

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 кваліфікаційна робота на тему:

**«СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ГРУПИ БУРЯКОРІЗОК
ЦУКРОВОГО ЗАВОДУ»**

Виконав: студент 4 курсу, гр. ЕМСА-21

спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка)

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Олександр ОЛІЙНИК

(ім'я ПРИЗВИЩЕ, підпис)

Керівник: к.т.н., ст. викл. кафедри КЕМСК

Андрій КОВАЛЬ

(ім'я ПРИЗВИЩЕ, підпис)

«20» 06 2025 р.

Рецензент: к.т.н. доц. кафедри ЕЕЕМ

Шутич Р.А.
(прізвище та ініціали)

«10» 06 2025 р.

Допущено до захисту

Зав. кафедри

«3» червня 2025 р.

Вінниця ВНТУ – 2025 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 «Електромеханічні системи автоматизації»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

К.Т.Н., доц.

Микола МОШНОРИЗ

“18” жовтня 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Олійнику Олександрову Васильовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Система автоматизованого керування групи бурякорізок 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 “20” 03 2025 року № 92

2. Термін подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи: механізм – група із трьох відцентрових бурякорізок, час роботи бурякорізки 24 год, фактична тривалість включення – 100 %, максимальна маса обертових частин 750 кг, діапазон керування частоти обертання завитка 0..110 об/хв, загальне передаточне число редуктора 12,5, максимальна продуктивність 3500 т/добу

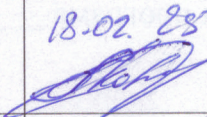
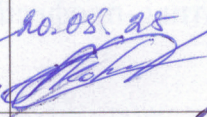
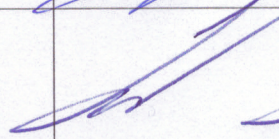
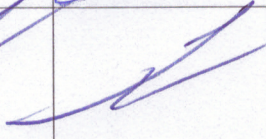
4. Зміст текстової частини: Вступ. 1. Загальна характеристика технологічних процесів та обладнання об'єкту дослідження. 2. Конструктивні параметри відцентрової бурякорізки. 3. Розрахунок потужності двигуна бурякорізки. 4. Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода. 5. Вибір електродвигуна та основних елементів силових кіл. 6. Система керування групою бурякорізок. 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 модернізованої бурякорізки. Задачі роботи Режими роботи електропривода бурякорізок та розрахунок його потужності. Розрахунок потужності двигуна електропривода бурякорізки. Технічне порівняння системи привода бурякорізки. Техніко-економічне обґрунтування вибору системи привода. Вибір двигуна. Механічні характеристики двигуна. Перевірка за моментом Вибір перетворювального пристрою. Система подрібнення та постачання сировини. Схема електрична принципова підключення системи електропривода

бурякорізки. Схема керування технологічним процесом Схема електрична принцип системи керування групою бурякорізок. Висновки

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.	18.02.25 	20.05.25 
Охорона праці	Зав. каф. БЖДПБ, д.пед.н., проф. Кобилянський О. В.	 18.02.25	 20.05.25

7. Дата видачі завдання 18.02.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування та затвердження теми бакалаврської кваліфікаційної роботи (БКР)	18.02.25	вик
2	Виконання спеціальної частини БКР. Перший рубіжний контроль виконання БКР	06.05.25	вик
3	Виконання спеціальної частини БКР. Другий рубіжний контроль виконання БКР	20.05.25	вик
4	Виконання розділу «Охорона праці»	20.05.25	вик
5	Попередній захист БКР	02.06.25	вик
6	Нормоконтроль БКР	03.06.25	вик
7	Рецензування БКР	10.06.25	вик
8	Захист БКР	20.06.25	вик

Студент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Олійник О. В. "Система автоматизованого керування групи бурякорізок цукрового заводу ". Бакалаврська кваліфікаційна робота. – Вінниця.: ВНТУ. 2025.— 105 с. Бібліог.: 21. Іл.: 14. Табл.: 14.

Розроблено систему автоматизованого керування групою електроприводів бурякорізок цукрового заводу, що забезпечує безперервне та рівномірне завантаження дифузійного апарата буряковою стружкою. Представлено технологічну схему роботи групи бурякорізок, визначено режими їх функціонування (робочий, гарячий та холодний резерв), а також запропоновано структурну реалізацію системи керування.

Проведено вибір і техніко-економічне обґрунтування електропривода постійного струму з незалежним збудженням для однієї бурякорізки, здійснено розрахунок основних параметрів, побудовано структурні та принципові електричні схеми. Розроблено алгоритм автоматичного керування продуктивністю групи бурякорізок на основі сигналів від стрічкових ваг, який дозволяє гнучко змінювати кількість задіяних агрегатів та регулювати швидкість їх обертання в залежності від поточних вимог.

У роботі також приділено увагу питанням технічного обслуговування, безпечної експлуатації обладнання та охорони праці персоналу. Запропонована система керування дозволяє підвищити надійність, енергоефективність та технологічну стабільність бурякопереробного процесу, що є актуальним для сучасного цукрового виробництва.

Ключові слова: бурякорізка, електропривод, автоматизація, система автоматизованого керування, тиристорний перетворювач, продуктивність, цукровий завод.

ANNOTATION

Oliinyk O. V. *Automated Control System for a Group of Beet Slicers at a Sugar Factory*. Bachelor's Qualification Thesis. – Vinnytsia: VNTU, 2025. – 105 p. Bibliogr.: 21. Ill.: 14. Tables: 14.

An automated control system for a group of electric drives of beet slicers at a sugar factory has been developed, ensuring continuous and uniform feeding of beet pulp into the diffusion apparatus. The technological scheme of the beet slicer group operation is presented, their operating modes (active, hot reserve, and cold reserve) are defined, and a structural implementation of the control system is proposed.

A selection and techno-economic justification of a separately excited DC electric drive for a single beet slicer has been performed, with calculations of its key parameters and development of structural and schematic electrical diagrams. An algorithm for automatic productivity control of the beet slicer group based on signals from belt scales has been developed, allowing flexible adjustment of the number of operating units and regulation of their rotational speed depending on the current requirements.

The work also addresses issues of technical maintenance, safe equipment operation, and occupational safety for the personnel. The proposed control system enhances the reliability, energy efficiency, and technological stability of the beet processing stage, which is of significant relevance for modern sugar production.

Keywords: beet slicer, electric drive, automation, automated control system, thyristor converter, productivity, sugar factory.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ОБЛАДНАННЯ ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	8
1.1 Короткий опис технології виробництва цукру та особливості функціонування цукрової промисловості.....	8
1.2 Особливості технологічних процесів подрібнення цукрових буряків.....	12
1.3 Будова та принцип роботи відцентрової бурякорізки	18
2 КОНСТРУКТИВНІ ПАРАМЕТРИ ВІДЦЕНТРОВОЇ БУРЯКОРІЗКИ	24
3 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ДВИГУНА БУРЯКОРІЗКИ.....	30
3.1 Вимоги до вибору потужності електродвигуна.....	30
3.2 Розрахунок потужності електропривода бурякорізки.....	31
4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА	36
4.1 Технічне обґрунтування вибору системи електропривода.....	37
4.2 Економічне обґрунтування вибору системи електроприводу.....	42
5 ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА ТА ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СИЛОВИХ КІЛ.....	49
5.1. Вибір та перевірка електродвигуна електропривод відцентрової бурякорізки.....	49
5.2 Вибір перетворювального пристрою.....	55
6 СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ГРУПОЮ БУРЯКОРІЗОК.....	60
7 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	69
7.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту.....	69
7.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць в пожежонебезпечних зонах.....	69
7.1.2 Електробезпека.....	72
7.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії.....	74

7.2.1. Мікроклімат.....	74
7.2.2. Склад повітря робочої зони.....	75
7.2.3Виробниче освітлення	75
7.2.4 Виробничий шум.....	76
7.3Пожежна безпека.....	78
ВИСНОВКИ.....	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	82
ДОДАТКИ	85

ВСТУП

Електропривод є ключовим джерелом керованої механічної енергії майже в усіх технологічних процесах. Сучасні вимоги до підвищення ефективності, точності та енергоощадності сприяли активному розвитку автоматизованих систем електроприводу, зокрема завдяки появі швидкодіючих напівпровідникових перетворювачів.

Цей етап автоматизації характеризується не лише широким застосуванням напівпровідникової техніки, а й використанням уніфікованих керуючих пристроїв для обробки та перетворення інформації. Зі зростанням складності технологічного обладнання перед системами керування ставляться нові завдання. Якщо для одиничних механізмів достатньо реалізувати плавний пуск двигуна, то у випадку інтеграції кількох агрегатів у технологічну лінію виникає потреба у синхронному та плавному регулюванні швидкості всіх приводів з урахуванням вимог до стабілізації продуктивності.

Актуальність теми. В умовах сучасного виробництва цукру ефективність функціонування бурякопереробного відділення відіграє важливу роль у забезпеченні безперервності та стабільності технологічного процесу. Одним із ключових етапів на початковій стадії переробки цукрових буряків є подрібнення сировини в стружку, що виконується за допомогою бурякорізок. Від надійності та точності роботи їх електроприводів залежить рівномірність завантаження дифузійного апарата, стабільність процесу вилучення цукру, а отже — і загальна продуктивність підприємства.

В умовах зростаючої потреби в енергозбереженні, підвищенні якості управління та мінімізації людського втручання доцільним є впровадження автоматизованої системи керування групою електроприводів бурякорізок. Така система повинна забезпечувати: адаптивне підключення необхідної кількості агрегатів залежно від продуктивності, швидке реагування на аварійні

зупинки, динамічне регулювання швидкості обертання відповідно до заданих параметрів та синхронізацію з іншими вузлами лінії подачі сировини.

Складність задачі зумовлена необхідністю інтеграції електроприводів бурякорізків у загальну систему автоматизації заводу, врахуванням різних режимів роботи (робочий, резерв, технічне обслуговування), забезпеченням високого рівня надійності та безпеки експлуатації.

Таким чином, розробка системи автоматизованого керування групою електроприводів бурякорізків є актуальним інженерним завданням, яке дозволяє підвищити ефективність роботи цукрового заводу, зменшити енергоспоживання та трудомісткість обслуговування, а також покращити якість управління технологічними процесами.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження в даній роботі є підвищення надійності роботи та якості виконання технологічного процесу групівідцентрових бурякорізків.

У відповідності із поставленою метою необхідно вирішити наступні завдання:

- Проаналізувати технологічний процес підготовки бурякової стружки та визначити роль бурякорізків у загальній структурі цукрового виробництва.
- Визначити оптимальні режими функціонування бурякорізків з урахуванням вимог до стабільного завантаження дифузійного апарата та описати їх основні технічні параметри.
- Обґрунтувати вибір типу електропривода для однієї бурякорізки, провести розрахунок його основних параметрів.
- Розробити структурну та принципову електричну схему автоматизованої системи керування груповим електроприводом.
- Побудувати алгоритм керування, що дозволяє гнучко змінювати кількість задіяних бурякорізків та регулювати їх швидкість обертання на основі сигналів з вагового обладнання.

- Визначити заходи щодо забезпечення безпечної експлуатації обладнання та охорони праці персоналу в умовах автоматизованої роботи бурякорізок.

Об'єкт дослідження є процеси перетворення енергії, які протікають у електромехнічній системі електропривода групи бурякорізок цукрового заводу.

Предметом дослідження є математичні моделі та структури, які дозволяють підвищити якість виконання технологічного процесу та ефективність електроприводів групи відцентрових бурякорізок.

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 кваліфікаційної роботи отримано автором самостійно.

1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ОБЛАДНАННЯ ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Короткий опис технології виробництва цукру та особливості функціонування цукрової промисловості

Цукрова промисловість вирізняється низкою характерних особливостей, що визначають специфіку її організації та технологічного процесу:

- 1. Сезонність виробничого циклу.** Період активної роботи підприємств обмежується тривалістю кампанії з переробки сировини, яка зазвичай становить від 40 до 100 діб.
- 2. Безперервність технологічного процесу.** Виробничий цикл потребує стабільної роботи без зупинок. Порухення безперервності, навіть на окремих ділянках технологічного ланцюга, може спричинити суттєві втрати через потребу у повторному запуску з витратами сировини та енергоносіїв.
- 3. Високе енергоспоживання.** Для забезпечення стабільного функціонування цукрових заводів необхідна значна кількість теплової та електричної енергії, причому її споживання залишається відносно постійним протягом усього добового та сезонного періоду.
- 4. Різноманітність використовуваних теплоносіїв.** У системах теплопостачання застосовуються водяна пара різного тиску, гаряча вода, повітря, димові гази, а також конденсати, що потребує складної схеми теплопостачання.
- 5. Наявність вторинних енергетичних ресурсів.** У процесі виробництва утворюється значна кількість побічних теплоносіїв (випарна пара, гаряча вода, конденсати, димові гази), які можуть бути ефективно використані повторно у виробничому процесі.
- 6. Високий рівень технічної досконалості теплотехнологічної схеми.** Порівняно з іншими галузями промисловості, цукрова промисловість

має добре розроблену та оптимізовану теплотехнічну структуру. Це обумовлено як високим рівнем споживання теплової енергії, так і історичною спадковістю та наявністю часу для щорічного вдосконалення обладнання у міжсезонний період.

- 7. Функціонування власних теплоелектроцентралей.** Більшість підприємств галузі мають у своєму складі ТЕЦ, що дозволяє одночасно забезпечувати виробничі потреби в парі та електроенергії, а також покривати потреби в опаленні, вентиляції та гарячому водопостачанні.
- [1]

Основною сировиною для виробництва цукру на світовому ринку є цукрова тростина, що містить 18–21% сахарози та переважно вирощується у тропічному кліматі. В Україні основним джерелом сировини є цукровий буряк, вміст сахарози в якому коливається у межах від 15 до 23% залежно від сорту рослини та агрокліматичних умов вирощування.

Узагальнена технологічна схема цукрового виробництва, представлена на рисунку 1.1, демонструє складну, безперервну систему з наявністю рециркуляційних контурів і зворотних зв'язків між окремими стадіями переробки, що підкреслює інтегрованість і взаємозалежність усіх технологічних етапів.

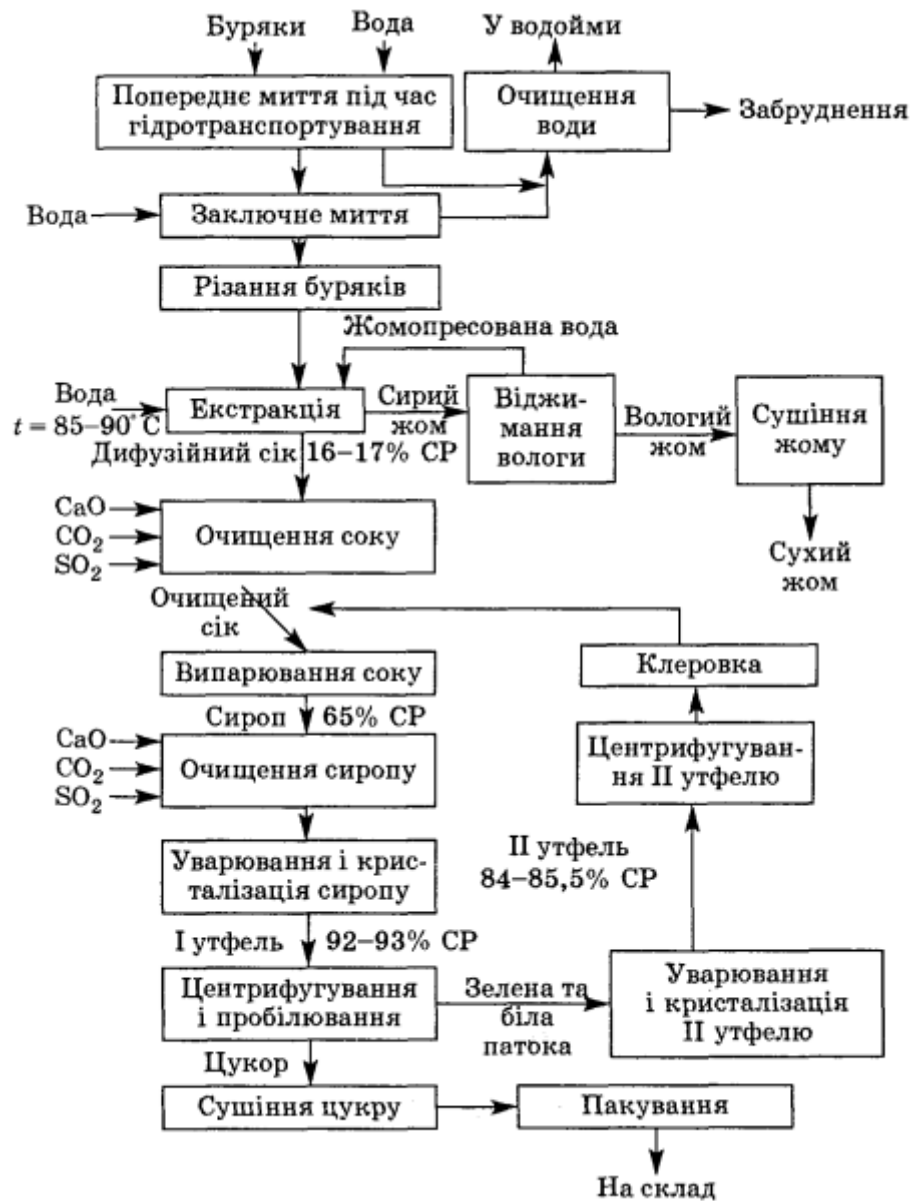


Рисунок 1.1 – Технологічна схема цукрового виробництва

Технологічний процес виробництва цукру включає низку послідовних операцій, що утворюють цілісну та взаємопов'язану систему. Основні етапи цього процесу можна охарактеризувати наступним чином:

1. Підготовка сировини. Цей етап охоплює транспортування буряків на виробництво, їх очищення від механічних домішок, а також подрібнення на стружку, яка є придатною для подальшої екстракції цукру.

2. Екстракція цукру. Суть цього процесу полягає у вилученні цукру з бурякової стружки шляхом дифузії у спеціалізованих дифузійних апаратах, де цукор переходить у рідку фазу — дифузійний сік. Таким чином вдається

отримати близько 80-85 % цукру, що міститься в буряковій стружці. Для досягнення більшого виходу цукру використовують жомопреса, за допомогою яких цукор відділяється із стружки механічним видавлюванням.

3. Очищення дифузійного соку. На цій стадії з соку усуваються органічні та неорганічні домішки, як розчинні, так і нерозчинні у воді. Процес очищення здійснюється у кілька етапів, включаючи механічну очистку, відстоювання, фільтрацію, а також хімічну обробку вапняним молоком, діоксидом вуглецю та діоксидом сірки.

4. Концентрування очищеного соку. Волога з очищеного соку видаляється за допомогою багатокорпусної випарної установки до досягнення концентрації сахарози у межах 65–70%.

5. Уварювання сиропу та кристалізація. У вакуумних апаратах здійснюється уварювання концентрованого соку з метою кристалізації цукру. У результаті утворюється утфель — неоднорідна суміш, що містить 55–60% кристалічного цукру, а також міжкристалічний маточний розчин, у якому розчинені рештки сахарози та інші нецукрові компоненти.

6. Центрифугування. На цьому етапі з утфелю відділяються кристали цукру від рідкої фази. Центрифугування забезпечує отримання товарного продукту та виділення побічних домішок. Особливості цього процесу будуть розглянуті докладніше у наступних розділах.

7. Сушіння та пакування цукру. Завершальним етапом є видалення залишкової вологи та фасування готового продукту для зберігання та реалізації.

Описана послідовність операцій свідчить про складність технологічного процесу виробництва цукру. Виробництво характеризується високим ступенем інтеграції, численними зворотними зв'язками і повертаннями як технологічних потоків, так і теплоносіїв. Крім основних процесів, виробництво включає низку допоміжних операцій, таких як генерація пари, виробництво електроенергії, приготування вапнякового молока, отримання сатураційних та сульфітаційних газів тощо.

Останнім часом у цукровому виробництві спостерігається збільшення продуктивності цукрових заводів у той час як деяке обладнання залишається незмінним, а його робота зазнає інтенсифікації. Тому для виконання покладених задач із збільшення пропускної спроможності бурякопереробного відділення гостро постає задача синхронності роботи усіх ланок безперервного виробництва та уникнення коливань у кількості поточної переробки сировини.

