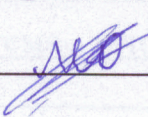


Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:

**«ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНА СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ ЗМІШУВАЧА
СТОЛУ ДЛЯ СУШІННЯ ГАРБУЗОВОГО НАСІННЯ»**

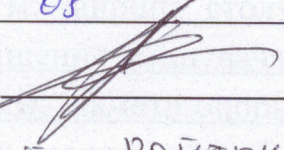
Виконав: студент 2мс курсу, гр. ЕМСА-23мс
спеціальності Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка


Олександр МУРАШКО
(ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник: к.т.н., доц., доцент каф. КЕМСК

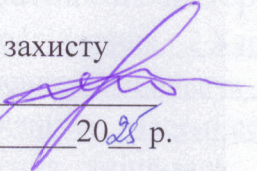

Сергій БАБІЙ
(ім'я ПРИЗВИЩЕ)

« 20 » 08 2025 р.

Рецензент: 

Юрій ВОЙТЮК, к.т.н. доц. каф. ЕСЕМ
(ім'я ПРИЗВИЩЕ)

« 10 » 06 2025 р.

Допущено до захисту
Зав. кафедри 
« 03 » 06 2025 р.

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

_____ к.т.н., доц.
Микола МОШНОРИЗ
« 18 / » 02 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
Мурашко Олександр Віталійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Електромеханічна система автоматизації змішувача столу для сушіння гарбузового насіння
- Керівник роботи _____ Бабій Сергій Миколайович, к.т.н., доц. каф. КЕМСК
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
- затверджені наказом вищого навчального закладу від « 20 » березня 2025 року № 97
2. Термін подання студентом роботи _____ 03.06.2025р.
3. Вихідні дані до роботи: довжина столу 12 м; ширина столу 2 м; повна маса змішувача 900 кг; номінальна швидкість переміщення змішувача 0,17 м/с; кількість зубців приводної зірочки 30; крок ланцюга 19 мм; діаметр опорного ролика 0,06 м; діаметр цапфи опорного ролика 0,025 м; кількість опорних роликів 4 шт; передаточне число механічної передачі 50.
4. Зміст текстової частини: 1 Характеристика об'єкта проектування. 2 Розрахунок електропривода механізму переміщення змішувача. 3 Розробка системи керування змішувача. 4 Охорона праці. Висновки.
5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1 Мета та задачі дослідження. 2 Характеристика об'єкта проектування. 3 Схема кінематична механізму переміщення змішувача. 4 Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода механізму переміщення змішувача. 5 Характеристики приводного двигуна механізму переміщення змішувача. 6 Моделювання роботи приводного двигуна механізму переміщення змішувача. 7 Характеристики перетворювального пристрою електропривода механізму переміщення змішувача. 8 Схема функціональна системи керування змішувача. 9 Вибір елементної бази системи керування змішувача. 10 Схема електрична принципова системи керування змішувача. 11. Практична реалізація.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконав прийняв
Спеціальна частина	Бабій С. М., к.т.н., доц. каф. ЕМСАПТ	18.02.2025	06.05.2025
Охорона праці	Кобилянський О.В., д. пед. н., професор, зав. каф. БЖДПБ	18.02.2025	20.05.2025

7. Дата видачі завдання 18.02.2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва та зміст етапу	Термін виконання		Прим.
		початок	закінчення	
1	Формування та затвердження теми бакалаврської кваліфікаційної роботи (БКР)	18.02.2025	06.05.2025	Вик.
2	Виконання спеціальної частини БКР. Перший рубіжний контроль виконання БДР	06.05.2025	20.05.2025	Вик.
3	Виконання спеціальної частини БКР. Другий рубіжний контроль виконання БДР	20.05.2025	20.05.2025	Вик.
4	Виконання розділу «Охорона праці»	20.05.2025	03.06.2025	Вик.
5	Попередній захист БКР	03.06.2025	03.06.2025	Вик.
6	Нормоконтроль БКР	03.06.2025	10.06.2025	Вик.
7	Рецензування БКР	10.06.2025	18.06.2025	Вик.
8	Захист БКР	19.06.2025	19.06.2025	Вик.

Студент

(підпис)

Мурашко О. В.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Бабій С. М.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська кваліфікаційна робота складається з 102 сторінок формату А4, на яких є 39 рисунків, 17 таблиць, список використаних джерел містить 35 найменувань.

Метою роботи є розробка електромеханічної системи автоматизації змішувача столу для сушіння гарбузового насіння, яка б забезпечувала узгоджене керування механізмами змішувача в ручному та автоматичному режимах роботи.

У загальній частині роботи дано загальну характеристику сушарок гарбузового насіння та дано детальну характеристику столу для сушіння гарбузового насіння.

У розрахунково-конструкторській частині виконано розрахунки електропривода механізму переміщення змішувача столу для сушіння гарбузового насіння та вибрано його силові елементи. Розроблено систему автоматизованого керування змішувача столу для сушіння гарбузового насіння, вибрано основну елементну базу та виконано монтаж розробленої системи керування. Коректність прийнятих проектних рішень перевірено на реальному обладнанні.

У розділі охорони праці опрацьовано такі питання, як причини виникнення, дія на організм людини та нормування шкідливих та небезпечних виробничих факторів, наведені рекомендації щодо поліпшення умов праці, а також розглянуто норми пожежної безпеки.

Ключові слова: гарбузове насіння, змішувач, електропривод, система керування.

ABSTRACT

The bachelor's qualification work consists of 102 pages of A4 format, which include 39 figures, 17 tables, and the list of sources used contains 35 items.

The purpose of the work is to develop an electromechanical automation system for a table mixer for drying pumpkin seeds, which would provide coordinated control of the mixer mechanisms in manual and automatic modes of operation. In the general part of the work, a general characteristic of pumpkin seed dryers is given and a detailed characteristic of the table for drying pumpkin seeds is given.

In the calculation and design part, calculations of the electric drive of the movement mechanism of the table mixer for drying pumpkin seeds are performed and its power elements are selected. An automated control system for the table mixer for drying pumpkin seeds is developed, the main element base is selected and the installation of the developed control system is performed. The correctness of the design decisions made is checked on real equipment.

In the section on labor protection, such issues as the causes of occurrence, effect on the human body and standardization of harmful and dangerous production factors are considered, recommendations are given for improving working conditions, and fire safety standards are also considered.

Keywords: pumpkin seeds, mixer, electric drive, control system.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ’ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ.....	6
1.1 Бізнес на гарбузах.....	6
1.2 Загальна характеристика сушарок гарбузового насіння	8
1.3 Характеристика об’єкта проектування	11
1.4 Постановка задачі проектування	14
2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНІЗМУ ПЕРЕМІЩЕННЯ ЗМІЩУВАЧА	15
2.1 Технічні характеристики механізму переміщення зміщувача	15
2.2 Попередній розрахунок потужності приводного двигуна	18
2.3 Техніко-економічне обґрунтування вибору систем електропривода нагнітаючого вентилятора сушарки	20
2.4 Вибір приводного двигуна	26
2.5 Моделювання роботи приводного двигуна	32
2.6 Вибір силового перетворювача.....	35
3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЗМІЩУВАЧА	41
3.1 Розробка функціональної схеми	41
3.2 Розробка панелі керування.....	42
3.3 Вибір елементної бази	43
3.3.1 Вибір таймера	43
3.3.2 Вибір кінцевих вимикачів	45
3.3.3 Вибір пульта дистанційного керування	49
3.4 Розробка електричної схеми	51
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	60
4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об’єкта.....	60
4.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць.....	60
4.1.2 Електробезпека	63

4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	65
4.2.1 Мікроклімат	65
4.2.2 Склад повітря робочої зони.....	65
4.2.3 Виробниче освітлення.....	66
4.2.4 Виробничий шум.....	67
4.2.5 Виробнича вібрація	68
4.3 Пожежна безпека.....	69
ВИСНОВКИ.....	73
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	74
ДОДАТКИ.....	78
ДОДАТОК А (обов'язковий). Технічне завдання.....	79
ДОДАТОК Б (обов'язковий). Графічна частина.....	83
ДОДАТОК В. Протокол перевірки дипломної роботи на наявність текстових запозичень	102

ВСТУП

«Гарбузове насіння – це суперзірка серед усіх насінинок» [1]. Цю назву воно отримало за ту користь, яку отримує організм людини при його споживанні.

Отже, гарбузове насіння є не просто корисним продуктом, але і дороговартісним товаром. Таким чином тема вирощування гарбузів стає все більше і більше цікавою саме як бізнес, як для великих підприємств, так і для дрібних фермерів.

Метою роботи є розробка електромеханічної системи автоматизації змішувача столу для сушіння гарбузового насіння, яка б забезпечувала узгоджене керування механізмами змішувача в ручному та автоматичному режимах роботи.

Об'єкт дослідження – процес завантаження, перемішування та вивантаження гарбузового насіння.

Предмет дослідження – система керування змішувача столу для сушіння гарбузового насіння.

В процесі реалізації мети роботи необхідно вирішити такі завдання:

1. Здійснити загальну характеристику об'єкта проектування.
2. Розрахувати електропривод механізму переміщення змішувача столу для сушіння гарбузового насіння.
3. Перевірити коректність виконаних розрахунків шляхом комп'ютерного моделювання.
4. Розробити систему автоматизованого керування змішувача столу для сушіння гарбузового насіння.
5. Описати умови безпечної експлуатації розробленої системи.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ

1.1 Бізнес на гарбузах

«Гарбузове насіння – це суперзірка серед усіх насінинок» [1]. «Гарбуз – це аптека в мініатюрі» [2]. Статті із подібними заголовками часто трапляються на очі, якщо здійснювати інформаційний пошук у мережі Internet за цією темою. Чим же пояснюється такий ажіотаж навколо теми корисності гарбузового насіння та бізнесу з вирощування гарбуза?

«Суперзіркою» насіння гарбуза можна називати за ту користь, яку отримує організм людини при його споживанні [1–3]:

- 1) джерело рослинного білка, що особливо важливо для вегетаріанців;
- 2) джерело ненасичених жирів (омега 3, омега 6), які корисні для серцево судинної системи;
- 3) джерело мікроелементів (цинк, магній, залізо тощо), які важливі для імунної та нервової систем;
- 4) джерело корисних вітамінів та антиоксидантів;
- 5) джерело незамінних амінокислот (більше десяти);
- 6) покращує роботу системи травлення тощо.

Усе це робить гарбузове насіння не просто корисним продуктом, але і дороговартісним товаром. Таким чином тема вирощування гарбузів стає все більше і більше цікавою саме як бізнес, як для великих підприємств, так і для дрібних фермерів.

Для того, щоб гарбузове насіння стало товаром, який можна продавати його потрібно не лише виростити та зібрати, але і висушити до базового значення вологості (8-9%).

Слід зауважити, що в технології вирощування гарбуза найбільш трудомістким є процес збирання, який проходить в декілька етапів:

- 1) згортання дозрілих плодів гарбуза у валки за допомогою валкоутворювачів (рисунок 1.1) [4];



Рисунок 1.1 – Згортання гарбузів у валки

2) дозрівання плодів у валках (від 10 до 20 діб) [4];

3) збирання гарбузів за допомогою спеціалізованого комбайну (рисунок 1.2), який забезпечує відділення гарбузового насіння та подрібнення м'якоті гарбуза (рисунок 1.3) [4].



Рисунок 1.2 – Збирання гарбузів



Рисунок 1.3 – Приймальний бункер комбайна із відділеним насінням

Наступним технологічним етапом перетворення зібраного гарбузового насіння на товар є його сушіння.

1.2 Загальна характеристика сушарок гарбузового насіння

Для сушіння гарбузового насіння використовують спеціалізовані сушильні установки (камерні, тунельні, шахтні, конвеєрні тощо).

Найбільшого поширення набули такі типи сушарок:

- 1) конвеєрна сушарка;
- 2) сушильний стіл.

На конвеєрних сушарках (рисунок 1.4) сушіння продукту відбувається на рухомому перфорованому конвеєрі, який продувається потоком гарячого повітря (агенту сушіння) [5].

Швидкість стрічки конвеєрної сушарки регулюється в широких межах, що дозволяє сушити насіння з різною вхідною вологістю за один прохід.

Потоки гарячого та холодного повітря є розділеними, що дозволяє отримувати на виході висушене і охолоджене насіння.

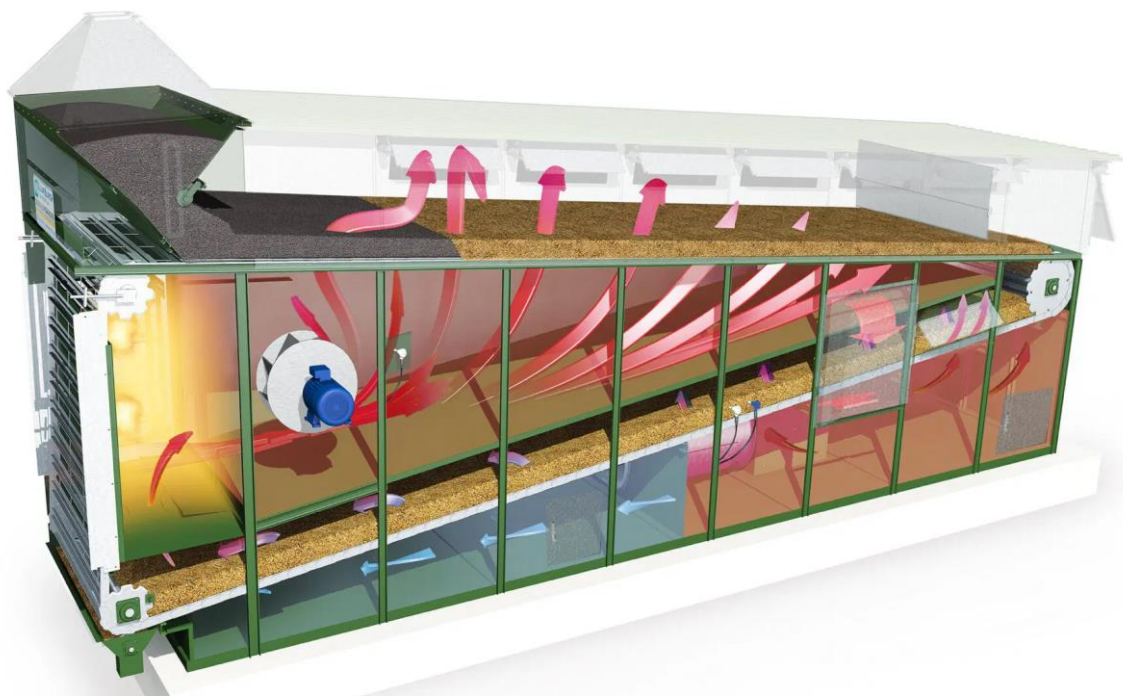


Рисунок 1.4 – Зовнішній вигляд конвеєрної сушарки

Сушильний стіл – відносно не дорога сушарка, яка працює в режимі порції і призначена для сушіння відносно невеликих обсягів гарбузового насіння [6]. Саме тому такі сушарки користуються особливою популярністю серед дрібних фермерів.

В фермерських господарствах зустрічаються сушильні столи як закордонного (австрійського, турецького тощо) та вітчизняного виробництва.

Слід зауважити, що багато фермерів виготовляють такі сушильні столи власними силами. Так, на рисунку 1.5 наведено зовнішній вигляд сушильного столу виготовленого власними силами в умовах фермерського господарства в с. Червона Поляна.

В Україні до 2022 року в промислових масштабах сушильні столи виробляли на ПрАТ «Каховський експериментальний машинобудівний завод» (рисунок 1.6), однак із початком повномасштабного вторгнення ця ніша на ринку України виявилась незанятою.



Рисунок 1.5 – Зовнішній вигляд сушильного столу виготовленого власними силами в умовах фермерського господарства



Рисунок 1.6 – Сушильний стіл виробництва ПрАТ «Каховський експериментальний машинобудівний завод»

1.3 Характеристика об'єкта проектування

Оскільки із початком повномасштабного вторгнення вітчизняних виробників, які б займались промисловим виробництвом сушильних столів майже не залишилось, а попит на них зростає, то на підприємстві ТОВ «Фенікс Технолоджи» [7] було поставлено задачу виготовити саме такий стіл. Конструкторський відділ підприємства спроектував модельний ряд таких столів довжиною 8, 12 та 16 метрів. Зовнішній вигляд столу СГ-12 показано на рисунку 1.7.



Рисунок 1.7 – Зовнішній вигляд столу для сушіння гарбузового насіння СГ-12 виробництва ТОВ «Фенікс Технолоджи»

Основними конструктивними елементами сушильного столу є: рама, робоче полотно, змішувач (каретка, комбайн). В якості теплогенератора можна використовувати будь-який промисловий паливник (газовий, дизельний, твердопаливний) з теплообмінником відповідної потужності та продуктивності.

Змішувач (каретка) є одним із найбільш важливих елементів столу (рисунок 1.8), яка забезпечує:

- 1) розрівнювання гарбузового насіння на площині столу;
- 2) перемішування гарбузового насіння в процесі сушіння;
- 3) вивантаження висушеного гарбузового насіння.



Рисунок 1.8 – Змішувач (каретка) сушильного столу

Основними механізмами змішувача є:

- 1) механізм переміщення змішувача;
- 2) механізм підйому/опускання щита (лопати);
- 3) механізм підйому/опускання шнеків;
- 4) механізм привода шнеків.

Стіл гарбузовий забезпечує сушіння в режимі порції в такій послідовності:

- 1) подача очищеного та за необхідності помитого насіння на робочу зону столу за допомогою транспортних механізмів;
- 2) рівномірне розподілення насіння по всій поверхні робочого полотна за допомогою щита (лопати) комбайна;
- 3) продування насіння потоком теплого повітря;
- 4) циклічне перемішування зерна в процесі сушіння за допомогою шнеків комбайна;
- 5) вивантаження висушеного насіння за допомогою щита комбайна.

Основні технічні характеристики модельного ряду сушильних столів виробництва ТОВ «Фенікс Технолоджи» наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні технічні характеристики модельного ряду сушильних столів виробництва ТОВ «Фенікс Технолоджи» (дані з рекламного буклету)

Характеристики	Значення		
	СГ-08	СГ-12	СГ-16
Довжина столу, м	8	12	16
Ширина столу, м	2		
Маса змішувача, кг	900		
Об'єм мокрого насіння для завантаження однієї порції, м ³	до 4	до 6	до 8
Кількість порцій на добу	3		
Продуктивність по мокрому насінню на добу, м ³	24	26	48
Діаметр отворів в решетах, мм	4		
Необхідна потужність теплогенератора, МВт	0,35	0,75	1

Важливим етапом проектування є розробка системи автоматизованого керування змішувача столу для сушіння гарбузового насіння.

Система керування повинна забезпечувати узгоджене керування механізмами змішувача в ручному та автоматичному режимах та передбачати захисти та блокування, які убезпечують оператора від травмування та механізми змішувача від пошкоджень.

1.4 Постановка задачі проектування

Для досягнення поставленої в роботі мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Розрахувати потужність приводного двигуна механізму переміщення змішувача.
2. На основі техніко-економічних показників обґрунтувати вибір системи електричного привода механізму переміщення змішувача.
3. Вибрати елементну базу елементи електричного привода механізму переміщення змішувача.
4. Перевірити коректність виконаних розрахунків шляхом комп'ютерного моделювання.
5. Розробити систему автоматизованого керування змішувача столу для сушіння гарбузового насіння.
6. Описати умови безпечної експлуатації розробленої системи.
7. Зробити загальні висновки.

2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНІЗМУ ПЕРЕМІЩЕННЯ ЗМІШУВАЧА

2.1 Технічні характеристики механізму переміщення змішувача

Механізм переміщення змішувача забезпечує переміщення каретки з усіма встановленими на ній механізмами вздовж столу над його робочою поверхнею (рисунок 2.1).

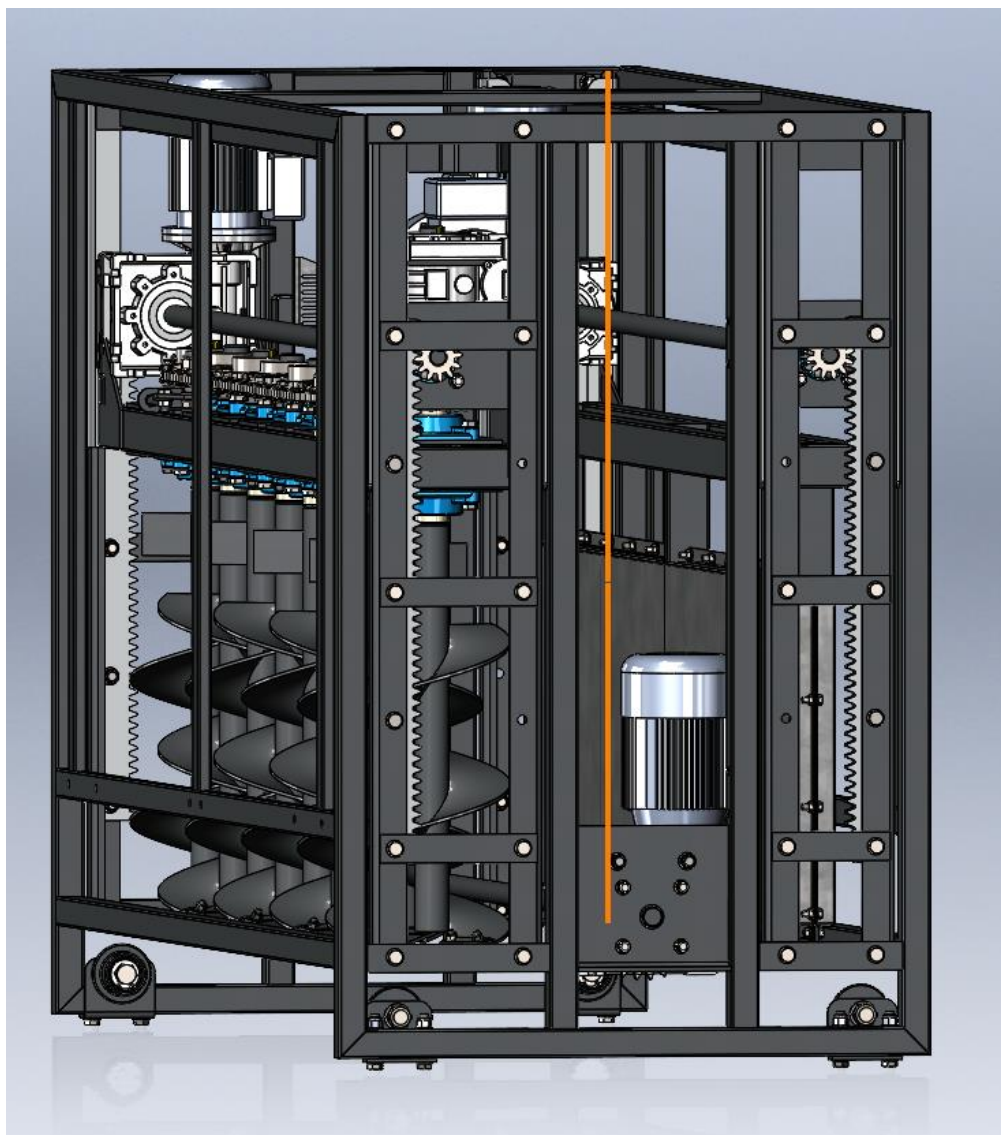


Рисунок 2.1 – Змішувач зі встановленими механізмами

Основні технічні характеристики змішувача наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні технічні характеристики змішувача

Параметри	Значення
Повна маса змішувача, кг	900
Номінальна швидкість переміщення змішувача, м/с	0,17
Кількість зубців приводної зірочки	30
Крок ланцюга, мм	19
Діаметр опорного ролика, м	0,06
Діаметр цапфи опорного ролика, м	0,025
Кількість опорних роликів, шт	4
Коефіцієнт тертя реборд опорних роликів	2
Передаточне число механічної передачі	50

Кінематична схема привода механізму переміщення змішувача зображена на рисунку 2.2.

