

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:

«ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНА СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДА
ЖОМОПРЕСА MERCIER»

Виконав: студент 4 курсу, гр. ЕМСА-216
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка)
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Микола РАВКОВ Равков
(ім'я ПРІЗВИЩЕ, підпис)

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

« 20 » 06 2025 р.

Рецензент: к.т.н., доцент кафедр ЕЕЕЕ
Шура Р.А.
(прізвище та ініціали)

« 10 » 06 2025 р.

Допущено до захисту
Зав. кафедри Шура Р.А.
« 3 » червня 2025 р.

Вінниця ВНТУ – 2025 рік

Освітньо-професійна програма «Електромеханічні системи автоматизації»

“18” лютого 2025 року

(прізвище, ім'я, по батькові)

Короткі відомості про технологічний процеси цукрової галузі Актуальність теми. Мета, об'єкт та задачі дослідження Технічні характеристики жомопреса Mercier Задачі роботи Режими роботи електропривода та розрахунок його потужності Діаграма розрахункової потужності центрифуги Техніко-економічне обґрунтування вибору системи привода Вибір двигуна Навантажувальна діаграма привода жомопреса Вибір перетворювального пристрою Структурна схема перетворювача частоти Жомопрес Mercier як об'єкт автоматизації Перелік периферійного обладнання системи керування Схема електрична принципова підключення системи електропривода жомопреса Схема

електрична принципова системи підключення допоміжних пристроїв Панель керування автоматизованим електроприводом жомопреса 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.	18.02.2025 	06.05.2025
Охорона праці	Зав. каф. БЖДПБ, д.пед.н., проф. Кобилянський О. В.	18.02.2025 	20.05.2025

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)	18.02.2025	вик
2	Виконання спеціальної частини БКР. Перший рубіжний контроль виконання БКР	06.05.2025	вик
3	Виконання спеціальної частини БКР. Другий рубіжний контроль виконання БКР	20.05.2025	вик
4	Виконання розділу «Охорона праці»	20.05.2025	вик
5	Попередній захист БКР	03.06.2025	вик
6	Нормоконтроль БКР	03.06.2025	вик
7	Рецензування БКР	10.06.2025	вик
8	Захист БКР	20.06.2025	вик

Студент

Робкоб Робкоб М.В
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

Андрій КОВАЛЬ
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Равков М. В. " Електромеханічна система автоматизації електропривода жомопреса Mercier ". Бакалаврська кваліфікаційна робота. – Вінниця.: ВНТУ. 2024.— 109 с. Бібліог.: 24. Іл.: 14. Табл.: 17.

Розглянуто питання розробки автоматизованої системи електропривода для шнекового жомопреса *Mercier* ТМ-3000, що використовується у бурякопереробному відділенні цукрового виробництва. Проаналізовано технологічні особливості процесу зневоднення бурякового жому та обґрунтовано роль жомопресів у підвищенні ефективності вилучення цукру та зменшенні енергетичних витрат. Проведено розрахунок необхідної потужності електродвигуна основного привода з урахуванням фізико-механічних властивостей сировини, конструктивних параметрів обладнання та експлуатаційного режиму. Запропоновано техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода, здійснено порівняльний аналіз варіантів та обрано оптимальне рішення на базі асинхронного двигуна з перетворювачем частоти. Розроблено вимоги до системи керування, що передбачають плавне регулювання швидкості обертання шнеків відповідно до рівня завантаження, що забезпечує стабільну роботу технологічного процесу та підвищує загальну продуктивність обладнання.

Ключові слова: жомопрес, електропривод, *Mercier* ТМ-3000, цукрове виробництво, шнековий прес, зневоднення жому, перетворювач частоти, асинхронний двигун, техніко-економічне обґрунтування, автоматизована система керування

ANNOTATION

Ravkov M. V. *"Electromechanical Automation System of the Drive for the Mercier Pulp Press."* Bachelor's Qualification Thesis. – Vinnytsia: VNTU, 2024. – 109 p. Bibliogr.: 24. Ill.: 14. Tables: 17.

The thesis addresses the development of an automated electric drive system for the Mercier TM-3000 screw-type pulp press used in the beet processing section of a sugar production facility. The technological features of the beet pulp dewatering process are analyzed, and the role of pulp presses in increasing sugar extraction efficiency and reducing energy consumption is substantiated. The required power of the main drive motor is calculated considering the physico-mechanical properties of the raw material, design parameters of the equipment, and operational conditions. A techno-economic justification for the choice of the electric drive system is provided, and a comparative analysis of possible options is performed, resulting in the selection of an optimal solution based on an asynchronous motor with a frequency converter. Control system requirements are developed, including smooth speed regulation of the screw rotation depending on the loading level, which ensures stable process operation and improves the overall performance of the equipment.

Keywords: pulp press, electric drive, Mercier TM-3000, sugar production, screw press, pulp dewatering, frequency converter, asynchronous motor, techno-economic justification, automated control system.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ОБЛАДНАННЯ ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	8
1.1 Короткий опис технології виробництва цукру.....	8
1.2 Особливості технологічних процесів віджимки жому.....	12
1.3 Опис конструкції жомопресів.....	17
2 КОНСТРУКТИВНІ ПАРАМЕТРИ ШНЕКОВОГО ЖОМОПРЕСА MERCIER	22
3 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ДВИГУНА ОСНОВНОГО ПРИВОДА ЖОМОПРЕСА MERCIER	30
3.1 Вимоги до вибору потужності електродвигуна.....	23
3.2 Розрахункова потужність двигуна основного приводу.....	33
4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА.....	38
4.1 Технічне обґрунтування вибору системи електропривода.....	39
4.2 Економічне обґрунтування вибору системи електроприводу.....	42
5 ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА ТА ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СИЛОВИХ КІЛ.....	49
5.1. Вибір та перевірка електродвигуна головного електропривода жомопреса Mercier	49
5.2 Вибір перетворювального пристрою.....	55
6 СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ЖОМОПРЕСА ТА ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ	62
7. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	74
7.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту.....	74
7.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць в пожежонебезпечних зонах.....	74
7.1.2 Електробезпека.....	76
7.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії.....	78

7.2.1. Мікроклімат.....	78
7.2.2. Склад повітря робочої зони.....	79
7.2.3 Виробниче освітлення.....	80
7.2.4 Виробничий шум.....	81
7.3 Пожежна безпека.....	82
ВИСНОВКИ.....	85
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	86
ДОДАТКИ	89

ВСТУП

У сучасних умовах інтенсифікації виробничих процесів особливе значення набуває ефективне використання сировинних ресурсів і енергозбереження. Цукрова промисловість, як одна з енергоємних галузей харчової промисловості, потребує впровадження нових технічних рішень, спрямованих на зниження втрат продукції, оптимізацію технологічних процесів і підвищення надійності обладнання. Одним із ключових елементів технологічного ланцюга цукрового заводу є бурякопереробне відділення, зокрема процес зневоднення бурякового жому.

Жомопреси, які використовуються для механічного віджиму залишкової вологи з бурякової стружки, виконують не лише функцію зменшення вологості побічного продукту, а й забезпечують повернення залишкового дифузійного соку до основного технологічного процесу. Це дозволяє підвищити загальний вихід цукру, зменшити обсяг стічних вод і покращити енергетичну ефективність виробництва. Забезпечення надійної, стабільної та адаптивної роботи жомопреса вимагає використання сучасного електропривода з функціями регулювання і контролю.

Актуальність теми зумовлена потребою цукрової галузі України у підвищенні ефективності використання сировини на фоні зменшення обсягів виробництва та жорсткої конкуренції на ринку. Значні втрати цукру, що залишаються у буряковому жомі після екстракції, прямо впливають на рентабельність підприємств. Водночас традиційні схеми електроприводів не завжди здатні забезпечити адаптивне регулювання процесу пресування відповідно до змінних властивостей сировини та режимів роботи обладнання.

Упровадження автоматизованого електропривода з можливістю плавного керування швидкістю шнеків жомопреса дозволяє значно покращити показники енергоефективності, стабільності процесу та якості кінцевого продукту. Особливо це важливо в умовах сезонного характеру

роботи цукрових заводів, коли необхідна максимальна продуктивність при обмежених строках. Саме тому розробка та впровадження ефективної електромеханічної системи автоматизації для жомопреса є актуальним і практично значущим завданням.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності роботи системи привода шнекового жомопреса, що забезпечить надійне та якісне виконання технологічних процесів віджиму.

У відповідності із поставленою метою необхідно вирішити наступні завдання:

- Проаналізувати конструктивні та технологічні особливості шнекового жомопреса *Mercier* TM-3000.
- Розрахувати необхідну потужність електродвигуна для основного привода жомопреса з урахуванням експлуатаційних параметрів.
- Обґрунтувати техніко-економічно доцільність вибору системи електропривода для забезпечення стабільної роботи обладнання.
- Вибрати оптимальну структуру електропривода: тип двигуна, перетворювач, систему керування.
- Розробити принципову схему автоматизованого електропривода із можливістю плавного регулювання швидкості шнеків.
- Сформулювати алгоритм керування на основі рівня завантаження шахти, що забезпечує стабільність процесу пресування.

Об'єкт дослідження є процеси перетворення енергії, які протікають у електромеханічній системі електропривода шнекового жомопреса *Mercier*.

Предметом дослідження є математичні моделі та структури, які дозволяють підвищити ефективність електропривода ротора шнекового жомопреса *Mercier*.

Методи дослідження засновані на використанні методів теорії електричних машин, теорії управління, методів синтезу лінійних 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

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. Порушення 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.

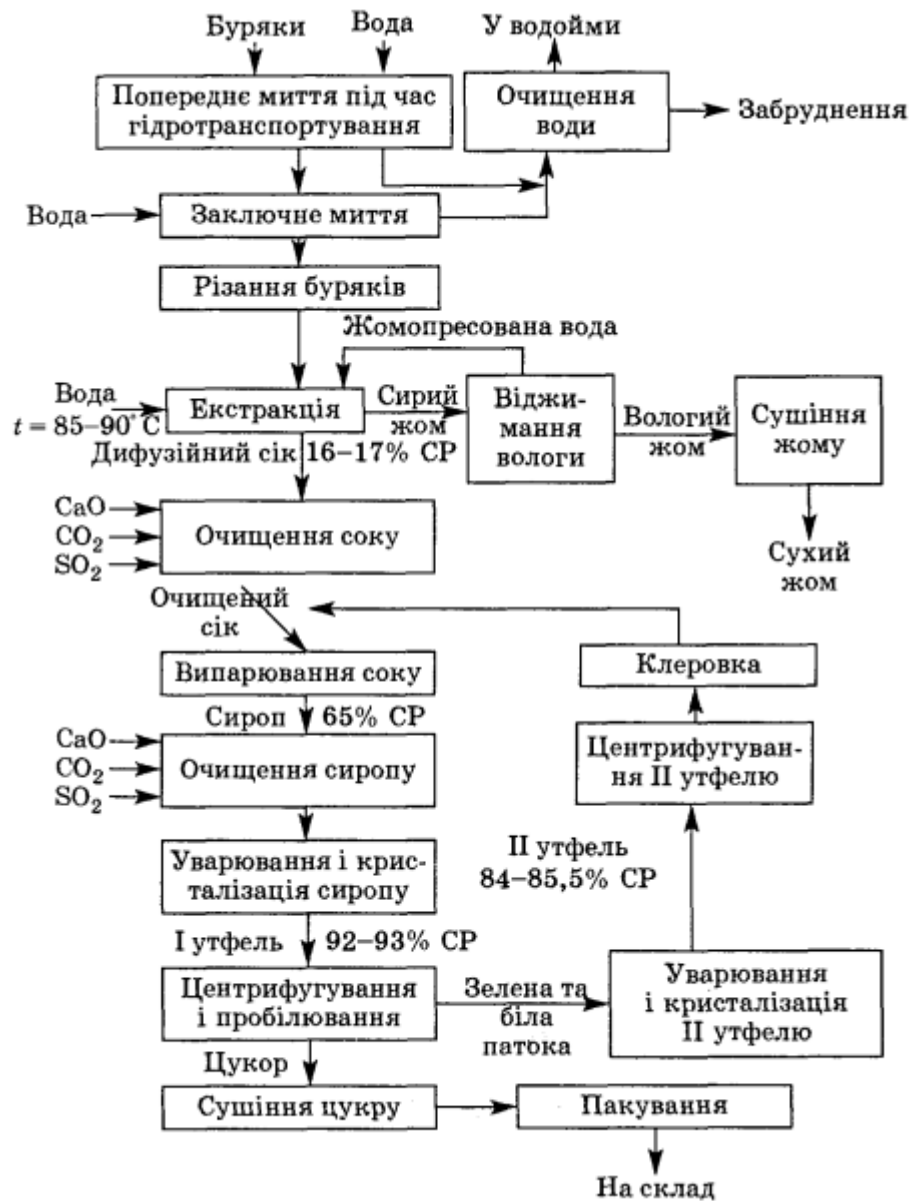


Рисунок 1.1 – Технологічна схема цукрового виробництва

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 самий час основне обладнання бурякопереробного відділення, призначене для висолоджування шляхом дифузії залишається незмінним. Це зумовлює зменшення часу перебування стружки в дифузійних апаратах, що призводить до неповного вилучення сахарози з бурякової стружки та зростання її втрат у жомі. Зниження ефективності екстракції негативно впливає на загальний вихід цукру, а також збільшує навантаження на наступні етапи технологічного процесу. У таких умовах особливої актуальності набуває використання жомопресів, які дозволяють не лише знизити вологість жому, але й частково повернути залишковий сік, збагачений сахарозою, назад у технологічний цикл. Це сприяє зменшенню втрат цукру, підвищенню ефективності виробництва та забезпечує раціональне використання сировини в умовах інтенсифікації виробничих процесів. Таким чином, жомопреси виступають важливим елементом не лише енергозбереження, а й оптимізації технології екстракції у сучасному цукровому виробництві.

1.2 Особливості технологічних процесів віджимки жому

Жомопреси відіграють важливу роль у технологічному процесі виробництва цукру з буряків. Їх основне призначення полягає у збільшенні вилученого цукру з сировини шляхом зневоднення бурякового жому — відпрацьованої стружки, що залишається після процесу екстракції сахарози у дифузійних апаратах, у якій міститься 2 - 4 % цукру. Застосування жомопресів дозволяє зменшити втрати цукру в жомі до значень менше 1%.

Іншим важливим чинником є зневоднення жому. Після дифузії вологість жому може сягати 90–92%, що ускладнює його подальше використання, зберігання та транспортування. Застосування жомопресів дозволяє знизити

вологість до 75–80%, що значно зменшує масу продукту та обсяг для транспортування, а також створює кращі умови для зберігання, запобігаючи самозігріванню та бродінню.

Крім того, попереднє механічне зневоднення істотно знижує витрати пари, необхідної для сушіння жому, особливо у випадку виробництва гранульованого сухого жому — важливої побічної продукції, яка використовується як корм для тварин. Це сприяє загальному зниженню енерговитрат цукрового підприємства, зменшуючи навантаження на котельні установки та витрати палива. У процесі пресування з жому також може вилучатися частина залишкового дифузійного соку, який містить певну кількість сахарози. Повернення цього соку у виробничий цикл дозволяє підвищити загальний вихід цукру з одиниці сировини.

Окремої уваги заслуговує екологічний аспект. Зменшення кількості води у жомі означає зниження об'ємів стічних вод, що виводяться з підприємства, а отже — зниження навантаження на очисні споруди та мінімізацію негативного впливу на довкілля. Таким чином, застосування жомопресів є необхідною умовою для ефективної, економічно вигідної та екологічно відповідальної роботи сучасного цукрового заводу.

Технологічний процес зневоднення бурякового жому в жомопресах полягає у механічному видаленні води з відпрацьованої бурякової стружки, що залишилася після процесу дифузійного вилучення сахарози. Основною метою цього процесу є зменшення втрат цукру в жомі та зниження його вологості, що забезпечує покращення умов його подальшого використання, зберігання або сушіння.

Виділена вода, яка є сумішшю води та залишків дифузійного соку, може бути зібрана, очищена та повернута у виробничий процес з метою повторного використання. Це дозволяє підвищити загальний коефіцієнт вилучення сахарози та знизити втрати цукру в побічних продуктах. Водночас зневоднений жом, що є високоякісним кормовим продуктом, направляється на

подальше сушіння або використовується у вологому вигляді залежно від потреб підприємства.

Таким чином, процес жомопресування є важливою складовою загальної технологічної схеми цукрового заводу, яка забезпечує ресурсозбереження, енергетичну ефективність та зменшення екологічного навантаження виробництва. Роль процесів віджимки вологи з жому чудово ілюструє схем рис. 1.2

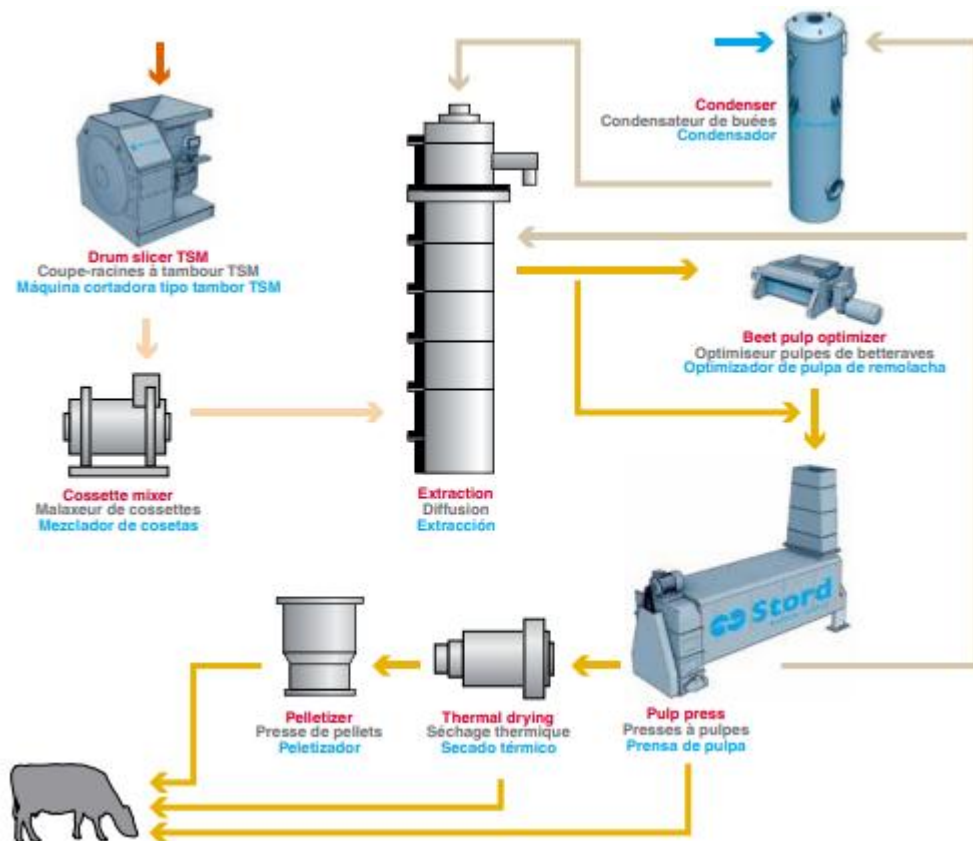


Рисунок 1.2 – Технологічна схема бурякопереробного відділення

Зневоднення здійснюється шляхом прикладення до жому значних механічних зусиль, що спричиняють витиснення вільної та частково капілярної вологи. У цукровому виробництві застосовуються барабанні, поршневі та шнекові жомопреси, кожен з яких має свої конструктивні особливості та технологічні процеси.

Барабанні жомопреси складаються з обертового перфорованого барабана, навколо якого ущільнюється буряковий жом за допомогою роликів

або валків. Волога витискається під дією механічного тиску, створеного роликками, що притискають жом до барабана. Витік рідини відбувається через отвори барабана. Технологічний процес полягає в безперервному поданні жому на поверхню барабана, ущільненні його в шар та витисненні вологи, після чого зневоднений жом знімається з барабана спеціальним скребком. Цей тип пресів забезпечує порівняно рівномірне пресування, але має нижчу продуктивність у порівнянні зі шнековими.

