
5. Грабко, В. В. Електропривод підприємств агропромислового комплексу [Текст] : навчальний посібник / В. В. Грабко, С. М. Левицький ; ВНТУ. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 198 с.

8 Етапи виконання

Основна частина	
Графічна частина	

9 Конструктивне виконання

Електропривод виготовляється окремими блоками, котрі реалізуються у відповідності до вимог електробезпеки у пило-вологозахищеному виконанні.

10 Показники технологічності

Автоматизований електропривод центрифуги типу ФПН-1251 – двигун, апарати керування і захисту, провідники, кабелі тощо. Виконується на сучасній елементній базі, його монтаж, заземлення, струмопровід повинні відповідати правилам улаштування електроустановок.

11 Технічне обслуговування і ремонт

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

12 Живлення електропривода

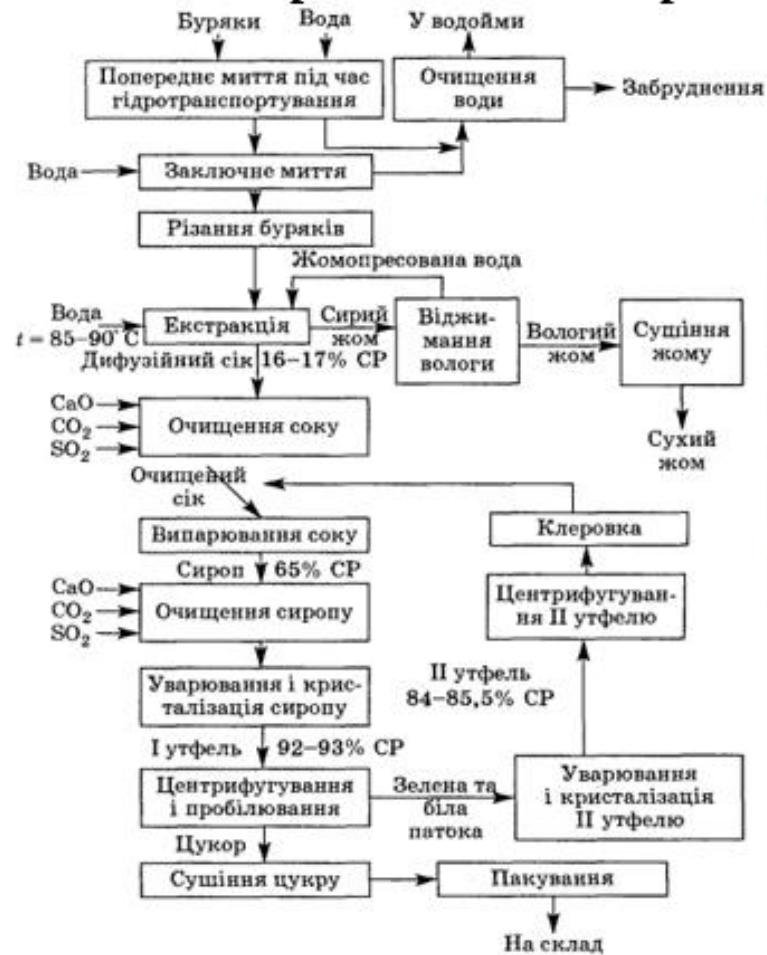
Живлення електропривода повинно бути виконане напругою 380 В від силової мережі підприємства.

13 Порядок контролю та прийняття

Виконання етапів графічної та розрахункової документації бакалаврської дипломної роботи контролюється керівником згідно з графіком виконання роботи. Прийняття роботи здійснюється комісією затвердженою зав. кафедрою згідно з графіком захисту.

Додаток Б
Графічна частина
ГОЛОВНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД ЦЕНТРИФУГИ ПЕРШОГО
ПРОДУКТУ ЦУКРОВОГО ЗАВОДУ

Короткі відомості про технологічний процеси цукрової галузі



Актуальність теми. Мета, об'єкт та задачі дослідження

Сучасні промислові центрифуги – це складне технологічне обладнання, що складається з багатьох механізмів високої точності та характеризується високими швидкостями обертання. Керування таких механізмів здійснюється за допомогою складних електрогідравлічних, електропневматичних або електричних систем. Надійна робота центрифуг залежить від дотримання технологічної дисципліни, знання їх конструкції, а також правил налагодження, пуску, експлуатації та ремонту.