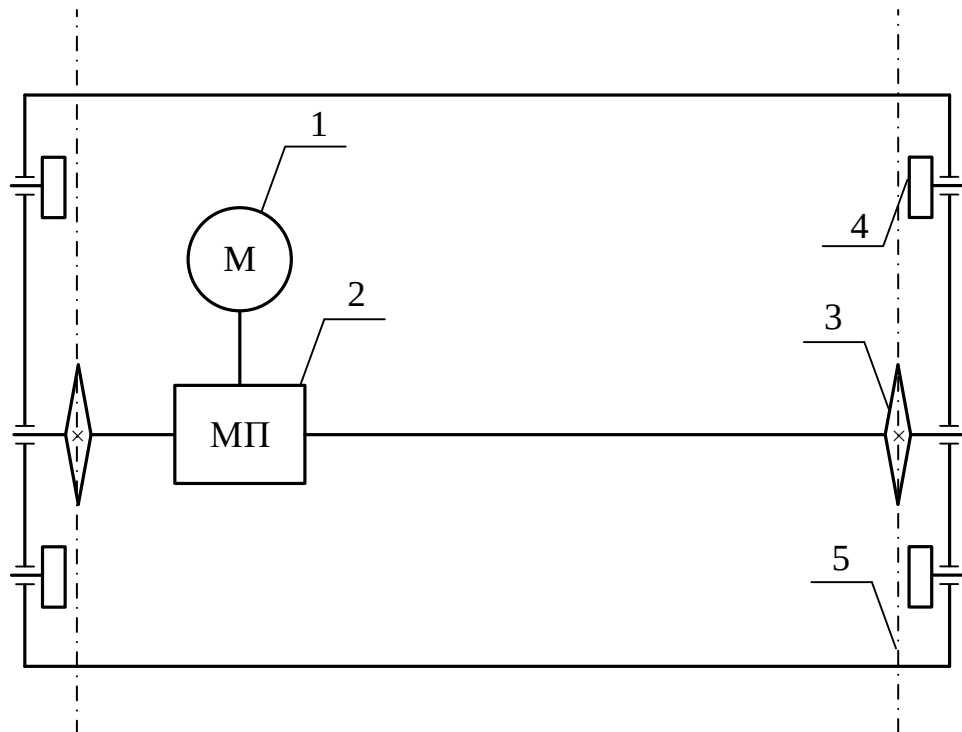


Рисунок 2.2 – Кінематична схема привода механізму переміщення змішувача

На рисунку 2.2: 1 – приводний двигун; 2 – механічна передачі; 3 – приводні зірочки; 4 – опорні ролики; 5 – ланцюг.

В найбільш інтенсивному режимі механізм переміщення змішувача працює при вивантаженні сушарки, при цьому мають місце як часті пуски, так і електричні гальмування та часті реверсування, період роботи на кожному інтервалі є різним. Робочий хід відбувається під навантаженням, а зворотний – без корисного моменту навантаження. Такий режим наближено можна віднести до S7 (переміжний із частими реверсами).

Обертний момент від приводного двигуна передається, через механічну передачі, на приводні зірочки, які входять в зачеплення з ланцюгом, що протягнутий вздовж робочого полотна (рисунок 2.3). З обох сторін сушарки ланцюги жорстко закріплені. При цьому вся вага змішувача тримається на чотирьох опорних роликах.

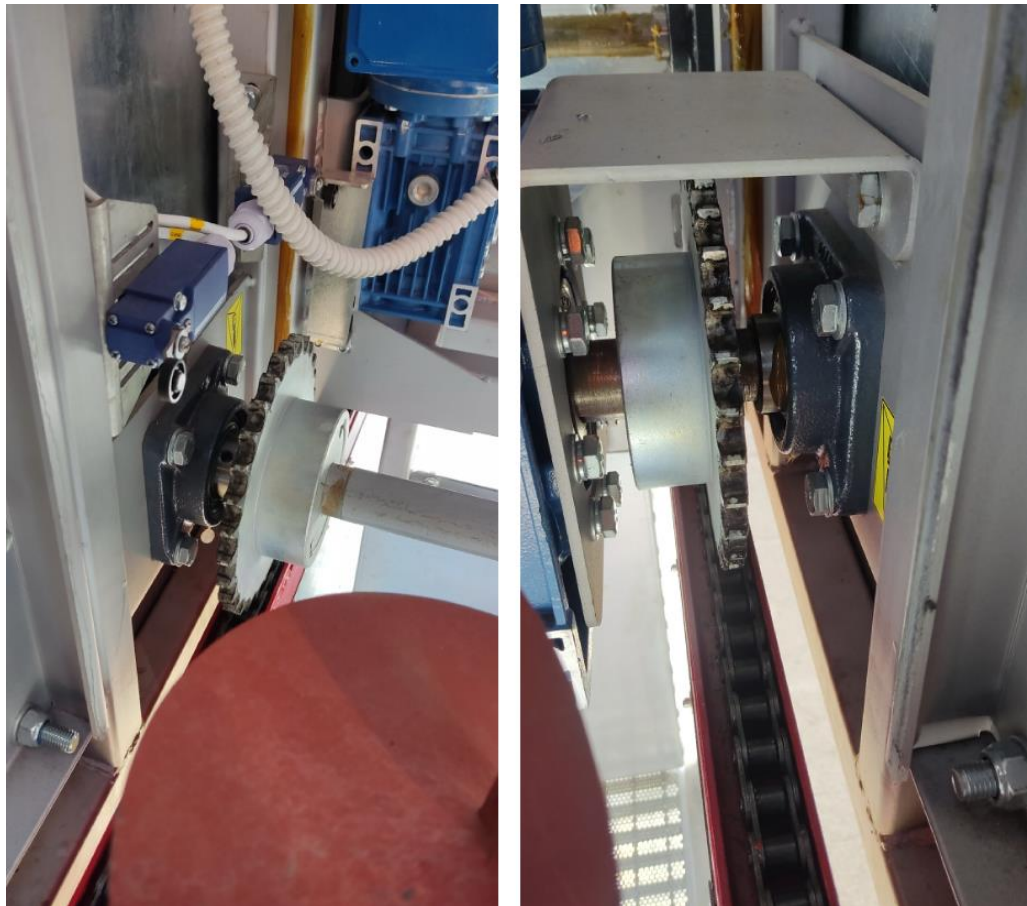


Рисунок 2.3 – Приводні зірочки

2.2 Попередній розрахунок потужності приводного двигуна

Ділильний діаметр приводної зірочки [8]:

$$d_z = \frac{t}{\sin\left(\frac{180^\circ}{Z}\right)}, \quad (2.1)$$

де t – крок ланцюга ($t = 19$ мм);

Z – кількість зубців приводної зірочки ($Z = 30$),

$$d_z = \frac{19}{\sin\left(\frac{180^\circ}{30}\right)} = 181,8 \text{ (мм)} \approx 0,1818 \text{ (м)}.$$

Кутова швидкість приводної зірочки:

$$\omega_z = \frac{2V}{d_z}, \quad (2.2)$$

де V – номінальна швидкість переміщення змішувача ($V = 0,17$ м/с),

$$\omega_z = \frac{0,17}{0,1818} = 1,87 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

Швидкість обертання приводної зірочки:

$$n_z = \frac{30 \cdot \omega_z}{\pi}, \quad (2.3)$$

$$n_z = \frac{30 \cdot 1,87}{\pi} = 17,86 \text{ (об/хв)}.$$

Розрахункова кутова швидкість приводного двигуна при номінальній швидкості транспортування:

$$\omega_{\text{роз}} = \omega_z \cdot i_{\text{мп}}, \quad (2.4)$$

де $i_{\text{мп}}$ – передаточне число механічної передачі ($i_{\text{мп}} = 50$),

$$\omega_{\text{роз}} = 1,87 \cdot 50 = 93,5 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

Розрахункова швидкість обертання приводного двигуна при номінальній швидкості транспортування:

$$n_{\text{роз}} = \frac{30 \cdot \omega_{\text{роз}}}{\pi}, \quad (2.5)$$

$$n_{\text{роз}} = \frac{30 \cdot 93,5}{\pi} = 893,1 \text{ (об/хв)}.$$

Сила опору рухові при транспортуванні змішувача з піднятими шнеками:

$$F_{C_0} = m_0 \cdot g \cdot k_{\text{рб}} \cdot \frac{(\mu \cdot d_{\text{ц}} + 2 \cdot f)}{D_{\text{рол}}}, \quad (2.6)$$

де m_0 – маса змішувача ($m_0 = 900$ кг);

$k_{\text{рб}}$ – коефіцієнт тертя реборд опорних роликів об направляючі ($k_{\text{рб}} = 2,5$);

$d_{\text{ц}}$ – діаметр цапфи опорного ролика ($d_{\text{ц}} = 0,025$ м);

μ – коефіцієнт тертя ковзання ($\mu = 0,005$);

f – коефіцієнт тертя кочення ($f = 0,0005$ м);

$D_{\text{рол}}$ – діаметр опорного ролика ($D_{\text{рол}} = 0,06$ м),

$$F_{C_0} = 900 \cdot 9,81 \cdot 2,5 \cdot \frac{(0,005 \cdot 0,025 + 2 \cdot 0,0005)}{0,06} = 331,1 \text{ (Н)}.$$

Результуюче зусилля при транспортуванні змішувача з опущеними шнеками, які забезпечують перемішування вологого гарбузового насіння з товщиною шару 0,5 м приймемо рівним:

$$F_{C_H} = 10 \cdot F_{C_0}, \quad (2.7)$$

$$F_{C_H} = 10 \cdot 331,1 = 3311 \text{ (Н)}.$$

Відповідне значення моменту статичного опору:

$$M_{C_H} = \frac{F_{C_H} \cdot d_z}{2 \cdot i_{\text{мп}} \cdot \eta_{\text{мп}}}, \quad (2.8)$$

де $\eta_{мп}$ – ККД механічної передачі ($\eta_{мп} = 0,65$),

$$M_{сн} = \frac{3311 \cdot 0,1818}{2 \cdot 50 \cdot 0,65} = 9,3 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Потужність приводного двигуна приводу змішувача:

$$P_{роз} = k_3 \cdot M_{сн} \cdot \omega_{роз}, \quad (2.9)$$

де k_3 – коефіцієнт запасу ($k_3 = 1,1 \div 1,3$),

$$P_{роз} = (1,1 \dots 1,3) \cdot 9,3 \cdot 93,5 = 0,95 \dots 1,13 \text{ (кВт)}.$$

Порівнюючи розрахунковий діапазон потужності із стандартним рядом потужностей стає очевидним, що для привода механізму переміщення змішувача доцільно попередньо вибрати двигун з номінальною потужністю 1,1 кВт.

2.3 Техніко-економічне обґрунтування вибору систем електропривода нагнітаючого вентилятора сушарки

Електропривод механізму переміщення змішувача сушильного столу повинен забезпечувати діапазон регулювання швидкості $D = 5:1$.

Зазначений діапазон регулювання швидкості можуть забезпечити такі системи електричного привода:

- частотно-регульований електропривод асинхронний двигун з КЗ ротором (ПЧ-АД).
- електропривод постійного струму з тиристорним регулюванням напруги (ТП-ДПС);
- електропривод постійного струму з широтно-імпульсним регулюванням напруги (ШП-ДПС).

При порівнянні можливих варіантів вирішення будь-якого завдання кращим, за інших рівних умов, вважається варіант, який передбачає мінімум приведених витрат [9, 10]:

$$З = E_n \cdot K + C, \quad (2.10)$$

де E_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень (приймається 0,17 для всіх галузей промисловості), 1/рік;

K – капітальні вкладення, грн;

C – загальні щорічні відрахування, які враховуються у собівартості продукції, грн/рік.

Капітальні вкладення [9, 10]:

$$K = D + CK, \quad (2.11)$$

де D – вартість приводного двигуна ($D = 6480$ грн [11]);

CK – вартість системи керування ($CK = 15398$ грн [12]).

Проведемо розрахунки для системи ПЧ-АД.

$$K = 6480 + 15398 = 21878 \text{ (грн)}.$$

Річні капітальні витрати [9, 10]:

$$K_{\text{річні}} = E_n \cdot K, \quad (2.12)$$

$$K_{\text{річні}} = 0,17 \cdot 21878 = 3719,26 \text{ (грн/рік)}.$$

Загальні додаткові відрахування [9, 10]:

$$C = C_A + C_P + C_D + C_O, \quad (2.13)$$

де C_A – амортизаційні відрахування, грн/рік;

C_P – відрахування на ремонт, грн/рік;

C_D – додаткові відрахування, грн/рік;

C_O – відрахування на обслуговування, грн/рік.

Величина амортизаційних відрахувань в середньому приймається 10% від капітальних вкладень [9, 10]:

$$C_A = 0,1 \cdot K, \quad (2.14)$$

$$C_A = 0,1 \cdot 21878 = 2187,8 \text{ (грн/рік)}.$$

Відрахування на ремонт електрообладнання приймають в розрахунку 2% від капітальних вкладень [9, 10]:

$$C_p = 0,02 \cdot K, \quad (2.15)$$

$$C_p = 0,02 \cdot 21878 = 437,56 \text{ (грн/рік)}.$$

Додаткові відрахування, які враховують втрати енергії системі електричного привода у стаціонарних та перехідних режимах роботи за рік:

$$C_d = C_{d1} + C_{d2}, \quad (2.16)$$

де C_{d1} – додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в двигуні за рік, грн/рік;

C_{d2} – додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в системі керування за рік, грн/рік.

Додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в двигуні за рік [9, 10]:

$$C_{d1} = \Delta W_{\Sigma \text{дв}} \cdot c, \quad (2.17)$$

де $\Delta W_{\Sigma \text{дв}}$ – сумарні втрати енергії в двигуні у стаціонарних та перехідних режимах роботи за рік, (кВт·год)/рік;

c – вартість одного кіловата електроенергії для не побутових споживачів ($c = 9,31 \text{ грн/(кВт·год)}$).

Сумарні втрати енергії в двигуні у стаціонарних та перехідних режимах роботи за рік [9, 10]:

$$\Delta W_{\Sigma \text{дв}} = (\Delta P_{\text{ном}} + \Delta P_{\text{перех.}}) \cdot k_3 \cdot \Phi, \quad (2.18)$$

де $\Delta P_{\text{ном}}$ – втрати потужності в двигуні в номінальному режимі роботи, кВт;

$\Delta P_{\text{перех.}}$ – додаткові втрати потужності в двигуні у перехідних режимах роботи, кВт;

k_3 – коефіцієнт завантаження по потужності (приймають рівним 0,8);

Φ – дійсний фонд часу роботи системи електричного привода за рік, год/рік.

Втрати потужності в двигуні в номінальному режимі роботи [9, 10]:

$$\Delta P_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} \cdot \frac{1 - \eta_{\text{ном}}}{\eta_{\text{ном}}}, \quad (2.19)$$

де $P_{\text{ном}}$ – номінальна потужність електричного двигуна ($P_{\text{ном}} = 1,1$ кВт);

$\eta_{\text{ном}}$ – номінальний ККД двигуна ($\eta_{\text{ном}} = 0,76$),

$$\Delta P_{\text{ном}} = 1,1 \cdot \frac{1 - 0,76}{0,76} = 0,347 \text{ (кВт)}.$$

Додаткові втрати потужності в двигуні у перехідних режимах роботи приймають рівними 10% від номінальних [9, 10]:

$$\Delta P_{\text{перех.}} = 0,1 \cdot \Delta P_{\text{ном}}, \quad (2.20)$$

$$\Delta P_{\text{перех.}} = 0,1 \cdot 0,347 = 0,0347 \text{ (кВт)}.$$

Дійсний фонд часу роботи електричного привода за рік [9, 10]:

$$\Phi = \varepsilon \cdot Z_{\text{р.д.}} \cdot Z_{\text{р.з.}} \cdot t_{\text{р.з.}}, \quad (2.21)$$

де ε – відносна тривалість ввімкнення (прийmemo $\varepsilon \approx 0,3$);

$Z_{\text{р.д.}}$ – кількість робочих днів за рік ($Z_{\text{р.д.}} = 60$ 1/рік);

$Z_{\text{р.з.}}$ – кількість робочих змін ($Z_{\text{р.з.}} = 2$);

$t_{\text{р.з.}}$ – тривалість робочої зміни ($t_{\text{р.з.}} = 12$ год),

$$\Phi = 0,3 \cdot 60 \cdot 2 \cdot 12 = 288 \text{ (год/рік)}.$$

Сумарні втрати енергії в двигуні у стаціонарних та перехідних режимах роботи згідно формули (2.18):

$$\Delta W_{\Sigma \text{дв}} = (0,347 + 0,0347) \cdot 0,8 \cdot 288 = 88 \text{ ((кВт} \cdot \text{год)/рік)}.$$

Додаткові відрахування згідно формули (2.17):

$$C_{\text{д1}} = 88 \cdot 9,31 = 819,62 \text{ (грн/рік)}.$$

Додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в системі керування за рік [9, 10]:

$$C_{Д2} = \Delta W_{\Sigma \text{ск}} \cdot c, \quad (2.22)$$

де $\Delta W_{\text{ск}}$ – кількість втраченої електроенергії в системі керування за рік, (кВт·год)/рік.

Втрати енергії в системі керування за рік:

$$\Delta W_{\Sigma \text{ск}} = \Delta P_{\text{ск}} \cdot k_3 \cdot \Phi, \quad (2.23)$$

де $\Delta P_{\text{ск}}$ – втрати потужності в системі керування, кВт.

Втрати потужності в системі керування [9, 10]:

$$\Delta P_{\text{ск}} = P_{\text{сп}} \cdot \frac{1 - \eta_{\text{пп}}}{\eta_{\text{пп}}}, \quad (2.24)$$

де $P_{\text{пп}}$ – номінальна потужність перетворюючого пристрою ($P_{\text{пп}} = 1,5$ кВт);

$\eta_{\text{пп}}$ – номінальний ККД перетворюючого пристрою ($\eta_{\text{пп}} = 0,98$),

$$\Delta P_{\text{ск}} = 1,5 \cdot \frac{1 - 0,98}{0,98} = 0,031 \text{ (кВт)}.$$

Втрати потужності в системі керування згідно формули (2.23):

$$\Delta W_{\Sigma \text{ск}} = 0,031 \cdot 0,8 \cdot 288 = 7,1 \text{ ((кВт·год)/рік)}.$$

Додаткові відрахування згідно формули (2.22):

$$C_{Д2} = 7,1 \cdot 9,31 = 65,66 \text{ (грн/рік)}.$$

Додаткові відрахування згідно формули (2.16):

$$C_{Д} = 819,62 + 65,66 = 885,29 \text{ (грн/рік)}.$$

Відрахування на обслуговування електрообладнання приймають рівним 5% від суми відрахувань на амортизацію, ремонт та додаткових витрат [9, 10]:

$$C_{О} = 0,05 \cdot (C_{А} + C_{Р} + C_{Д}), \quad (2.25)$$

$$C_{О} = 0,05 \cdot (2187,8 + 437,56 + 885,29) = 175,53 \text{ (грн/рік)}.$$

Загальні додаткові відрахування згідно формули (2.13):

$$C = 2187,8 + 437,56 + 885,29 + 175,53 = 3686,18 \text{ (грн/рік)}.$$

Приведені витрати згідно формули (2.10):

$$З = 0,17 \cdot 3719,26 + 3686,18 = 7405,44 \text{ (грн/рік)}.$$

Для інших систем електричного привода проведемо аналогічні розрахунки, результати розрахунків зведемо в порівняльну таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Порівняльна таблиця

Показники	Системи електричного привода		
	ШП-ДПС	ТП-ДПС	ПЧ-АД
Вартість двигуна Д, грн	16200	16200	6480
Вартість системи керування СК, грн	12318,4	13858,2	15398
Капітальні вкладення К, грн	28518,4	30058,2	21878
Річні капітальні витрати $K_{річн}$, грн/рік	4848,13	5109,89	3719,26
Амортизаційні відрахування C_A , грн/рік	2851,84	3005,82	2187,80
Відрахування на ремонт C_R , грн/рік	570,37	601,16	437,56
Додаткові відрахування C_D , грн/рік	988,97	988,97	885,29
Відрахування на обслуговування C_O , грн/рік	220,56	229,80	175,53
Загальні відрахування С, грн/рік	4631,74	4825,75	3686,18
Приведені витрати З, грн/рік	9479,86	9935,64	7405,44

Згідно результатів проведених розрахунків впливає, що найбільш економічно вигідним є використання системи електропривода типу ПЧ-АД. Приведені витрати для даного варіанту є найменшими і становлять 7405,44 грн/рік.