Поршневі жомопреси мають конструкцію, що складається з циліндра, у якому поршень здійснює зворотно-поступальний рух. Жом завантажується у циліндр, де під дією поршня відбувається його ущільнення та видавлювання вологи через перфоровані стінки. Процес є циклічним, що забезпечує високу ступінь зневоднення, однак має меншу продуктивність та більшу енергоємність у порівнянні з безперервними типами пресів. Поршневі преси використовуються у випадках, коли необхідно досягти максимального ступеня зневоднення або при обробці особливо в'язких або густих мас.

У промисловій практиці найпоширенішими є шнекові (гвинтові) жомопреси безперервної дії, які забезпечують стабільну роботу при великій пропускній здатності. У таких пресах жом подається у завантажувальний пристрій, після чого за допомогою обертового шнека переміщується по корпусу преса до зони стискання. У цій зоні відбувається поступове ущільнення маси за рахунок зменшення діаметра корпусу або збільшення кроку шнека, внаслідок чого надлишкова волога витискається через перфоровані стінки корпусу або спеціальні дренажні канали.

Основними конструктивними елементами шнекового преса є:

- Корпус (пресувальна камера) – циліндрична або конічна металева оболонка з перфорованими стінками, через які відводиться витиснута волога.
- Шнек (гвинт) – обертовий вал із гвинтовою поверхнею, що транспортує жом уздовж преса. Зазвичай має змінний крок і/або змінний діаметр валу для створення поступового ущільнення.

- Регулювальний пристрій на виході – у вигляді конічного або пружного затвору, що створює зворотний тиск і дозволяє керувати ступенем зневоднення.
- Привідний механізм – електродвигун із редуктором, який обертає шнек.

Технологічний процес протікає наступним чином. Буяковий жом подається у завантажувальну зону преса, після чого захоплюється шнеком і просувається вздовж корпусу. У процесі транспортування відстань між витками шнека зменшується, а сам корпус стає вужчим (конічна форма) або ущільнює масу за рахунок зміни кроку гвинта. Це спричиняє поступове стискання жому та витіснення вологи через перфорацію. Волога (суміш води та залишкового дифузійного соку) відводиться в приймальну ємність, а зневоднений жом виходить через вихідний отвір.

Приблизну кількість вологи, що витискається з жому за одиницю часу Q_W у кг/с можна оцінити за формулою:

$$Q_W = G_{\text{жом}} \cdot (W_{\text{ex}} - W_{\text{вих}}), \quad (1.1)$$

Де $G_{\text{жом}}$ — масова витрата жому на вході, кг/с, W_{ex} та $W_{\text{вих}}$ — масова частка вологи у жомі на вході (наприклад, 0.92) та масова частка вологи у жомі після пресування (наприклад, 0.78) відповідно.

Продуктивність преса також залежить від геометричних та кінематичних параметрів:

$$G_{\text{жом}} = \rho \cdot A \cdot v, \quad (1.2)$$

де: ρ — середня густина жому (кг/м³), яка змінюється в процесі ущільнення, A — площа поперечного перерізу просвіту шнека (м²), v — середня швидкість поступального руху жому вздовж преса (м/с).

Площа поперечного перерізу шнека залежить від зовнішнього діаметра D і внутрішнього (осьового) валу d :

$$A = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2). \quad (1.3)$$

Також на ефективність пресування впливає створюваний тиск у зоні пресування, який залежить від зменшення кроку гвинта sss , кута нахилу витків

та сили тертя між жомом і стінками. У спрощеному вигляді гвинтовий механізм можна описати з урахуванням моменту опору пресування :

$$M = \frac{F_t \cdot D_0}{2}, \quad (1.4)$$

де F_t — тангенціальна сила, яку прикладає гвинт, D_0 — середній діаметр витка.

Сила пресування на виході визначається з урахуванням регульованого опору затвора та тиску, що утворюється у матеріалі. В промислових умовах ці показники задаються емпірично та регулюються залежно від бажаної вологості кінцевого продукту.

Перевагами конструкції шнекових жомопресів є безперервність процесу, висока продуктивність, простота механізму автоматичного регулювання вологості на виході, можливість повернення витисненого соку в технологічний процес.

1.3 Опис конструкції шнекових жомопресів

У цукровій промисловості України широко застосовуються жомопреси провідних європейських виробників, які забезпечують ефективне зневоднення бурякового жому та відповідають сучасним вимогам енергоефективності та надійності.

Одним із ключових постачальників є компанія **BMA (Braunschweigische Maschinenbauanstalt AG, Німеччина)**, що має багаторічний досвід виробництва обладнання для цукрової промисловості. Жомопреси BMA відзначаються високим ступенем зневоднення, оптимізованим конструктивним виконанням та здатністю до стабільної роботи в умовах інтенсивного навантаження. Їх обладнання широко застосовується на модернізованих і нових цукрових заводах України.

Значну роль у забезпеченні українських підприємств відіграє також **вітчизняний виробник «Промінь»**, який виготовляє шнекові жомопреси різних типів. Його продукція, зокрема одношнекові та двошнекові преси,

користується попитом серед малих та середніх підприємств галузі завдяки прийнятній вартості, ремонтпридатності та адаптації до умов вітчизняного виробництва.

Варто також відзначити компанію **Babini (Італія)**, яка спеціалізується на виробництві прецизійних пресів для харчової та біоенергетичної промисловості, включаючи обладнання для зневоднення жому. Їхні шнекові преси характеризуються високою механічною надійністю та низьким енергоспоживанням, що робить їх конкурентоспроможними на ринку.

До переліку провідних постачальників належить також **Mercier (Іспанія)**, відома своїми спеціалізованими технічними рішеннями для переробки відходів аграрного виробництва, зокрема жому. Їх обладнання вирізняється модульністю конструкції, що полегшує інтеграцію у вже наявні технологічні лінії українських заводів.

Таким чином, українські цукрові підприємства використовують як імпортні високотехнологічні рішення, так і вітчизняне обладнання, що забезпечує баланс між інноваційністю, експлуатаційною надійністю та економічною доцільністю.

Усі ці та інші компанії розробили велику кількість різних конструкційних рішень, які зведені до табл. 1.1. Деякі моделі об'єднують декілька технологічних рішень, завдяки чому досягають ще кращою продуктивності та віджимки зайвої вологи.

Саме тому у вітчизняній цукровій галузі завдяки наведеним перевагам найширше застосування знайшли двошнекові горизонтальні шнекові жомопреси з змінним діаметром валу шнеків, зовнішній вигляд якого подано на рис. 1.3

Таблиця 1.1 – Класифікація шнекових жомопресів за конструкційними ознаками

Тип шнекового жомопреса	Конструктивні особливості	Переваги	Недоліки
Одношнековий прес	Один шнек у циліндричному корпусі	Проста конструкція, легкість експлуатації, невисока вартість	Менша продуктивність, нижчий ступінь зневоднення
Двошнековий (двоваловий) прес	Два шнеки, що обертаються паралельно або назустріч один одному	Вища продуктивність, ефективніше зневоднення, краще змішування матеріалу	Ускладнене обслуговування, підвищена вартість
Прес із конічним шнеком	Шнек зі змінним діаметром (зменшується у напрямку виходу)	Підвищений тиск пресування, ефективно ущільнення	Складність виготовлення, інтенсивне зношування у зоні максимального тиску
Прес із регульованим соплом (гідравлічним конусом)	Кінець шнека обладнаний регульованим опором, що створює змінний тиск	Можливість регулювання процесу в реальному часі, стабільна робота при коливаннях властивостей жому	Ускладнена конструкція, потребує системи контролю тиску
Горизонтальний шнековий прес	Шнек розташований горизонтально, класичне виконання	Зручність встановлення, легкість обслуговування	Займає значну площу
Вертикальний шнековий прес	Шнек розташований вертикально, рідше застосовується	Економія простору при монтажі, може використовуватись для попереднього зневоднення	Менш поширений, складніший монтаж та обслуговування

На рис. 1.3:

- Vertical inlet chute - вертикальний вхідний жолоб через який відбувається завантаження жому;

- High quality steel press spindles - шнеки преса з високоякісної сталі, що здійснюють транспортування жому та за рахунок зменшення просвіту внаслідок збільшення діаметру валу по ходу руху суміші здійснюють його віджимання ;

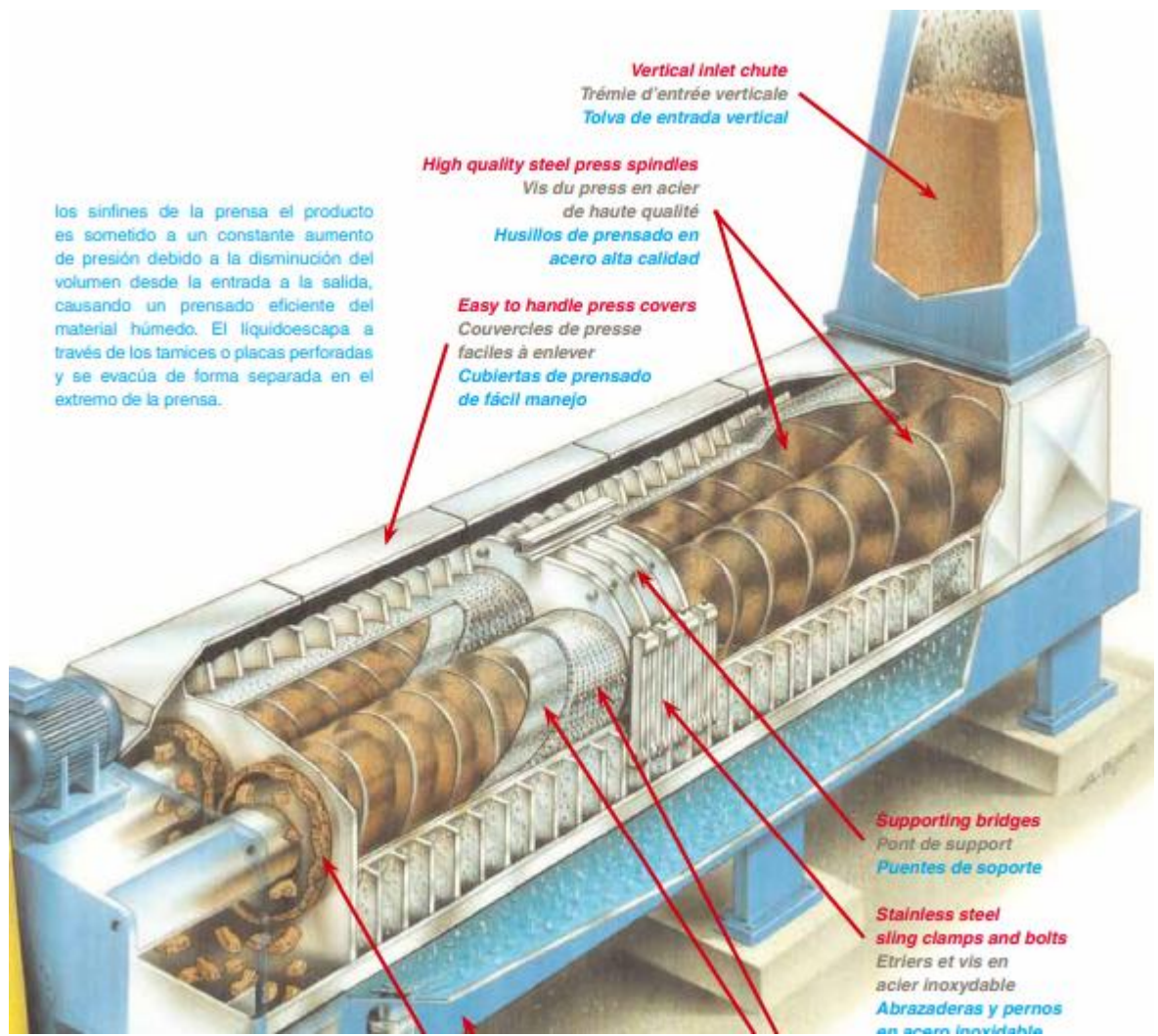


Рисунок 1.3 Вигляд двошнекового жомопреса у розрізі

Easy to handle press covers - зручні для відкривання кришки преса, для здійснення технологічного обслуговування;

Supporting bridges - опорні містки для збільшення міцності механічної частини;

Stainless steel sling clamps and bolts - Стяжні хомути та болти з нержавіючої сталі.

Представлене зображення ілюструє конструкцію шнекового преса, призначеного для ефективного зневоднення матеріалів шляхом механічного пресування. Принцип дії установки ґрунтується на послідовному збільшенні тиску на продукт у міру його переміщення вздовж робочої зони.

Сировина надходить у систему через вертикальний вхідний жолоб, звідки подається до горизонтально розташованих шнеків. Ці шнеки,

виготовлені з високоякісної сталі, забезпечують поступове стиснення матеріалу. Внаслідок зменшення об'єму в процесі просування відбувається інтенсивне видалення рідини з вологого субстрату.

Конструкція преса включає зручні для відкривання кришки, що спрощує доступ до внутрішніх елементів для обслуговування та очищення. Механічна міцність системи забезпечується опорними містками, а також стяжними хомутами та болтами, виконаними з нержавіючої сталі, що гарантує надійність з'єднань і стійкість до корозії.

Процес зневоднення відбувається шляхом виведення рідини через перфоровані сита або пластини, розташовані в робочій камері преса. Відділена рідина збирається та відводиться окремо на виході з установки, забезпечуючи ефективне розділення фаз. Таким чином, шнековий прес функціонує як безперервний дегідратор, оптимально вилучаючи рідину з різноманітних матеріалів.

У лівому нижньому кінці відбувається вивантаження сухого жому.

Висновки.

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

Жомопреси у цьому процесі відіграють значну роль, оскільки дозволяють зменшити втрати цукру у жомі, що позитивно впливає на економічну ефективність роботи усього підприємства. Забезпечення його надійної роботи вимагає розробки автоматизованої системи електричного привода, що буде забезпечувати технологічний процес віджимки жому.

2 КОНСТРУКТИВНІ ПАРАМЕТРИ ШНЕКОВОГО ЖОМОПРЕСА MERCIER

Іспанська компанія **Talleres Mercier S.A.**, розташована в Сарагосі, спеціалізується на виробництві обладнання для переробки цукрових буряків, включаючи шнекові жомопреси. Ці преси використовуються для зневоднення бурякового жому після екстракції цукру, що дозволяє зменшити вологість жому та підготувати його до подальшого сушіння або використання як корм для тварин.

Шнекові преси Mercier мають сучасну конструкцію, яка забезпечує ефективне зневоднення волокнистих матеріалів, таких як буряковий жом. Згідно з патентом ES2551254B2, компанія розробила шнеки з подвійним витком, що покращує подачу матеріалу та підвищує ефективність пресування.

Переваги використання шнекових жомопресів Mercier:

Ефективне зневоднення: Зменшення вологості жому до рівня, придатного для подальшої обробки або використання як корму вміст сухих речовин складає 34 % і більше.

Висока продуктивність, яка залежно від моделі коливається в межах від 1000 до 6000 тон бурякового жому на добу

Енергозбереження: Зниження енергоспоживання під час сушіння завдяки попередньому зневодненню.

Міцна конструкція: Використання високоякісних матеріалів забезпечує довговічність обладнання.

Гнучкість у налаштуваннях: Можливість регулювання параметрів пресування для досягнення оптимальних результатів.

Зовнішній вигляд жомопреса mercier подано на рис. 2.1



Рисунок 2.1 – Жомопрес Mercier

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

Таблиця 2.1 – Умовні позначення допоміжних механізмів жомопреса Mercier

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

На рис. 2.2 подано креслення жомопреса mercier в двох проекціях



Рисунок 2.2 – Основні конструктивні розміри жомопреса Mercier

Основні конструктивні параметри жомопреса Mercier TM-3000 подано на рис. 2.2 та таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Основні конструктивні параметри жомопреса Mercier TM-3000

Загальна довжина, м	11,4
Загальна ширина, м	2,5
Загальна висота, м	2,66
Довжина шнеку, м	8,4
Добова продуктивність, т/добу	1500-3000
Частка сухих речовин у вихідному жомі, в залежності від продуктивності, %	35-25
Діаметр шнека, м	1,5
Маса обертових частин, кг	5960
Частота обертання шнеків, об/хв	2,05..3,3
Передатне число кінематичної схеми	450/1
Приведений момент інерції механізму, кг м ²	73

Технологічний процес у шнековому жомопресі Mercier являє собою безперервну операцію механічного зневоднення матеріалів, що базується на принципі контрольованого збільшення тиску. Цей процес дозволяє ефективно відокремлювати рідку фазу від твердої, отримуючи зневоднений кек і рідкий продукт.

Початковий етап полягає у завантаженні сировини – вологого матеріалу, такого як цукровий буряковий жом, фруктовий чи овочевий жом, або виноградні вичавки. Матеріал подається у прес через вертикальний вхідний жолоб, що забезпечує рівномірне надходження продукту в робочу камеру.

Після надходження у прес сировина потрапляє до шнекової зони, де починається її переміщення та компресія. Горизонтально розташовані шнеки, виготовлені з високоякісної нержавіючої сталі, обертаються, захоплюючи матеріал. Завдяки конічній конфігурації шнека або зміні кроку його витків, об'єм, доступний для матеріалу, поступово зменшується по мірі його просування від входу до виходу. Це призводить до постійного зростання тиску на продукт.

Під дією зростаючого тиску відбувається віджимання рідини. Рідина витісняється через високоточні перфорації або щілини, розташовані у стінках пресувальної камери (зеєрної камери). Конструкція щілин оптимізована для мінімізації засмічення та забезпечення ефективного дренажу. У деяких моделях можуть використовуватися багатосекційні камери з різними розмірами щілин для підвищення ефективності розділення фаз.

Відокремлена рідка фаза (наприклад, сік або фільтрат) збирається і відводиться окремо від твердого залишку. Тверда фаза – зневоднений кек (макуха або жом) – вивантажується на кінці преса.

Процес є безперервним, що забезпечує високу продуктивність. Оптимізувати процес для досягнення максимальної ефективності зневоднення повинен автоматизований електропривод, завданням якого є забезпечення обертання шнеків з можливістю регулювання їх швидкості обертання. Також необхідно розробити закони регулювання швидкістю обертання, які повинні контролювати наступні параметри: швидкість обертання, рівень жому в шахті завантаження для забезпечення оптимізації параметрів пресування. Для підтримання гігієни та запобігання засміченню, деякі моделі можуть бути оснащені системами автоматичного промивання шнека та зеєрної камери.

Зручний доступ до внутрішніх компонентів через швидкознімні кришки та дверцята спрощує обслуговування та очищення обладнання.

Залежність між віджимом та продуктивністю сімейства жомопресів Mercier подано на рис. 2.3

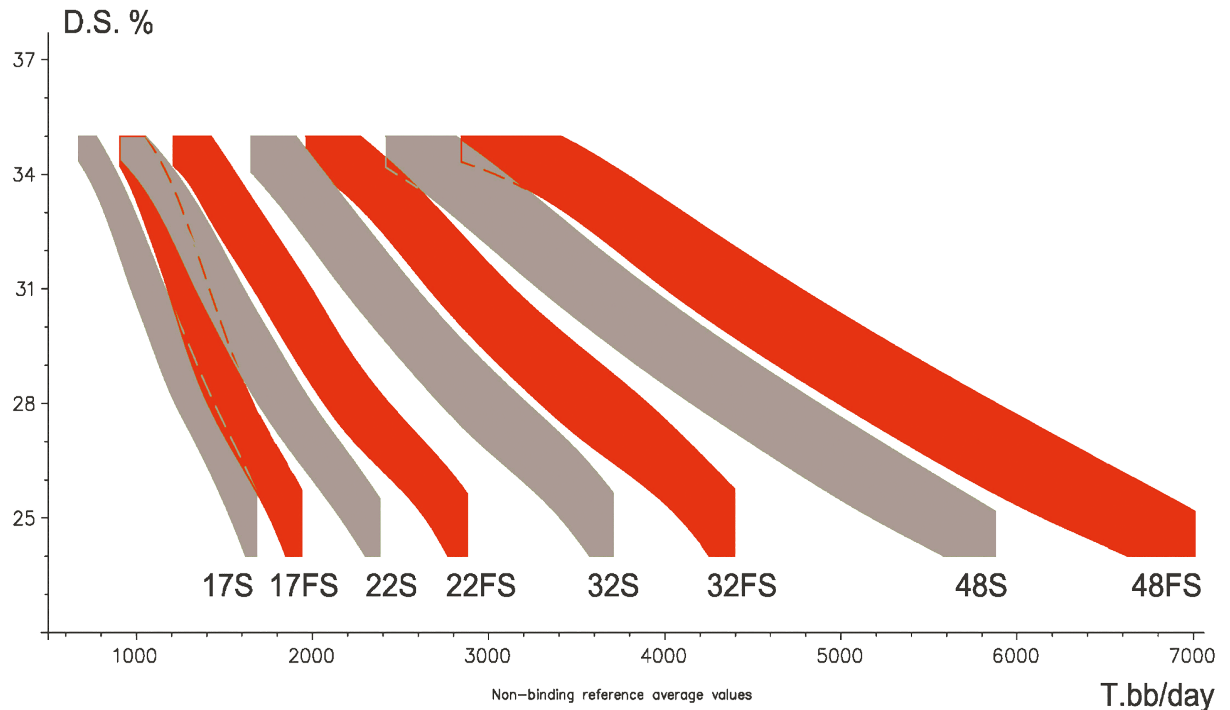


Рисунок 2.3 - Залежність між віджимом та продуктивністю сімейства жомопресів Mercier

У промислових шнекових пресах, таких як Mercier PB22FS, окрім основних елементів для пресування, значну роль відіграють допоміжні системи та пристрої, що забезпечують їхню надійну, ефективну та безпечну роботу. Ці системи включають механізми для підігріву мастила, змащення основних вузлів і охолодження двигуна головного приводу.