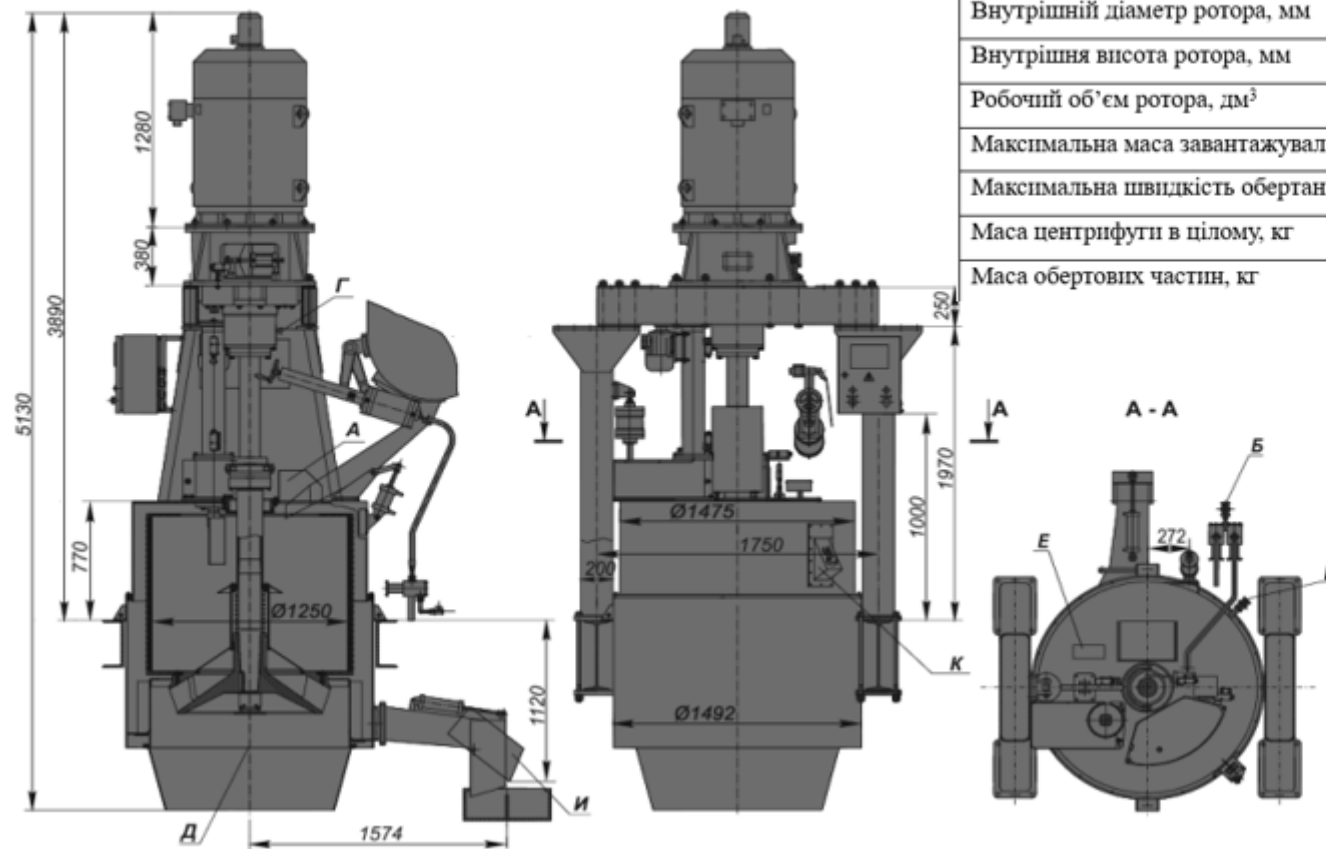
Викладені вище обставини дають підстави стверджувати, що одним з основних шляхів розвитку та вдосконалення сучасних промислових центрифуг є цілеспрямована зміна способів керування та вдосконалення силової схеми системи електропривода шляхом застосування сучасних силових модулів.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження в даній роботі є підвищення енергоефективності та працездатності електропривода ротора фільтруючої підвісної центрифуги типу ФПН-1251.

Об'єкт дослідження є процеси перетворення енергії, які протікають у електротехнічній системі електропривода ротора фільтруючої підвісної центрифуги типу ФПН-1251.

Предметом дослідження є математичні моделі та структури, які дозволяють підвищити ефективність електропривода ротора фільтруючої підвісної центрифуги типу ФПН-1251.