2.4 Вибір приводного двигуна

Базова умова вибору приводного двигуна [9, 10]:

$$\begin{cases} P_{\text{дв.н}} \geq P_{\text{роз}}, \\ n_{\text{дв.н}} \geq n_{\text{роз}}, \end{cases} \quad (2.26)$$

де $P_{\text{дв.н}}$ – номінальна потужність приводного двигуна, кВт;

$P_{\text{роз}}$ – розрахункова потужність приводного двигуна, кВт;

$\omega_{\text{дв.н}}$ – номінальна кутова швидкість приводного двигуна, с^{-1} ;

$\omega_{\text{роз}}$ – розрахункова кутова швидкість, с^{-1} ,

$$\begin{cases} P_{\text{дв.н}} \geq 0,95 \dots 1,13 \text{ (кВт)}, \\ n_{\text{дв.н}} \geq 893,1 \text{ (об/хв)}. \end{cases}$$

Таким чином для привода механізму переміщення змішувача стола для сушіння гарбузового насіння виберемо АД з КЗ ротором. Технічні характеристики вибраного двигуна наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики приводного [13]

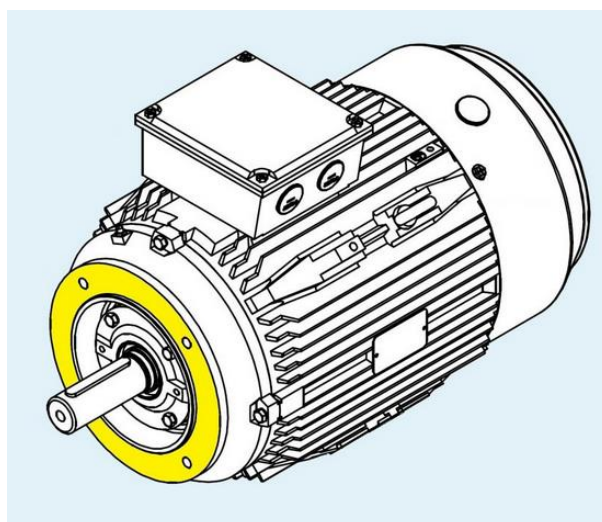
Параметри двигуна	Значення	
Виробник	PROMOTOR	
Тип	MS 90L-6	
Частота напруги мережі живлення f_1 , Гц	50	60
Номінальна потужність $P_{\text{дв.н}}$, кВт	1,1	1,32
Номінальна швидкість обертання $n_{\text{дв.н}}$, об/хв	910	1090
Номінальна напруга мережі живлення $U_{\text{дв.н}}$, В	230/400	265/460
Схеми з'єднань обмоток	Y/ Δ	Y/ Δ
Номінальний струм статора $I_{\text{дв.н}}$, А	5,22/3,0	
Клас ізоляції	F	
Число пар полюсів p	3	
Клас енергоефективності	IE1	
Коефіцієнт корисної дії $\eta_{\text{дв.н}}$, %	76%	
Коефіцієнт потужності $\cos\varphi_n$	0,75	

Продовження таблиці 2.3

Параметри двигуна	Значення
Кратність пускового струму $\lambda_{\text{п}}$	5,0
Кратність пускового моменту $\lambda_{\text{п}}$	2,0
Кратність критичного моменту $\lambda_{\text{к}}$	2,2
Момент інерції ротора $J_{\text{рот}}$	0,0046 кг·м ²
Діаметр вала, мм	24
Ступінь захисту	IP55
Спосіб монтажу (DIN)	B14 (з малим фланцем) (IM3681)
Маса, кг	14,2



Рисунок 2.4 –Паспорт приводного двигуна

Рисунок 2.5 –Конструктивне виконання приводного двигуна
з малим фланцем типу B14

Синхронна кутова швидкість приводного двигуна [9]:

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f_1}{p}, \quad (2.27)$$

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot 50}{3} = 104,72 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

Номінальна кутова швидкість обертання [9]:

$$\omega_{\text{дв.н}} = \frac{2\pi \cdot n_{\text{дв.н}}}{60}, \quad (2.28)$$

$$\omega_{\text{дв.н}} = \frac{2\pi \cdot 910}{60} = 95,29 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

Номінальний момент приводного двигуна [9]:

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв.н}}}{\omega_{\text{дв.н}}}, \quad (2.29)$$

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{1100}{95,29} = 11,5 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Китичний момент приводного двигуна [9]:

$$M_{\text{дв.к}} = M_{\text{дв.н}} \cdot \lambda_{\text{к}}, \quad (2.30)$$

$$M_{\text{дв.к}} = 11,5 \cdot 2,2 = 25,3 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Пусковий момент приводного двигуна [9]:

$$M_{\text{дв.п}} = M_{\text{дв.н}} \cdot \lambda_{\text{п}}, \quad (2.31)$$

$$M_{\text{дв.п}} = 11,5 \cdot 2,0 = 23 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Пусковий струм приводного двигуна [9]:

$$I_{\text{дв.п}} = I_{\text{дв.н}} \cdot \lambda_{\text{п}}, \quad (2.32)$$

$$I_{\text{дв.п}} = 3 \cdot 5 = 15 \text{ (А)}.$$

Номінальне ковзання [9]:

$$s_H = \frac{\omega_0 - \omega_{дв.н}}{\omega_0}, \quad (2.33)$$

$$s_H = \frac{104,72 - 95,29}{104,72} = 0,09.$$

Критичне ковзання [9]:

$$s_K = s_H \cdot (\lambda_K + \sqrt{\lambda_K^2 - 1}), \quad (2.34)$$

$$s_K = 0,09 \cdot (2,2 + \sqrt{2,2^2 - 1}) = 0,374.$$

Побудуємо природну механічну характеристику приводного двигуна використовуючи формули Клоса та Чекунова.

Механічна характеристика згідно формули Клосса [9]:

$$M(s) = \frac{2 \cdot M_{дв.к} \cdot (1 + a \cdot s_K)}{\frac{s}{s_K} + 2 \cdot a \cdot s_K + \frac{s_K}{s}}, \quad (2.35)$$

де a – розрахунковий коефіцієнт [9, 14],

$$a = \frac{R_1}{R'_2}, \quad (2.36)$$

де R_1 – активний опір обмотки статора;

R_2 – приведений активний опір обмотки ротора.

Оскільки опори обмоток статора та ротора приводного двигуна не дано в його паспортних даних, то розрахуємо їх значення наближено.

Механічні втрати приймають рівними 1...5% від номінальної потужності [9, 10]:

$$P_{дв.мех} = 0,05 \cdot P_{дв.н}, \quad (2.37)$$

$$P_{дв.мех} = 0,05 \cdot 1100 = 55 \text{ (Вт)}.$$

Розрахунковий активний опір ротора приведений до статора [9, 10]:

$$R'_2 = \frac{1}{3} \cdot \frac{P_{\text{дв.н}} + P_{\text{дв.мех}}}{I_{\text{дв.н}}^2 \cdot \frac{1-s_{\text{н}}}{s_{\text{н}}}}, \quad (2.38)$$

$$R'_2 = \frac{1}{3} \cdot \frac{1100 + 55}{3^2 \cdot \frac{1-0,09}{0,09}} = 4,231 \text{ (Ом)}.$$

Розрахунковий активний опір статора [9, 10]:

$$R_1 = \frac{U_{\text{ф.ном}} \cdot \cos\varphi_{\text{ном}} \cdot (1 - \eta_{\text{дв.н}})}{I_{\text{дв.н}}} - C^2 \cdot R'_2 - \frac{P_{\text{дв.мех}}}{3 \cdot I_{\text{дв.н}}^2}, \quad (2.39)$$

де C – розрахунковий коефіцієнт ($C = 1,021$).

$$R_1 = \frac{230 \cdot 0,7 \cdot (1 - 0,76)}{3} - 1,036^2 \cdot 4,231 - \frac{55}{3 \cdot 3^2} = 6,355 \text{ (Ом)}.$$

Відповідно до формули (2.36):

$$a = \frac{6,355}{4,231} = 1,502.$$

Вираз для побудови механічної характеристики згідно формули Клоса (2.35):

$$M(s) = \frac{2 \cdot 25,3 \cdot (1 + 1,502 \cdot 0,374)}{\frac{s}{0,374} + 2 \cdot 1,502 \cdot 0,374 + \frac{0,374}{s}}.$$

Механічна характеристика згідно формули Чекунова [9]:

$$M(s) = M_{\text{к}} \cdot \frac{2 + (s^2 - s_{\text{к}}^2) \cdot K_{\text{с}}}{\frac{s}{s_{\text{к}}} + \frac{s_{\text{к}}}{s}}, \quad (2.40)$$

де $K_{\text{с}}$ – розрахунковий коефіцієнт [9],

$$K_s = \frac{\frac{\lambda_{\text{пуск}}}{\lambda_k} \cdot \left(\frac{1}{s_k} + s_k \right) - 2}{1 - s_k^2}, \quad (2.41)$$

$$K_s = \frac{\frac{2,0}{2,2} \cdot \left(\frac{1}{0,374} + 0,374 \right) - 2}{1 - 0,374^2} = 0,894.$$

Вираз, який описує залежність швидкості обертання двигуна від ковзання має вигляд [9]:

$$\omega(s) = \omega_0 \cdot (1 - s). \quad (2.42)$$

На рисунку 2.6 представлено природні механічні характеристики АД з КЗ ротором побудовані за формулами Клоса (1) та Чекунова (2).

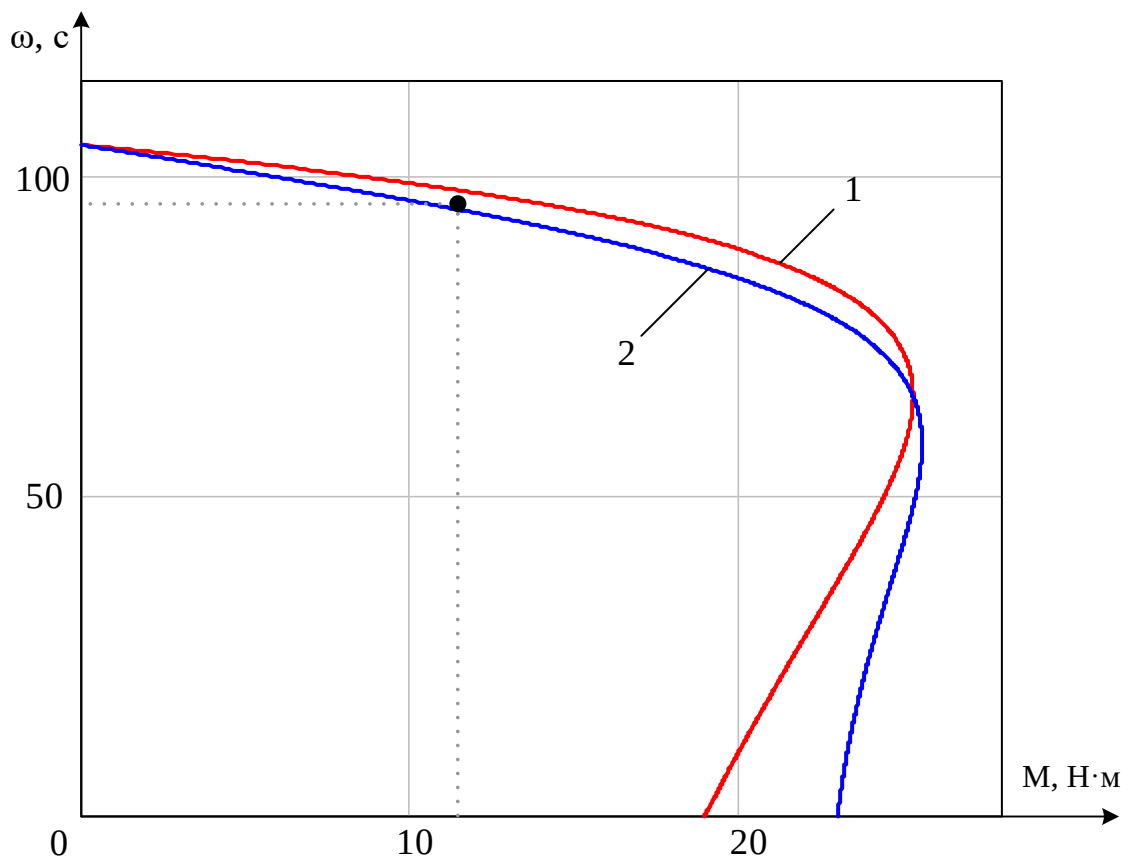


Рисунок 2.6 – Природні механічні характеристики приводного двигуна:

1 – згідно формули Клоса;

2 – згідно формули Чекунова

2.5 Моделювання роботи приводного двигуна

Промодельюємо роботу приводного двигуна механізму переміщення змішувача в ППП Matlab. Відповідна модуль зображена на рисунку 2.7.

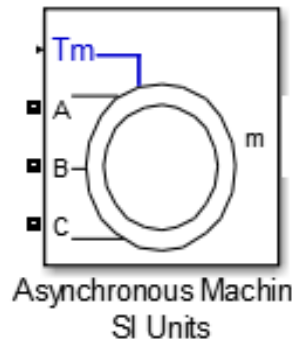


Рисунок 2.7 – Модель АД в Matlab

Для налаштування моделі необхідно розрахувати такі параметри АД:

– приведена індуктивність розсіювання статора і ротора [12]:

$$L'_c = L'_p = \frac{U_{\phi.н}}{4 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot (1 + C^2) \cdot \lambda_{I.п} \cdot I_{дв.н}}, \quad (2.43)$$

$$L'_c = L'_p = \frac{230}{4 \cdot \pi \cdot 50 \cdot (1 + 1,036^2) \cdot 5 \cdot 3} = 0,011819 \text{ (Гн)};$$

– індуктивність статора [12]:

$$L_c = \frac{U_{\phi.н}}{2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot I_{дв.н} \sqrt{1 - \cos^2 \phi} - \frac{2}{3} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot M_{дв.к}}{p_1 \cdot U_{\phi.н}} \cdot \frac{s_н}{s_k}}, \quad (2.44)$$

$$L_c = \frac{230}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 3 \cdot \sqrt{1 - 0,7^2} - \frac{2}{3} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 25,3}{3 \cdot 230} \cdot \frac{0,09}{0,374}} = 0,3441 \text{ (Гн)};$$

– індуктивність кола намагнічування [12]:

$$L_m = L_c - L'_c, \quad (2.45)$$

$$L_m = 0,3441 - 0,011819 = 0,33224 \text{ (Гн)}.$$

Схема в Simulink для моделювання АД зображена на рисунку 2.8.

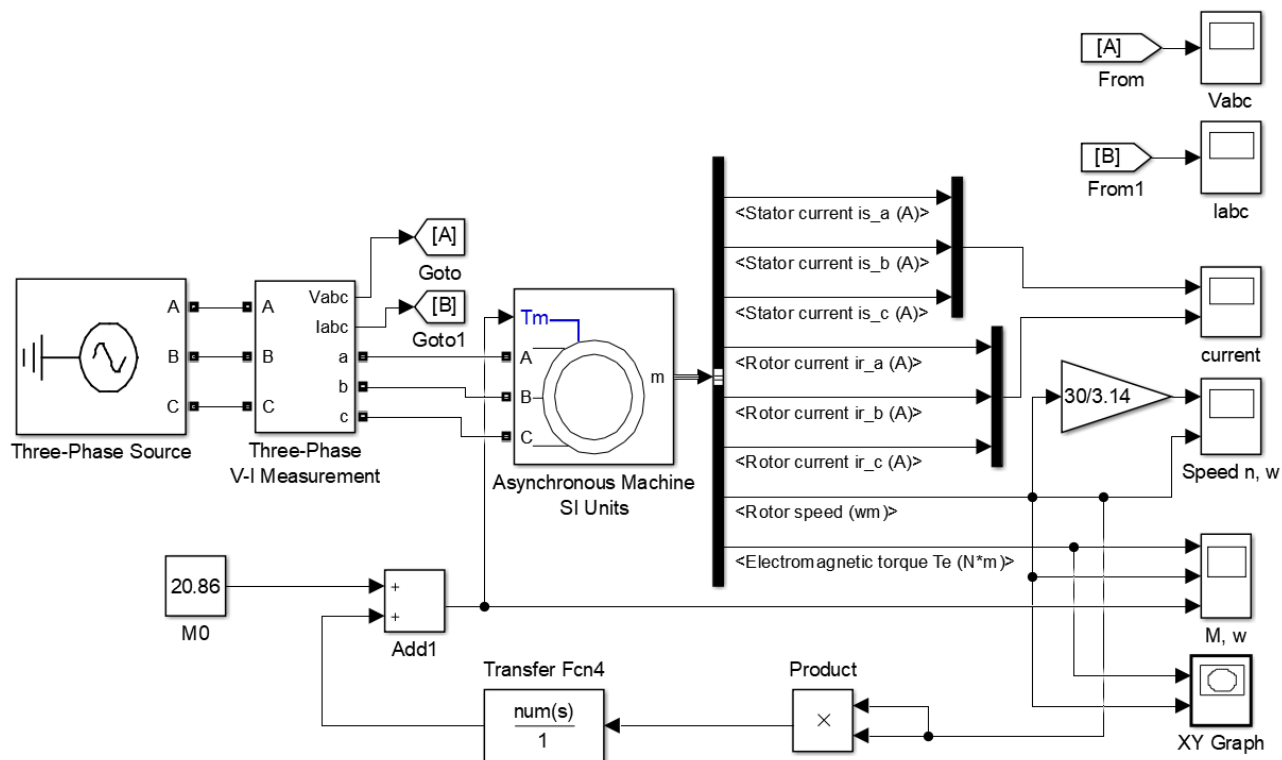


Рисунок 2.8 – Модель АД в Simulink

Вікно налаштування параметрів моделі АД зображені на рисунку 2.9.

Block Parameters: Asynchronous Machine SI Units

Asynchronous Machine (mask) (link)

Implements a three-phase asynchronous machine (wound rotor, squirrel cage or double squirrel cage) modeled in a selectable dq reference frame (rotor, stator, or synchronous). Stator and rotor windings are connected in wye to an internal neutral point.

Configuration Parameters Advanced Load Flow

Nominal power, voltage (line-line), and frequency [Pn(VA), Vn(Vrms), fn(Hz)]:

[1100 400 50]

Stator resistance and inductance [Rs(ohm) Lls(H)]:

[6.355 0.011819]

Rotor resistance and inductance [Rr'(ohm) Llr'(H)]:

[4.231 0.011819]

Mutual inductance Lm (H):

0.33224

Inertia, friction factor, pole pairs [J(kg.m^2) F(N.m.s) p()]:

[0.073 0.0005 3]

Initial conditions

[1,0 0,0,0 0,0,0]

☐ Simulate saturation Plot

[i(Arms) ; v(VLL rms)]: 03.1917;230, 322, 414, 460, 506, 552, 598, 644, 690]

OK Cancel Help Apply

Рисунок 2.9 – Налаштування параметрів моделі АД

Результати моделювання зображені на рисунку 2.10.

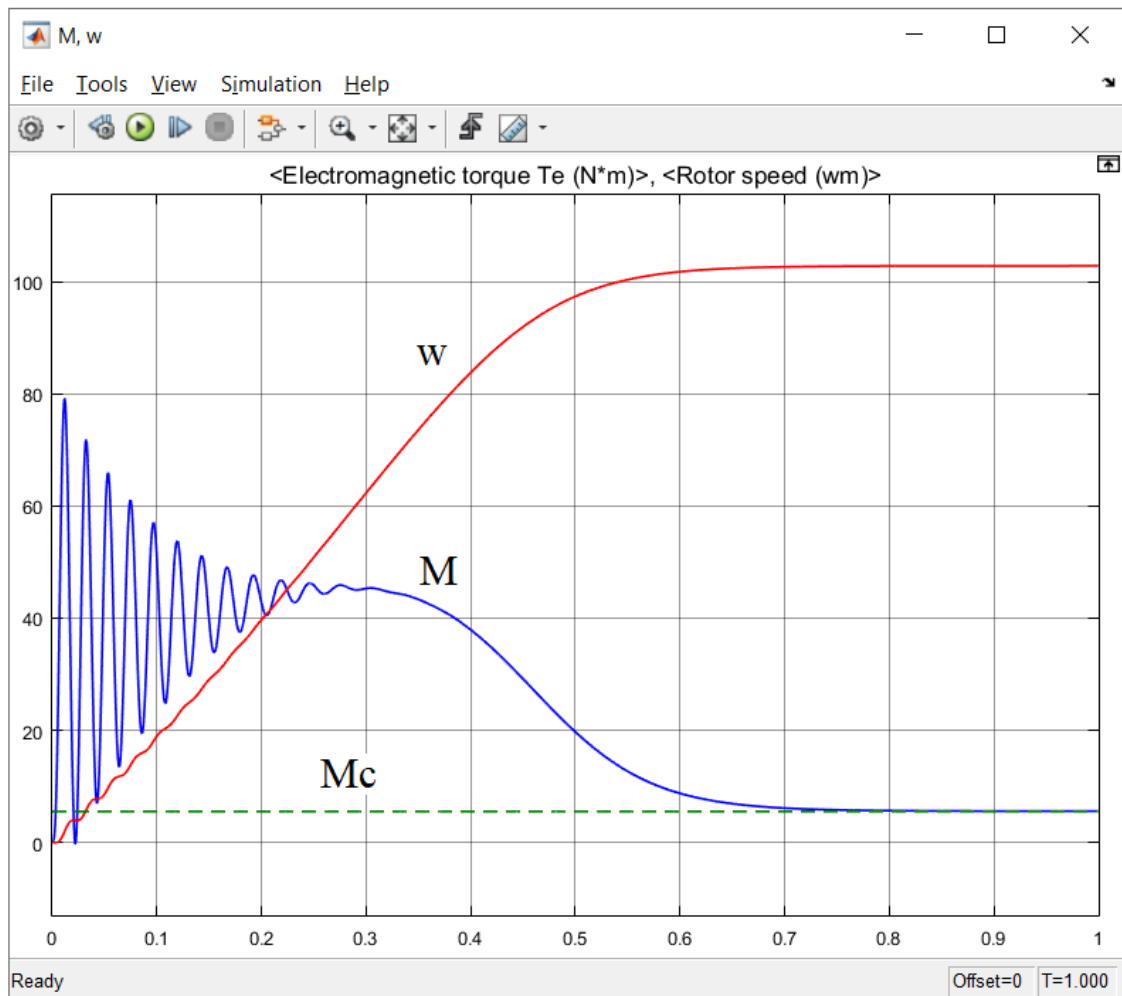


Рисунок 2.10 – Перехідні процеси зміни моменту та швидкості АД при прямому пуску

2.6 Вибір силового перетворювача

Для живлення приводного двигуна механізму переміщення змішувача виберемо перетворювач частоти згідно умов [9, 10]:

$$\begin{cases} P_{\text{ПЧ}} \geq P_{\text{дв.сп}}, \\ I_{\text{ПЧ}} \geq I_{\text{дв.н}}, \end{cases} \quad (2.46)$$

де $P_{\text{дв.сп}}$ – споживана електродвигуном потужність в номінальному усталеному режимі, кВт;

$I_{\text{дв.ном}}$ – номінальний струм приводного двигуна, А.

Споживана електродвигуном потужність в номінальному режимі [9, 10]:

$$P_{\text{дв.сп}} = \frac{k \cdot P_{\text{дв.н}}}{\eta_{\text{дв.н}}}, \quad (2.44)$$

де k – коефіцієнт спотворення струму на виході перетворювача частоти ($k = 0,95 \dots 1,05$),

$$P_{\text{дв.сп}} = \frac{1 \cdot 1,1}{0,76} = 1,45 \text{ (кВт)}.$$

Згідно умов (2.46):

$$\begin{cases} P_{\text{ПЧ}} \geq 1,45 \text{ (кВт)}, \\ I_{\text{ПЧ}} \geq 3,0 \text{ (А)}. \end{cases}$$

Отже, для живлення приводного двигуна механізму переміщення змішувача виберемо перетворювач частоти фірми Schneider Electric типу ATV320C.

Зовнішній вигляд вибраного перетворювача частоти зображено на рисунку 2.11, а технічні характеристики наведено в таблиці 2.4.