1. Підігрів масла: Система підігріву мастила є критично важливою, особливо при експлуатації преса в умовах низьких температур або при тривалих зупинках обладнання. Мастильні матеріали, особливо гідравлічні масла, які можуть використовуватися в системі регулювання тиску, або масла для редуктора головного приводу, за низьких температур стають в'язкішими. Це може призвести до:

- Збільшення навантаження на насоси: В'язке масло створює додатковий опір, що підвищує енергоспоживання насосів і може призвести до їхнього передчасного зносу.
- Уповільнення роботи гідравлічних систем: Зниження плинності масла сповільнює реакцію гідравлічних циліндрів, що впливає на точність регулювання тиску пресування.
- Недостатнього змащення: Занадто в'язке масло може не надходити в достатній кількості до всіх точок змащення, що призводить до сухого тертя, підвищеного зносу рухомих частин і, як наслідок, до аварійних ситуацій. Системи підігріву, зазвичай, використовують електричні нагрівальні елементи або теплообмінники, інтегровані в масляний контур, для підтримання оптимальної робочої температури мастила перед і під час запуску та роботи обладнання.

2. Змащення основних вузлів: Ефективна система змащення є запорукою довговічності та надійності шнекового преса. Основні вузли, що потребують інтенсивного змащення, включають:

- Підшипники шнека: Шнек піддається значним осьовим та радіальним навантаженням. Належне змащення підшипників запобігає їхньому перегріву, зменшує тертя та знос, що критично важливо для безперебійної роботи преса.
- Редуктор головного приводу: Редуктор передає крутний момент від електродвигуна до шнека, і його шестерні та підшипники працюють під високими навантаженнями. Оптимальне змащення запобігає задиранню поверхонь, знижує шум і вібрацію.
- Рухомі з'єднання та шарніри: Деякі елементи, такі як механізми регулювання тиску або шарніри, також потребують регулярного змащення для забезпечення їхнього плавного та точного функціонування. Системи змащення можуть бути централізованими, автоматично подаючи мастило до всіх точок змащення, або реалізованими через ручні точки змащення. Вибір типу мастила (масло

або консистентне мастило) та частоти змащення залежить від конструкції вузлів та рекомендацій виробника.

3. Охолодження двигуна головного приводу: Електродвигун, що приводить у рух шнек, є одним з найбільш навантажених компонентів преса. Під час роботи він генерує значну кількість тепла, яке необхідно ефективно відводити. Перегрів двигуна може призвести до:

- Зниження ефективності: Підвищена температура негативно впливає на характеристики електродвигуна, зменшуючи його ККД.
- Пошкодження ізоляції обмоток: Висока температура може зруйнувати ізоляцію обмоток, що призведе до короткого замикання та виходу двигуна з ладу.
- Скорочення терміну служби: Регулярний перегрів значно скорочує загальний термін служби двигуна. Системи охолодження двигуна зазвичай реалізуються за допомогою вбудованого вентилятора, який проганяє повітря через охолоджувальні ребра корпусу двигуна. У більш потужних або спеціалізованих застосуваннях можуть використовуватися рідинні системи охолодження з радіаторами або теплообмінниками для більш ефективного відведення тепла.

Таким чином, інтеграція систем підігріву мастила, змащення основних вузлів та охолодження головного приводу є невід'ємною частиною конструкції сучасних шнекових пресів. Вони забезпечують не тільки оптимальні робочі параметри, але й істотно підвищують надійність, довговічність, безпеку експлуатації та знижують експлуатаційні витрати обладнання.

Висновки

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

1. Розрахунок потужності двигуна головного приводу шнеків жомопреса.

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 жомпресом, що включатиме в себе керування швидкістю обертання ротора, а також керування допоміжними механізмами, що забезпечує якісне виконання технологічного процесу.
5. Математичне моделювання роботи електропривода в перехідних режимах роботи.

3 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ДВИГУНА ОСНОВНОГО ПРИВОДА ЖОМОПРЕСА MERCIER

3.1 Вимоги до вибору потужності електродвигуна

Раціональний вибір потужності електродвигуна є критично важливим для забезпечення ефективної та надійної роботи привідного механізму. Недостатня потужність електродвигуна може призвести до зниження продуктивності обладнання та передчасного виходу двигуна з експлуатації. Зокрема, експлуатація двигуна при перевантаженнях спричиняє його перегрів, що негативно впливає на термін служби ізоляції обмоток та в цілому скорочує ресурс машини.

У той же час, встановлення електродвигуна з надлишковим запасом потужності не є доцільним з економічної точки зору. Це може зумовити зниження енергетичної ефективності (через зменшення коефіцієнта корисної дії та потужності), а також посилений знос механічних вузлів, що збільшує ймовірність виникнення несправностей.

Вибір потужності електродвигуна здійснюється з урахуванням режиму навантаження, що визначається характером експлуатації механізму. Розрізняють три основні режими роботи:

- **Тривалий режим:** двигун функціонує достатньо довго, щоб його температура досягла сталого значення.
- **Короткочасний режим:** двигун працює протягом обмеженого часу, недостатнього для встановлення сталої температури, з подальшими перервами.
- **Повторно-короткочасний режим:** у межах кожного робочого циклу температура двигуна коливається, не досягаючи сталого рівня.

Потужність електродвигуна визначається відповідно до зазначених режимів. Для тривалого режиму експлуатації приймається номінальне значення потужності без обмеження часу роботи. У разі короткочасного або повторно-короткочасного режимів наводяться допустимі інтервали часу роботи з відповідними значеннями потужності. В усіх випадках необхідно

забезпечити, щоб розрахункове навантаження не перевищувало номінальні показники електродвигуна.

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

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

Вибір оптимальної потужності електродвигуна приводу жомопреса є багатофакторним завданням, що вимагає системного підходу та глибокого аналізу технологічних, конструктивних та експлуатаційних параметрів. Коректний розрахунок забезпечує не лише ефективність функціонування обладнання, але й його надійність та економічну доцільність.

Центральним критерієм для визначення потужності виступає максимальна технологічна продуктивність преса, що повинна відповідати загальній пропускній здатності переробної лінії цукрового виробництва. Це є основою для розрахунку обсягу матеріалу, який необхідно зневоднити за одиницю часу.

Другий суттєвий аспект — це фізико-механічні властивості жому, що підлягає пресуванню. Вологість, структурна організація, твердість та абразивність матеріалу безпосередньо впливають на величину питомої енергії пресування. Цей показник кількісно відображає енергетичні витрати, необхідні для видалення одиниці маси рідини або для компресії одиниці маси твердої фази. Збільшення початкової вологості або підвищення структурної жорсткості жому корелює зі зростанням питомої енергії, що зумовлює потребу у вищій потужності приводу.

Не менш важливим є цільовий ступінь зневоднення жому, що виражається кінцевим вмістом сухих речовин у віджатому кеку. Досягнення

мінімального рівня вологості вимагає більш інтенсивного та енергоємного процесу пресування, що відповідно збільшує вимоги до потужності електродвигуна.

Конструктивні особливості жомопреса також справляють значний вплив. До них належать геометричні параметри шнека (діаметр, конфігурація витків, кількість шнеків), архітектура перфорованої камери (розмір фільтруючих елементів, ефективна площа фільтрації) та тип системи регулювання тиску. Кожен з цих елементів визначає гідродинамічний та механічний опір, який повинен бути подоланий двигуном.

Механічний коефіцієнт корисної дії (ККД) преса є інтегральним показником, що відображає ефективність перетворення електричної енергії на корисну роботу пресування. Втрати енергії, пов'язані з тертям у підшипникових вузлах, редукційних передачах та внутрішнім переміщенням матеріалу, прямо впливають на необхідну номінальну потужність двигуна.

Крім того, необхідно передбачити безперервний режим функціонування преса, але врахувати потенційні пікові навантаження, що можуть виникати внаслідок нерівномірної подачі матеріалу або можливого забивання робочої камери. Для забезпечення стабільної та безаварійної роботи, закладається запас потужності двигуна, який зазвичай становить від 15% до 25% від розрахункової робочої потужності.

Нарешті, умови експлуатації (температура навколишнього середовища, рівень вібрацій, запиленість) також можуть опосередковано впливати на вибір типу та розміру двигуна, зокрема на його систему охолодження та ступінь захисту.

Таким чином, обґрунтований вибір потужності приводного двигуна жомопреса є результатом комплексного інженерного аналізу, що синтезує вимоги до продуктивності та ступеня зневоднення з властивостями сировини, конструктивними особливостями обладнання, його енергетичною ефективністю та необхідними резервами для забезпечення надійної експлуатації.

3.2 Розрахункова потужність двигуна основного приводу

Загальна потужність необхідна для приводу горизонтального жомопреса, може бути визначена як сума потужності на корисну роботу (формування тиску для віджимання рідини) та потужності на подолання всіх видів втрат на тертя:

$$P_{розр\Sigma} = P_1 + P_2 + P_3, \quad (3.1)$$

де P_1 – потужність, що витрачається безпосередньо на формування тиску в зоні пресування:

$$P_1 = pQ_V = p \frac{Q_m}{\rho}, \quad (3.2)$$

де p — тиск, створюваний у пресі, Па;

$Q_V = \frac{Q_m}{\rho}$, - об'ємна витрата жому, м³/с;

Q_m - масова продуктивність жомопреса, кг/с,

$$Q_m = 3000 \frac{m}{год} = 3000 \cdot \frac{10^3 \text{ кг}}{24 \cdot 3600 \text{ с}} = 34,722 \text{ кг / с}$$

ρ - густина жому, що транспортується (прийmemo $\rho = 900 \text{ кг / м}^3$).

Таким чином згідно формули 3.2 та технічних даних жомопреса Mercier табл. 2.2:

$$P_1 = 800000 \frac{34,7}{900} = 30860 \text{ Вт} = 30,86 \text{ кВт}.$$

P_2 – складова сумарної потужності, що витрачається на обертання шнека, яка характеризує витрату енергії на подолання сил тертя лопатей шнеку по жому у зоні високого тиску. З певною похибкою можна розглядати тертя тільки кінцевих (або випорних, як їх називають) лопатей, які нагнітають жом в той її умовно нерухомий масив, що розташований у пресовій голівці. Задача зводиться до відшукування моменту опору обертанню кільця, що притискається до масиву жому.

Визначення цього моменту можна здійснити з аналізу проведеного у відповідності до рис 3.1. Тиск p , що створює шнек на елементарне кільце товщиною $d\rho$, що знаходиться на відстані ρ від осі обертання.

Площа притискання цього кільця $dS = 2\pi\rho d\rho$.

Сила з якою це кільце буде притискатись до жомової суміші:

$$dF = p \cdot dS = 2\pi \cdot p \cdot \rho d\rho,$$

а сила тертя можна знайти з виразу:

$$dF_T = \mu \cdot dF = 2\pi \cdot \mu \cdot p \cdot \rho d\rho,$$

де μ - коефіцієнт тертя жомової маси об останній виток. Прийmemo $\mu = 0,5$.

У такому разі момент сили для подолання тертя жомової маси об елементарне кільце:

$$dM_T = \rho \cdot dF_T = 2\pi \cdot \mu \cdot p \cdot \rho^2 d\rho. \quad (3.3)$$

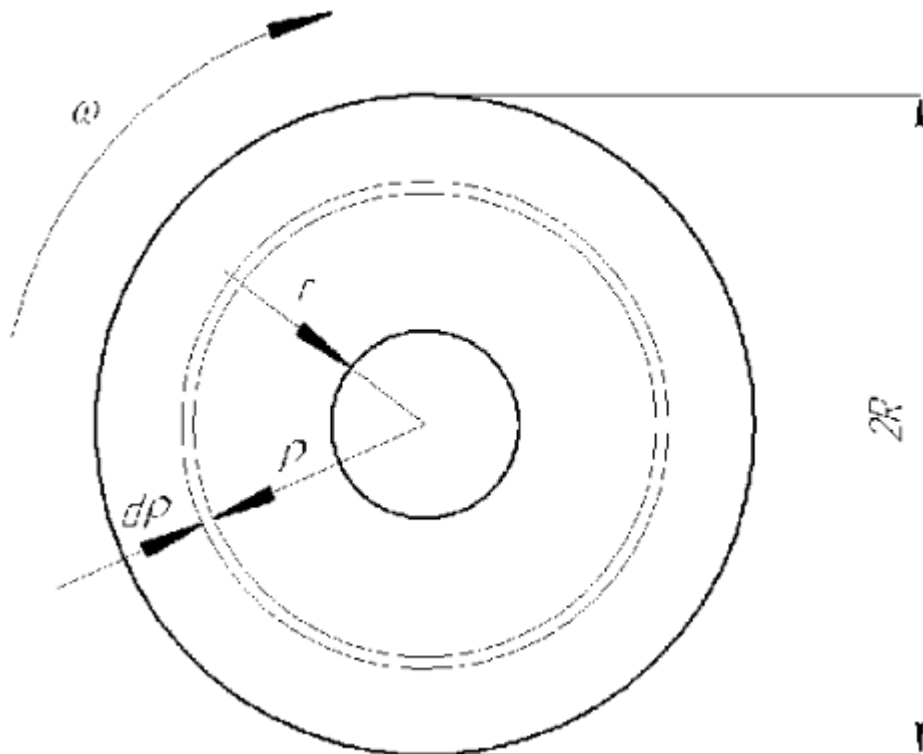


Рисунок 3.1 Схема до визначення моменту тертя жомової маси об останній виток

Для знаходження загального моменту тертя жомової суміші об останній виток необхідно проінтегрувати вираз (3.3) в межах від r до R :

$$M_T = \int_r^R 2\pi \cdot \mu \cdot p \cdot \rho^2 d\rho = 2\pi \cdot \mu \cdot p \frac{R^3 - r^3}{3}. \quad (3.4)$$

Відповідно складова потужності, яка потрібна для подолання тертя жомової маси об останній виток лопатей, з врахуванням того, що жомопрес Mercier TM – 3000 має два шнеки:

$$P_2 = 2M_T \cdot \omega_{\text{шн}}, \quad (3.5)$$

де $\omega_{\text{шн}}$ - кутова швидкість обертання шнеків, яку можна визначити за виразом:

$$\omega_{\text{шн}} = \frac{2\pi}{60} n_{\text{шн}}. \quad (3.6)$$

Тоді розрахунки проведені за формулами (3.4 – 3.6) із врахуванням конструктивних параметрів жомопреса Mercier TM – 3000, приведених у табл 2.2:

$$\omega_{\text{шн}} = \frac{2\pi}{60} n_{\text{шн}} = \frac{2\pi}{60} 3,3 \text{ об/хв} = 0,346 \text{ с}^{-1};$$

$$M_T = 2\pi \cdot 0,5 \cdot 800000 \frac{1,5^3 - 0,8^3}{3} \approx 239900 (\text{Н} \cdot \text{м});$$

$$P_2 = 2 \cdot 415600 \cdot 0,346 \approx 165800 (\text{Вт}) = 165,8 (\text{кВт}),$$

P_3 – потужність, що йде на транспортування жомової суміші до зони тиску, що включають також витрати енергії на попереднє ущільнення та тертя об стінки та попередні витки. Оцінка величини цієї потужності аналітичним способом є досить трудомісткою та багатофакторною задачею, тому зазвичай користуються імпіричним співвідношенням, виходячи з того, що її значення не перевищує 20% від суми двох перших складових. Тобто:

$$P_3 = 0,2 \cdot (P_1 + P_2), \quad (3.7)$$

$$P_3 = 0,2 \cdot (30,86 + 165,8) = 39,33 (\text{кВт}).$$

Тоді за виразом (3.1):

$$P_{розр\Sigma} = 30,86 + 165,8 + 39,33 = 235,96 \text{ кВт}$$

Жомопрес обладнано складною кінематичною передачею обертового моменту, що включає в собі ремінну та багатоступеневу редукторну передачі, то при виборі потужності необхідно врахувати коефіцієнт корисної дії кінематичної передачі $\eta_{пер}$. Прийmemo $\eta_{пер} = 0,9$.

Таким чином умовою вибору потужності двигуна буде вираз:

$$P_{ном} \geq \frac{k_{зап} P_{розр}}{\eta}, \quad (3.8)$$

Для вибору номінальної потужності двигуна за (3.8) прийmemo коефіцієнт запасу $k_{зап} = 1,2$. Тоді:

$$P_{ном} \geq \frac{1,2 \cdot 235,96}{0,9} = 314,62 \text{ (кВт)}$$

Таким чином приймаємо номінальну потужність двигуна основного привода жомопреса Mercier TM-3000 $P_{ном} = 315 \text{ кВт}$.

Для вибору номінальної частоти обертання двигуна скористаємось виразом:

$$n_{дв} = i_1 \cdot i_2 \cdot n_{шн}, \quad (3.9)$$

де i_1 та i_2 - коефіцієнти передачі ремінної передачі та редуктора відповідно, $n_{шн}$ - значення частоти обертання шнеків жомопреса, яке у відповідності до табл. 2.2 може змінюватись у ході роботи від 2,05 до 3,3 об/хв.

Тоді:

$$n_{дв\max} = 3 \cdot 150 \cdot 3,3 = 1485 \text{ об/хв},$$

$$n_{дв\min} = 3 \cdot 150 \cdot 2,05 = 922 \text{ об/хв}.$$

Отже, номінальна (або синхронна у випадку асинхронного електпривода) частота обертання двигуна основного привода жомопреса повинна 1500 об / хв.

Висновки

Електропривод жомопреса працює в безперервному режимі. При виконанні технологічного процесу частота обертання шнеків повинна змінюватись у заданих технологічними працівниками межах від 2,05 до 3,3 рад/с, що відповідає 922 – 1485 об/хв двигуна.

При цьому важливим є визначення закону регулювання частоти обертання двигунів за певними визначеними параметрам для якісного виконання технологічного процесу. Одним з таких параметрів може бути рівень жому в шахті завантаження, оскільки за умови неповного завантаження шнеків жомопреса якісного віджиму виконати не можливо. Тому електропривод основного приводу жомопреса мусить мати змогу плавного регулювання швидкості обертання за визначеними законами, що мають бути розроблені у наступних розділах

За цією діаграмою було прийнято номінальну потужність двигуна основного привода жомопреса Mercier TM-3000 $P_{ном} = 315 кВт$ та частотою обертання до 1500 об/хв.

4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода є комплексним процесом, спрямованим на визначення найбільш доцільного варіанта електромеханічного привода з урахуванням технічних характеристик, економічних показників та умов експлуатації. Цей процес передбачає аналіз низки ключових факторів, які охоплюють технічні, економічні та додаткові (супровідні) критерії.

До **технічних аспектів** належать параметри потужності та характер навантаження, зокрема визначення необхідної номінальної потужності та крутного моменту, аналіз динамічних і статичних режимів навантаження, а також оцінка режимів роботи електропривода (тривалий, повторно-короткочасний, короткочасний тощо).

Енергоефективність визначається аналізом коефіцієнта корисної дії (ККД) електропривода, а також оцінкою ефективності роботи в умовах реального навантаження, що дозволяє прогнозувати рівень енергоспоживання.

