

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки
Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

Пояснювальна записка

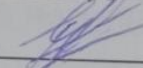
до кваліфікаційної роботи

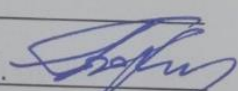
магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему Модернізація електропривода механізму перевантаження
цегли шляхом впровадження промислового робота

Виконав: студент 6 курсу, групи 601-МЕ
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

Губіцький М.М. 

Керівник Бороздін М.К. 

Рецензент Єрмілова Н.В.

Полтава - 2025 рік

1
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і
робототехніки
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій
Ступінь вищої освіти Магістр
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри автоматки
і електроприводу

О.В. Шефер

“ 2 ” вересня 2024 р.

З А В Д А Н Н Я НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Губіцькому Максиму Миколайовичу

1. Тема проекту (роботи) «Модернізація електропривода механізму перевантаження цегли шляхом впровадження промислового робота»
керівник проекту (роботи) Бороздін Микола Кирилович, к.т.н., доцент
затверджена наказом вищого навчального закладу
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 19.12.2024 р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) Технічна документація на механізм перевантаження цегли. Продуктивність максимальна – 2040 шт./год. Встановлена сумарна потужність – 6,6 кВт. Діапазон регулювання швидкості повинен становити 50:1. Точність зупинки – $\Delta\varphi \leq 0,5^\circ$. На базі дослідження динамічних режимів роботи автомата провести його модернізацію, дослідити якість системи автоматизації.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки Будова автомата перевантаження цегли. Опис технологічного процесу виробництва цегли. Аналіз роботи механізму та схеми керування. Доцільність застосування промислового робота для модернізації. Постановка завдань на магістерську роботу. Розрахунок потужності, вибір електродвигуна та типу електропривода. Розрахунок і вибір основних елементів силової схеми. Розроблення функціональної схеми керування електроприводом. Розроблення структурної схеми САК. Дослідження динамічних властивостей електропривода. Розрахунок, побудова та аналіз перехідних процесів. Розробка принципової схеми електропривода. Висновки по роботі.
5. Перелік графічного матеріалу:
 - 1) Будова механізму перевантаження цегли на базі пресу СМ-1085;

- 2) Існуюча релейно-контакторна схема керування;
- 3) Функціональна схема промислового роботу;
- 4) Схема силової частини АІН;
- 5) Спрощена функціональна схема системи електроприводу;
- 6) Схема силової частини електропривода ПР;
- 7) Функціональна схема керування електроприводом;
- 8) Структурна схема САК;
- 9) Модель системи ПЧ-АД;
- 10) Графіки перехідних процесів;
- 11) Висновки.

6. Дата видачі завдання 02.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН


Пор. №	Назва етапів магістерської роботи	Термін та обсяг виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
		Термін	Квартал	Обсяг	
1	Будова автомата перевантаження цегли. Опис технологічного процесу виробництва цегли	07.10.24		15%	Пл. 1
2	Доцільність застосування промислового роботу для модернізації. Постановка завдань на магістерську роботу	17.10.24	I	25%	Пл. 2
3	Розрахунок потужності, вибір електродвигуна та типу електропривода	05.11.24		40%	Пл. 4
4	Розрахунок і вибір основних елементів силової схеми	12.11.24		50 %	Пл. 5
5	Розроблення функціональної схеми керування електроприводом	19.11.24	II	60%	Пл. 6
6	Розроблення структурної схеми САК. Дослідження динамічних властивостей електропривода	26.11.24		70%	Пл. 7
7	Розрахунок, побудова та аналіз перехідних процесів	04.12.23		80%	Пл. 8, 9
8	Розробка принципової схеми електропривода	11.12.24		90%	Пл. 10,
9	Оформлення пояснювальної записки	19.12.24	III	100%	Пл. 11

Магістрант


(підпис)

Губицький М. М.
(прізвище та ініціал)

Керівник роботи


(підпис)

Бороздін М. Р.
(прізвище та ініціал)

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	6
1.1 Будова та принцип роботи механізму перевантаження цегли.....	6
1.2 Опис технологічного процесу виробництва цегли	12
1.3 Механізм перевантаження як об'єкт модернізації	16
1.4 Доцільність використання промислових роботів у виробництві цегли...22	22
1.5 Постановка завдань на магістерську роботу	28
2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА	29
2.1 Принцип роботи промислового робота	29
2.2. Вимоги до електроприводу промислового робота	30
2.3 Розрахунок потужності двигуна і вибір типу електропривода	31
2.4 Розрахунок і вибір основних елементів силової схеми	47
2.5 Розроблення функціональної схеми електропривода	52
2.6 Розроблення структурної схеми САК	54
3 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	60
3.1 Дослідження статичних характеристик електропривода в замкненій системі	60
3.2. Дослідження динамічних властивостей електропривода	63
3.3. Розробка принципової схеми керування та опис її роботи	69
3.4 Екологічність та безпека при виробництві цегли	72
ВИСНОВКИ.....	74
Використана література.....	75

ВСТУП

Актуальність роботи. Моніторинг ринку цегли в Україні показує, що в даний час на ньому перебільшує продукція вітчизняного виробництва. Основою для розвитку виробництва цегли є необхідність стрімкого розвитку усього будівельного виробництва на базі сучасних технологій з використанням автоматичних систем. Для виготовлення якісної продукції з цегли склад глини має бути постійним. При постійному контролі та регулюванні режиму роботи сушарки, дотримання режиму випалювання в печі можна знайти причини браку у виробництві та його джерело. Джерелом браку у виробництві цегли може бути сама якість глини, її видобування та переробка, формування, сушіння або випалювання глини.

Для уникнення таких недоліків необхідне створення високоефективних нових технологій, активне використання енергозберігаючих та безвідходних методів виробництва, що дадуть змогу отримувати якісну продукцію при мінімальних витратах [1]. Основними напрямками підвищення ефективності виробництва є підвищення продуктивності праці та поліпшення якості продукції, використання новітнього технологічного обладнання, оновлення виробничого апарату, зниження ручної праці тощо. В Україні є підприємства, що експлуатують промислових роботів на даних ділянках технологічного процесу виробництва. Сьогодні перспективність застосування промислових роботів в технологіях виробництва будівельної кераміки є безперечною та актуальною [2].

До введення в експлуатацію автомата – механізму перевантаження цегли, укладання відпресованої цегли-сирцю на випалювальні вагонетки проводилася вручну. З преса цегла подавалась на транспортер, по якому вона переміщувалась до обпалювальної вагонетці, куди його переміщував робітник - укладальник. Швидкість укладання була невисока, що знижувало

продуктивність роботи усього преса, на якому проводилося пресування цегли. Певною мірою цей недолік був вирішено застосуванням пневматичного пристрою для знімання ряду, але цей пристрій має певні недоліки: низький ККД, необхідність змащування деталей.

Метою роботи є модернізація електропривода механізму перевантаження цегли шляхом дослідження можливості та доцільності заміни застарілого пневматичного пристрою переносника ряду цегли на промисловий робот з системою частотно-регульованого електроприводу.

Для досягнення даної мети потрібно розв'язати такі **завдання**:

- провести аналіз технології виготовлення цегли з використанням механізму перевантаження (автомата- садчика), дослідити сучасний стан системи керування цим автоматом;
- провести аналіз конструкцій промислових роботів та систем керування електроприводом роботів;
- виконати розрахунок статичних характеристик розімкнутої системи;
- розробити схему керування електроприводом, яка буде відповідати технологічному процесу, якому забезпечити необхідний діапазон регулювання. Провести моделювання та проаналізувати перехідні процеси замкнутої системі зі зворотним зв'язком за швидкістю і положенням;
- здійснити і обґрунтувати вибір спеціалізованого типу контролера, розробити принципову схему керування електроприводом промислового робота.

Об'єктом дослідження є процес виготовлення цегли з використанням механізму перевантаження та аналіз конструкцій і систем керування електроприводом промислових роботів.

Предметом дослідження є система керування електроприводом механізму перевантаження цегли.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Будова та принцип роботи механізму перевантаження цегли

Сирець цегли, що пройшов пресування за напівсухим способом, повинен мати велику механічну міцність та точні геометричні розміри, а також його усадка при сушінні і майбутньому випалі повинні бути малими [1].

Таку цеглу напівсухого пресування з точними геометричними розмірами широко застосовують в будівництві в якості як стінового, так і особового виробу, а значна механічна міцність виробу дає змогу доволі легко автоматизувати його міжопераційне транспортування і встановлення. Варто зазначити, що мала вологість прес-порошку дозволяє поєднувати сушку та випал виробів в одному пічі, а це значно зменшує витрату палива і економить ресурси, також скорочується процес виробництва.

Такий спосіб виробництва цегли (напівсухий) дає можливість розширити сировинну базу, так як дозволяє застосовувати мало-пластичні глини – сухарні глини й глинисті сланці. Причиною цього є той факт, що, як правило, виготовленням і впровадженням у виробництво автоматів-садчиків займаються підприємства з виробництва будівельних матеріалів самі для власних потреб, або замовляють у підприємств тієї ж галузі, на яких вони вже введені в експлуатацію. Пояснюється це тим, що механізми перевантаження цегли (так звані автомати-садчики) встановлюються на конкретну технологічну лінію з урахуванням її особливостей і нюансів.

Розглянемо пристрій такого автомата-садчика силікатної цегли.

До складу автомата-садчика входять наступні елементи (рис. 1.1): привод, знімач-кантувач, транспортер-накопичувач, переносний візок, що має функції підйому пневмошин та механізм програмування руху обладнання. Рух автомату передається від колінчастого валу 1. До приводу відбору потужності відносяться циліндрична 2 та конічна 3 зубчасті передачі, а також кривошипний механізм 10. Кривошип 10 з тягою 11 здійснює передачу

рухів коливання від преса до транспортеру 12. Далі знімач-кантувач, котрий містить два симетричних пневмозахвати 4 для затискання цеглин, знімають їх зі столику преса, після цього їх розгортають в одну лінію, повертають на 90° і розміщують на поверхні стрічки накопичувача 12. Від цих операцій знімач в цілому може повертатися у вертикальній площині на величину кута до 100° . При цьому при перенесенні чотирьох цеглин з преса на накопичувач 12 його стрічка буде пересуватися на величину, яка дорівнює розміру цегли, в результаті цих дій на транспортері вже звільниться місце для встановлення наступного ряду цеглин. Переміщення здійснює привод накопичувача 33, котрий одержує рух від валу знімача 9. Далі, після набору на стрічці транспортера повного прошарку цегли, за допомогою візка 24, вона переноситься на спеціальну автоклавну вагонетку, де вже складається у штабель [1].

Привід переміщення переносного візка 24 містить редуктор 28, електродвигун 27, зубчасту циліндричну передачу 29 і ковзанки 30, які пересуваються по рейках. Також на цьому візку змонтований механізм підйому-спуску, котрий включає електродвигун 31 та редуктор 26 із закріпленими на його кінцях його вихідного вала барабанами 25, що здійснюють навивку канату 23. Канат закріплений на підйомній рамі 20. У механізмі є дві кінематичні пари 22, призначені для забезпечення чіткого напрямку підйомної рами, що піднімається. Крім того, по балках підйомної рами 20 пересуваються роликові пристрої 16, на яких підвішується рама 18 разом з пневмо-шинами 17. Після закінчення вибору прошарку цегли на стрічці його пневмо-шини поступово починають опускатися в зазори між рядками цеглин і після подачі повітря весь прошарок затискається. Потім вони повертаються у вихідне положення, що залежить від положення упору 15 знижувача 14.

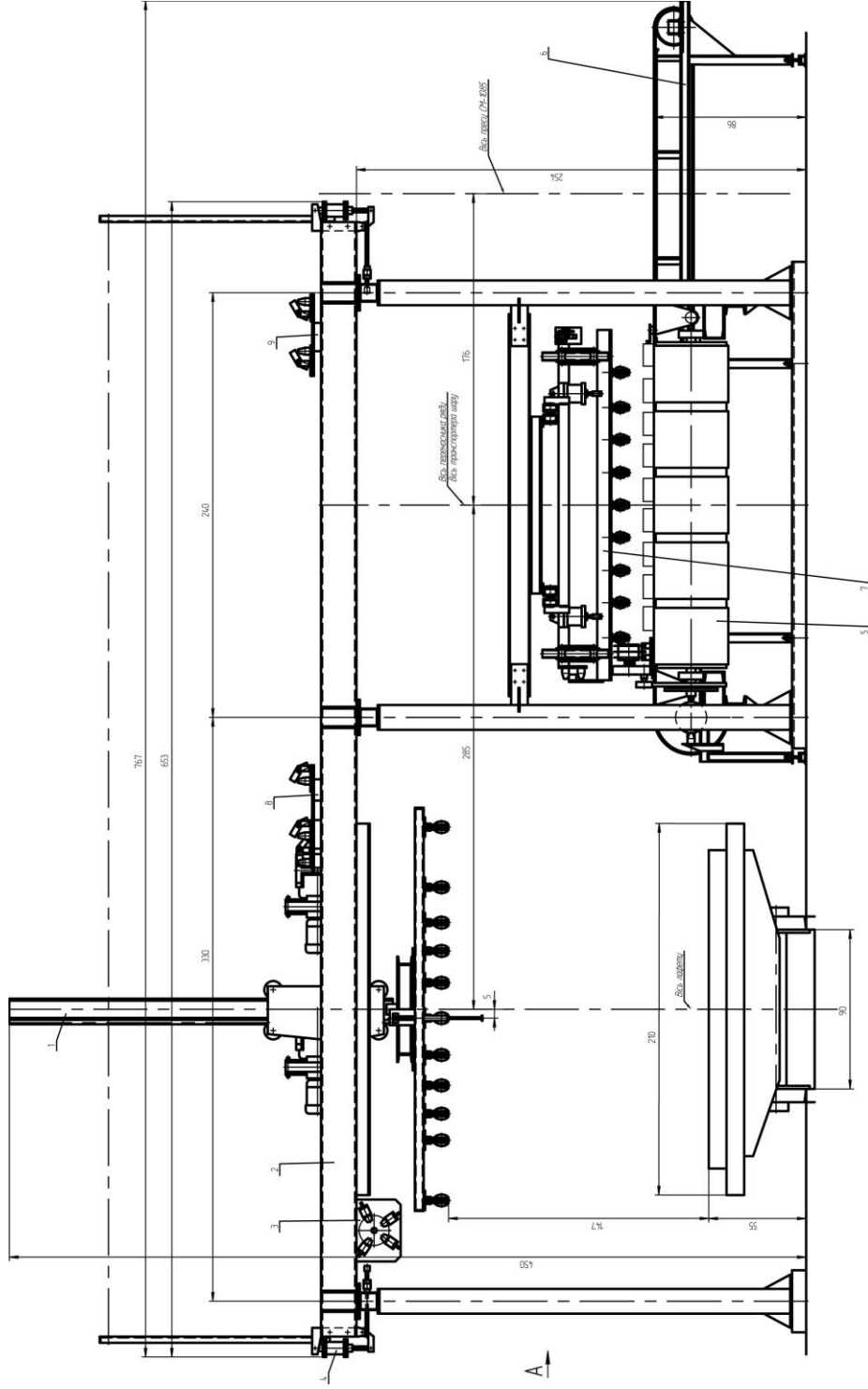


Рисунок 1.1 – Будова механізму перевантаження цегли на базі пресу SM-1085

Знижувачем являється вал, що вертикально встановлений, на котрому у визначеному порядку закріплюються упори, які служать обмежувачами опускання пневмо-шинах. Пересуваючись в сторону вагонетки, переносний візок 24 здійснює поворот валу знижувача. В механізмі присутній кінцевий вимикач (що монтується на підйомній рамі), що контролює крайнє положення опускання пневмошин.

В нижньому положенні з пневмо-шин випускається повітря, тому шар цеглин залишається на вагонетці автоклаву, а пневмо-шини піднімаються у вихідне положення.

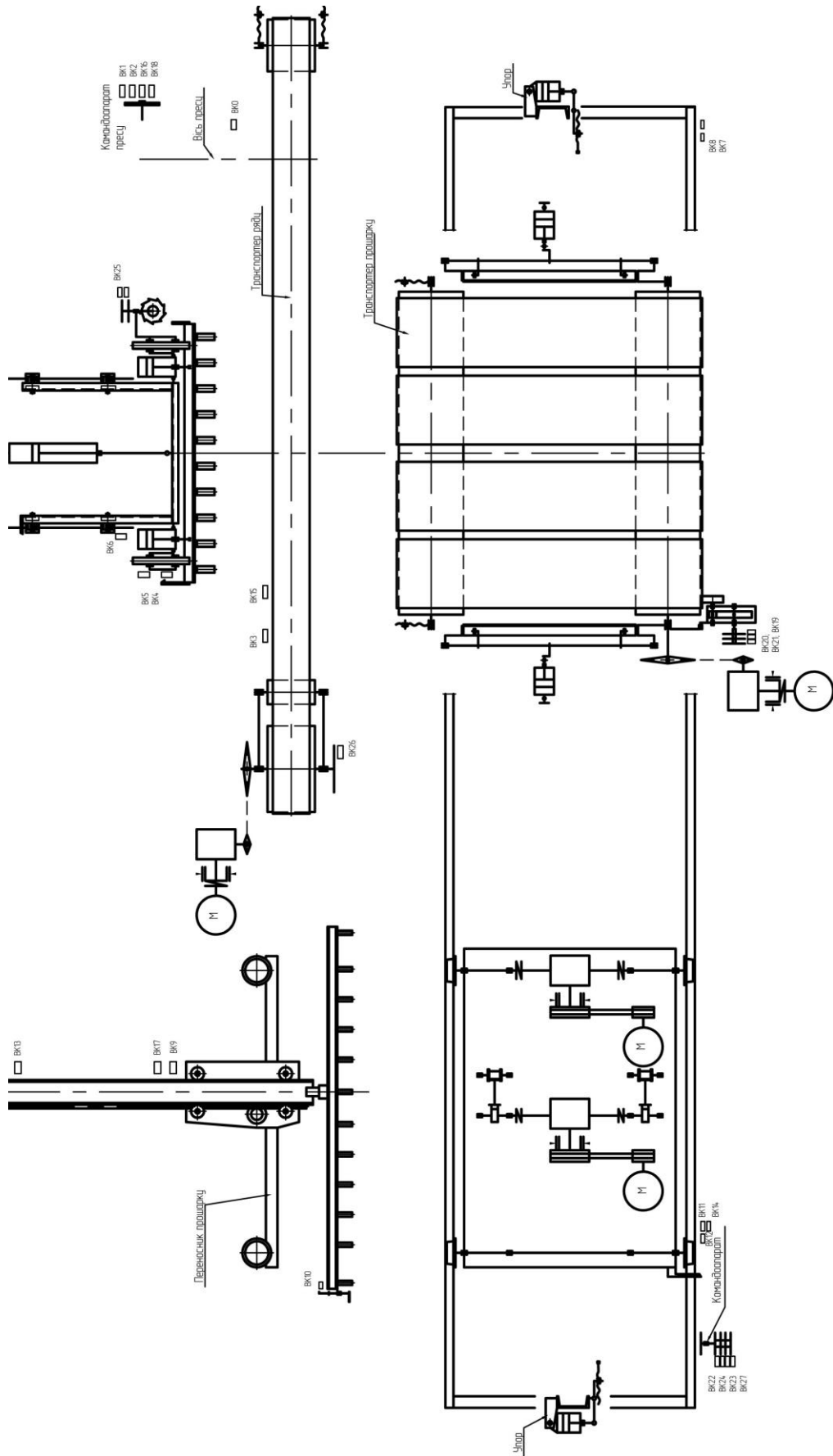
Кінематична схема автомата-садчика представлена на рисунку 1.2.

Призначенням механізму перевантаження цегли є формування овального штабеля, він складається з барабану 19 з кулачками, які можуть повертатися з позиції на позицію при прямому та зворотному ході переносного візка. Для керування висувною рамою 18 встановлені кулачки барабану 19 з пневмо-шинами 17. Також там розміщені ролики 16, що пересуваються по напрямних балках рами 20. Протягом робочого ходу переносний візок 24, висувна рама 18 разом із шаром цегли висуваються на величину уступу в штабелі, а при холостому ході повертається у вихідне положення. Висувна рама пересувається за допомогою пневмо-циліндра 21.

Для виштовхування завантаженої автоклавної вагонетки, а також для подавання поршнів, призначений штовхач 13, який встановлений в колії між рейками нижче вісі вагонетки. Пнемо-циліндр 32 служить для пересування штовхача.

Призначення механізму програмування – включати переносний візок 24 в автоматичну роботу після набору на транспортері-накопичувачі 12, необхідного для даного шару кількості цеглин. Він являє собою храповий диск 7, на якому закріплений кулачок 5 програмування, який впливає на кінцевий вимикач через важіль 6.

Рисунок 1.2 – Кінематична схема основних вузлів механізму перевантаження цегли



Замикаючись в моменти закінчення набору даного прошарку штабеля, він тим самим подає імпульс на включення схеми автоматичного керування. Храповий диск 7 приводиться в рух разом з кулачком 5 від ексцентрика знімача через тягу з хитним важелем 8.

1.2. Опис технологічного процесу виробництва цегли

1.2.1 Видобуток, транспортування, підготовка сировини і подача його на сушіння

Розробка родовища діатомітів (трепельної глини) проводиться відкритим способом цілий рік екскаватором з ємністю ковша 1 м³ в чотири уступи. Висота уступу 7 м. Діатоміти з кар'єру транспортуються автосамоскидами марки КРАЗ вантажопідйомністю 8 тон в сховище, яке призначене для відлежування і усереднення, а також створення запасу для безперебійної роботи технологічної лінії в осіннє - весняний і зимовий періоди. Обсяг сховища до 30 тис. м³. Завантаження сховища діатомітом автосамосвалами проводиться через бічні розвантажувальні естакади. Постійна ступінь заповнення його повинна бути не менше 1/3. Від естакад діатоміт переміщається бульдозером і розрівнюється по всій площі сховища.

Змішувачем проводяться такі процеси:

- ✓ Розпушення великих природних злежаних грудок діатомітів.
- ✓ Рівномірна подача розпушеної маси на стрічковий транспортер.
- ✓ Дозування на транспортер маси діатомітів, яке здійснюється зміною кута повороту лопатей по відношенню до валу в межах 25–30%.

Змішувач може працювати на ручному і автоматичному режимах [1].

Після змішувача задана за обсягом маса діатомітів за допомогою транспортера подається в бункер лопатевого живильника-дозатора. Для вловлювання з маси випадково потрапляючих на транспортер металевих предметів, в кінці його встановлюється електромагніт. Видана за заданим обсягом маса діатомітів стрічковими транспортерами подається до сушильних

барабанів і надходить із завантажувального боку працюючого барабана.

Технічні дані транспортера: марка Т-210, ширина стрічки 650 мм, довжина 75 м, потужність електродвигуна 75 кВт. Електромагніт живиться напругою 127 В постійного струму. Живильник-дозатор на базі змішувача СМ-477А (число обертів валів 31 в хвилину, продуктивність не менше 18 м³/год, потужність електродвигуна 28 кВт) призначений для об'ємного дозування та рівномірного подавання діатомітової маси на транспортер подачі до сушильного барабану.

1.2.2 Сушіння діатомітів

Для сушіння використовують сушильний барабан типу СМЦ-428.2, діаметром 2.8 м. Відхилення вісі барабана до горизонту в бік розвантаження складає 3°. Число обертів барабана 3–6 об/хв. Середня продуктивність барабана 25 т/ год. Температура теплоносія на вході 900–1000° С, на виході 150–180° С. Тривалість сушки 30–45 хв. Сушильний барабан призначений для сушки діатомітів топковими газами в суміші з повітрям і часткового його подрібнення. Принцип сушіння діатомітів в барабані є прямоточно-безперервним, гарячі гази з температурою до 1000° надходять з топки всередину барабана, стикаються з діатомітом і рухаються з ним в одному напрямку, нагрівають його і вологу, що міститься в ньому. Відпрацьовані гази пропускаються через аспіраційну систему і викидаються назовні. Якщо вологість або інтенсивність подачі сировини змінюється, то режим сушіння може регулюватися кількістю, що надходить в барабан газу і незначною зміною його температури [2].