Рисунок 2.11 – Зовнішній вигляд о перетворювача частоти
Schneider Electric типу ATV320C

Таблиця 2.4– Технічні характеристики перетворювача частоти [15]

Характеристики	Значення
Бренд	Schneider Electric
Серія	Altivar Machine ATV320
sku	ATV320U15N4C
Потужність	1.5 кВт (важкий режим роботи)
Номінальна напруга живлення	380..500 В -15...10%
Частота мережі живлення	50...60 Гц
Максимальний вхідний струм	6,4 А
Номінальний вихідний струм	4,1 А
Короткочасне перевищення моменту	170...200 % від номінального моменту двигуна
Число дискретних входів	7
Тип дискретного входу	STO, 24VDC DI1... DI6, 24VDC DI5 програмується як імпульсний вхід: 0...30 кГц
Логіка дискретних входів	Позитивна логіка (джерело) Негативна логіка (приймач)
Кількість дискретних виходів	3
Кількість аналогових входів	3
Тип аналогового входу	AI1: 0...10VDC, 10 біт AI2: +/- 10VDC, 10 біт AI3: 0-20 мА (4-20 мА), 10 біт
Кількість аналогових виходів	1
Тип аналогового виходу	AQ1: 0...20 мА, 10 біт AQ1: 0...10VDC, 10 біт
Кількість релейних виходів	2
Можлива робота у 4 квадрантах	Так
Скалярний режим керування U / f	є
Скалярний режим керування U / f^2	є
Векторний режим керування з енкодером	є
Векторний режим керування без енкодера	є
Контур регулювання	ПІД-регулятор

Продовження таблиці 2.4

Характеристики	Значення
Тип захисту	Обриви вхідної фази: привод Перевантаження по струму між вихідн. фазами та землею: привод Захист від перегріву: привод Коротке замикання між фазами двигуна: привод Тепловий захист: привод
Протокол порту обміну даними	Modbus послідовний CANopen
Електромагнітний фільтр	Вбудований фільтр ЕМС класу С2
Ступінь захисту	IP 20
Робоча температура повітря	-10...50 °С без зниження номінальних характеристик 50...60 °С з коефіцієнтом зниження
Температура навколишнього повітря для зберігання (транспортування)	-25...70 °С

Рекомендовані схеми підключення ПЧ наведені на рисунку 2.12 та рисунку 2.13.

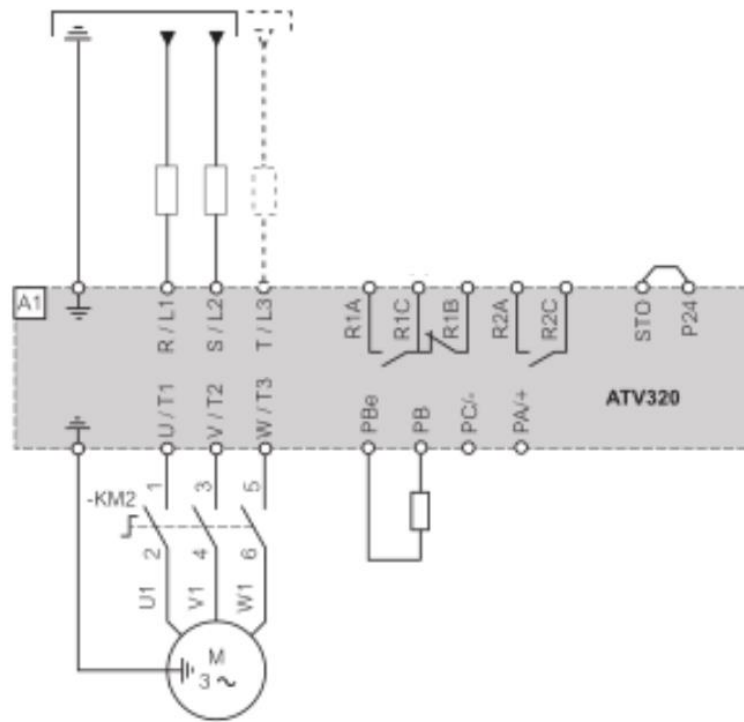


Рисунок 2.12 – Схема підключення (силові кола) [15]

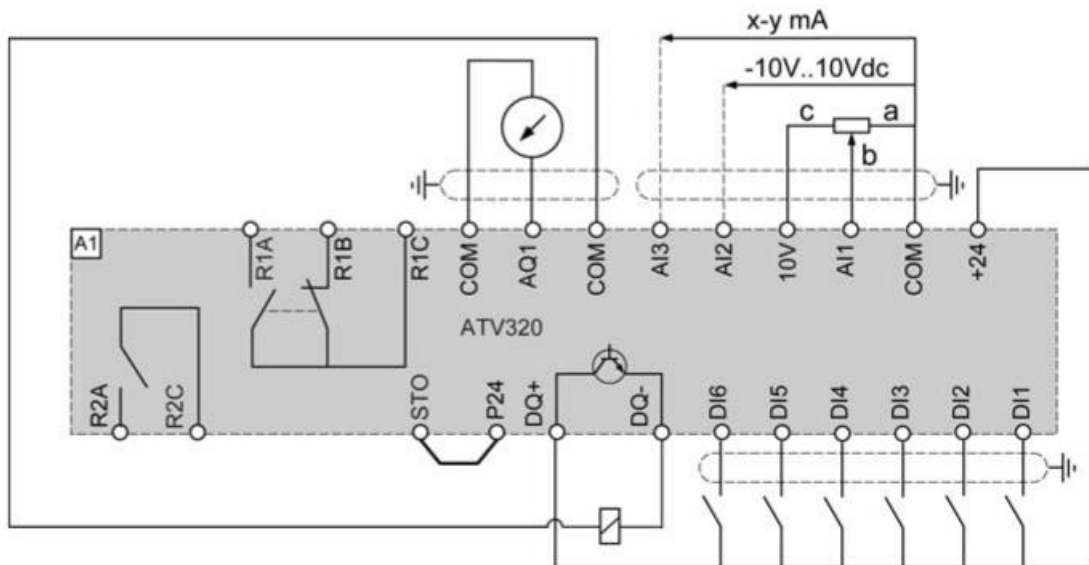


Рисунок 2.13 – Схема підключення (кола керування) [15]

Висновок: Базуючись на результатах проведених розрахунків визначено, що для привода механізму переміщення змішувача необхідно вибрати приводний двигун з номінальною потужністю 1,1 кВт.

Згідно результатів ТЕО найбільш економічно вигідним для привода механізму переміщення змішувача є використання системи ПЧ-АД, оскільки приведені витрати для даного варіанту є найменшими і становлять 7405,44 грн/рік.

Вибрано основну елементну базу привода механізму переміщення змішувача:

1) приводний двигун – асинхронний двигун з КЗ ротором потужністю 1,1 кВт типу MS 90L-6;

2) перетворювач частоти типу ATV320C, модель ATV320U15N4C потужністю 1,5 кВт.

Коректність виконаних розрахунків перевірено комп'ютерним моделюванням в Matlab.

3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЗМІШУВАЧА

3.1 Розробка функціональної схеми

Система керування змішувача (комбайна) столу для сушіння гарбузового насіння повинна забезпечувати узгоджене керування механізмами змішувача та містити захисні блокування, які убезпечують обладнання від пошкодження та обслуговуючий персонал від травмування.

Система керування повинна передбачати три режими роботи:

- ручне керування з панелі шафи керування;
- ручне керування з пульта дистанційного керування;
- автоматичний режим роботи.

Відповідна функціональна схема зображена на рисунку 3.1.

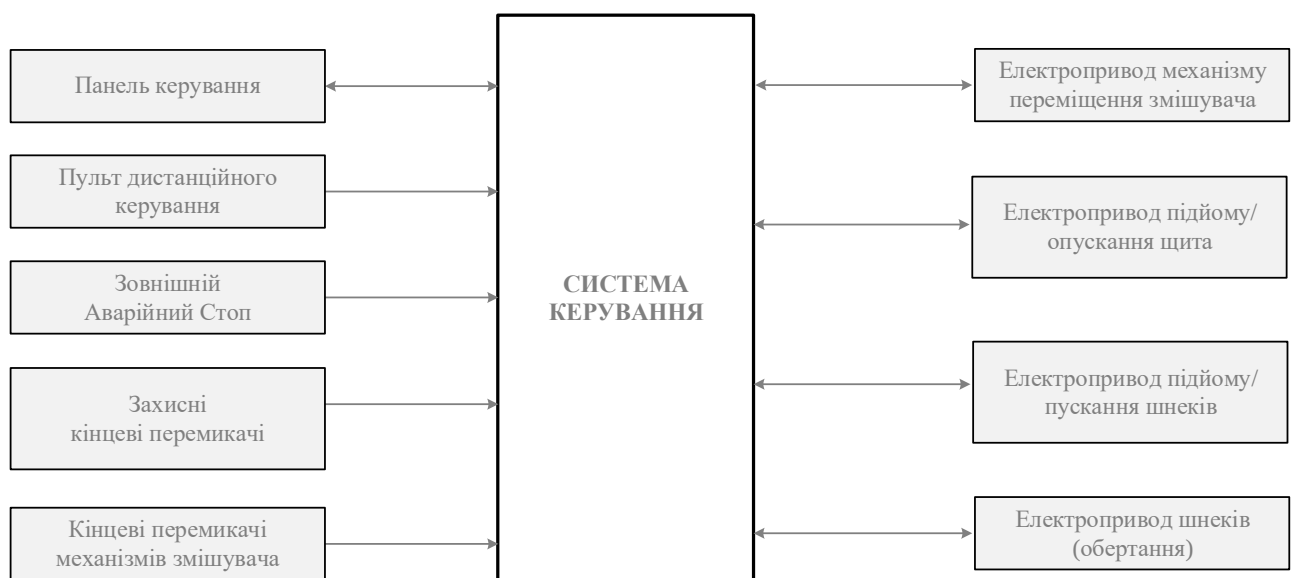


Рисунок 3.1 – Схема функціональна системи керування змішувача

3.2 Розробка панелі керування

Панель керування повинна містити такі основні елементи: сигнальну арматуру; кнопку АВАРІЙНИЙ СТОП; кнопку для попереджувальної звукової сигналізації; органи керування механізмами змішувача; перемикач режимів роботи; таймер для задавання інтервалу роботи (рисунок 3.2).

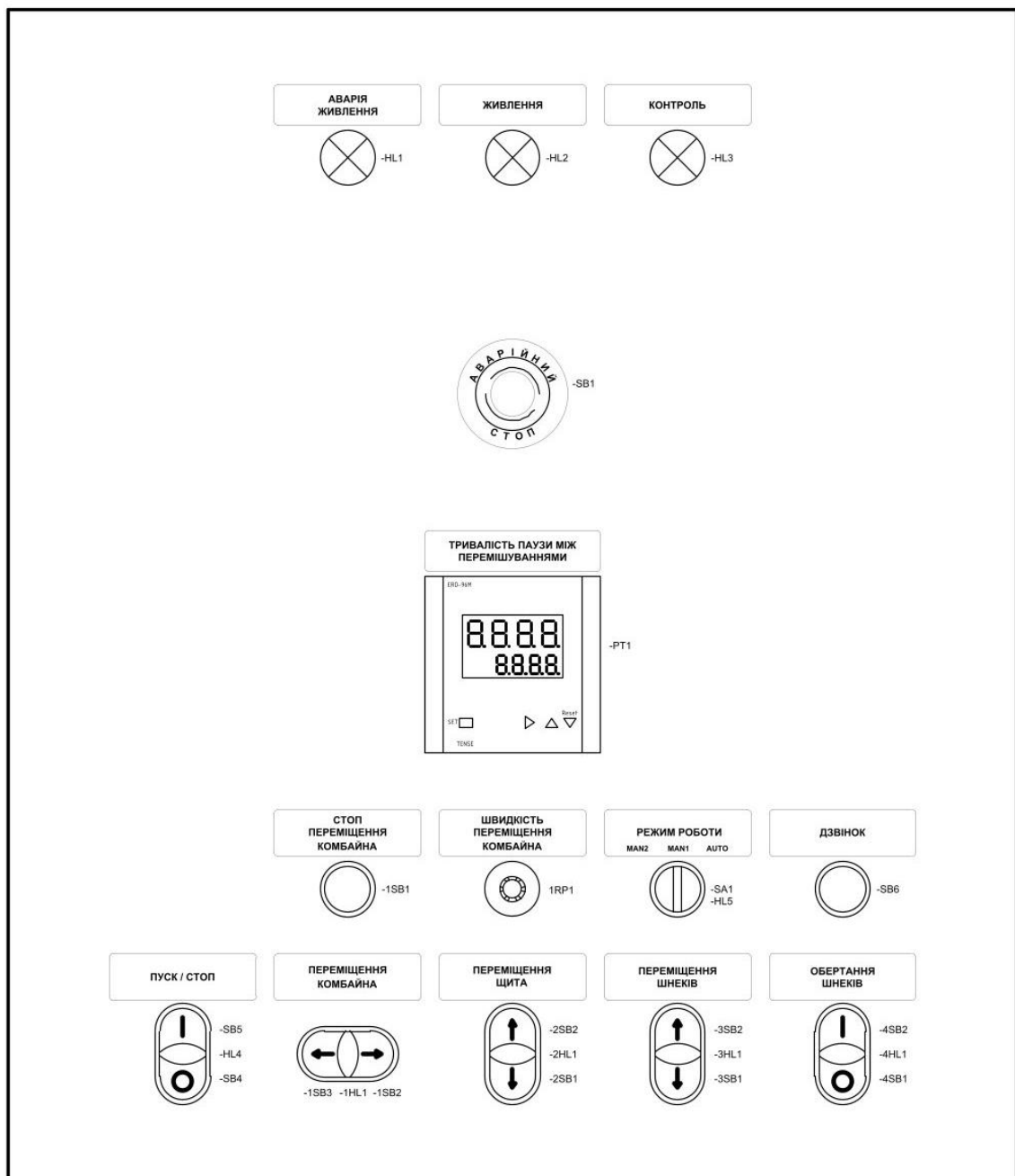


Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд панелі керування

3.3 Вибір елементної бази

3.3.1 Вибір таймера

Для задавання інтервалу часу між перемішуваннями виберемо електронний цифровий універсальний багатофункціональний таймер TENSE ERD-96M (рисунок 3.6), який дозволяє вибрати один із восьми режимів роботи, дозволяє в широких межах задавати частові інтервали та містить дискретні входи та релейні виходи для інтегрування його в систему керування.



Рисунок 3.3 – Таймер TENSE ERD-96M

Технічні характеристики таймера TENSE ERD-96M наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики таймера [16]

Найменування	Значення
Модель	ERD-96M
Напруга живлення	100...240VAC, 50-60Hz
Споживана потужність	< 8VA
Температура експлуатації	-20°C...55°C
Висота експлуатації	< 2000m
Дисплей	2x4 цифровий 7-сегментний дисплей
База часу	99:59 годин; 99:59 хвилин; 599,9 секунд
Режими	Можливість вибору 8 різних режимів
Входи	START / RESET / GATE 3x230 VAC (0:0-50VAC, 1:150-240VAC)
Виходи	Out1, Out2; 2xRelay (NO-O-NC), 250VAC, 2A, резистивне навантаження
Виконання	щитовий
Габаритні розміри	96x96

Схема підключення таймера зображена на рисунку 3.4.

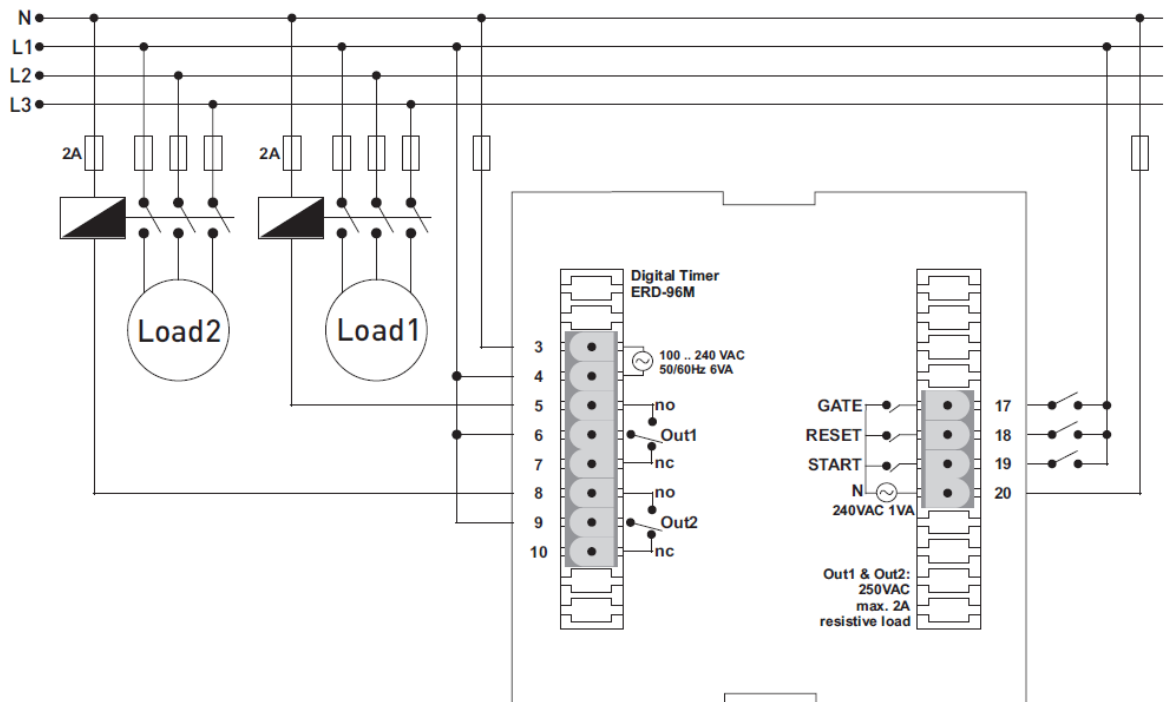
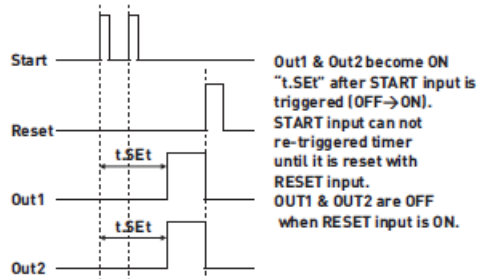


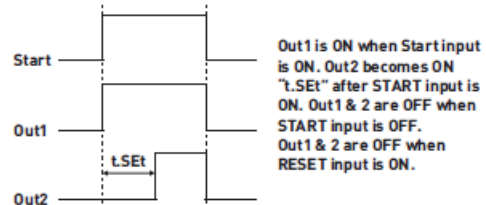
Рисунок 3.4 – Схема підключення TENSE ERD-96M [16]

Таймер може працювати у восьми режимах роботи (рисунок 3.5).

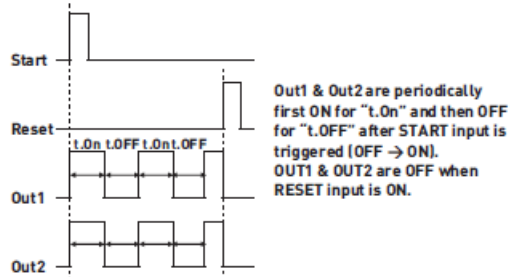
Mode: 0; Pulsed Delay, OFF with RESET



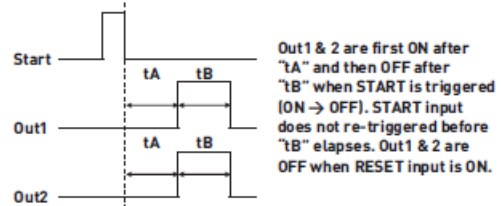
Mode: 4; Follow & ON Delay



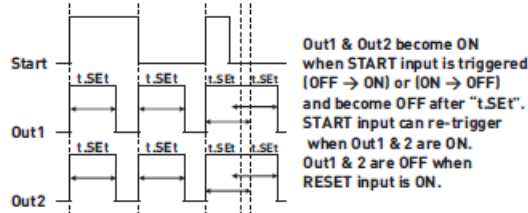
Mode: 1; Flashing with START/RESET



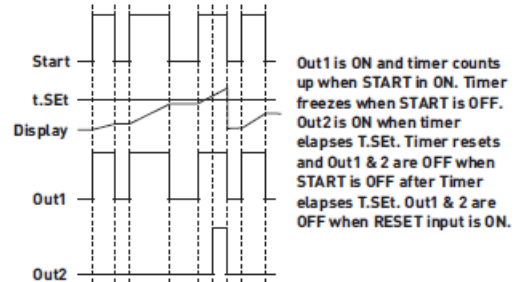
Mode: 5; Delayed One Shot after OFF



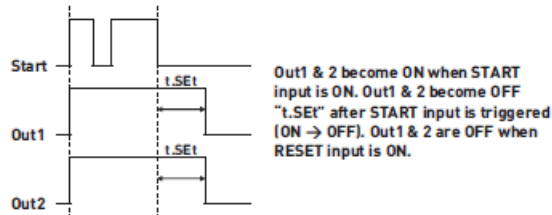
Mode: 2; One Shot after ON and OFF



Mode: 6; Chronometer - Count with START



Mode: 3; OFF Delay



Mode: 7; Chronometer - Count with START, Reset with RESET

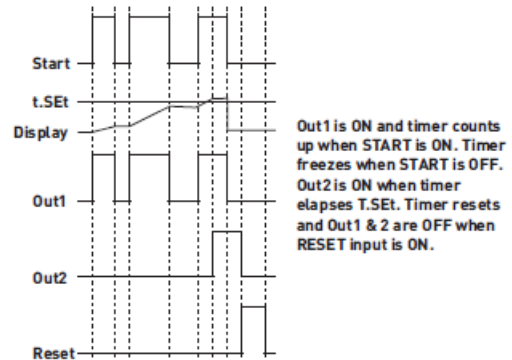


Рисунок 3.5 – Режими роботи TENSE ERD-96M [16]

3.3.2 Вибір кінцевих вимикачів

Розміщення кінцевих вимикачів наведено на рисунку 3.6:

1) SQ1, SQ2 – аварійні кінцеві вимикачі;

2) 2SQ1, 2SQ2 – кінцеві вимикачі для відслідковування верхнього та нижнього положення щита відповідно;

3) 3SQ1, 3SQ2 – кінцеві вимикачі для відслідковування верхнього та нижнього положення шнеків відповідно;

4) 1SQ1-1SQ4 – кінцеві вимикачі для відслідковування положення змішувача.

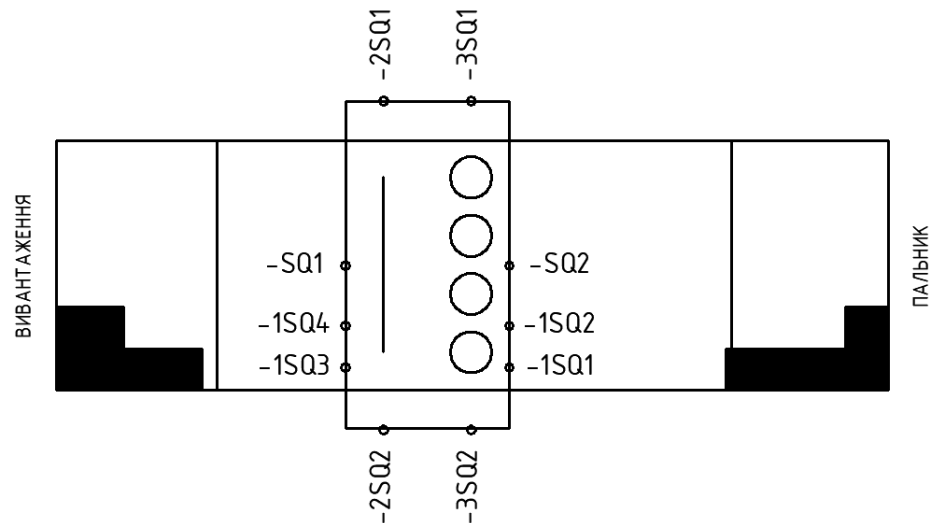


Рисунок 3.6 – Розміщення кінцевих вимикачів

В якості аварійних кінцевих вимикачів (SQ1, SQ2) виберемо плунжерні кінцеві вимикачі, модель ХСКН2110Р20 (рисунок 3.7).