Зокрема це стосується дифузійних апаратів, у яких відбувається екстракція цукру із бурякової стружки. Завантаження їх сировиною повине бути постійним в часі. У такому разі це забезпечить стабільну роботу цього складного технологічного процесу та унеможливить виникнення аномальних його режимів роботи. Тому надзвичайно важливим є забезпечення надійної та стабільної роботи групи бурякорізок, що працюють на один дифузійний апарат, таким чином, щоб завантаження останнього відбувалось сталим.

1.2 Особливості технологічних процесів подрібнення цукрових буряків

На рис. 1.2 подана технологічна схема бурякопереробного відділення.

Приведений рисунок являє собою технологічну схему бурякопереробного відділення, що ілюструє основні етапи переробки цукрових буряків з метою отримання цукру та побічних продуктів, таких як жом.

Процес починається з бурякорізки TSM (Drum slicer TSM), яка подрібнює цукрові буряки.

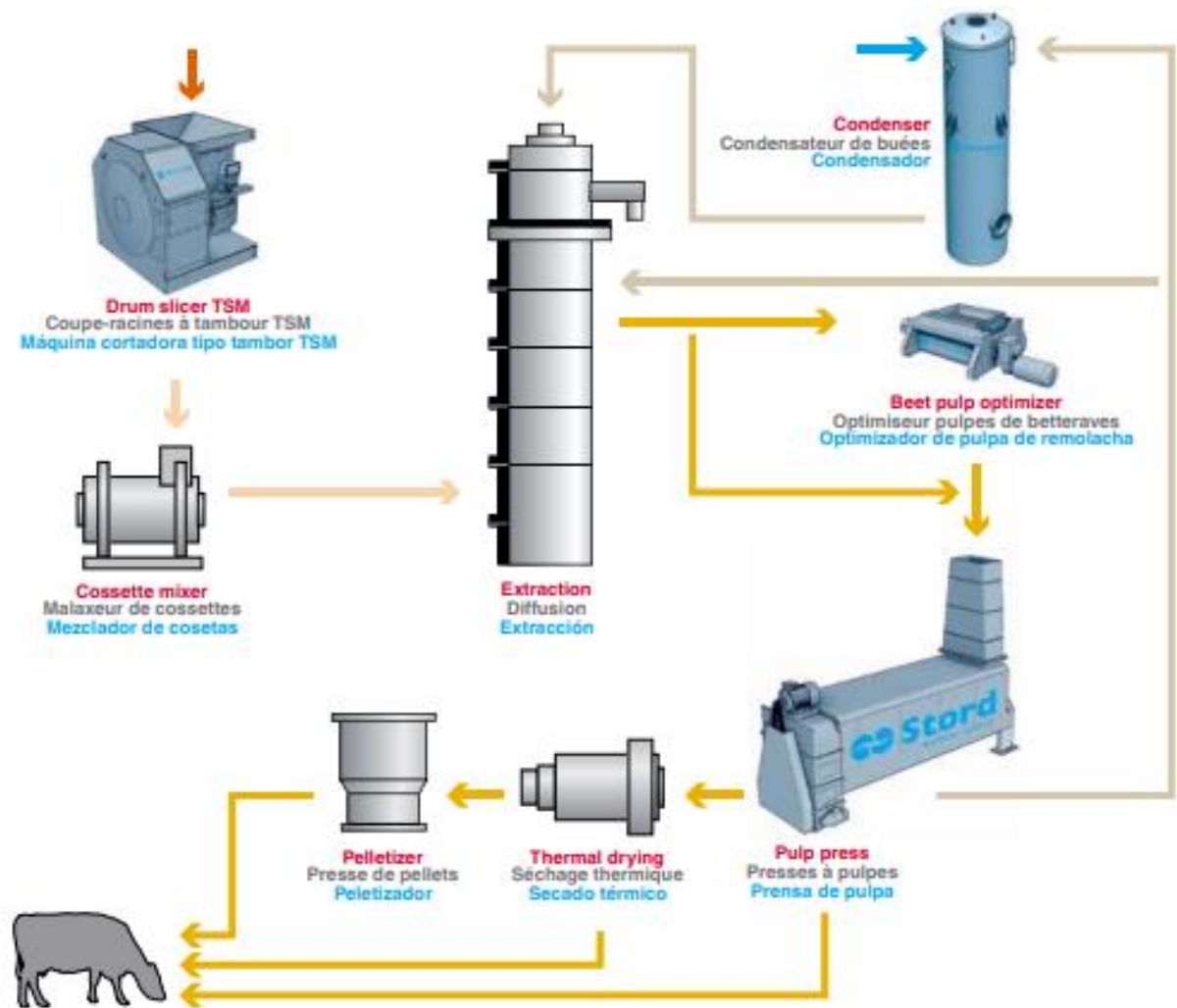


Рисунок 1.2 – Технологічна схема бурякопереробного відділення

Бурякова стружка транспортуються до системи екстракції/дифузії (Extraction/Diffusion), де відбувається вилучення цукру. Після етапу екстракції отримана рідина може бути спрямована до конденсатора (Condenser), що, ймовірно, використовується для рекуперації тепла або конденсації пари.

Твердий залишок після екстракції, відомий як жом, проходить через оптимізатор бурякового жому (Beet pulp optimizer), який, можливо, покращує його властивості перед подальшою обробкою. Далі жом надходить до жомопреса Stord (Pulp press Stord), де відбувається механічне віджимання надлишкової вологи.

Віджатий жом потім направляється на термічне сушіння (Thermal drying), де його вологість додатково знижується. Після сушіння жом може бути

гранульований (Pelletizer), перетворюючись на гранули, які є цінним кормом для тварин, зокрема для худоби (зображено корову, що вказує на кінцеве використання продукту).

Загалом, схема ілюструє повний цикл переробки цукрових буряків від сировини до готового продукту та побічних відходів, які використовуються як корм.

У технологічній схемі переробки цукрових буряків, як представлено на рисунку, **бурякорізка (Drum slicer TSM)** відіграє початкову та фундаментальну роль у всьому процесі. Її функція полягає у первинній механічній обробці сировини, а саме подрібненні цілих цукрових буряків на дрібніші фрагменти, які називаються буряковою стружкою.

Цей етап є критично важливим з кількох причин:

1. **Збільшення площі поверхні для екстракції:** Цілі буряки мають відносно невелику площу контакту з розчинником. Подрібнення на бурякова стружка значно збільшує сумарну поверхню, що дозволяє цукру легше та швидше дифундувати з клітинної структури буряків у воду під час подальшого етапу екстракції/дифузії. Це підвищує ефективність вилучення сахарози та скорочує час процесу.
2. **Оптимізація процесу дифузії:** Розмір і форма бурякової стружки, які виробляє бурякорізка, безпосередньо впливають на ефективність дифузії. Надто дрібні частинки можуть утворювати щільну масу, що ускладнює циркуляцію води та підвищує гідравлічний опір у дифузорі. Натомість, надто великі стружки зменшують площу поверхні та збільшують час, необхідний для повного вилучення цукру. Сучасні бурякорізки, такі як "Drum slicer TSM", націлені на отримання буряковою стружкою оптимального розміру та форми для максимальної ефективності подальших процесів.
3. **Підготовка до подальшого транспортування та обробки:** Подрібнений матеріал легше транспортувати по технологічній лінії до

дифузійної установки. Це також запобігає забиванню обладнання та забезпечує безперервність виробничого процесу.

Таким чином, бурякорізка є не просто пристроєм для подрібнення, а ключовим елементом, що визначає ефективність, швидкість та економічність всього процесу вилучення цукру з буряків. Якість її роботи безпосередньо впливає на вихід кінцевого продукту та ефективність використання ресурсів.

У великомасштабному виробництві цукру, особливо коли функціонує один дифузійний апарат, застосування кількох бурякорізок є типовою технологічною стратегією, що обумовлена низкою виробничих та економічних факторів.

Насамперед, ця практика забезпечує безперервність і стабільність подачі сировини до дифузійного апарату, який працює в безперервному режимі. Оскільки продуктивність дифузора безпосередньо залежить від постійного надходження бурякової стружки, використання однієї бурякорізки становить ризик зупинки всього процесу в разі її несправності, планового технічного обслуговування чи потреби в заміні ножів. Наявність кількох агрегатів дозволяє підтримувати необхідний обсяг подачі навіть при виході з ладу одного з них, тим самим запобігаючи економічно не вигідним простоям.

Крім того, сумарна продуктивність сучасних дифузійних апаратів є значною, і поодинокі бурякорізки, як правило, не можуть забезпечити достатню кількість подрібнених буряків для їх повного завантаження. Паралельна робота кількох бурякорізок дозволяє досягти необхідної сукупної продуктивності, що відповідає потужності дифузійного обладнання.

Такий підхід також надає гнучкість у регулюванні якості бурякової стружки. Оскільки різні сорти буряків або умови їх зберігання можуть вимагати специфічних параметрів подрібнення, незалежне налаштування кількох бурякорізок дозволяє оптимізувати розмір та форму стружки, що позитивно впливає на ефективність дифузії та вихід цукру.

Розподіл робочого навантаження між декількома машинами сприяє зниженню інтенсивності зносу кожного окремого агрегату, продовжуючи

термін служби ножів та інших компонентів. Це, своєю чергою, зменшує частоту їхньої заміни та знижує загальні експлуатаційні витрати на обслуговування обладнання.

Нарешті, наявність додаткових бурякорізок формує необхідний резерв на випадок аварійних ситуацій або планового технічного обслуговування. Цей резерв мінімізує ризики зупинок виробництва та дозволяє проводити ремонтні роботи без порушення безперервності основного технологічного процесу. Таким чином, використання кількох бурякорізок є усталеною практикою у цукровій промисловості, що спрямована на підвищення загальної ефективності, надійності та економічності виробництва.

У цукровій промисловості, для підготовки цукрових буряків до етапу дифузії, використовуються різні типи бурякорізок, кожен з яких має свої конструктивні особливості та принцип дії для отримання стружки (косеток) оптимальних параметрів. Розглянемо три основні типи: дискові, барабанні та відцентрові.

Дискові бурякорізки характеризуються наявністю одного або кількох горизонтально розташованих дисків, на яких закріплені ріжучі ножі. Буряки подаються до центру обертового диска, і під дією відцентрової сили вони притискаються до ножів. Ножі зрізають з буряків тонкі, рівномірні стружки, які потім відводяться. Перевагою дискових бурякорізок є здатність забезпечувати високу однорідність розміру стружки, що є важливим для подальшої ефективності процесу дифузії. Точність різання та мінімальне утворення дрібної фракції дозволяють досягти високого виходу цукру.

Барабанні бурякорізки, як, наприклад, "Drum slicer TSM", що часто зустрічається в технологічних схемах, використовують обертовий барабан. На зовнішній поверхні цього барабана розміщені ріжучі ножі. Буряки подаються до барабана, і в процесі його обертання ножі зрізають з буряків стружку. Ця стружка потім провалюється всередину барабана і вивантажується. Конфігурація ножів та швидкість обертання барабана можуть бути регульовані для контролю товщини та довжини стружки. Барабанні бурякорізки відомі

своєю високою продуктивністю та відносною простотою конструкції, що робить їх популярними для великих обсягів переробки.

Відцентрові бурякорізки представляють собою дещо інший підхід до подрібнення. У цих машинах буряки подаються у відцентровий пристрій, де під дією значної відцентрової сили вони притискаються до ріжучих елементів, розташованих по периферії. Ножі зрізають стружку, яка потім під дією тієї ж відцентрової сили або спеціальних відведень спрямовується на вивантаження. Перевагою відцентрових бурякорізок може бути висока інтенсивність процесу подрібнення та можливість обробки буряків різної форми та розміру. Однак, важливою умовою їх ефективної роботи є забезпечення рівномірного та контрольованого подавання буряків для запобігання надмірному подрібненню та утворенню значної кількості дріб'язку, що може негативно вплинути на подальшу дифузію.

Основні технологічні особливості різних типів бурякорізок зведено до табл. 1.1.

Вибір типу бурякорізки завжди визначається конкретними вимогами цукрового заводу, включаючи необхідну продуктивність, вимоги до якості стружки, енергоефективність та експлуатаційні витрати. Однак, головною метою для будь-якого типу бурякорізки залишається отримання оптимальної стружки для максимального виходу цукру з мінімальними втратами та надійною роботою.

Таблиця 1.1 – Класифікація шнекових бурякорізок за конструкційними ознаками

Характеристика	Дискові бурякорізки	Барабанні бурякорізки	Відцентрові бурякорізки
Принцип дії	Ножі на обертових дисках зрізають стружку під дією відцентрової сили.	Ножі на обертовому барабані зрізають стружку.	Буряки притискаються до ножів відцентровою силою.
Конструкція	Один або кілька горизонтальних дисків з ножами.	Обертовий барабан з ножами на зовнішній поверхні.	Відцентровий пристрій з ножами по периферії.
Якість стружки (косеток)	Висока однорідність за розміром, мінімальне утворення дрібної фракції.	Можливість регулювання товщини та довжини стружки.	Висока інтенсивність подрібнення, потенціал для дріб'язку.
Продуктивність	Забезпечують високу однорідність стружки.	Висока продуктивність, проста конструкція.	Висока інтенсивність процесу.
Переваги	Точність різання, ефективна дифузія, мінімум дріб'язку.	Висока продуктивність, відносна простота.	Можливість обробки різної форми та розміру буряків.
Особливості/Недоліки			Потреба у рівномірному поданні для запобігання надмірному подрібненню.

1.3 Будова та принцип роботи відцентрової бурякорізки

У вітчизняній цукровій галузі найширше застосування знайшли відцентрові бурякорізки, які виготовляє, зокрема Смілянський машинобудівний завод, конструкція якої зображено на рис. 1.3.

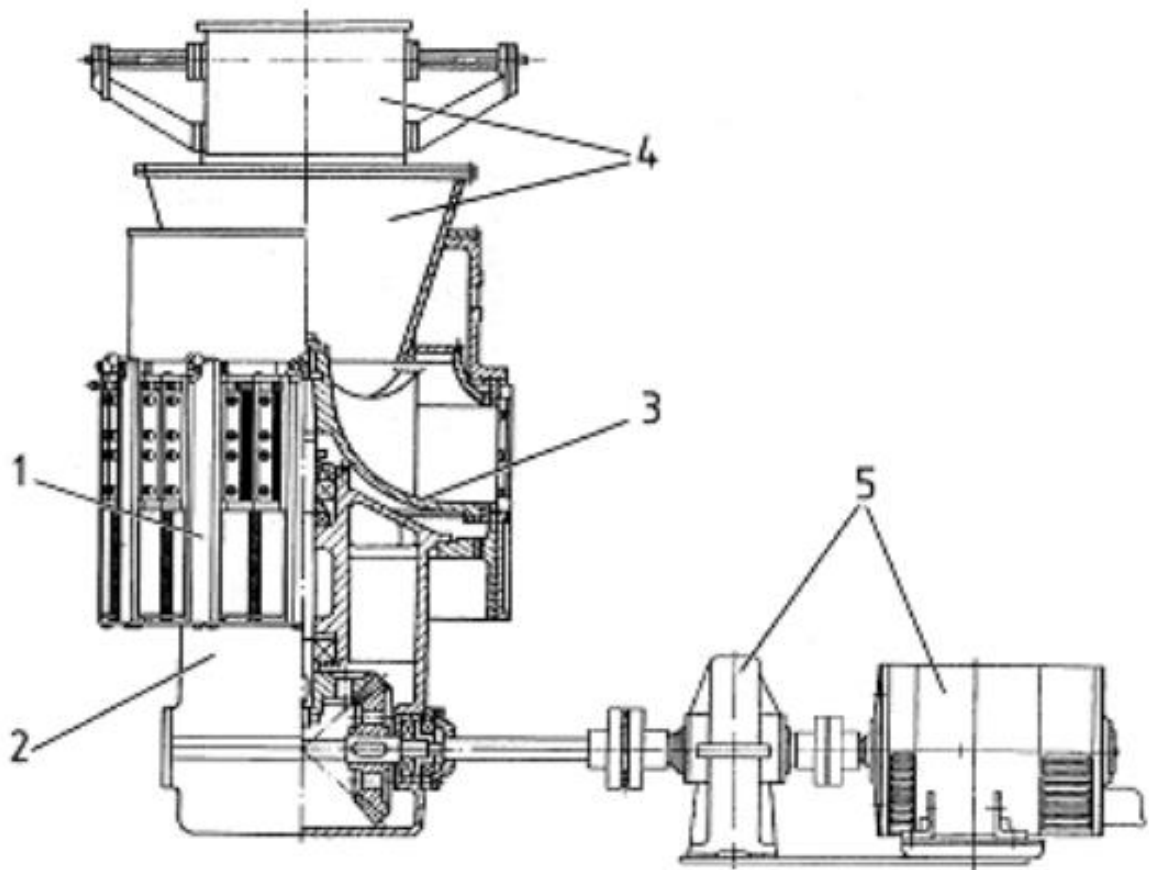


Рисунок 1.3 – Конструкція відцентрової бурякорізки

Бурякорізка складається з барабана (1), всередині якого на валу редуктора (2) закріплено завиток (3). Над барабаном розташовано завантажувальний пристрій (4), а в нижній частині агрегата — привід бурякорізки (5). У вікнах барабана (рис 1.4) встановлено ножові рами (6) та глухі рами (7), які фіксуються по висоті за допомогою фіксаторів (8) та притискаються до них пружинами (9).

Принцип дії бурякорізки полягає у наступному. Коренеплоди подаються через завантажувальний пристрій (4) на завиток (3), що обертається завдяки валу редуктора (2), привод якого здійснюється від механізму (5). Завиток (3) за допомогою своїх лопатей захоплює буряки і, під дією відцентрової сили, спрямовує їх до внутрішньої поверхні барабана (1). Під час обертання буряки переміщуються назустріч ріжучим крайкам ножів, установлених у ножових рамах (6), і подрібнюються на стружку.

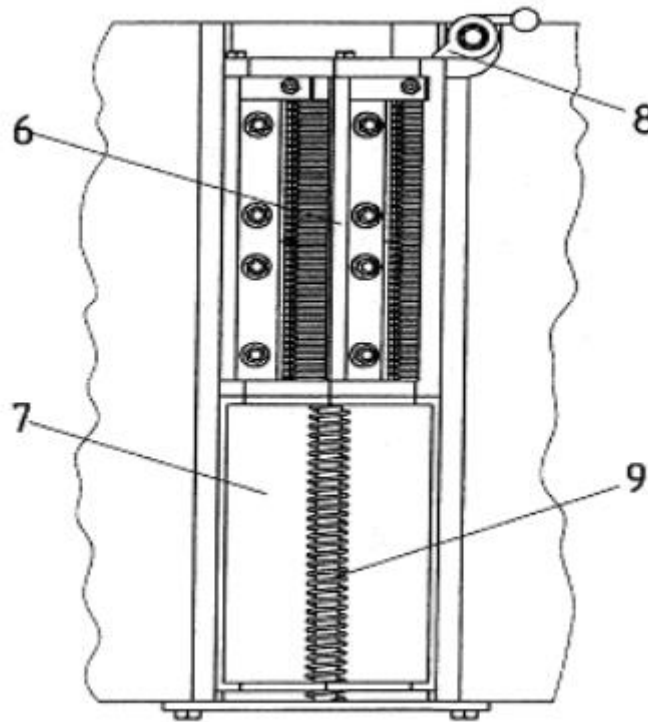


Рисунок 1.4 – Вигляд вікна барабана бурякорізки з ножовою рамою

Пружини (9) чинять тиск на глухі рами (7), передаючи зусилля ножовим рамам (6), що утворює кінематичний зв'язок між цими елементами. Завдяки цьому ножові рами (6) щільно притискаються до фіксаторів (8), забезпечуючи надійне позиціонування по висоті у вікнах барабана (1). Необхідний профіль стружки досягається шляхом регулювання положення рядів ножів відносно вертикальної осі, чергуванням профілів ножів у рамах (6), а також точним базуванням ножових рам у висотних межах вікон барабана (1) за допомогою фіксаторів (8).