1.2.3 Транспортування висушеного діатоміту, підготовка порошку

Висушена маса діатомітів від сушильного барабана за допомогою системи елеваторів, стрічкових транспортерів, бункерів, грохотів подається в молоткову дробарку. Елеватори ЛГ-250 продуктивністю 14 кг/с, ємність ковша 4л, швидкість руху ковшів 1,6 м/с. Потужність електродвигуна 7 кВт. Подрібнення висушеного діатоміту проводиться молотковою однороторною

дробаркою СМ-431 типу М-8-6Б. Продуктивність при щільності 13 мм 10–24 т/год. Крупність фракції завантажуючого матеріалу до 250 мм. Крупність фракції одержуваного матеріалу до 13 мм. Подрібнюваний діатоміт через завантажувальний люк подається в корпус дробарки. При обертанні ротора проводиться подрібнення матеріалу, який прокидається вниз. Номінальна швидкість обертання ротора 1000 об/хв. Електродвигун А02/01-6, діаметр ротора 800 мм, робоча довжина 600 мм, потужність електродвигуна 85 кВт.

Транспортування подрібненого і висушеного діатоміту від дробарки до грохоту проводиться ковшовим елеватором ЛГ-3200М. Просів порошку здійснюється на грохоті ГИЛ-32 продуктивністю 90 м³/год. Розміри сит 1200x2860. Грохот вібраційний інерційний. Кількість сит 1. При просіві проводиться відділення гранул більше 7 мм. Гранули менш 7 мм проходять через сито грохоту до вивантажувального лотка і розвантажуються в стрічку транспортера, а розміром більше 7 мм повертаються назад в дробарку для повторного подрібнення. Після просіювання прес-порошок транспортується в бункери-накопичувачі. У бункерах відбувається деяке вирівнювання вологості запасу порошку.

1.2.4 Напівсухе пресування цегли

Діатомітова маса для напівсухого пресування являє собою сипучий порошок, кількість води якого недостатньо для створення навколо зерен суцільної плівки. Тому діатомітова маса не володіє пластичністю і в'язністю. Для додання цеглі-сирцю належної форми, цілісності і необхідної міцності маса пресується під високим тиском, в результаті чого зерна діатомітового порошку зближуються, деформуються, їх сумарна контактна поверхня збільшується і частки діатомітів з'єднуються за рахунок поверхневих молекулярних сил. Для виробництва цегли застосовують прес СМ - 1085. Даний прес відноситься до типу механічних коліноважільних пресів безперервної дії з двостороннім одноступеневим режимом пресування. Максимальне зусилля пресування 630 т.

1.2.5 Посадка цегли-сирцю на випалювальні вагонетки

Основні вимоги до коші цегли:

– садка повинна бути міцною, стійкою до усадки цегли при випалюванні, що досягається перев'язкою її рядів.

– садка повинна бути досить проникною для газів у всіх напрямках і повинна забезпечувати рівномірний розподіл вогню по перетину печі, що досягається пристроєм поздовжніх і поперечних каналів. За зовнішнім периметром садка повинна відповідати внутрішньому профілю обпалювального каналу.

1.2.6 Транспортування вагонеток до печей

Транспортування випалювальних вагонеток з садкою цегли до випалювальних тунельних печей проводиться за допомогою електропередавальних візків (ЕПТ) типу СМ-94 С вантажопідйомністю 12 т. Число транспортуючих вагонеток – 1. Швидкість пересування 0,4 м/с. Потужність електродвигуна 4 кВт.

1.2.7 Завантаження тунельної печі вагонетками

Закочування випалювальних вагонеток з садкою цегли в форкамеру, завантаження тунельної печі обпалювальними вагонетками з садкою цегли здійснюється гідроштовхачем марки СМ-54 С. Завантаження тунельної печі вагонетками з садкою цегли-сирцю проводиться за затвердженим графіком проштовхування.

1.2.8 Випал цегли.

Випалювання цегли проводиться в тунельних печах. Довжина печі 66 м; ширина каналу 2 м; висота 2,125 м; обсяг обпалювального каналу 164,5 м³; ємність печі 32 обпалювальні вагонетки. Паливо – природний газ.

Випал є заключним етапом в процесі виробництва цегли, від якого залежить міцність і морозостійкість цегли, його зовнішній вигляд і колір. Основною характеристикою режиму випалу в тунельній печі є температурна крива. Випалювання цегли полягає в тепловій обробці сирцю гарячими газами

з температурою від 100 до 1200 °С. За кількістю, що знаходяться одночасно в печі вагонеток вона має 32 позиції. По довжині піч умовно ділиться на три зони: підігріву (2 – 18), випалу (18 – 21), гартування і охолодження (21 – 32). У кожній зоні підтримується певний температурний режим і відбуваються відповідні фізико-хімічні процеси.

1.2.9 Вивантаження цегли з печі

Вивантаження обпаленої цегли з печі відбувається одночасно з завантаженням. При заочуванні в піч з завантажувального кінця однієї вагонетки одночасно викочується одна вагонетка з вивантажувального кінця.

1.2.10 Транспортування, зйомка і укладання цегли на піддони

Далі відбувається транспортування вагонетки з обпаленою цеглою на спеціальний майданчик, на якому з випалювальних вагонеток цегла вручну знімається і вкладається на піддони. Тут же відбувається її сортування за сортаментом відповідно до стандартів. Готові піддони козловим краном ККС-10 вантажопідйомністю 10 т переміщуються на вантажно-розвантажувальний майданчик. Одноразова місткість цього майданчика 500 тис. шт. цегли (1262 піддони). Піддони з цеглою відвантажуються на автотранспорт і в залізничні вагони.

1.3 Механізм перевантаження цегли як об'єкт модернізації

Механізм перевантаження (автомат-садчик) призначений для відбору цегли сирцю від преса СМ-1085 і укладання його в технологічну садку на пічну вагонетку розміром 2х2 м. Укладання цегли в садку проводиться пошарово (рис.1.3 і 1.4).

В автоматі передбачений механізм програмування на 18 шарів садки, причому 12 нижніх шарів укладаються без поздовжньої перев'язки цегли. Продуктивність автомата прийнята за максимальною паспортною продуктивністю преса СМ-1085 – 2040 шт. в годину.

Технічні характеристики механізму перевантаження:

1. Продуктивність максимальна – 2040 шт./год.

2. Кількість цегли в садці – 870 шт.
3. Час набору вагонетки – 40 хв.
4. Встановлена сумарна потужність – 6,6 кВт.
5. Привод накопичувача ряду – 1,1 кВт
6. Привод накопичувача прошарку – 2,2 кВт.
7. Привод переміщення переносника прошарку – 1,1 кВт.
8. Привод підйомника прошарку – 2,2 кВт.
9. Витрата повітря (при тиску в мережі $P = 5$ атм.) – 0.45 м³/1 тис. шт.
10. Габарити:
 - довжина – 6585 мм;
 - ширина – 4380 мм;
 - висота – 4500 мм.
11. Маса – 2800 кг.

Автомат-садчик складається з наступних основних вузлів:

- Транспортер – накопичувач ряду.
- Переносник ряду.
- Транспортер – накопичувач прошарку.
- Переносник прошарку.

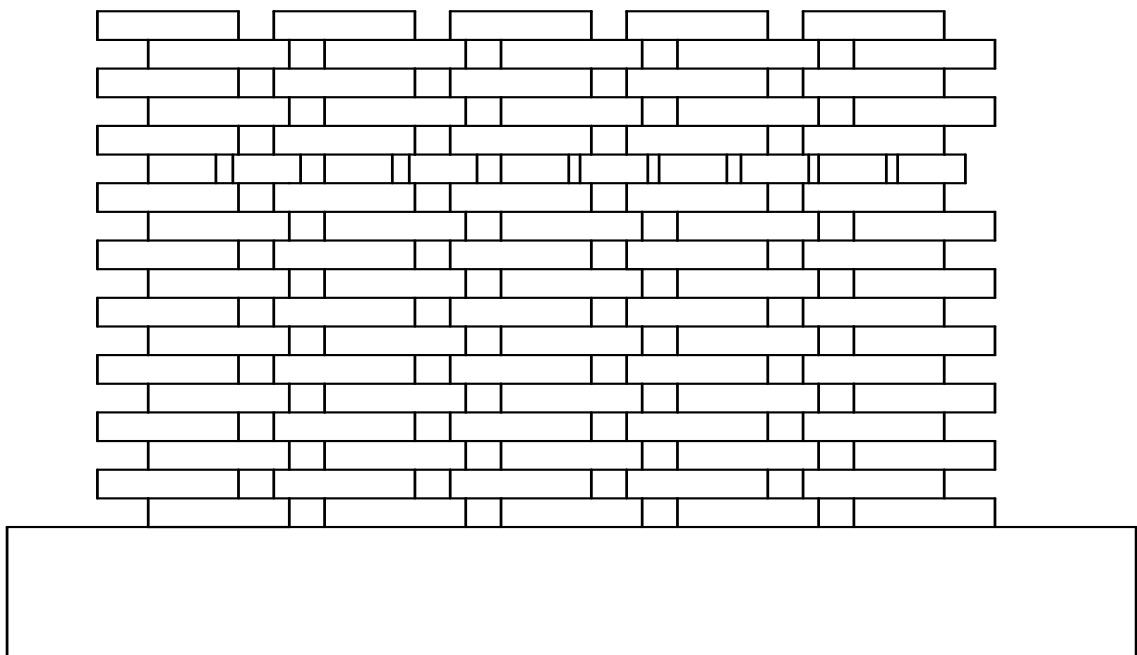


Рисунок 1.3 – Укладання цегли на пічну вагонетку (вид збоку)

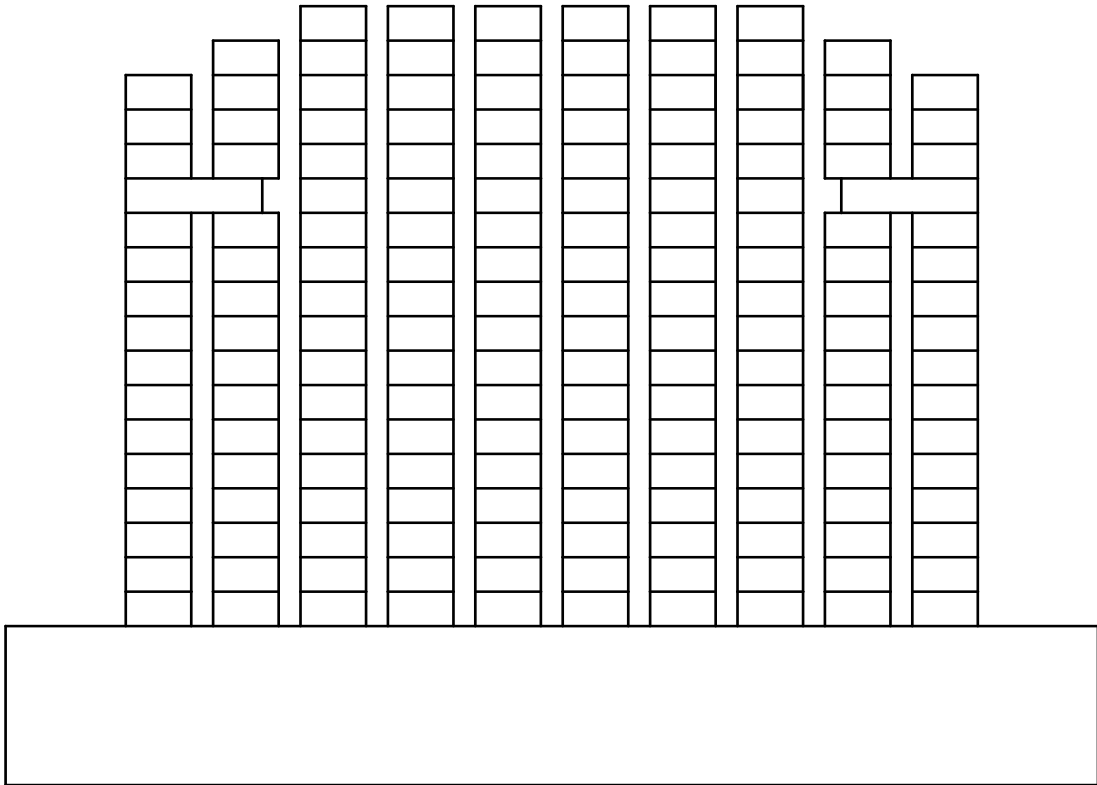


Рисунок 1.4 – Укладання цегли на пічну вагонетку (вид спереду)

Приводний барабан приводиться в обертання за допомогою електродвигуна через редуктор. Накопичувач ряду служить для накопичення ряду цегли в кількості 10-ти штук з однаковими зазорами між ними.

Він являє собою стрічковий конвеєр, змонтований на звареній рамі. Верхня гілка стрічки підтримується металевою пластиною, нижня – роликami. Транспортер-накопичувач прошарку служить для формування прошарків садки (50 шт. в нижніх 12-ти шарах). На рамі встановлено приводний барабан і чотири натяжних барабана. Привод транспортера-накопичувача прошарку складається з електродвигуна і редуктора.

Переносник ряду призначений для перенесення рядків цегли з накопичувача ряду на транспортер-накопичувач прошарку садки. Він складається з зварної рами, на якій встановлена переносна каретка. Каретка пересувається по рамі на ковзанках за допомогою пневмо-циліндра. На каретці встановлені пневмо-затискачі на десять цеглин. Пневмо-затискачі опускаються

і піднімаються за допомогою пневмо-циліндрів.

Переносник прошарку призначений для формування садки цегли на обпалювальній вагонетці перенесенням верств цегли з транспортера-накопичувача прошарку на під обпалювальні вагонетки. Він складається з зварної рами, в центрі якої встановлений механізм підйому пневмо-шин. Підйом і опускання проводиться від електродвигуна через редуктор двома зубчастими рейками, укріпленими на штангах, що рухаються по роликах з ребордами. До штангах прикріплена рама з пневмо-шинами.

Довжина ходу візка змінна і залежить від парності прошарків садки на обпалювальній вагонетці. Для зміни довжини ходу візка на направляючій рамі автомата встановлено програмний пристрій. Пересування візка здійснюється по напрямних рами автомата від електродвигуна через редуктор і провідні скати.

Розглянемо принцип роботи автомата-садчика.

При надходженні відформованих цеглин від преса на транспортер-накопичувач ряду накопичувач включається від кінцевого вимикача, розташованого на пресі, і діє від колінчастого вала. За один цикл роботи преса накопичувач включається два рази, і кожного разу просувається на відстань, рівну 327 мм (відстань, займану двома цеглинами).

На позиції укладання рядка пневмозатискачі опускаються, цегла встановлюється на стрічки транспортера. Переносник повертається у вихідне положення і одночасно включається електропривод транспортера-накопичувача прошарку, таким чином покладений рядок пересувається на певний крок.

Після того, як під захватами ряду накопичується десять цеглин, від десятої цегли спрацьовує кінцевий вимикач і захвати ряду опускаються вниз. Затиснувши цеглини, пневмозатискачем піднімаються і каретка переносника ряду пересувається до транспортеру-накопичувача прошарку на позицію укладання рядка.

Набравши на транспортері п'ять рядків (прошарок садки), пневмозатискачі переносника прошарку опускаються вниз і захоплюють цеглини прошарку. Після підйому вгору каретка йде до випалювальної вагонетки. При поверненні візка у вихідне положення, повертається барабан програмного пристрою, тим самим готується зміна довжини ходу візка при наступному перенесенні прошарку садки. Після укладання прошарку цегли на випалювальну вагонетку переносник прошарку повертається у вихідне положення і чекає набору наступного шару садки. Зробивши 18 циклів, переносник прошарку перенесе 18 шарів цегли з транспортера-накопичувача прошарку на випалювальну вагонетку і формування садки буде закінчено. Причому, в рядках 17-го прошарку набирається по 8 цеглин, а в рядках 18-го прошарку – по 6 штук.

Частина існуючої схеми керування представлено на рисунку 1.5.

Як показав аналіз системи керування автоматом-садчиком система дуже громіздка та має дуже багато елементів, що збільшують шанси на їх відмову.

Розглянемо недоліки релейних схем керування:

- якщо підвищуються вимоги до якості електроприводу, то відбувається значне зростання складності релейної схеми керування;
- релейні схеми громіздки, мають надмірну вагу і велику вартість систем керування, особливо це стосується двигунів середньої і великої потужності;
- небезпека експлуатації релейних схем в вибухонебезпечних середовищах;
- при наявності зовнішніх збурень такі схеми мають доволі низьку точність підтримки потрібних режимів роботи.

Зважаючи на кількість та потужність електроустаткування, що використовується в процесі виробництва цегли, можна зробити висновки:

- 1) Беручи до уваги недоліки існуючої системи керування, а особливо вузлів пневматики, постає гостра необхідність в її модернізації.

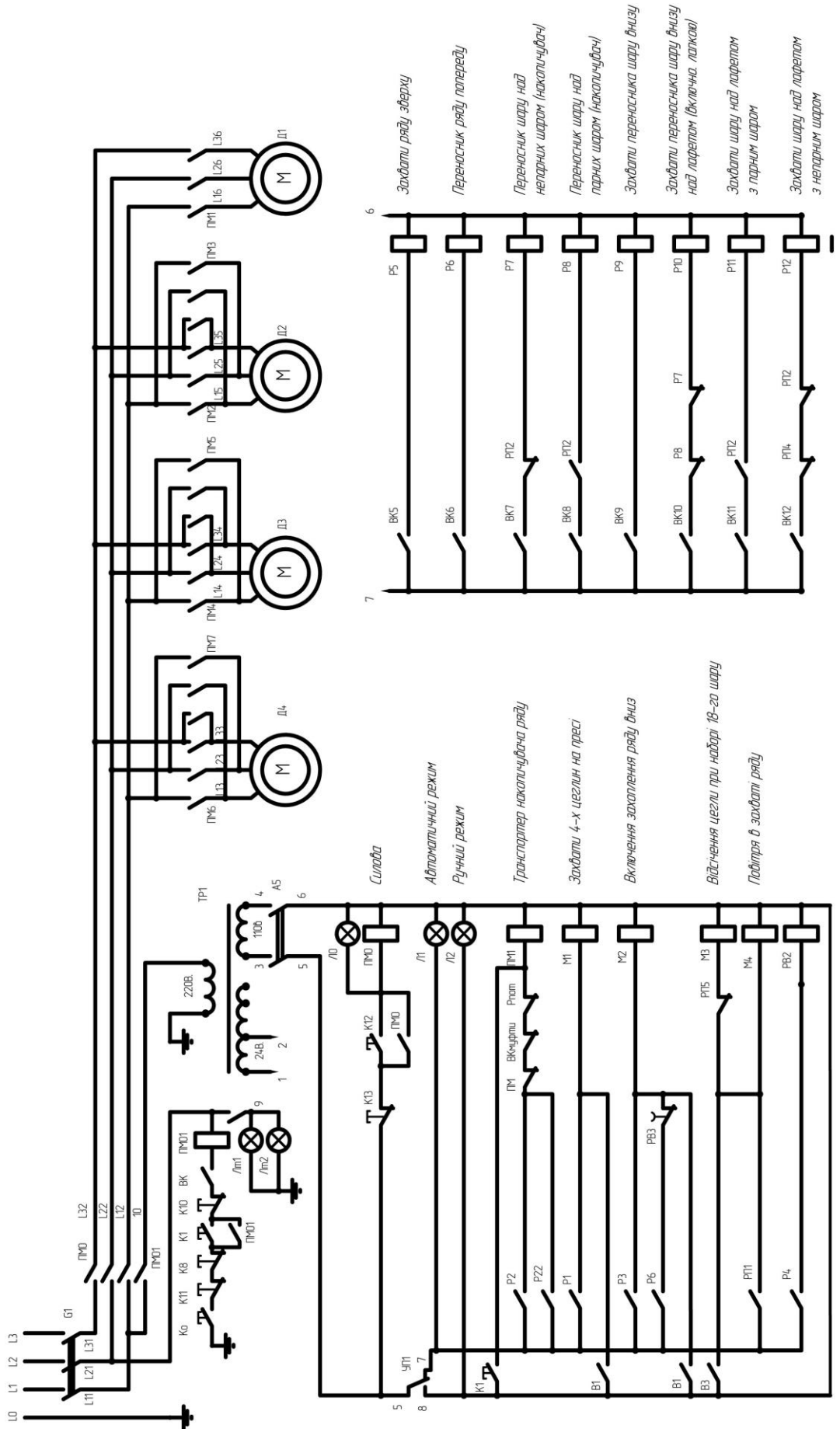


Рисунок 1.5 – Частина існуючої релейно-контакторної схеми керування

2) Питання впровадження енергозберігаючих технологій є досить актуальним.

3) Устаткування має застарілу систему керування, що призводить до частих поломок та енергетичних перевитрат.

Ще одним суттєвим недоліком є використання в існуючих автоматах пневмосистем, які мають ряд суттєвих недоліків:

1. Пневмоенергія має доволі велику вартість. ККД гідравлічних та електроприводів складає порядка 70 і 90 %, а для пневмопривода ККД зазвичай складає 5–15 % (дуже рідко може наблизитися до 30 %). Тому пневмопривод майже не застосовують в машинах великої потужності або з тривалим режимом роботи.

2. Пневмомашини мають відносно велику вагу й розміри внаслідок низького робочого тиску.

3. Пневмомашини характеризуються важким забезпеченням стабільності швидкості руху, якщо зовнішнє навантаження змінюється. Разом із тим, Але потрібно додати, що іноді м'якість механічних характеристик пневмопривода стає його перевагою.

4. Якщо не встановлені засоби зниження шуму, то пневмоприводи мають високий рівень шуму, що сягає 95 – 130 дБ. Найбільш шумними є До них можна віднести поршневі компресори та пневмодвигуни (особливо пневмомолоти та інші механізми ударної дії).

5. Пневмоприводи мають невисоку швидкість передачі керуючого сигналу, що може призвести до затримки у виконанні робочих операцій. Швидкість проходження пневмо-сигналу не може перебільшувати швидкості звуку і в залежності від тиску робочого повітря може становити приблизно від 150 до 360 м/с.

Внаслідок вищеперелічених причин питання вдосконалення обладнання для виробництва цегли є досить актуальним.

1.4. Доцільність використання промислових роботів у виробництві цегли

Перспективним напрямком вдосконалення механізму автоматичного перевантаження цегли (автомата-садчика) є впровадження промислового робота (ПР) в процес її садки, що замінить операцію накопичувача ряду та одразу буде переміщати цеглу на випалювальну вагонетку.

Розгляне класифікацію промислових роботів.

За величиною вантажопідйомності промислові роботи (ПР) поділяються на надлегкі (вага до 1 кг), легкі (вага від 1 до 10 кг), середні (вага від 10 до 200 кг), важкі (від 200 до 1000 кг), надважкі (понад 1000 кг). В даний час випускається до 73 % моделей ПР легкого і середнього типу з вантажопідйомністю від 5 до 80 кг [4].

Також роботи класифікують за ступенем рухливості. Вони діляться на три групи: з малою рухливістю (до трьох ступенів рухливості); з середньою (4–6 ступенів рухливості) і з високою рухливістю (мають понад шість ступенів). Ця характеристика роботи може визначати його універсальність. Зазвичай сучасні промислові роботи мають від 2 до 6 ступенів рухливості: найпростіші – лише 2 ступеня; а найбільш складні – 7 і більше. У сучасному світовому парку переважають конструкції ПР з 4 і 5 ступенями рухливості (їх порядка 67%).