Технічні характеристики плунжерного кінцевого вимикача ХСКН2110Р20 наведені в таблиці 3.2.

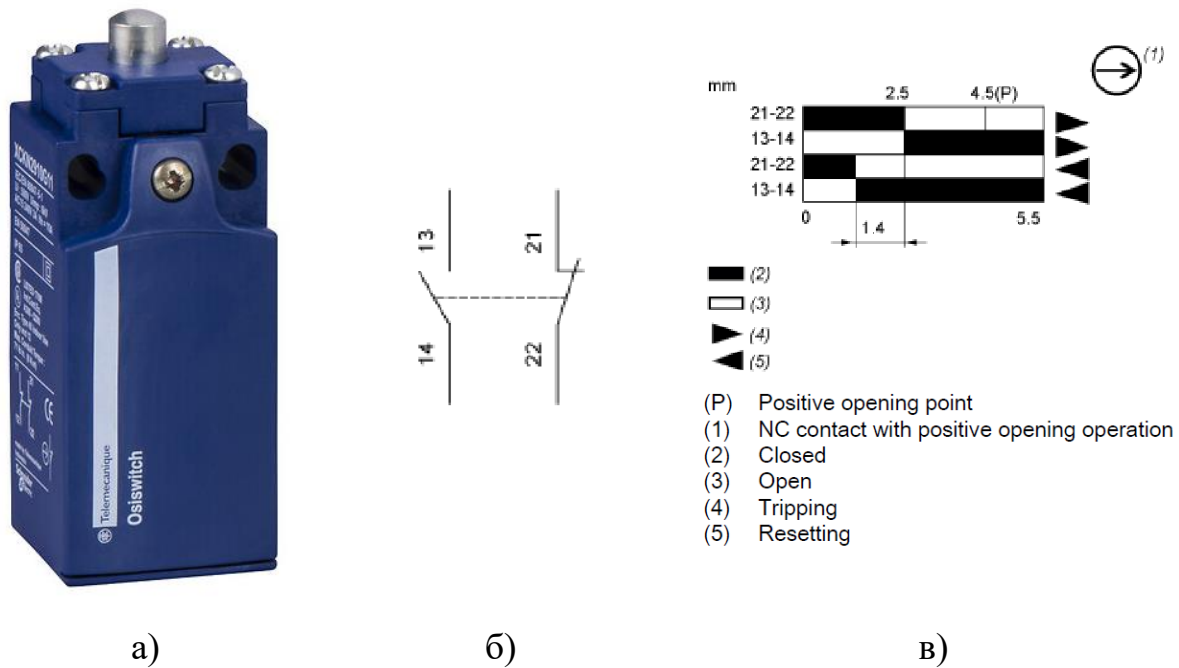


Рисунок 3.7 – Кінцевий вимикач типу XCKN2110P20:

- а) зовнішній вигляд;
 б) електричні контакти;
 в) діаграма роботи

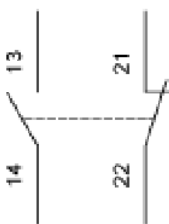
Таблиця 3.2 – Технічні характеристики кінцевого вимикача [17]

Найменування	Значення
Виробник	TELEMECANIQUE SENSORS
Позначення виробника	XCKN2110P20
Тип актуатора	плунжерний із пружинним поверненням
Тип контактів	1NC+1NO
Робота контактів	миттєва дія
Комутована напруга	max. 240 В AC max. 250 В DC
Навантажувальна здатність контактів (при омічному навантаженні)	3 А / 240 В AC 0,1 А / 250 В DC
Механічний ресурс	10000000 циклів
Ступінь захисту	IP65
Робоча температура	-25...+70°C

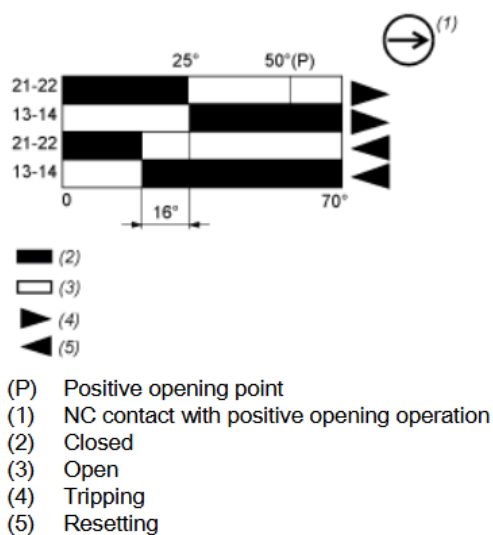
Для відслідковування крайніх положень переміщень щита, шнеків та самого змішувача виберемо роликові кінцеві перемикачі, модель ХСКН2118Р20 (рисунок 3.8).



а)



б)



в)

Рисунок 3.8 – Кінцевий вимикач типу ХСКН2118Р20:

- а) зовнішній вигляд;
- б) електричні контакти;
- в) діаграма роботи

Технічні характеристики плунжерного кінцевого вимикача ХСКН2118Р20 наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики кінцевого вимикача [18]

Найменування	Значення
Виробник	TELEMECANIQUE SENSORS
Позначення виробника	XCKN2118P20
Тип актуатора	важіль з роликом із пружинним поверненням
Тип контактів	1NC+1NO
Робота контактів	миттєва дія
Приведення в дію	кулачок на 30°
Комутована напруга	max. 240 В AC max. 250 В DC
Навантажувальна здатність контактів (при омічному навантаженні)	3 А / 240 В AC 0,1 А / 250 В DC
Механічний ресурс	10000000 циклів
Ступінь захисту	IP65
Робоча температура	-25...+70°C

3.3.3 Вибір пульта дистанційного керування

В якості пульта дистанційного керування виберемо пульт на радіокеруванні типу Telecrane F21-E2M (рисунок 3.9). Його технічні характеристики наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики пульта керування [19]

Найменування	Значення
Модель	Telecrane F21-E2M
Напруга живлення приймальної станції	220VAC±20%
Живлення передавача	3VDC (2 батарейки AA)
Кількість кнопок	6 одномісних 1 запуску 1 аварійної зупинки
Радіус дії	100м
Робоча температура	-35...+85°C



Рисунок 3.9 – Зовнішній вигляд пульта Telecrane F21-E2M та приймальної станції

Схема підключення приймальної станції зображена на рисунку 3.10.

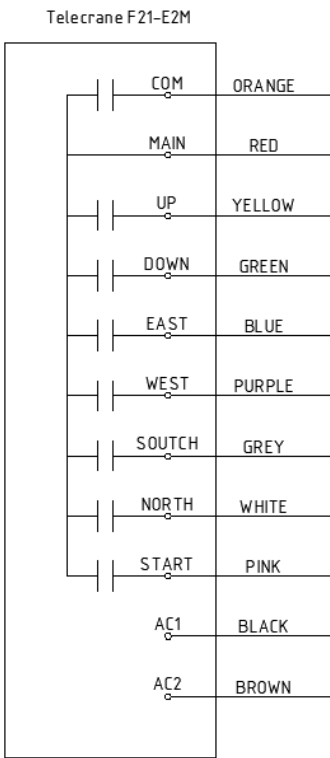


Рисунок 3.10 – Схема підключення приймальної станції Telecrane F21-E2M

3.4 Розробка електричної схеми

Згідно рекомендацій замовника система автоматизованого керування змішувача (комбайна) реалізована на релейно-контакторній елементній базі. Для реалізації системи керування використано елементну базу таких виробників:

- 1) Etimat;
- 2) Schneider Electric;
- 3) Telemecanique Sensors;
- 4) Tense;
- 5) Eaton;
- 6) Mean Well.

Для живлення приводного двигуна механізму переміщення змішувача використовується перетворювач частоти (рисунок 3.11), а для живлення приводних двигунів щита та шнеків – типова реверсивна схема (рисунок 3.12).

З метою безпеки обслуговуючого персоналу кола керування виконані на напругу постійного струму 24 В.

З метою захисту обладнання від пошкодження передбачено ряд захисних блокувань:

- блокування переміщення змішувача, якщо шнеки не в крайньому верхньому положенні і не обертаються;
- блокування опускання шнеків, якщо змішувач знаходиться в крайньому положенні зі сторони пальника;
- блокування опускання щита, якщо змішувач знаходиться в крайньому положенні зі сторони вивантаження;
- блокування активації автоматичного режиму роботи, якщо шнеки або щит знаходяться не в крайніх верхніх положеннях.

Фрагменти кіл керування зображені на рисунках 3.13-3.15.

В повному обсязі електрична принципова схема наведена в додатку Б.

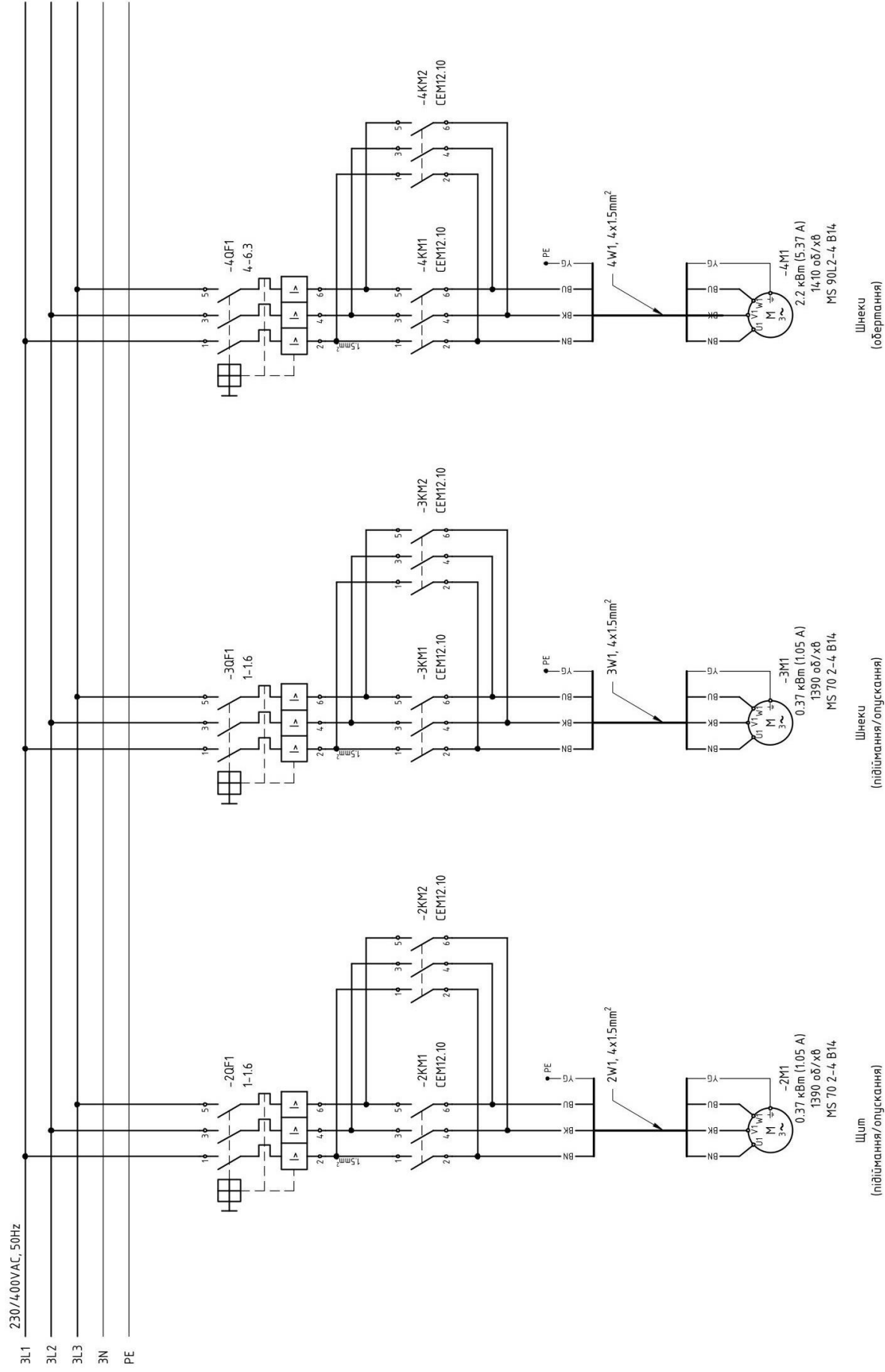


Рисунок 3.12 – Силові кола. Привод щита та шнеків змішувача

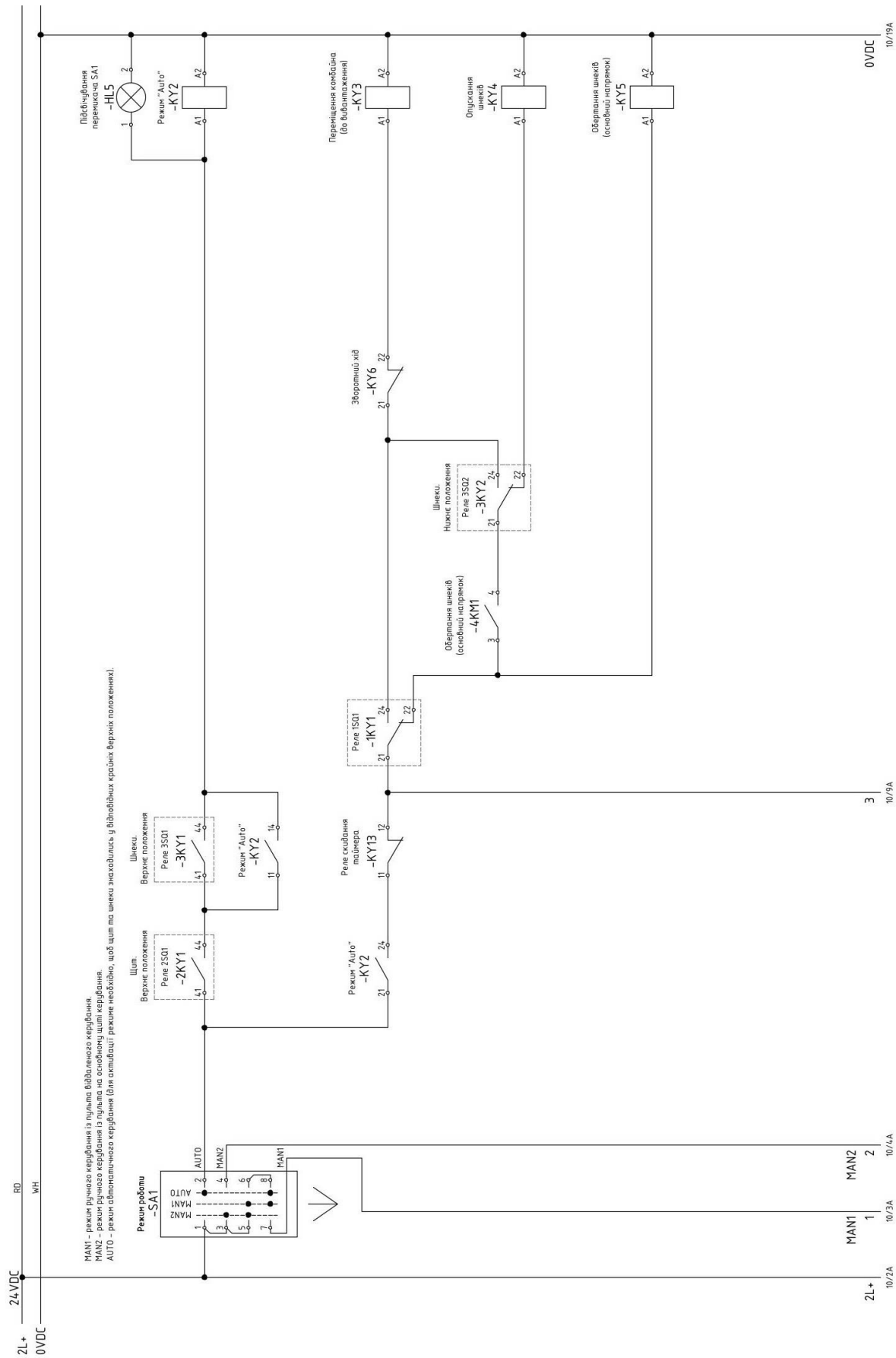


Рисунок 3.13 – Кола керування. Вибір режиму роботи

Електронний цифровий універсальний багатофункціональний таймер TENSE ERD-96M необхідно налаштувати на режим №4 «Follow & ON Delay» (рисунок 3.15).

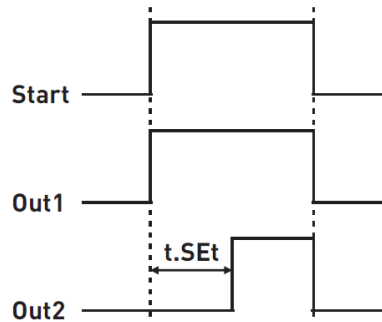


Рисунок 3.15 – Режим роботи таймера №4 «Follow & ON Delay»

Особливості роботи таймера в режимі №4 «Follow & ON Delay»:

- 1) Вихід Out1 увімкнено (див. рисунок 3.4), коли вхід Start увімкнено;
- 2) Вихід Out2 стає ON після затримки часу «t.SET», якщо вхід START увімкнено;
- 3) виходи Out 1 і Out 2 вимкнені, коли вхід START вимкнено.
- 4) виходи Out 1 і Out 2 вимкнені, коли вхід RESET увімкнено.

Налаштування Tense ERD-96M:

- 1) t.bAS: Min (00.00...99.59 хвилин)
- 2) Out: 4 (режим роботи)
- 3) P.rES: Yes (скидання таймера під час увімкнення живлення).

Розроблена система керування була реалізована у вигляді шафи керування. Компонівка шафи зображена на рисунку 3.16.

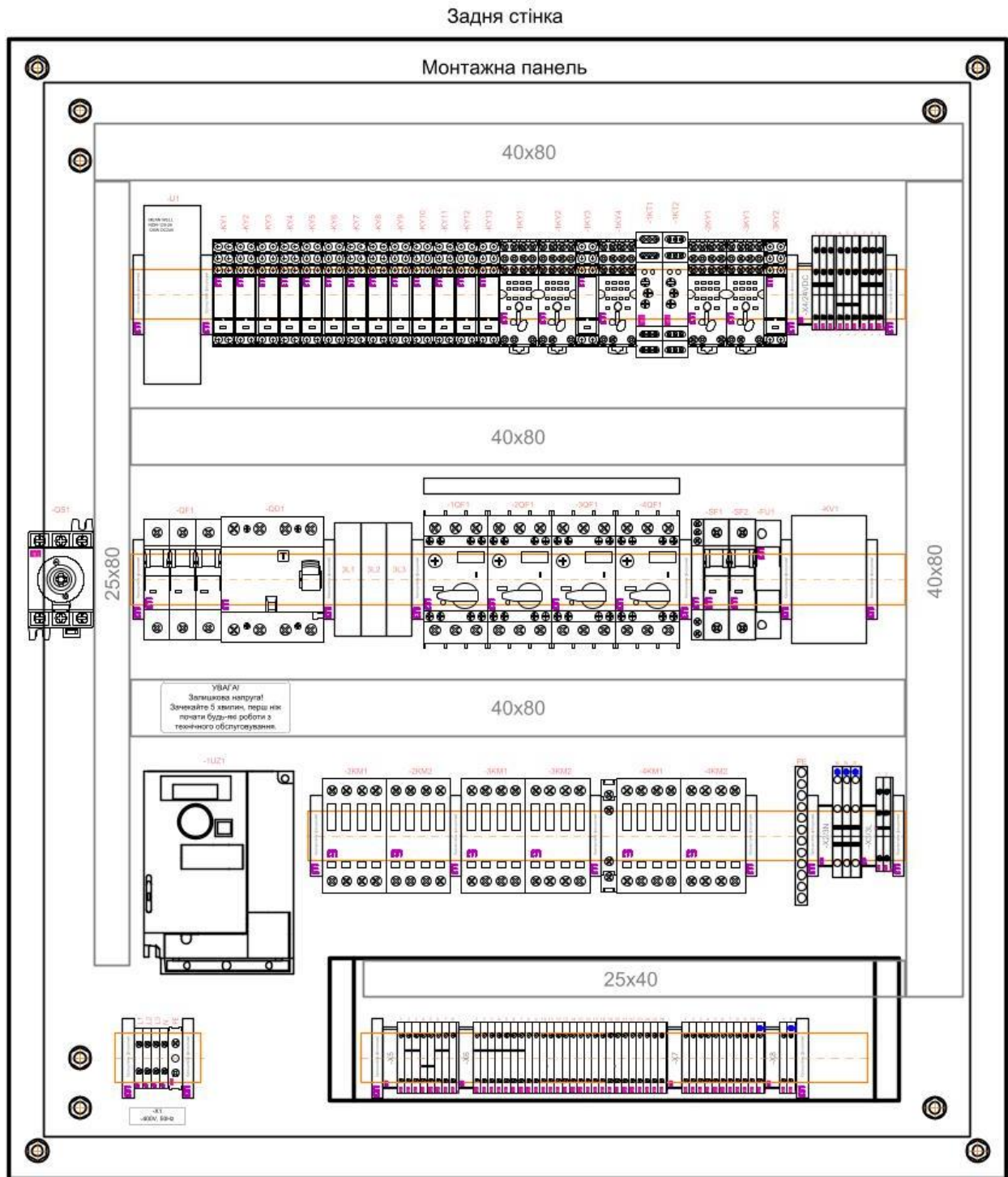




Рисунок 3.17 – Лицевая панель шкафа керування
(виконаний монтаж)



Рисунок 3.18 – Монтажна панель шафи керування
(виконаний монтаж)

Висновок: Розроблено автоматизовану систему керування змішувача столу для сушіння гарбузового насіння та виконано монтаж шафи керування.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

В цьому розділі розглянуті заходи та засоби з охорони праці під час монтажу та обслуговування електромеханічної системи автоматизації змішувача стола для сушіння гарбузового насіння. Шкідливі виробничі фактори, які впливають на електротехнічний монтажний і оперативно-ремонтний персонал підприємства [20, 21]:

1) 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);

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

3) 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.