Процедура заміни ножових рам (6) передбачає вивільнення фіксатора (8), після чого зусилля пружини (9) спрямовує ножову (6) та глуху (7) рами вгору. При цьому ножова рама виходить за межі вікна барабана (1), а глуха рама (7) автоматично займає її місце, перекриваючи вихід буряків через вікно.

Відцентрові бурякорізки, як і інші типи різальних машин, оперують з певними фізичними принципами, що можуть бути описані математичними співвідношеннями. Хоча точні моделі можуть бути складними і включати

емпіричні коефіцієнти, основні параметри, що характеризують їхню роботу, пов'язані з динамікою руху буряків та процесом різання.

Ключовим аспектом у відцентрових бурякорізках є **відцентрова сила**, яка притискає буряки до ріжучих елементів, розташованих по периферії обертового робочого органу. Цю силу можна виразити за формулою:

$$F_u = \frac{m \cdot v^2}{R}, \quad (1.1)$$

m – маса буряка (або його фрагмента), кг; v – тангенціальна швидкість буряка, м/с; R – радіус, на якому знаходиться буряк від осі обертання, м.

Тангенціальна швидкість v може бути визначена через кутову швидкість ω або частоту обертання n :

$$v = \omega \cdot R = 2\pi \cdot n \cdot R, \quad (1.2)$$

де ω – кутова швидкість обертання робочого органу, рад/с; n – частота обертання робочого органу, об/с.

Таким чином, чим більша швидкість обертання робочого органу та радіус, на якому знаходиться буряк, тим більшою буде відцентрова сила, що забезпечує притискання буряка до ножів і інтенсивність різання.

Продуктивність бурякорізки (Q) може бути визначена як добуток кількості одночасно утворених стружок, їхніх розмірів, щільності буряків та частоти проходження ріжучих елементів.

Якщо:

- k – кількість ріжучих рамок (ножів) на робочому органі;
- L – середня довжина стружки, м;
- h – середня товщина стружки, м;
- w – середня ширина стружки (зазвичай дорівнює ширині ножа або частини ріжучого апарату), м;
- ρ_b – щільність буряків, кг/м³;
- n – частота обертання робочого органу, об/с.

Тоді об'єм стружки, що утворюється за один оберт одним ножом, можна апроксимувати як $L \cdot h \cdot w$. Однак, більш коректно розглядати площу поперечного перерізу стружки та швидкість, з якою вона зрізається.

Більш детальне співвідношення для продуктивності відцентрових бурякорізок може бути сформульоване, враховуючи площу різання та швидкість різання:

$$Q = k \cdot A_{\text{ножа}} \cdot v \cdot \rho \cdot \lambda, \quad (1.3)$$

де k – кількість ріжучих ножів (або рамок) на робочому органі; $A_{\text{ножа}}$ – ефективна площа перерізу стружки, що утворюється одним ножом за один цикл (або за один прохід), м^2 ;

v – відносна швидкість різання (швидкість, з якою ніж рухається відносно буряка), м/с . Ця швидкість тісно пов'язана з тангенціальною швидкістю робочого органу ($v = 2\pi nR$).

ρ – щільність буряків, кг/м^3 ;

λ – коефіцієнт використання ріжучої поверхні/ефективності процесу, що враховує прослизання, нерівномірність подачі та інші технологічні втрати ($0 < \lambda < 1$).

Зазначимо, що $A_{\text{ножа}}$ може бути приблизно визначена як добуток товщини стружки (w) та висоти рамки (h).

Отже, формула може бути уточнена:

$$Q = k \cdot h \cdot w \cdot 2\pi \cdot n \cdot R \cdot \rho \cdot \lambda, \quad (1.4)$$

де R – ефективний радіус різання, на якому розташовані ножі.

Це співвідношення більш повно враховує вплив кількості ріжучих елементів (k), розмірів стружки (h , w) та динамічних параметрів (швидкість обертання n та радіус R) на загальну продуктивність відцентрової бурякорізки.

Висновки до розділу

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.

Буякорізки у цьому процесі відіграють ключову роль, оскільки дозволяють забезпечити стабільну роботу буякоперобного відділення та й усього підприємства.

У розділі було здійснено аналіз технологічного процесу подрібнення цукрового буряку, розглянуто основні конструкції буякорізок та обґрунтовано широке застосування рамочних відцентрових буякорізок. Також подано математичні співвідношення, що характеризують продуктивність відцентрових буякорізок та визначено основні параметри, що на них впливають.

2 КОНСТРУКТИВНІ ПАРАМЕТРИ ВІДЦЕНТРОВОЇ БУРЯКОРІЗКИ

В цукровій галузі України широке застосування знайшли відцентрові бурякорізки 2М-СЦ2Б-12 Смілянського цукрового заводу, встановлені у попередній період. Вони мали 12 двоножевих рам, а їх зовнішній вигляд подано на рис. 2.1



Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд відцентрової бурякорізки

Їх перевагами була висока надійність, простота конструкції та довговічність експлуатації. Однак в умовах постійної інтенсифікації цукрового виробництва останнім часом дуже часто спостерігається їх модернізація, що полягає в заміні зовнішнього 12-ти рамного барабана на 16-ти рамний за рахунок зменшення відстані між пазами для ножових рам. Тим самим збільшуючи продуктивність більш ніж на 40%.

Зменшення відстані між ножами сприяє зменшенню вертикального зміщення буряків уздовж стінок барабана, що, у свою чергу, забезпечує отримання стружки вищої якості. Таким чином, з технічної точки зору, така модернізація є доцільною та ефективною.

Модернізація традиційних бурякорізок типу 2М-СЦ2Б-12, які широко застосовуються на цукрових заводах, забезпечує суттєве підвищення якості бурякової стружки та збільшення продуктивності — від 1650 до 3500 тонн на добу. У поєднанні з низькою собівартістю така ефективність робить відцентрові бурякорізки конкурентоспроможними відносно дискових та барабанних аналогів.



Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд барабана (16 рам) після модернізації

Основною обертовою частиною відцентрової бурякорізки є завиток, зовнішній вигляд та конструктивні параметри якої подано на рис. 2.3

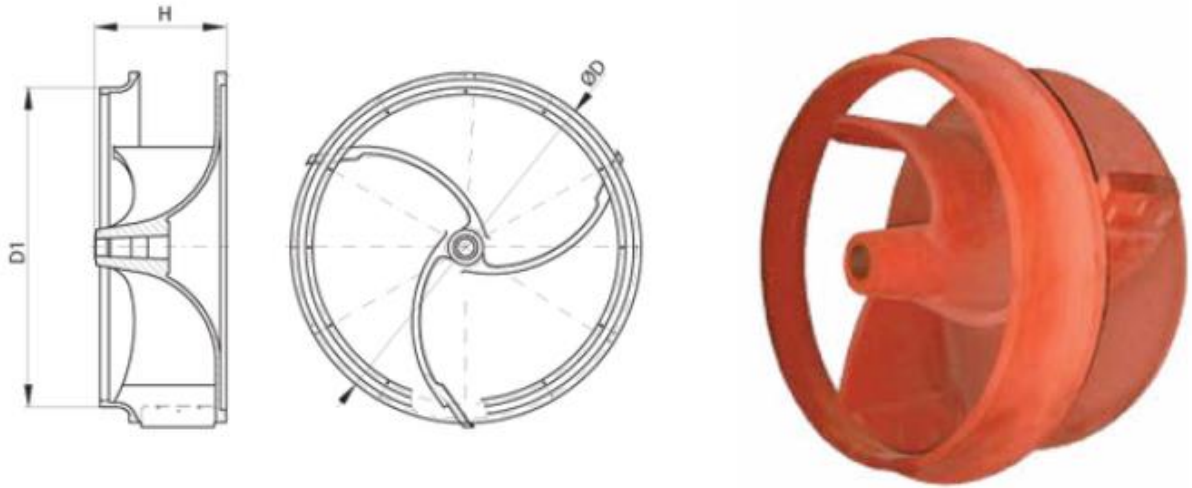


Рисунок 2.3 – Конструкція завитка відцентрової бурякорізки

Основні конструктивні параметри модернізованої відцентрової бурякорізки зведено до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні конструктивні параметри модернізованої 16 рамкової бурякорізки

Характеристика	
Кількість ножових рам, шт.	16
Продуктивність при номінальній швидкості різання Q , т/доб	3500
Швидкість різання регулюється v , м/с	4-8
Номінальна частота обертання завитка, ω_m , об/хв	110
Загальне передатне число редуктора, i	12,5
Внутрішній діаметр барабана, D , м	1,4
Висота завитка H , м	0,65
Висота рами h , м	0,4
Ширина рами a , м	0,165
Відстань між рамами b , м	0,08
Маса завитка m , кг	750
Момент інерції разом із сировиною J , кг м ²	490

Технологічний процес у відцентровій бурякорізці починається з етапу ретельної підготовки сировини. Очищені від ґрунту, каменів та інших сторонніх домішок цукрові буряки подаються до робочої зони машини. Ця подача здійснюється безперервно, забезпечуючи стабільне надходження матеріалу до ріжучих елементів. Важливою умовою є рівномірне дозування, щоб уникнути перевантаження апарату та забезпечити оптимальні умови різання.

Після надходження до бурякорізки, буряки потрапляють на спеціальний високошвидкісний обертовий диск або ротор. Цей елемент є серцем відцентрової машини. Завдяки інтенсивному обертанню ротора, на буряки починає діяти значна відцентрова сила. Ця сила змушує буряки притискатися до внутрішньої поверхні зовнішнього корпусу робочої камери, набуваючи при цьому високої тангенціальної швидкості. Таким чином, буряки ефективно позиціонуються для контакту з ріжучими елементами.

На периферії робочої камери, до якої притиснуті буряки, розташовані спеціальні ріжучі елементи. Це можуть бути ножі або ріжучі рамки, конструкція яких оптимізована для зрізання тонкої та рівномірної стружки. Коли буряк, що рухається з високою швидкістю, вступає в контакт з цими ножами, відбувається механічне зрізання. Внаслідок цього процесу утворюються довгі та тонкі стружки, які є ідеальною формою для подальшого вилучення цукру в дифузійному апараті. Параметри цієї стружки, такі як її товщина та довжина, ретельно контролюються, оскільки вони суттєво впливають на ефективність дифузії та чистоту цукрового соку.

Після процесу власне різання, відрізані стружки, все ще перебуваючи під впливом відцентрової сили або використовуючи спеціальні відводи, вивантажуються з робочої камери бурякорізки. Потім ця свіжоподрібнена стружка транспортується до наступних етапів переробки, а саме до дифузійного апарату для екстракції цукру.

Крім того, деякі сучасні відцентрові бурякорізки можуть бути оснащені додатковими механізмами для відділення дрібної фракції або "дріб'язку", яка

неминуче утворюється в процесі різання. Контроль за кількістю та видаленням дріб'язку є важливим аспектом, оскільки його надмірна присутність може негативно вплинути на гідродинаміку дифузійного апарату, ефективність вилучення цукру та якість кінцевого продукту.

Для завантаження дифузійного апарату зазвичай використовують дві або три відцентрових бурякорізки, з яких деяка частина може працювати, а інша перебувати на технічному обслуговуванні, пов'язаному із заміною затуплених ножів на заточені або бути в резерві. Саме така система є об'єктом пропонованого дослідження, що складається із трьох модернізованих 16-ти рамкових бурякорізок, що працюють на один дифузійний апарат із плановою максимальною продуктивністю 4600 т буряка на добу. У проектованій системі бурякова стружка транспортується трьома стрічковими транспортерами протяжністю 8, 30 та 6 м.

Завантаження дифузійного апарата стружкою має відбуватися постійною, із сталою заданою оперативним персоналом витратою (масою за одиницю часу) стружки.

Однак характерною особливістю роботою є досить часті аварійні зупинки бурякорізки, пов'язані із попаданням у середину барабана сторонніх предметів, що можуть туди потрапити попри сепарацію на попередніх етапах підготовки сировини. У такому разі виникають простой у подачі сировини до дифузійного апарату, пов'язані із виявленням зупинки, підготовки до пуску та пуску резерву. Це в результаті негативно впливає на технологічні процеси у дифузійному апараті і є вкрай небажаними.

Тому постає задача не лише проектування приводу окремої модернізованої бурякорізки, але й такої загальної системи керування групою бурякорізок, що працюють на один дифузійний апарат, яка б забезпечила безперебійне постачання сировини до нього незважаючи на можливі аварійні зупинки.

Висновки до розділу

Таким чином аналіз технологічних та конструкційних особливостей роботи бурякорізки та загальної структури бурякопереробного відділення дають змогу сформулювати наступні задачі пропонованої роботи:

1. Розрахунок потужності двигуна головного приводу бурякорізки.
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 електроприводом бурякорізки, що забезпечуватиме регулювання швидкості обертання ротора, а також керування допоміжними механізмами, та розробка системи керування групою таких бурякорізок, що забезпечуватиме якісне виконання технологічного процесу, а також безперебійне постачання бурякової стружки до дифузійного апарата за різних умовою
5. Математичне моделювання роботи електропривода в перехідних режимах роботи.

3 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ДВИГУНА БУРЯКОРІЗКИ

3.1 Вимоги до вибору потужності електродвигуна

Коректний вибір потужності електродвигуна має вирішальне значення для ефективної та надійної роботи механізму. Якщо потужність двигуна буде недостатньою, це може призвести до зниження продуктивності, перегрівання та передчасного виходу з ладу, зокрема через прискорене старіння ізоляції обмоток.

У той же час встановлення електродвигуна із надлишковою потужністю є нераціональним з економічної точки зору. Це може знизити загальний коефіцієнт корисної дії, спричинити додаткове енергоспоживання, підвищити зношування вузлів та збільшити ризик поломок механізму.

Залежно від режиму роботи механізму, електродвигуни класифікуються за типами навантаження:

- **Тривалий режим роботи** — двигун досягає сталої температури в процесі безперервної експлуатації.
- **Короткочасний режим** — тривалість роботи настільки мала, що двигун не встигає нагрітися до сталої температури через паузи між циклами.
- **Повторно-короткочасний режим** — за кожен робочий цикл двигун також не встигає досягти сталої температури, однак температура змінюється в певних межах протягом усіх циклів.

Потужність електродвигуна підбирається відповідно до зазначених режимів роботи. Для тривалого режиму вказується номінальна потужність без обмежень за часом. Для короткочасного режиму наводяться різні значення тривалості роботи разом з відповідними номінальними потужностями. Важливо, щоб обрана розрахункова потужність не перевищувала допустиму номінальну для кожного конкретного режиму експлуатації.

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

- статичні навантаження на валу двигуна пов'язані із витратою енергії на виконання корисної роботи та втрати через тертя
- динамічні характеристики при зміні швидкості обертання та навантаження,
- діапазон регулювання швидкості,
- потрібний тип механічної характеристики в часі та необхідна точність підтримання режиму,
- частота включень приводного механізму.

Режим роботи електроприводу відцентрової бурякорізки на цукровому заводі, як правило, тривалий, оскільки відцентрова бурякорізка є частиною безперервного технологічного процесу переробки буряка. Під час роботи заводу за нормальних умов та стану ріжучих рамок бурякорізка функціонує безперервно протягом усієї зміни або доби, без тривалих зупинок, що характерно саме для тривалого режиму. Тому:

$$TB_{\text{ст}} = 100\%. \quad (3.1)$$

У такому режимі двигун нагрівається до сталої робочої температури, і важливо забезпечити, щоб він міг працювати без перевантажень упродовж тривалого часу.

Отже, для електроприводу відцентрової бурякорізки застосовується тривалий режим навантаження (S1), і відповідно, двигун має підбиратися за номінальною потужністю, розрахованою на безперервну експлуатацію. Також важливим є діапазон зміни швидкості обертання двигуна, що забезпечуватиме необхідний для виконання технологічного процесу діапазон зміни швидкості різання від 4 до 8 м/с (див. табл. 2.1)

3.2 Розрахунок потужності електропривода бурякорізки

Вибір потужності приводу бурякорізки є складним інженерним завданням, що базується на комплексному аналізі технологічних, механічних і енергетичних параметрів системи. Зазвичай він виконується на основі розрахунку потужності, необхідної для виконання процесу різання буряків, з

урахуванням особливостей конструкції машини, властивостей сировини та режиму роботи обладнання.

У процесі функціонування бурякорізки загальна споживана потужність електропривода витрачається на виконання кількох взаємопов'язаних процесів, кожен з яких має свою питому енерговитрату. Зокрема, потужність витрачається на:

1. власне різання буряків ножами P_1 ;
2. здійснення допоміжних рухів — транспортування, обертання барабана тощо P_2 ;
3. подолання сил тертя буряків об внутрішні поверхні конструкції P_3 ;
4. подолання внутрішнього тертя в елементах механізму, зокрема завитка об барабан P_4 .

Таким чином можна записати:

$$P_{\text{розр}\Sigma} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4. \quad (3.2)$$

Корисна потужність, що витрачається на подолання сил опору різання визначається за виразом:

$$P_1 = \mu_{\text{різ}} \cdot h \cdot v \cdot z, \quad (3.3)$$

де z – кількість рамок,

v - швидкість різання,

h – довжина ріжучої кромки, що дорівнює висоті рамки,

$\mu_{\text{різ}}$ - питомий опір різанню, що визначається із табл. 3.1

Таблиця 3.1 – Питомий опір різанню буряка, Н/м

Форма	довжина стружки, мм						
стружки	7 ... 8	9 ... 10	11 ... 13	14 ... 16	17 ... 21	22 ... 27	28 ... 34
жолобчата	1770	1570	1420	1330	1230	-	-

Прийmemo для розрахунків $\mu_{\text{різ}} = 1570 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ і $v = v_{\text{max}} = 8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Тоді:

$$P_1 = 1770 \cdot 0,4 \cdot 8 \cdot 16 = 80320 \text{ Вт}.$$

Потужність P_2 , яка витрачається на надання буряковій масі швидкості різання в завитковому барабані по суті є потужністю, що витрачається на надання кінетичної енергії сировині:

$$P_2 = \frac{1}{2} Q \cdot v^2, \quad (3.4)$$

де Q – планова продуктивність бурякорізки, кг/с.

$$Q = 3500 \frac{m}{\text{добу}} = \frac{3500000 \text{ кг}}{24 \cdot 3600 \text{ с}} = 34,722 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

$$P_2 = \frac{1}{2} 34,722 \cdot 8^2 = 1300 \text{ Вт}.$$

Потужність, що витрачається на тертя буряків об елементи механізму в основному витрачається об тертя буряків об зовнішню циліндричну поверхню барабана, оскільки там створюється найбільше притискання внаслідок відцентрової сили:

$$P_3 = p_3 \cdot 2\pi \cdot R \cdot h \cdot \mu_T \cdot v, \quad (3.5)$$

де p_3 - тиск на стінку барабана, що створюється при обертанні завитка (При швидкості обертання 8 м/с тиск $p_3 = 1800 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$;

$2\pi \cdot R \cdot h$ - площа зовнішньої циліндричної поверхні, м²;

μ_T - коефіцієнт тертя (прийmemo $\mu_T = 0,5$).

$$P_3 = 1800 \cdot 2\pi \cdot 0,7 \cdot 0,4 \cdot 0,5 \cdot 8 = 12670 (\text{Вт})$$

Тертя в складних механізмах дуже важко описується аналітично з необхідною точністю. Тому для його визначення скористаємось імпіричним співвідношенням:

$$P_4 = 0,05 \cdot (P_1 + P_2 + P_3), \quad (3.6)$$

$$P_4 = 0,05 \cdot (80320 + 1300 + 12670) = 4720 (\text{Вт}).$$

Таким чином

$$P_{\text{розр}\Sigma} = 80320 + 1300 + 12670 + 4720 = 99010 \text{ Вт} = 99,01 \text{ кВт}$$

Умовою вибору потужності двигуна слугує вираз:

$$P_{\text{ном}} \geq k_{\text{зан}} P_{\text{розр}}, \quad (3.7)$$

де $k_{\text{зан}}$ - коефіцієнт запасу для вибору номінальної потужності двигуна, який прийmemo $k_{\text{зан}} = 1,2$. Тоді:

$$P_{\text{ном}} \geq 1,2 \cdot 99,01 = 118,8 \text{ кВт}$$

Таким чином приймаємо номінальну потужність двигуна привода модернізованої 16-ти рамочної бурякорізки $P_{\text{ном}} = 132 \text{ кВт}$.