Технічні характеристики центрифуги ФПН - 1251



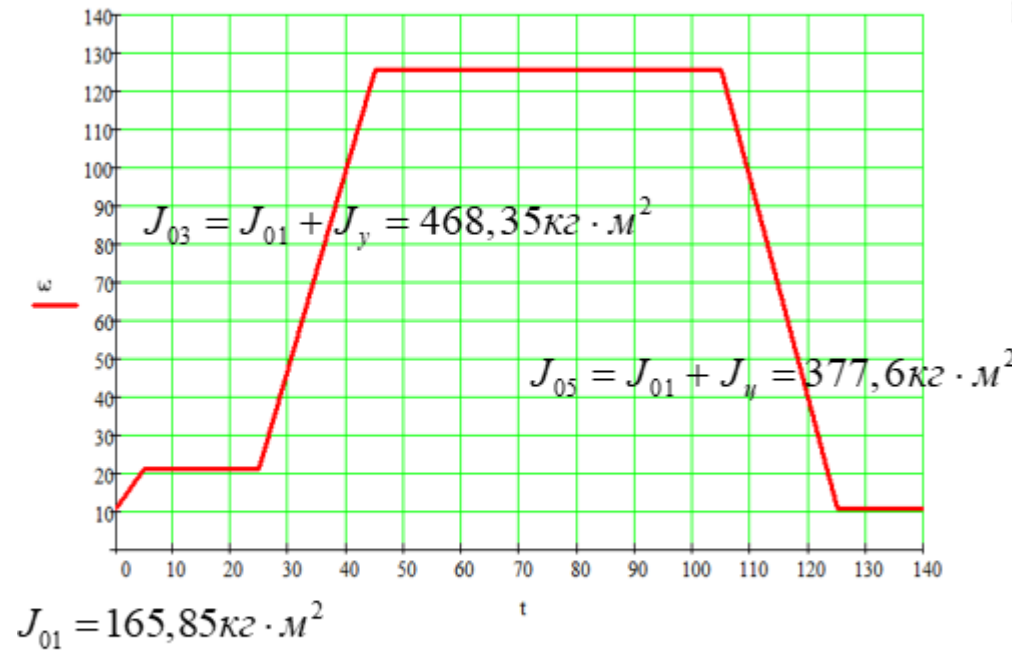
Внутрішній діаметр ротора, мм	1250
Внутрішня висота ротора, мм	100
Робочий об'єм ротора, дм ³	700
Максимальна маса завантажувального продукту, кг	1000
Максимальна швидкість обертання ротора, об/хв	1500
Маса центрифуги в цілому, кг	4900
Маса обертових частин, кг	2960

Задачі роботи

Таким чином аналіз технологічних та конструкційних особливостей роботи центрифуги дають змогу сформулювати наступні задачі пропонованої роботи:

1. Розрахунок потужності двигуна головного приводу ротора центрифуги.
2. Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода
3. Вибір силових елементів головного електропривода, що включає вибір двигуна, силового перетворювального пристрою та комутаційної апаратури.
4. Розробка системи керування центрифугою, що включатиме в себе керування швидкістю обертання ротора, а також керування допоміжними механізмами, що забезпечує якісне виконання технологічного процесу.

Режими роботи центрифуги першого продукту



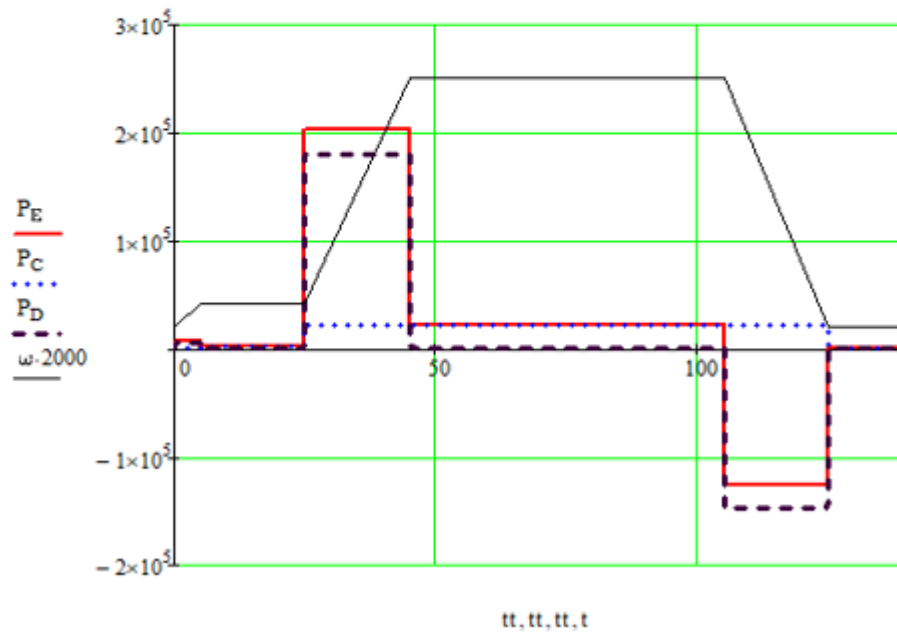
Таблиця 3.1 Опис ділянок роботи центрифуги

№	Назва	Середня тривалість $t_i, \text{с}$	Швидкість на початку ділянки $\omega_{\text{поч}}, \text{рад/с}$	Швидкість у кінці ділянки $\omega_{\text{к}}, \text{рад/с}$
1	Розгін до швидкості завантаження	5	10,472	20,944
2	Завантаження центрифуги	20	20,944	20,944
3	Розгін до швидкості фугування	20	20,944	125,664
4	Фугування	60	125,664	125,664
5	Гальмування до швидкості вивантаження	20	125,664	10,472
6	Вивантаження	15	10,472	10,472

Діаграма розрахункової потужності центрифуги

Статичне навантаження

$$P_3 = \frac{f \cdot m_{\Sigma} \cdot \omega_{\max} \cdot D_{\text{ш}} \cdot g}{2}, \quad P_4 = R^5 \cdot n^3 \cdot 10^{-8}$$