4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта

4.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Живлення системи електропостачання та системи освітлення здійснюється від п/ст 10/0,4 кВ кабельними лініями, що прокладені в траншеях. Для живлення використовується трифазна чотирьохпровідна мережа із заземленою нейтраллю напругою 380/220 В. Категорія умов по небезпеці електротравматизму, відповідно до ПБЕ [23, 24], залежить від наявності факторів підвищеної або особливої небезпеки. При наявності таких факторів як

підвищена вологість, струмопровідний пил, контакт обслуговуючого персоналу з струмоведучими частинами в різних приміщеннях підприємства, їх можна віднести до категорії підвищеної небезпеки.

Роботи в електроустановках стосовно заходів безпеки поділяються на три категорії: зі зняттям напруги; без зняття напруги на струмопровідних частинах та поблизу них; без зняття напруги віддалік від струмопровідних частин, що перебувають під напругою.

До робіт, які виконуються без зняття напруги на струмопровідних частинах та поблизу них, належать роботи, що проводяться безпосередньо на цих частинах. Роботи без зняття напруги на струмопровідних частинах та поблизу них слід виконувати не менше як двом працівникам, з яких керівник робіт повинен мати групу IV, інші – групу III.

Роботою без зняття напруги віддалік від струмопровідних частин, що перебувають під напругою, вважається робота, під час якої є неможливим випадкове наближення працівників і ремонтного оснащення та інструменту, що застосовуються ними, до струмопровідних частин на відстань, меншу від допустимих, проведення технічних або організаційних заходів для запобігання такому наближенню не потрібно.

Під час роботи в електроустановках напругою до 1000 В без зняття напруги на струмопровідних частинах чи поблизу від них необхідно: обгородити розташовані поблизу робочого місця інші струмопровідні частини, що перебувають під напругою, і до яких можливий випадковий дотик; працювати в діелектричному взутті чи стоячи на ізолювальній підставці або на діелектричному килимі; застосовувати інструмент із ізолювальними руків'ями (у викруток, крім того, має бути ізольований стрижень); за відсутності такого інструменту слід користуватися діелектричними рукавичками.

Під час виконання робіт без зняття напруги на струмопровідних частинах за допомогою ізолювальних засобів захисту необхідно: тримати ізолювальні частини засобів захисту за руків'я до обмежувального кільця; розміщувати

ізолювальні частини засобів захисту так, щоб не виникла небезпека перекриття по поверхні ізоляції між струмопровідними частинами двох фаз чи замикання на землю; користуватися тільки сухими і чистими ізолювальними частинами засобів захисту з непошкодженим лаковим покриттям. В разі виявленні порушень лакового покриття чи інших несправностей ізолювальних частин засобів захисту, користування ними забороняється.

В процесі роботи із застосуванням електрозахисних засобів (ізолювальні штанги та кліщі, електровимірювальні кліщі, покажчики напруги) допускається наближення працівника до струмопровідних частин на відстань, яка визначається довжиною ізолювальної частини цих засобів. Без застосування електрозахисних засобів забороняється торкатися ізоляторів електроустановки, що перебуває під напругою.

В електроустановках забороняється працювати у зігнутому стані, якщо в разі випрямлення відстань до струмопровідних частин буде меншою від допустимих. В процесі виконання робіт біля необгороджених струмопровідних частин забороняється розташовуватися таким чином, щоб ці частини знаходилися позаду чи з двох боків.

Заносити довгі предмети (труби, драбини тощо) та працювати з ними в РУ, в яких унеможливлено випадковий дотик до частин, що перебувають під напругою, потрібно вдвох під постійним наглядом керівника робіт. Риштування та драбини, що застосовуються для ремонтних робіт, мають бути виготовлені за ДСТУ чи ТУ на них. Опорна частина драбин, що встановлюються на гладких поверхнях, має бути оббита гумою, а на опорних частинах драбин, що встановлюються на землі, мають бути гострі металеві наконечники. Драбини повинні верхнім кінцем надійно спиратися на міцну опору. У разі необхідності обіперти драбину на провід, вона повинна бути обладнана гачками в верхній частині. Зв'язані драбини застосовувати забороняється. В разі встановлення приставних драбин на підкранових балках, елементах металевих конструкцій тощо необхідно надійно закріпити верхівку і низ драбини на конструкціях. В

процесі обслуговування та ремонту електроустановок застосування металевих драбин забороняється.

Роботу із застосуванням драбин виконують два працівники, один з яких перебуває знизу. Стоячи на ящиках та інших сторонніх предметах виконувати роботи забороняється.

Роботи на кінцевих опорах ПЛ, що перебувають на території відкритих розподільчих пристроїв (ВРП), слід виконувати за правилами роботи на ВРП. Ремонтні працівники ліній перед тим, як зайти у ВРП, повинні бути проінструктовані і заходити до місця робіт у супроводі оперативного працівника з групою III; виходити з ВРПУ після закінчення роботи чи під час перерви працівникам дозволяється під наглядом керівника робіт.

Категорія умов по небезпеці електротравматизму залежить від наявності факторів підвищеної або особливої небезпеки. При наявності таких факторів як підвищена вологість, струмопровідний пил, контакт обслуговуючого персоналу з струмоведучими частинами, - приміщення можна віднести до категорії підвищеної небезпеки.

4.1.2 Електробезпека

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 споживачів струму від мережі три-провідної з глухо-заземленою нейтраллю, при напрузі до 1000 В, використовується занулення – навмисне електричне з'єднання нормально не струмопровідних елементів устаткування із заземленим нульовим проводом. При зануленні, пробій на

корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі.

Згідно з вимогами нормативів до занулення, повинна бути забезпечена необхідна кратність струму КЗ. залежно від типу запобіжного пристрою, повинна бути забезпечена цілісність нульового провідника.

3. Електрозахисні засоби захисту

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

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.

4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

4.2.1 Мікроклімат

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні [25] встановлюють допустиму температуру, відносну вологість і швидкість руху повітря у певних діапазонах в залежності від періоду року та категорії робіт і допустиму інтенсивність опромінення.

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату проектом передбачено [26]: температури внутрішніх поверхонь будівельних конструкцій робочої зони та зовнішніх поверхонь обладнання при забезпеченні параметрів мікроклімату не повинні значно відрізнятися (не більше ніж на 2°C за діапазон норм); якщо температура поверхонь вище або нижче температури повітря, то робочі місця повинні бути віддалені від них на відстань не менше 1м; для забезпечення нормованих значень руху кисню проектом передбачається витяжна та припливна вентиляційні системи.

Таблиця 4.1 – Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні з категорією робіт Па

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

4.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³ [25]. Нормовані параметри забруднення повітря в робочій зоні наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Можливі забруднювачі повітря можуть і їх ГДК

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

Для нормалізації складу повітря робочої зони потрібно здійснювати щоденне прибирання робочого місця [26]. Нагромадження пилу глибиною в 1/8" у будь-якій області вказує на необхідність у вживанні заходів з очищення забруднених поверхонь. Потрібно підкреслити, що будь-яке нагромадження пилу може привести до загоряння. Чим дрібніше пил (менша зернистість), тим вище небезпека.

4.2.3 Виробниче освітлення

Рациональне освітлення – один з основних факторів створення сприятливих робочих умов праці. Недостатнє освітлення викликає передчасне стомлення працюючих, знижує продуктивність праці, може стати причиною нещасного випадку.

Для забезпечення найбільш сприятливих умов зорової праці нормують мінімальну освітленість на найбільш темній ділянці робочої поверхні. Рівень аварійного освітлення складає 15% освітленості основної роботи. Приміщення забезпечене природним освітленням в денний проміжок часу, але вечері постає проблема в штучному освітленні.

Характеристика зорових робіт – середньої точності. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [27] розряд зорової роботи IV, підрозряд «б». Нормовані значення освітленості наведені в таблиці 4.3.

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік),

використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітленням, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 4,5 метра.

Таблиця 4.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Характер зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	б	малий	світлий	500	200	4	2,4

При експлуатації здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

4.2.4 Виробничий шум

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.

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ.

Шум Загальні вимоги безпеки» [28]. Нормовані значення виробничого шуму наведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Рівень звукового тиску

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

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

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі.
- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

4.2.5 Виробнича вібрація

Вібрація відноситься до факторів, які мають велику біологічну активність. Як загальна, так і локальна вібрація несприятливо впливає на організм людини, викликає зміну у функціональному стані вестибулярного апарату, центральної нервової, серцево-судинної систем, погіршує самопочуття та може призвести до розвитку професійних захворювань.

У нашому цеху присутня вібрація типу – За [29]. Тобто технологічна вібрація, яка діє на персонал цеху, або яка передається на робочі місця, не маючи джерел випромінювання.

Джерелами вібрацій в умовах, що розглядаються в проекті, являються вентиляційне обладнання, зерносушарки, транспортери, транспорт тощо, які відносяться до типу загальної вібрації.

Основні параметри вібрації, такі як середньоквадратичне значення віброприскорення та віброшвидкості, логарифмічні рівні приведені у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Середньоквадратичні значення віброприскорення та віброшвидкості

Категорія вібрації по санітарним нормам	Напрямок дії	Нормативні, корекційовані по частоті та еквівалентні корекційовані значення			
		Віброприскорення		Віброшвидкість	
		$\text{м}\cdot\text{с}^{-2}$	ДБ	$\text{м}\cdot\text{с}^{-2}\cdot 10^{-2}$	ДБ
Загальна	Z_o, Y_o, X_o	0,1	100	0,2	92

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

4.3 Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують Правила пожежної безпеки в Україні [30, 31]. Пожежо- вибухонебезпечність речовин і матеріалів визначається за ДСТУ 8829: 2019 [32], за якою визначається категорія приміщень за вибуховою та пожежною безпекою [33].

Отже, приміщення, де встановлена електромеханічна система автоматизації змішувача стола для сушіння гарбузового насіння, 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 Б (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, переробляються, транспортуються), не відносяться до категорій А або Б і питома пожежна навантага для твердих і рідких легко-займистих, горючих та важкогорючих речовин і/або матеріалів на окремих ділянках площею не менше 10 м^2 кожна перевищує $180 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$.

Пожежо- вибухонебезпечність речовин і матеріалів – сукупність властивостей, що характеризують їхню здатність до виникнення і поширення горіння. Наслідком горіння, залежно від його швидкості та умов протікання, можуть бути пожежа або вибух. Пожежо- вибухонебезпечність речовин і матеріалів визначають показниками, вибір яких залежить від агрегатного стану речовини (матеріалу), та умов їхнього застосування.

Будівля, в якій розташоване це приміщення, характеризується II ступенем вогнестійкості.

До II ступеня вогнестійкості відносяться будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону із застосуванням листових і плитних негорючих матеріалів. Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2016 [33] наведено в таблиці 4.6.

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2016 [34] наведено в таблиці 4.7.

Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами слід приймати за таблицею 4.8 (чисельник). В умовах забудови, що склалася, протипожежні відстані між житловими будинками та від житлових будинків до будівель і споруд іншого призначення слід визначати згідно з протипожежними вимогами даних норм, наведеними у таблиці 4.8. Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських будинків, сільськогосподарських будівель і споруд потрібно приймати за таблицею 4.8 (знаменник) [34].

Таблиця 4.6 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

Ступінь вогнестійкості і будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвилинах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло-ни	сходові площад-ки, костури, сходи, балки, марші сходових кліток	пере-криття між по-верхові (у т.ч. горищні та над підва-лами	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	само-несучі	зов-ніш-ні не-несу-чі	внут-рішні не-несучі (пере-город-ки				пли-ти, насти-ли, прого-ни	балки, ферми, арки, рами
II	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	E1 15 M0	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M0	RE 15 M0	R 30 M0

Таблиця 4.7 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи проти-пожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвиликах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбуршлюзу, не нижче
Стіни	3	REI 45	2	2
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекриття	4	REI 15	3	2

На території сільгосппідприємства встановлено 45 вогнегасників ВВП-5 (ВП-5) та ВВП-9 [35].

У випадку виникнення пожежі робітники повинні: прийняти всі заходи по ліквідації вогню; місце, яке загорілось слід гасити вогнегасниками; при загоранні електропроводів слід відключити лінію, а ізоляцію електропроводів необхідно гасити тільки порошковими вогнегасниками ВП-5 або піском; зупинити обладнання.

Таблиця 4.8 – Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами, а також до виробничих будинків, будівель і споруд

Ступінь вогнестійкості будинку	Відстані при ступені вогнестійкості будинків, м		
	I, II	III	IIIa, IIIб, IV, IVa, V
II	6/9	8/9	10/12

ВИСНОВКИ

Дано загальну характеристику об'єкта проектування, проаналізовано особливості його роботи та сформовано вимоги до системи автоматизованого керування змішувача столу для сушіння гарбузового насіння.

Базуючись на результатах проведених розрахунків визначено, що для привода механізму переміщення змішувача необхідно вибрати приводний двигун з номінальною потужністю 1,1 кВт.

Згідно результатів ТЕО найбільш економічно вигідним для привода механізму переміщення змішувача є використання системи ПЧ-АД, оскільки приведені витрати для даного варіанту є найменшими і становлять 7405,44 грн/рік.

Вибрано основну елементну базу привода механізму переміщення змішувача:

1) приводний двигун – асинхронний двигун з КЗ ротором потужністю 1,1 кВт типу MS 90L-6;

2) перетворювач частоти типу ATV320C, модель ATV320U15N4C потужністю 1,5 кВт.

Коректність виконаних розрахунків перевірено комп'ютерним моделюванням в Matlab.

Розроблено автоматизовану систему керування змішувача столу для сушіння гарбузового насіння, виконано монтаж шафи керування та проведено налагоджування її роботи в реальних умовах експлуатації.

Розроблено ряд заходів з охорони праці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Чим особливе гарбузове насіння? [Електронний ресурс]. URL: https://sz.lviv.ua/gorihi-suhofrukty/nasinnja_ta_sumishi/garbuzove-nasinnja-chyshchene-ukrajina/#pid65051
2. Гарбуз – аптека в мініатюрі? [Електронний ресурс]. URL: <https://www.tdmu.edu.ua/medychna-akademia/%D0%B3%D0%B0%D1%80%D0%B1%D1%83%D0%B7-%D0%B0%D0%BF%D1%82%D0%B5%D0%BA%D0%B0-%D0%B2-%D0%BC%D1%96%D0%BD%D1%96%D0%B0%D1%82%D1%8E%D1%80%D1%96/>
3. Хімічний склад і харчова цінність гарбузового насіння. [Електронний ресурс]. URL: <https://kvant-prom.com.ua/?p=7455>
4. Гарбузові технології. Збирання та доведення гарбузового насіння до кондиції. Машина та обладнання [Електронний ресурс] / В. Сидоренко, В. Малярчук, С. Сидоренко // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. – 2018. – Випуск 23 (37). – С. 201-212. – URL: <https://www.ndipvt.com.ua/Zbyrnyk/Edition23%2837%29/Collection%20of%20scientific%20works%20Edition%2023%20%2837%29article22.pdf>
5. Конвеєрні сушарки. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.scolari.com.ua/produkty/susharki/konveierni/>
6. Сушарка для гарбузового насіння. [Електронний ресурс]. URL: https://finpro.group/uk/wiki-uk/nezernovi/garbuzove-nasinnya?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=20823735268&utm_term=%D1%81%D1%83%D1%88%D0%B0%D1%80%D0%BA%D0%B0%20%D0%B3%D0%B0%D1%80%D0%B1%D1%83%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D0%BD%D0%B0%D1%81%D1%96%D0%BD%D0%BD%D1%8F&utm_content=682946520193&utm_position=&utm_matchtype=p&utm_placement=&utm_network=g&gad_source=1&gad_campaignid=20823735268

https://www.google.com/search?q=&gclid=CjwKCAjw3MXBBhAzEiwA0vLXQUowGT4zffigzUuEla5XbRhjiXLOJZi6pgSlvIj_mc9Wz8f4JvWihoCndMQAvD_BwE

7. Phoenix. [Електронний ресурс]. URL: <https://phoenixtec.com.ua/>
8. Розрахунок ланцюгової передачі. [Електронний ресурс]. URL: https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/tm_8/page9.html
9. Видмиш А. А., Бабій С. М., Петрусь В. В. Теорія електропривода. Курсове та дипломне проектування. Самостійна та індивідуальна робота студентів. Вінниця: ВНТУ, 2012. 101 с.
10. Грабко В. В., Бабій С. М., Мошноріз М. М. Автоматизований електропривод типових виробничих механізмів. Курсове та дипломне проектування. Самостійна та індивідуальна робота студентів. Вінниця: ВНТУ, 2016. 119 с.
11. Електричний двигун MS 90L-6 1,1кВт. [Електронний ресурс]. URL: <https://elektrozahid.prom.ua/ua/p902183330-elektrichnij-dvigun-90l.html>
12. Перетворювач частоти Altivar 320 1.5 кВт 380В 3-ф. ATV320U15N4C. [Електронний ресурс]. URL: <https://voltelectro.com.ua/ua/p549354768-preobrazovatel-chastoty-altivar.html>
13. Електродвигун MS 90L-6 1.10KWB5 230 / 400V 50HZ Promotor. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.irbis.ua/catalog/product/ms-90l-6-110kwb5-230400v-50hz-sh00019962>
14. Основи електропривода: підручник / Ю. М. Лавріненко, О. С. Марченко, П. І. Савченко, О. Ю. Синявський, Д. Г. Войтюк, В. В. Савченко, І. М. Голодний. – К. : Видавництво Ліра-К, 2021.– 524с.
15. ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ ATV320C 1,5кВт 380-500В, компакт, з ЕМС-фільтром С2. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.se.com/ua/uk/product/ATV320U15N4C/%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%82%D0%B2%D0%BE%D1%80%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D1%87-%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B8-atv320c-15%D0%BA%D0%B2%D1%82-380500%D0%B2-%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%B0%D0%BA%D1%82-%D0%B7->

<https://principal.ua/ua/p884592259-mnogofunktsionalnyj-tajmer-rele.html?srsltid=AfmBOoqv3XPDoX1sttaYTr5ZWtpWud8CpObE9M0Oqq-7XWhOBStGxlQl>

16. Електронний цифровий універсальний багатофункціональний таймер реле часу TENSE ERD-96M. [Електронний ресурс]. URL: <https://principal.ua/ua/p884592259-mnogofunktsionalnyj-tajmer-rele.html?srsltid=AfmBOoqv3XPDoX1sttaYTr5ZWtpWud8CpObE9M0Oqq-7XWhOBStGxlQl>

17. XCKN2110P20 [Електронний ресурс]. – URL: <https://telemecaniquesensors.com/cn/en/product/reference/XCKN2110P20>

18. XCKN2118P20 [Електронний ресурс]. – URL: <https://telemecaniquesensors.com/cn/en/product/reference/XCKN2118P20>

19. Промислове радіоуправління Telecrane модель F21-E2M [Електронний ресурс]. – URL: <https://remix.in.ua/ua/p169090848-promyshlennoe-radioupravlenie-telecrane.html?srsltid=AfmBOopnbGntznHExaJMc9M9yIKAMY1JaTm--MMMygecPnMLIKkHDW1ia>

20. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.

21. 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->

22. 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

23. 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.

24. НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>
25. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>
26. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.
27. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885
28. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>
29. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>
30. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС України, 2014. 47 с.
31. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення. URL: <https://dwg.ru/dnl/15125>
32. ДСТУ 8829:2019 Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. URL: <https://www.alutal.com.ua/wp-content/uploads/2021/02/dstu-8829-2019-1.pdf>
33. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759
34. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf
35. Наказ Міністерства внутрішніх справ України «Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text>

ДОДАТКИ

Додаток А
(обов'язковий)

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри КЕМСК

к.т.н., доц.

Микола МОШНОРІЗ

« 04 » 03 2025 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на бакалаврську кваліфікаційну роботу

**ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНА СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ
ЗМІШУВАЧА СТОЛУ ДЛЯ СУШІННЯ ГАРБУЗОВОГО НАСІННЯ**

08-24.БКР.030.00.000 ТЗ

Керівник роботи

к.т.н., доц.

Сергій БАБІЙ

« 04 » 03 2025 р.

Виконав: ст. гр. ЕМСА-23мс

Олександр МУРАШКО

« 04 » 03 2025 р.

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки – «Електромеханічна система автоматизації змішувача столу для сушіння гарбузового насіння».

Скорочене найменування розробки – «Система керування змішувача».

Замовник – Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів.

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

Змішувач столу для сушіння гарбузового насіння – це пристрій для перемішування та вивантаження гарбузового насіння.

4 Вимоги до розробки

Система керування змішувача повинна забезпечувати узгоджене керування механізмами змішувача та захист обслуговуючого персоналу від травмування.

5 Комплектація розробки

До складу виробу входять: силова, релейно-контакторна, перетворювальна та контрольно-вимірювальна апаратура.

6 Джерела розробки

1. Гарбузові технології. Збирання та доведення гарбузового насіння до кондиції. Машини та обладнання [Електронний ресурс] / В. Сидоренко, В. Малярчук, С. Сидоренко // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України.

– 2018. – Випуск 23 (37). – С. 201-212. – URL: <https://www.ndipvt.com.ua/Zbyrnyk/Edition23%2837%29/Collection%20of%20scientific%20works%20Edition%2023%20%2837%29article22.pdf>

2. Phoenix. [Електронний ресурс]. URL: <https://phoenixtec.com.ua/>

7 Технічні характеристики

Параметри	Значення
Повна маса змішувача, кг	900
Номінальна швидкість переміщення змішувача, м/с	0,17
Кількість зубців приводної зірочки	30
Крок ланцюга, мм	19
Діаметр опорного ролика, м	0,06
Діаметр цапфи опорного ролика, м	0,025
Кількість опорних роликів, шт	4
Коефіцієнт тертя реборд опорних роликів	2
Передаточне число механічної передачі	50

8 Умови експлуатації

Експлуатація здійснюється в умовах впливу підвищеної вологості та запиленості. Мінімальна робоча температура навколишнього середовища становить мінус 10°C.

9 Елементна база

Двигун, апаратура керування і захисту, провідники, кабелі і т. ін. виробництва України чи країн близького зарубіжжя.

10 Конструктивне виконання

Система керування змішувача виготовляється у вигляді щита керування з високим ступенем захисту від впливу факторів навколишнього середовища.

11 Показники технологічності

Система керування змішувача повинна бути реалізована на сучасній елементній базі, а її монтаж, заземлення, струмопровід повинен відповідати правилам улаштування електроустановок.

12 Технічне обслуговування і ремонт

Технічне обслуговування здійснюється слюсарями-електромонтажниками та слюсарями КВП і А відповідної кваліфікації. Технічний огляд механізму здійснюється мінімум один раз на 3 місяці. Ремонт здійснюється інженерами-електромеханіками та техніками-електромеханіками, фахівцями з електромеханічних систем автоматизації та електропривода.

13 Живлення електропривода

Живлення системи керування змішувача столу для сушіння гарбузового насіння повинно бути виконано напругою 400 В від силової мережі підприємства.