Для вибору номінальної частоти обертання двигуна скористаємось виразом:

$$n_{\text{дв}} = i_{\Sigma} \cdot n_{\text{мех}}, \quad (3.8)$$

де i_{Σ} - сукупне передаточне число редуктора,

$n_{\text{мех}}$ - частота обертання механізму, тобто завитка бурякорізки.

Для розрахунку $n_{\text{мех}}$ скористаємось виразом (1.2):

$$n_{\text{мехmax}} = \frac{8}{2\pi} \cdot 60 = 110 \text{ об/хв},$$

$$n_{\text{мехmin}} = \frac{4}{2\pi} \cdot 60 = 55 \text{ об/хв}.$$

У такому разі робочий діапазон зміни частоти обертання двигуна:

$$n_{\text{двmax}} = 12,5 \cdot 110 = 1375 \text{ об/хв},$$

$$n_{\text{мехmin}} = 12,5 \cdot 55 = 687,5 \text{ об/хв}.$$

Отже, номінальна (або синхронна у випадку асинхронного електпривода) частота обертання двигуна привода модернізованої 16-ти рамкової бурякорізки повинна складати 1500 об / хв.

Висновки

Виконано обґрунтований розрахунок потужності електропривода модернізованої 16-рамкової відцентрової бурякорізки з урахуванням технологічних, кінематичних та енергетичних параметрів. Встановлено, що електропривод бурякорізки працює в умовах тривалого режиму навантаження (S1), що є типовим для безперервних технологічних процесів цукрового виробництва.

Визначено, що загальна потужність двигуна витрачається на різання, подолання сил тертя бурякової маси об конструктивні елементи, втрати на тертя в механізмах та допоміжні операції. За результатами розрахунків визначено, що для забезпечення надійної та стабільної роботи модернізованої бурякорізки необхідно застосовувати електродвигун з номінальною потужністю $P_{ном} = 132 \text{ кВт}$.

Крім того, на основі передаточного числа редуктора та частоти обертання завитка визначено необхідну номінальну частоту обертання електродвигуна, яка має становити 1500 об/хв.

Отримані результати забезпечують основу для правильного вибору електродвигуна, що відповідатиме вимогам безперервної експлуатації, забезпечуючи надійність, енергоефективність і високу якість подрібнення буряка в умовах сучасного цукрового виробництва.

4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода полягає у комплексному аналізі технічних характеристик та економічних показників з метою визначення найбільш раціонального варіанта для конкретного технологічного процесу. Цей підхід охоплює низку ключових аспектів, серед яких виокремлюють технічні, економічні та додаткові критерії вибору.

До технічних чинників належать:

- Вимоги до потужності та характеру навантаження, що передбачає визначення необхідної номінальної потужності, крутного моменту, а також оцінку динамічних і статичних режимів роботи привода;
- Показники енергоефективності, зокрема аналіз коефіцієнта корисної дії (ККД) системи та оцінка ефективності її роботи в реальних експлуатаційних умовах;
- Надійність і довговічність, що визначаються за результатами розрахунків середнього часу безвідмовної роботи й прогнозного терміну служби без капітального ремонту;
- Сумісність та інтеграція, що включає відповідність привода існуючим системам керування, можливість його адаптації до інших елементів технологічного комплексу;
- Умови експлуатації, зокрема вплив температурного режиму, вологості, запиленості та інших факторів довкілля, а також необхідний рівень захисту згідно з вимогами стандарту IP.

Економічна складова охоплює:

- Аналіз капітальних витрат, включаючи вартість закупівлі електропривода, витрати на монтажні роботи та пусконаладжування;

- Оцінку експлуатаційних витрат, що враховує споживання електроенергії, витрати на технічне обслуговування, ремонти та можливі простої обладнання;
- Розрахунок терміну окупності, який дозволяє визначити часові межі повернення інвестицій за рахунок зниження експлуатаційних витрат та підвищення ефективності;
- Потенціал енергозбереження, який оцінюється на основі порівняння із менш ефективними аналогами.

Додатково беруться до уваги такі аспекти, як екологічні вимоги (відповідність екологічним стандартам, вплив на навколишнє середовище, рівень шуму та емісій), умови гарантійного та післягарантійного обслуговування, а також ділова репутація виробника або постачальника обладнання.

Узагальнюючи, техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода дозволяє здійснити зважене рішення, яке забезпечує оптимальне поєднання технічної ефективності та економічної доцільності відповідно до специфіки об'єкта автоматизації.

4.1 Технічне обґрунтування вибору системи електропривода

Основні технічні вимоги до електропривода відцентрової бурякорізки формуються з урахуванням особливостей технологічного процесу подрібнення буряка, характеру навантаження, режиму роботи, а також вимог до надійності та енергоефективності. До найважливіших технічних вимог належать:

- Потужність і крутний момент. Електропривод повинен забезпечувати достатню встановлену потужність для подолання опору подрібнення сировини, враховуючи значні масові потоки буряка та нерівномірність його подачі. Особливу увагу приділяють стійкості привода до перевантажень та забезпеченню необхідного крутного моменту в умовах пуску та експлуатації.

- **Стійкість до динамічних навантажень.** Робота бурякорізки супроводжується змінними навантаженнями внаслідок неоднорідності сировини та можливих коливань подачі. Тому електропривод повинен володіти високими динамічними характеристиками, що забезпечують стабільність роботи за різних режимів.

- **Режим роботи.** Привод відцентрової бурякорізки, як правило, функціонує у тривалому режимі (S1) з можливими короткочасними зупинками, тому доцільне застосування електродвигуна, здатного працювати безперервно з мінімальним перегрівом та із збереженням технічних параметрів упродовж тривалого часу.

- **Плавність пуску, гальмування та регулювання швидкості обертання.** З метою зменшення механічних навантажень на вузли машини, а також зменшення пускових струмів, електропривод має забезпечувати плавний пуск. За нормальної роботи електропривод повинен забезпечувати визначений у розділі 3 діапазон регулювання швидкості обертання.

- **Енергоефективність.** Високий коефіцієнт корисної дії є критичним для зниження витрат на електроенергію в умовах безперервної роботи. Вибір привода повинен ґрунтуватися на показниках ККД та класу енергоефективності згідно з міжнародними стандартами (наприклад, ІЕС 60034-30).

- **Надійність і довговічність.** Оскільки зупинка бурякорізки призводить до порушення всього технологічного процесу переробки буряка, електропривод має характеризуватися високим рівнем надійності, з мінімальною ймовірністю відмови в експлуатаційних умовах, а також тривалим ресурсом без капітального ремонту.

- **Захист і відповідність умовам експлуатації.** Умови роботи бурякорізки пов'язані з підвищеною вологістю, забрудненням та можливим впливом агресивних середовищ. Тому електропривод має відповідати відповідному ступеню захисту, мати надійну ізоляцію та, за потреби, антикорозійне покриття.

- Сумісність із системою керування. Електропривод повинен забезпечувати можливість інтеграції до загальної автоматизованої системи керування технологічним процесом (SCADA, PLC), підтримувати аналогові, цифрові або мережеві інтерфейси (наприклад, Modbus, Profibus, Ethernet).

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

У якості електропривода бурякорізок можна використати три системи електропривода:

- тиристорний регулятор напруги - асинхронний двигун (ТРН-АД),
- тиристорний перетворювач (керований випрямляч) – двигун постійного струму (ТП-ДПС),
- перетворювач частоти – асинхронний двигун (ПЧ-АД).

Розглянемо технічні властивості цих систем у якості електропривода відцентрової окремо.

Порівняльний технічний аналіз систем електропривода, що застосовуються у відцентрових бурякорізках, слід здійснювати з урахуванням вимог до потужності, динамічних характеристик, енергоефективності, надійності, адаптації до умов експлуатації та можливості інтеграції в сучасні системи автоматизації. Найбільш поширеними є системи на основі тиристорного регулятора напруги з асинхронним двигуном (ТРН-АД), тиристорного перетворювача з двигуном постійного струму (ТП-ДПС) та частотного перетворювача з асинхронним двигуном (ПЧ-АД).

З точки зору забезпечення необхідної потужності й крутного моменту всі три типи систем відповідають базовим вимогам до роботи бурякорізки, однак ТП-ДПС забезпечує кращу стабільність моменту в усьому діапазоні обертів, що є важливим для рівномірного подрібнення сировини в умовах змінного навантаження. ПЧ-АД також демонструє високі динамічні характеристики, зокрема при розгоні і гальмуванні ротора, а також здатен підтримувати необхідну частоту обертання з точністю до десятих часток відсотка. Система ТРН-АД є найменш придатною в аспекті стабільності моменту, особливо при

роботі на знижених напругах, і характеризується сповільненим реагуванням на зміну навантаження.

Енергоефективність системи є критичним фактором для тривалої експлуатації бурякорізки. У цьому аспекті найбільш ефективним є перетворювач частоти в поєднанні з асинхронним двигуном, що дозволяє мінімізувати втрати електроенергії завдяки точному регулюванню частоти та напруги. Електропривод постійного струму поступається за енергоефективністю через втрати в колекторно-щітковому вузлі, а також втрати в тиристорному випрямлячі. Система ТРН-АД характеризується найнижчим ККД, особливо при неповному навантаженні, що є наслідком неперетворюваних гармонік напруги та підвищених струмів у статорній обмотці.

У контексті надійності й довговічності найменше обслуговування потребує система ПЧ-АД завдяки відсутності щіток і наявності надійних захисних алгоритмів у частотному перетворювачі. Система ТП-ДПС вимагає регулярної заміни щіток, очищення колектора та потребує більш частого технічного обслуговування. ТРН-АД також має обмеження щодо довготривалої роботи під навантаженням через високі теплові навантаження в обмотках при зниженій напрузі, що може призводити до передчасного старіння ізоляції.

З урахуванням адаптації до виробничих умов, характерних для цукрової промисловості, а саме – наявності пилу, вологи та високої температури, системи з асинхронними двигунами мають перевагу завдяки можливості герметичного виконання корпусу двигуна та застосування захищених електронних блоків управління. У той час як двигуни постійного струму є більш вразливими до негативного впливу зовнішнього середовища через необхідність відкритої вентиляції для охолодження.

Щодо інтеграції в автоматизовані системи керування, перевагу має перетворювач частоти, що підтримує широкий спектр сучасних інтерфейсів зв'язку, таких як RS-485, Modbus, Profibus, а також має вбудовані функції

моніторингу та діагностики. Електропривод постійного струму може бути адаптований до сучасних систем за допомогою відповідних аналогових або цифрових пристроїв керування, проте його інтеграція є складнішою та потребує більше ресурсів. Найменші можливості щодо автоматизації має система ТРН-АД, яка здебільшого призначена для роботи в простих схемах із фіксованими режимами.

Зведемо основні висновки технічного аналізу вибору системи приводу у таблицю 4.1

Таблиця 4.1 – Порівняльний технічний аналіз систем електропривода

Технічний критерій	ТРН-АД	ТП-ДПС	ПЧ-АД
Забезпечення потужності та моменту	Задовільне, нестабільне при змінному навантаженні	Високе, точне регулювання у всьому діапазоні	Високе, стабільне при різних режимах
Динаміка розгону та гальмування	Повільна, інерційна	Висока	Висока
Енергоефективність (ККД)	Низька, особливо при неповному навантаженні	Середня, через втрати в колекторі	Висока, з мінімальними втратами
Надійність і довговічність	Середня, обмежена перегрівом	Середня, вразлива до зносу щіток	Висока, тривалий ресурс без технічного обслуговування
Адаптація до умов експлуатації	Часткова, потребує охолодження	Середня	Висока
Сумісність з системами автоматизації	Обмежена, складно інтегрувати	Середня, з додатковими інтерфейсами	Висока, підтримка сучасних цифрових протоколів
Обслуговування та сервіс	Помірне	Помірне	Мінімальне
Регулювання частоти обертання	Грубе, стрибкоподібне	Плавне, з високою точністю	Плавне, з високою точністю

Таким чином, враховуючи аналіз сукупності технічних аспектів вибору найкращим рішенням для приводу відцентрової бурякорізки є система ПЧ-АД. Також незважаючи на певні недоліки пов'язанні із зменшеною надійністю та інтенсивнішим ТО може використовуватись система ТП-ДПС. Ці дві системи забезпечують необхідний рівень енергоефективності, гнучкість керування, довговічність та відповідність сучасним стандартам автоматизації виробництва. Використання системи ТРН-АД є небажаним.

4.2 Економічне обґрунтування вибору системи електроприводу

Для порівняння техніко-економічних показників системи електроприводу бурякорізки 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 ($E_p = 0,02..0,05$ в залежності від системи)

C_a – амортизаційні відрахування.

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

де E_a – коефіцієнт ($E_a = 0,05..0,1$);

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.

Оскільки в сезон цукроваріння на цукровому заводі працює власна ТЕЦ при підрахунку додаткових витрат на втрати електроенергії варто користатись не ринковою ціною на електроенергію, а її собівартість власного виробництва. Середню собівартість електроенергії для ТЕЦ промислових підприємств оцінювати досить складно, оскільки відбувається вторинне використання теплової енергії. Для розрахункових цілей приймемо $m_0 = 4,5 \text{ грн}$.

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

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 собівартість електроенергії для побутових споживачів на енергоринку з врахуванням доставки $m_0 = 8 \text{ грн}$ в 2024 році.

Втрати потужності:

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

де k_3 – коефіцієнт завантаження ($k_3=0,6$).

η_d – ККД двигуна.

Термін окупності:

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

Здійсимо розрахунок техніко - економічних показників для системи ПЧ-АД. Вартість асинхронного двигуна складе 107 тис. грн, а системи керування разом з монтажем – 498 тис. грн.

Тоді капітальні витрати:

$$K = 107 + 498 = 605 \text{ тис.грн.}$$

Річні капітальні витрати:

$$K_{\text{річні}} = 0,17 \cdot 605 = 102,85 \text{ тис. грн.}$$

Витрати на амортизацію:

$$C_a = 0,05 \cdot 605 = 30,25 \text{ тис. грн.}$$

Витрати на ремонт:

$$C_p = 0,02 \cdot 605 = 12,1 \text{ тис. грн.}$$

Витрати на електроенергію при коефіцієнті корисної дії двигуна $\eta = 0,925$:

$$\Delta P = 0,6 \cdot 132 \frac{1 - 0,925}{0,925} = 6,422 \text{ кВт};$$

$$\Delta W = 6,422 \cdot 2400 = 15410 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

$$C_{\Delta W} = 0,0045 \cdot 15410 = 69,354 \text{ тис. грн.}$$

Витрати на технічне обслуговування:

$$C_o = 0.05 \cdot (30,25 + 12,1 + 69,354) = 5,585 \text{ тис. грн.}$$

Загальні витрати:

$$C = 30,25 + 12,1 + 69,354 + 5,585 = 117,289 \text{ тис. грн.}$$

Таким чином приведені затрати складуть:

$$З = 102,85 + 117,289 = 220,139 \text{ тис. грн.}$$

Аналогічним чином здійснимо розрахунок техніко-економічних показників для системи ТП-ДПС. Вартість двигуна постійного струму складає 141 тис. грн, а модернізація існуючої системи керування – 210 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 = 91 %

Тоді капітальні витрати:

$$K = 141 + 210 = 351 \text{ тис.грн.}$$

Річні капітальні витрати:

$$K_{річні} = 0,17 \cdot 351 = 35,1 \text{ тис.грн.}$$

Витрати на амортизацію:

$$C_a = 0,1 \cdot 351 = 35,1 \text{ тис. грн.}$$

Витрати на ремонт:

$$C_p = 0.05 \cdot 351 = 17,55 \text{ тис. грн.}$$

Витрати на електроенергію:

$$\Delta P = 0,6 \cdot 132 \frac{1-0,91}{0,91} = 7,833 \text{ кВт};$$

$$\Delta W = 7,833 \cdot 2400 = 18800 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$C_{\Delta W} = 0,0045 \cdot 18800 = 84,596 \text{ тис. грн.}$$

Витрати на технічне обслуговування:

$$C_o = 0.05 \cdot (35,1 + 17,55 + 84,596) = 6,862 \text{ тис. грн.}$$

Загальні витрати:

$$C = 35,1 + 17,55 + 84,596 + 6,862 = 144,108 \text{ тис. грн}$$

Таким чином приведені затрати складуть:

$$З = 59,67 + 144,108 = 203,778 \text{ тис. грн}$$

Аналогічно для системи ТРН-АД. Вартість асинхронного двигуна складає 107 тис. грн, а системи керування – 290 тис. грн. Для системи ТРН-АД приймемо $E_a = 0,05$; $E_p = 0,02$; ККД = 90 %

Тоді капітальні витрати:

$$K = 107 + 290 = 397 \text{ тис. грн.}$$

Річні капітальні витрати:

$$K_{\text{річні}} = 0,17 \cdot 397 = 67,49 \text{ тис. грн.}$$

Витрати на амортизацію:

$$C_a = 0,05 \cdot 397 = 19,85 \text{ тис. грн.}$$

Витрати на ремонт:

$$C_p = 0,03 \cdot 397 = 7,94 \text{ тис. грн.}$$

Додаткові витрати на електроенергію:

$$\Delta P = 0,6 \cdot 132 \frac{1-0,9}{0,9} = 8,8 \text{ кВт};$$

$$\Delta W = 8,8 \cdot 2400 = 21120 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$C_{\Delta W} = 0,0045 \cdot 21120 = 95,04 \text{ тис. грн.}$$

Витрати на технічне обслуговування:

$$C_o = 0,05 \cdot (19,85 + 7,94 + 95,04) = 6,141 \text{ тис. грн.}$$

Загальні витрати:

$$C = 19,85 + 7,94 + 95,04 + 6,141 = 128,971 \text{ тис. грн}$$

Таким чином приведені затрати складуть:

$$З = 67,49 + 128,971 = 196,461 \text{ тис. грн}$$

Результати розрахунків зведемо до табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Порівняльна таблиця економічних показників

Показник	Системи електропривода		
	ПЧ-АД	ТП-ДПС	ТРН-АД
Потужність двигунів, кВт	132	132	132
Вартість двигунів Д, тис. грн.	107	141	107
Вартість системи керування СК, тис. грн.	498	210	290
Капітальні затрати К, тис. грн.	605	351	397
Річні капітальні затрати $K_{\text{річні}}$, тис. грн.	102,85	59,67	67,49
Амортизаційні відрахування C_A , тис. грн./рік	30,25	35,1	19,85
Відрахування на ремонт C_P , тис. грн./рік	12,1	17,55	7,94
Додаткові відрахування $C_{\Delta W}$, тис. грн./рік	69,354	84,596	95,04
Відрахування обслуговування C_O , тис. грн./рік	5,585	6,862	6,141
Загальні відрахування С, тис. грн./рік	117,289	144,108	128,971
Приведені затрати З, тис. грн./рік	220,139	203,778	196,461

Висновки

Аналізуючи показники таблиці 4.2, можна зробити висновок, що найбільш вигідними з економічної точки зору є система ТРН-АД, однак оцінка технічних властивостей такої системи показала неможливість якісного виконання технологічного процесу у разі її використання у якості електропривода бурякорізки.

Серед двох інших варіантів за критерієм найменших приведених затрат вибираємо систему тиристорний перетворювач-двигун постійного струму. Цей

вибір також підтверджує суб'єктивний фактор, оскільки на підприємстві, що розглядається у якості електропривода бурякорізок до модернізації використовувались привода постійного струму, а тому сформувався обслуговуючий колектив, що має навички та необхідне обладнання для налагодження та технічного обслуговування таких систем.

Використання регульованого електроприводу постійного струму забезпечить з модернізацією його системи керування дозволить:

- забезпечити необхідну точність регулювання швидкості обертання ротора;
- стабільну роботу при змінних навантаженнях, реалізацію плавного пуску та зупинки, що зменшує динамічні навантаження;
- можливість інтеграції в сучасні автоматизовані системи управління із забезпеченням дистанційного керування та моніторингу параметрів привода.
- Зменшення витрат на технічне обслуговування.
- забезпечити якісне виконання технологічного процесу подрібнення сировини та підвищення загальної надійності роботи усього бурякопереробного відділення.