Динамічне навантаження

$$P_1 = \frac{J_0 \cdot (\omega_{i+1}^2 - \omega_i^2)}{2\tau_i}, \quad P_2 = \frac{J_y \cdot (\omega_{i+1}^2 - \omega_i^2)}{2\tau_i}$$

№	$\tau_i, \text{с}$	$\omega_{\text{ном}}, \text{рад/с}$	$\omega_k, \text{рад/с}$	$P_{ci}, \text{Вт}$	$P_{Di}, \text{Вт}$	$P_{\Sigma i}, \text{Вт}$
1	5	10,472	20,944	1069	5456	6525
2	20	20,944	20,944	1582	0	1582
3	20	20,944	125,664	22560	179800	202300
4	60	125,664	125,664	22560	0	22560
5	20	125,664	10,472	21630	-148000	-126400
6	15	10,472	10,472	691	0	691

$$P_{\text{НОМ}} \geq 1,2 \cdot 202,3 = 242,76 \text{ кВт}$$

Техніко-економічне обґрунтування вибору системи привода

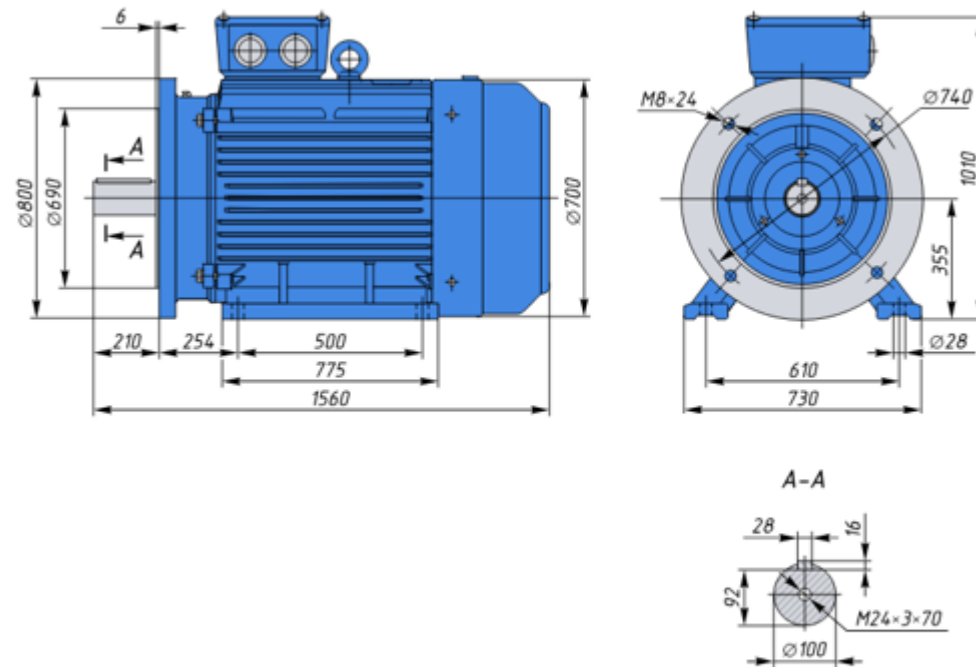
Таблиця 4.1 – Порівняльна таблиця економічних показників

Показник	Системи електропривода		
	ТП-Д	ПЧ-АД	БЩД
Потужність двигунів, кВт	250	250	250
Вартість двигунів Д, тис. грн.	331	540	560
Вартість системи керування СК, тис. грн.	1250	700	300
Капітальні затрати К, тис. грн.	1581	1240	860
Річні капітальні затрати $K_{річні}$, тис. грн.	268,77	210,8	146,2
Амортизаційні відрахування C_A , тис. грн./рік	79,05	124	43
Відрахування на ремонт C_P , тис. грн./рік	31,62	62	25,8
Додаткові відрахування $C_{дп}$, тис. грн./рік	194,595	208,96	423,529
Відрахування обслуговування C_O , тис. грн./рік	15,263	19,735	24,616
Загальні відрахування С, тис. грн./рік	320,528	414,43	516,946

Вибір двигуна

Таблиця 5.1 – Паспортні характеристики двигуна типу АІР 355 У3

Параметр, одиниця вимірювання	Позначення	Значення
Потужність, кВт	$P_{ном}$	250
Частота обертання, об/хв	$n_{ном}$	1490
Струм статора, А	$I_{ном}$	443
Коефіцієнт потужності	$\cos\phi$	0,9
ККД	η	0,925
Напруга статора, В	$U_{ли}$	380
Частота мережі живлення, Гц	f	50
Кількість фаз	m	3
Кратність пускового моменту	$\lambda_{п}$	2,1
Кратність пускового струму		6,9
Кратність максимального моменту	λ_{max}	2,2
Кількість пар полюсів	$2p$	2
Момент інерції, $кг \cdot м^2$	J_p	6,5
Маса, кг	m	1720