Надійність і довговічність оцінюються на основі середнього напрацювання на відмову, міжремонтного ресурсу та прогнозованого строку служби без капітального ремонту. Це дозволяє оцінити стабільність функціонування системи у тривалий період експлуатації.

Сумісність і можливість інтеграції передбачають відповідність вибраного електропривода до існуючих систем управління та технологічного обладнання, а також здатність до адаптації відповідно до специфіки виробничого процесу.

Умови експлуатації включають вплив кліматичних і механічних чинників, таких як температура, вологість, запиленість, вібрації тощо. У зв'язку з цим визначаються вимоги до ступеня захисту електропривода (ІР-рейтинг), а також конструктивні особливості виконання.

Економічні критерії охоплюють початкові витрати, що включають вартість придбання електропривода, монтаж, пуско-налагоджувальні роботи та введення в експлуатацію. Також розглядаються експлуатаційні витрати, пов'язані із споживанням електроенергії, технічним обслуговуванням, ремонтами та втратами від простоїв.

До важливих економічних показників належить строк окупності інвестицій, який визначається на основі співвідношення між початковими витратами та економічним ефектом, отриманим у результаті підвищення ефективності та зменшення енергоспоживання.

Також враховується потенціал енергозбереження, який може бути реалізований шляхом застосування сучасних високоефективних електроприводів із частотним регулюванням.

Серед **додаткових аспектів** важливими є відповідність екологічним стандартам і нормативам, включаючи рівень шуму, вібрацій та теплових викидів. Крім того, доцільно оцінити умови гарантійного обслуговування, доступність сервісної підтримки, оперативність постачання запасних частин і технічної документації.

Значну роль відіграє також репутація виробника і постачальника, що включає аналіз досвіду впровадження аналогічних рішень, наявність позитивних відгуків користувачів, а також стабільність компанії на ринку.

Таким чином, техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода дозволяє забезпечити обґрунтований вибір технічного рішення, яке поєднує високу ефективність, економічну доцільність і відповідність умовам експлуатації конкретного технологічного процесу.

4.1 Технічне обґрунтування вибору системи електропривода

Основними вимогами до головного електроприводу жомопрса є такі: забезпечення стабільного обертання шнеків зі значним статичним навантаженням на всьому необхідному діапазоні регулювання швидкості обертання.

Електропривод повинен забезпечувати плавне регулювання швидкості зі зворотними зв'язками як мінімум за двома величинами: швидкість обертання та наповненість шахти завантаження. При збільшенні рівня жомової суміші в шахті завантаження шнеки повинні обертатися швидше аби унеможливити завалювання тракту подачі жому та забезпечувати паспортну продуктивність. З іншої сторони при зменшенні рівня жому в шахті шнеки будуть недовантажені й не зможуть забезпечити необхідного віджиму.

Разом з тим статичний момент на валу двигуна може змінюватись в досить широких межах за рахунок зміни властивостей сировини та її розподілу на витках, що може зумовлювати просідання швидкості обертання внаслідок збільшення навантаження. Електропривод повинен відпрацювати такі коливання статичного моменту й забезпечити швидкість обертання двигуна стабільною на визначеному системою керування за рівнем жому у шахті завантаження рівні.

У якості електропривода шнекових жомопресів зустрічається використання наступні системи електроприводів:

- 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 шнекового жомопреса окремо.

Тиристорний регулятор напруги в поєднанні з асинхронним двигуном (ТРН-АД) належить до найпростіших схем регульованого електроприводу. Його функціонування базується на зміні амплітуди напруги, що подається на статор обмотки асинхронного двигуна, за допомогою керованого тиристорного пристрою. Така система є привабливою з точки зору вартості та простоти обслуговування. Однак регулювання швидкості в ній відбувається за рахунок зміни напруги без зміни частоти, що призводить до зниження обертового моменту двигуна при зменшенні швидкості. Як наслідок, система

характеризується низькою динамічною стабільністю, значними втратами та обмеженими можливостями підтримання необхідного моменту при змінних навантаженнях. Ці фактори істотно обмежують її застосування у складних технологічних процесах, таких як пресування жому, де важлива сталість технологічного режиму.

Система на основі тиристорного перетворювача, що живить двигун постійного струму (ТП-ДПС), є класичним прикладом високоточного регульованого електропривода. Керований випрямляч дозволяє реалізувати плавне та точне регулювання швидкості обертання і моменту на валу двигуна в широкому діапазоні. Такий привод демонструє високу чутливість до змін навантаження, що є критично важливим для стабільної роботи жомопреса. Завдяки здатності до швидкого реагування на зміну опору шнека (викликану, наприклад, нерівномірною подачею сировини), система забезпечує стабільне пресування та рівномірний вихід жому. Проте, варто зазначити, що використання двигунів постійного струму пов'язане з дещо більшими витратами на обслуговування, необхідністю регулярної перевірки та налагодженню щітково-колекторного вузла двигуна, а також зменшеному терміну служби таких систем у порівнянні з іншими, що розглядаються. Особливо це стосується роботи в складних умовах експлуатації у вологому чи запиленому середовищі, яким є жомопресове відділення цукрового заводу.

Найсучаснішою і найефективнішою системою вважається перетворювач частоти у поєднанні з асинхронним двигуном (ПЧ-АД). У цій конфігурації частотний перетворювач забезпечує змінну частоту та напругу, які подаються на двигун, що дозволяє реалізувати гнучке та енергозберігаюче регулювання швидкості обертання у широкому діапазоні. Перевагами даної системи є висока енергоефективність, низькі експлуатаційні витрати, висока надійність і тривалий термін служби. Крім того, вона не потребує обслуговування щітково-колекторного вузла, що характерно для двигунів постійного струму. У випадку з жомопрессами, такий привод дозволяє забезпечити як плавний пуск та зупинку, так і точне регулювання обертового моменту відповідно до зміни

опору в зоні пресування. Використання сучасних систем керування дозволяє реалізувати адаптивні алгоритми регулювання, що додатково підвищує ефективність роботи обладнання.

Таким чином, вибір електропривода для шнекового жомопреса має базуватися на аналізі технологічних вимог до стабільності процесу пресування, надійності, точності регулювання та експлуатаційних умов. Сучасна практика показує, що найбільш перспективним рішенням є застосування частотного привода з асинхронним двигуном, хоча використання системи ТП-ДПС також можлива, хоча й поступається їй надійністю. Тому для вибору системи актуальним є оцінка економічних характеристик привода.

4.2 Економічне обґрунтування вибору системи електроприводу

Для порівняння техніко-економічних показників системи електроприводу жомопреса розглядатимемо описані 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 ($E_p = 0,02-0,05$)

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.

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

де T_p – річний час роботи механізму.

Час роботи механізму за рік:

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

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

z – кількість змін ($z = 2$);

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

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

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

Втрати потужності:

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

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

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

Термін окупності:

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

Здійснимо розрахунок техніко-економічних показників електропривода жомопреса для системи ПЧ-АД. Вартість асинхронного двигуна складає 412 тис. грн, перетворювач частоти – 1050 тис. грн, а системи керування – 500 тис. грн.

Тоді капітальні витрати:

$$K = 412 + 1050 + 500 = 1962 \text{ тис.грн.}$$

Річні капітальні витрати:

$$K_{\text{річні}} = 0,17 \cdot 1962 = 333,54 \text{ тис. грн.}$$

Витрати на амортизацію:

$$C_a = 0,05 \cdot 1962 = 98,1 \text{ тис. грн.}$$

Витрати на ремонт:

$$C_p = 0,02 \cdot 1962 = 39,24 \text{ тис. грн.}$$

Витрати на електроенергію:

$$\Delta P = 0,6 \cdot 315 \frac{1 - 0,925}{0,925} = 15,324 \text{ кВт};$$

$$\Delta W = 15,324 \cdot 2400 = 36780 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

$$C_{\Delta W} = 0,008 \cdot 36780 = 294,227 \text{ тис. грн.}$$

Витрати на технічне обслуговування:

$$C_o = 0,05 \cdot (98,1 + 39,24 + 294,227) = 21,578 \text{ тис. грн.}$$

Загальні витрати:

$$C = 98,1 + 39,24 + 294,227 + 21,578 = 453,145 \text{ тис. грн.}$$

Таким чином приведені затрати складуть:

$$З = 333,54 + 453,145 = 786,685 \text{ тис. грн.}$$

Аналогічним чином здійснимо розрахунок техніко-економічних показників для системи ТП-ДПС. Вартість двигуна постійного струму складає

494 тис. грн, тиристорний перетворювач – 525 тис. грн, а системи керування – 500 тис. грн. Для системи ТП-ДПС прийmemo $E_a = 0,1$; $E_p = 0,05$, оскільки загальна надійність такої системи дещо нижче від ПЧ-АД; ККД = 92 %

Тоді капітальні витрати:

$$K = 494 + 525 + 500 = 1519 \text{ тис.грн.}$$

Річні капітальні витрати:

$$K_{річні} = 0,17 \cdot 1519 = 258,23 \text{ тис.грн.}$$

Витрати на амортизацію:

$$C_a = 0,1 \cdot 1519 = 151,9 \text{ тис. грн.}$$

Витрати на ремонт:

$$C_p = 0,05 \cdot 1519 = 75,95 \text{ тис. грн.}$$

Витрати на електроенергію:

$$\Delta P = 0,6 \cdot 315 \frac{1 - 0,92}{0,92} = 16,435 \text{ кВт};$$

$$\Delta W = 16,435 \cdot 2400 = 39440 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$C_{\Delta W} = 0,008 \cdot 39440 = 315,548 \text{ тис. грн.}$$

Витрати на технічне обслуговування:

$$C_o = 0,05 \cdot (151,9 + 75,95 + 315,548) = 27,17 \text{ тис. грн.}$$

Загальні витрати:

$$C = 151,9 + 75,95 + 315,548 + 27,17 = 570,568 \text{ тис. грн}$$

Таким чином приведені затрати складуть:

$$З = 258,23 + 570,568 = 828,798 \text{ тис. грн}$$

Аналогічно для системи ТРН-АД. Вартість асинхронного двигуна складає 412 тис. грн, тиристорного регулятора напруги – 400 тис. грн, а системи керування – 500 тис. грн. Для системи ТП-ДПС прийmemo $E_a = 0,05$;

$E_p = 0,03$, оскільки загальна надійність такої системи дещо нижче від ПЧ-АД;
 $ККД = 92 \%$

Тоді капітальні витрати:

$$K = 412 + 400 + 500 = 1312 \text{ тис. грн.}$$

Річні капітальні витрати:

$$K_{річні} = 0,17 \cdot 1312 = 223,04 \text{ тис. грн.}$$

Витрати на амортизацію:

$$C_a = 0,05 \cdot 1312 = 65,16 \text{ тис. грн.}$$

Витрати на ремонт:

$$C_p = 0,03 \cdot 1312 = 39,36 \text{ тис. грн.}$$

Додаткові витрати на електроенергію:

$$\Delta P = 0,6 \cdot 315 \frac{1 - 0,92}{0,92} = 16,435 \text{ кВт};$$

$$\Delta W = 16,435 \cdot 2400 = 39440 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$C_{\Delta W} = 0,008 \cdot 39440 = 315,548 \text{ тис. грн.}$$

Витрати на технічне обслуговування:

$$C_o = 0,05 \cdot (65,6 + 39,36 + 315,548) = 21,025 \text{ тис. грн.}$$

Загальні витрати:

$$C = 65,6 + 39,36 + 315,548 + 21,025 = 441,533 \text{ тис. грн}$$

Таким чином приведені затрати складуть:

$$З = 223,04 + 441,533 = 664,573 \text{ тис. грн}$$

Результати розрахунків зведемо до табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Порівняльна таблиця економічних показників

Показник	Системи електропривода		
	ПЧ-АД	ТП-ДПС	ТРН-АД
Потужність двигунів, кВт	315	315	315
Вартість двигунів Д, тис. грн.	412	494	412
Вартість системи керування СК з перетворювальним пристроєм, тис. грн.	1962	1025	900
Капітальні затрати К, тис. грн.	1581	1519	1312
Річні капітальні затрати $K_{річні}$, тис. грн.	333,54	258,23	223,04
Амортизаційні відрахування C_A , тис. грн./рік	98,1	151,9	39,36
Відрахування на ремонт C_P , тис. грн./рік	39,24	75,95	25,8
Додаткові відрахування C_{AW} , тис. грн./рік	294,227	315,548	315,548
Відрахування обслуговування C_O , тис. грн./рік	21,578	27,17	21,025
Загальні відрахування С, тис. грн./рік	453,145	570,568	441,533
Приведені затрати З, тис. грн./рік	786,685	828,798	664,573

Висновки

Аналізуючи показники таблиці 4.1, можна зробити висновок, що найбільш вигідними з економічної точки зору є система ТРН-АД, оскільки вона має найменше значення приведених витрат. Однак як було описано вище технічні параметри даної системи значно поступаються двом іншим і тому така система не може бути використана у якості електроприводу шнекового жомопреса.

Обираючи між системами ПЧ-АД та ТП-ДПС, що мають подібні технічні характеристики, доцільнішим вибором буде перший варіант за критерієм найменших приведених затрат (див. табл. 4.1). Крім цього важке середовище роботи електропривода жомопреса лише підтверджує такий вибір.

Отже, проведений техніко-економічний аналіз показав, що найбільш доцільним використовувати у якості електропривода жомпреса Mercier TM-3000 систему ПЧ-АД. Використання частотно-регульованого електроприводу забезпечить:

- побудову системи керування електропривода шнекового жомпреса зі зворотними зв'язками за рівнем жомової суміші у шахті завантаження та швидкістю обертання шнеків;
- надійне та точне керування швидкістю обертання в умовах змінного моменту опору на двигуні привода;
- досягнення задовільних динамічних характеристик привода із забезпеченням жорсткості механічних характеристик привода;
- високу енергоефективність електропривода, що є надзвичайно важливим з огляду на значну потужність та можливість розвантаження генераторів ТЕЦ цукрового заводу.

5 ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА ТА ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СИЛОВИХ КІЛ.

5.1 Вибір та перевірка електродвигуна головного електропривода жомопреса Mercier

Враховуючи розрахункову потужність електродвигуна головного електропривода жомопреса Mercier ТМ-3000 та техніко-економічне обґрунтування вибору системи привода обираємо асинхронний двигун типу МЗВР 355SMB 4 потужністю 315 кВт та синхронною частотою 1500 об/хв.

Такий двигун призначений для роботи в системі частотно-регульованого електричного приводу, забезпечує контроль температури обмоток, може бути обладнаний додатковим двигуном охолодження, а також має добру повторюваність параметрів, що дозволяє організовувати системи векторного керування для забезпечення покращення динамічних характеристик електропривода.

Характеристики двигуна типу МЗВР 355SMB 4 приведені в таблиці 5.1.

Для перевірки двигуна за моментом побудуємо навантажувальну діаграму роботи електропривода для певного можливого випадку утворюючи наступні ділянки:

1. шнеки обертаються з постійною частотою обертання $n_{\text{шн min}} = 2,05 \text{ об/хв}$ протягом деякого часу;
2. розгін шнеків протягом часового інтервалу $t_{\text{розг}}$ до частоти обертання $n_{\text{шн max}} = 3,3 \text{ об/хв}$;
3. робота з постійною частотою обертання $n_{\text{шн max}} = 3,3 \text{ об/хв}$;
4. гальмування шнеків протягом часового інтервалу $t_{\text{гальм}}$ до частоти обертання $n_{\text{шн min}} = 2,05 \text{ об/хв}$.

Таблиця 5.1 – Паспортні характеристики двигуна типу МЗВР 355SMB 4

Параметр, одиниця вимірювання	Позначення	Значення
Потужність, кВт	$P_{\text{ном}}$	315
Частота обертання, об/хв	$n_{\text{ном}}$	1488
Напруга статора при з'єднанні зіркою, В	$U_{1\text{н}}$	400..415
Струм статора, А	$I_{1\text{ном}}$	550А
Коефіцієнт потужності	$\cos\varphi$	0,85
ККД	η	0,96
Частота мережі живлення, Гц	f	50
Кількість фаз	m	3
Ступінь захисту		IP55
Кратність пускового моменту	$\lambda_{\text{п}}$	2,1
Кратність пускового струму		6,9
Кратність максимального моменту	λ_{max}	2,2
Кількість пар полюсів	$2p$	2
Момент інерції, кг·м ²	J_p	8
Маса, кг	m	1780

Перш за все необхідно розрахувати кутову швидкість обертання двигуна, що відповідатиме вказаним частотам обертання шнеків, враховуючи передаточне число ремінно-редукторної системи $i_{\text{заг}} = 450$:

$$\omega_{\text{об min}} = i_{\text{заг}} n_{\text{шн min}} \cdot \frac{2\pi}{60} = 450 \cdot 2,05 \frac{2\pi}{60} = 96,604 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{\text{об max}} = i_{\text{заг}} \cdot n_{\text{шн max}} \cdot \frac{2\pi}{60} = 450 \cdot 3,3 \frac{2\pi}{60} = 155,509 \text{ рад/с}.$$

Для визначення статичного моменту на валу двигуна на i -й ділянці описаної вище тахограми необхідно привести статичний момент механізму до

швидкості обертання двигуна, оскільки електропривод обертає шнеки через складну ремінно-редукторну передачу редуктора з загальним передаточним числом $i_{заг} = 450$. Максимальне значення статичного моменту можна обрахувати:

$$M_{C_{\max}} = \frac{P_{розр\Sigma}}{\omega_{\partial\theta_{\max}}} \quad (5.1)$$

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

Розрахований за формулою (5.1) статичний момент на валу двигуна буде відповідати ділянці 3 описаної вище тахограми. Для знаходження статичного моменту на інших ділянках необхідно здійснити деякий аналіз виразів за якими обчислювалась розрахункова потужність, що складалась із трьох складових P_1 , P_2 та P_3 . Усі ці потужності співвідносяться зі швидкістю обертання квадратичною залежністю, оскільки у виразі для знаходження P_1 (3.2) дві величини (тиск та продуктивність) та у виразах для знаходження P_2 (3.4-3.5) дві величини (тиск та кутова швидкість) є залежними від частоти обертання шнеків. Те саме стосується складової потужності P_3 , оскільки вона розраховувалась як частка від двох перших (3.7).

Отже, потужність, яка йде на додання статичних навантажень є функцією квадрату швидкості обертання двигуна, тому статичний момент з огляду на (5.1) у деякому наближенні можна вважати лінійно залежним від швидкості обертання в її робочому діапазоні зміни. У такому разі статичний момент на i -й ділянці тахограми можна обрахувати за виразом:

$$M_{C_i} = \frac{\omega_{\partial\theta_i}}{\omega_{\partial\theta_{\max}}} M_{C_{\max}} \quad (5.2)$$

Динамічний момент йде на додання інерції обертових частин системи головного електропривода жомопреса та знаходиться за виразом:

$$M_{Дi} = J \frac{\omega_{\kappa i} - \omega_{\text{поч } i}}{t_i} \quad (5.3)$$

де J - приведений до швидкості обертання двигуна момент інерції оберткової частини головного електропривода жомопреса, який складається з моменту інерції ротора двигуна та сукупного приведенного моменту інерції оберткової частини механізмів ($J = 8 + 73 = 81 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$);

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

t_i - тривалість і-ї ділянки.

Здійснимо обрахунок моментів:

$$M_{C_{\text{max}}} = \frac{235960}{155,509} = 1517 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Статичний момент на першій та третій ділянках:

$$M_{C1} = \frac{96,604}{155,509} 1517 = 943 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{C3} = \frac{155,509}{155,509} 1517 \text{ Н} \cdot \text{м} = 1517 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Динамічні моменти $M_{Д1} = M_{Д2} = 0 \text{ Н} \cdot \text{м}$, оскільки швидкість обертання двигуна на цій ділянці залишається незмінною;

На ділянці розгону (ділянка 2) статичний момент змінюється відповідно до (5.2) за лінійним законом від значення $M_{C1} = 943 \text{ Н} \cdot \text{м}$ до $M_{C3} = 1517 \text{ Н} \cdot \text{м}$, а динамічний момент, прийнявши час розгону рівний 10 с:

$$M_{Д2} = 81 \frac{155,509 - 96,604}{10} = 477 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Аналогічно на ділянці гальмування статичний момент лінійно спадатиме, а динамічний:

$$M_{д4} = 81 \frac{96,604 - 155,509}{10} = -477 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Сумарний момент знаходимо як суму двох складових на кожній ділянці.