5 ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА ТА ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СИЛОВИХ КІЛ

5.1 Вибір та перевірка електродвигуна електропривод відцентрової бурякорізки

Враховуючи розрахункову потужність електродвигуна ротора центрифуги вибираємо асинхронний двигун типу 4ПФ225М потужністю 132 кВт та номінальною частотою від 1500 до 3500 об/хв в залежності від з'єднання головних полюсів.

Характеристики двигуна типу 4ПФ250М приведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Паспортні характеристики двигуна типу 4ПФ250М

Параметр, одиниця вимірювання	Позначення	Значення
Потужність, кВт	$P_{\text{ном}}$	132
Номінальна частота обертання, об/хв	$n_{\text{ном}}$	1500
Номінальний струм, А	$I_{\text{яном}}$	336
ККД	η	0,91
Напруга живлення, В	U_d	440
Тип збудження	незалежне	
Напруга збудження	U_f	220
Момент інерції, кг·м ²	J_p	0.7

Для перевірки двигуна за моментом побудуємо механічну характеристику двигуна.

Для цього знайдемо номінальну швидкість обертання обраного двигуна:

$$\omega_n = \frac{2\pi}{60} n_n, \quad (5.1)$$

де n_n - номінальна частота обертання двигуна.

Розрахунок номінального моменту виконується за виразом:

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n}, \quad (5.2)$$

де P_n - номінальна потужність двигуна.

До двигуна прикладається постійна напруга живлення, яка складається з двох складових протиерс E та падіння напруги на якірному колі:

$$U = E + I_{я} R_{я}, \quad (5.3)$$

де $I_{я}$ - струм у якірному колі,

$R_{я}$ - опір якірної обмотки двигуна постійного струму.

Для наближеного визначення опору якоря приймається, що в номінальному режимі певна частка від загальних втрат електричної енергії α відбувається у якірному колі, яку для двигунів середньої потужності приймають рівною 0,5, тому опір обмотки якірного кола:

$$R_{я} = \frac{\alpha \cdot \Delta P_n}{I_n^2} = \frac{\alpha \cdot P_n \cdot \frac{1 - \eta_n}{\eta_n}}{I_n^2}, \quad (5.4)$$

де η_n - номінальний коефіцієнт корисної дії двигуна постійного струму.

Протиерс E залежить від швидкості обертання й знаходиться за виразом:

$$E = k_e \Phi \cdot \omega, \quad (5.5)$$

де $k_e \Phi$ - це коефіцієнт, що залежить від конструкційних особливостей двигуна та магнітного потоку основних полюсів. Для його визначення скористаємось виразом (5.3):

$$k_e \Phi = \frac{U_n - I_n R_{я}}{\omega_n} \quad (5.6)$$

Рівняння механічної характеристики впливає також із рівняння (5.3) та (5.5), враховуючи співвідношення між моментом на валу двигуна та струмом якірної обмотки:

$$M = k_m \Phi \cdot I_{я}. \quad (5.7)$$

Після певних перетворень рівнянь (5.3), (5.5) та (5.7) рівняння механічної характеристики:

$$\omega(M) = \frac{U_{\text{я}}}{k_e \Phi} - \frac{R_{\text{я}}}{k_e \Phi \cdot k_m \Phi} M. \quad (5.8)$$

Отже, рівняння (5.8) є механічною характеристикою двигуна постійного струму, яка вказує взаємозв'язок між швидкістю обертання та моментом на валу двигуна. З якої можна визначити критичний (пусковий) момент двигуна постійного струму, якого він розвиває за нульової швидкості обертання:

$$M_{\kappa} = \frac{U_{\text{я}}}{R_{\text{я}}} k_m \Phi \quad (5.9)$$

Здійснимо розрахунок механічної характеристики обраного двигуна.

Номінальна швидкість обертання:

$$\omega_n = \frac{2\pi}{60} 1500 = 157,08 \text{ c}^{-1}.$$

Номінальний момент:

$$M_n = \frac{132000}{157,08} = 840,3 \text{ H} \cdot \text{м}.$$

Опір якірної обмотки:

$$R_{\text{я}} = \frac{0,5 \cdot 132000 \cdot \frac{1-0,91}{0,91}}{336^2} = 0,058 \text{ Ом}.$$

Коефіцієнти, що характеризують поле основних полюсів:

$$k_e \Phi = \frac{440 - 336 \cdot 0,058}{157,08} = 2,677 \text{ В} \cdot \text{с},$$

$$k_m \Phi = \frac{840,338}{336} = 2,501 \text{ В} \cdot \text{с}.$$

Як бачимо, що $k_m \Phi \approx k_e \Phi$, що свідчить про правильність розрахунків параметрів механічної характеристики.

Тоді механічна характеристика за номінальної напруги живлення в аналітичному вигляді:

$$\omega(M) = 164,335 - 8.634 \cdot 10^{-3} \cdot M \quad (c^{-1}). \quad (5.10)$$

На рисунку 5.1 подано механічну характеристику за номінальної напруги живлення.

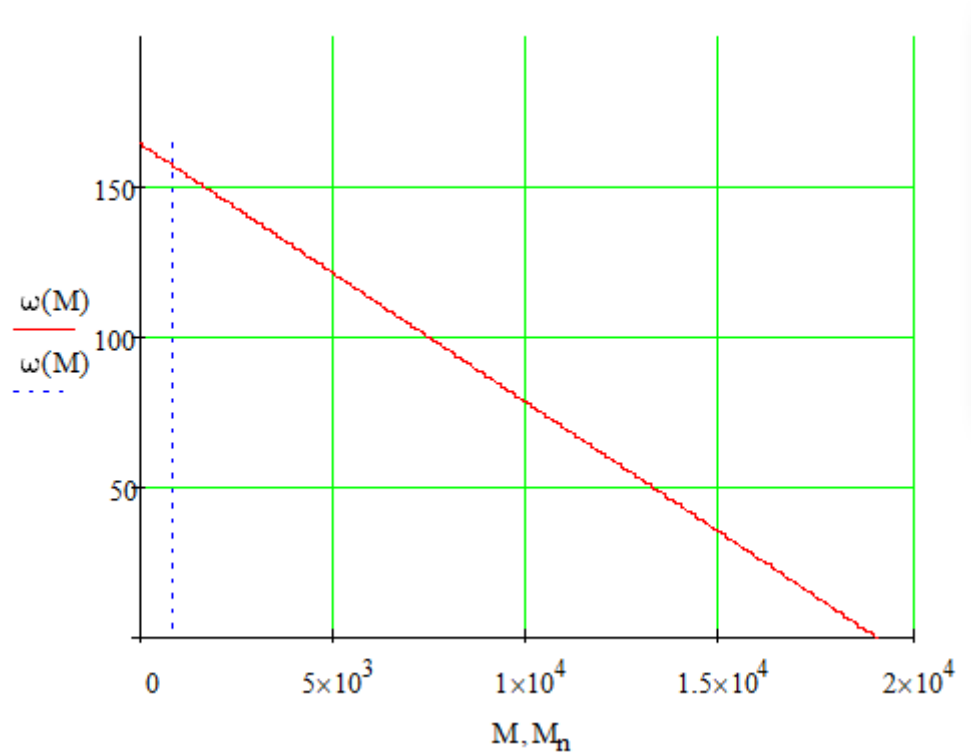


Рисунок 5.1 – Механічна характеристика за номінальної напруги живлення

Критичний момент:

$$M_{\kappa} = \frac{440}{0,058} 2,501 = 19030 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Як видно двигун постійного струму має величезну перевантажувальну здатність, що складає більш ніж 20 Мн за номінальної напруги й обмежується лише значенням допустимого струму двигуна та тиристорного перетворювача. Реальна перевантажувальна здатність електропривода постійного струму описується виразом:

$$M_{\max} \leq k_{\text{пер}} M_n, \quad (5.11)$$

де $k_{\text{пер}}$ - коефіцієнт, що враховує перевантажувальну здатність, яку приймають рівною в діапазоні 1,5..3,0 в залежності від тривалості.

Розрахуємо максимальне значення моменту на валу двигуна електричного привода відцентрової бурякорізки, що складається із статичного та динамічного моментів.

Для визначення максимального статичного моменту на валу двигуна необхідно привести статичний момент механізму до швидкості обертання двигуна, оскільки електропривод обертає завиток бурякорізки через кількохступінчасту редукторну передачу з загальним передаточним числом $i_{заг} = 12,5$. Максимальне значення статичного моменту можна обрахувати:

$$M_{C_{\max}} = \frac{P_{розр\Sigma}}{\omega_{\partial\theta_{\max}}}, \quad (5.12)$$

де $\omega_{\partial\theta_n}$ - номінальна швидкість обертання;

$P_{розр\Sigma}$ - потужність, що витрачається на додання статичних навантажень в номінальному режимі роботи, тобто при швидкості обертання ω_n , розрахована у розділі 3.

$$M_{C_{\max}} = \frac{99010}{157,08} = 630,3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Для розрахунку динамічного моменту необхідно знайти сумарний приведений момент інерції, що буде включати момент інерції двигуна, редуктора та механізму:

$$J_{\Sigma} = J_{\partial\theta} + J_p' + J_{\text{мех}}', \quad (5.13)$$

де $J_{\partial\theta}$ - момент інерції двигуна, J_p' та $J_{\text{мех}}'$ - приведені до швидкості обертання двигуна моменти інерції редуктора та механізму.

Для цього потрібно привести момент інерції завитка разом із наповненим буряком $J_{\text{мех}}$ до швидкості обертання двигуна за виразом:

$$J_{\text{мех}}' = \frac{J_{\text{мех}}}{i^2}, \quad (5.14)$$

де i – передаточне число механізму.

Отже, приведений момент інерції\ завитка:

$$J_{\text{мех}}' = \frac{490}{12,5^2} = 3,136 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Сумарний приведений момент інерції:

$$J_{\Sigma} = 0,7 + 1,35 + 3,136 = 5,186 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Динамічний момент визначається за виразом:

$$M_{\partial} = J_{\Sigma} \frac{\omega_{\kappa} - \omega_n}{\Delta t}, \quad (5.15)$$

де ω_{κ} та ω_n - швидкості обертання на початку та кінці певної ділянки роботи,

Δt - час, за який відбулась зміна швидкостей обертання.

Розрахуємо динамічний момент у найважчому випадку за умови розгону двигуна від пуску до номінальної швидкості обертання за $\Delta t = 3\text{с}$:

$$M_{\partial} = 5,186 \frac{157,08 - 0}{3} = 271,538 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Сумарний момент на валу двигуна:

$$M_{\text{max}} = M_{\partial} + M_c, \quad (5.16)$$

$$M_{\text{max}} = 271,538 + 630,3 = 901,856 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Для перевірки перевантажувальної здатності скористаємось (5.11) вибравши найменший з діапазону коефіцієнт:

$$901,856 < 1,5 \cdot 840,338.$$

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

5.2 Вибір перетворювального пристрою

У системі тиристорний перетворювач – двигун постійного струму (ТП-ДПС на основі двигуна постійного струму з незалежним збудженням регулювання швидкості обертання здійснюється шляхом впливу на напругу, прикладену до якоря двигуна, при сталому струмі збудження. Така система зазвичай реалізується за допомогою тиристорного керованого випрямляча, що виконує функцію перетворення змінної напруги мережі на керовану постійну напругу, яку подають на якірну обмотку машини.

Швидкість обертання якоря визначається рівнянням механічної характеристики поданим у (5.8).

Оскільки в режимі незалежного збудження магнітний потік Φ є сталим (за умови незмінного струму збудження), зміна швидкості досягається, головним чином, за рахунок зміни напруги U_d , яка керується шляхом регулювання кута відкривання тиристорів у перетворювачі. При зменшенні напруги знижується електрорушійна сила (ЕРС) і, відповідно, швидкість обертання двигуна. Плавне та безступеневе регулювання швидкості у цьому діапазоні (до номінальної швидкості) дозволяє забезпечити стабільну роботу привода при змінному навантаженні.

Роботу електропривода постійного струму за такого регулювання ілюструє сімейство механічних характеристик побудованих для різних значень напруг ($U = U_n$, $U = 0,8 \cdot U_n$, $U = 0,6 \cdot U_n$, $U = 0,4 \cdot U_n$, $U = 0,2 \cdot U_n$ відповідно) та поданий на рис. 5.2. Як видно за сталого моменту на валу двигуна (на рисунку позначено номінальний момент вертикальною лінією) змінюється швидкість обертання при зміні напруги. При цьому варто зазначити, що жорсткість характеристики, що визначається кутом нахилу характеристики не погіршується.

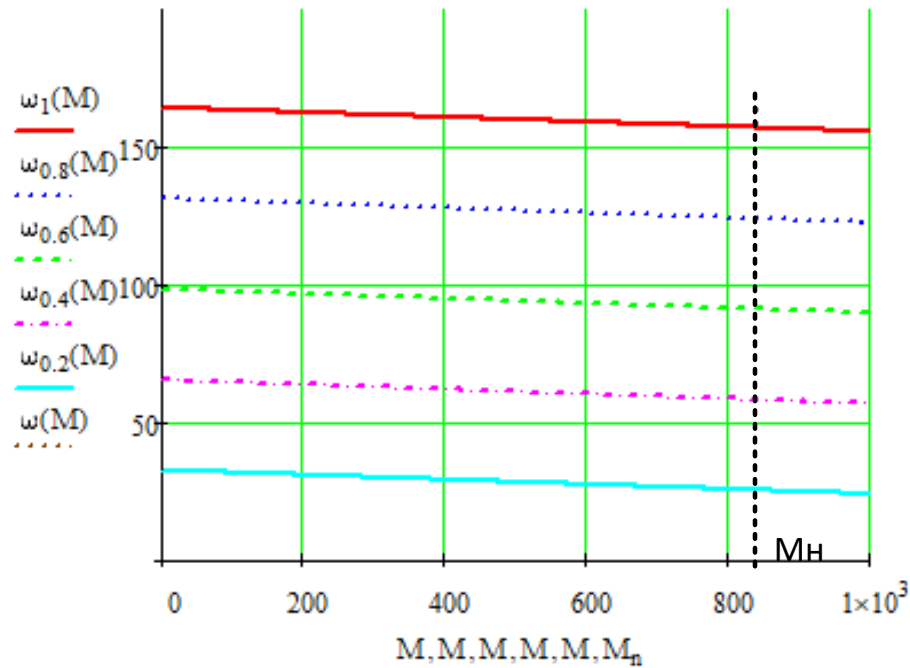


Рисунок 5.2 – Сімейство механічних характеристик

Таким чином, система тиристорного електропривода з двигуном постійного струму з незалежним збудженням забезпечує ефективне, широкодіапазонне регулювання швидкості обертання, що дозволяє адаптувати роботу привода до вимог технологічного процесу.

На підприємстві, що розглядається, до модернізації бурякорізок (як вже було зазначено вище) використовувався електропривод постійного струму із тиристорними перетворювачами типу ТП4-320/460УХЛ4 з паспортними даними зведеними до таблиці 5.2

Таблиця 5.2 – Паспортні дані тиристорного перетворювача ТП4-320/460УХЛ4

Напруга живлення	380 В
Випрямлена напруга	460 В
Номінальний струм	320 А
Напруга живлення блоку збудження	380 В
Напруга блоку живлення	220 В

Цей тип перетворювача зарекомендував себе як надійний перетворювальний пристрій. В першу чергу це стосується силової частини. У якості панелі керування там використовувався досить таки застарілий аналоговий спосіб керування зі зворотним зв'язком за напругою. Також система керування мала струмообмеження та безінерційний масимальний струмовий захист.

Така система керування є застарілою як морально так і матеріально за рахунок тривалої експлуатації. Крім того вона не забезпечувала необхідних способів зв'язку та інтеграції з іншими системами керування, зокрема системами керування технологічним процесом усього бурякопереробного відділення для обміну основними експлуатаційними параметрами, що характеризують роботу приводу.

Тому було прийнято рішення про модернізацію тиристорного перетворювача ТП4-320/460УХЛ4, яка б залишила надійну та дороговартісну та металомістку силову частину, що включає в себе:

- несучу конструкцію – шафу;
- вхідні реактори;
- тиристорний випрямний блок;
- радіатори охолодження напівпровідникових ключів;
- провідникові з'єднання.

Модернізація включає в себе повну заміну панелі керування, блоку збудження та принципу гальванічної розв'язки силових кіл та кіл керування. Основою модернізації є нова розроблена підприємством нашого регіону панель керування ТЕ 14, зовнішній вигляд якої поданий на рис. 5.3.



Рисунок 5.3 – Зовнішній вигляд панелі керування TE14

Система керування виконана на основі панелі TE14 є мікропроцесорним пристроєм, виконаним на сучасній елементній базі, що забезпечує підвищену точність вимірювання та контролю струму та напруги привода. Має гальванічну розв'язку силових кіл від кіл керування, що використовують оптопару замість імпульсних трансформаторів, що значно підвищує надійність роботи системи приводу.

Крім того така панель керування забезпечує можливість інтеграції системи керування електричним приводом в загальну систему керування технологічним процесом за рахунок наявності як аналогових й дискретних входів та виходів, так і за допомогою протоколів зв'язку RS485. За допомогою

цього можна здійснювати реалізацію системи керування групою із трьох бурякорізок, що працюють на один дифузійний апарату за рахунок інтеграції її в загальну систему керування. На рис. 5.4 подано схему з'єднань панелі керування TE14.

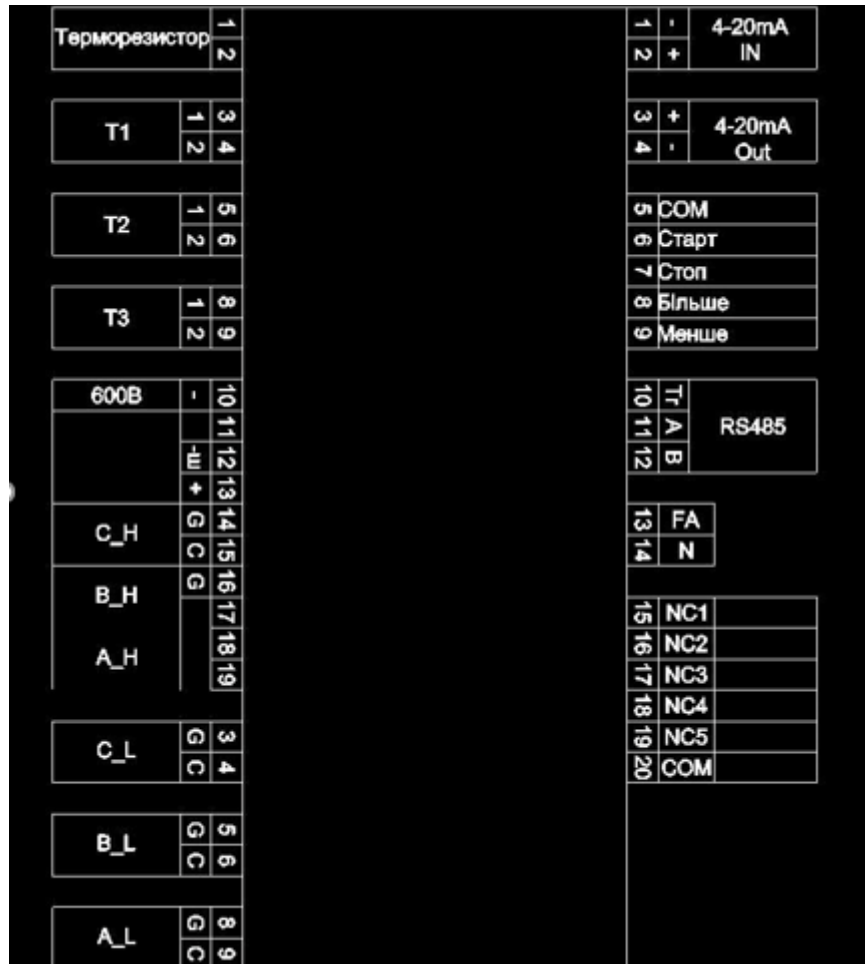


Рисунок 5.4 – Зовнішні підключення панелі керування TE14

Висновки

Отже, у розділі на підставі визначених параметрах та опису режимів роботи було вибрано двигун 4ПФ250М потужністю 132 кВт та номінальною частотою обертання 1500 об/хв. Було побудовано механічну характеристику та здійснено перевірку перевантажувальної здатності приводу при врахуванні як статичних так і динамічних моментів на валу

Керування електроприводом відцентрової бурякорізки буде здійснюватись за допомогою модернізованого тиристорного перетворювача ТП4-320/460УХЛ4 виконаного на основі панелі керування TE14

6 СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ГРУПОЮ БУРЯКОРІЗОК

На рис. 6.1 подано технологічну схему подрібнення та подачі сировини до похилого дифузійного апарату.