Перевірка двигуна за моментом

$$M_{Ci} = \frac{P_{Ci}}{\omega_i}$$

$$M_{Di} = J_i \frac{\omega_{xi} - \omega_{nvi}}{t_i}$$

Таблиця 5.2 Статичні та динамічні моменти ротора центрифуги

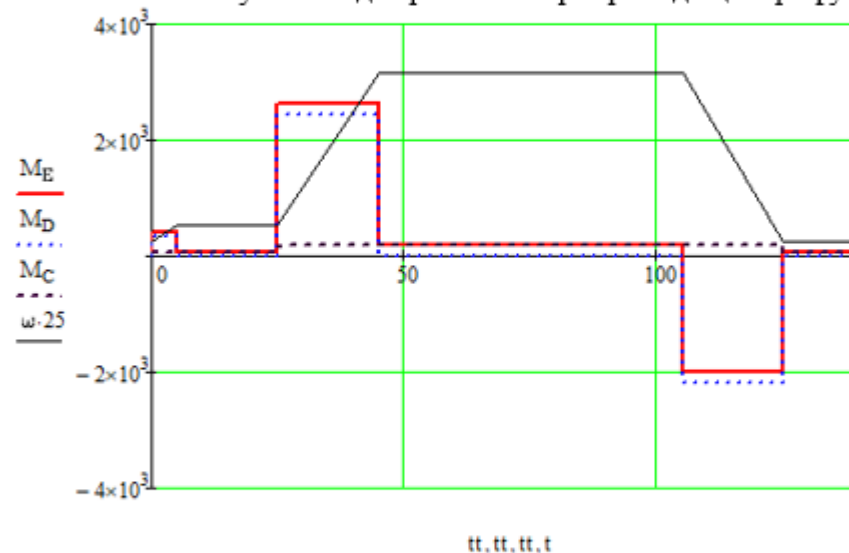
№	τ_i, c	$\omega_{nvi},$ рад/с	$\omega_{xi},$ рад/с	$M_{Ci}, \text{Нм}$	$M_{Di}, \text{Нм}$	$M_{\Sigma i}, \text{Нм}$
1	5	10,472	20,944	51	347	398
2	20	20,944	20,944	76	0	76
3	20	20,944	125,664	180	2452	2632
4	60	125,664	125,664	179	0	179
5	20	125,664	10,472	172	-2175	-2003
6	15	10,472	10,472	66	0	66

$$M_{ном} = 9550 \cdot \frac{P_{ном}}{n_{ном}} = 9550 \cdot \frac{250}{1490} = 1602 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Максимальне значення крутного моменту обраного двигуна:

$$M_{кр} = \lambda_{\max} M_{ном} = 2.1 \cdot 1602 = 3365 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Навантажувальна діаграма електропривода центрифуги