Всі роботи за величиною обслуговуючого робочого об'єму можна класифікувати на п'ять класів. Найбільш поширені в даний час – середні промислові роботи (45%), друге місце займають малі роботи (30%), потім йдуть великі (12%), далі міні-роботи (9%) і, нарешті, мікророботи (4%). Потрібно враховувати, що в цій класифікації величина обслуговуючого робочого об'єму визначена без урахування габаритних розмірів самого об'єкта маніпулювання.

Об'єкт маніпулювання автомата-садчика – цегла, що повинна бути переміщена з накопичувача ряду на випалювальну вагонетку. Функціональна схема маніпулятора включає такі елементи (рис.1.6):

- маніпулятор, чи інша механічна система робота;

- інформаційна система (ІС);
- система програмного керування (СПК), або інший пристрій керування.

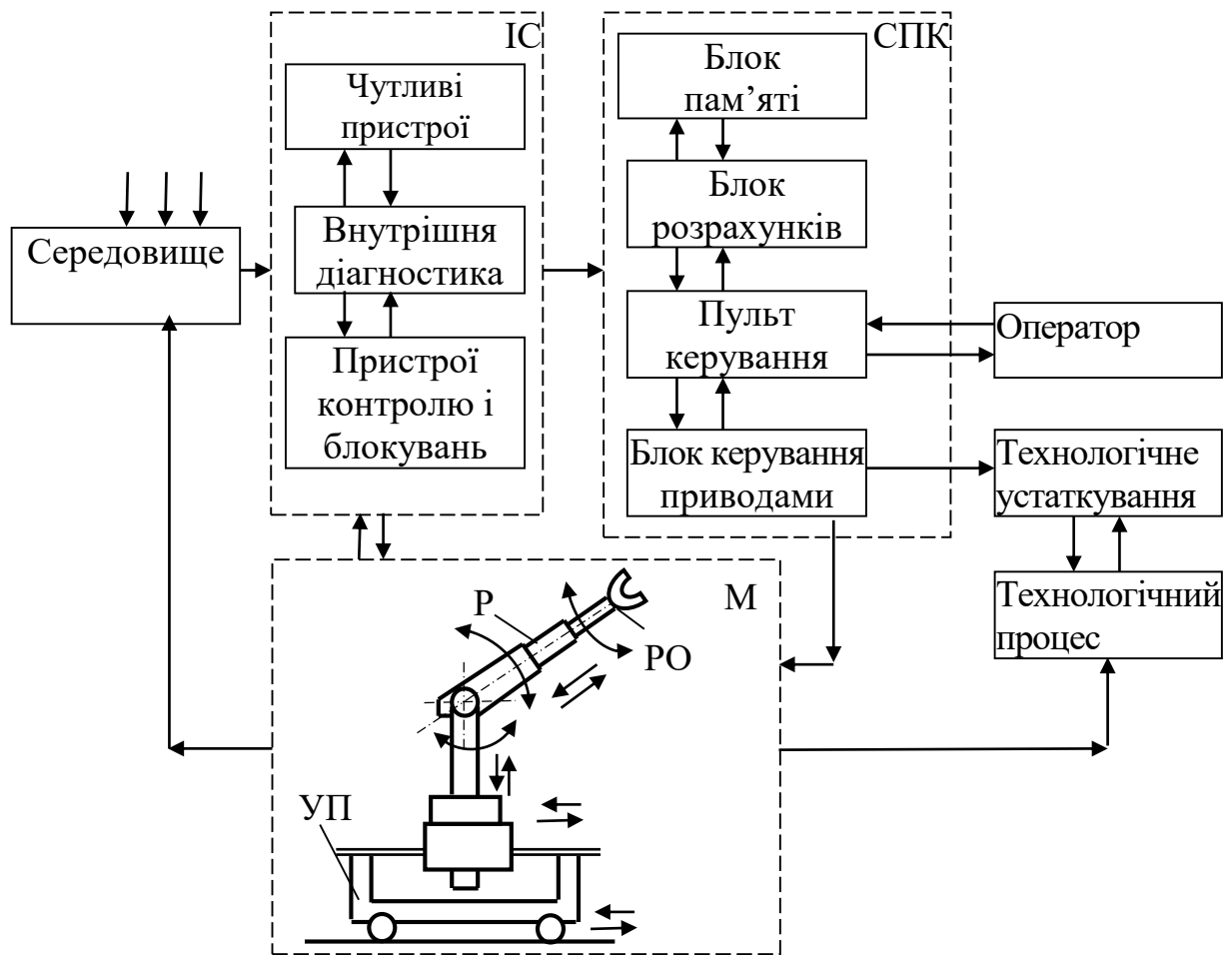


Рисунок 1.6 – Функціональна схема РР

У сукупності інформаційна система і система програмного керування утворюють пристрій автоматичного керування (ПАК).

Найбільш відомий в Україні постачальник РР – компанія KUKA Robotics поставляє свою продукцію тільки в вигляді повністю оснащених роботів або роботизованих комплексів, в якості комплектуючих – лінійні блоки, які дозволяють поставити стаціонарний робот на каретку з направляючими, перетворюючи РР в пересувний РР. Високі ціни (наприклад, Kuka KR-210 Robotic Painting Cell коштує близько 300 тис. дол.) виправдані високою надійністю і гарним сервісом. Компанія спеціалізується на РР

середньої і великої вантажопідйомності.

Фірма KUKA випускає великий спектр ПР, призначених для збирання, фарбування, зварювання, палетування та інших операцій.

Всі ПР середньої вантажопідйомності відрізняються тим, що більшість ступенів рухливості – обертальні, яких зазвичай 5–6 ступенів. Робот KR 5 scara R350, призначений для збирання, має радіус дії 350 мм при вантажопідйомності 5 кг і точності позиціонування 0,03 мм (рис.1.7). Необхідна площа для установки самого робота становить всього близько 150 x 150 мм, у нього 4 ступеня рухливості. Робот KR AGILUS five має радіус дії 700 мм при вантажопідйомності 6 кг і точності позиціонування 0,03 мм, 5 ступеня рухливості (рис.1. 8). Максимальна вантажопідйомність робота KR 6 R900 SIXX становить 6 кг, а радіус дії – приблизно 901 мм при вантажопідйомності 6 кг і високої точності позиціонування 0,03 мм, 6 ступеня рухливості.



Рисунок 1.7 – Робот KR 5 scara R350

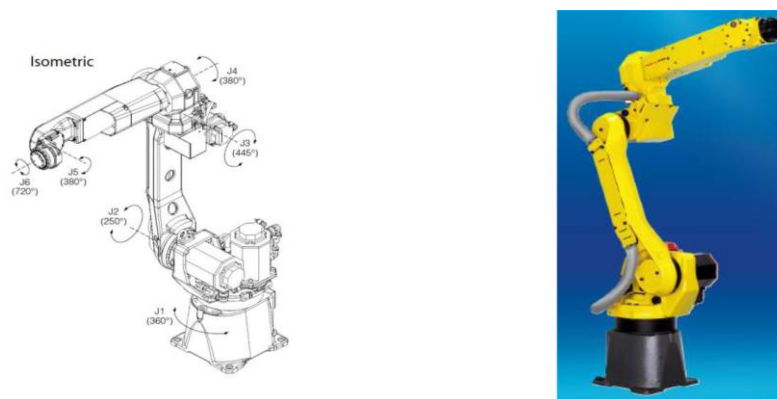


Рисунок 1.8 – Робот KR 6 R900 SIXX

Конкурент вище зазначеної фірми – FANUC Robotics також має ряд ПР (рисунки 1.9 – 1.10) приблизно тієї ж конфігурації при середній вантажопідйомності.

Робот для зварювання ARC Mate 100iC вантажопідйомністю 10 кг має зону досяжності близько 1400 мм і 6 ступенів рухливості при точності позиціонування 0,08 мм. Робот для різних технологічних операцій M-10iA вантажопідйомністю 10 кг має 5 ступенів рухливості і зону досяжності близько 1420 мм під час точності позиціонування 0,05 мм. Більш легкий робот для пакування M-430iA вантажопідйомністю 2 кг має зону досяжності близько 1130 мм і 5 ступенів рухливості при точності позиціонування 0,5 мм, однак середня швидкість руху приблизно в 4 рази вище (100 циклів в хвилину). ПР з паралельною кінематикою (Δ -робот) M-3iA/6A має 6 ступенів рухливості при вантажопідйомності 6 кг, зона обслуговування $\varnothing 1300 \times 500$ мм, максимальна швидкості 2000 $\%$.

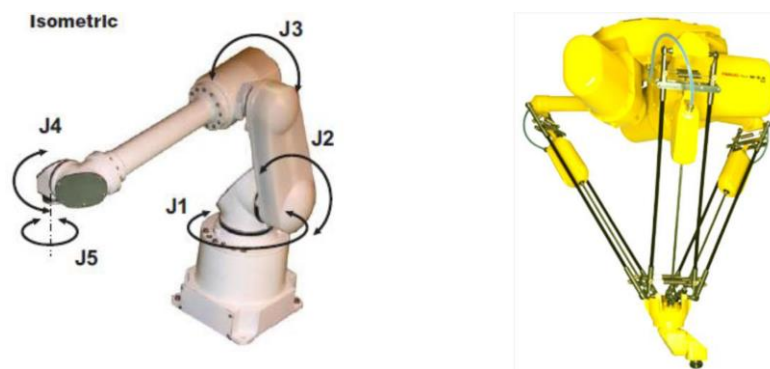


Рисунок 1.9 – Робот для пакування M-430iA

Датська компанія Universal Robots ApS випускає ПР з 6 ступенями рухливості вантажопідйомністю 5 і 10 кг (рис. 1.10).

Маніпулятор робота являє собою руку, закріплену на підставі. Його характеристики:

- вага 28,9 кг;
- корисне навантаження 10 кг;
- зона досяжності: 1300 мм;
- діапазон обсягу рухів зчленувань: $\pm 360^\circ$ для всіх з'єднань;

- швидкість: в шарнірах: макс. 120/180 °/с, робочий орган: приблизно 1 м/с;
- точність позиціонування: $\pm 0,1$ мм;
- площа біля основи: $\varnothing 190$ мм;
- ступеня свободи: 6 поворотних.



Рисунок 1.10 – ПР Universal Robot 10

За своєю структурою робот має руку антропоморфного типу.

Компанія SHUNK (Німеччина) випускає робот LWA 4D аналог робота Universal Robot 10, який вигідно відрізняється малою вагою, причому має 7 ступенів рухливості (рис. 1.11). Його характеристики:

- вага 17,5 кг;
- корисне навантаження 10 кг;
- зона досяжності: 1030 мм;
- діапазон обсягу рухів зчленувань: $\pm 180^\circ$ для більшості шарнірів;
- швидкість: в шарнірах, °/с: макс. 40/72;
- точність позиціонування, мм: $\pm 0,15$;
- діаметр біля основи, мм: $\varnothing 186$;
- ступеня свободи: 7 поворотних.



Рисунок 1.11 – Робот компанії SHUNK LWA 4D

Компактність і менша вага робота досягається за рахунок застосування двоступеневих модулів останньої ланки руки. Робот оснащений силомоментними датчиками. Є цілий набір проміжних модулів, які дозволяють швидко проводити зміну не тільки робочих органів, а й модулів ступенів рухливості.

Шестистатечний промисловий робот LWA 4.6 має двокоординатні поворотні модулі Powerball ERB (рис. 1.12).



Рисунок 1.13 – Шестиступеневий робот LWA 4.6 SHUNK

Завдяки використанню двокоординатних мехатронних модулів робот має вагу приблизно в 1,5 рази менше, ніж робот з аналогічними однокоординатними модулями [4].

1.5. Постановка завдань на магістерську роботу

Провівши аналіз технології виготовлення цегли, ми прийшли до висновку, що система керування механізмом перевантаження цегли має застарілу громіздку релейно-контакторну апаратуру. Така система призводить до значних часових витрат на виготовлення виробів, а також частих простоїв у зв'язку з ненадійністю електроустаткування.

Сучасним напрямком вдосконалення підйомно-перевантажувальних робіт на виробництві є впровадження промислових роботів [4]. Аналіз конструкцій та особливостей функціонування промислових роботів дав можливість прийти до висновку, що найбільш компактною та вдалою є конструкція роботів типу КУКА. Тому за основу проєтування промислового робота для перевантаження цегли на випалювальну вагонетку приймемо конструкцію даного типу.

Для модернізації вузла перевантаження цегли та дослідження електропривода необхідно:

- виконати кінематичні розрахунки та обрати електропривод ПР;
- проаналізувати типи електроприводів та обрати оптимальний;
- розрахувати та обрати елементи силової частини;
- розробити структурну та функціональну схеми електропривода ПР;
- дослідити динамічні властивості електропривода ПР;
- розробити принципову схему керування.

2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1. Принцип роботи промислового робота

Кінематична схема робота типу SHUNK для перевантаження цегли

представлена на рисунку 2.1.

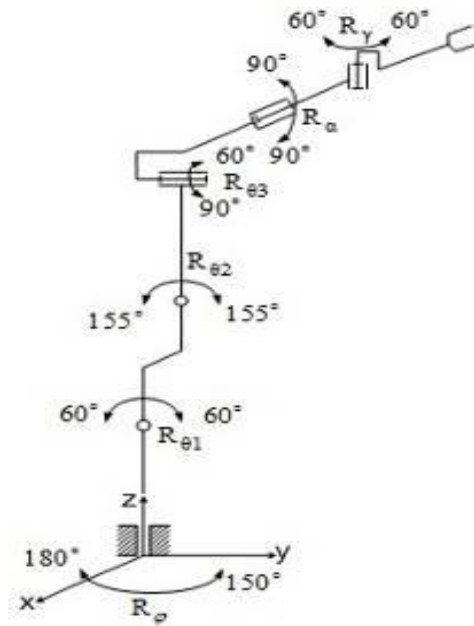


Рисунок 2.1 – Кінематична схема робота SHUNK

Даний ПР забезпечує наступні максимальні кутові переміщення:

- по $CP R_\phi$ – 330° (зі швидкістю 120 град/с);
- по $CP R_{\theta_1}$ – 120° (зі швидкістю 60 град/с);
- по $CP R_{\theta_2}$ – 310° (зі швидкістю 90 град/с);
- по $CP R_{\theta_3}$ – 150° (зі швидкістю 60 град/с);
- по $CP R_\alpha$ – 180° (зі швидкістю 90 град/с);
- по $CP R_\gamma$ – 120° (зі швидкістю 60 град/с).

Просторова конструкція ПР представлена на рисунку 2.2.

На нерухомій підставі 0 встановлена обертова колона 1, реалізуючи тим самим $CP R_\phi$. Колона 1, з'єднуючись з ланкою 2, реалізує $CP R_{\theta_1}$. Кінематична пара, що складається з ланок 2 і 3 реалізує $CP R_{\theta_2}$, а кінематична пара, що складається з ланок 3 і 4 – R_{θ_3} .

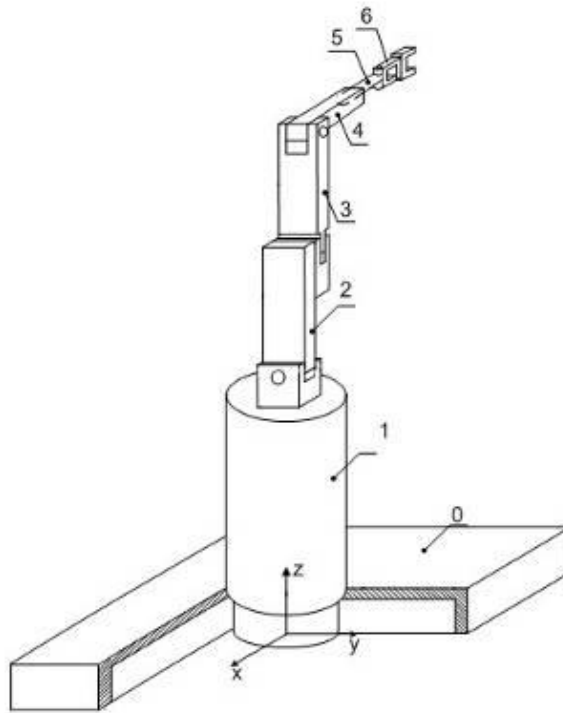


Рисунок 2.2 – Просторова конструкція ПР

Ланка 4, з'єднуючись з ланкою 5, забезпечує обертання схвата навколо поздовжньої вісі (СР $R\alpha$). Кінематична пара, що складається з ланок 5 і 6, здійснює поворот схвата навколо вертикальної вісі (СР $R\gamma$).

2.2. Вимоги до електроприводу ПР

Для якісного виконання технологічного циклу повинні виконуватися такі вимоги [5]:

- в усьому діапазоні зміни статичного моменту відносний статичний перепад швидкості повинен бути $\delta \leq 10\%$;
- при переміщеннях робота для зниження кінематичних зусиль необхідно мати обмеження прискорення $\epsilon \leq 13,95 \text{ рад/с}^2$;
- час пуску повинен бути не більше 0,5 с;
- для забезпечення точної зупинки приводу діапазон регулювання швидкості повинен становити порядку 50:1;
- зниження напруги живлення допускається не більше, ніж на 10%;
- повинна бути точність зупинки $\Delta\varphi \leq 0,5^\circ$.

2.3. Розрахунок потужності двигуна і вибір типу електропривода

2.3.1 Розрахунок та вибір двигуна

Розрахункова схема механічної частини для СР θ_3 представлена на рисунку 2.3.

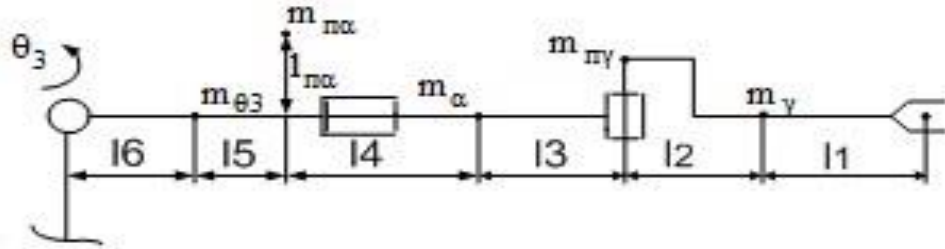


Рисунок 2.3 – Розрахункова схема механічної частини

Відстань між центром мас приводного пристрою СР γ і центром мас ланки 5:

$$l_3 = 0,075 \text{ м.}$$

$$l_{п\alpha} = 0,0875 \text{ м.}$$

Відстань між центром мас приводного пристрою СР α і центром мас п'ятої ланки:

$$l_4 = 0,14 \text{ м;}$$

Відстань між центром мас четвертої ланки і центром мас приводного пристрою СР α :

$$l_5 = 0,009 \text{ м;}$$

$$l_6 = 0,086 \text{ м ;}$$

$$m_{п\alpha} = 7,73 \text{ кг – маса приводного пристрою СР}\alpha;$$

$$m_{\theta_3} = 8,76 \text{ кг – маса четвертої деталі.}$$

Кут, при повороті на який проти годинникової стрілки момент, створюваний приводним пристроєм СР α , стане рушійним:

$$\theta_3^{\text{п}\alpha} = 90^\circ - \arctg\left(\frac{l_{п\alpha}}{(l_5 + l_6)}\right) = 90^\circ - \arctg\left(\frac{0,0875}{(0,009 + 0,086)}\right) = 90^\circ - 43^\circ = 47^\circ. \quad (2.1)$$

Кут, при повороті на який проти годинникової стрілки, момент створюваний приводним пристроєм СР γ , стане рушійним:

$$\theta_3^{\text{ны}} = 90^\circ - \arctg\left(\frac{l_{\text{ны}}}{(l_3 + l_4 + l_5 + l_6)}\right) = 90^\circ - \arctg\left(\frac{0,16}{(0,075 + 0,14 + 0,009 + 0,086)}\right) = 90^\circ - 27^\circ = 63^\circ. \quad (2.2)$$

Статичний момент при повороті на 47° проти годинникової стрілки:

$$\begin{aligned} M_c^{11} &= [m_r \cdot (l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6) + m_\gamma \cdot (l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6) + m_{\text{ны}} \cdot \\ &(l_3 + l_4 + l_5 + l_6) + m_\alpha \cdot (l_4 + l_5 + l_6) + m_{\text{па}} \cdot (l_5 + l_6) + m_{\theta_3} \cdot l_6] \cdot (1 + f_{\text{тр}}) \cdot g = \\ &= [40 \cdot (0,05 + 0,05 + 0,075 + 0,14 + 0,009 + 0,086) + \\ &+ 2,28 \cdot (0,05 + 0,075 + 0,14 + 0,009 + 0,086) + 7,55 \cdot (0,075 + 0,14 + 0,009 + \\ &+ 0,086) + 1,51 \cdot (0,14 + 0,009 + 0,086) + 7,73 \cdot (0,009 + 0,086) + \\ &+ 8,76 \cdot 0,086] \cdot (1 + 0,08) \cdot 9,8 = 226(\text{Нм}). \end{aligned} \quad (2.3)$$

Далі при повороті ще на 16° статичний момент, створюваний приводним пристроєм СР α , стане рушійним, а статичний момент, створюваний іншими масами, буде ще гальмуючим:

$$\begin{aligned} M_c^{12} &= [m_r \cdot (l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6) + m_\gamma \cdot (l_2 + l_3 + l_4 + \\ &+ l_5 + l_6) \cdot m_{\text{ны}} \cdot (l_3 + l_4 + l_5 + l_6) + m_\alpha \cdot (l_4 + l_5 + l_6) + m_{\theta_3} \cdot l_6] \cdot \\ &\cdot (1 + f_{\text{тр}}) \cdot g + m_{\text{па}} \cdot (l_5 + l_6) \cdot (-1 + f_{\text{тр}}) \cdot g = [40 \cdot (0,05 + 0,05 + 0,075 + \\ &+ 0,14 + 0,009 + 0,086) + 2,28 \cdot (0,05 + 0,075 + 0,14 + \\ &+ 0,009 + 0,086) + 1,51 \cdot (0,075 + 0,14 + 0,009 + 0,086) + \\ &1,51 \cdot (0,14 + 0,009 + 0,086) + 7,73 \cdot (0,009 + 0,086) + 8,76 \cdot 0,086] \cdot \\ &\cdot (1 + 0,08) \cdot 9,8 + 7,73 \cdot (0,009 + 0,086) \cdot (-1 + 0,08) = 206(\text{Нм}). \end{aligned} \quad (2.4)$$

Далі при повороті ще на 27° статичний момент, створюваний приводним пристроєм СР γ стане рушійним, а статичний момент, створюваний іншими масами (крім приводного пристрою СР α), буде ще гальмуючим:

$$\begin{aligned} M_c^{13} &= [m_r \cdot (l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6) + m_\gamma \cdot (l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6) + \\ &m_\alpha \cdot (l_4 + l_5 + l_6) + m_{\theta_3} \cdot l_6] \cdot (1 + f_{\text{тр}}) \cdot g + [m_{\text{ны}} \cdot (l_3 + l_4 + l_5 + l_6) + \\ &m_{\text{па}} \cdot (l_5 + l_6)] \cdot (-1 + f_{\text{тр}}) \cdot g = [40 \cdot (0,05 + 0,05 + 0,075 + 0,14 + 0,009 + \\ &+ 0,086) + 2,28 \cdot (0,05 + 0,075 + 0,14 + 0,009 + 0,086) + 1,51 \cdot (0,14 + \\ &+ 0,009 + 0,086) + 8,76 \cdot 0,086] \cdot (1 + 0,08) \cdot 9,8 + [7,5 \cdot (0,075 + 0,14 + 0,009 + \\ &+ 0,086) + 7,73 \cdot (0,009 + 0,086)] \cdot (-1 + 0,08) = 164(\text{Нм}). \end{aligned} \quad (2.5)$$