Група із трьох бурякорізок здійснюють подрібнення буряків у стружку. При цьому залежно від потреби витрати сировини для завантаження дифузійного апарату одночасно може працювати одна або дві бурякорізки. Ті бурякорізки, які не працюють можуть перебувати в одному з трьох станів:

- технічного обслуговування, пов'язаного із очищенням, заточкою ножів або заміною на рами із заточеними ножами;
- холодного резерву, коли механічна частина бурякорізки готова, але система електроприводу вимкнена;
- гарячого резерву, коли готова до миттєвого запуску і механічна частина і електропривод бурякорізки.

Доставка сировини до горловини для завантаження дифузійного апарату відбувається трьома стрічковими транспортерами, з'єднані послідовно таким чином, що стружка з попереднього вивантажується до наступного. Збір сировини з під трьох бурякорізок відбувається за допомогою транспортера №1.

Завданням системи керування групи бурякорізок, що розробляється є забезпечення безперебійного завантаження дифузійного апарату сировиною із заданою продуктивністю. При цьому у роботі бурякорізок часто виникають аварійні зупинки здійсненні системою керування електропривода чи оперативним персоналом, безпосередньою причиною яких є потрапляння чужерідних предметів до середини корпусу бурякорізки, що є вкрай небажаним оскільки призводить до затуплення або виходу з ладу ріжучих ножів.

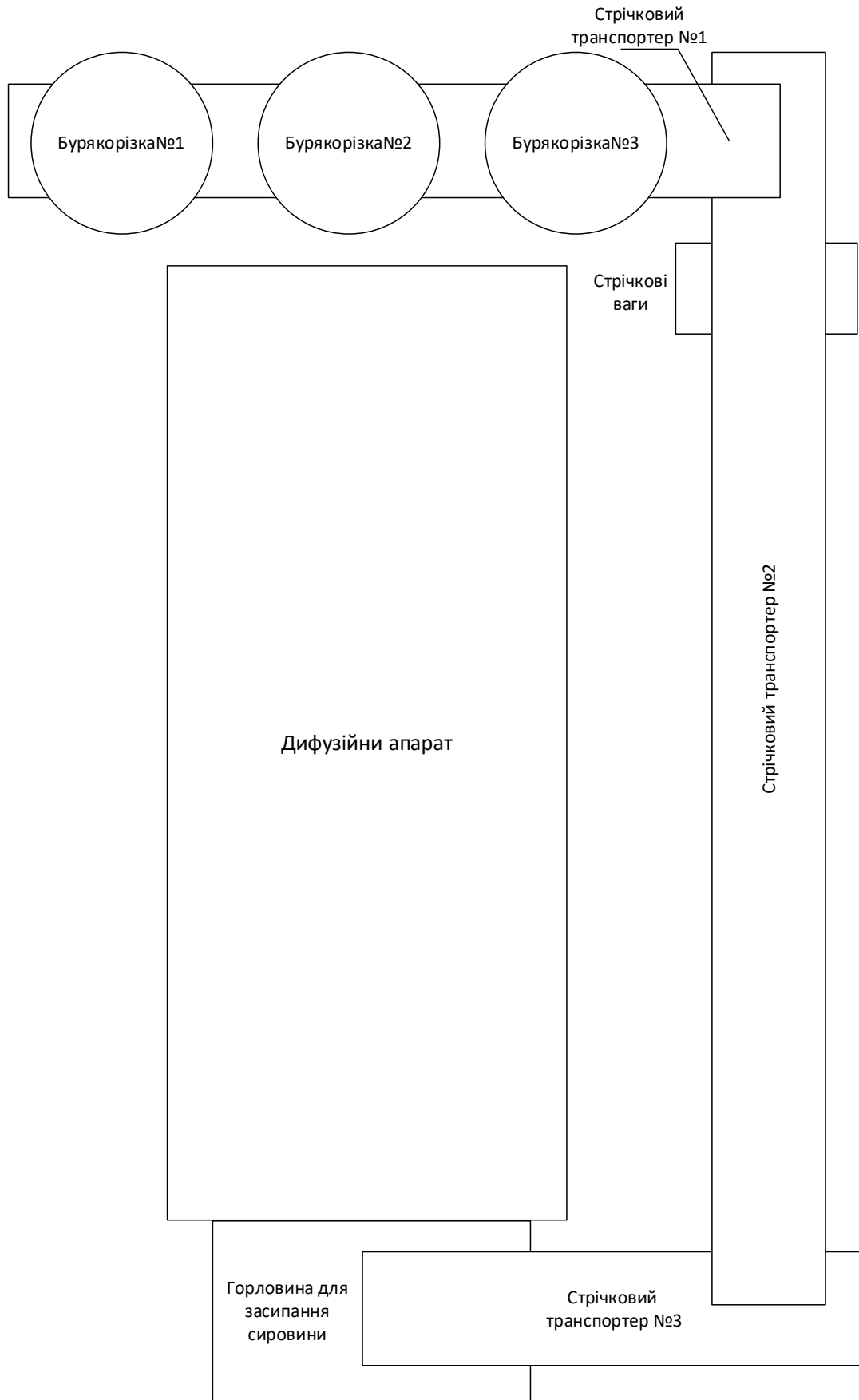


Рисунок 6.1 – Технологічна схема подрібнення та подачі сировини

Коли стаються такі аварійні ситуації виникають досить тривалі перерви в постачанні сировини до дифузійного апарату, пов'язані з необхідним часом для виявлення такої зупинки, оцінки стану решти бурякорізок, увімкненні їх у роботу та розгін до заданої продуктивності. Такі перерви дуже негативно позначаються на виконанні технологічного процесу у дифузійному апараті, оскільки завантаження вздовж його шнековалів буде нерівномірним. Таким чином виникають певні збурення синхронної роботи усього підприємства, що негативно впливає на його продуктивність.

В такому разі гостро постає завдання розробки такої системи керування електроприводами групи бурякорізок, яка б зменшувала до мінімуму час вимушених пауз та забезпечували якомога рівномірне завантаження дифузійного апарата.

Для виконання цієї мети пропонується встановити стрічкові ваги якомога ближче до бурякорізок, однак в такому місці, де вже транспортуватиметься сировина від них усіх та створення системи замкнутого керування за загальною продуктивністю.

Виконання цього завдання забезпечується програмуванням логічним контролером PLC, що здійснює керування та моніторинг технологічних процесів усього бурякопереробного відділення, як виокремлене завдання для нього.

Обмін даними між тиристорними перетворювачами та системою керування здійснюється за допомогою зв'язку RS-485, що дозволяє запропонована модернізація ТП із встановленням панелі керування TE14. Крім того програмований контролер має містити ще один аналоговий вхід та певну кількість дискретних входів та виходів, які можна визначити після розробки схеми електричної принципової підключень кіл електропривода одної бурякорізки.

Підключення електроприводу постійного струму включає в себе підключення силового кола, кола збудження та кіл керування, що включає в себе захисти від його аномальних режимів роботи. Також для нормальної

роботи та експлуатації необхідно передбачити ручне місцеве та дистанційне автоматичне керування бурякорізки. Ручне керування необхідне для технічного обслуговування бурякорізки, щоб обслуговуючий персонал мав змогу прокручувати завиток бурякорізки із необхідною швидкістю в безпосередньому зоровому контакті з бурякорізкою.

На рис. 6.2 подана схема підключення силових кіл та кіл керування електроприводом бурякорізки.

Подача напруги до схеми та захист силових кіл від надструмів відбувається силовим автоматичним вимикачем QF1. Включення кіл керування та їх захист відбувається за допомогою автоматичного вимикача QF1. Реле KL1 сигналізує систему керування технологічним процесом про готовність приводу до пуску. Щитовий вимикач (тумблер) слугує для запобігання дистанційному увімкненню в разі виконання робіт обслуговуючим персоналом бурякорізки у цілях безпеки.

Схема передбачає два режими роботи: ручний місцевий та дистанційний автоматичний, вибір якого здійснюється перемикачем SB2. За ручного режиму пуск та планова зупинка здійснюється кнопками SB3 та SB1 відповідно. При замиканні кнопки SB3 подається напруга на контактор KM1, який вмикає силовий контактор К, що подає напругу живлення на тиристорний перетворювач.

Разом з ним напруга подається на блок збудження тиристорного перетворювача, що зумовлює протікання струму в обмотці збудження, послідовно з якою ввімкнене реле обриву поля. Контакт реле обриву поля стоїть послідовно з самопідхопним контактом контактора KM1. Після відпускання кнопки SB3 контактор KM1 залишається ввімкнений. Зупинка електроприводу бурякорізки відбувається кнопкою SB1. При її розімкненні KM1 відпадає, відключаючи силовий контактор К.

Також контактор КМ може вмикати іншими своїми контактами двигун охолодження, якщо він передбачений конструкцією основного двигуна.

Автоматичний пуск відбувається за допомогою дискретних виходів системи керування, що працюють в імпульсному режимі імітуючи натиснення кнопок та двох проміжних реле KL2 та KL3.

Регулювання швидкості обертання відбувається також у двох режимах: ручному за допомогою кнопок «Більше» та «Менше» та двох дискретних входів панелі керування тиристорного перетворювача. В автоматичному режимі система керується за допомогою RS 485. Перемикач режиму роботи SB2, кнопки керування та регулювання швидкістю встановлені на щитку керування у безпосередній близькості до бурякорізки.

Тиристорний перетворювач має також захист від аномальних режимів роботи, а саме короткого замикання на виході та всередині ТП, а також обриву фази напруги живлення. У такому разі спрацьовує внутрішнє реле RL0, вмикаючи проміжне реле KL4, що своїми нормально закритим контактом зупиняє привод.

Така система електроприводу бурякорізки дозволяє інтегрувати його до загальної системи керування технологічним процесом підготовки сировини цукрового заводу. На рис. 6.3 подана фрагмент схеми керування технологічним процесом, що включає в себе систему керування групою бурякорізок.

Для реалізації такої системи керування для групи із трьох бурякорізок необхідна наявність шести дискретних входів (готовий/робота), шести дискретних виходів (включення/вимкнення) та одного аналогового входу (стрічкові ваги) логічного контролера. Для здійснення контролю, моніторингом, індикацією та керування швидкістю обертання слугує зв'язок RS485, що реалізовує алгоритм послідовного інтерфейсу та під'єднується як показано на рис. 6.3.

Регулювання швидкості обертання електроприводів дифузійного апарата здійснюється за зворотним зв'язком за продуктивністю групи бурякорізок з обмеженням рамками номінальних параметрів електропривода, а саме напруги та струму ротора двигуна.

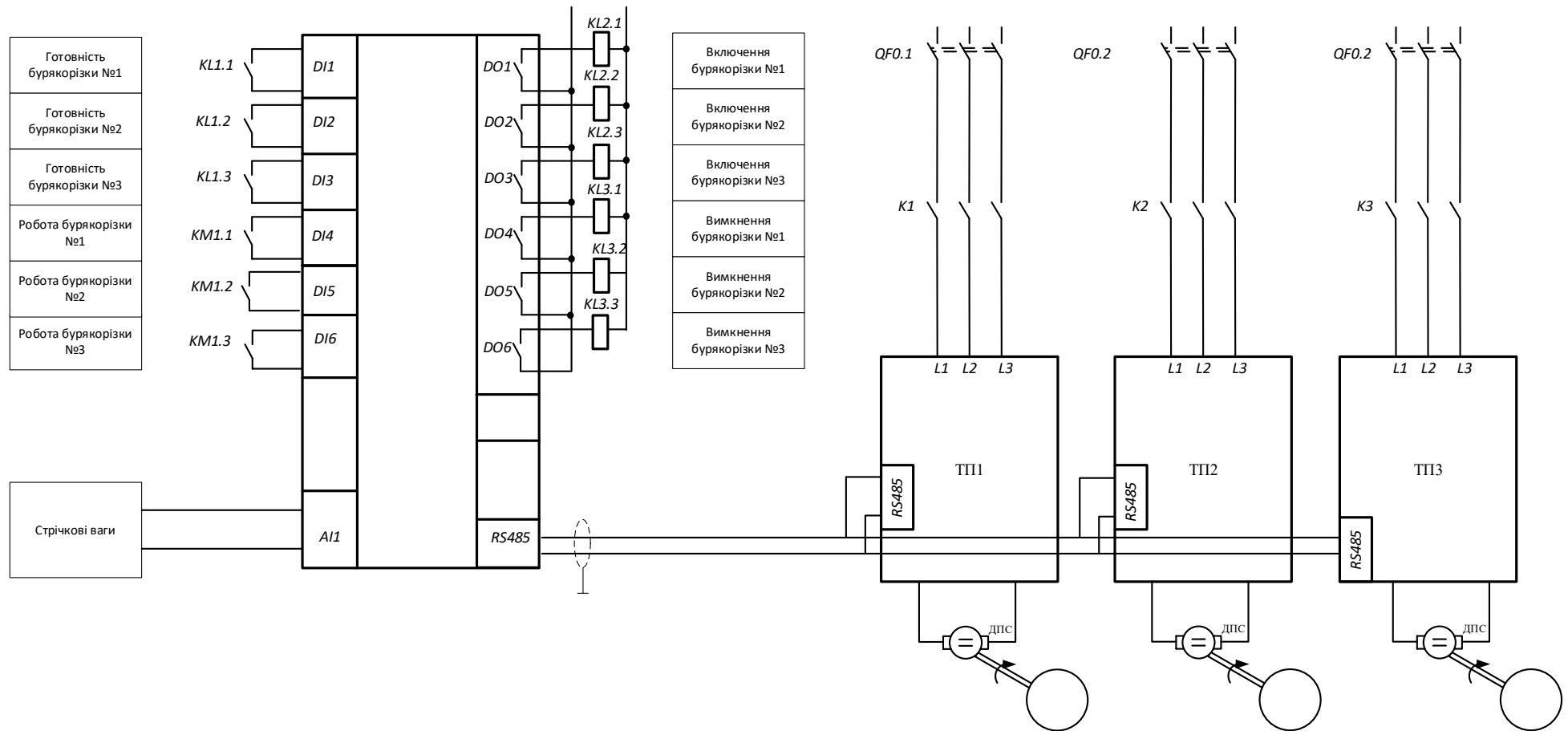


Рисунок 6.3 – Схема електрична принципова системи керування групою бурякорізків

Алгоритм роботи системи регулювання продуктивністю бурякорізок працює наступним чином:

1. Якщо задану оперативним персоналом продуктивність за стрічковими вагами задовільняє використання однієї бурякорізки до досягнення нею номінальних значень напруги та струму приводу, то працює одна бурякорізка.
2. Якщо задана продуктивність не може бути досягнута однією бурякорізкою за номінального режиму роботи то вмикається друга, а їх продуктивність поділяється порівно завдяки встановленню однакової швидкості обертання їх електричних приводів.
3. Якщо при роботі з будь якої причини зупиняється одна з робочих на певний момент бурякорізка, то вмикається та яка знаходиться в стані готовності, про що свідчать сигнали на відповідних входах логічного контролера. Після увімкнення бурякорізка виходить на ті ж оберти, що й та яка вимкнулась перед тим, в автоматичному режимі як функція миттєвої продуктивності.

Для забезпечення оптимальних властивостей система керування працює як пропорційно-інтегруючий регулятор за миттєвою сумарною продуктивністю.

Висновки до розділу

У даному розділі розроблено концепцію та технічне рішення системи керування групою бурякорізок, що працюють у складі технологічного процесу подрібнення та подачі сировини на похилий дифузійний апарат. Запропонована система дозволяє ефективно керувати роботою трьох бурякорізок у динамічному режимі з урахуванням змін продуктивності, аварійних ситуацій, а також режимів технічного обслуговування та резервування.

Система керування базується на використанні програмованого логічного контролера (PLC), який отримує інформацію про миттєву продуктивність за даними стрічкових ваг, реалізує логіку автоматичного запуску та зупинки бурякорізок, а також забезпечує керування швидкістю обертання електроприводів через інтерфейс RS-485. Водночас система враховує необхідність ручного та дистанційного керування для обслуговування обладнання, а також забезпечує необхідні функції захисту від аварійних режимів роботи.

Особливу увагу приділено забезпеченню безперервності подачі сировини, що досягається реалізацією принципу гарячого резерву та застосуванням ПІ-регулятора для підтримки стабільної продуктивності. У випадку зупинки однієї з бурякорізок система автоматично включає резервну одиницю, тим самим мінімізуючи час простою та збурення у роботі дифузійного апарата.

Таким чином, впровадження запропонованої системи дозволяє підвищити надійність, гнучкість та енергоефективність процесу подрібнення буряків, забезпечуючи стабільне завантаження дифузійного апарата та покращення показників роботи всього бурякопереробного відділення.

7 ОХОРОНА ПРАЦІ

В цьому розділі розроблені заходи з охорони праці під час експлуатації системи автоматизованого керування групи бурякорізок цукрового заводу. Шкідливі виробничі фактори, що впливають на електротехнічний оперативно-ремонтний персонал підприємства, який обслуговує систему автоматизованого керування групи бурякорізок [13, 14]:

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

Під час монтажу та обслуговування електричного обладнання цукрового заводу, зокрема системи автоматизованого керування групи бурякорізок потрібно вживати заходів із запобігання впливу на працівників визначених вище небезпечних і шкідливих виробничих факторів. За наявності цих факторів, безпека праці під час монтажу та обслуговування електричного обладнання підприємства повинна відповідати вимогам та заходам безпеки,

що зазначені в нормативно-правовій документації з охорони праці, зокрема під час виконання робіт: в діючих електроустановках; на висоті; з застосуванням електроінструменту; зварюванні тощо.

Особливу увагу потрібно приділяти убезпеченню працівників під час виконання робіт в діючих електроустановках, якою є система автоматизованого керування групи бурякорізок. Найбільш ефективним засобом захисту працівників є встановлення заземлень. Встановлювати заземлення на струмопровідні частини необхідно безпосередньо після перевірки відсутності напруги.

Переносні заземлення спочатку треба приєднати до заземлювального пристрою, а потім, після перевірки відсутності напруги, встановити на струмопровідні частини. Знімати переносне заземлення необхідно в зворотній послідовності: спочатку зняти його зі струмопровідних частин, а потім від заземлювального пристрою.

Встановлення та зняття переносних заземлень слід виконувати в діелектричних рукавичках із застосуванням в електроустановках понад 1000 В ізолювальної штанги. Закріплювати затискачі переносних заземлень слід цією ж штангою або безпосередньо руками в діелектричних рукавичках. Забороняється користуватися для заземлення провідниками, не призначеними для цього, а також приєднувати заземлення за допомогою скручування.

В електроустановках понад 1000 В (підстанції 10/0,4 кВ) заземлювати слід струмопровідні частини всіх фаз (полюсів) відключеної для робіт ділянки з усіх боків, з яких може бути подана напруга, за винятком відключених для робіт збірних шин, на які достатньо встановити одне заземлення. Під час робіт на відключеному лінійному роз'єднувачі на проводи спусків з боку ПЛ, незалежно від наявності заземлювальних ножів, має бути встановлене таке додаткове заземлення, яке не порушується під час виконання операцій з роз'єднувачем.

Заземлені струмопровідні частини мають бути відокремлені від струмопровідних частин, що перебувають під напругою, видимим розривом

(вимкненими вимикачами, роз'єднувачами, відокремлювачами або вимикачами навантаження, знятими запобіжниками, демонтованими шинами або проводами). Безпосередньо на робочому місці заземлення додатково встановлюється в тих випадках, коли ці частини можуть опинитися під наведеною напругою (потенціалом), яка може викликати ураження струмом, або коли на них може бути подана напруга понад 42 В змінного і 110 В постійного струму від стороннього джерела.