$$0,9 \cdot M_{кр} > M_{\Sigma \max}$$

$$0,9 \cdot 3365 > 2632.$$

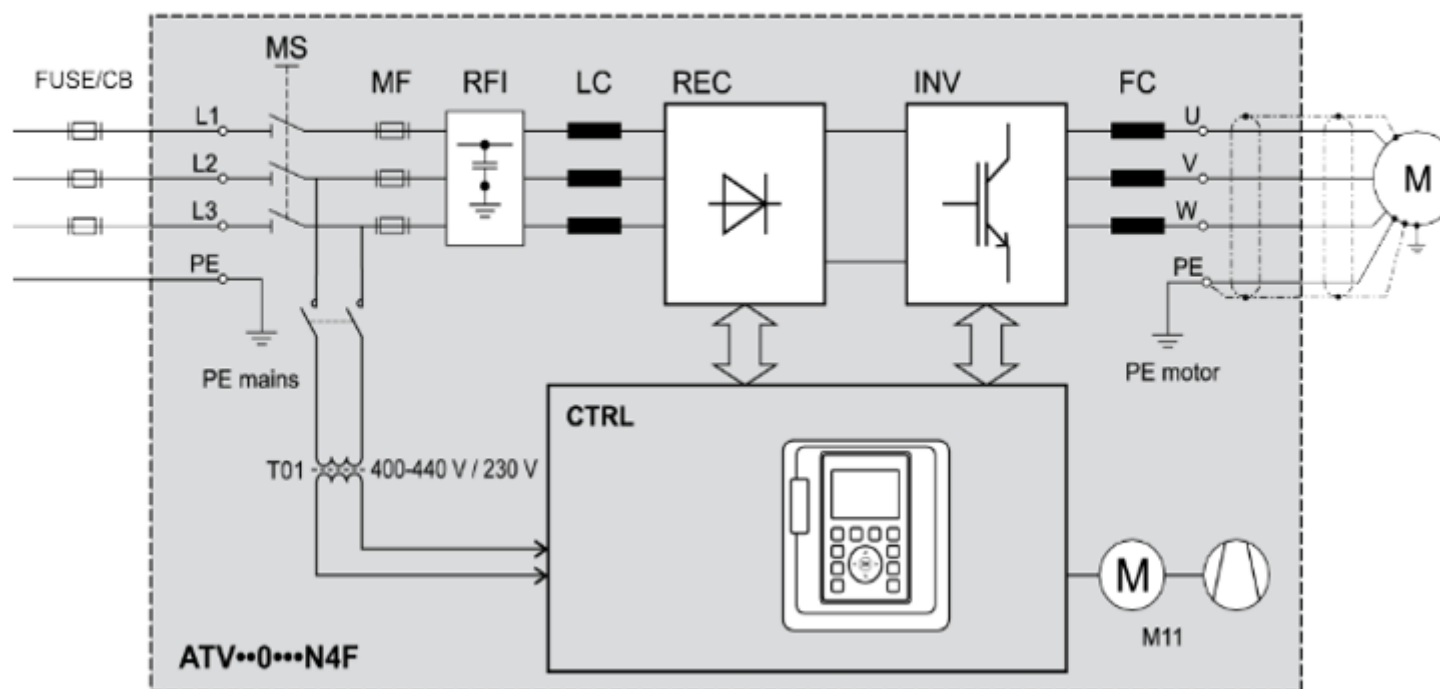
Вибір перетворювального пристрою

Таблиця 5.3 Основні технічні характеристики ПЧ ATV930C31N4C



Номинальна напруга мережі, В	380...440
Потужність двигуна, кВт	315,0 - норм. режим роботи 250,0 - важкий режим роботи
Ступінь захисту за IP	IP21
Номинальна частота комутації	2.5 kHz
Лінійний струм	569,0 А на 380 V (норм. режим роботи) 457,0 А на 380 V (важкий режим роботи) 461,0 А на 480 V (норм. режим роботи) 375,0 А на 480 V (важкий режим роботи)
Максимальний струм у перехідних режимах	739 А протягом 60 s (норм. режим роботи) 722 А протягом 60 s (важкий режим роботи)
Кількість дискретних входів	16
Кількість релейних виходів	3
Фізичний інтерфейс	Ethernet 2-провідний RS 485