14 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
(обов'язковий)

ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНА СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ ЗМІШУВАЧА
СТОЛУ ДЛЯ СУШІННЯ ГАРБУЗОВОГО НАСІННЯ

Мета та задачі дослідження

Метою роботи є розробка електромеханічної системи автоматизації змішувача столу для сушіння гарбузового насіння, яка б забезпечувала узгоджене керування механізмами змішувача в ручному та автоматичному режимах роботи.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі **завдання**:

1. Здійснити загальну характеристику об'єкта проектування.
2. Розрахувати електропривод механізму переміщення змішувача столу для сушіння гарбузового насіння.
3. Перевірити коректність виконаних розрахунків шляхом комп'ютерного моделювання.
4. Розробити систему автоматизованого керування змішувача столу для сушіння гарбузового насіння.
5. Описати умови безпечної експлуатації розробленої системи.

Об'єктом дослідження є процес завантаження, перемішування та вивантаження гарбузового насіння.

Предметом дослідження є система керування змішувача столу для сушіння гарбузового насіння.

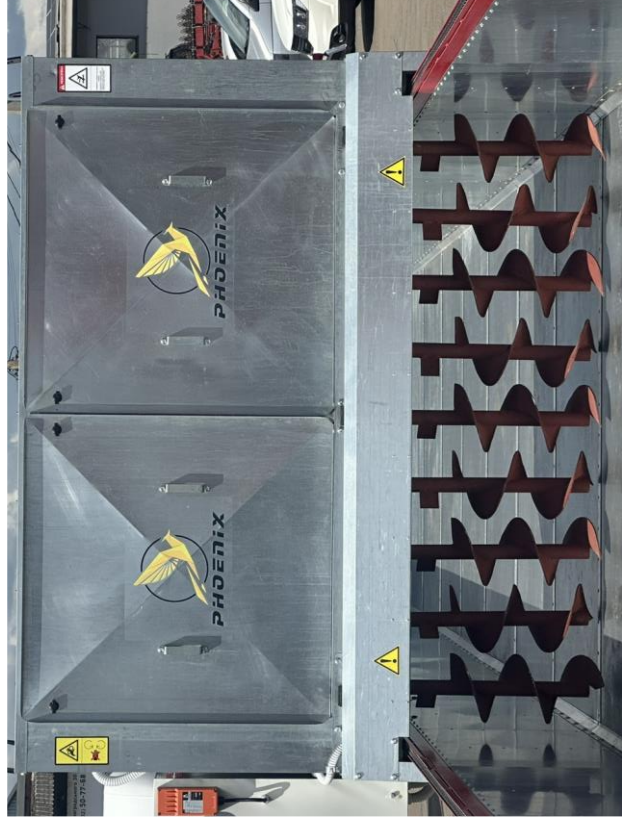
Характеристика об'єкта проектування

Основні технічні характеристики змішувача

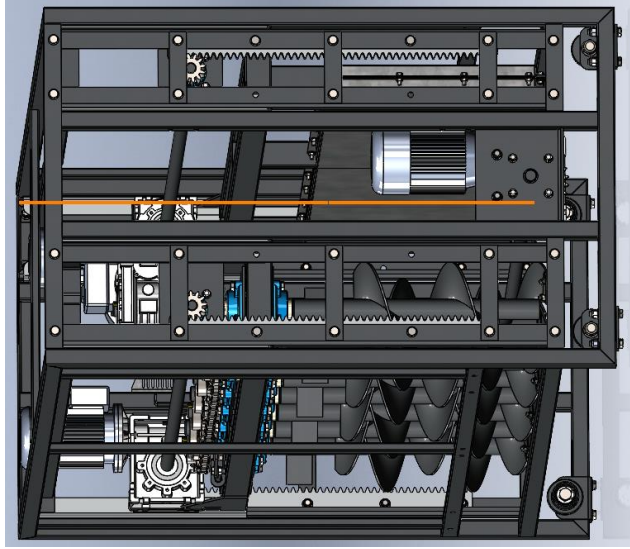
Параметри	Значення
Повна маса змішувача, кг	900
Номінальна швидкість переміщення змішувача, м/с	0,17
Кількість зубців приводної зірочки	30
Крок ланцюга, мм	19
Діаметр опорного ролика, м	0,06
Діаметр цапфи опорного ролика, м	0,025
Кількість опорних роликів, шт	4
Коефіцієнт тертя реборд опорних роликів	2
Передаточне число механічної передачі	50



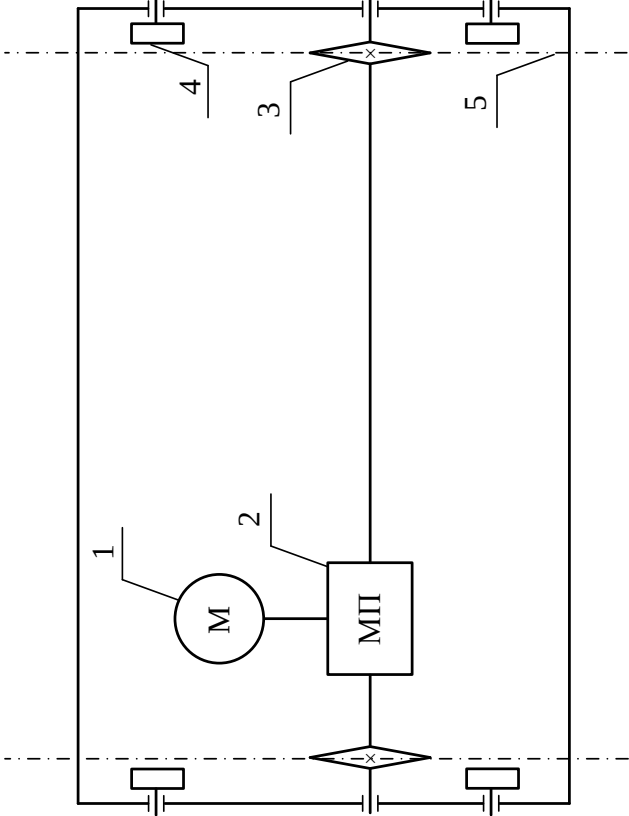
Зовнішній вигляд столу для сушіння гарбузового насіння



Змішувач (каретка) сушильного столу



3D-модель змішувача

Інв. № оргт.	Підпис і дата	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підпис і дата																																								
	08-24.БКР.030.00.000 К1																																											
	1 – приводний двигун 2 – механічна передача 3 – приводні зірочки 4 – опорні ролики 5 – ланцюги																																											
																																												
	08-24.БКР.030.00.000 К1																																											
<table><tr><td>Зм.</td><td>Арк.</td><td>№ докумен.</td><td>Підпис</td><td>Дата</td></tr><tr><td colspan="2">Розробив:</td><td>Мурашко О.В.</td><td></td><td></td></tr><tr><td colspan="2">Перевірив</td><td>Бабій С.М.</td><td></td><td></td></tr><tr><td colspan="2">Т. контр.</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td colspan="2">Норм.кон.</td><td>Паянок О.А.</td><td></td><td></td></tr><tr><td colspan="2">Затверд.</td><td>Мошноріз М.М.</td><td></td><td></td></tr></table>					Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Розробив:		Мурашко О.В.			Перевірив		Бабій С.М.			Т. контр.										Норм.кон.		Паянок О.А.			Затверд.		Мошноріз М.М.							
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата																																								
Розробив:		Мурашко О.В.																																										
Перевірив		Бабій С.М.																																										
Т. контр.																																												
Норм.кон.		Паянок О.А.																																										
Затверд.		Мошноріз М.М.																																										
<table><tr><td colspan="5">Електромеханічна система автоматизації змішувача столу для сушіння гарбузового насіння.</td></tr><tr><td colspan="5">Схема кінематична механізму переміщення змішувача</td></tr><tr><td colspan="5">Літ.</td></tr><tr><td colspan="5">Маса</td></tr><tr><td colspan="5">Масштаб</td></tr><tr><td colspan="5">Аркул 1</td></tr><tr><td colspan="5">Аркушів 1</td></tr><tr><td colspan="5">гр. ЕМСА-23мс</td></tr></table>					Електромеханічна система автоматизації змішувача столу для сушіння гарбузового насіння.					Схема кінематична механізму переміщення змішувача					Літ.					Маса					Масштаб					Аркул 1					Аркушів 1					гр. ЕМСА-23мс				
Електромеханічна система автоматизації змішувача столу для сушіння гарбузового насіння.																																												
Схема кінематична механізму переміщення змішувача																																												
Літ.																																												
Маса																																												
Масштаб																																												
Аркул 1																																												
Аркушів 1																																												
гр. ЕМСА-23мс																																												

Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода механізму переміщення змішувача

Показники	Системи електричного привода		
	ІПП-ДПС	ТП-ДПС	ПЧ-АД
Вартість двигуна Д, грн	16200	16200	6480
Вартість системи керування СК, грн	12318,4	13858,2	15398
Капітальні вкладення К, грн	28518,4	30058,2	21878
Річні капітальні витрати $K_{річн}$, грн/рік	4848,13	5109,89	3719,26
Амортизаційні відрахування C_A , грн/рік	2851,84	3005,82	2187,80
Відрахування на ремонт C_P , грн/рік	570,37	601,16	437,56
Додаткові відрахування C_D , грн/рік	988,97	988,97	885,29
Відрахування на обслуговування C_O , грн/рік	220,56	229,80	175,53
Загальні відрахування C , грн/рік	4631,74	4825,75	3686,18
Приведені витрати З, грн/рік	9479,86	9935,64	7405,44

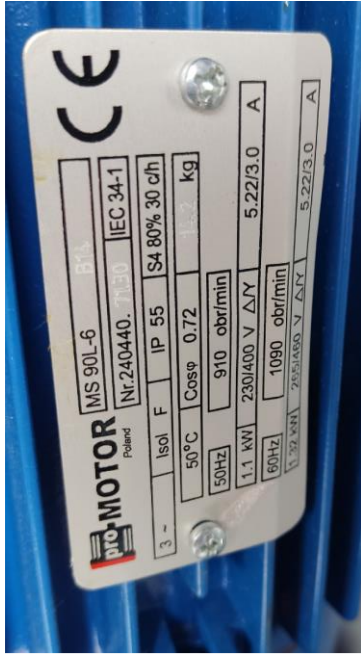
Характеристики приводного двигуна механізму переміщення змішувача

Умови вибору приводного двигуна:

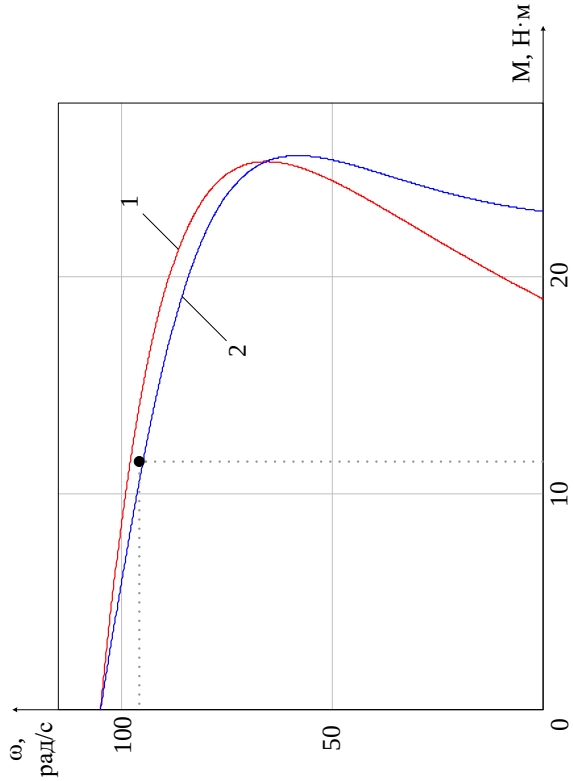
$$\begin{cases} P_{\text{дв.н}} \geq 0,95 \dots 1,13 \text{ (кВт)}, \\ n_{\text{дв.н}} \geq 893,1 \text{ (об/хв)}. \end{cases}$$

Характеристики приводного двигуна

Параметри двигуна	Значення
Виробник	PROMOTOR
Тип	MS 90L-6
Частота напруги мережі живлення f _л , Гц	50
Номінальна потужність P _{дв.н} , кВт	1,1
Номінальна швидкість обертання n _{дв.н} , об/хв	910
Номінальна напруга мережі живлення U _{дв.н} , В	230/400
Схеми з'єднань обмоток	Y/Δ
Номінальний струм статора I _{дв.н} , А	5,22/3,0
Клас ізоляції	F
Число пар полюсів р	3
Клас енергоефективності	IE1
Коефіцієнт корисної дії η _{дв.н} , %	76%
Коефіцієнт потужності cosφ _н	0,75
Кратність пускового струму λ _п	5,0
Кратність пускового моменту λ _п	2,0
Кратність критичного моменту λ _к	2,2
Момент інерції ротора J _{рот}	0,0046 кг·м ²
Діаметр вала, мм	24
Ступінь захисту	IP55
Спосіб монтажу (DIN)	B14 (з малим фланцем) (IM3681)
Маса, кг	14,2



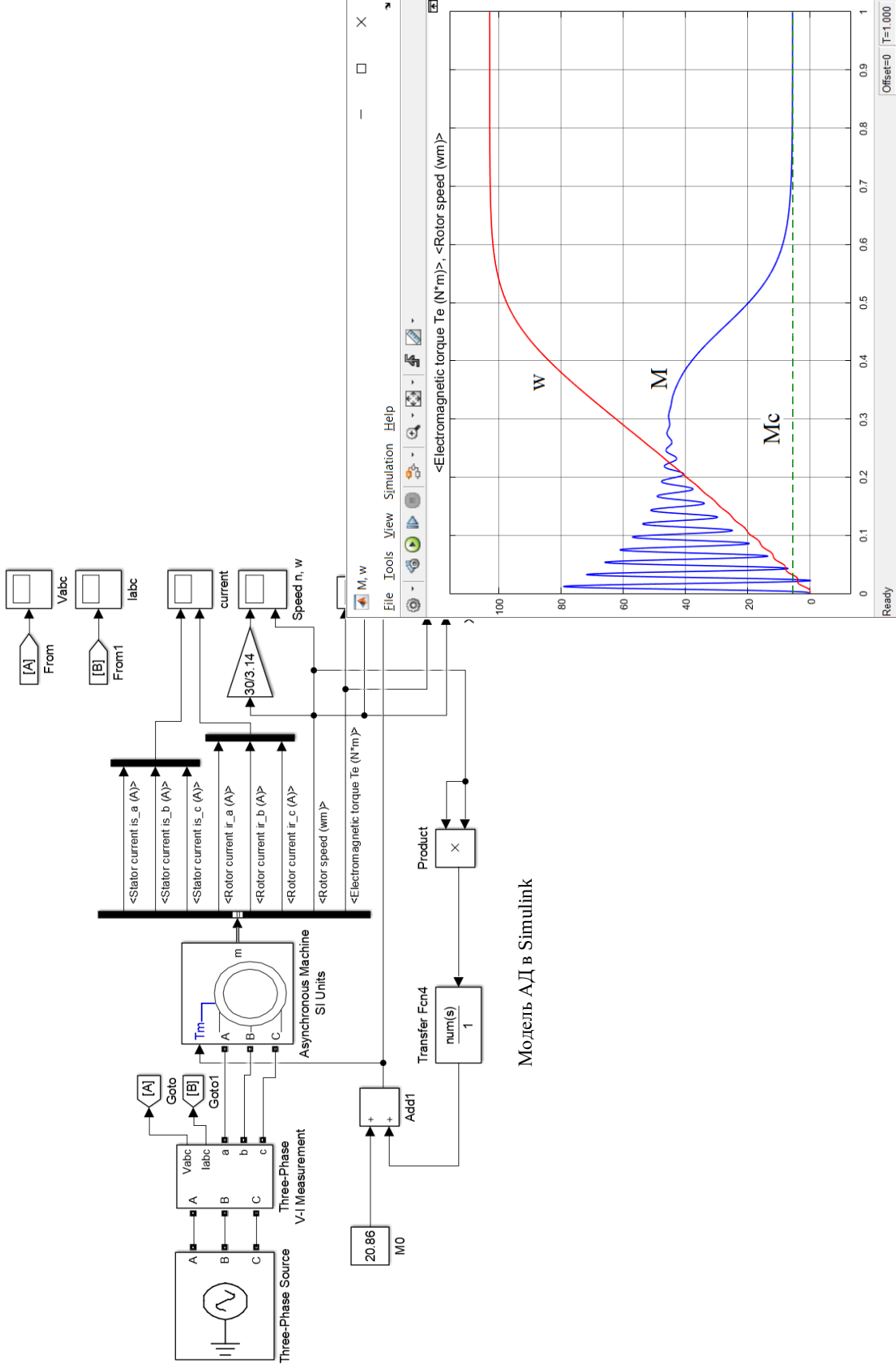
Паспорт приводного двигуна



Природні механічні характеристики приводного двигуна:

- 1 – згідно формули Клоса;
- 2 – згідно формули Чекунова

Моделювання роботи приводного двигуна механізму переміщення змішувача



Характеристики перетворювального пристрою електропривода механізму переміщення змішувача



Зовнішній вигляд о перетворювача частоти
Schneider Electric типу ATV320C

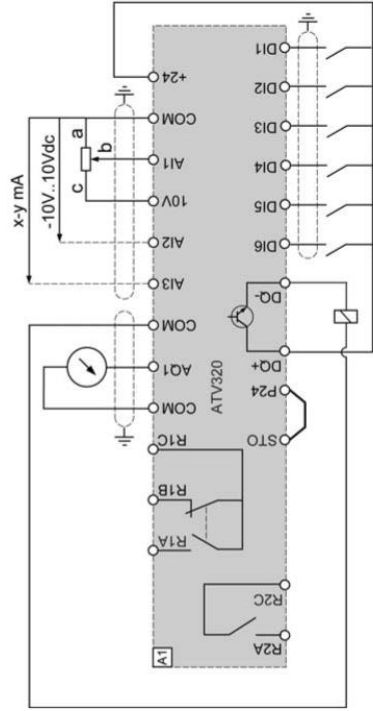
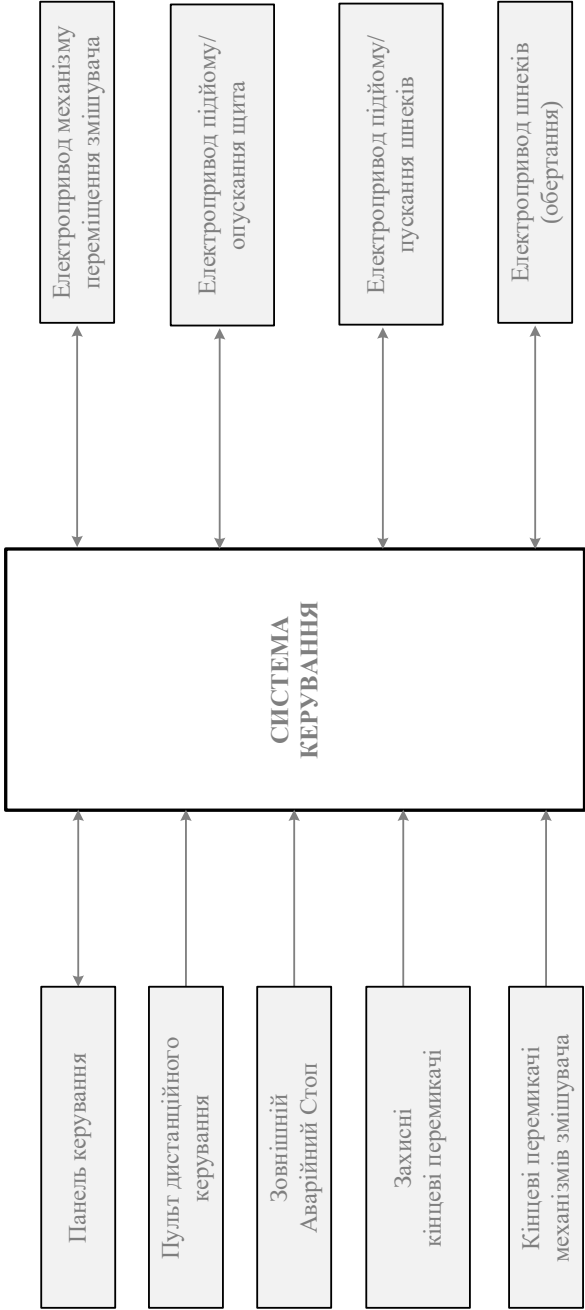


Схема підключення перетворювача частоти
Schneider Electric типу ATV320C

Характеристики	Значення
sku	ATV320U15N4C
Потужність	1.5 кВт (важкий режим роботи)
Номінальна напруга живлення	380...500 В -15...10%
Частота мережі живлення	50...60 Гц
Максимальний вхідний струм	6,4 А
Номінальний вихідний струм	4,1 А
Короткочасне перевищення моменту	170...200 % від номінального моменту двигуна
Число дискретних входів	7
Тип дискретного входу	STO, 24VDC DI1... DI6, 24VDC DI5 програмується як імпульсний вхід: 0...30 кГц
Кількість дискретних виходів	3
Кількість аналогових входів	3
Тип аналогового входу	AI1: 0...10VDC, 10 біт AI2: +/- 10VDC, 10 біт AI3: 0-20 мА (4-20 мА), 10 біт
Кількість аналогових виходів	1
Тип аналогового виходу	AQ1: 0...20 мА, 10 біт AQ1: 0...10VDC, 10 біт
Кількість релейних виходів	2
Можлива робота у 4 квадрантах	Так
Скалярний режим керування U / f, U / f ²	є
Векторний режим керування з/без енкодера	є
Контур регулювання	ПД-регулятор
Протокол порту обміну даними	Modbus послідовний CANopen
Електромагнітний фільтр-гр	Вбудований фільтр EMC класу C2
Робоча температура повітря	-10...50 °C без зниження номінальних характеристик 50...60 °C з коефіцієнтом зниження

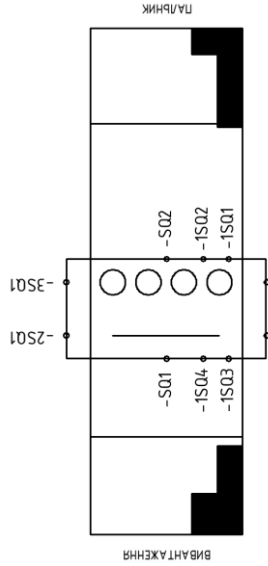
08-24.БКР.030.00.000 Е2



Ім'я, № орг.	Підпис і дата	Зам. ім'я, №	Ім'я, № дубл.	Підпис і дата
--------------	---------------	--------------	---------------	---------------

08-24.БКР.030.00.000 Е2					Масштаб	
Електромеханічна система автоматизації змішувача столу для сушіння гарбузового насіння. Схема функціональна системи керування змішувача					Літ.	Маса
					Аркуш 1	Аркушів 1
					гр. ЕМСА-23мс	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір елементної бази системи керування змішувача



Розміщення кінцевих вимикачів



Кінцевий вимикач плуажерний XCKN2110P20
Кінцевий вимикач роликів XCKN2110P20

Технічні характеристики

Найменування	Значення
Виробник	TELEMECANIQUE SENSORS
Тип контактів	INC+INO
Робота контактів	миттєва дія
Комутована напруга	max. 240 В AC max. 250 В DC
Навантажувальна здатність контактів (при омічному навантаженні)	3 А / 240 В AC 0,1 А / 250 В DC
Механічний ресурс	1000000 циклів
Ступінь захисту	IP65
Робоча температура	-25...+70°C