Результати обрахунків для усіх ділянок тахограми зведено до табл. 5.2

Таблиця 5.2 Статичні та динамічні моменти на валу двигуна привода жомопреса

№	$\tau_i, \text{с}$	$\omega_{\text{поч}}, \text{рад/с}$	$\omega_{\text{к}}, \text{рад/с}$	$M_{\text{ci}}, \text{Нм}$	$M_{\text{Di}}, \text{Нм}$	$M_{\Sigma i}, \text{Нм}$
1	-	96,604	96,604	943	0	943
2	10	96,604	155,509	943..1517	477	1420..1994
3	-	155,509	155,509	1517	0	1517
4	10	155,509	96,604	1517..943	-477	1040..466

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

І хоча при побудові навантажувальної діаграми було прийнято ряд припущень, однак вона дає змогу оцінити найбільший момент опору на валу двигуна привода, що пов'язаний з динамічними режимами розгону та гальмування. Найбільше значення сумарного моменту на валу має у точці завершення розгону:

$$M_{\text{мех max}} = 1994 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

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

$$M_{ном} = 9550 \cdot \frac{P_{ном}}{n_{ном}} = 9550 \frac{315}{1485} = 2026 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (5.4)$$

Максимальне значення крутного моменту обраного двигуна:

$$M_{кр} = \lambda_{max} M_{ном} = 2.1 \cdot 2026 = 4254 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (5.5)$$

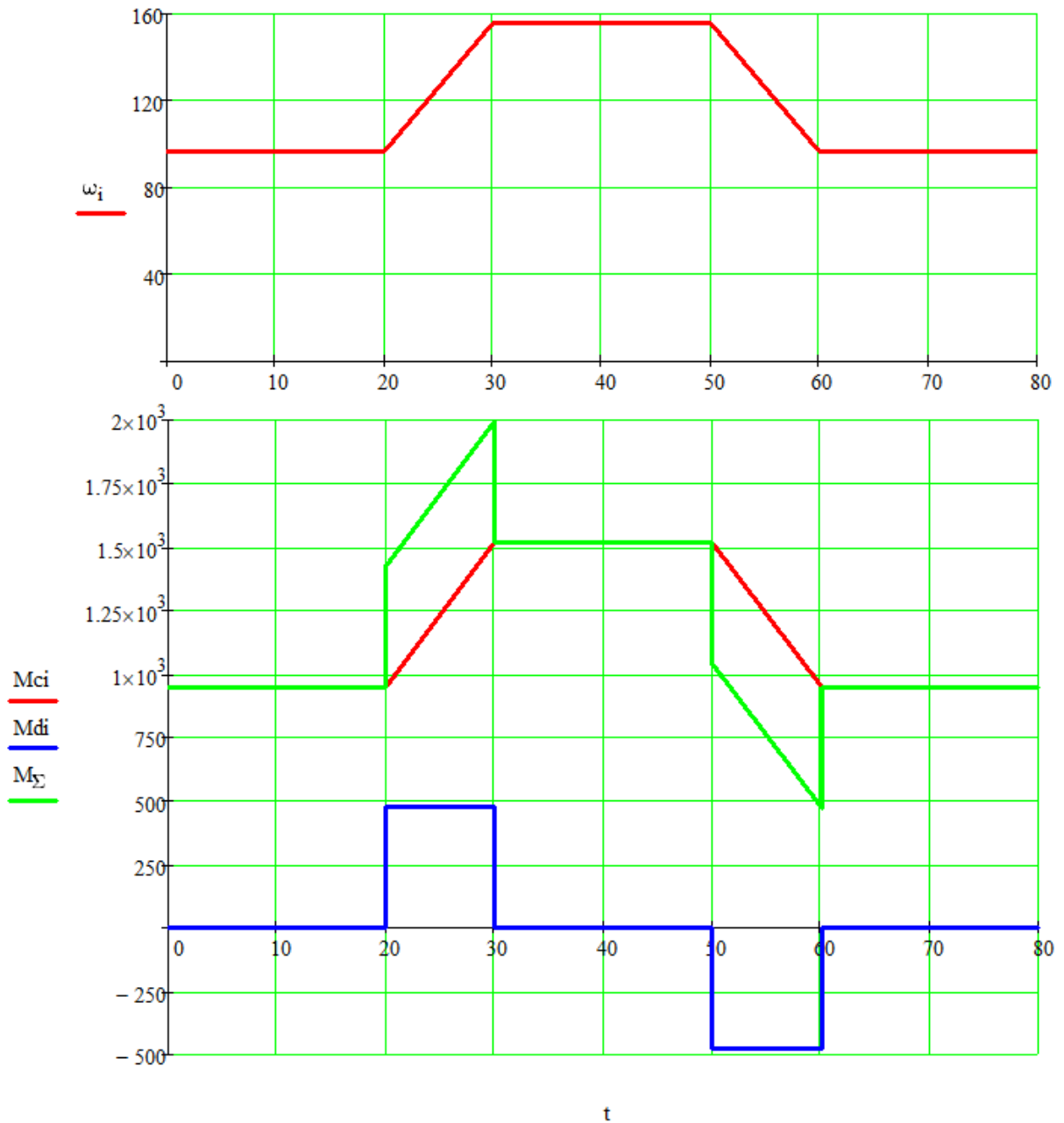


Рисунок 5.1 Навантажувальна діаграма електропривода жомопреса

Для перевірки перевантажувальної здатності електропривода повинна виконуватись умова:

$$0,9 \cdot M_{KP} > M_{\text{max}} \cdot \quad (5.6)$$

$$0,9 \cdot 4254 > 1994. \quad (5.6)$$

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 електропривода типу ПЧ–АД регулювання швидкості обертання асинхронного двигуна здійснюється за допомогою перетворювача частоти. Цей пристрій забезпечує перетворення напруги змінного струму промислової частоти у змінну напругу з регульованими параметрами — амплітудою та частотою. Сучасні перетворювачі частоти здатні генерувати вихідну напругу з частотою, яка може бути як нижчою, так і вищою за номінальне значення частоти мережі живлення, що дозволяє ефективно керувати швидкістю електродвигуна в широкому діапазоні.

Конструктивно перетворювач частоти складається з двох основних функціональних блоків — силової та керуючої частин. Силова частина виконується, як правило, на основі силових напівпровідникових елементів, зокрема тиристорів або IGBT-транзисторів, які працюють у ключовому режимі. Керуюча частина побудована на цифрових мікропроцесорних або мікроконтролерних платформах і виконує функції управління комутацією силових елементів, а також реалізує алгоритми контролю, діагностики, самотестування та захисту електропривода від аварійних режимів роботи.

На виході перетворювача формується модульована напруга змінного струму за допомогою методу широтно-імпульсної модуляції (ШІМ). У результаті формується напруга, ефективне значення та частота якої є регульованими, що дає змогу точно впливати на частоту обертання та момент двигуна. Залежність між напругою та частотою на виході перетворювача може бути різною, проте в разі, коли між цими параметрами встановлюється

жорсткий математичний зв'язок, така система керування класифікується як скалярна. Скалярне керування, у свою чергу, може реалізовуватись відповідно до одного з двох основних законів: лінійного (із збереженням постійного співвідношення між напругою та частотою) або квадратичного (де напруга змінюється пропорційно до квадрата частоти). Такий підхід дозволяє підтримувати необхідні електромагнітні умови в обмотках двигуна в усьому діапазоні регулювання.

Більш досконалими є алгоритми векторного керування, що дозволяють забезпечити точність регулювання та нівелюють вплив різних сторонніх факторів (коливання напруги живлення, зміну навантаження тощо). Завданням системи керування є забезпечення такої швидкості обертання, яка б забезпечувала якісне та надійне виконання технологічного процесу та повинна володіти певною кількістю зворотних зв'язків, зокрема за швидкістю обертання шнеків та рівнем наповнення жому в шахті подачі жому.

Для нашої схеми з врахуванням номінальної потужності та марки обраного двигуна, режимів його роботи був обраний перетворювач частоти марки ABB серії ACS580. На рисунку 3.2 подано зовнішній вигляд ПЧ ACS580-07-0650A-4, який має шафне виконання та може мати захист IP42/54 що надзвичайно важливо в складних умовах використання, а у таблиці 3.3 наведено його характеристики.



Рисунок 5.2 Зовнішній вигляд ПЧ ACS580-07-0650A-4

Таблиця 5.3 Основні технічні характеристики ПЧ ACS580-07-0650A-4

Номинальна напруга мережі, В	380...440
Потужність двигуна, кВт	355,0 - норм. режим роботи 315,0 - важкий режим роботи
Ступінь захисту за IP	IP42
Номинальна частота комутації	2.5 kHz
Лінійний струм	650,0 А (ном. значення – робота без перевантаження) 730,0 А (максимальне значення протягом 2 с) 634,0 А (норм. режим роботи – допустиме перевантаженням 10%) 375,0 А (допустиме перевантаженням 50%)
Кількість дискретних входів	6
Кількість релейних виходів	3
Кількість аналогових входів	2
Кількість аналогових виходів	2
Фізичний інтерфейс	Ethernet 2-провідний RS 485

Обраний ПЧ дозволяє керувати швидкістю обертання двигуном потужністю 315 кВт у важких режимах, що відповідає розрахунковим режимам роботи головного електроприводу Mercier TM-3000.

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

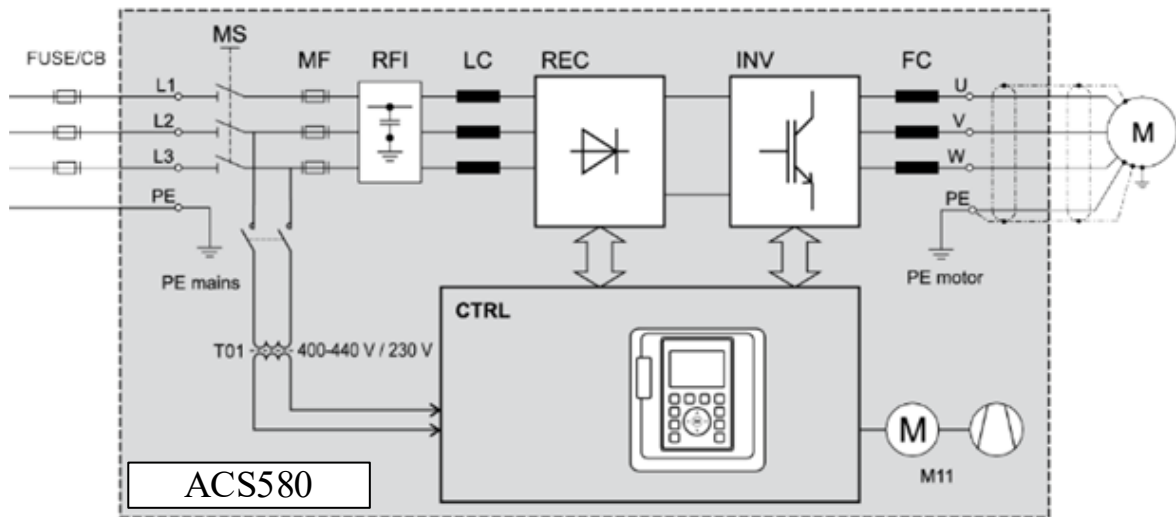


Рисунок 5.3 Структурна схема ПЧ ACS580-07-0650A-4

Перетворювач частоти (ПЧ) включає в свою структуру низку функціональних елементів, кожен з яких виконує специфічні завдання, забезпечуючи ефективну та надійну роботу електропривода.

До його складу входить вхідний контактор (MS), який забезпечує комутацію пристрою з мережею живлення. Для захисту від струмів короткого замикання передбачено використання плавких запобіжників (MF), які запобігають пошкодженню елементів схеми у разі аварійних режимів.

Для забезпечення електромагнітної сумісності з мережею живлення вхідна частина ПЧ обладнана фільтрами RFI та LC, які пригнічують високочастотні завади та знижують рівень електромагнітних випромінювань.

Випрямлячем (REC) перетворює змінну напругу трифазної мережі у постійну. Отримана постійна напруга подається на інверторний модуль (INV), побудований на основі IGBT-транзисторів. Цей модуль формує змінну напругу заданої частоти та амплітуди методом широтно-імпульсної модуляції (ШІМ), забезпечуючи, таким чином, необхідні параметри живлення електродвигуна.

Для поліпшення якості вихідного сигналу передбачено використання вихідного фільтра (FC), що згладжує високочастотні пульсації та зменшує електромагнітні завади, які можуть впливати на двигун або інше обладнання.

Керування всіма функціональними вузлами здійснюється системою керування (CTRL), яка управляє комутацією силових ключів випрямляча та інвертора згідно із заданими алгоритмами. У своїй роботі система керування використовує інформацію від вбудованих датчиків струму та напруги на вході й виході пристрою, а також, за потреби, від зовнішніх сенсорів, таких як датчики положення ротора, температури, швидкості обертання тощо.

Підключення пристрою до мережі здійснюється через входні клема L1, L2, L3, до яких підводиться трифазна напруга через плавкі запобіжники. Вихідна частина перетворювача з'єднується з електродвигуном через клема U, V, W, забезпечуючи подачу сформованої напруги змінного струму з регульованими параметрами.

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

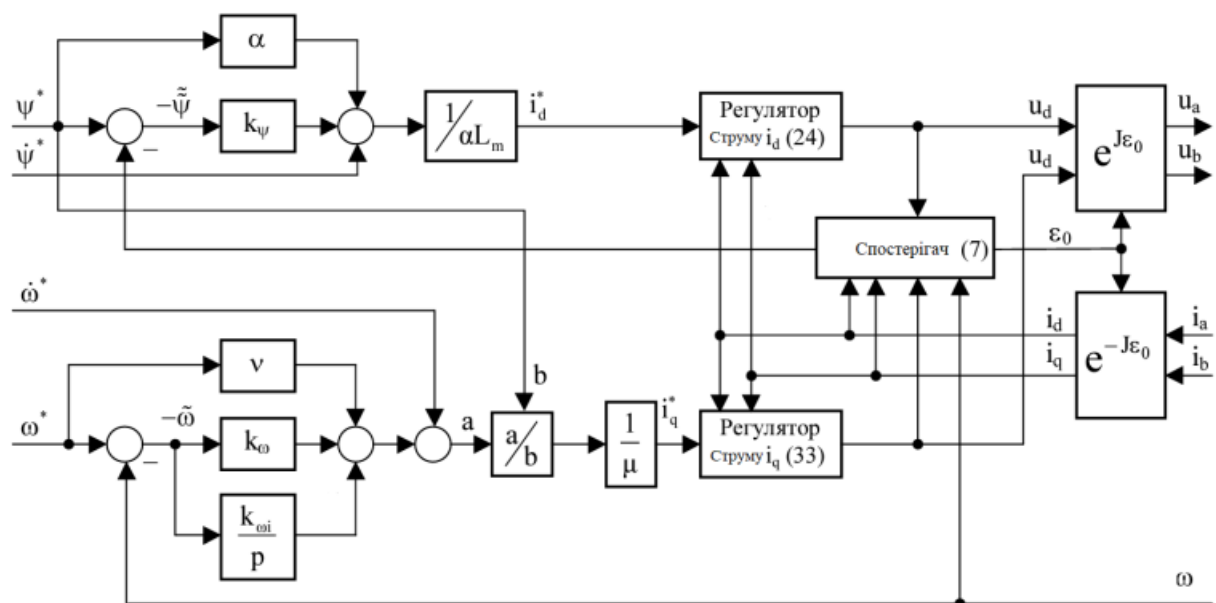


Рисунок 5.4 – Структурна схема алгоритму векторного керування

Завдяки можливості векторного керування досягається висока точність регулювання швидкістю обертання точність і контролю вихідного моменту та нечутливість до параметричних збурень АД.

Функціональні можливості системи керування перетворювача частоти дозволяють реалізовувати різні завдання з регулювання та моніторингу технологічного процесу. Керуючі сигнали можуть подаватися через аналогові входи, дискретні сигнали, а також вручну — за допомогою вбудованого або зовнішнього пристрою. Крім того цифровий інтерфейс RS-485 забезпечує можливість інтеграції перетворювача частоти у загальну систему автоматизованого керування технологічним процесом. Завдяки цьому перетворювач здатний точно виконувати запрограмовані сценарії керування швидкістю, у тому числі реалізовувати алгоритми керування, що характеризуються змінними швидкісними режимами для виконання технологічних процесів.

Окрім реалізації керуючих функцій, система керування виконує критично важливу роль у забезпеченні захисту як елементів самого перетворювача, так і підключеного до нього електродвигуна. Захисні функції охоплюють виявлення та реагування на аварійні стани, зокрема перевищення допустимого рівня струму (наприклад, у випадку короткого замикання), обрив фазного провідника, перегрівання, перевантаження, недопустиме зниження або зростання напруги тощо. Завдяки високій швидкодії вбудованих алгоритмів контролю та широкому набору діагностичних параметрів система здатна своєчасно виявляти несправності, що дозволяє запобігти пошкодженню обладнання та зупинці технологічного процесу.

Висновки

Отже, у розділі на підставі визначених параметрах та опису режимів роботи було вибрано двигун 3GBP352220-ADL потужністю 315 кВт та номінальною частотою обертання 1485 об/хв. Побудова навантажувальної характеристики дала змогу перевірити відповідність моменту двигуна з механізмом. Керування головним електроприводом жомопреса Mercier TM-3000 буде здійснюватись за допомогою перетворювача частоти ABB ACS580-07-0650A-4.

6 СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ЖОМОПРЕСА ТА ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ

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

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

На рис. 6.1 подано структурну схему електромеханічну систему двошнекового жомопреса Mercier TM-3000, як об'єкту автоматизації.

Виконання технологічного процесу забезпечується програмованим логічним контролером PLC та певною кількістю допоміжних виконавчих механізмів, які керуються за допомогою аналогових та дискретних виходів на основі даних зібраних дискретними та аналоговими сенсорами. До них належать:

- дискретний сенсор положення шибера;
- сенсори температури;
- сенсори тиску;
- сенсор рівня;
- сенсори швидкості обертання шнеків;
- нагнітаючий вентилятор охолодження двигуна;
- електричний нагрівач масла;
- регулювальний рідинний клапан;
- розходомір

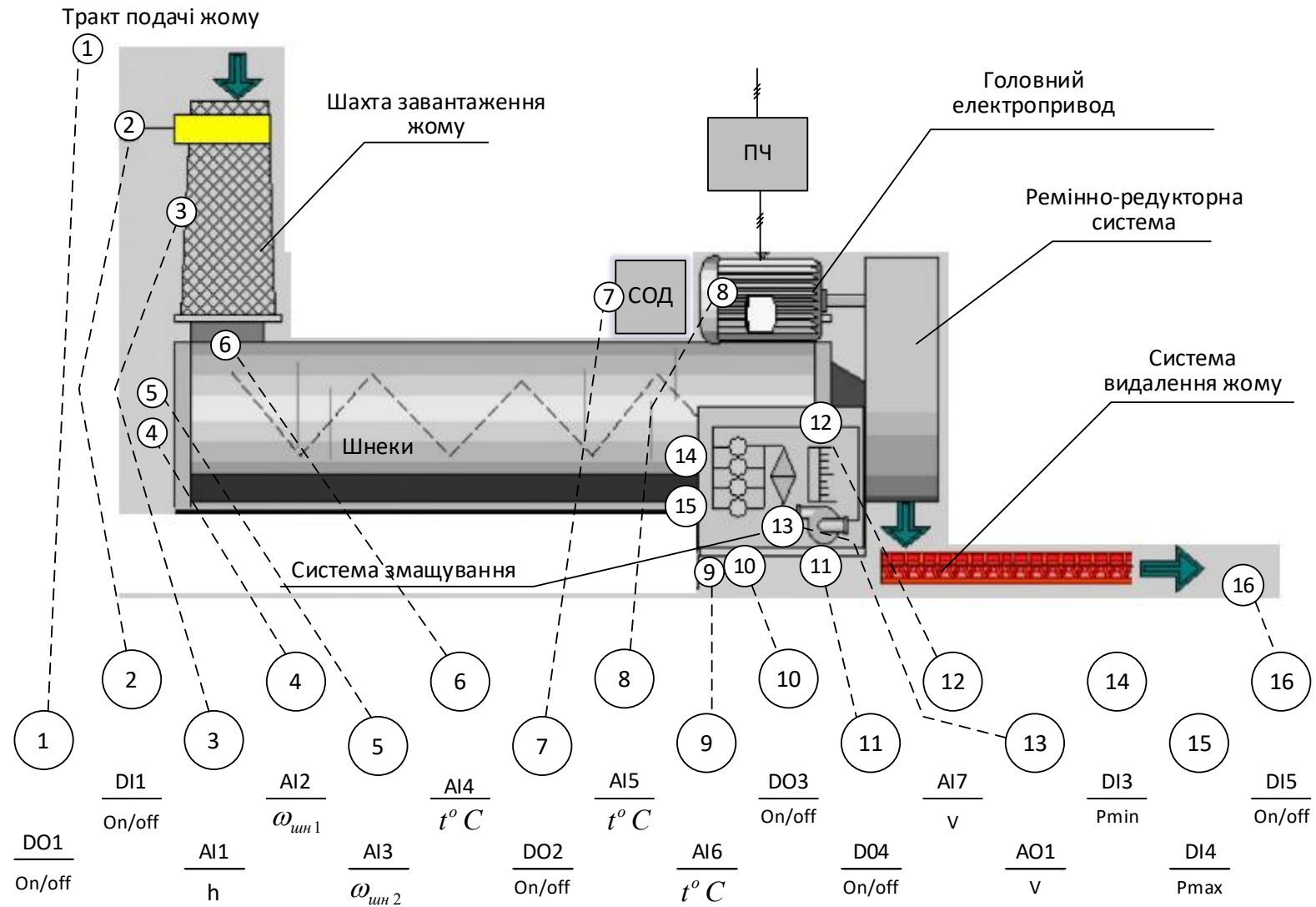


Рисунок 6.1 Структурна схема жомопреса як об'єкта автоматизації

Усі ці дискретні сенсори з'єднанні з дискретними входами та виходами за допомогою проміжних реле, щоб забезпечити гальванічну розв'язку контролера з іншими колами, а аналогові сенсори обираються такими, щоб їх вихід був гальванічно розв'язаним від силових кіл та землі.