При подальшому повороті ще на 60° проти годинникової стрілки статичний момент буде рушійним:

$$\begin{aligned}
 M_c^{14} = & [m_r \cdot (l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6) + m_\gamma \cdot (l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6) + \\
 & + m_{\text{пг}} \cdot (l_3 + l_4 + l_5 + l_6) + m_\alpha (l_4 + l_5 + l_6) + m_{\text{па}} (l_5 + l_6) + m_{\theta_3} \cdot l_6] \cdot \\
 & \cdot (1 + f_{\text{тр}}) \cdot g = [40 \cdot (0,05 + 0,05 + 0,075 + 0,14 + 0,009 + 0,086) + \\
 & + 2,28 \cdot (0,05 + 0,075 + 0,14 + 0,009 + 0,086) + 7,55 \cdot (0,075 + 0,14 + \\
 & + 0,009 + 0,086) + 1,51 \cdot (0,14 + 0,009 + 0,086) + 7,73 \cdot (0,009 + \\
 & + 0,086) + 8,76 \cdot 0,086] \cdot (-1 + 0,08) \cdot 9,8 = 192(\text{Нм}).
 \end{aligned} \tag{2.6}$$

Прискорення при розгоні:

$$\varepsilon_{\theta_3} = \frac{\omega_{\theta_3}}{t_{\text{приск}}} = \frac{60}{0,15} = 400 \text{град/с}^2 = 6,97 \text{рад/с}^2 \tag{2.7}$$

Динамічний момент:

$$\begin{aligned}
 M_{\text{дин}} = & [m_r \cdot (l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6)^2 + m_\gamma \cdot (l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + \\
 & + l_6)^2 + m_{\text{пг}} \cdot (l_{\text{пг}}^1)^2 + m_\alpha \cdot (l_4 + l_5 + l_6)^2 + m_{\text{па}} (l_{\text{па}}^1)^2 + \\
 & + m_{\theta_3} \cdot l_6^2] \cdot \varepsilon_{\theta_3} = [40 \cdot (0,05 + 0,05 + 0,075 + 0,14 + 0,009 + \\
 & + 0,086)^2 + 2,28 \cdot (0,05 + 0,075 + 0,14 + 0,009 + 0,086)^2 + \\
 & + 7,55 \cdot (0,128)^2 + 1,51 \cdot (0,14 + 0,009 + 0,086)^2 + \\
 & + 7,73 \cdot (0,347)^2 + 8,76 \cdot 0,086^2] \cdot 6,97 = 56(\text{Нм}).
 \end{aligned} \tag{2.8}$$

$$\text{Тут величину } l_{\text{па}}^1 = \sqrt{l_{\text{па}}^2 + (l_5 + l_6)^2} = \sqrt{0,0875^2 + (0,009 + 0,086)^2} = 0,128 \text{ м} \tag{2.9}$$

визначаємо за теоремою Піфагора:

$$l_{\text{пг}}^1 = \sqrt{l_{\text{пг}}^2 + (l_3 + l_4 + l_5 + l_6)^2} = \sqrt{0,160^2 + (0,075 + 0,14 + 0,009 + 0,086)^2} = 0,347 \tag{2.10}$$

Статичний момент при повороті на 60° за годинниковою стрілкою стане гальмівним:

$$\begin{aligned}
 M_c^{21} = & [m_r \cdot (l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6) + m_\gamma \cdot (l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6) + \\
 & + m_{\text{пг}} \cdot (l_3 + l_4 + l_5 + l_6) + m_\alpha (l_4 + l_5 + l_6) + m_{\text{па}} (l_5 + l_6) + m_{\theta_3} \cdot l_6] \cdot \\
 & \cdot (1 + f_{\text{тр}}) \cdot g = [40 \cdot (0,05 + 0,05 + 0,075 + 0,14 + 0,009 + 0,086) + \\
 & + 2,28 \cdot (0,05 + 0,075 + 0,14 + 0,009 + 0,086) + 7,55 \cdot (0,075 + \\
 & + 0,14 + 0,009 + 0,086) + 1,51 \cdot (0,14 + 0,009 + 0,086) + 7,73 \cdot (0,009 + \\
 & + 0,086) + 8,76 \cdot 0,086] \cdot (1 + 0,08) \cdot 9,8 = 226(\text{Нм}).
 \end{aligned} \tag{2.11}$$

При подальшому повороті ще на 27° за годинниковою стрілкою статичний момент, створюваними приводним пристроями $CP \gamma$ и $CP \alpha$, буде гальмівним, а статичний момент, створюваними іншими масами, буде вже рушійним:

$$\begin{aligned}
 M_c^{22} = & [m_r \cdot (l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6) + m_\gamma \cdot (l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6) + \\
 & m_\alpha (l_4 + l_5 + l_6) + m_{\theta 3} \cdot l_6] \cdot (-1 + f_{tp}) \cdot g + [m_{ny} \cdot (l_3 + l_4 + l_5 + l_6) \\
 & + m_{na} (l_5 + l_6)] \cdot (1 + f_{tp}) \cdot g = [40 \cdot (0,05 + 0,05 + 0,075 + 0,14 + \\
 & + 0,009 + 0,086) + 2,28 \cdot (0,05 + 0,075 + 0,14 + + 0,009 + \quad (2.12) \\
 & + 0,086) + 1,51 \cdot (0,14 + 0,009 + 0,086) + 8,76 \cdot 0,086] \cdot (-1 + 0,08) \cdot 9,8 \\
 & + [7,55 \cdot (0,075 + 0,14 + 0,009 + 0,086) + 7,73 \cdot (0,009 + 0,086)] \\
 & \cdot (1 + 0,08) \cdot 9,8 = 116(\text{Нм}).
 \end{aligned}$$

При подальшому повороті ще на 16° за годинниковою стрілкою статичний момент, створюваними приводним пристроєм $CP \alpha$, буде гальмівним, а статичний момент, створюваними іншими масами, буде вже рушійним:

$$\begin{aligned}
 M_c^{23} = & [m_r \cdot (l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6) + m_\gamma \cdot (l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6) + \\
 & m_{ny} \cdot (l_3 + l_4 + l_5 + l_6) + m_\alpha (l_4 + l_5 + l_6) + m_{\theta 3} \cdot l_6] \cdot (-1 + f_{tp}) \cdot g + m_{na} \\
 & \cdot (l_5 + l_6) \cdot (1 + f_{tp}) \cdot g = [40 \cdot (0,05 + 0,05 + 0,075 + 0,14 + 0,009 + 0,086) + \quad (2.13) \\
 & 2,28 \cdot (0,05 + 0,075 + 0,14 + + 0,009 + 0,086) + 7,55 \cdot (0,075 + \\
 & + 0,14 + 0,009 + 0,086) + 1,51 \cdot (0,14 + 0,009 + 0,086) + 8,76 \cdot 0,086] \cdot \\
 & (-1 + 0,08) \cdot 9,8 + + 7,73 \cdot (0,009 + 0,086) \cdot (1 + 0,08) \cdot 9,8 = 174(\text{Нм}).
 \end{aligned}$$

При подальшому повороті годинниковою стрілкою статичний момент буде вже тільки рушійним:

$$\begin{aligned}
 M_c^{24} = & [m_r \cdot (l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6) + m_\gamma \cdot (l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6) + \\
 & + m_{ny} \cdot (l_3 + l_4 + l_5 + l_6) + m_\alpha (l_4 + l_5 + l_6) + m_{na} (l_5 + l_6) + m_{\theta 3} \cdot l_6] \\
 & \cdot (1 + f_{tp}) \cdot g = [40 \cdot (0,05 + 0,05 + 0,075 + 0,14 + 0,009 + 0,086) + \\
 & + 2,28 \cdot (0,05 + 0,075 + 0,14 + + 0,009 + 0,086) + 7,55 \cdot (0,075 + \\
 & + 0,14 + 0,009 + 0,086) + 1,51 \cdot (0,14 + 0,009 + 0,086) + 7,73 \cdot (0,009 + \\
 & + 0,086) + 8,76 \cdot 0,086] \cdot (-1 + 0,08) \cdot 9,8 = 192(\text{Нм}). \quad (2.14)
 \end{aligned}$$

Навантажувальна діаграма роботи двигуна по $CP \theta_3$ представлена на рисунку 2.4.

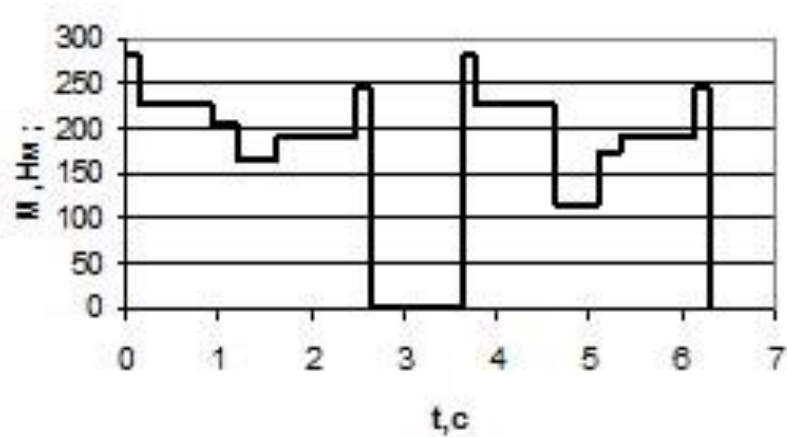


Рисунок 2.4 – Навантажувальна діаграма роботи механізму

Час роботи с моментом M_c^{11} :

$$t^{11} = \frac{\phi^{11}}{\omega_\theta} = \frac{47}{60} = 0,78 \text{ с}; \quad (2.15)$$

Час роботи с M_c^{12} :

$$t^{12} = \frac{\phi^{12}}{\omega_\theta} = \frac{16}{60} = 0,26 \text{ с}; \quad (2.16)$$

Час роботи с M_c^{13} :

$$t^{13} = \frac{\phi^{13}}{\omega_\theta} = \frac{27}{60} = 0,45 \text{ с}; \quad (2.17)$$

Час роботи с M_c^{14} :

$$t^{14} = \frac{\phi^{14}}{\omega_\theta} = \frac{60}{60} = 1 \text{ с}; \quad (2.18)$$

Час роботи с M_c^{21} :

$$t^{21} = \frac{\phi^{21}}{\omega_\theta} = \frac{60}{60} = 1 \text{ с}; \quad (2.19)$$

Час роботи с M_c^{22} :

$$t^{22} = \frac{\phi^{22}}{\omega_{\theta}} = \frac{27}{60} = 0,45 \text{ с}; \quad (2.20)$$

Час роботи с M_c^{23} :

$$t^{23} = \frac{\phi^{23}}{\omega_{\theta}} = \frac{16}{60} = 0,26 \text{ с}; \quad (2.21)$$

Час роботи с M_c^{24} :

$$t^{24} = \frac{\phi^{24}}{\omega_{\theta}} = \frac{47}{60} = 0,78 \text{ с}; \quad (2.22)$$

З навантажувальної діаграми визначимо еквівалентний момент:

$$\begin{aligned} M_{\text{екв } \theta 3} &= \sqrt{\frac{\sum M_i^2 \cdot t_i}{t_{\text{ц}}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (282^2 \cdot 0,4) + 226^2 \cdot 0,78 + 206^2 \cdot 0,26 + 164^2 \cdot 0,45 +}{12}} = \\ &= \frac{+192^2 \cdot 1 + 226^2 \cdot 1 + 116^2 \cdot 0,45 + 174^2 \cdot 0,26 + 192^2 \cdot 0,78 + 2 \cdot (248^2 \cdot 0,4)}{1} = \\ &= \frac{+192^2 \cdot 1 + 226^2 \cdot 1 + 116^2 \cdot 0,45 + 174^2 \cdot 0,26 + 192^2 \cdot 0,78 + 2 \cdot (248^2 \cdot 0,4)}{1} = \\ &= 155,3 \text{ Нм}. \end{aligned} \quad (2.23)$$

Потрібна потужність приводного двигуна:

$$P_{\text{спож } \theta 3} = M_{\text{екв } \theta 3} \cdot \omega_{\theta 3} = 155,3 \cdot 60/57,32 = 162,5 \text{ Вт}. \quad (2.24)$$

З урахуванням к.к.д. редуктора отримуємо:

$$P_{\text{дв}} = P_{\text{спож } \theta 3} / \eta = 162,5 / 0,98 = 166 \text{ Вт}. \quad (2.25)$$

Вибір двигуна виробляємо виходячи з умови:

$$P_{\text{н}} \geq P_{\text{дв}}. \quad (2.26)$$

З довідника [10] вибираємо асинхронний короткозамкнений двигун типу АІР63А4.

Параметри двигуна представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики двигуна АІР63А4

Номінальна потужність, Вт	250
Синхронна частота обертання, об/хв	1500
$\cos \varphi$	0,67
Номінальне ковзання, %	8
Перевантажувальна здатність	2,3
ККД, %	68
Приведений активний опір ротора, від.од	0,14
Приведений індуктивний опір ротора, від.од	0,2
Наведений активний опір статора, від.од	0,15
Наведений індуктивний опір статора, від.од	0,082
Маса, кг	5,5

Номінальний струм статора:

$$I_{1н} = \frac{P_n}{3 \cdot U_{нф} \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n} = \frac{250}{3 \cdot 220 \cdot 0,65 \cdot 0,68} = 0,83 \text{ А.} \quad (2.27)$$

Приведений активний опір ротора:

$$R_2' = \frac{U_{1ф} \cdot r_2''}{I_{1н}} = \frac{220 \cdot 0,14}{0,83} = 37,1 \text{ Ом,} \quad (2.28)$$

де: $r_2'' = 0,15$ – приведений активний опір ротора у відносних одиницях.

Активний опір статора:

$$R_1 = \frac{U_{1ф} \cdot r_1'}{I_{1н}} = \frac{220 \cdot 0,15}{0,83} = 39,8 \text{ Ом.} \quad (2.29)$$

Опір $x_{\mu в}$ при роботі на номінальній характеристиці с $f=50$ Гц:

$$x_{\mu в} = \frac{U_{1ф} \cdot x_{\mu}'}{I_{1н}} = \frac{220 \cdot 1,4}{0,83} = 372 \text{ Ом,} \quad (2.30)$$

де: $x_{\mu}' = 1,4$ – приведений опір контуру намагнічування у відносних

одиницях.

При роботі на верхній характеристиці задамося величиною відносного статичного перепаду швидкості $\delta=0,25\%$, тоді швидкість при роботі на верхній характеристиці:

$$\omega_B = \omega_0 - 0,0025 \cdot \omega_0 = 157 - 0,0025 \cdot 157 = 156,6 \text{ c}^{-1} \quad (2.31)$$

Звідки швидкість при роботі на нижній характеристиці в заданому діапазоні (швидкість при $M=226 \text{ Н}\cdot\text{м}$):

$$\omega_{\text{ниж}} = \frac{\omega_B}{D} = \frac{156,6}{50} = 3,15 \text{ c}^{-1}, \quad (2.32)$$

Статичний перепад швидкості:

$$\Delta\omega = 0,0025 \cdot \omega_0 = 0,0025 \cdot 157 = 0,35 \text{ c}^{-1}, \quad (2.33)$$

Швидкість холостого ходу при роботі на нижній характеристиці:

$$\omega_{0\text{н}} = \Delta\omega + \omega_{\text{ниж}} = 0,35 + 3,15 = 3,5 \text{ c}^{-1}, \quad (2.34)$$

Ковзання при роботі з $\omega_{\text{ниж}}=3,15 \text{ 1/с}$:

$$s_{\text{ниж}} = \frac{\Delta\omega}{\omega_{0\text{н}}} = \frac{0,35}{3,5} = 0,1, \quad (2.35)$$

Передаточне число редуктора:

$$i_p = \frac{\omega_{\text{н дб}}}{\omega_{\phi}} = \frac{156,6}{60/57,32} = 136. \quad (2.36)$$

Тоді ковзання при роботі з $M_{\text{екв}}=1,1 \text{ Н}\cdot\text{м}$ по властивості пропорції:

$$s_1 = \frac{1,1 \cdot 0,1}{1,66} = 0,066 ,$$

де: $M=226/136=1,66 \text{ Н}\cdot\text{м}$ – максимальне значення статичного моменту.

Статичний перепад швидкості при роботі з $M_{\text{екв}}=1,1 \text{ Н}\cdot\text{м}$:

$$\Delta\omega_1 = \omega_0 \cdot s_1 = 3,5 \cdot 0,066 = 0,231 \text{ c}^{-1}, \quad (2.37)$$

Тоді швидкість двигуна при роботі з $M_{\text{екв}}=1,1 \text{ Н}\cdot\text{м}$:

$$\omega_1 = \omega_0 - \Delta\omega_1 = 3,5 - 0,231 = 3,269 \text{ c}^{-1}. \quad (2.38)$$

Перевірку двигуна на нагрів зробимо шляхом розрахунку допустимої частоти включень на годину [10]. Втрати в двигуні діляться на змінні і

постійні.

Змінні втрати при роботі на нижній характеристиці:

$$\Delta P_v = M_{\text{екв}} \cdot \omega_0 \cdot s_1 \left(1 + \frac{R_1}{R_{2\Sigma}}\right) = \frac{155,3}{136} \cdot 3,5 \cdot 0,066 \left(1 + \frac{39,8}{37,1}\right) = 0,67 \text{ Вт}, \quad (2.39)$$

Механічні втрати при роботі на нижній характеристиці:

$$\Delta P_{\text{ст}} = M_{\text{екв}} \cdot \omega_0 \cdot s_n = 1,1 \cdot 3,5 \cdot 0,066 = 0,3 \text{ Вт}, \quad (2.40)$$

Індуктивний опір контуру намагнічування при роботі на нижній характеристиці:

$$X_{\mu \text{ ниж}} = \frac{\omega_{0 \text{ ниж}} \cdot X_{\mu \text{ в}}}{\omega_{0 \text{ в}}} = \frac{3,5 \cdot 372}{157} = 8,29 \text{ Ом}, \quad (2.41)$$

Струм намагнічування при роботі на нижній характеристиці:

$$I_{\mu} = \frac{U_{\phi \text{ ниж}}}{X_{\mu \text{ ниж}}} = \frac{4,9}{8,29} = 0,59 \text{ А}. \quad (2.42)$$

Тут $U_{\phi} = 4,9 \text{ В}$ – напруга живлення при роботі на нижній характеристиці в замкнутій системі з $f = 1,11 \text{ Гц}$ ($\omega_0 = 3,5 \text{ 1/с}$).

Втрати від струму намагнічення:

$$\Delta P_{\mu} = 3 \cdot I_{\mu}^2 \cdot R_1 = 3 \cdot 0,59^2 \cdot 39,8 = 41,5 \text{ Вт}, \quad (2.43)$$

постійні втрати:

$$\Delta P_c = \Delta P_{\text{ст}} + \Delta P_{\mu} = 0,3 + 41,5 = 41,8 \text{ Вт}, \quad (2.44)$$

повні втрати:

$$\Delta P_{\text{ном}} = \Delta P_c + \Delta P_v = 41,8 + 0,67 = 42,5 \text{ Вт}, \quad (2.45)$$

втрати енергії при пуску:

$$\Delta A_{\text{п}} = \Delta \int_0^{0,4} M_{\text{пуск}} \cdot \omega_1 \cdot s_a \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) = \frac{282}{136} \cdot 3,269 \cdot 0,072 \cdot 0,4 \left(1 + \frac{39,8}{37,1}\right) = 0,5 \text{ Дж}, \quad (2.46)$$

втрати енергії при гальмуванні:

$$\Delta A_{\text{п}} = \Delta \int_0^{0,4} M_{\text{пуск}} \cdot \omega_1 \cdot s_a \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) = \frac{248}{136} \cdot 3,269 \cdot 0,072 \cdot 0,4 \left(1 + \frac{39,8}{37,1}\right) = 0,43 \text{ Дж}, \quad (2.47)$$

Прийmemo допущення, що при роботі на нижній характеристиці потужність, яка відводиться в навколишнє середовище, ΔP дорівнює 75% від виділеної потужності в двигуні (внаслідок погіршення процесу вентиляції самовентіліруемое двигуна при роботі на малих швидкостях).

З урахуванням останнього, припустиме число включень на годину буде:

$$h = 3600 \cdot \frac{(\Delta P_{\text{ном}} - \Delta P) + \Delta P_{\text{ном}} \cdot \beta \cdot (1 - \varepsilon)}{\Delta A_{\text{п}} + \Delta A_{\text{т}}} = 3600 \cdot \frac{(42,5 \cdot 0,75 - 42,5) + 42,5 \cdot 0,3 \cdot (1 - 0,55)}{2 \cdot 0,5 + 2 \cdot 0,43} = 402, \quad (2.48)$$

$$\varepsilon = \frac{t_{\text{п}} + t_{\text{т}} + t_{\text{у}}}{T_{\text{ц}}} = \frac{2 \cdot 0,4 + 2 \cdot 0,4 + 4,98}{12} = 0,55, \quad (2.49)$$

де $\beta = 0,3$ – ступінь зниження коефіцієнта тепловіддачі.

Так як цикл триває 15 с, то за годину пройде 240 циклів. Значить, обраний двигун підходить по умові забезпечення необхідного числа включень.

Тепер по методиці [10] перевіримо двигун на допустиму перевантажувальну здатність.

Максимальний момент навантаження:

$$M_{\text{max}} = \frac{M_{\text{пуск}}}{136} = \frac{282}{136} = 2,13 \text{ Нм}, \quad (2.50)$$

Максимальний момент двигуна:

$$M_{\text{max дв}} = 3,93 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Для обраного двигуна виконується умова $M_{\text{max}} < M_{\text{max дв}}$.

У результаті перевірки встановлено, що обраний двигун задовольняє умовам нагріву та умовам допустимого перевантаження.

2.3.2 Вибір типу електропривода

В сучасній літературі відомі такі способи регулювання швидкості обертання асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором (АЗ з КЗ-ротором):

- регулювання зміною величини напруги на статорі двигуна;
- регулювання зміною кількості пар магнітних полюсів (полюсне регулювання);
- регулювання зміною частоти струму на статорі (частотне регулювання), яке може бути як зі скалярним, так і з векторним керуванням.

Для регулювання зміною величини напруги можна використовувати схеми з підключенням до статорного ланцюга змінних активних опорів, котушок індуктивностей – дроселів з висувними осердями, а також для доволі потужних двигунів – підключенням на статор автотрансформатора зі змінною кількістю витків обмоток.

Також напругу на статорі можна регулювати з використанням тиристорних регуляторів напруги (ТРН), які дають можливість змінювати напругу плавно і в широкому діапазоні регулювання (рис. 2.5а).

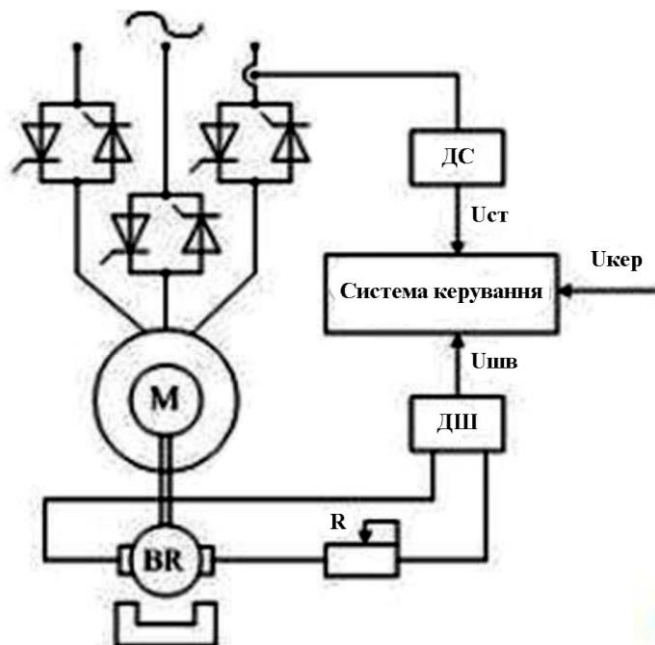


Рисунок 2.5а – Тиристорний регулятор швидкості АД зміною статорної напруги

Перевагами схеми є мала інерційність регуляторів ТРН і доволі великий коефіцієнт підсилення.