Таймер TENSE ERD-96M

Технічні характеристики

Найменування	Значення
Модель	ERD-96M
Напруга живлення	100....240VAC, 50-60Hz
Споживана потужність	< 8VA
Температура експ.	-20°С....55°С
Висота експлуатації	< 2000m
Дисплей	2х4 цифровий 7-сегментний дисплей
База часу	99:59 годин; 99:59 хвилин; 599,9 секунд
Режими Входи	8 різних режимів START / RESET / GATE 3х230 VAC (0:0-50VAC, 1:150-240VAC)
Виходи	Out1, Out2; 2хRelay (NO-O-NC), 250VAC, 2A
Виконання	щитовий
Габаритні розміри	96х96



Пульт Telestage F21-E2M та приймальна станція

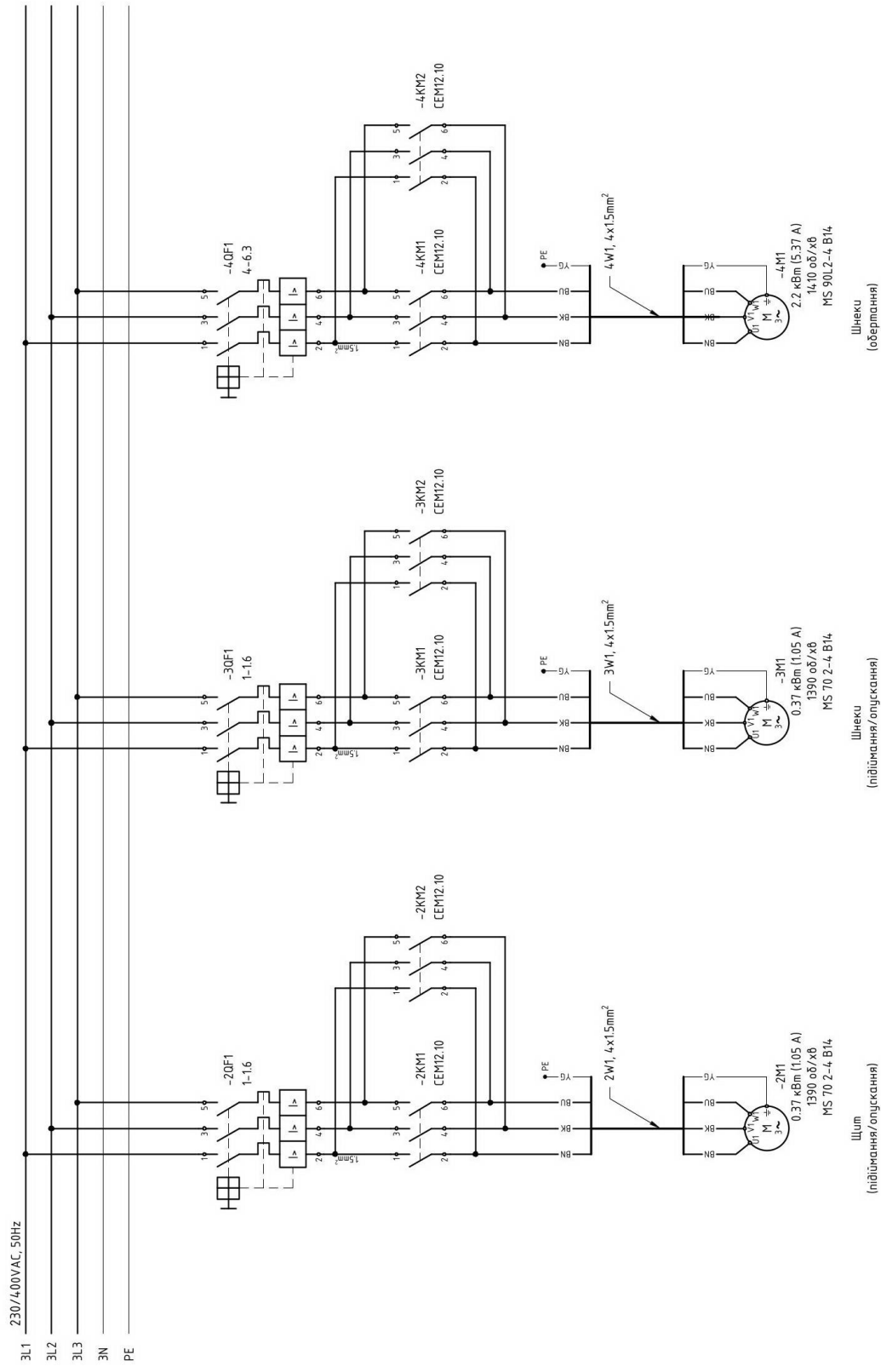
Технічні характеристики

Найменування	Значення
Модель	Telestage F21-E2M
Напруга живлення приймальної станції	220VAC±20%
Живлення передавача	3VDC (2 батарейки AA)
Кількість кнопок	6 одномісних 1 запуску 1 аварійної зупинки
Радіус дії	100м
Робоча температура	-35...+85°С

08-24 5KP.030 00 000 E3[illegible]

Формат А3

08-24.BKP.030.00.000 E3



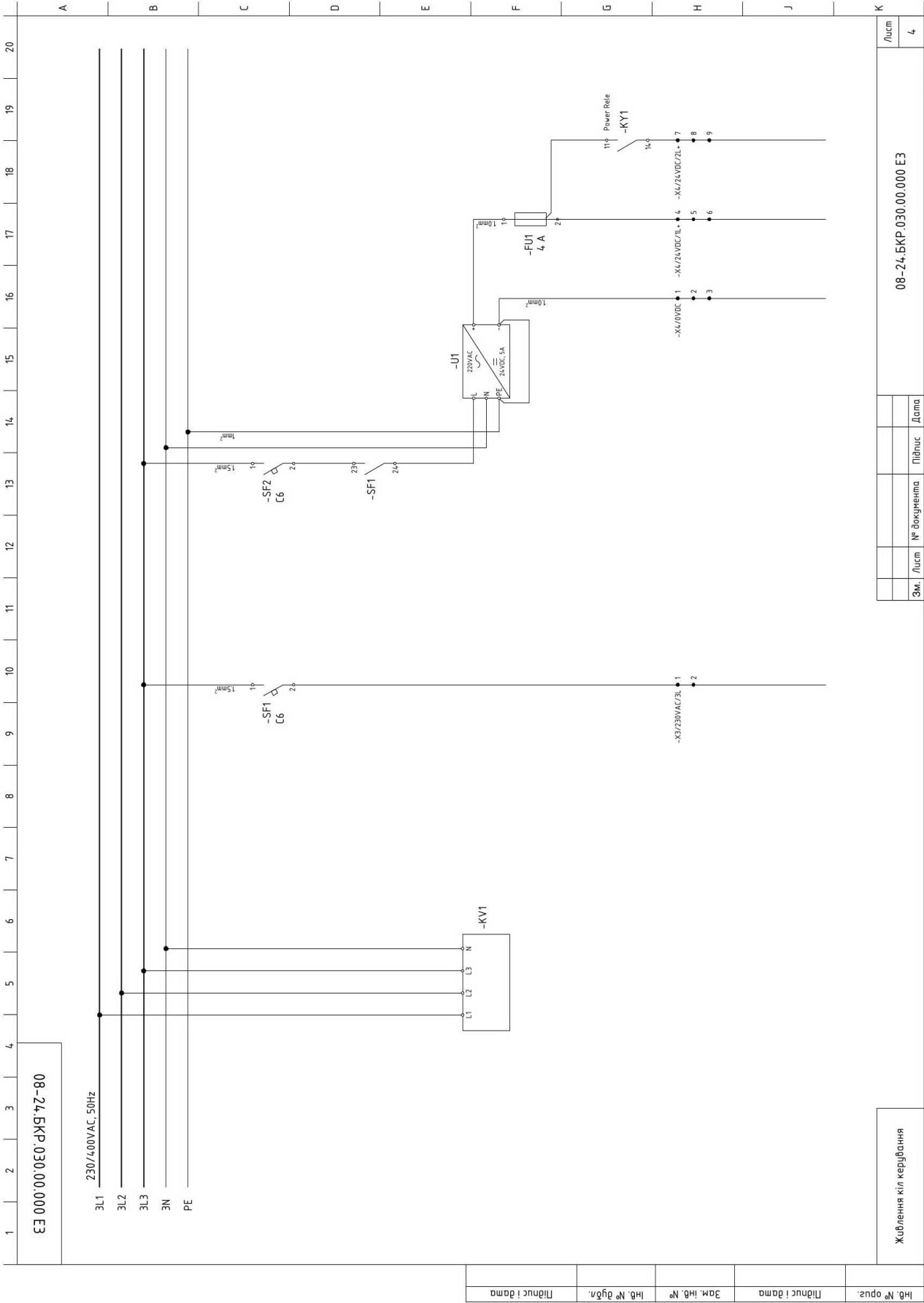
Силовий привод щита
та шнеків

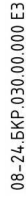
08-24.5KP.030.00.000 E3

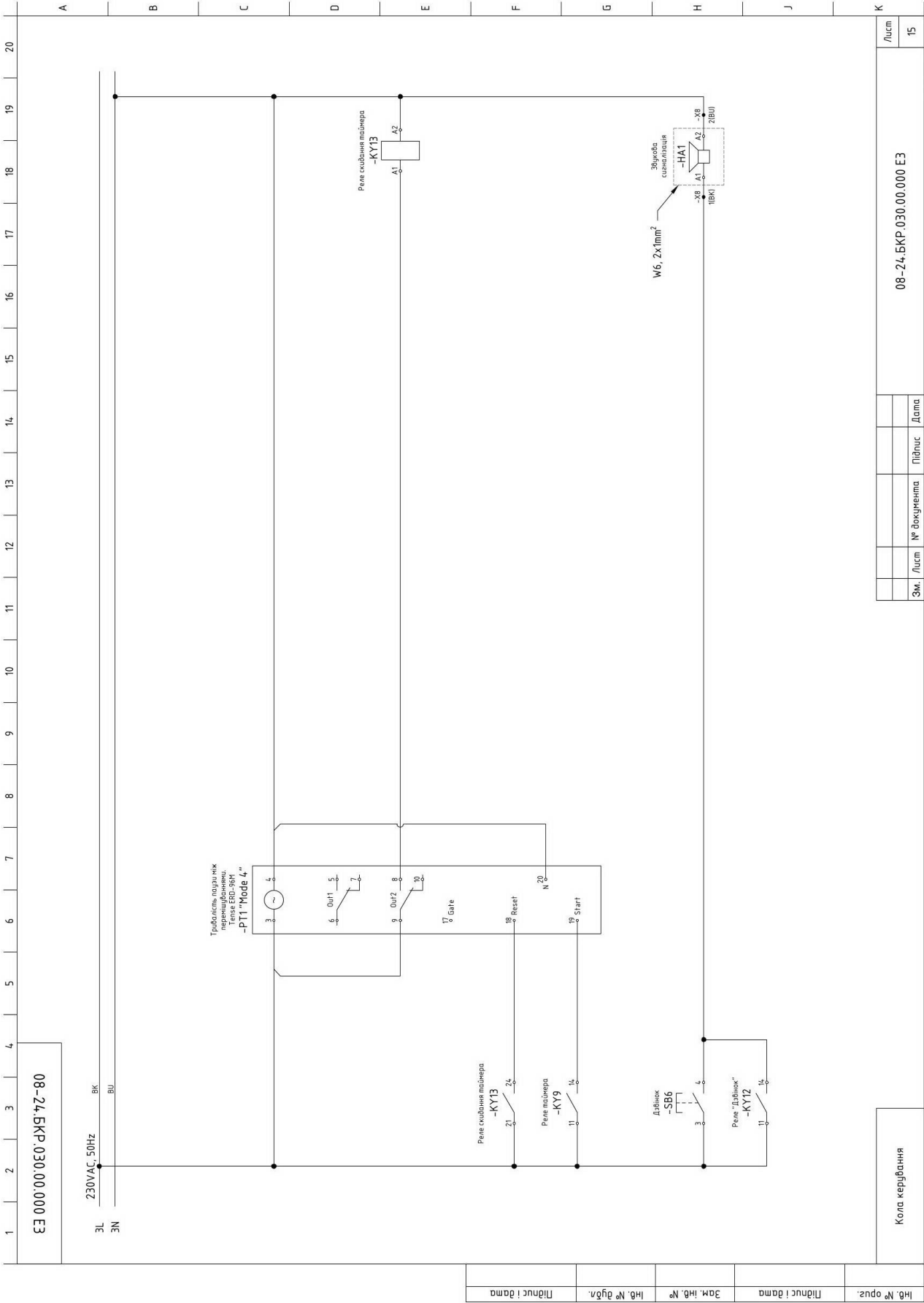
Формат А3	
-----------	--

Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата

лучи	
------	--

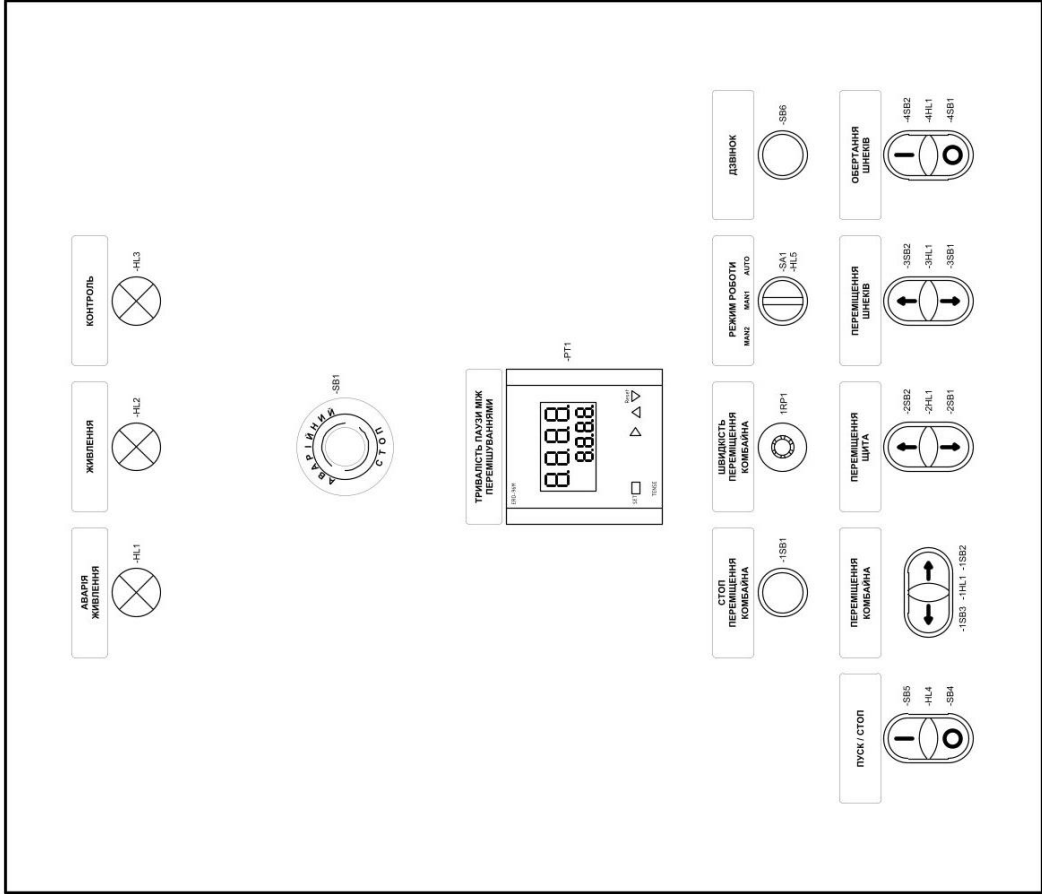






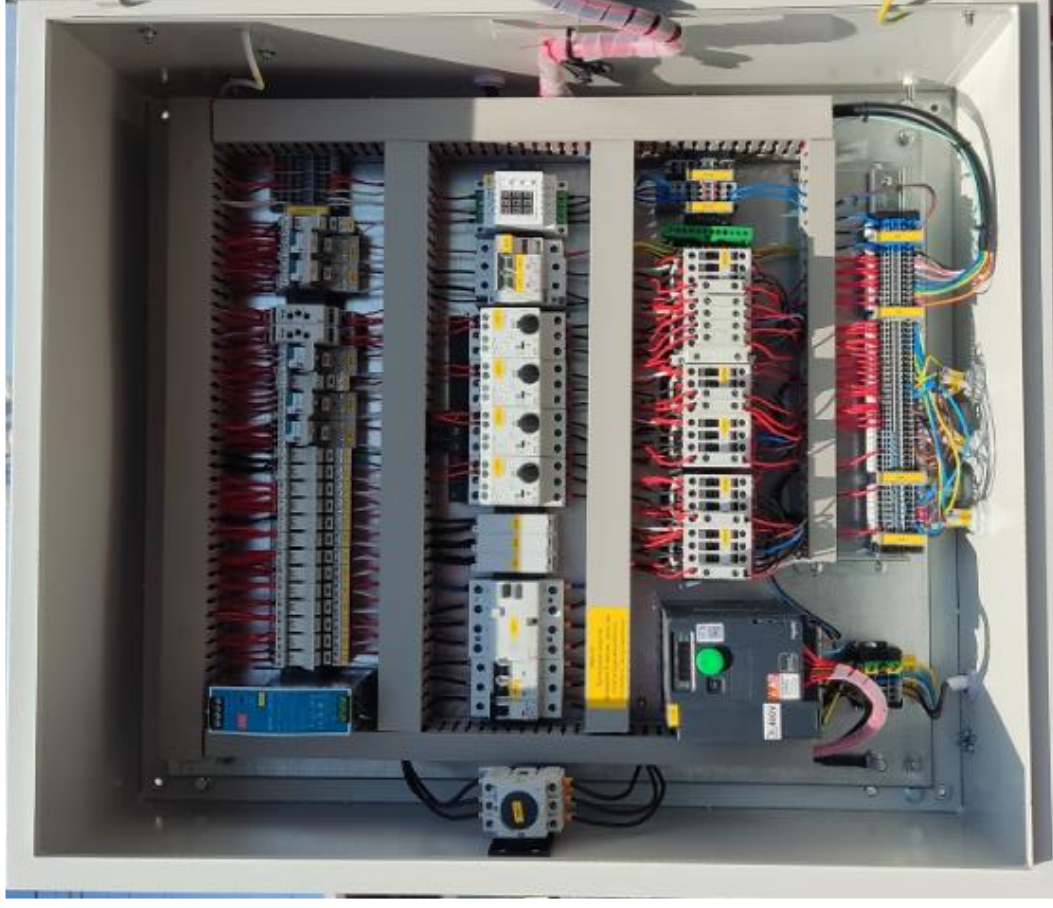
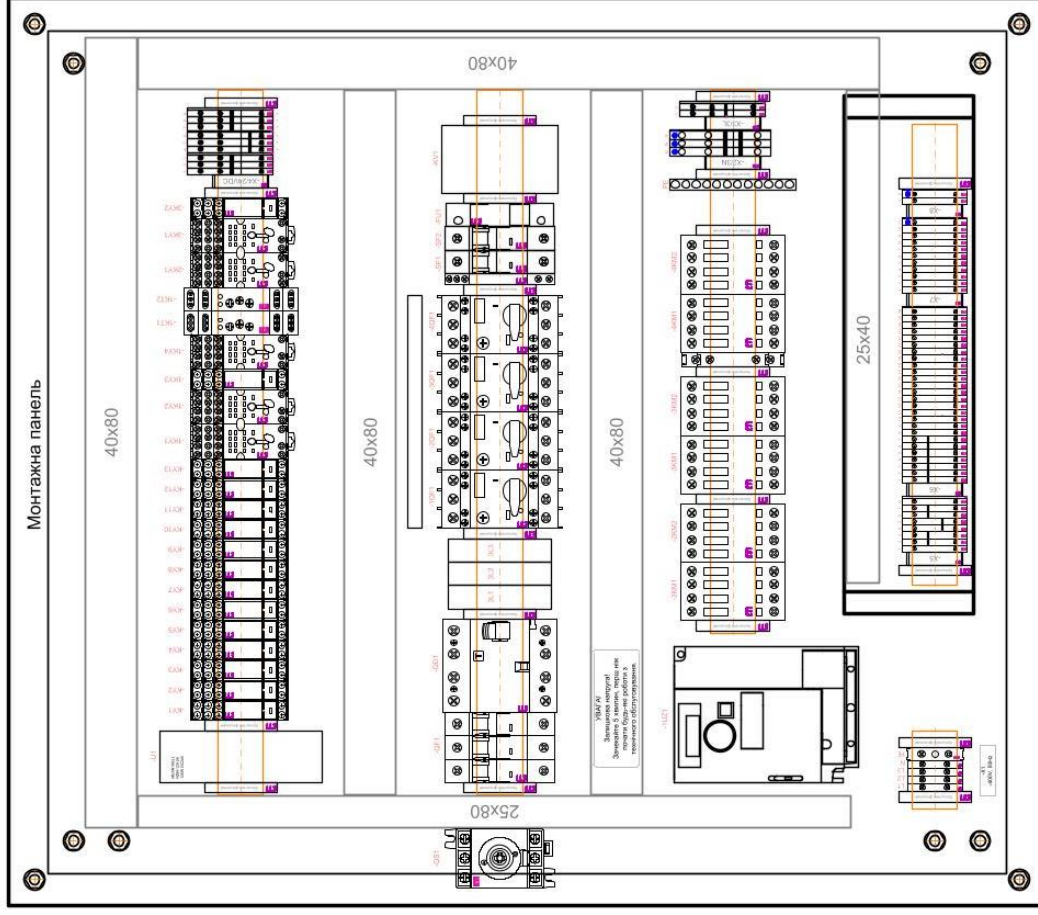
Практична реалізація

Інтерфейс шафи керування



Практична реалізація

Компоновка шафи керування



ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Електромеханічна система автоматизації змішувача столу для сушіння гарбузового насіння

Тип роботи: бакалаврська кваліфікаційна робота

Підрозділ: кафедра КЕМСК, ФЕЕЕМ, гр. ЕМСА-23мс

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism **20,36** %

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)

Бабій С.М.

(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач

(підпис)

Мурашко О.В.

(прізвище, ініціали)

Затверд.	Мошноріз М.М.	05.06
Норм.кон.	Паянок О.А.	03.06
Резерв.	Войтюк І.А.	10.06
Т. контр.		
Перевірив	Бабій С.М.	20.05
Розробив	Мурашко О.В.	20.05



					08-24.БКР.030.00.000 К1			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Електромеханічна система автоматизації змішувача столу для сушіння гарбузового насіння. Схема кінематична механізму переміщення змішувача	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив		Мурашко О.В.		20.05				
Перевірив		Бабій С.М.		20.05		Аркуш 1	Аркушів 1	
Т. контр.								
Резерв.		Войтюк І.А.		10.06		гр. ЕМСА-23мс		
Норм.кон.		Паянок О.А.		03.06				
Затверд.		Мошноріз М.М.		05.06				