У таблиці 6.1 подано перелік периферійного обладнання за допомогою якого здійснюється керування роботою жомопреса Mercier TM-3000, як автоматизованої електромеханічної системи. Система керування здійснює керування швидкістю обертання шнека в автоматизованому режимі, а також різними допоміжними механізмами, серед яких варто зазначити системи охолодження двигуна основного привода, систему змащення основних вузлів, а також різного роду блокування від аномальних режимів.

Таким чином для автоматизації технологічного процесу віджиму жому необхідний контролер, що має щонайменше п'ять дискретними входами, сім аналогових входів та п'ять дискретних та один аналоговий виходи.

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

На рисунку 6.2 зображено під'єднання силових кіл, що живиться від промислової трифазної мережі з напругою 0,4 кВ через силовий автоматичний вимикач QF0, призначений для захисту від надструмів короткого замикання. Перетворювач частоти ACS 580 головного електропривода додатково захищені плавкими запобіжниками F1..F3, а його двигун під'єднаний до вихідних клем U, V, W.

Таблиця 6.1 Перелік периферійного обладнання системи керування жомопресом

№ на рис. 6.1	З'єднання з PLC	Назва та функціональне призначення
1	DO1	Блокування тракту подачі жому при вимкненому жомопресі
2	DI1	Сенсор контролю стану шибера подачі жому до шахти
3	AI1	Сенсор рівня жому у шахті подачі жому до жомопреса
4	AI2	Сенсори обертання шнеків жомопреса
5	AI3	
6	AI4	Аналоговий сенсор температури жому на початку шнеків
7	DO2	Сигнал на включення системи охолодження двигуна (СОД) основного привода
8	AI5	Аналоговий сенсор температури обмоток двигуна головного приводу
9	AI6	Аналоговий сенсор температури масла системи змащування
10	DO3	Сигнал на включення підігрівача масла в збірнику масла редуктора
11	DO4	Сигнал на включення маслонасоса системи змащування
12	AI7	Розходомір масла у вихідному патрубку системи змащування
13	AO1	Аналоговий вихідний сигнал регулювального клапана системи змащування
14	DI2	Дискретний сенсор мінімального значення тиску масла у вихідному патрубку системи змащування
15	DI3	Дискретний сенсор максимального значення тиску масла у вихідному патрубку системи змащування
16	DI4	Блокування роботи жомопреса при несправності системи видалення жому
	RS485	Зв'язок PLC з перетворювачем частоти

Також на рис. 6.3 містяться силові кола містять підключення електрприводів додаткових механізмів та пристроїв автоматизованого електропривода жомопреса:

- додаткового електропривода АД2, що здійснює охолодження двигуна головного привода. Він захищений автоматичним вимикачем QF1 та пускається в роботу магнітним контактором КМ1 за одним з двох способів: ручним за допомогою кнопок SB1.1 та SB1.2 або автоматичним за допомогою проміжного реле KL2, що керується дискретним виходом DO2 контролера.

- додаткового електропривода маслососа АД3, що здійснює нагнітання масла в систему змащування редуктора та інших механізмів. Схема включення ідентична попередній виконана на основі контактора

- підігрівача масла системи змащування, що здійснює попередній підігрів масла перед пуском та складається з трьох резистивних нагрівальних елементи, з'єднаних зіркою та під'єднується до трифазної мережі аналогічним способом, що й і попередні допоміжні електроприводи.

Дискретні сенсори положення механізму під'єднані до входів DI1..DI4 теж через проміжні реле KL6..KL9 відповідно, а аналогові сенсори - до аналогових входів AI1..AI7.

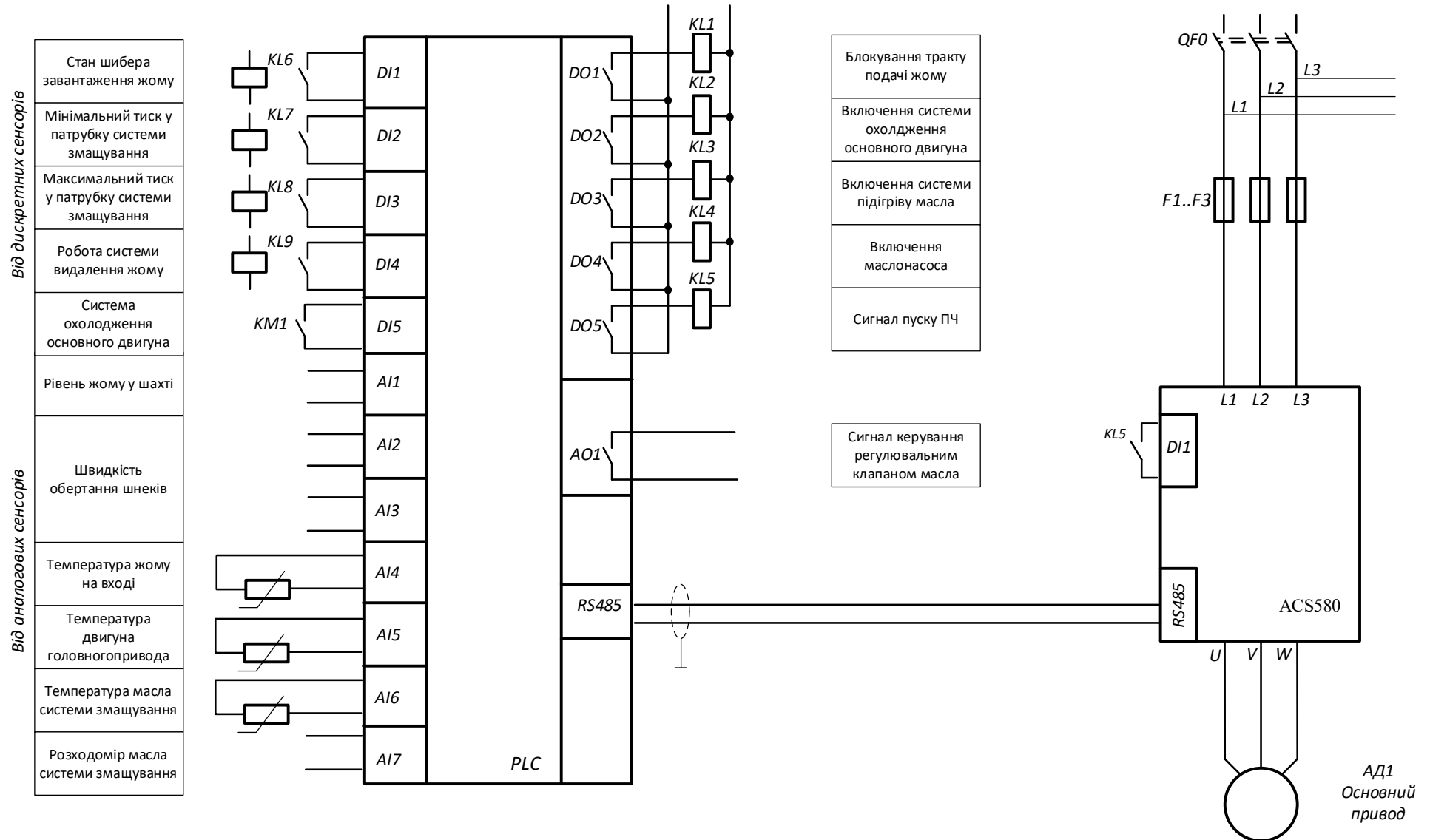


Рисунок 6.2 Схема електрична принципова підключення автоматизованого електропривода жомопреса Mercier TM-3000

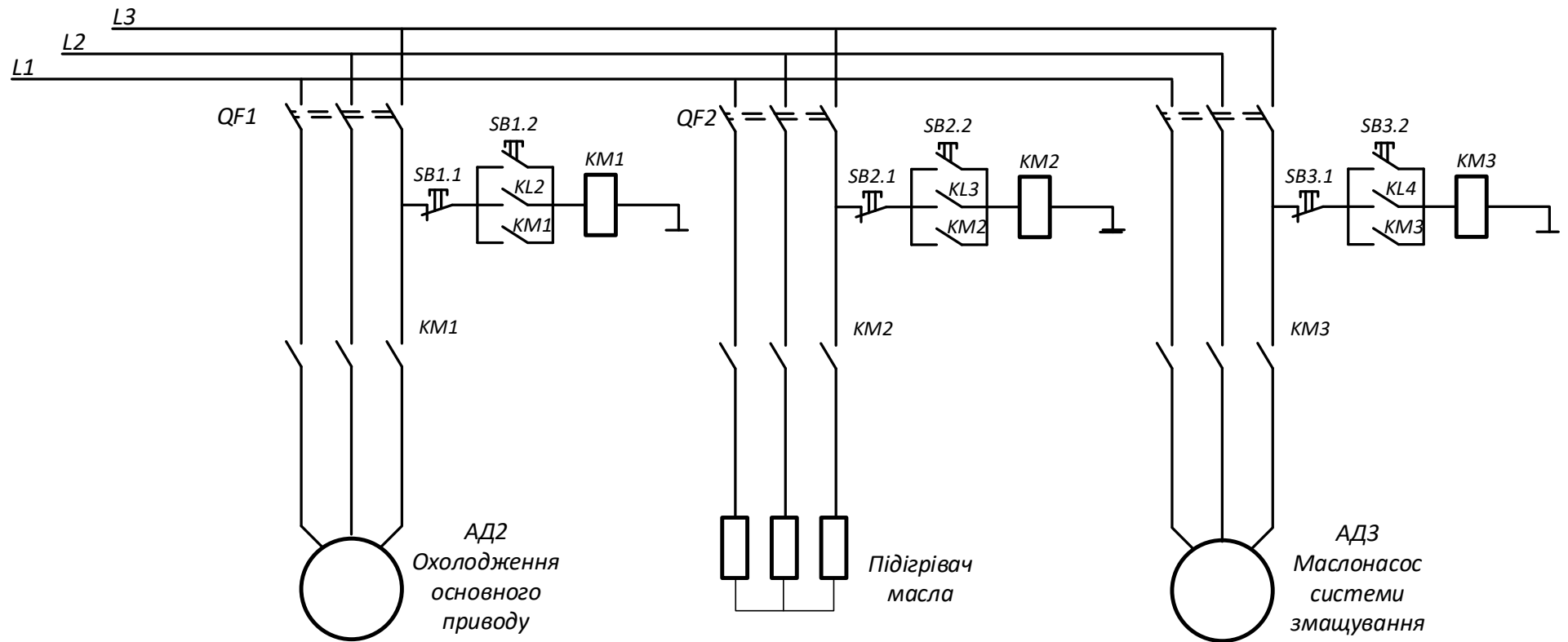


Рисунок 6.3 Схема електрична принципова підключення електроприводів допоміжних механізмів та пристроїв автоматизованого електропривода жомопреса Mercier TM-3000

Схема пуску в роботу ПЧ відбувається від PLC через проміжне реле KL5 за допомогою програмованого дискретного входу ПЧ DI1 з дозволами на ввімкнення, що здійснюються логічною схемою PLC при виконанні ряду умов:

- сигнал на дискретному вході DI1 – 0, що відповідає відкритому стану шибера завантаження жому;
- температура жому на вході (сигнал на AI4) менша за уставку (це необхідно, оскільки жом за великої температури пробкує в шнеках, що не дозволяє його якісний віджим);
- поданий сигнал на включення (DO2) або увімкнений вручну система охолодження основного двигуна приводу, про що сигналізує стан логічного «1» на дискретному вході DI5, сформований контактором KM1, і температура основного двигуна (сигнал на AI5) менша за уставку;
- система змашування працює належним чином (опис її роботи буде приведено нижче)
- система видалення жому працює справно (сигнал на дискретному вході DI4 – «1»)

Зв'язок між контролером та перетворювачем частоти здійснюється за протоколом RS485 за допомогою якого відбуваються команди керування швидкістю обертання шнеків жомопреса та береться зворотний зв'язок за станом та основними параметрами електропривода, які використовуються системою індикації при здійсненні керування оперативним персоналом. Також система керування швидкістю обертання має зворотні зв'язки за рівнем жому в шахті завантаження та швидкістю обертання шнеків.

На рис. 6.4 подано можливу реалізацію інтерфейсу керування за допомогою сенсорної панелі, яка дозволяє здійснювати керування жомопресом, змінювати уставки основних експлуатаційних параметрів, здійснює індикацію оперативному персоналу основних інформативних параметрів та станів сенсорів, а також дає змогу переглядати журнал минулих подій.



Рисунок 6.4 Панель керування жомопресом Mercier TM-3000

Також надзвичайно важливим у роботі жомопреса як автоматизованої електромеханічної системи є змащення основних її механічних вузлів (рис. 6.5). Система змащування повинна забезпечувати подачу масла на основні вузли під певним тиском та у достатній кількості. Якісне змащування можливе лише коли масло знаходиться в певному заданому температурному режимі. Якщо температура масла нижче певного порогового значення воно має велику в'язкість і не проникає до частин що обертаються і зазнають впливу тертя у достатній кількості. Тому система оснащена пристроєм для попереднього підігріву масла, включення якого описано вище. Крім того підігрів масла забезпечує маслонасос під час циркуляції по малому колу.



Рисунок 6.5 Зовнішній вигляд системи змащування Mercier TM-3000

Після досягнення температури масла достатнього значення подається сигнал з виходу контролера АО1 на триходовий регулювальний клапан, що відкриває циркуляцію масла по великому колу через вузли змащення. Система автоматичного керування регулює витрату масла у вихідному патрубку на заданому рівні за допомогою ПІ-регулятора виконаному на сигналі витратоміра 12 підключеного до аналогового входу АІ7.

Крім цього контролюється тиск у вихідному патрубку двома дискретними сенсорами тиску: мінімального 14 та максимального 15 значення. Забезпечуючи наявність тиску в межах $P_{min}..P_{max}$ Менше значення тиску, ніж P_{min} (0 на DI2) свідчить про несправність системи нагнітання тиску, а більше значення, ніж P_{max} (1 на DI3) – про закупорення системи подачі тиску. За обох умов належне змащування відсутнє, а тому система керування формує сигнал аварійної зупинки жомопреса.

Технічний персонал, що обслуговує автоматизований електропривод жомопреса Mercier визначають базову швидкість обертання шнеків, керуючись різного роду технологічними показниками та здійснюють його пуск та вимкнення. Решту задач система автоматизованого керування технологічним процесом виконує в автоматичному режимі. А швидкість обертання шнеків система регулює в залежності від рівня жому у шахти подачі. При збільшенні рівня система керування збільшує швидкість обертання від базового, заданого оператором, значення а при його зменшенні навпаки – зменшує до значення n_{min} . При зменшенні рівня жому нижче порогового значення за умови мінімальної швидкості обертання жомопрес повинен зупинити роботу, оскільки виконання якісного віджиму за таких умов неможливий. Після досягнення середнього рівня жому у шахті жомопрес автоматично запускається у роботу.

Висновки до розділу

Жомопрес Mercier TM-3000 є складною автоматизованою електромеханічною системою, що виконує технологічний процес віджиму жому.

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

Система також обладнана дискретними сенсорами положення механізму, тиску, а також аналоговими сенсорами рівню, витрати масла, температури тощо. У розділі розроблено схему керування автоматизованим електроприводом жомопреса Mercier TM-3000 як електромеханічної системи.

7. ОХОРОНА ПРАЦІ

У цьому розділі бакалаврської роботи розробляються заходи з охорони праці під час монтажу та експлуатації автоматизованого електропривода жомопреса Mereir. Отже, на оперативно-ремонтний персонал, що здійснює монтаж та експлуатацію автоматизованого електропривода, впливають такі шкідливі виробничі фактори [16, 17]:

фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо);

хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії (пил);

фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: інтелектуальні, сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

7.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту

7.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць в пожежонебезпечних зонах

Вимоги поширюються на електроустановки, що розміщуються в пожежонебезпечних зонах всередині і зовні приміщень. До експлуатації в пожежонебезпечних зонах допускається електрообладнання, що відповідає вимогам з урахуванням показників пожежо- вибухонебезпеки матеріалів (рідин, пилу, волокон).

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

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

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

Електроустановки в пожежонебезпечних зонах будь-яких класів в разі необхідності повинні мати апарати, що відключають частково або повністю технологічне і сантехнічне устаткування у випадках аварій і пожеж. Обсяг відключення визначається технологами і сантехніками проектною організацією і спеціалістами служб охорони праці, з урахуванням особливостей технологічного процесу. В пожежонебезпечних зонах всіх класів рекомендується використовувати силові і освітлювальні розподільчі пункти, що мають ступінь захисту оболонок IP54. Електрообладнання вантажопідіймальних механізмів (кранів, талей тощо), котрі перебувають в пожежонебезпечних зонах і зв'язані з технологічним процесом, повинне мати ступінь захисту оболонок згідно ПВЕ (як для пересувних механізмів) [18].

В пожежонебезпечних зонах слід використовувати світильники, що мають ступінь захисту не менший, ніж IP44. Світильники з лампами

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

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

7.1.2 Електробезпека

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

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

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

– розміщувати неізольовані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах;

- використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки;

- підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

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

3) Електрозахисні засоби захисту

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

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

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

Є неприпустимими:

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

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

7.2. Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

7.2.1. Мікроклімат

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

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

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

Таблиця 7.1 – Нормування параметрів мікроклімату

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

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

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

7.2.2. Склад повітря робочої зони

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

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

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

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачено:

- провітрювання приміщення;

- цілісність вікон для перешкоджання попадання пилу в приміщення під час роботи лінії;
- встановлення пиловловлюючих засобів.

7.2.3 Виробниче освітлення

Характеристика зорових робіт – середньої точності.

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

Таблиця 7.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

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

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

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

7.2.4 Виробничий шум

Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки» (таблиця 7.4).

Таблиця 7.4 – Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

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.

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.

7.3 Пожежна безпека

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

Отже, приміщення підприємства, де встановлений автоматизований електропривод жомопреса, відноситься до категорії В з вибухонебезпечними зонами класу 22 – простір, в якому вибухонебезпечний зерновий пил у завислому стані може з'являтися нечасто та існувати недовго (у разі аварії).

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

До II ступеня вогнестійкості відносяться будівлі з несучими і огорожувальними конструкціями з природних та штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону із застосуванням листових та плиткових негорючих матеріалів. В покриттях будівель допускається застосовувати незахищені сталеві конструкції. Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2016 [30] 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)				пли-ти, насти-ли, прого-ни	балки, ферми, арки, рами
II	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	EI 15 M0	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M0	RE 15 M0	R 30 M0

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2016 [30] 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 протипожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвиликах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбур-шлюзу, не нижче
Стіни	2	REI 60	2	1
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекрытия	2	REI 60	2	1

Таблиця 7.7 – Кількість людей для розрахунку ширини евакуаційних виходів

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

На території виробничої будівлі встановлено 15 вогнегасників ВП-5 [31].