В електроустановках, конструкція яких така, що встановлення заземлень небезпечне (наприклад, в деяких розподільчих шафах, КРУ окремих типів, збірках з вертикальним розташуванням фаз), під час підготовки робочого місця слід вжити додаткових заходів безпеки, що перешкоджають помилковому поданню напруги до місця роботи: приводи і вимкнені апарати замикаються на замок; на ножі або верхні контакти роз'єднувачів рубильників, автоматів тощо встановлюються гумові ковпаки або спеціальні накладки з ізоляційних матеріалів; запобіжники, ввімкнені послідовно з комутаційними апаратами, знімаються. Ці технічні заходи мають бути вказані в місцевій інструкції з експлуатації. В разі неможливості вжиття зазначених додаткових заходів мають бути від'єднані кінці лінії живлення – в РУ, на щиті, збірці або безпосередньо на місці роботи. Список таких електроустановок визначається і затверджується особою, відповідальною за електрогосподарство.

Встановлення заземлення не потрібне під час роботи на електроустаткуванні, якщо від нього з усіх боків від'єднані шини, проводи та кабелі, якими може бути подана напруга; якщо на нього не може бути подана напруга зворотною трансформацією або від стороннього джерела і за умови, що на цьому устаткуванні не наводиться напруга. Кінці від'єднаних кабелів в цьому разі мають бути замкнені накоротко і заземлені.

Під час робіт в РУ встановлювати заземлення на протилежних кінцях ліній, що живлять це РУ, не потрібно, крім випадків, коли під час проведення робіт необхідно знімати заземлення з виводів ліній.

В електроустановках до 1000 В під час робіт на збірних шинах РУ, щитів,

збірок напруга з шин має бути знята і шини (за винятком шин, що виконані ізолюваним проводом) мають бути заземленими. Необхідність і можливість встановлення заземлення на приєднання цих РУ, щитів, збірок і підключеного до них устаткування визначає особа, яка видає наряд (розпорядження). В електроустановках напругою до 1000 В всі операції зі встановлення і зняття заземлень дозволяється виконувати одній особі з групою III з числа оперативних чи оперативно-ремонтних працівників. Встановлення переносних заземлень у цьому випадку проводиться з землі за умови застосування спеціальної ізолювальної штанги, якою можна не тільки встановлювати, але і закріплювати ці заземлення.

Допускається тимчасове зняття заземлень, встановлених під час підготовки робочого місця, якщо це вимагається характером робіт, що виконуються. Тимчасове зняття і повторне встановлення заземлень виконується оперативним працівником чи (під його наглядом) членом бригади з групою III. Дозвіл на тимчасове зняття заземлень, а також на виконання цих операцій керівником робіт, слід обумовлювати в рядку наряду «Окремі вказівки» з записом про те, де і з якою метою мають бути зняті заземлення.

7.1.2 Електробезпека

Живлення силового обладнання, яке використовується для виконання робіт з модернізації, 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 – підвищеної небезпеки, у зв'язку з наявністю у цехах підвищеної вологості.

Технічні рішення щодо запобігання електротравмам [16, 17]:

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.

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

3) Електрозахисні засоби захисту

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

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 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.

7.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

7.2.1 Мікроклімат

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні [6] встановлюють допустиму температуру, відносну вологість і швидкість руху повітря у певних діапазонах в залежності від періоду року та категорії робіт і допустиму інтенсивність опромінення. Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні наведено в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні з категорією робіт Па.

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

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату проектом передбачено [19]:

Температура внутрішніх поверхонь будівельних конструкцій робочої зони і зовнішніх поверхонь обладнання при забезпеченні допустимих параметрів мікроклімату не повинна перевищувати 2°C.

Якщо температура поверхонь вище або нижче допустимої температури повітря, то робочі місця повинні бути віддалені від них на відстань не менше 1 м.

Для забезпечення нормованих значень швидкості руху повітря проектом передбачається витяжна та припливна вентиляційні системи.

7.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/м^3 [18]. Нормовані параметри забруднення повітря в робочій зоні наведено в таблиці 7.2.

Для нормалізації складу повітря робочої зони потрібно здійснювати щоденне прибирання робочого місця [7]. Нагромадження пилу глибиною в $1/8''$ у будь-якій області вказує на необхідність у вживанні заходів з очищення забруднених поверхонь. Потрібно підкреслити, що будь-яке нагромадження пилу може привести до загоряння. Чим дрібніше пил (менша зернистість), тим вище небезпека.

Таблиця 7.2 – Можливі забруднювачі повітря можуть і їх ГДК

Найменування речовини	ГДК, мг/куб.м		Клас небезпечності
	Максимальна разова	Середньодобова	
Оксид вуглецю		20	4
Пил нетоксичний	4	4	4

Тому необхідно здійснювати наступні заходи: очищувати металевий пил якнайчастіше, щодня протирати гарячі поверхні, при високих концентраціях пилу обробляти запилені поверхні по частинам. Низька вологість збільшує потенційну небезпеку, це повинне прийматися в увагу під час прибирання.

7.2.3 Виробниче освітлення

При поганому освітленні зростає потенційна небезпека помилкових дій і нещасних випадків: 5% травм можна пояснити недостатнім освітленням, а у 20% випадків воно сприяло їх появі. Погане освітлення може призвести до професійних захворювань: погіршують загальне самопочуття, зменшують фізичну і розумову працездатність.

Характеристика зорових робіт – середньої точності.

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

«в». Допустимі рівні виробничого освітлення наведені в таблиці 5.3.

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 освітлення, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 2,5 метра.

Таблиця 7.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Харак-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика 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	в	малий середній великий	світлий середній темний	400	200	4	2,4

Світильники з світлодіодними лампами розміщують рядами; що дозволяє здійснювати їх послідовне включення (відключення) в залежності від величини природної освітленості.

7.2.4 Виробничий шум

Нормовані параметри виробничого шуму в робочій зоні наведено в таблиці 7.4.

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

Таблиця 7.4 – Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

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

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно: безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі; для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

7.2.5 Виробнича вібрація

У нашому цеху присутня вібрація типу – За. Тобто технологічна вібрація, яка діє на персонал цеху, або яка передається на робочі місця, не маючи джерел випромінювання. Нормовані параметри виробничої вібрації в робочій зоні наведено в таблиці 7.5.

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено: динамічне погашення вібрації – приєднання до захисного об'єкту системи, реакції якої зменшують розмах вібрації об'єкта в точках приєднання системи; зміна конструктивних елементів машин; застосування засобів індивідуального захисту, а саме рукавиці, вкладиші і прокладки, віброзахисне взуття з пружнодемпферуючим низом.

Таблиця 7.5 – Допустимі рівні вібрації на постійних робочих місцях

Вид вібрації	Октавні смуги з середньгеометричними частотами, Гц									
	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Загальна вібрація: на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях	$\frac{1,3^*}{108}$	$\frac{0,45}{99}$	$\frac{0,22}{93}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	-	-	-	-
Локальна вібрація	-	-	$\frac{2,8}{115}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$

* В чисельнику середньоквадратичне значення вібрації, $\text{м/с} \cdot 10^{-2}$, в знаменнику – логарифмічні рівні вібрації, дБ.

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, більшість приміщень цукрового заводу, де встановлена група бурякорізок, 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 легко-

займистих, 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	E1 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 7.6.

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 7.7.

Таблиця 7.6 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи проти-пожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвиликах)	Тип заповненн я прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбур-шлюзу, не нижче
Стіни	2	REI 60	2	1
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекриття	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	II	100

На території виробничої будівлі встановлено 15 вогнегасників ВП-5.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи на тему “Система автоматизованого керування групи бурякорізок цукрового заводу” було закріплено та систематизовано знання з дисциплін «Теоретичні основи електротехніки», «Електричні машини», «Теорія електропривода», «Автоматизація технологічних процесів», «Теорія автоматичного керування» та інших фахових предметів.

У роботі проведено аналіз режимів функціонування бурякорізок у складі системи подрібнення та подачі сировини на похилий дифузійний апарат. Визначено вимоги до електроприводів, здійснено розрахунок необхідної потужності та вибір оптимального типу електропривода для кожної бурякорізки. На підставі техніко-економічного порівняння обґрунтовано використання системи тиристорного перетворювача з двигуном постійного струму, що забезпечує необхідну динаміку, надійність та гнучкість регулювання.

Під час проектування було обґрунтовано структуру системи керування, обрано і розраховано силові елементи, виконавчі пристрої, сенсори та засоби захисту. Розроблено принципову схему підключення, а також алгоритм роботи автоматизованої системи керування, який забезпечує своєчасне вмикання резервних бурякорізок, рівномірне завантаження дифузійного апарата та підтримку продуктивності за допомогою ПІ-регулятора.

Окрему увагу приділено реалізації ручного та автоматичного керування для забезпечення як ефективної роботи обладнання, так і безпечного технічного обслуговування. В розділі охорони праці сформульовано рекомендації щодо забезпечення безпечної експлуатації бурякорізок, а також створення оптимальних умов праці для персоналу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. М. М. Масліков, Сучасні технологічні процеси, обладнання та енерговикористання в харчовій промисловості. Цукрова, Олійна, Консервна галузі. Київ, Україна: Юнідо, 2015.
2. А. А. Ліпец, 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. 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)
4. Перспективи розвитку бурякоцукрового виробництва - Офіційний сайт «economy.-nayka.com.ua» URL: - <http://www.economy.-nayka.com.ua/?op=1&z=791>
5. Грабко, В. В. Електропривод підприємств агропромислового комплексу [Текст] : навчальний посібник / В. В. Грабко, С. М. Левицький ; ВНТУ. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 198 с.
6. Лавріненко Ю. М., Марченко О. С., Савченко П. І., Синявський О. Ю., Войтюк Д. Г., Лисенко В. П. Електропривод : Підручник. — Київ: Лір-К, 2009
7. 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.
8. 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.

9. Голуб А.П., Кузнецов Б.І., Опришко І.О., Соляник В.П.. Системи керування електроприводами: Навчальний посібник. - К.: НМК ВО, 1992.- 352с.
10. Werner Leonhard. Control of Electrical Drives, 3-е вид. — Springer, 2001
11. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування. — К.: Либідь, 1997. — 544 с.
12. Чорний О. П., Луговой А. В., Д. Й. Родькін, Сисюк Г.Ю., Садовой О.В. Моделювання електромеханічних систем. — Кременчук, 2001. — 376 с.
13. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.
14. 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->.
15. 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.
16. 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.
17. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.
18. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.
19. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885
20. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС

України, 2014. 47 с.

21. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення. URL:
<https://dwg.ru/dnl/15125>.

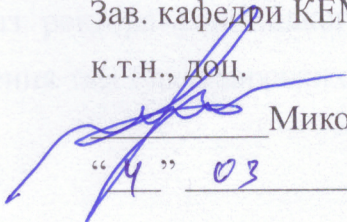
Додаток А

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри КЕМСК

К.Т.Н., доц.

 Микола МОШНОРІЗ

« 4 » 03 2025 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

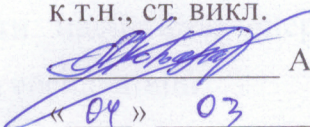
на бакалаврську кваліфікаційну роботу

СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ГРУПИ БУРЯКОРІЗОК ЦУКРОВОГО ЗАВОДУ

08-24.БКР.012.00.000 ТЗ

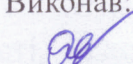
Керівник роботи

К.Т.Н., ст. викл.

 Андрій КОВАЛЬ

« 04 » 03 2025 р.

Виконав: ст. гр. ЕМСА-216

 Олександр ОЛІЙНИК

« 04 » 03 2025 р.

Вінниця ВНТУ 2025

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки – «Система автоматизованого керування групи бурякорізок цукрового заводу».

Скорочене найменування розробки – «Система автоматизованого керування групи бурякорізок цукрового заводу».

2 Підстави для розробки

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

3 Призначення розробки і галузь використання

Розробка призначена для автоматизованого керування групою електроприводів бурякорізок на цукрових заводах з метою забезпечення стабільної та енергоефективної подачі бурякової стружки в дифузійний апарат.

4 Вимоги до розробки

Основними вимогами до системи автоматизованого керування є забезпечення безперервної та рівномірної роботи групи бурякорізок з можливістю гнучкого регулювання продуктивності залежно від навантаження. Система має гарантувати надійність, енергоефективність, оперативність керування і безпечні умови експлуатації.

5 Комплектація розробки

Система, що розробляється включає електроприводи з тиристорними перетворювачами, сенсори продуктивності, систему автоматизованого керування на базі ПЛК допоміжна комутаційна апаратура тощо.

6 Технічні характеристики

Таблиця 1 – Технічні характеристики

№п\п	Показник	Позначення	Величина
1.	Час роботи бурякорізки, год	t_p	24
2.	Час паузи бурякорізки, год	t_0	12
3.	Фактична тривалість включення, °/с	ТВ	100
4.	Швидкість різання, м/с°	v	4-8
5.	Максимальна маса обертових частин бурякорізки, кг	m	750
6.	Планова продуктивність, т/добу	m	3500

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. Ліпец, 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. 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.
4. 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

Система автоматизованого керування групи бурякорізок цукрового заводу 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

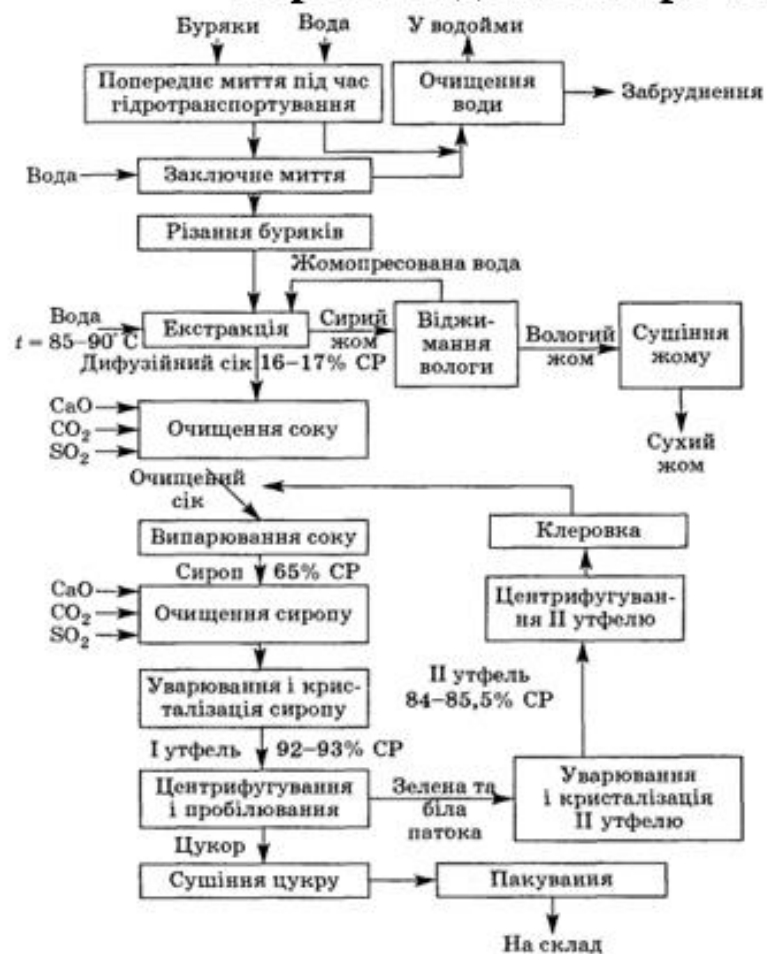
Живлення електропривода повинно бути виконане напругою 380 В від силової мережі підприємства.

13 Порядок контролю та прийняття

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

Додаток Б
Графічна частина
СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ГРУПИ
БУРЯКОРІЗОК ЦУКРОВОГО ЗАВОДУ

Короткі відомості про технологічний процеси цукрової галузі



РІЗАННЯ



Актуальність теми. Мета, об'єкт та задачі дослідження

Актуальність теми. Одним із ключових етапів на початковій стадії переробки цукрових буряків є подрібнення сировини в стружку, що виконується за допомогою бурякорізок. Від надійності та точності роботи їх електроприводів залежить рівномірність завантаження дифузійного апарата, стабільність процесу вилучення цукру, а отже — і загальна продуктивність підприємства.

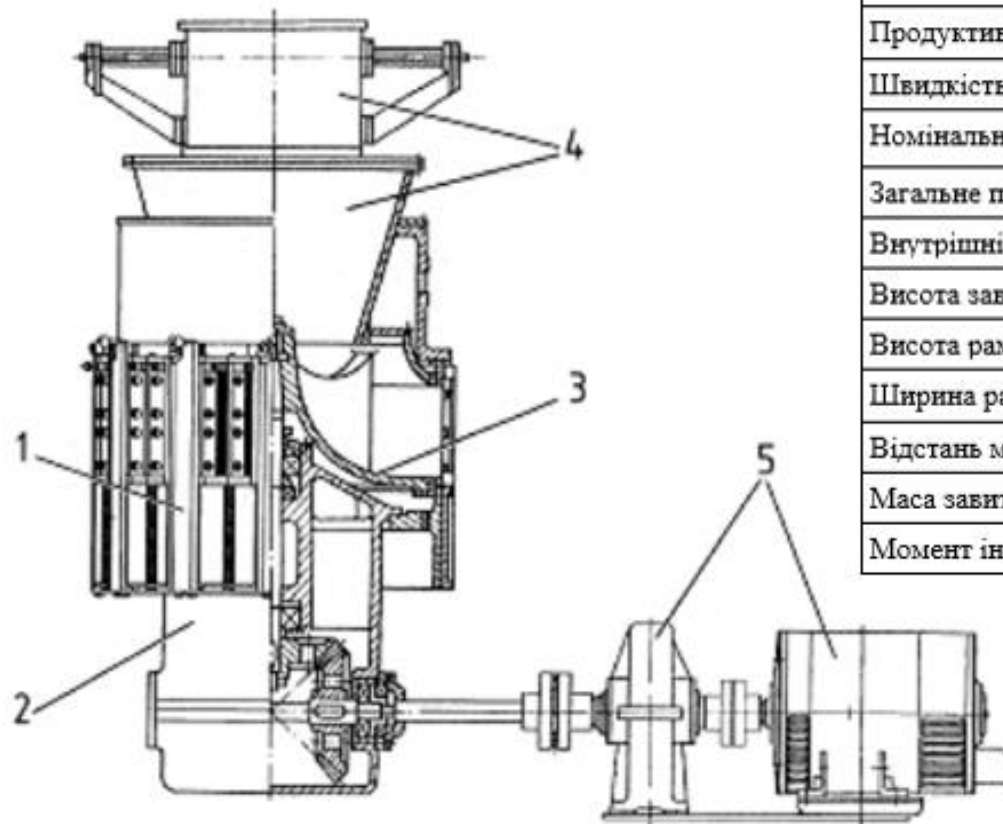
В умовах зростаючої потреби в енергозбереженні, підвищенні якості управління та мінімізації людського втручання доцільним є впровадження автоматизованої системи керування групою електроприводів бурякорізок. Така система повинна забезпечувати: адаптивне підключення необхідної кількості агрегатів залежно від продуктивності, швидке реагування на аварійні зупинки, динамічне регулювання швидкості обертання відповідно до заданих параметрів та синхронізацію з іншими вузлами лінії подачі сировини.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження в даній роботі є підвищення надійності роботи та якості виконання технологічного процесу групівідцентрових бурякорізок.

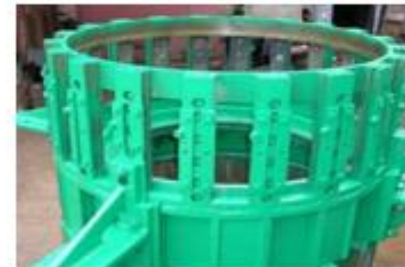
Об'єкт дослідження є процеси перетворення енергії, які протікають у електромеханічній системі електропривода групи бурякорізок цукрового заводу.

Предметом дослідження є математичні моделі та структури, які дозволяють підвищити якість виконання технологічного процесу та ефективність електроприводів групи відцентрових бурякорізок.