До недоліків цього способу можна віднести втрату частини енергії на розсіювання її у вигляді виділення тепла в двигуні.

При полюсному регулюванні швидкості використовують перемикування обмоток для зміни числа пар полюсів p і, відповідно, зміни швидкості обертання магнітного поля статора n , яка від цього числа залежить

$$n = \frac{60f}{p} .$$

Для цього потрібно мати дві або більше обмоток на статорі двигуна, але це значно ускладнює конструкцію (і вартість) двигуна, до того ж зміна швидкості при такому регулюванні може відбуватися лише ступінчасто, плавне регулювання тут неможливо. Мати декілька обмоток в статорному колі для зміни числа пар полюсів економічно недоцільно, так як це збільшує і вартість, і розміри двигуна, тому це число зазвичай змінюють, використовуючи різні способи з'єднання котушок фаз.

Для зміни швидкості обертання на практиці прийнято застосовувати дві найбільш відомі схеми перемикування обмоток статора: з «трикутника» на «подвійну зірку» $\Delta / Y Y$ та з одинарної «зірки» на подвійну – $Y / Y Y$. Перевагою такого способа регулювання є збереження коефіцієнта потужності та ККД двигуна при перемикуванні обмоток.

В частотно-регульованих приводах головними елементами є сам двигун та перетворювач частоти, що керує цим двигуном. Найчастіше це пристрій на базі тиристорів.

На вхід перетворювача подається напруга з амплітудою та частотою мережі, а на виході буде сформована напруга зі змінними амплітудою і частотою (рис. 2.5б).

Схема такого перетворювача частоти складається з двох частин: силової

і керуючої. Силова частина може виконуватися на транзисторах або тиристорах. Схема керування будується на базі мікропроцесорів, які, крім основної задачі – керування ключовими елементами, виконують багато додаткових задач – діагностика, захисні функції, контроль за процесом.

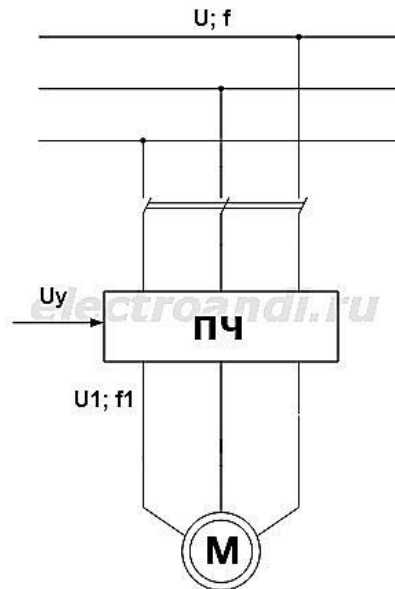


Рисунок 2.5б – Тиристорний регулятор швидкості АД змінною частоти

У частотно - регульованому приводі на основі АД з КЗ-ротором прийнято застосовувати скалярне та векторне частотне керування.

Метод скалярного керування частотно-регульованого асинхронного електропривода полягає в зміні частоти і поточних значень модулів змінних АД (струмів двигуна, напруг, потокозчеплень та магнітних потоків двигуна).

Керованість двигуна тут забезпечується спільним регулюванням або частоти f_1 і напруги U_1 , або частоти f_1 і струму статора I_1 .

Перший спосіб називають частотним керуванням, а другий – частотно-струмовим. Зміна частоти живлячої напруги призводить до відхилення максимального і пускового моментів двигуна від розрахункових значень ККД, коефіцієнта потужності.

Для підтримки необхідних робочих характеристик двигуна тут потрібно зі зміною частоти одночасно змінювати й величину амплітуди

напруги. Для отримання постійного моменту навантаження повинно підтримуватися постійним співвідношення

$$U/f = \text{const},$$

тобто забезпечується сталість максимального моменту двигуна.

При вентиляторному навантаженні реалізується залежність

$$U/f_2 = \text{const}.$$

Цей скалярний принцип керування являється дуже відомим в асинхронному електроприводі. Він характеризується технічною простотою вимірювання та регулювання змінних двигуна.

До недоліків цього способу керування можна віднести труднощі в динамічних режимах при реалізації бажаних законів регулювання швидкості і потрібного моменту двигуна. Пов'язано це зі складними процесами, що протікають у двигуні в динаміці.

Для більшості випадків на практиці цей вид керування (скалярне) використовують в ЧР електроприводах, якщо діапазон регулювання частоти обертання у межах 1:40.

При векторному керуванні є можливість значно збільшити діапазон та точність регулювання, а також можна підвищувати швидкодію електроприводу. Векторне керування частотно-регульованого асинхронного електропривода полягає у зміні частоти та поточних значень параметрів АД, так і у зміні взаємної орієнтації їх векторів у полярній (або декартовій) системі координат. Повне керування двигуном як в статиці, так і в динаміці відбувається шляхом регулювання амплітудних значень змінних величин і кутів між їх векторами, це дає значне поліпшення якості перехідних процесів при такому керуванні.

Можна отримати інформацію про поточні значення та просторове розташування векторів змінних АД або прямим вимірюванням шляхом використання відповідних датчиків, так і за допомогою математичного моделювання АД.

Складність моделі тут буде визначатися рівнем вимог до потрібних параметрів електроприводу. Системи з непрямым регулюванням координат завдяки певної нестабільності параметрів двигуна можуть поступатися за своїми статичним і динамічним показниками системам з безпосереднім (тобто прямим) векторним керуванням.

На рис. 2.6 показана функціональна схема низьковольтного перетворювача частоти. Вона розрахована на стандартну промислову напругу 380 В.

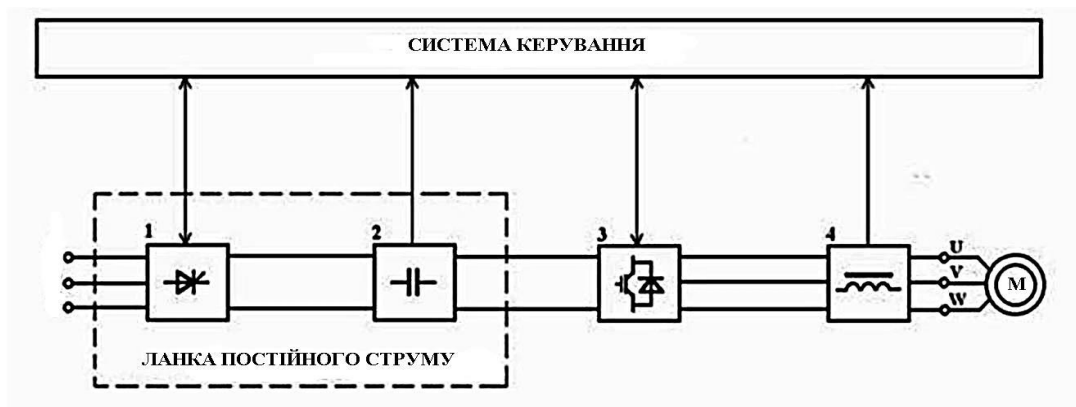


Рисунок 2.6 – Функціональна схема ПЧ

Тут на керований (або некерований) випрямляч 1 надходить змінна вхідна напруга мережі живлення ($u_{вх}$), що має постійну амплітуду та частоту ($U_{вх} = \text{const}$, $f_{вх} = \text{const}$). Фільтр 2 призначений для згладжування пульсацій напруги, що випрямляється ($u_{випр}$). Далі ця постійна напруга u_d подається на вхід автономного інвертора 3, який побудований на базі біполярних транзисторів з ізольованим затвором (IGBT) або потужних силових тиристорів.

Також на виході автономного інвертора іноді встановлюють додатковий фільтр 4. Що призначений для згладжування пульсацій струму (якщо схема побудована на IGBT-транзисторах, потреба у фільтрі практично відсутня завдяки низькому рівню вищих гармонік у вихідній напрузі).

Схема силової частини автономного інвертора напруги (АІН) представлена на рисунку 2.7.

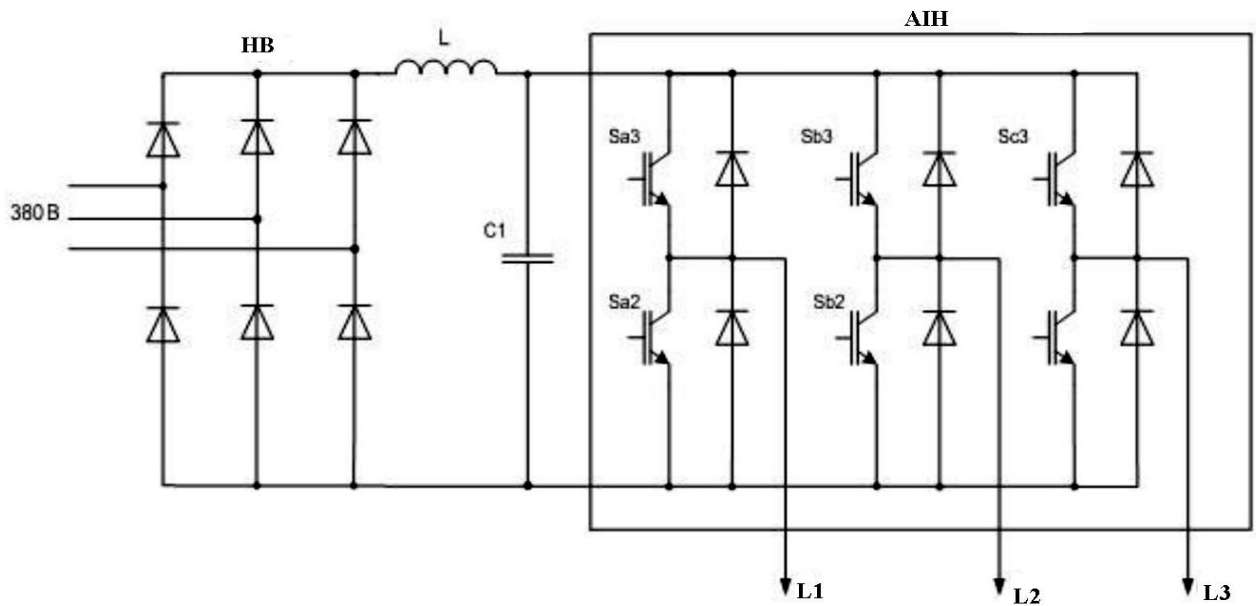


Рисунок 2.7 – Схема силової частини АИH

Після аналізу вищерозглянутих систем електроприводу було вирішено обрати для даної роботи схему частотно-регульованого приводу з некерованим мостовим трифазним випрямлячем і транзисторним трифазним автономним інвертором напруги.

Спрощена функціональна схема обраної системи електроприводу наведена на рисунку 2.8.



Рисунок 2.8 – Спрощена функціональна схема системи електроприводу

Тут ланка постійного струму представлена некерованим випрямлячем, що живиться від мережі змінного струму. На вихід моста підключається LC-фільтр (на рисунку не показаний).

2.4 Розрахунок і вибір основних елементів силової схеми

2.4.1 Розрахунок інвертора

Схема силової частини приведена на рисунку 2.9.

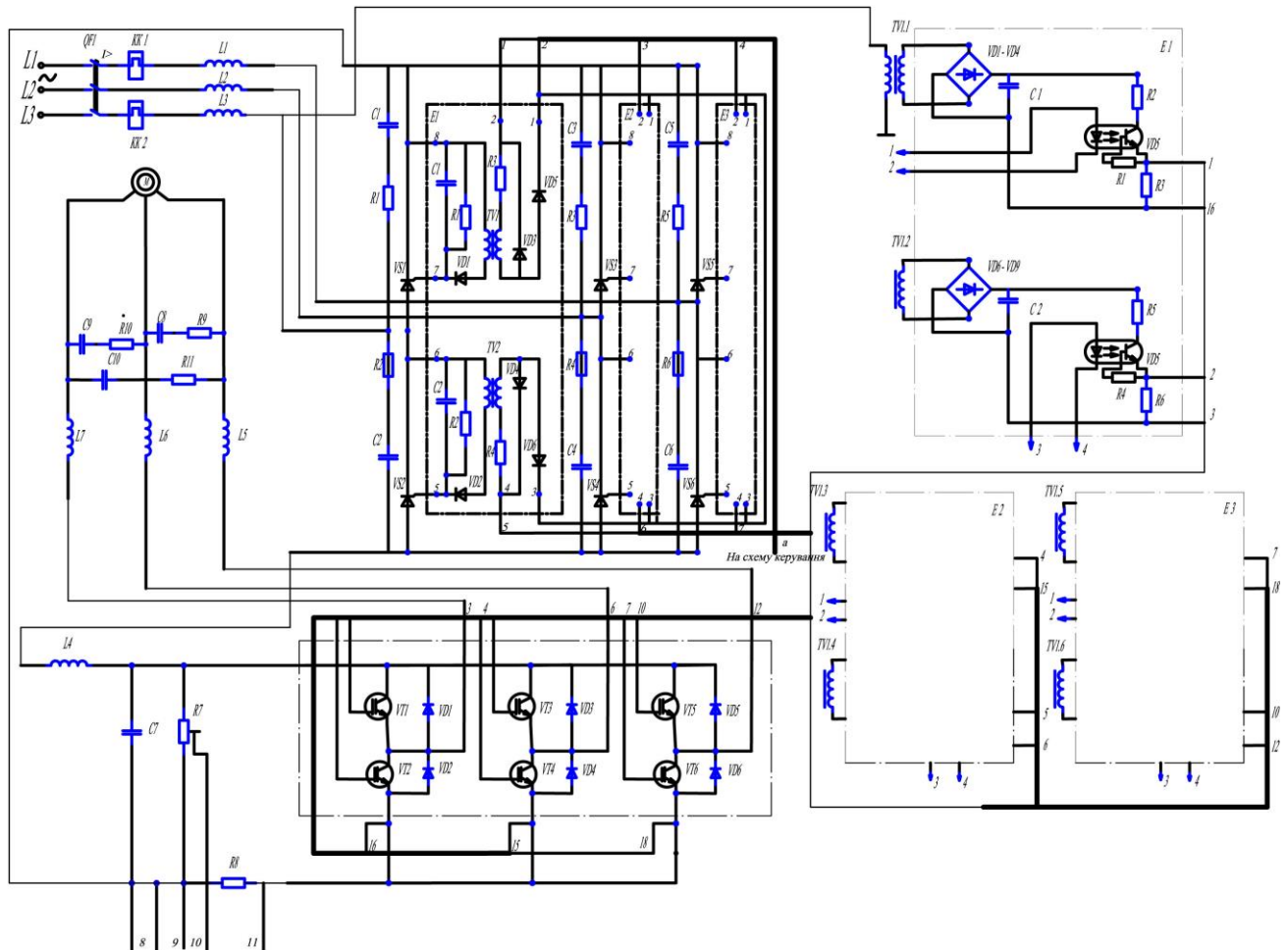


Рисунок 2.9 – Схема силової частини електропривода ПР

Спочатку розраховуємо максимальний струм через ключові елементи інвертора

$$I_{c, \max} = \frac{P_H \cdot k_1 \cdot \sqrt{2} \cdot k_2}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot \cos\phi \cdot \eta_H} = \frac{250 \cdot 1,3 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,2}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,65 \cdot 0,68} = 1,77 \text{ А}, \quad (2.51)$$

$k_1 = 1,3$ – коефіцієнт допустимого перевантаження за струмом;

$k_2 = 1,2$ – коефіцієнт, що характеризує допустиму миттєву пульсацію по струму;

$\eta_i = 0,68$ –ККД двигуна (номінальний).

Виберемо транзистори IGBT по величині номінального струму колектора за умови:

$$I_c \geq I_{c,\text{макс}}.$$

Вибираємо транзистор типу IRG4BC20KD фірми IR, що має такі параметри

- робочий струм:
- $I_c=9$ А;
- напруга насичення (при 25°C):
- $U_{ce}(\text{sat})=2,27$ В;
- клас за напругою:
- $U_{ce}=600$ В;
- корпус: АВ.

Цей тип транзистора монтується в одному корпусі разом з зустрічно-паралельним діодом.

Розраховуємо втрати в IGBT транзисторі в провідному стані будуть рівні

$$P_{ss} = I_{cp} \cdot U_{ce} \cdot \left[\frac{1}{8} + \frac{D}{3} \cdot \cos\theta \right] = 1,36 \cdot 2,2 \cdot \left[\frac{1}{8} + \frac{0,95}{3} \cdot 0,65 \right] = 1 \text{ Вт}, \quad (2.52)$$

де:

$I_{cp}=I_{c,\text{макс}}/k=1,77/1,3=1,36$ – найбільша величина амплітуди струму на виході схеми інвертора;

$D = 0,95$ – максимальна скважність;

$\cos\theta \approx \cos\phi = 0,65$ – коефіцієнт потужності;

$U_{ce}=2,2$ В – падіння напруги на IGBT транзисторі в стані насичення.

Розраховуємо втрати IGBT транзистора під час комутації:

$$P_{sw} = \frac{1}{\pi \cdot \sqrt{2}} \cdot \frac{(I_{cp} \cdot U_{cc}) \cdot (t_{c(on)} + t_{c(off)}) \cdot f_{sw}}{2} =$$

$$\frac{1}{3,14 \cdot \sqrt{2}} \cdot \frac{(1,36 \cdot 513)(0,4 + 0,7) \cdot 10^{-6} \cdot 10000}{2} \cdot \frac{10000}{1} = 0,86(\text{Вт}), \quad (2.53)$$

де: $t_{c(on)}=0,4$ мкс – час перехідних процесів у ланцюзі колектора на відкриття транзистора;

$t_{c(off)}=0,7$ мкс – час перехідних процесів у ланцюзі колектора на закриття транзистора;

$U_{cc}=513$ В – падіння напруги на колекторі IGBT ;

$f_{sw}=10000$ Гц – частота комутації ключів (частота широтно-імпульсного модулятора).

Таким чином маємо сумарні втрати в IGBT транзисторі:

$$P_Q = P_{ss} + P_{sw} = 1 + 0,86 = 1,86. \quad (2.54)$$

В провідному стані маємо такі втрати діода:

$$P_{ds} = I_{ep} \cdot U_{ec} \cdot \left[\frac{1}{8} + \frac{D}{3 \cdot \pi} \cdot \cos\theta \right] = 1,36 \cdot 2 \cdot \left[\frac{1}{8} + \frac{0,95}{3 \cdot 3,14} \cdot 0,67 \right] = 0,52 \text{ Вт}, \quad (2.55)$$

де: $I_{ep} = I_{cp} = 1,36$ А – максимальне значення амплітуди струму через зворотний діод;

$U_{ec} = 2$ В – падіння напруги (пряме) на зворотному діоді (в провідному стані).

Втрати відновлення на діоді:

$$P_{dr} = \frac{1}{8} (I_{rr} \cdot U_{cc} \cdot t_{rr} \cdot f_{sw}) = \frac{1}{8} \cdot (1,36 \cdot 513 \cdot 0,2 \cdot 10^{-6} \cdot 10000) = 0,17 \text{ Вт}, \quad (2.56)$$

де: $I_{rr} = 1,36$ А – величина амплітуди зворотного струму;

$t_{rr} = 0,2$ мкс – тривалість імпульсу зворотного струму.

Маємо такі сумарні втрати потужності на діоді:

$$P_d = P_{ds} + P_{dr} = 0,52 + 0,17 = 0,69 \text{ Вт}. \quad (2.57)$$

Підсумовуємо результуючі втрати потужності в IGBT транзисторі зі зворотним діодом:

$$P_T = P_Q + P_d = 1,86 + 0,69 = 2,55 \text{ Вт}. \quad (2.58)$$

2.4.2. Розрахунок випрямляча

Середньовипрямлена напруга по [4]:

$$U_d = k_{c,n} \cdot U_{л} = 1,35 \cdot 380 = 513 \text{ В}, \quad (2.59)$$

де: $k_{c,n} = 1,35$.

Розраховуємо максимальне значення середньовипрямленого струму:

$$I_{dm} = \frac{[\sqrt{3} \cdot (\frac{I_{c,макс}}{\sqrt{2}}) \cdot U_{л} \cdot \cos\phi + n \cdot P_T]}{U_d} = \frac{[\sqrt{3} \cdot (\frac{1,77}{\sqrt{2}}) 380 \cdot 0,65 + 3 \cdot 2,55]}{513} = 1,1 \quad (2.60)$$

де: $n=3$ – кількість пар IGBT в інверторі.

Розраховуємо найбільший (максимальний) робочий струм діода:

$$I_{vm} = k_{cc} \cdot I_{dm} = 1,045 \cdot 1,1 = 1,15 \text{ А}, \quad (2.61)$$

де: $k_{cc} = 1,045$.

Тоді можна розрахувати максимальну зворотну напругу вентиля:

$$U_{v,m} = k_{з,н} \cdot \sqrt{2} \cdot U_{л} \cdot k_{c,n} \cdot k_c + \Delta U_n = 1,2 \cdot \sqrt{2} \cdot 380 \cdot 1,35 \cdot 1,1 + 130 = 1091 \text{ В} \quad (2.62)$$

де: $k_c = 1,1$ – коефіцієнт, що характеризує допустиме підвищення напруги в мережі;

$\Delta U_n = 130 \text{ В}$ – запас напруги на комутаційні викиди в ланці постійного струму.

Вентилі можна вибрати по величині постійного робочого струму та класу напруги:

$$I_B \geq I_{v,m},$$

$$U_B \geq \frac{U_{v,m}}{100}.$$

Згідно з цією умовою вибираємо по [7] діод типу HFA06TB120 з наступними параметрами:

– імпульсна зворотна напруга:

$$U_R = 1200 \text{ В};$$

– максимально припустимий середній струм у відкритому стані при

$$T_c = 150^\circ, f = 50 \text{ Гц}. \quad (2.63)$$

$$I_{FAV_m} = 6 \text{ A.}$$

2.4.3. Розрахунок фільтру

Знайдемо коефіцієнт пульсацій на вході фільтра

$$q_{1_{вх}} = \frac{2}{m^2 - 1} = \frac{2}{36 - 1} = 0,057, \quad (2.64)$$

де: $m=6$ – пульсність схеми випрямлення.

Також визначаємо величину найменшої індуктивності фільтра:

$$L_{0, \text{мин}} = \frac{0,013 \cdot U_{л}}{2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot I_d} = \frac{0,013 \cdot 380}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,83} = 18 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}, \quad (2.65)$$

де: $I_d=0,83 \text{ A}$ – величина середнього струму в ланці постійного струму.

Щоб забезпечити величину коефіцієнта потужності на виході випрямляча рівною $k_m = 0,95$, індуктивність дроселя повинна відповідати умові (2.66).