ВИСНОВКИ

В результаті виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи на тему “Електромеханічна система автоматизації електропривода жомопреса Mercier” було закріплено та систематизовано знання з дисциплін «Теоретичні основи електротехніки», «Теорія електропривода», «Електричні машини», «Теорія автоматичного керування», «Автоматизація технологічних процесів» та ін.

В даній кваліфікаційній роботі виконано аналіз особливостей та режимів роботи двошнекового жомопреса Mercier ТМ-3000, здійснений розрахунок потужності електродвигуна із подальшим вибором його типу. Після ретельно виконаного техніко-економічного порівняння в якості системи електроприводу для жомопреса обрано систему типу ПЧ-АД, яка є найбільш оптимальним варіантом, в поєднанні економічних та технічних показників експлуатації.

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

У ході роботи було розроблено систему керування автоматизованим електроприводом жомопреса, що включає в себе керування швидкістю обертання двигуна головного частотно-регульованого електропривода зі зворотними зв'язками за швидкістю й рівнем жому в шахті завантаження та різного роду допоміжними механізмами.

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

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. Ліпець, В. М. Логвін, К. Д. Скорик та ін., “Вирощування, зберігання цукрових буряків, видобування сахарози ”, у *Технологія цукру = Sugar technology*, В. М. Логвін, А. І. Українець, Ред. Київ, Україна: Нац. ун-т харч. технол. Експрес-об'ява, 2015, Т. 1, с. 288, підручник в 3 т.
3. 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
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: Ліп-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. Вартість перетворювача частоти. Режим доступу: <https://prom.ua/ua/p1894073613-abb-acs580-585a.html>.
9. Вартість приводного двигуна. Режим доступу: <https://luxelectro.com.ua/ru/elektrodvigatel-abb-m3bp355smb4-315-kvt-230v-400->

415v-y-50-gts-detail.html?srsltid=AfmBOooU9zLkJ2-0S0h4uL5FARwsKDrI8VH4EC39FenbjcflEeNJ562Xm

10. Технічні характеристики приводного двигуна. Режим доступу: https://www.electricalautomationnetwork.com/PDF/PIM/ABB/EN_3GBP352220-ADL.pdf
11. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи / За редакцією М.Г.Поповича та О.Ю.Лозинського / Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом „Електромеханіка”. –К.: Либідь, 2005. -680 с.
12. Голуб А.П., Кузнецов Б.І., Опришко І.О., Соляник В.П.. Системи керування електроприводами: Навчальний посібник. - К.: НМК ВО, 1992.- 352с.
13. Werner Leonhard. Control of Electrical Drives, 3-е вид. — Springer, 2001
14. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування. – К.: Либідь, 1997. – 544 с.
15. Чорний О. П., Луговой А. В., Д. Й. Родькін, Сисюк Г.Ю., Садовой О.В. Моделирование электромеханических систем. – Кременчук, 2001. – 376 с.
16. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.
17. 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->.
18. 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.
19. 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.

20. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.

21. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

22. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885

23. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС України, 2014. 47 с.

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

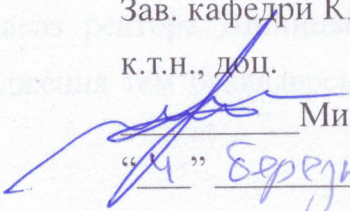
Додаток А

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри КЕМСК

к.т.н., доц.

 Микола МОШНОРІЗ

« 4 » Березня 2025 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

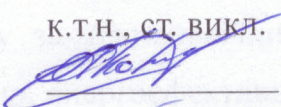
на бакалаврську кваліфікаційну роботу

ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНА СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ЖОМОПРЕСА MERCIER

08-24.БКР.016.00.000 ТЗ

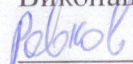
Керівник роботи

к.т.н., ст. викл.

 Андрій КОВАЛЬ

« 4 » Березня 2025 р.

Виконав: ст. гр. ЕМСА-216

 Микола РАВКОВ

« 4 » Березня 2025 р.

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки – «Електромеханічна система автоматизації електропривода жомопреса Mercier».

Скорочене найменування розробки – «Електромеханічна система автоматизації електропривода жомопреса Mercier».

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 створення автоматизованої системи електропривода шнекового жомопреса *Mercier* TM-3000, яка забезпечує ефективне зневоднення бурякового жому з можливістю регулювання режимів роботи, і призначена для впровадження в бурякопереробні відділення цукрових заводів у межах харчової промисловості.

4 Вимоги до розробки

Розробка повинна забезпечувати стабільну та безперебійну роботу жомопреса в умовах змінного навантаження і вологості сировини. Електропривод має мати можливість плавного регулювання швидкості обертання шнеків та зворотного зв'язку за технологічними параметрами. Система керування повинна бути надійною, енергоефективною та придатною до інтеграції в загальний автоматизований комплекс цукрового заводу.

5 Комплектація розробки

Розробка включає асинхронний електродвигун, перетворювач частоти, систему автоматичного керування з датчиками контролю рівня завантаження та модулем плавного регулювання швидкості обертання шнеків.

6 Технічні характеристики

Таблиця 1 – Технічні характеристики

№п\п	Показник	Позначення	Величина
1.	Час роботи центрифуги, діб	t_p	14
2.	Час паузи центрифуги, діб	t_0	1
3.	Фактична тривалість включення, °/с	ТВ	100
4.	Приведений момент інерції, кг м ²	J	73
5.	Максимальна маса обертових частин центрифуги, кг	m	5960
6.	Максимальне продуктивність, т/добу	m	3000

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

Автоматизований електропривод жомопреса – двигун, апарати керування і захисту, провідники, кабелі тощо виконується на сучасній елементній базі, його монтаж, заземлення, струмопровід повинні відповідати правилам улаштування електроустановок.

11 Технічне обслуговування і ремонт

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

12 Живлення електропривода

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

13 Порядок контролю та прийняття

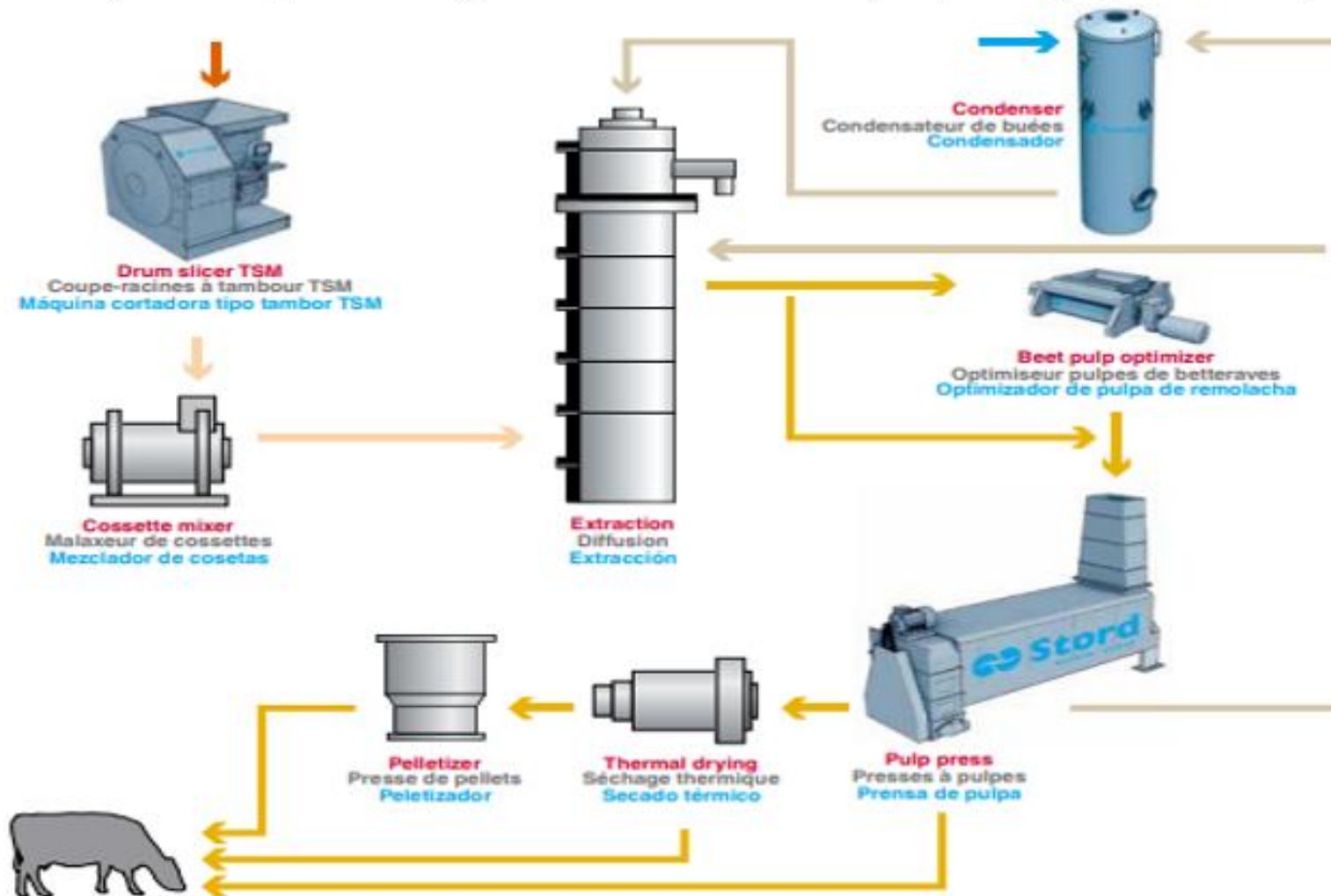
Виконання етапів графічної та розрахункової документації бакалаврської кваліфікаційної роботи контролюється керівником згідно з графіком виконання роботи. Прийняття роботи здійснюється комісією затвердженою зав. кафедрою згідно з графіком захисту.

Додаток Б

Графічна частина

**ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНА СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ
ЕЛЕКТРОПРИВОДА ЖОМОПРЕСА MERCIER**

Короткі відомості про технологічний процеси цукрової галузі



Актуальність теми. Мета, об'єкт та задачі дослідження

Актуальність теми зумовлена потребою цукрової галузі України у підвищенні ефективності використання сировини. Значні втрати цукру, що залишаються у буряковому жомі після екстракції, прямо впливають на рентабельність підприємств. Водночас традиційні схеми електроприводів не завжди здатні забезпечити адаптивне регулювання процесу пресування відповідно до змінних властивостей сировини та режимів роботи обладнання.

Упровадження автоматизованого електропривода з можливістю плавного керування швидкістю шнеків жомопреса дозволяє значно покращити показники енергоефективності, стабільності процесу та якості кінцевого продукту. Саме тому розробка та впровадження ефективної електромеханічної системи автоматизації для жомопреса є актуальним і практично значущим завданням.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності роботи системи привода шнекового жомопреса, що забезпечить надійне та якісне виконання технологічних процесів віджиму.

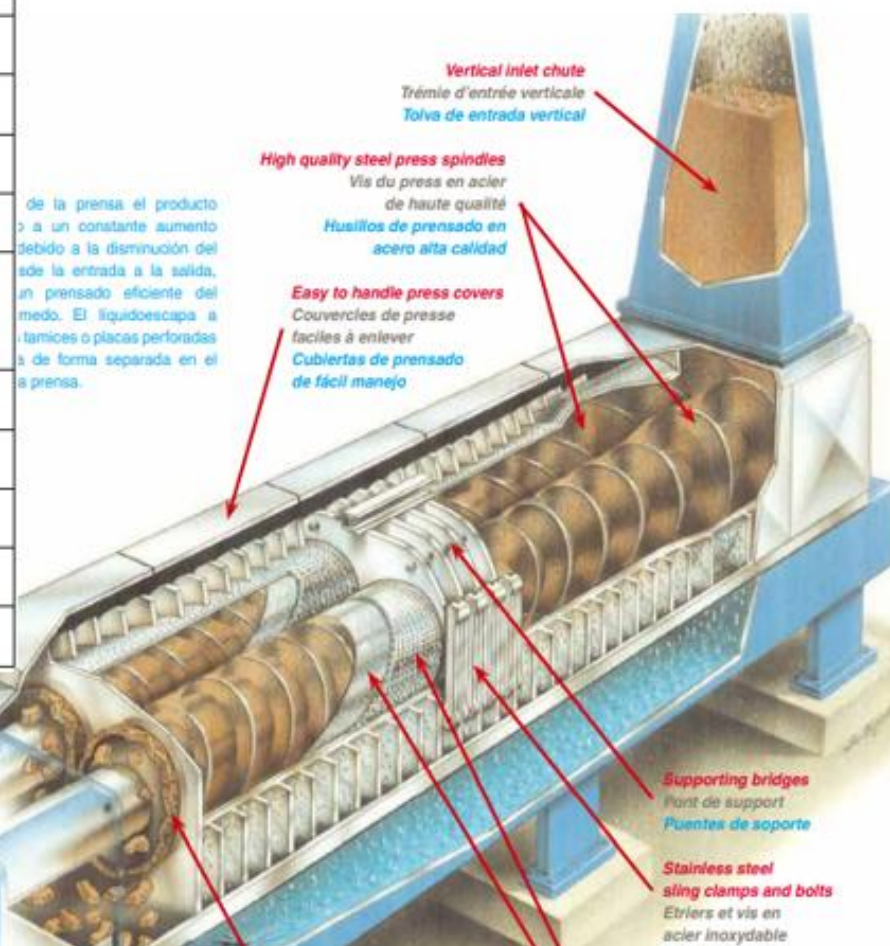
- , що забезпечує стабільність процесу пресування.

Об'єкт дослідження є процеси перетворення енергії, які протікають у електромеханічній системі електропривода шнекового жомопреса Mercier.

Предметом дослідження є математичні моделі та структури, які дозволяють підвищити ефективність електропривода ротора шнекового жомопреса Mercier.

Технічні характеристики модернізованої жомопреса Mercier

Загальна довжина, м	11,4
Загальна ширина, м	2,5
Загальна висота, м	2,66
Довжина шнеку, м	8,4
Добова продуктивність, т/добу	1500-3000
Частка сухих речовин у вихідному жомі, в залежності від продуктивності, %	35-25
Діаметр шнека, м	1,5
Маса обертових частин, кг	5960
Частота обертання <u>шнеків</u> , об/хв	2,05..3,3
Передатне число кінематичної схеми	450/1
Приведений момент інерції механізму, кг м ²	73



Задачі роботи

У відповідності із поставленою метою необхідно вирішити наступні завдання:

- Проаналізувати конструктивні та технологічні особливості шнекового жомопреса Mercier TM-3000.
- Розрахувати необхідну потужність електродвигуна для основного привода жомопреса з урахуванням експлуатаційних параметрів.
- Обґрунтувати техніко-економічно доцільність вибору системи електропривода для забезпечення стабільної роботи обладнання.
- Вибрати оптимальну структуру електропривода: тип двигуна, перетворювач, систему керування.
- Розробити принципову схему автоматизованого електропривода із можливістю плавного регулювання швидкості шнеків.
- Сформулювати алгоритм керування на основі рівня завантаження шахти, що забезпечує стабільність процесу пресування.

Режими роботи електропривода 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

$$P_{розр\Sigma} = P_1 + P_2 + P_3,$$

де P_1 – потужність, що витрачається безпосередньо на формування тиску в зоні пресування

P_2 – складова сумарної потужності, що витрачається на обертання шнека, яка характеризує витрату енергії на подолання сил тертя лопатей шнеку по жому у зоні високого тиску

P_3 – потужність, що йде на транспортування жомової суміші до зони тиску, що включають також витрати енергії на попереднє ущільнення та тертя об стінки та попередні витки.

$$P_{розр\Sigma} = 30,86 + 165,8 + 39,33 = 235,96 \text{ кВт}$$

$$P_{ном} \geq \frac{k_{зм} P_{розр}}{\eta},$$

$$P_{ном} \geq \frac{1,2 \cdot 235,96}{0,9} = 314,62 \text{ (кВт)}$$

$$P_{ном} = 315 \text{ кВт}$$

$$n_{двmax} = 3 \cdot 150 \cdot 3,3 = 1485 \text{ об/хв},$$

$$n_{дв} = i_1 \cdot i_2 \cdot n_{шн}$$

$$n_{двmin} = 3 \cdot 150 \cdot 2,05 = 922 \text{ об/хв}.$$

$$n_{ном} = 1500 \text{ об/хв}$$

Техніко-економічне обґрунтування вибору системи привода

Показник	Системи електропривода		
	ПЧ-АД	ТП-ДПС	ТРН-АД
Потужність двигунів, кВт	315	315	315
Вартість двигунів Д, тис. грн.	412	494	412
Вартість системи керування СК з перетворювальним пристроєм, тис. грн.	1962	1025	900
Капітальні затрати К, тис. грн.	1581	1519	1312
Річні капітальні затрати $K_{річні}$, тис. грн.	333,54	258,23	223,04
Амортизаційні відрахування C_A , тис. грн./рік	98,1	151,9	39,36
Відрахування на ремонт C_P , тис. грн./рік	39,24	75,95	25,8
Додаткові відрахування $C_{дп}$, тис. грн./рік	294,227	315,548	315,548
Відрахування обслуговування C_o , тис. грн./рік	21,578	27,17	21,025
Загальні відрахування С, тис. грн./рік	453,145	570,568	441,533
Приведені затрати З, тис. грн./рік	786,685	828,798	664,573

Вибір двигуна

Таблиця 5.1 – Паспортні характеристики двигуна типу МЗВР 355SMB 4

Параметр, одиниця вимірювання	Позначення	Значення
Потужність, кВт	$P_{ном}$	315
Частота обертання, об/хв	$n_{ном}$	1488
Напруга статора при з'єднанні зіркою, В	$U_{лн}$	400..415
Струм статора, А	$I_{ном}$	550А
Коефіцієнт потужності	$\cos\varphi$	0,85
ККД	η	0,96
Частота мережі живлення, Гц	f	50
Кількість фаз	m	3
Ступінь захисту		IP55
Кратність пускового моменту	$\lambda_{пн}$	2,1
Кратність пускового струму		6,9
Кратність максимального моменту	λ_{max}	2,2
Кількість пар полюсів	$2p$	2
Момент інерції, кг·м ²	$J_{дв}$	8
Маса, кг	m	1780