Структурна схема перетворювача частоти ATV930C31N4C



Структурна схема центрифуги утфелю 1 продукту, як об'єкту

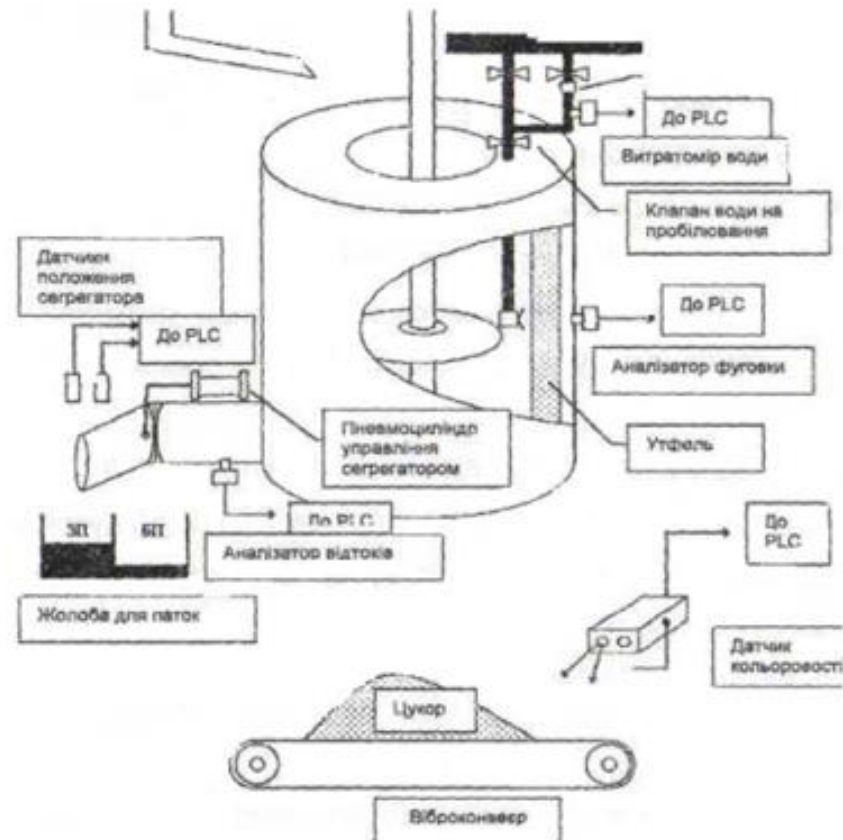
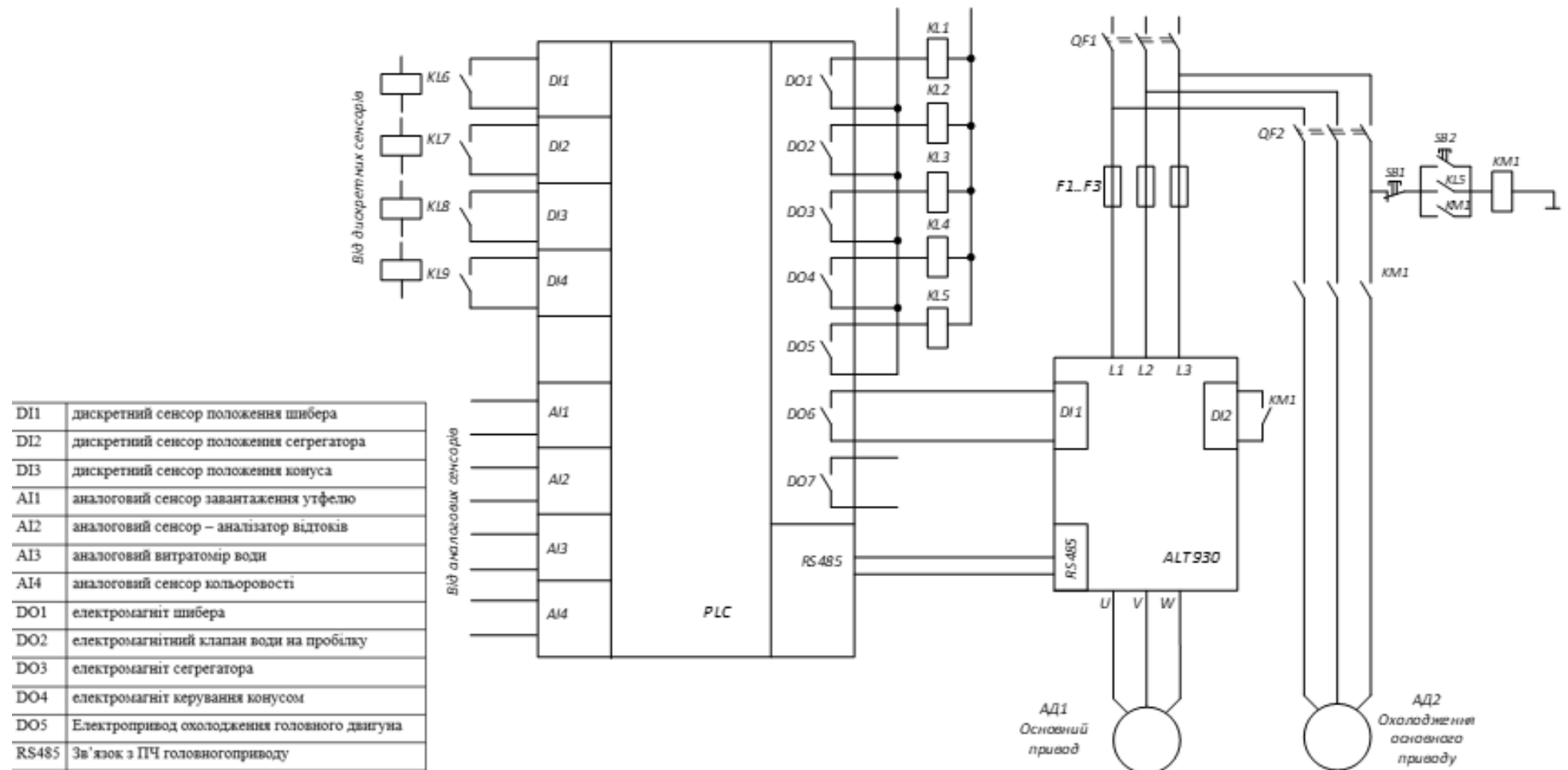
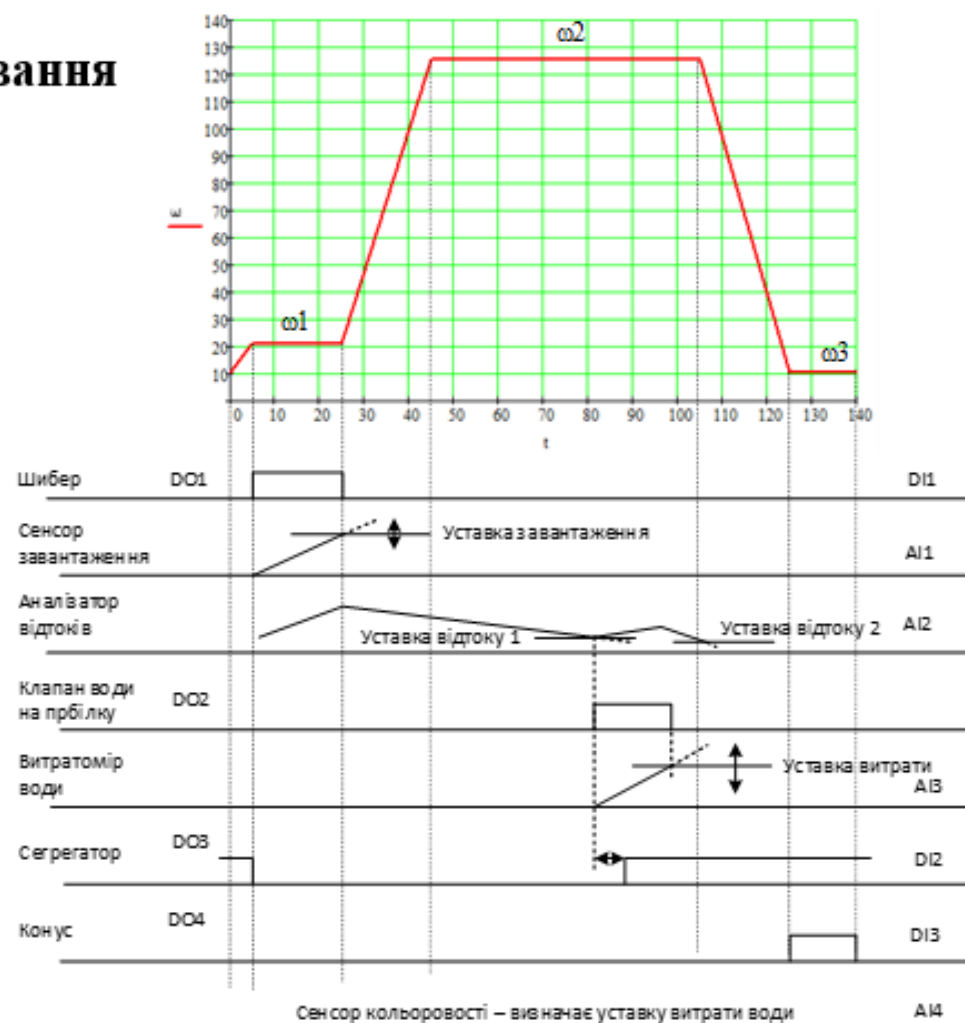