Розраховуємо потрібну величину індуктивності:

$$L_0 = 3 \cdot L_{0, \text{мин}} = 3 \cdot 18 \cdot 10^{-3} = 54 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}. \quad (2.66)$$

Далі по [6] було обрано дросель типу Робс-1АУЗ, що має наступні параметри:

струм згладжуючого дроселя:

$$I_{уд} = 3 \text{ A};$$

величина індуктивності:

$$L_{уд} = 70 \text{ мГн}.$$

Отримаємо ємність конденсаторів, яка потрібна для протікання реактивного струму у навантаженні інверторного блоку:

$$C_{03} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{sm1} \cdot \sin^2\left(\frac{\varphi_1}{2} - \frac{\pi}{12}\right)}{2 \cdot U_d \cdot f_{sw} \cdot q_1} = \frac{\sqrt{3} \cdot 1,17 \cdot \sin^2\left(\frac{45}{2} - \frac{180}{12}\right)}{2 \cdot 513 \cdot 10000 \cdot 0,057} = 4,8 \cdot 10^{-8} \text{ Ф}, \quad (2.67)$$

де: $I_{sm1}=1,17 \text{ A}$ – величина амплітуди струму у кожній фазі двигуна;

$\varphi_1 = 45^\circ$ – величина кута зсуву фаз між 1-ої гармонікою фазних напруги і струму.

Маємо значення амплітуди струму через конденсатори фільтра (по 1-й гармоніці):

$$I_{\text{Com}} = q_{1\text{вих}} \cdot U_d \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot C_{03} = 0,011 \cdot 513 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 4,8 \cdot 10^{-8} = 8,5 \cdot 10^{-5} \text{ А} \quad (2.68)$$

де: $q_{1\text{вих}}=0,011$ — величина коефіцієнту пульсацій на виході блоку фільтра.

Конденсатор повинен вибиратися на ємність C_{03} , допустимий за амплітуді струм більш I_{Com} напругою не менше 800 В.

Згідно з цими умовами по [6] вибираємо конденсатор К78-17, на номінальну напругу 1000 В.

2.5. Розроблення функціональної схеми електропривода

Розглянемо роботу запропонованої схеми. Значення потокозчеплення $\Psi_{\mu\alpha}$ та $\Psi_{\mu\beta}$ від ідентифікатора надходять на датчик положення ДП (рис.2.10). Він обчислює по цих значень потокозчеплення ротора в осях α та β , за якими у векторі-фільтрі ВФ визначається модуль потокозчеплення ротора $|\Psi_2|$.

Цей сигнал порівнюється з сигналом завдання потокозчеплення ротора, і їх різниця надходить на регулятор потокозчеплення. Сигнал з виходу РП є сигналом завдання для внутрішнього контуру регулювання струму I_{1x} , а сигнал зворотного зв'язку за струмом надходить від датчика струму ДС через координатний перетворювач (КП2). Сигнал зворотного зв'язку за швидкістю знімається з енкодера. Сигнал неузгодженості швидкості є завданням для другого внутрішнього контуру регулювання струму (I_{1y}).

Сигнали з виходу регуляторів струму надходять на блок компенсації БК. Він здійснює орієнтацію вектора струму статора I_{1y} щодо вектора потокозчеплення ротора так, щоб забезпечити необхідний момент і сталість вектора Ψ_2 .

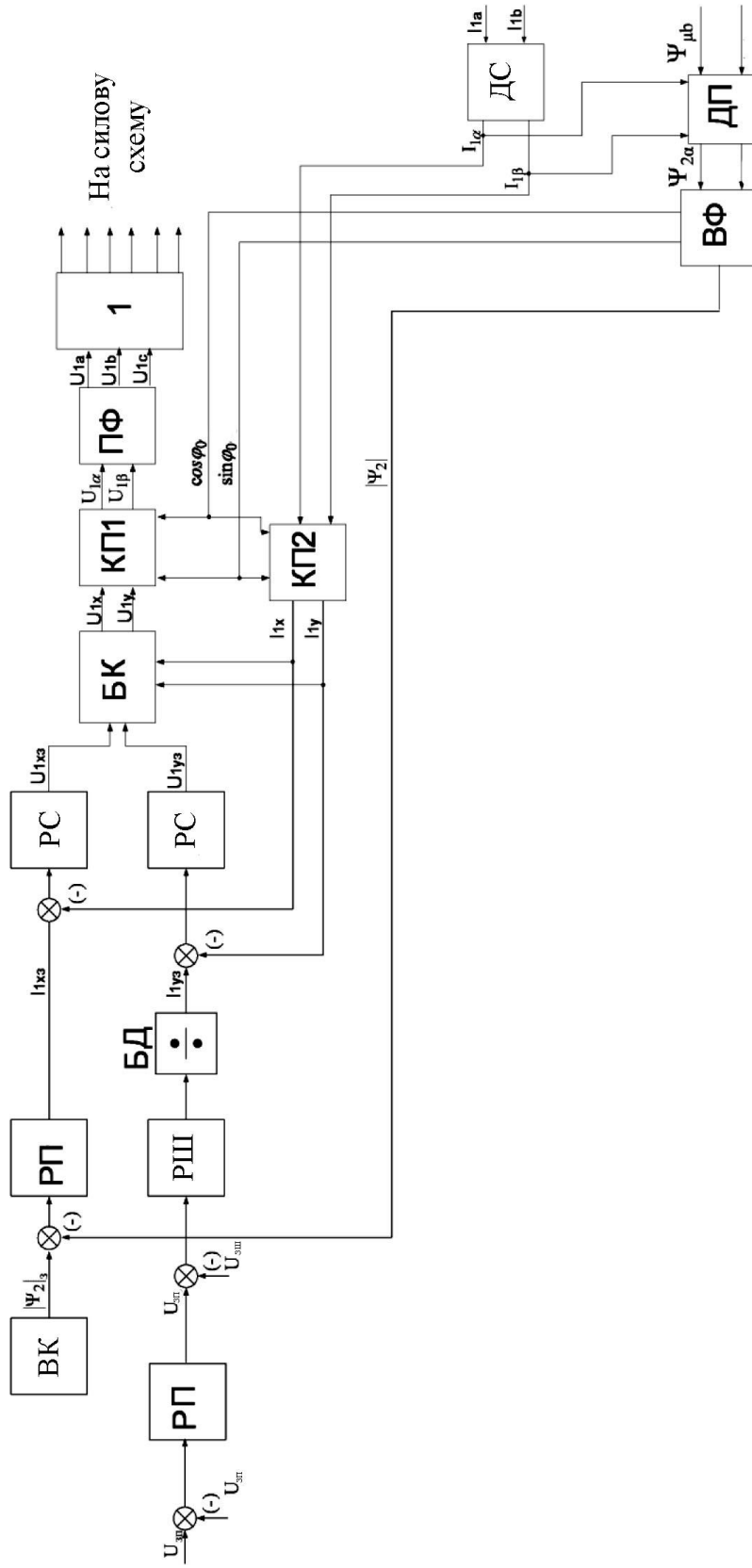


Рисунок 2.10 – Функціональна схема керування електроприводом робота

Напряга з виходу БК, пройшовши блок КП1, надходить на перетворювач фаз (ПФ). Цей блок (ПФ) здійснює перетворення напруг U_{1a} та U_{1b} в сигнали керування U_a, U_b, U_c . Ці сигнали надходять на блок 2, де вони порівнюються з пилкоподібною напругою. Поки $U_{\text{син}} \geq U_{\text{пил}}$, на ключ надходить сигнал керування, і він відкритий. Коли $U_{\text{син}} < U_{\text{пил}}$, ключ буде закритий. Період пилки (період ШІМ) може бути до десятків КГц. Сигнал керування з контролера на ключ надходить через драйвер. У ньому здійснюється підсилення імпульсів керування і гальванічний розв'язок силового кола і кола керування.

Гальмування електроприводу відбувається з контролем положення. При досягненні куту повороту певного значення (це значення підбирається залежно від необхідного темпу гальмування при програмуванні, але щоб $t < 0,5$ с) відбувається підключення контуру стану. При розрахунках за даною схемою сигналом завдання для контуру швидкості буде вже не сигнал від датчика інтенсивності, а сигнал з виходу регулятора положення.

У контролері програмно реалізований регулятор положення з параболічною характеристикою (поки $\Delta\varphi \geq \Delta\varphi_{\text{нач, доп}}$, коефіцієнт регулятора положення обернено пропорційний $\Delta\varphi$, а коли $\Delta\varphi < \Delta\varphi_{\text{нач, доп}}$, $k_{\text{рп}} = k_{\text{рп опт}}$). При гальмуванні відбувається підключення гальмівного транзистора VT2.

2.6. Розроблення структурної схеми САК

Система ПЧ-АД з прямою орієнтацією координат за вектором потокозчеплення ротора за своїми властивостями для ДПС є подібною системі двозонного регулювання швидкості електроприводів. Змінні машини (струми, напруги, потокозчеплення) представляються при цьому в системі координат x, y , що обертається синхронно з полем ротора [10].

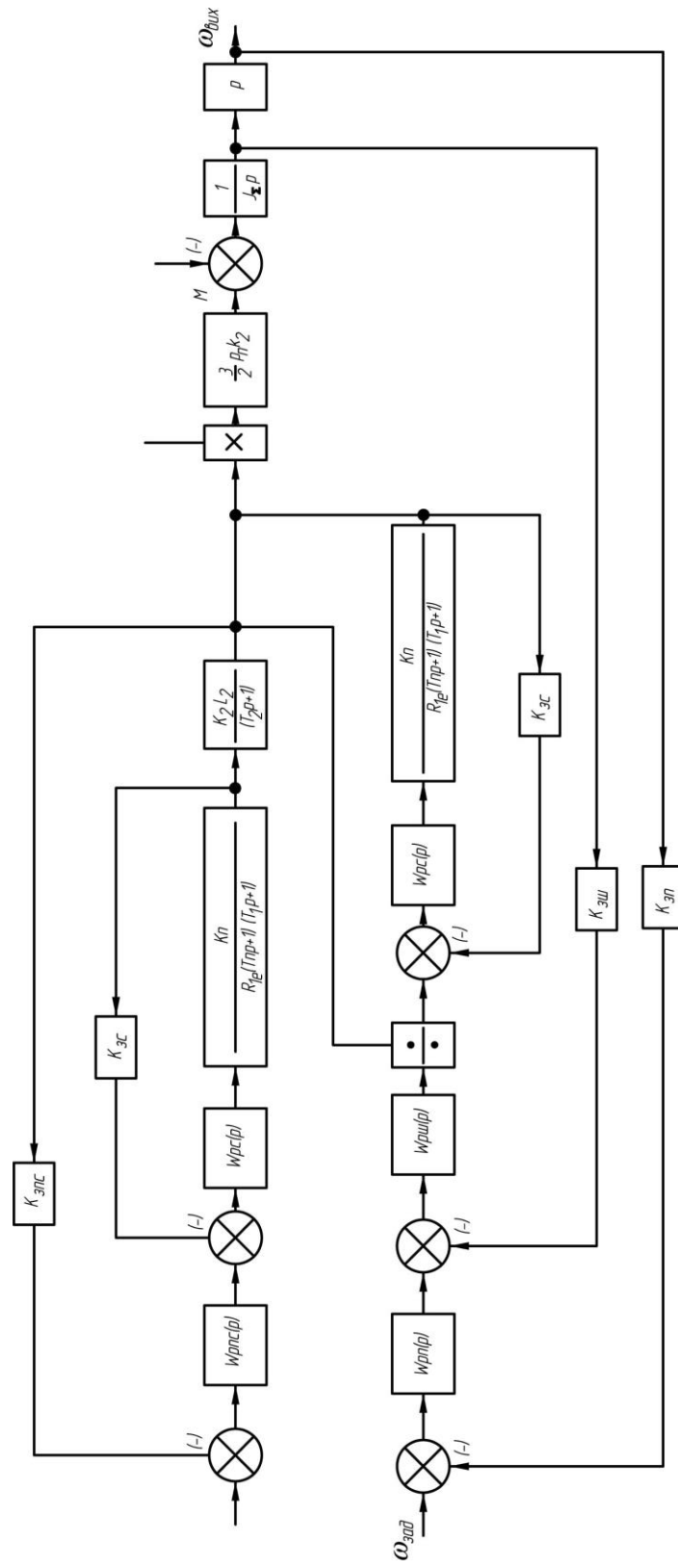


Рисунок 2.11 – Структурна схема системи керування електроприводом

У систему включено два однакові за своїми параметрами контуру регулювання складових I_{1x} , I_{1y} з коефіцієнтом зворотного зв'язку за струмом $k_{зс}$, а також зовнішній контур регулювання потокозчеплення ротора з коефіцієнтом зворотного зв'язку за потокозчепленням $k_{зп}$, зовнішній контур регулювання швидкості обертання двигуна з коефіцієнтом зворотного зв'язку за швидкістю. Також система містить контур регулювання положення.

На рисунку 2.11 представлена структурна схема системи регулювання «Перетворювач частоти–асинхронний двигун» при прямій орієнтації координат x , y за вектором потокозчеплення ротора.

Розрахуємо параметри і налаштування елементів системи регулювання для моделювання системи в абсолютних величинах.

Спочатку визначимо індуктивність розсіювання фази статора, ротора і індуктивність контуру намагнічування:

$$L_{1\sigma} = \frac{x_1}{\omega_0} = \frac{21,7}{157} = 0,138 \text{ Гн}, \quad (2.69)$$

$$L'_{2\sigma} = \frac{x'_2}{\omega_0} = \frac{45,1}{157} = 0,287 \text{ Гн}, \quad (2.70)$$

$$L_{12} = \frac{x_\mu}{\omega_0} = \frac{372}{157} = 2,37 \text{ Гн}. \quad (2.71)$$

Еквівалентний активний опір статора:

$$R_{1\sigma} = R_1 + k_2^2 \cdot R'_2 = 39,8 + 0,89^2 \cdot 37,1 = 69,2 \text{ Ом}, \quad (2.72)$$

$$\text{де } L'_2 = L'_{2\sigma} + L_{12} = 0,287 + 2,37 = 2,66 \text{ Гн} \quad (2.73)$$

Еквівалентна індуктивність фази ротора;

$$k_2 = \frac{L_{12}}{L'_2} = \frac{2,37}{2,66} = 0,89. \quad (2.74)$$

Регулятор струму є пропорційно-інтегральним (ПІ) і його передавальна функція:

$$W_{pc}(p) = k_{pc} + \frac{1}{T_i \cdot p}. \quad (2.75)$$

Постійна часу інтегрування ПІ-регулятора струму:

$$T_I = \frac{k_{zc} \cdot k_{\pi} \cdot a_I \cdot T_{\pi}}{R_{1e}} = \frac{1 \cdot 515 \cdot 2 \cdot 0,001}{63,87} = 0,016 \text{ с}, \quad (2.76)$$

де: $k_{zc} = \frac{U_{zc \max}}{I_{\max}} = 1$ – коефіцієнт зворотного зв'язку за струмом;

$$k_{\pi} = \frac{E_{\pi \max}}{U_{y \max}} = \frac{515}{1} = 515 \text{ – коефіцієнт передачі перетворювача;}$$

$a_I = 2$ – при налаштуванні на модульний оптимум;

$T_{\pi} = 0,001 \text{ с}$ (відповідно до прийнятої несучої частотою $f_{\text{нес}} = 1 \text{ кГц}$).

Індуктивність фази статора:

$$L_1 = L_{1\sigma} + L_{12} = 0,138 + 2,37 = 2,5. \quad (2.77)$$

Коефіцієнт розсіювання магнітного поля:

$$\sigma = 1 - \frac{L_{12}^2}{L_1 \cdot L_2} = 1 - \frac{2,37^2}{2,5 \cdot 2,66} = 0,155. \quad (2.78)$$

Передавальний коефіцієнт пропорційної частини регулятора струму:

$$k_{pc} = \frac{T_{1e}}{T_I} = \frac{0,0065}{0,016} = 0,4, \quad (2.79)$$

$$\text{де } T_{1e} = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_{1e}} = \frac{0,155 \cdot 2,5}{69,2} = 0,0055 \text{ с}. \quad (2.80)$$

Регулятор поточозчеплення є пропорційно-інтегральним і його передавальна функція:

$$W_{\text{pn}}(p) = k_{\text{pn}} + \frac{1}{T_{\text{ин}} \cdot p}. \quad (2.81)$$

Розраховуємо величину постійної часу інтегрування для ПІ-регулятора поточозчеплення:

$$T_{\text{ин}} = \frac{k_{\text{зп}} \cdot L_{12} \cdot a_I \cdot a_{\pi} \cdot T_{\pi}}{k_{\text{zc}}} = \frac{1 \cdot 2,37 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0,001}{1} = 0,0095 \text{ с}, \quad (2.82)$$

де: $k_{\text{зп}} = 1$ – коефіцієнт зворотного зв'язку за поточозчепленням;

$a_{\pi} = 2$ – при налаштуванні системи на модульний оптимум.

Передаточний коефіцієнт пропорційної частини регулятора потокозчеплення:

$$k_{\text{пр}} = \frac{T_2}{T_{\text{ин}}} = \frac{0,072}{0,0474} = 1,52, \quad (2.83)$$

$$\text{де } T_2 = \frac{L_2'}{R_2} = \frac{2,66}{37,1} = 0,072 \text{ с.} \quad (2.84)$$

Модуль жорсткості лінеаризованної механічної характеристики:

$$\beta = \frac{2 \cdot M_k}{\omega_{0н} \cdot s_k} = \frac{2 \cdot 3,93}{157 \cdot 0,47} = 0,106. \quad (2.85)$$

Електромеханічна постійна часу двигуна:

$$T_m = \frac{J_{\Sigma}}{\beta} = \frac{0,0024}{0,106} = 0,028. \quad (2.86)$$

Статичний перепад швидкості ЕП при налаштуванні контуру швидкості на технічний оптимум:

$$\Delta\omega^{\text{то}} = \Delta\omega_{\text{роз}} \cdot \frac{4 \cdot T_{\mu}}{T_m} = 18,8 \cdot \frac{4 \cdot 0,001}{0,028} = 2,65 \text{ 1/с.} \quad (2.87)$$

Згідно з вимогами статичний перепад швидкості в замкнутій системі (знайдений в пункті 1): $\Delta\omega_3 = 0,35 \text{ с}^{-1}$. Отже, для забезпечення такого статичного перепаду швидкості необхідно застосування регулятора швидкості з перемінним статизмом.

Передавальна функція регулятора швидкості:

$$W_{\text{рш}}^{\text{тс}} = k_{\text{рш}} \cdot \frac{1 + \rho}{\rho} \cdot \frac{1 + \frac{8 \cdot T_{\mu} \cdot \rho}{1 + \rho}}{\frac{8 \cdot T_{\mu} \cdot \rho}{\rho} + 1}, \quad (2.88)$$

$$\rho = \frac{R_{\text{зш1}}}{R_{\text{ш1}}} \quad (2.89)$$

де величина

– відношення опорів в ланцюзі зворотного зв'язку регулятора швидкості і опору шунта.

Визначимо величину ρ по [14]:

$$\rho = \frac{1}{\frac{4 \cdot T_{\mu}}{T_M} \cdot \frac{\Delta\omega_{\text{роз}}}{\Delta\omega_{\text{зад}}} - 1} = \frac{1}{\frac{4 \cdot 0,001}{0,028} \cdot \frac{18,8}{0,35} - 1} = 0,16. \quad (2.90)$$

Регулятор положення має параболічну характеристику:

$$k_{\text{рп}} = k_{\text{зш}} \cdot \varepsilon_{\text{тmax}} / \sqrt{2 \cdot \varepsilon_{\text{тmax}} \cdot \Delta\phi \cdot k_{\text{зп}}} \quad (2.91)$$

Оптимальне значення $k_{\text{рп}}$:

$$k_{\text{рпо}} = \frac{k_{\text{зш}}}{k_{\text{зп}} \cdot a_{\text{п}} \cdot a_{\text{с}} \cdot a_{\text{т}} \cdot T_{\mu}} = \frac{1}{1 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0,001} = 125. \quad (2.92)$$

Висновки за розділом.

В даному розділі виконаний кінематичний аналіз промислового робота і режиму його роботи. Обраний електродвигун АІР63А4, який перевірений по нагріванню методом визначення допустимого числа включень на годину і по перевантаженню, наведені можливі варіанти електроприводу, обрана система електроприводу з векторним керуванням і сформульовані вимоги до електроприводу. За результатами розрахунку обрані основні елементи силової схеми.

3 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1 Дослідження статичних характеристик електропривода в замкненій системі

Замкнена система електроприводу являє собою систему регулювання кутової швидкості обертання вала двигуна при живленні його від обраного типу перетворювача частоти на базі автономного інвертора напруги (АІН) з керуванням за вектором потокозчеплення ротора (пряме векторне керування). Статичні механічні характеристики двигуна $\omega = f(M)$ в замкненій системі визначаються наступним виразом у відносних одиницях:

$$v = f_{\text{пит.отн.}} - \frac{r'_{2\text{від.}}}{\Psi_{2\text{від.}}^2} \mu, \quad (3.1)$$

де:

$$v = \frac{\omega_{\text{ел}}}{\omega_{\text{б}}} \quad (3.2)$$

Величина кутової швидкості обертання вала двигуна у відносних одиницях;

$\omega_{\text{ел}} = p_{\text{п}} \omega = 4 \cdot \omega$ – електрична кутова швидкість обертання ротора;

$\omega_{\text{б}} = \omega_{\text{пит.}} = 2\pi f_{\text{пит.}}$ – кутова частота живлячої напруги двигуна, тобто для отримання сімейства характеристик при живленні двигуна напругою різної частоти, $f_{\text{пит.}}$ послідовно прирівнюємо частотам f_1, f_2, f_3, f_4, f_5 – аналогічно розрахунку статичних характеристик в розімкнутій системі;

$$r'_{2\text{від.}} = \frac{r'_2}{R_{\text{б}}} = \frac{r'_2}{\sqrt{\frac{2}{3}} U_{1.\text{ном}} \cdot \frac{f_{\text{ж.}}}{f_1} / \sqrt{2} I_{1.\text{ном}}}, \quad (3.3)$$

активний приведений опір ротора у відносних одиницях;

$$\Psi_{2\text{від.}} = \frac{\Psi_2}{\Psi_{\text{б}}} = \frac{\Psi_2}{\Psi_2} = 1, \text{ в.о.} \quad (3.4)$$

потокосцеплення ротора у відносних одиницях;

$$f_{\text{ж.від.}} = \frac{f_{\text{ж.}}}{f_{\text{Б}}} = \frac{f_{\text{ж.}}}{f_{\text{ж.}}} = 1 \quad (\text{в.о.}), \quad (3.5)$$

частота живлячої напруги двигуна у відносних одиницях;

$$\mu = \frac{M}{M_{\text{Б}}} = \frac{M}{\frac{3}{2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \cdot U_{1.\text{НОМ}} \cdot \sqrt{2} I_{1.\text{НОМ}} \cdot 4} \quad (3.6)$$

Момент на валу двигуна також беремо у відносних одиницях.

Перейдемо від відносних величин до дійсним:

$$\omega(M) = \left(\frac{\pi f_{\text{ж.}}}{2} \right) \cdot \left(1 - \frac{r_2'}{\sqrt{\frac{2}{3}} U_{1.\text{НОМ}} \cdot \frac{f_{\text{ж.}}}{f_1}} \cdot \frac{M}{\frac{3}{2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \cdot U_{1.\text{НОМ}} \cdot \sqrt{2} I_{1.\text{НОМ}} \cdot 4} \right) \Rightarrow \quad (3.7)$$

$$\omega(M) = \left(\frac{\pi f_{\text{ж.}}}{2} \right) \cdot \left(1 - \frac{\pi f_1^2 \cdot r_2' \cdot M}{2 \cdot U_{1.\text{НОМ}}^2 \cdot f_{\text{ж.}}} \right)$$

Отримаємо декілька графіків механічних характеристик (рис. 3.1), кожний з яких буде відповідати своєму значенню $\omega_{\text{Б}} = \omega_{\text{ж.}} = 2\pi f_{\text{ж.}}$ (залежно від значення частоти), а також $r_{2\text{від.}}$, залежне від значення $U_{\text{ж.}} = U_{1.\text{НОМ}} \cdot \frac{f_{\text{ж.}}}{f_1}$ (при

обраному способі регулювання частоти: $\frac{U_{\text{ж.}}}{f_{\text{ж.}}} = \text{const}$).