Технічні характеристики модернізованої бурякорізки



Характеристика	
Кількість ножових рам, шт.	16
Продуктивність при номінальній швидкості різання Q , т/доб	3500
Швидкість різання регулюється v , м/с	4-8
Номінальна частота обертання завитка, ω_n , об/хв	110
Загальне передатне число редуктора, i	12,5
Внутрішній діаметр барабана, D , м	1,4
Висота завитка $H_{\text{з}}$	0,65
Висота рами h , м	0,4
Ширина рами a , м	0,165
Відстань між рамами b , м	0,08
Маса завитка m , кг	750
Момент інерції разом із сировиною J , кг м ²	490



Задачі роботи

У відповідності із поставленою метою необхідно вирішити наступні завдання:

1. Проаналізувати технологічний процес підготовки бурякової стружки та визначити роль бурякорізок у загальній структурі цукрового виробництва.
2. Визначити оптимальні режими функціонування бурякорізок з урахуванням вимог до стабільного завантаження дифузійного апарата та описати їх основні технічні параметри.
3. Обґрунтувати вибір типу електропривода для однієї бурякорізки, провести розрахунок його основних параметрів.
4. Розробити структурну та принципову електричну схему автоматизованої системи керування груповим електроприводом.
5. Побудувати алгоритм керування, що дозволяє гнучко змінювати кількість задіяних бурякорізок та регулювати їх швидкість обертання на основі сигналів з вагового обладнання.

Режими роботи електропривода бурякорізок та розрахунок його потужності

$$T_{B_{CT}} = 100\%.$$

Для електроприводу відцентрової бурякорізки застосовується тривалий режим навантаження (S1), і відповідно, двигун має підбиратися за номінальною потужністю, розрахованою на безперервну експлуатацію

$$P_{розр\Sigma} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 =$$

У процесі функціонування бурякорізки загальна споживана потужність електропривода витрачається на виконання кількох взаємопов'язаних процесів, кожен з яких має свою питому енерговитрату. Зокрема, потужність витрачається на:

1. власне різання буряків ножами $P_1 = 80,32 \text{ кВт}$
2. здійснення допоміжних рухів — транспортування, обертання барабана тощо $P_2 = 1,3 \text{ кВт}$
3. подолання сил тертя буряків об внутрішні поверхні конструкції $P_3 = 12,67 \text{ кВт}$
4. подолання внутрішнього тертя в елементах механізму, зокрема завитка об барабан $P_4 = 4,72 \text{ кВт}$

$$P_1 = \mu_{риз} \cdot h \cdot v \cdot z \quad P_2 = \frac{1}{\gamma} Q \cdot v^2 \quad P_3 = p_3 \cdot 2\pi \cdot R \cdot h \cdot \mu_T \cdot v \quad P_4 = 0,05 \cdot (P_1 + P_2 + P_3),$$

Розрахунок потужності двигуна електропривода бурякорізки

$$P_{розр\Sigma} = 80320 + 1300 + 12670 + 4720 = 99010 \text{ Вт} = 99,01 \text{ кВт}$$

Умовою вибору потужності двигуна слугує вираз:

$$P_{ном} \geq k_{зан} P_{розр}, \quad (3.7)$$

де $k_{зан}$ - коефіцієнт запасу для вибору номінальної потужності двигуна, який приймемо $k_{зан} = 1,2$. Тоді:

$$P_{ном} \geq 1,2 \cdot 99,01 = 118,8 \text{ кВт}$$

Таким чином приймаємо номінальну потужність двигуна привода модернізованої 16-ти рамочної бурякорізки $P_{ном} = 132 \text{ кВт}$.

$$n_{де} = i_{\Sigma} \cdot n_{мех},$$

$$n_{деmax} = 12,5 \cdot 110 = 1375 \text{ об/хв},$$

$$n_{мехmin} = 12,5 \cdot 55 = 687,5 \text{ об/хв}.$$

частота обертання двигуна привода модернізованої 16-ти рамкової бурякорізки повинна складати 1500 об / хв.

Технічне порівняння системи привода бурякорізки

Технічний критерій	ТРН-АД	ТП-ДПС	ПЧ-АД
Забезпечення потужності та моменту	Задовільне, нестабільне при змінному навантаженні	Високе, точне регулювання у всьому діапазоні	Високе, стабільне при різних режимах
Динаміка розгону та гальмування	Повільна, інерційна	Висока	Висока
Енергоефективність (ККД)	Низька, особливо при неповному навантаженні	Середня, через втрати в колекторі	Висока, з мінімальними втратами
Надійність і довговічність	Середня, обмежена перегрівом	Середня, вразлива до зносу щіток	Висока, тривалий ресурс без технічного обслуговування
Адаптація до умов експлуатації	Часткова, потребує охолодження	Середня	Висока
Сумісність з системами автоматизації	Обмежена, складно інтегрувати	Середня, з додатковими інтерфейсами	Висока, підтримка сучасних цифрових протоколів
Обслуговування та сервіс	Помірне	Помірне	Мінімальне
Регулювання частоти обертання	Грубе, стрибкоподібне	Плавне, з високою точністю	Плавне, з високою точністю

Техніко-економічне обґрунтування вибору системи привода

Показник	Системи електропривода		
	ПЧ-АД	ТП-ДПС	ТРН-АД
Потужність двигунів, кВт	132	132	132
Вартість двигунів Д, тис. грн.	107	141	107
Вартість системи керування СК, тис. грн.	498	210	290
Капітальні затрати К, тис. грн.	605	351	397
Річні капітальні затрати $K_{\text{річні}}$, тис. грн.	102,85	59,67	67,49
Амортизаційні відрахування C_A , тис. грн./рік	30,25	35,1	19,85
Відрахування на ремонт C_R , тис. грн./рік	12,1	17,55	7,94
Додаткові відрахування $C_{\text{дв}}$, тис. грн./рік	69,354	84,596	95,04
Відрахування обслуговування C_O , тис. грн./рік	5,585	6,862	6,141
Загальні відрахування С, тис. грн./рік	117,289	144,108	128,971
Приведені затрати З, тис. грн./рік	220,139	203,778	196,461

Вибір двигуна

Характеристики двигуна типу 4ПФ250М приведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Паспортні характеристики двигуна типу 4ПФ250М

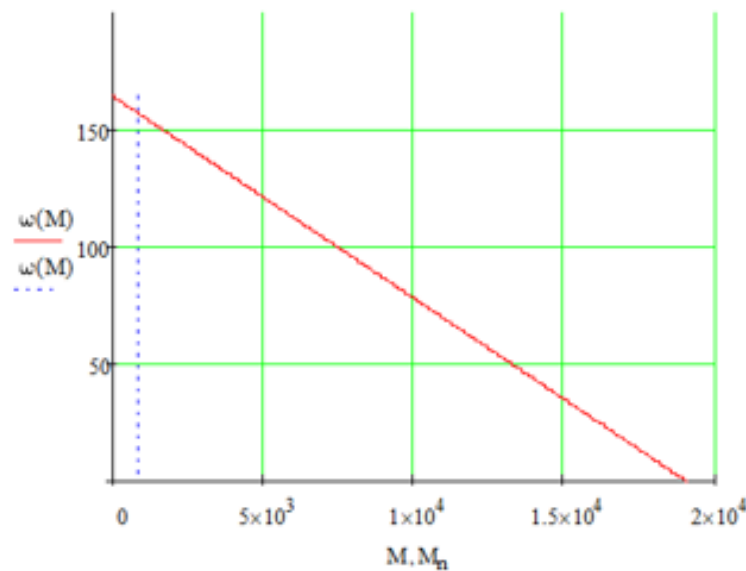
Параметр, одиниця вимірювання	Позначення	Значення
Потужність, кВт	$P_{\text{ном}}$	132
Номінальна частота обертання, об/хв	$n_{\text{ном}}$	1500
Номінальний струм, А	$I_{\text{ном}}$	336
ККД	η	0,91
Напруга живлення, В	U_d	440
Тип збудження	незалежне	
Напруга збудження	U_f	220
Момент інерції, кг·м ²	J_d	0.7



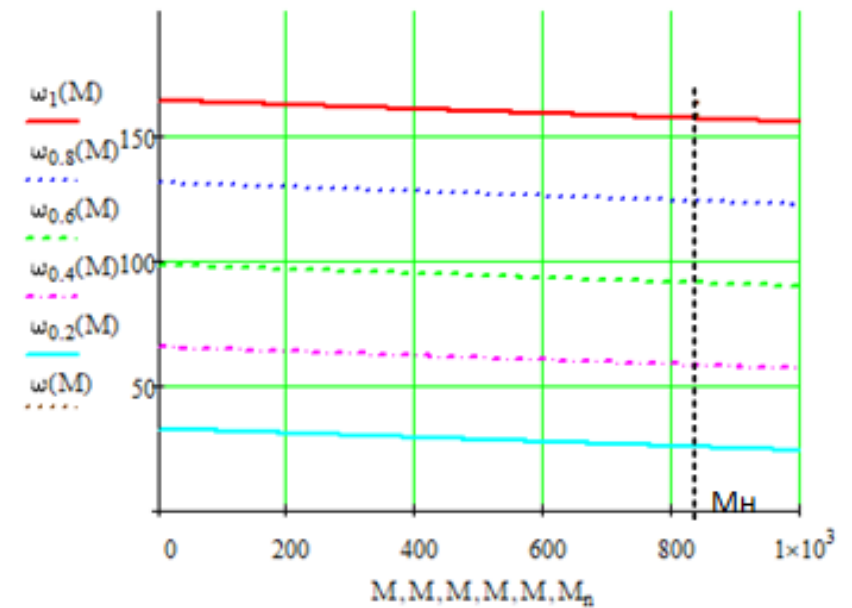
Механічні характеристика двигуна. Перевірка за моментом

$$\omega(M) = \frac{U_{\pi}}{k_e \Phi} - \frac{R_{\pi}}{k_e \Phi \cdot k_M \Phi} M$$

$$\omega(M) = 164,335 - 8.634 \cdot 10^{-3} \cdot M \quad (c^{-1})$$



$$M_{c_{\max}} = \frac{P_{\text{розр}\Sigma}}{\omega_{\partial e_{\max}}} = 630,3 \text{ H} \cdot \text{м} \quad M_{\partial} = J_{\Sigma} \frac{\omega_{\kappa} - \omega_n}{\Delta t} = 272 \text{ H} \cdot \text{м}$$



$$M_{\max} \leq k_{\text{пер}} M_n$$

$$901,856 < 1,5 \cdot 840,338$$

Вибір перетворювального пристрою

Таблиця 5.2 – Паспортні дані тиристорного перетворювача ТП4-320/460УХЛ4

Напруга живлення	380 В
Випрямлена напруга	460 В
Номинальний струм	320 А
Напруга живлення блоку збудження	380 В
Напруга блоку живлення	220 В



Система подрібнення та постачання сировини



Схема електрична принципова підключення системи електропривода бурякорізки

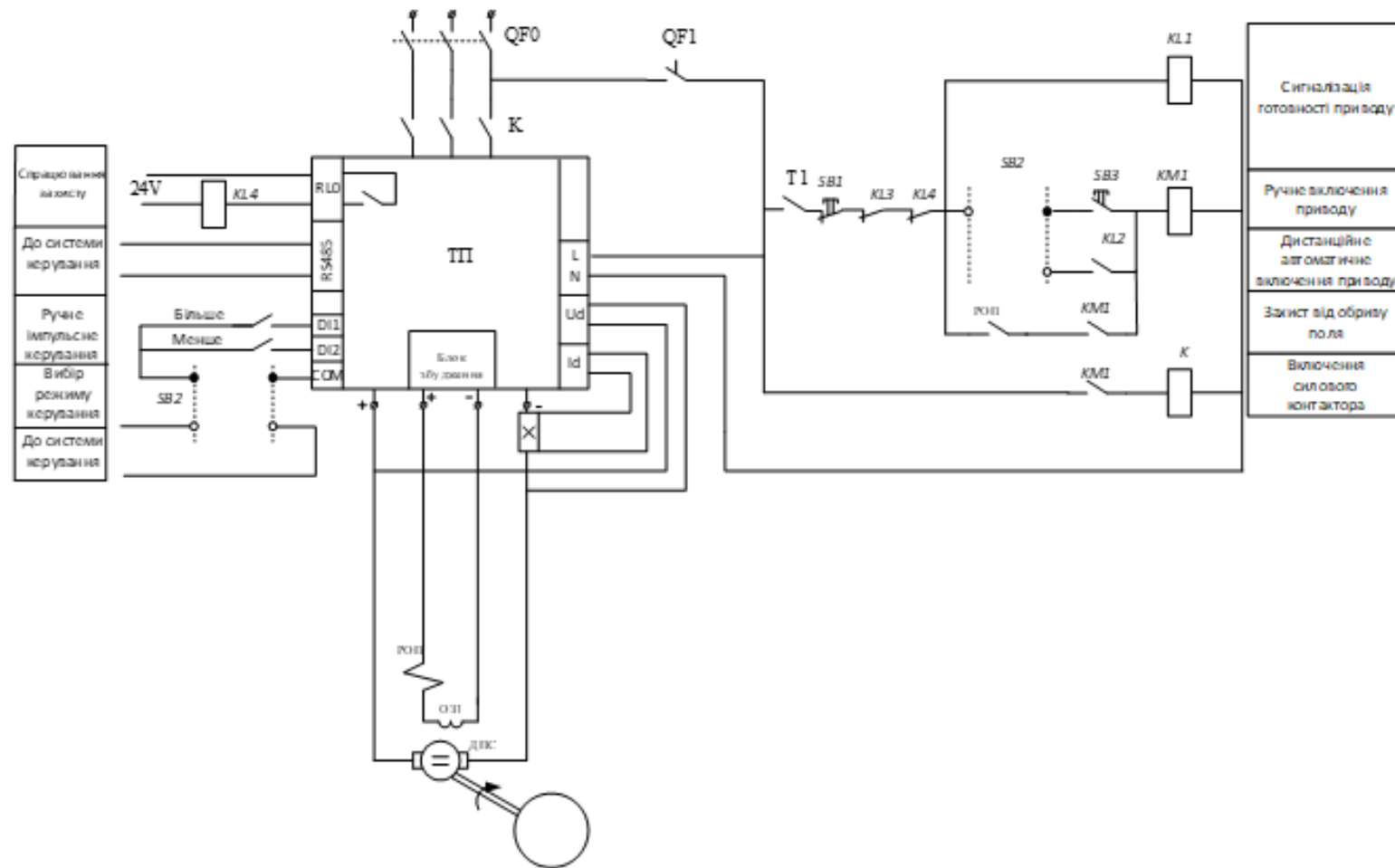
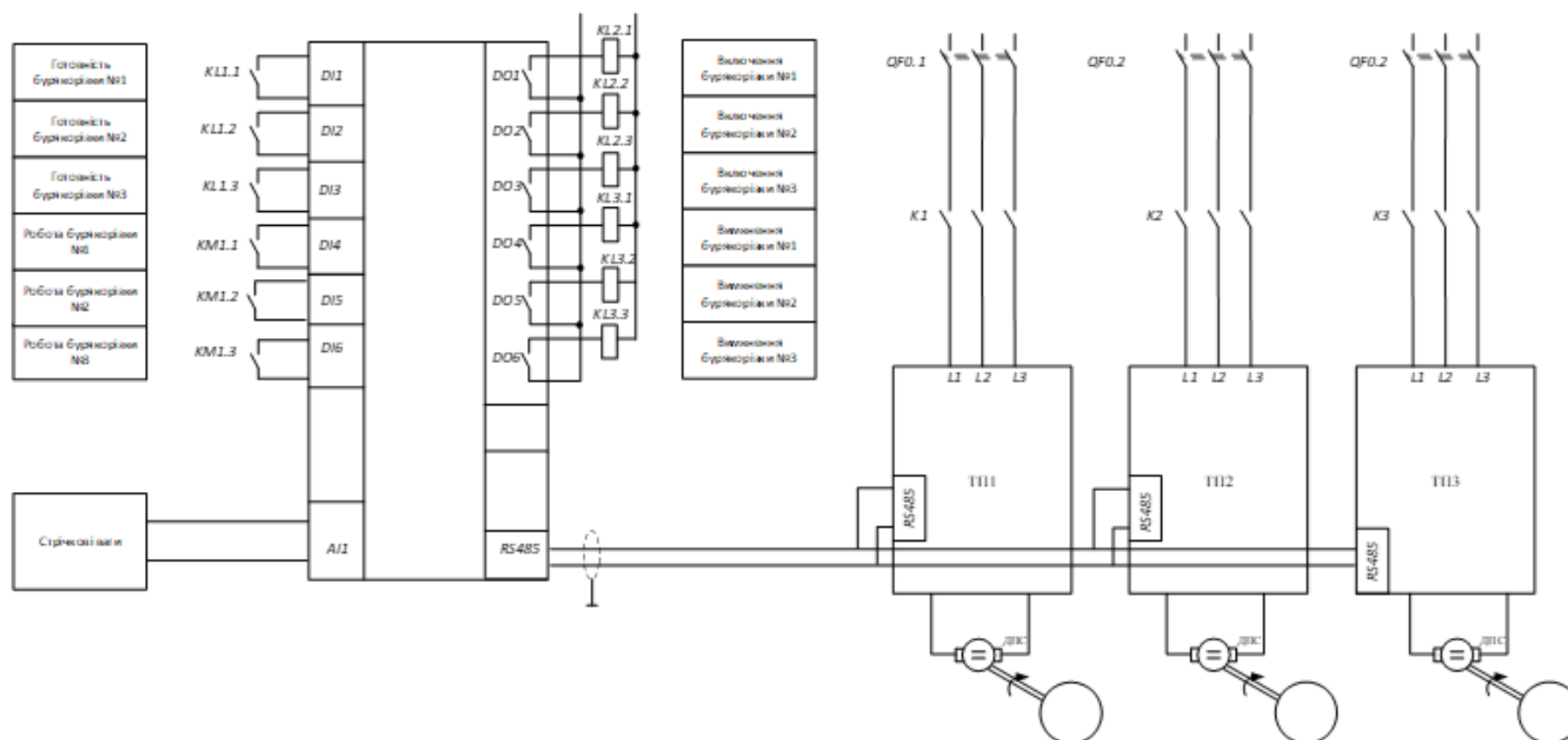


Схема електрична принципова системи керування групою бурякорізів



Висновки

1. У роботі проведено аналіз режимів функціонування бурякорізок у складі системи подрібнення та подачі сировини на похилий дифузійний апарат. Визначено вимоги до електроприводів, здійснено розрахунок необхідної потужності та вибір оптимального типу електропривода для кожної бурякорізки.
2. На підставі техніко-економічного порівняння обґрунтовано використання системи тиристорного перетворювача з двигуном постійного струму, що забезпечує необхідну динаміку, надійність та гнучкість регулювання.
3. Було обґрунтовано структуру системи керування, обрано і розраховано силові елементи, виконавчі пристрої, сенсори та засоби захисту.
4. Розроблено принципову схему підключення, а також алгоритм роботи автоматизованої системи керування, який забезпечує своєчасне вмикання резервних бурякорізок, рівномірне завантаження дифузійного апарата та підтримку продуктивності за допомогою ПІ-регулятора.
5. В розділі охорони праці сформульовано рекомендації щодо забезпечення безпечної експлуатації бурякорізок, а також створення оптимальних умов праці для персоналу.

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Система автоматизованого керування групи бурякорізок цукрового заводу

Тип роботи: бакалаврська кваліфікаційна робота

Підрозділ: кафедра КЕМСК, ФЕЕЕМ, гр. ЕМСА-216

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 9,3 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

✓ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту

У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.

У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Зав. кафедри КЕМСК Мошноріз М.М.

(прізвище, ініціали, посада)

Гарант ОП Мошноріз М.М.

(прізвище, ініціали, посада)

(підпис)

(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку

(підпис)

Паянок О.А.

(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник

(підпис)

Коваль А.М.

(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач

(підпис)

Олійник О.В.

(прізвище, ініціали)

					08-24.БКР.012.00.000 ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Система автоматизованого керування групи бурякорізок цукрового заводу			Літ.	Маса	Масштаб		
Розробив:		Олійник О.В.	<i>[Signature]</i>	2005								
Перевірив		Коваль А. М.	<i>[Signature]</i>	2005								
Т. контр.												
								Аркуш	Аркушів			
Реценз.		<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>	03.06				ВНТУ, гр. ЕМСА-21				
Норм. кон.		<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>	03.06								
Затверд.		Мошноріз М.М.	<i>[Signature]</i>	03.06								