Схема керування технологічним процесом



Часові діаграми роботи системи керування

DI1	дискретний сенсор положення шибер
DI2	дискретний сенсор положення сегрегатора
DI3	дискретний сенсор положення конуса
AI1	аналоговий сенсор завантаження утфелю
AI2	аналоговий сенсор – аналізатор відтоків
AI3	аналоговий витратомір води
AI4	аналоговий сенсор кольоровості
DO1	електромагніт шибер
DO2	електромагнітний клапан води на пробілку
DO3	електромагніт сегрегатора
DO4	електромагніт керування конусом
DO5	Електропривод охолодження головного двигуна
RS485	Зв'язок з ПЧ головного приводу



Висновки

1. В результаті виконання бакалаврської дипломної роботи на тему “Головний електропривод центрифуги першого продукту цукрового заводу” було закріплено та систематизовано знання з дисциплін «Теоретичні основи електротехніки», «Теорія електропривода», «Електричні машини», «Теорія автоматичного керування», «Автоматизація технологічних процесів» та ін.

2. В даній кваліфікаційній роботі виконано аналіз особливостей та режимів роботи підвісної фільтруючої центрифуги типу ФПН-1251, здійснений розрахунок потужності електродвигуна із подальшим вибором його типу. Після ретельно виконаного техніко-економічного порівняння в якості системи електроприводу для центрифуги обрано систему типу ПЧ-АД, яка є найбільш оптимальним варіантом, в поєднанні економічних та технічних показників експлуатації.

3. В процесі роботи було розраховано та вибрано елементи силового кола, комутуючі елементи та сенсори, визначено їх номінальні дані.

4. У ході роботи було розроблено систему керування технологічним процесом центрифугування утфелю першого продукту, що включає в себе керування швидкістю обертання двигуна головного частотно-регульованого електропривода за заданою тахограмою робочого циклу та різного роду допоміжними механізмами.

**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ**

Назва роботи: Головний електропривод центрифуги першого продукту цукрового заводу

Тип роботи: бакалаврська дипломна робота

Підрозділ: кафедра КЕМСК, ФЕЕЕМ, гр. ЕМ-22мс

Науковий керівник: К.Т.Н., доц. Коваль А. М.
(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності Unichesk

Оригінальність	89,2%
Схожість	10,8%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

☒ Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

☐ Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.

☐ Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку


(підпис)

Пянонок О.А.
(прізвище, ініціали)

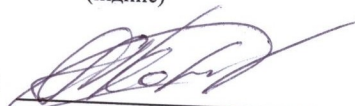
Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unichesk щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Стефанишин В.С.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Коваль А. М.
(прізвище, ініціали)

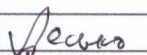
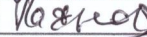
					08-24.БДР.030.00.000			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Головний електропривод центрифуги першого продукту цукрового заводу	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Стефанишин В.С.		28.05				
Перевірив:		Коваль А.М.		28.05				
Т. контр.								
Рецензент				10.06		Аркуш	Аркушів	
Норм. кон.				28.05		ВНТУ, гр. ЕМ-22мс		
Затверд.		Мошноріз М.М.		28.05				

Схема керування технологічним процесом