Швидкість холостого ходу при роботі на нижній характеристиці в замкненій системі була розрахована раніше в пункті 1.3: $\omega_0 = 3,5$ 1/с.

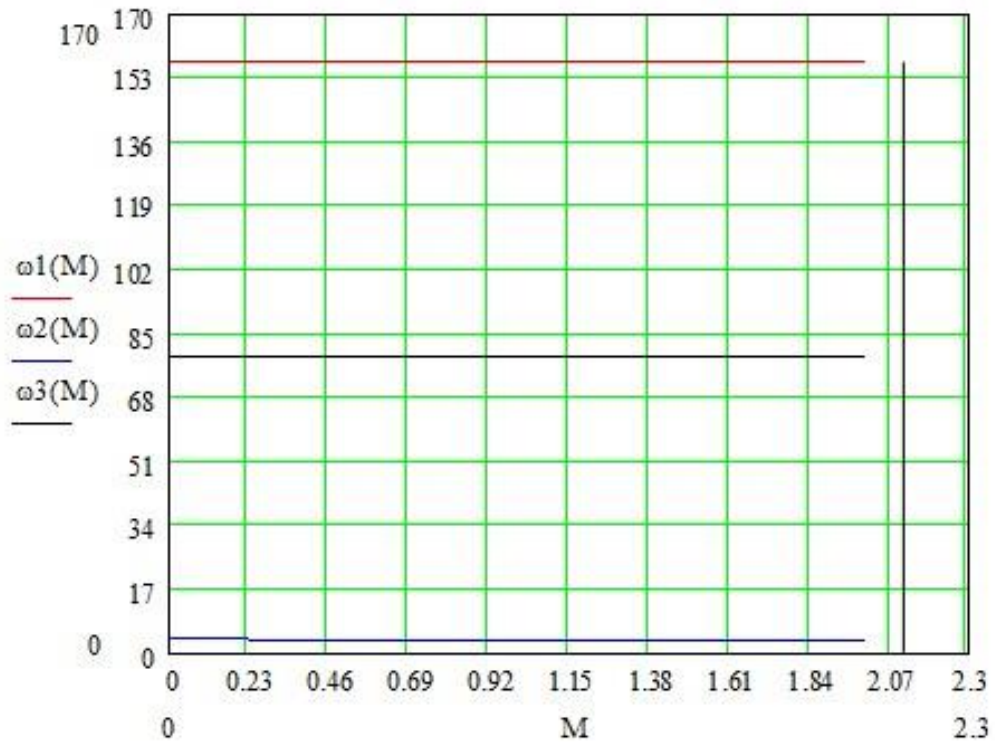


Рисунок 3.1 – Статичні механічні характеристики двигуна в замкненій системі

Рівняння статичної механічної характеристики в розімкненій системі – при роботі на верхній характеристиці ($f=50$ Гц, $U=220$ В):

$$\omega = 157 \cdot (1 - 0,06 \cdot M);$$

при роботі на нижній характеристиці ($f=1,11$ Гц, $U=4,9$ В):

$$\omega = 3,5 \cdot (1 - 0,06 \cdot M).$$

Статичні механічні характеристики двигуна в замкнутій системі представлені на рисунку 3.1.

Визначимо відносний статичний перепад швидкостей:

$$\delta = \frac{\Delta\omega}{\omega_0} \cdot 100\% = \frac{0,35}{3,5} = 10\%, \quad (3.8)$$

де: $\Delta\omega=0,35$ 1/с – статичний перепад швидкості на нижній характеристиці в замкненій системі;

$\omega_0=3,5$ 1/с – швидкість холостого ходу на нижній характеристиці в замкненій системі.

Блок Model AD рисунку 3.1 реалізує асинхронний двигун в нерухомій ортогональній системі координат α, β за рівняннями відповідно до загальноприйнятих допущень по [17]:

$$u_{1\alpha} = i_{1\alpha} \cdot R_1 + \frac{di_{1\alpha}}{dt} \left(L_1 - \frac{L_{12}^2}{L_2} \right) + \frac{L_{12}}{L_2} \cdot \frac{d\Psi_{2\alpha}}{dt}; \quad (3.9)$$

$$u_{1\beta} = i_{1\beta} \cdot R_1 + \frac{di_{1\beta}}{dt} \left(L_1 - \frac{L_{12}^2}{L_2} \right) + \frac{L_{12}}{L_2} \cdot \frac{d\Psi_{2\beta}}{dt}; \quad (3.10)$$

$$0 = \frac{R_2'}{L_2} (\Psi_{2\alpha} - L_{12} \cdot i_{1\alpha}) + \frac{d\Psi_{2\alpha}}{dt} + \omega_{2эл} \cdot \Psi_{2\beta}; \quad (3.11)$$

$$0 = \frac{R_2'}{L_2} (\Psi_{2\beta} - L_{12} \cdot i_{1\beta}) + \frac{d\Psi_{2\beta}}{dt} - \omega_{2эл} \cdot \Psi_{2\alpha}; \quad (3.12)$$

$$M_{ем} = \frac{3}{2} \cdot p_n \cdot \frac{L_{12}}{L_2} \cdot (\Psi_{2\alpha} \cdot i_{1\beta} - \Psi_{2\beta} \cdot i_{1\alpha}). \quad (3.13)$$

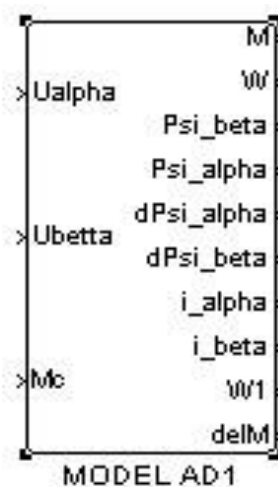


Рисунок 3.3 – Блок ModelAD

$$|\Psi_2| = \sqrt{\Psi_{2\alpha}^2 + \Psi_{2\beta}^2}. \quad (3.14)$$

Вектор-фільтр (блок VF) визначає модуль потокозчеплення ротора, а також косинус і синус кут повороту поля машини (рис. 3.4).

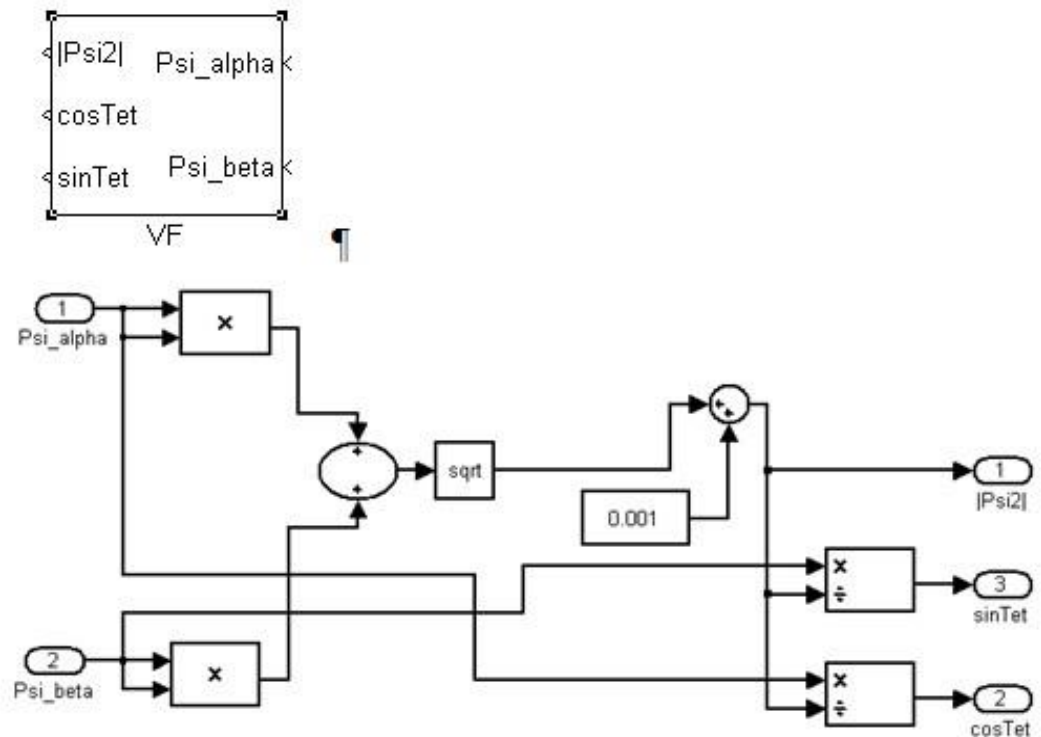


Рисунок 3.4 – Блок VF

Блок компенсації (ВК в моделі) рисунку 3.3 виконує компенсацію перехресних зв'язків у системі і рівнянь математичного опису АД введенням еквівалентних ЕРС двигуна E_{1x} та E_{1y} , тобто він здійснює поворот вектора струму статора щодо потокозчеплення ротора:

$$E_{1x} = k_2 \cdot \frac{R_2'}{L_2} \cdot \Psi_{2x} + \sigma \cdot L_1 \cdot I_{1y} \cdot \omega_{\text{оел}}; \quad (3.15)$$

$$E_{1y} = k_2 \cdot p_n \cdot \omega \cdot \Psi_{2x} + \sigma \cdot L_1 \cdot I_{1x} \cdot \omega_{\text{оел}}; \quad (3.16)$$

Координатний перетворювач КР1 рисунку 3.5 здійснює перетворення складових струму статора $I_{1\alpha}$ та $I_{1\beta}$ в складові I_{1x} та I_{1y} :

$$I_{1x} = I_{1\alpha} \cdot \cos\phi_{\text{оел}} + I_{1\beta} \cdot \sin\phi_{\text{оел}}; \quad (3.17)$$

$$I_{1y} = -I_{1\alpha} \cdot \sin\phi_{\text{оел}} + I_{1\beta} \cdot \cos\phi_{\text{оел}}. \quad (3.18)$$

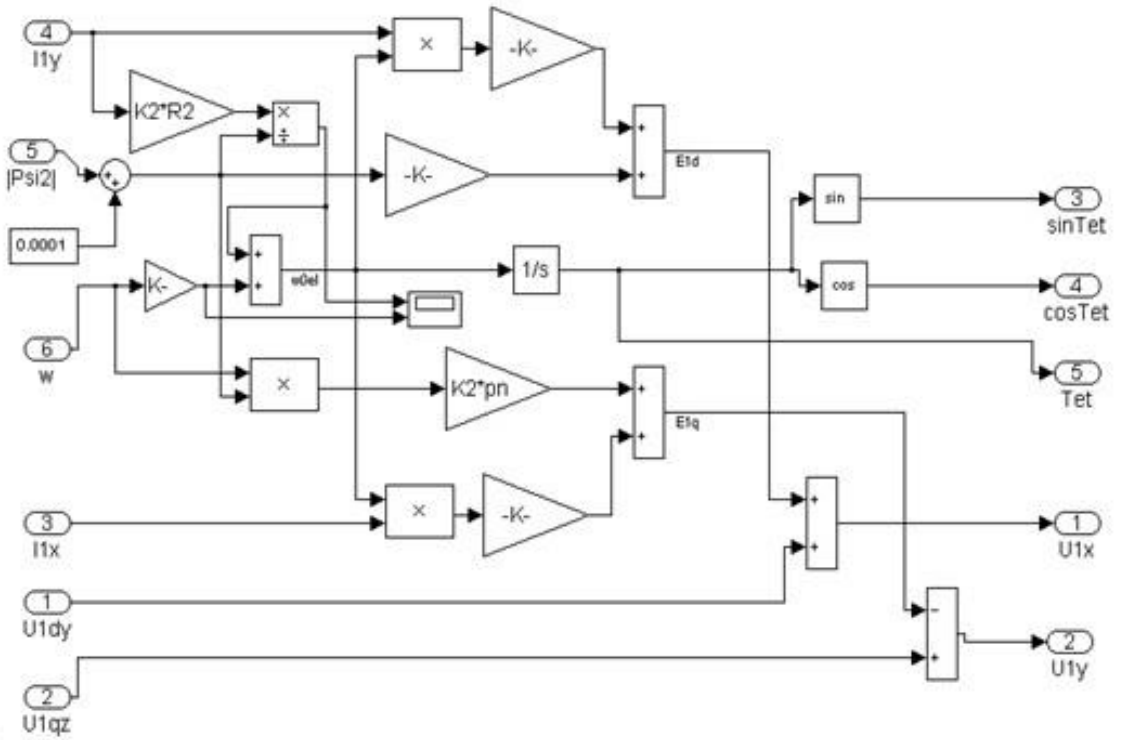
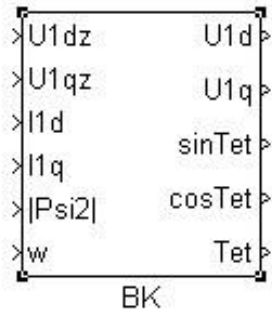


Рисунок 3.5 – Блок BK

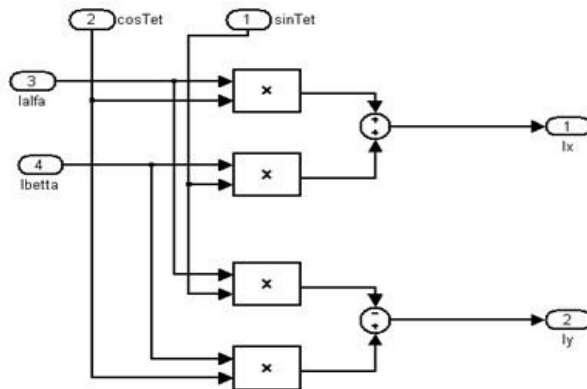
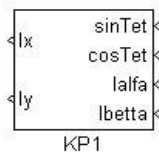


Рисунок 3.6 – Блок KP1

Координатний перетворювач КР2 (рис.3.7) здійснює перетворення складових напруги статора U_{1x} та U_{1y} в складі $U_{1\alpha}$ та $U_{1\beta}$:

$$U_{1\alpha} = U_{1x} \cdot \cos\phi_{0\text{ел}} - U_{1y} \cdot \sin\phi_{0\text{ел}} \quad (3.19)$$

$$U_{1\beta} = U_{1x} \cdot \sin\phi_{0\text{ел}} + U_{1y} \cdot \cos\phi_{0\text{ел}} \quad (3.20)$$

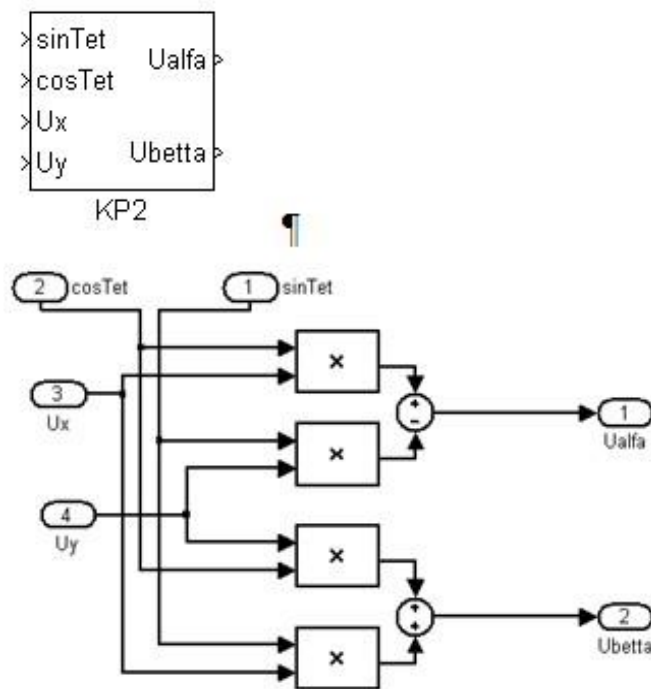


Рисунок 3.7 – Блок КР2

3.2.2. Розрахунок і побудова перехідних процесів

Моделювання системи електроприводу проводилося в середовищі MATLAB [17].

Перехідні процеси при пуску, роботі з усталеною швидкістю і гальмуванні представлені на рисунках 3.8–3.10.

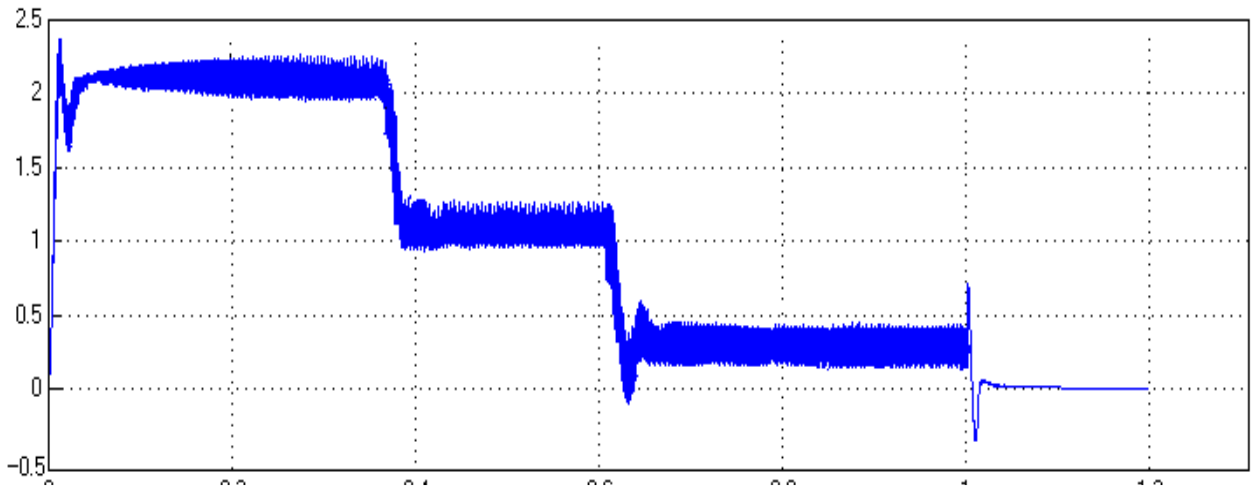


Рисунок 3.8 – Перехідні процеси зміни моменту при пуску на номінальну швидкість та гальмування

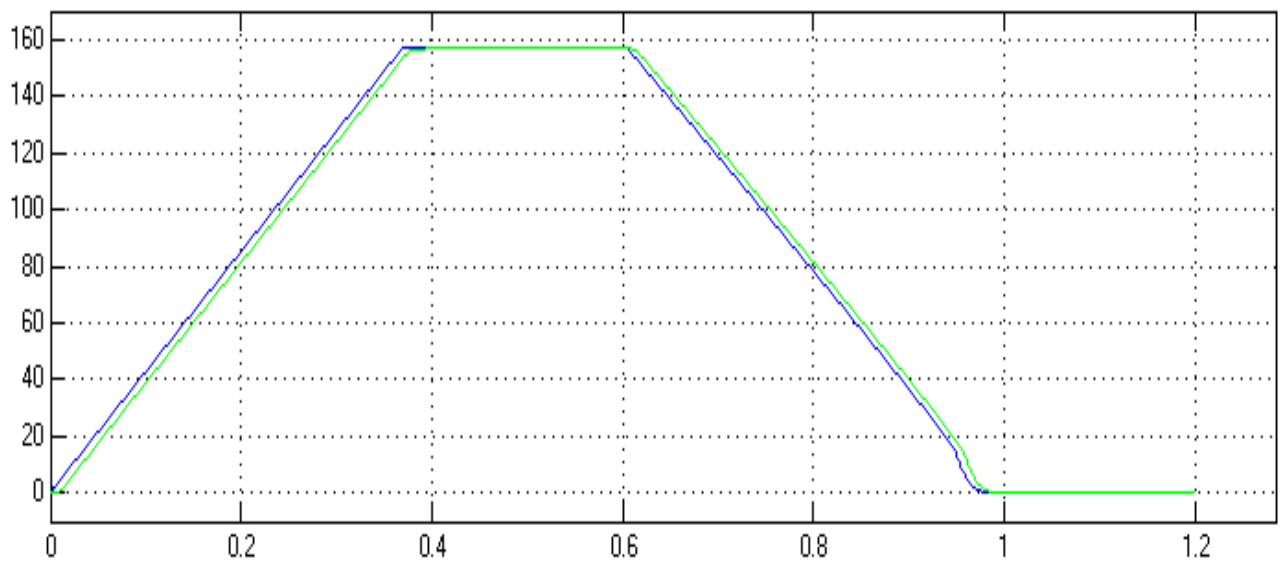


Рисунок 3.9 – Перехідні процеси зміни швидкості при пуску на номінальну швидкість та гальмування

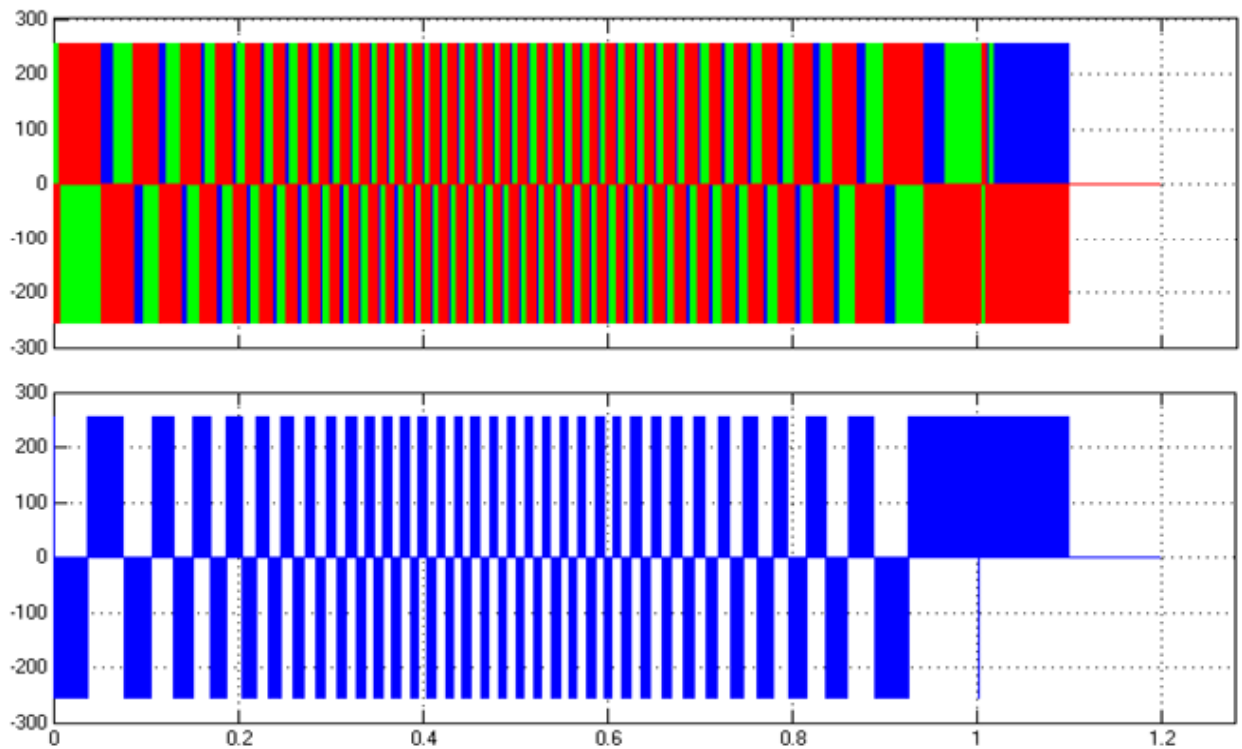


Рисунок 3.10 – Фазна напруга при пуску на номінальну швидкість та гальмування

В підрозділі було представлено математичний опис електроприводу, а також складена модель і побудовані графіки перехідних процесів. Аналіз перехідних процесів показує, що дана система задовольняє вимогам: час пуску не більше 0,5 с, відносний статичний перепад швидкості $\leq 10\%$. Точність зупинки склала $\Delta\varphi=0,1^\circ$, що відповідає вимогам для таких електроприводів ($\Delta\varphi \leq 0,5^\circ$).