Навантажувальна діаграма привода жомопреса

$$M_{c_{\text{пк}}} = \frac{P_{\text{розр}}}{\omega_{\text{депк}}}$$

$$M_{\text{Дi}} = J \frac{\omega_{\text{кi}} - \omega_{\text{почi}}}{t_i}$$

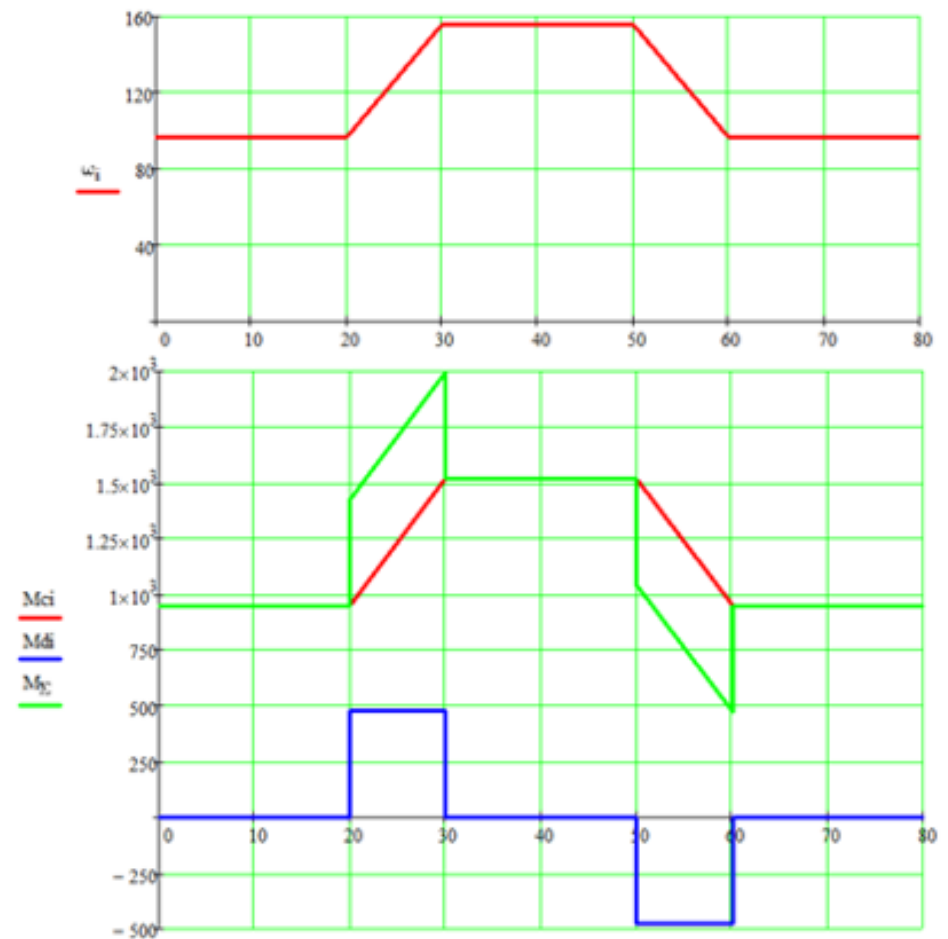
№	$\tau_i, \text{с}$	$\omega_{\text{поч}}, \text{рад/с}$	$\omega_{\text{к}}, \text{рад/с}$	$M_{\text{ci}}, \text{Нм}$	$M_{\text{Di}}, \text{Нм}$	$M_{\text{сi}}, \text{Нм}$
1	-	96,604	96,604	943	0	943
2	10	96,604	155,509	943..1517	477	1420..1994
3	-	155,509	155,509	1517	0	1517
4	10	155,509	96,604	1517..943	-477	1040..466

$$M_{\text{ном}} = 9550 \cdot \frac{P_{\text{ном}}}{n_{\text{ном}}} = 9550 \frac{315}{1485} = 2026 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{кр}} = \lambda_{\text{max}} M_{\text{ном}} = 2.1 \cdot 2026 = 4254 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

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

$$0,9 \cdot 4254 > 1994.$$



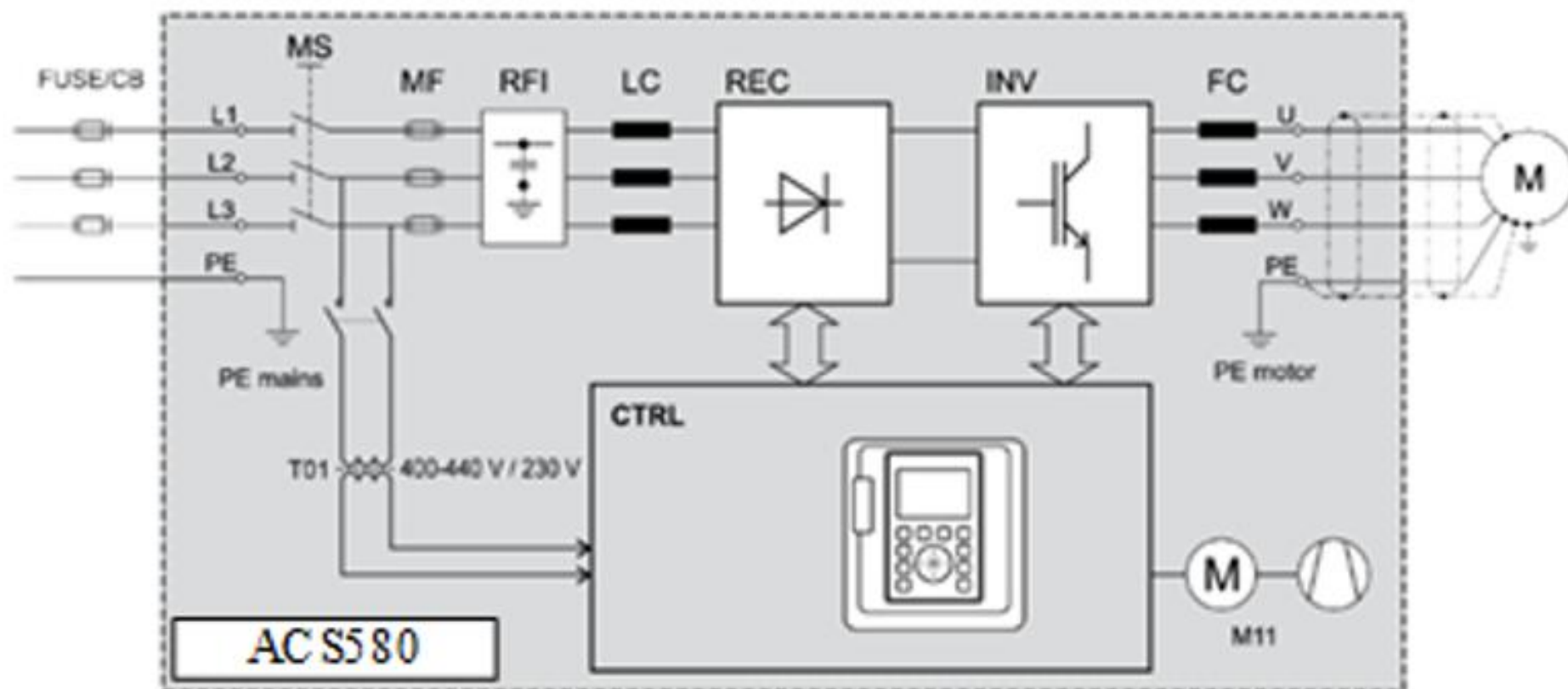
Вибір перетворювального пристрою

Основні технічні характеристики ПЧ ABB ACS580-07-0650A-4

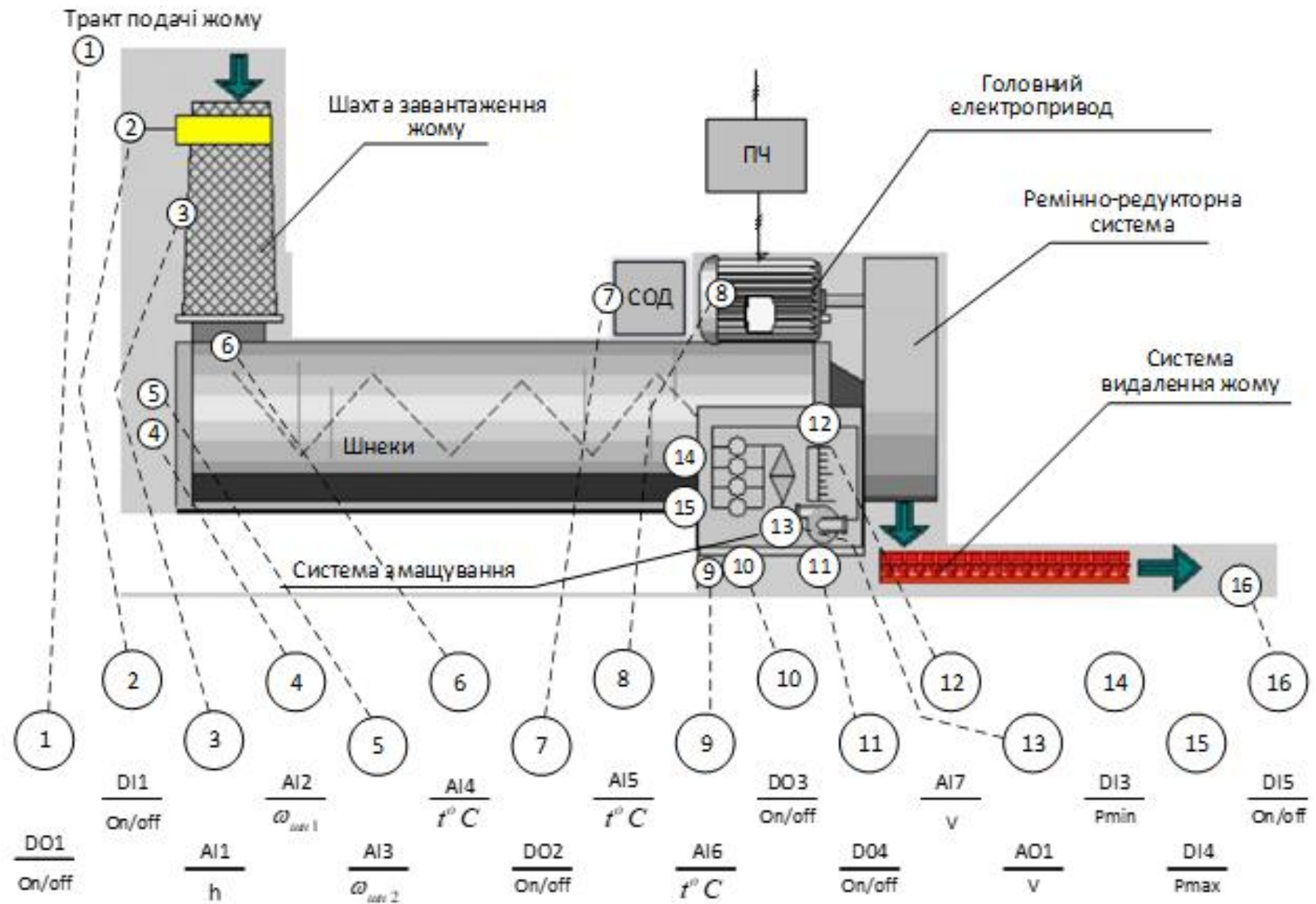


Номинальна напруга мережі, В	380...440
Потужність двигуна, кВт	355,0 - норм. режим роботи 315,0 - важкий режим роботи
Ступінь захисту за IP	IP42
Номинальна частота комутації	2.5 kHz
Лінійний струм	650,0 А (ном. значення – робота без перевантаження) 730,0 А (максимальне значення протягом 2 с) 634,0 А (норм. режим роботи – допустиме перевантаженням 10%) 375,0 А (допустиме перевантаженням 50%)
Кількість дискретних входів	6
Кількість релейних виходів	3
Кількість аналогових входів	2
Кількість аналогових виходів	2
Фізичний інтерфейс	Ethernet 2-провідний RS 485

Структурна схема ПЧ



Жомопрес Mercier як об'єкт автоматизації



Перелік периферійного обладнання системи керування

№ на рис. 6.1	З'єднання з PLC	Назва та функціональне призначення
1	DO1	Блокування тракту подачі жому при вимкненому жомопресі
2	DI1	Сенсор контролю стану шибер подачі жому до шахти
3	AI1	Сенсор рівня жому у шахті подачі жому до жомопреса
4	AI2	Сенсори обертання шнеків жомопреса
5	AI3	
6	AI4	Аналоговий сенсор температури жому на початку шнеків
7	DO2	Сигнал на включення системи охолодження двигуна (СОД) основного привода
8	AI5	Аналоговий сенсор температури обмоток двигуна головного приводу
9	AI6	Аналоговий сенсор температури масла системи змащування
10	DO3	Сигнал на включення підігрівача масла в збірнику масла редуктора
11	DO4	Сигнал на включення маслонасоса системи змащування
12	AI7	Розходомір масла у вихідному патрубку системи змащування
13	AO1	Аналоговий вихідний сигнал регулювального клапана системи змащування
14	DI2	Дискретний сенсор мінімального значення тиску масла у вихідному патрубку системи змащування
15	DI3	Дискретний сенсор максимального значення тиску масла у вихідному патрубку системи змащування
16	DI4	Блокування роботи жомопреса при несправності системи видалення жому
	RS485	Зв'язок PLC з перетворювачем частоти

Схема електрична принципова підключення системи електропривода жомопреса

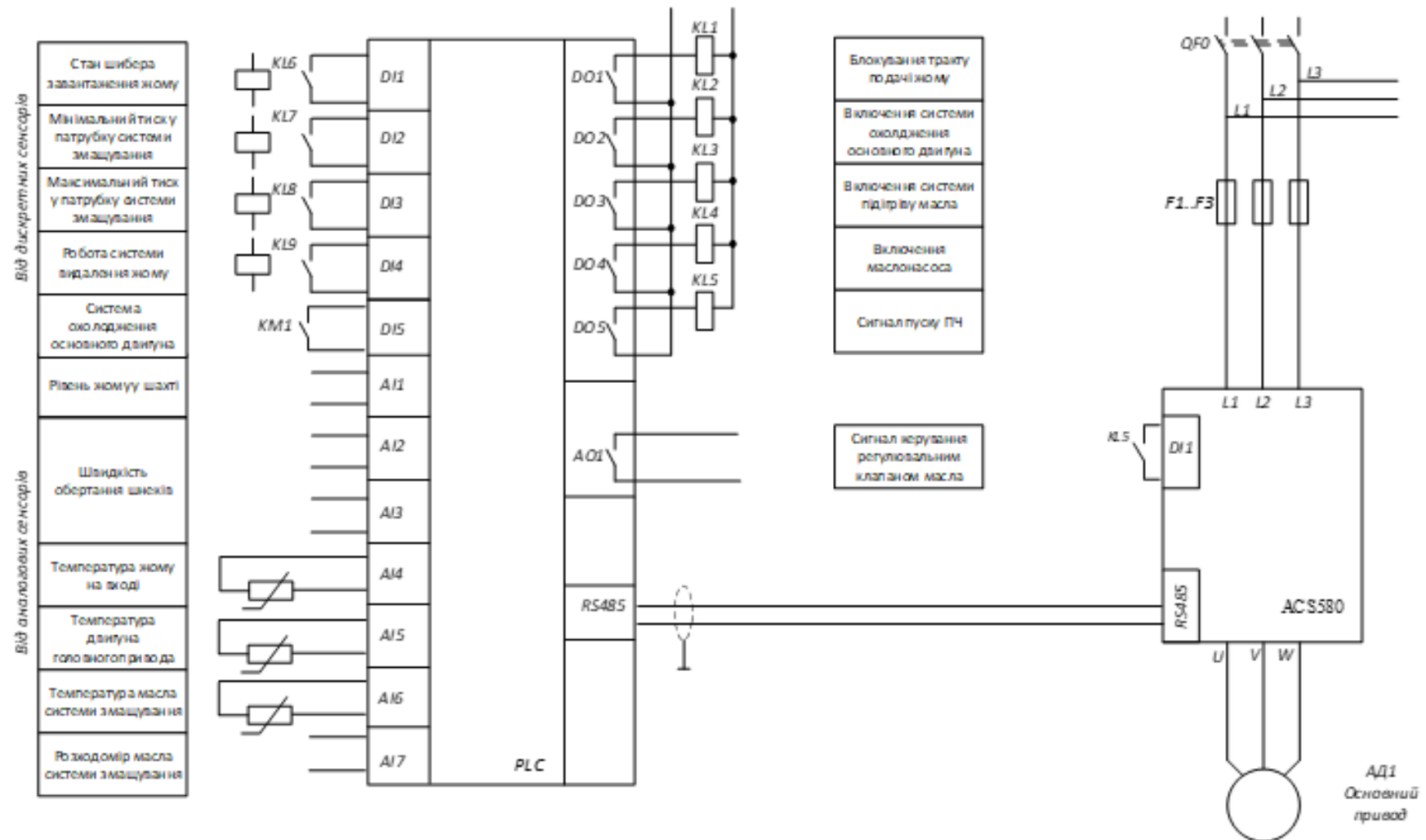
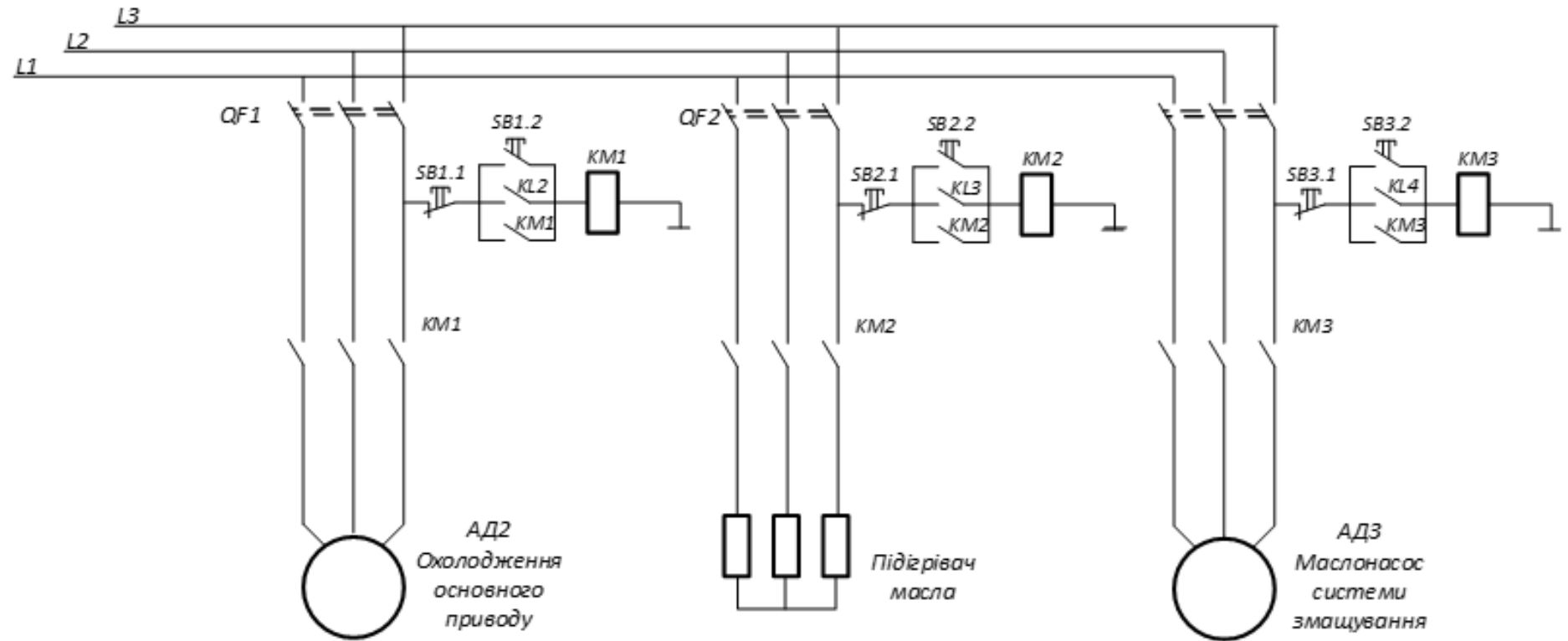


Схема електрична принципова системи підключення допоміжних пристроїв



Панель керування автоматизованим електроприводом жомопреса



Висновки

1. Виконано аналіз особливостей та режимів роботи двошнекового жомопреса Mercier TM-3000
2. Здійснено розрахунок потужності електродвигуна із подальшим вибором його типу.
3. Після ретельно виконаного техніко-економічного порівняння в якості системи електроприводу для жомопреса обрано систему типу ПЧ-АД, яка є найбільш оптимальним варіантом, в поєднанні економічних та технічних показників експлуатації.
4. Розраховано та вибрано елементи силового кола, комутуючі елементи та сенсори, визначено їх номінальні дані.
5. Розроблено систему керування автоматизованим електроприводом жомопреса, що включає в себе керування швидкістю обертання двигуна головного частотно-регульованого електропривода зі зворотними зв'язками за швидкістю й рівнем жому в шахті завантаження та різного роду допоміжними механізмами.
6. Розроблено основні положення щодо безпечної та оптимальної експлуатації об'єкта дослідження та створення належних умов праці для обслуговуючого персоналу.

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Електромеханічна система автоматизації електропривода жомопреса MERCIER

Тип роботи: бакалаврська кваліфікаційна робота

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

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 18,2 %

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

Равков
(підпис)

Равков М.В.

(прізвище, ініціали)

					08-24.БКР.016.00.000			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Електромеханічна система * автоматизації електропривода жомопреса Mercier	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:	Равков М. В.		<i>Равков М. В.</i>	20.05				
Перевірів:	Коваль А. М.		<i>Коваль А. М.</i>	20.05				
Т. контр.								
Результат	Ухвалено		<i>Міщенко В. П.</i>	03.06		Аркуш	Аркушів	
Норм. кон.			<i>Міщенко В. П.</i>	03.06		ВНТУ, гр. ЕМСА-216		
Затверд.	Мошноріз М. М.		<i>Мошноріз М. М.</i>	03.06				