При пуску момент склав 2,13 Н·м, що відповідає максимальному моменту навантаження при пуску (з урахуванням передавального числа редуктора).

3.3. Розробка принципової схеми керування та опис її роботи

Принципова схема електроприводу представлена на рисунку 3.11. Розглянемо принцип її роботи.

При включенні автоматичного вимикача QF1 живлення подається на

схему керування. При натисканні на кнопку SB2 отримує живлення котушка контактору KM1 і розмикає свої контакти 7-15. Контактор KM1 замикає свої контакти 7-9, шунтуючи кнопку SB2.

З пульта керування відбувається введення частоти і заданого кута, і починається розгін двигуна.

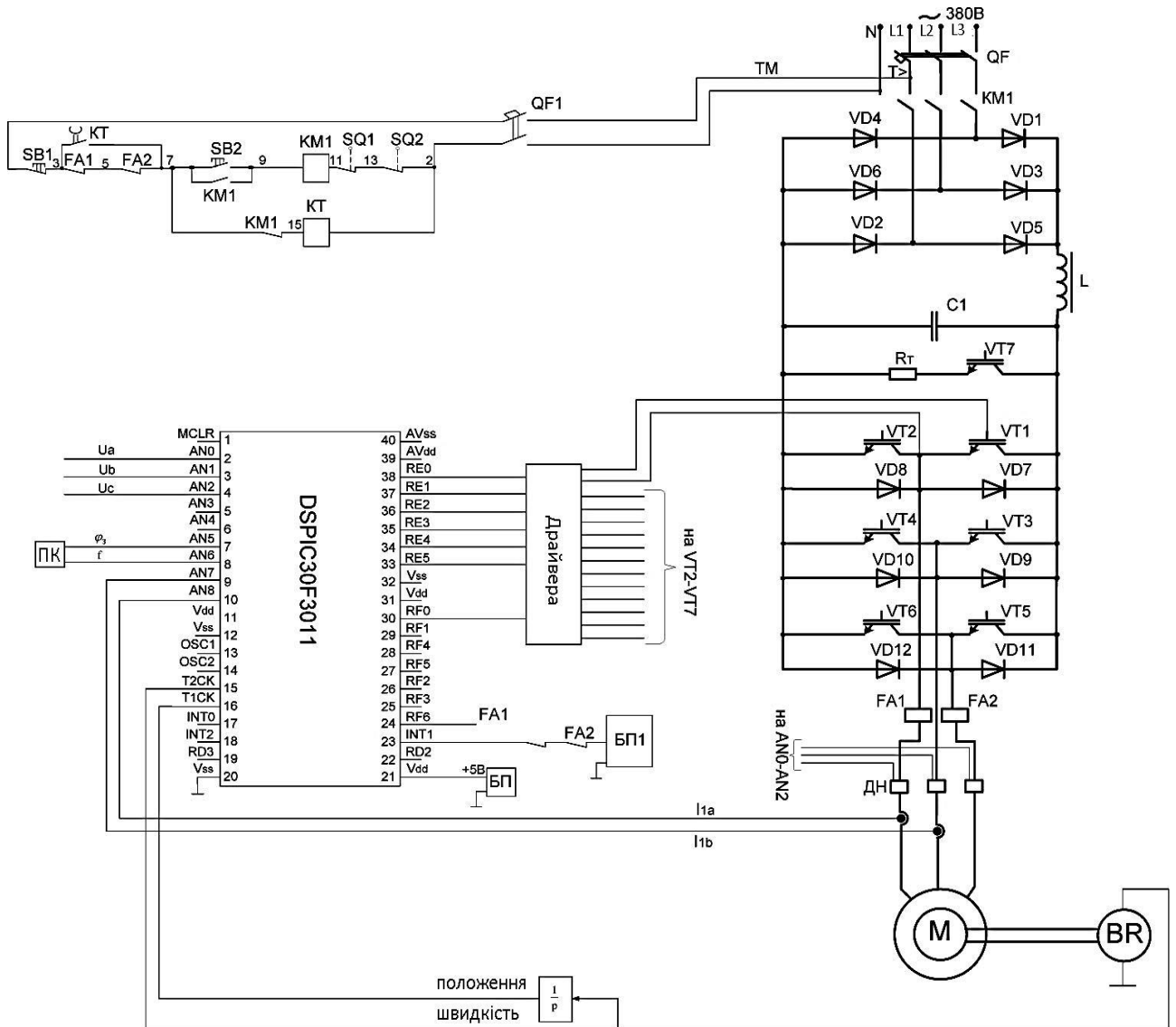


Рисунок 3.11 – Принципова схема електропривода

При натисканні на SB1 втрачає живлення контактор KM1, він розмикає свої контакти, двигун втрачає живлення, і відбувається гальмування.

У схемі передбачені максимально - струмовий і тепловий захист.

Тепловий захист здійснюється за допомогою теплових розщиплювачів автоматичного вимикача QF .

Для максимально-струмового захисту використані струмові реле FA1 і FA2, розмикаючи контакти яких включені в ланцюг контакторів керування.

Неможливість застосування теплових реле пояснюється тим, що привід працює в повторно-короткочасному режимі, і характеристики двигуна і теплових реле співпадати не будуть.

Для того, щоб струмові реле не відключили КМ2 при пуску, контакти реле FA1 і FA2 3-5 і 5-7 шунтуються контактом реле часу КТ 3-7 з витримкою часу, дещо більшого часу пуску.

У вихідному положенні реле КТ включено, а при подачі команди на пуск і включення контактора КМ1 воно втрачає живлення через розмикання контактів 7-15 контактора КМ1, починає відлік часу і відключається, коли пусковий струм двигуна спадає і реле FA1, FA2 відключаються.

Кінцеві вимикачі SQ1 і SQ2 запобігають вихід схвата з допустимої зони переміщень. Схема керування отримує живлення від випрямляча, на який подається фазна напруга. Значить, при зникненні напруги живлення схема керування, як і двигун, буде знеструмлена.

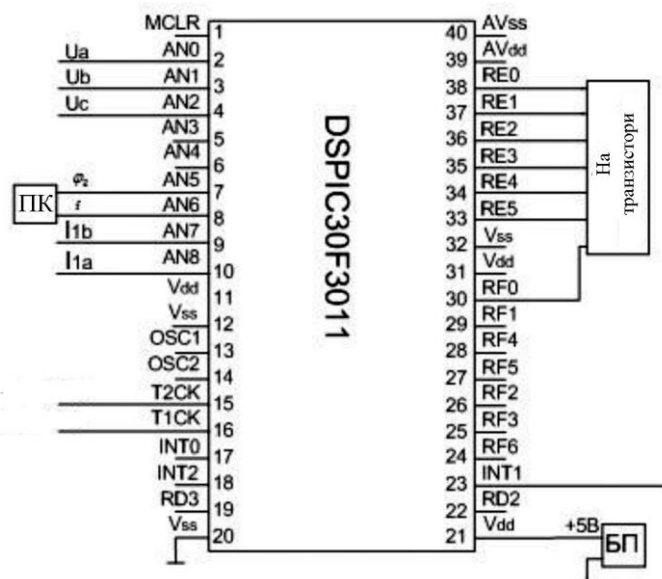


Рисунок 3.12 – Підключення виводів контролера

Отже, довільного пуску двигуна при появі напруги живлення не відбудеться, тому що для пуску необхідно буде знову натиснути SB2.

На рисунку 3.12 показано підключення виводів контролера.

3.4 Екологічність та небезпека при виробництві цегли

Основними шкідливими факторами на заводі з виробництва будівельно-облицювальних матеріалів є запыленість повітря, вібрація та шум.

Цех з виробництва цегли належить до 2-го класу пожежонебезпечних зон. Це означає – категорія пожежонебезпеки без супутньої загрози вибуху, технологія яких передбачає використання горючих та важкогорючих речовин та матеріалів, що перебувають у рідкому та твердому стані. Речовини та матеріали на виробництвах не повинні бути вибухонебезпечними, але здатні лише горіти у разі взаємодії з водою, киснем повітря або один з одним.

У цеху випалу цегли використовується кільцева піч, в якій здійснюється основний процес випалу. Вона викладена з керамічної цегли та складається з 22 камер для завантаження цегли. Має великі достатньо габарити 24м×20м×9м. Температурний режим випалу цегли у печі 1000-1100°C.

Таким чином, у процесі технологічного використання піч піддається тривалим високим температурам. Внаслідок цього може відбутися прогорання стінок або склепіння печі. Що, у свою чергу, може призвести до її обвалення та задимлення цеху.

В якості палива у печах найчастіше використовується вугілля, деревина та тирса. Продуктами їх горіння являються димові гази - шкідливі речовини, у складі яких є CO – чадний газ; CO₂ – оксид вуглецю.

Виникнення такої надзвичайної ситуації (НС) може призвести до загибелі людей. Найбільш небезпечним результатом даної ситуації є те, що піч неможливо зупинити до повного прогорання кожної камери. Тому ліквідація наслідків такої НС здійснюватиметься у режимі роботи всієї печі до повної зупинки процесу випалення. Хімічними вражаючими токсичними газами в

цеху при задимленні в зоні печі можливе утворення чадного газу під час обвалення однієї з камер.

Найстрашнішим при пожежі являється не відкритий вогонь або високі температури, а чадний газ. При займанні вкрай важливо є забезпечення припливу свіжого повітря, який дасть можливість людям, що знаходяться в приміщенні, залишити небезпечну зону. Тому для зниження ступеня впливу небезпечних факторів при задимленні в цеху виробництва цегли вкрай необхідно встановлення системи вентиляції та димовидалення.

В розділі було проведене дослідження динамічних режимів роботи промислового робота. Виявлено, що дана система задовольняє поставленим вимогам. Спроектвана принципова електрична схема для керування електроприводом промислового робота. Вказані основні фактори безпеки при виробництві цегли та методи їх усунення.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі досліджувалось питання доцільності впровадження промислового робота на ділянці перевантаження цегли на випалювальну вагонетку.

У першому розділі було проаналізовано технологічний процес виготовлення цегли, розглянута будова та принцип функціонування механізму перевантаження цегли, виявлені недоліки у його роботі. Розглянуті можливі варіанти конструкцій промислового робота.

У другому розділі проведений розрахунок потужності, вибір та перевірки вибору електродвигуна, обраний асинхронний двигун типу АІР63А4. Проаналізовані можливі варіанти електроприводу, в якості робочого варіанту обрали регульований по швидкості електропривод з частотно - струмовим векторним керуванням. Розроблена схема керування електроприводом, проведений розрахунок і вибір основних елементів силової частини схеми.

У третьому розділі проведене розроблення структурної схеми САК, здійснено моделювання та аналіз перехідних процесів в замкненій системі зі зворотним зв'язком за швидкістю і положенням, в результаті досліджень можна стверджувати, що потрібна точність позиціонування механізму досягнута.

Проаналізовані статичні й динамічні властивості системи електроприводу, які показують, що розроблена система повністю задовольняє поставленим вимогам. В роботі спроектована принципова електрична схема керування електроприводом промислового робота. Вказані основні фактори небезпеки при виробництві цегли та методи їх усунення.

Таким чином можна стверджувати, що мета магістерської роботи досягнута.

Використана література

1. Сучасні технології та тренди у виробництві цегли [Електронний ресурс] // Євротон: клінкерна цегла. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://euroton.com.ua/>.
2. ДСТУ Б В.2.7-61:2008 «Цегла та камені керамічні рядові та лицьові. Технічні умови»
3. Будівельний журнал: стан виробництва будматеріалів в Україні [Електронний ресурс] // Інформаційно-аналітичний журнал №3-4 (127- 128) – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <http://budjournal.com.ua/doc/full%203-4%202017.pdf>.
4. Цвіркун Л.І. Робототехніка та мехатроніка: навч. посіб. / Л.І. Цвіркун, Г. Грулер ; під заг. ред. Л.І. Цвіркуна ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – 3-тє вид., переробл. і доповн. – Дніпро: НГУ, 2017. – 224 с.
5. Алексієв В.О., Волков В.П., Калмиков В.І. Мехатроніка транспортних засобів та систем. – Харків: ХНАДУ, 2004. – 176 с.
6. Акимов Н.Н. Резисторы, конденсаторы, трансформаторы, дроссели, коммутационные устройства РЭА: Справочник / Н.Н.Акимов, Е.П.Ващук, В.А.Прохоренко, Ю.П.Ходоренок. Мн.: Беларусь, 2005. – 591 с
7. Елементна база радіоелектронної апаратури: Пасивні радіокомпоненти В 4 ч. Ч. 1: навч. посіб. для студ. спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В.О.Піддубний, І.О.Товкач – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 98 с.
8. Ткачук В. Електромеханотроніка: Навч. посібник. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту „Львівська політехніка”, 2001. – 404 с.
9. Електропривод: [підручник для студ. вищ. навч. закл.] / Ю.М. Лавріненко, О.С. Марченко, П.І. Савченко, О.Ю. Синявський, Д.Г. Войтюк, В.П. Лисенко: за ред. Ю.М. Лавріненка.– К.: Ліра-К, 2009. – 504 с.
10. Шефер, В.В. Електричні машини: навчальний посібник / В.В. Онушко, О.В. Шефер. – Полтава, ПолтНТУ, 2015. – 536 с.

11. Барало О.В. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування: навчальний посібник / Барало О.В., Самойленко П.Г., Гранат С.Є., Ковальов В.О. – К: Аграрна освіти, 2010. – 557 с.

12. Чорний. О.П. Моделювання електромеханічних систем: підручник для ВНЗ/ О.П. Чорний, А.В. Луговий, Д.Й. Родькін, Г.Ю. Сисюк, О.В. Садовий. — Кременчуг, 2001. – 376 с.

13. Куценко Ю.М., Яковлев В.Ф. Електричні машини і апарати: навчальний посібник / Ю.М.Куценко, В.Ф.Яковлев та ін. – К.: Аграрна освіти, 2013. – 449 с.

14. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч. посібник / М.Г.Поповіч, О.Ю.Лозинський, В.Б. Клепиков та ін.; За ред. М.Г. Поповіча, О.Ю.Лозинського. – К.: Либідь, 2005. – 680 с.

15. Козбур І.Р. Моделювання систем керування в пакеті MATLAB SIMULINK / І.Р. Козбур , Г.В. Козбур , Р.І. Михайлишин. – Тернопіль : ТНТУ, 2019. - 23 с.

16. Основи комп'ютерного моделювання: навч. посібник / М.С. Барабаш, П.М. Кір'язев, О.І. Лапенко, М.А. Ромашкіна. 2-е вид. стер. – К.: НАУ, 2019. – 492 с.

17. Моделювання електромеханічних систем. Математичне моделювання систем асинхронного електроприводу: навчальний посібник / О. І. Толочко. – Київ, НТУУ «КПІ», 2016. – 150 с.

18. Галай М.В. Теорія автоматичного керування: неперервні та дискретні системи. Навч. пос-к. – Полтава: ПолтНТУ, 2005. – 454с.

19. Галай В.М. Теорія цифрових систем автоматичного керування: навчальний посібник. – Полтава: ПолтНТУ, 2009. –131 с.

1 ANALYTICAL PART

1.1. The structure and principle of operation of the brick overloading mechanism

Raw brick that has undergone semi-dry pressing must have high mechanical strength and precise geometric dimensions, and its shrinkage during drying and future firing must be small [1].

Such a semi-dry pressed brick with precise geometric dimensions is widely used in construction as both a wall and a face product, and the significant mechanical strength of the product allows for quite easy automation of its interoperational transportation and installation. It is worth noting that the low moisture content of the pressed powder allows you to combine drying and firing of products in one oven, which significantly reduces fuel consumption and saves resources, and also shortens the production process.

This method of brick production (semi-dry) makes it possible to expand the raw material base, as it allows the use of low-plastic clays - crumbly clays and clay shale. The reason for this is the fact that, as a rule, the manufacturing and introduction into production of automatic planters are carried out by enterprises producing building materials themselves for their own needs, or they order from enterprises of the same industry, where they are already put into operation. This is explained by the fact that mechanisms for overloading bricks (so-called automatic planters) are installed on a specific technological line taking into account its features and nuances.

Let's consider the device of such an automatic planter of silicate bricks.

The composition of the automatic planter includes the following elements (Fig. 1.1): a drive, a puller-bender, a conveyor-accumulator, a portable cart that has the function of lifting pneumatic tires and a mechanism for programming the movement of the equipment. The movement of the automatic machine is transmitted

from the crankshaft 1. The power take-off drive includes cylindrical 2 and bevel 3 gears, as well as the crank mechanism 10. The crank 10 with the rod 11 transmits the oscillating movements from the press to the conveyor 12. Next, the puller-bender, which contains two symmetrical pneumatic grips 4 for clamping bricks, remove them from the press table, after that they are unfolded in one line, turned by 90° and placed on the surface of the storage tape 12. As a result of these operations, the puller as a whole can turn in the vertical plane by an angle of up to 100° . At the same time, when four bricks are transferred from the press to the drive 12, its belt will move by an amount equal to the size of the brick, as a result of these actions, space will be freed up on the conveyor for installing the next row of bricks. The movement is carried out by the drive of the accumulator 33, which receives movement from the puller shaft 9. Then, after picking up a full layer of bricks on the conveyor belt, with the help of a cart 24, it is transferred to a special autoclave trolley, where it is already folded into a stack [1].

The drive for moving the portable cart 24 includes a reducer 28, an electric motor 27, a toothed cylindrical gear 29 and skates 30, which move along rails. Also on this cart, a lifting-lowering mechanism is mounted, which includes an electric motor 31 and a gearbox 26 with drums 25 fixed at the ends of its output shaft, which wind the rope 23. The rope is fixed on the lifting frame 20. The mechanism has two kinematic pairs 22, designed to ensure a clear direction of the rising lifting frame. In addition, roller devices 16 move along the beams of the lifting frame 20, on which the frame 18 is suspended together with pneumatic tires 17. After the selection of a layer of bricks on the belt, its pneumatic tires gradually begin to descend into the gaps between the rows of bricks, and after supplying air, the entire layer is clamped. Then they return to their original position, which depends on the position of the stop 15 of the reducer 14.

the

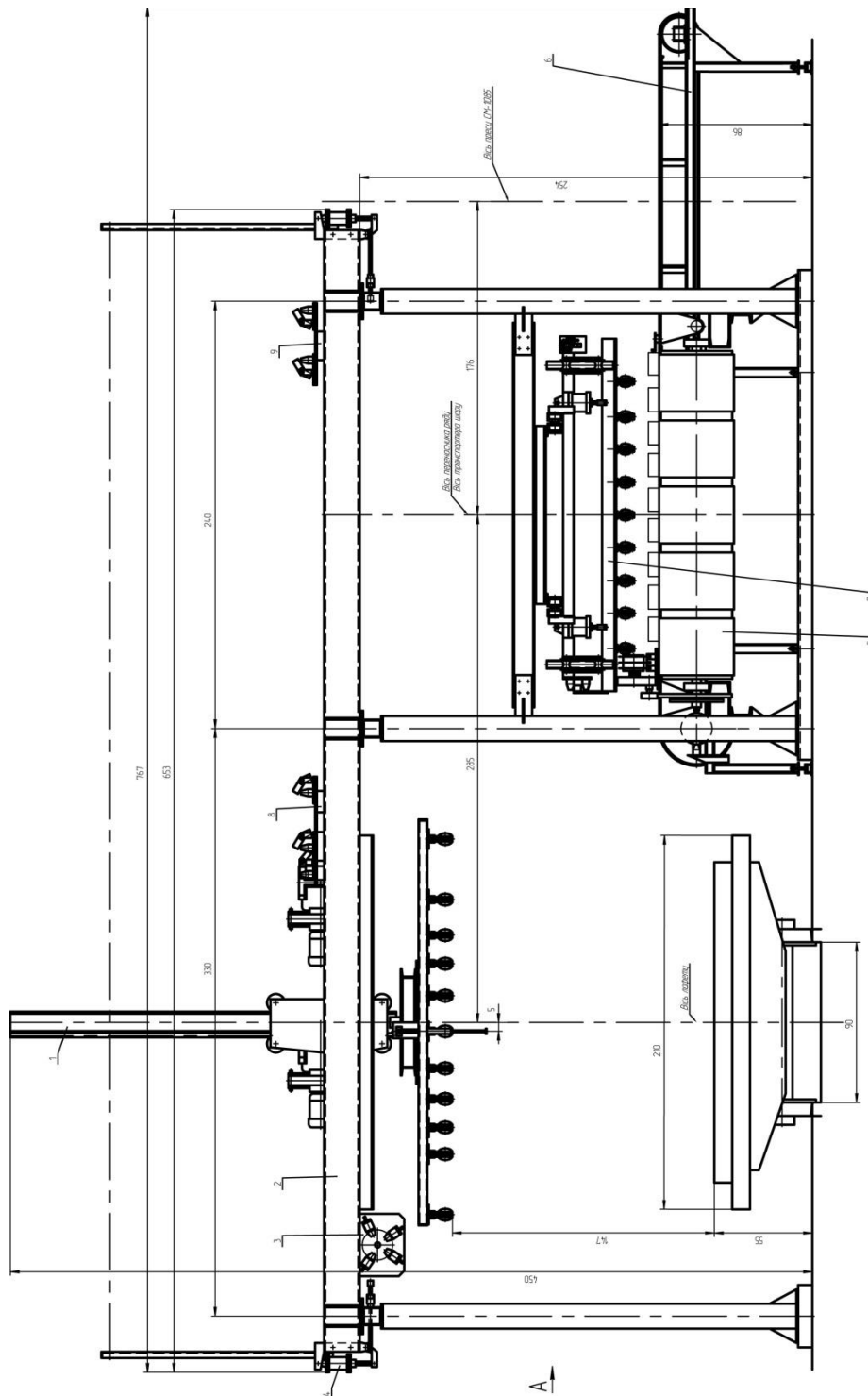


Figure 1.1 – Structure of brick overloading mechanism based on the SM-1085 press

The reducer is a vertically installed shaft,

on which stops are fixed in a certain order, which serve as limiters for the lowering of pneumatic tires. Moving towards the carriage, the portable carriage 24 rotates the shaft of the reducer. The mechanism has a limit switch (mounted on the lifting frame) that controls the extreme position of lowering the pneumomachines.

In the lower position, air is released from the pneumatic tires, so the layer of bricks remains on the autoclave carriage, and the pneumatic tires rise to the starting position.

The kinematic scheme of the automatic planter is presented in Figure 1.2.

The purpose of the brick overloading mechanism is to form an oval stack, it consists of a drum 19 with cams that can turn from position to position during the forward and reverse movement of the portable cart. To control the retractable frame 18, cams of the drum 19 with pneumatic tires 17 are installed. There are also rollers 16 that move along the guide beams of the frame 20. During the working stroke, the portable cart 24, the retractable frame 18 together with the layer of bricks are pushed out by the size of the ledge in the stack, and when idling, it returns to its original position. The retractable frame is moved using a pneumatic cylinder 21.

Pusher 13, which is installed in the track between the rails below the axis of the trolley, is intended for pushing out the loaded autoclave trolley, as well as for feeding the pistons. The pneumatic cylinder 32 serves to move the pusher.

The purpose of the programming mechanism is to include the portable cart 24 in automatic operation after the number of bricks required for this layer has been set on the conveyor-accumulator 12. It is a ratchet disc 7, on which a programming cam 5 is fixed, which affects the limit switch through the lever 6.

Closing at the end of the set of this layer of the stack, it thereby provides an impulse to turn on the automatic control scheme. The ratchet disk 7 is driven together with the cam 5 from the eccentric of the puller through the rod with the rocking lever 8.

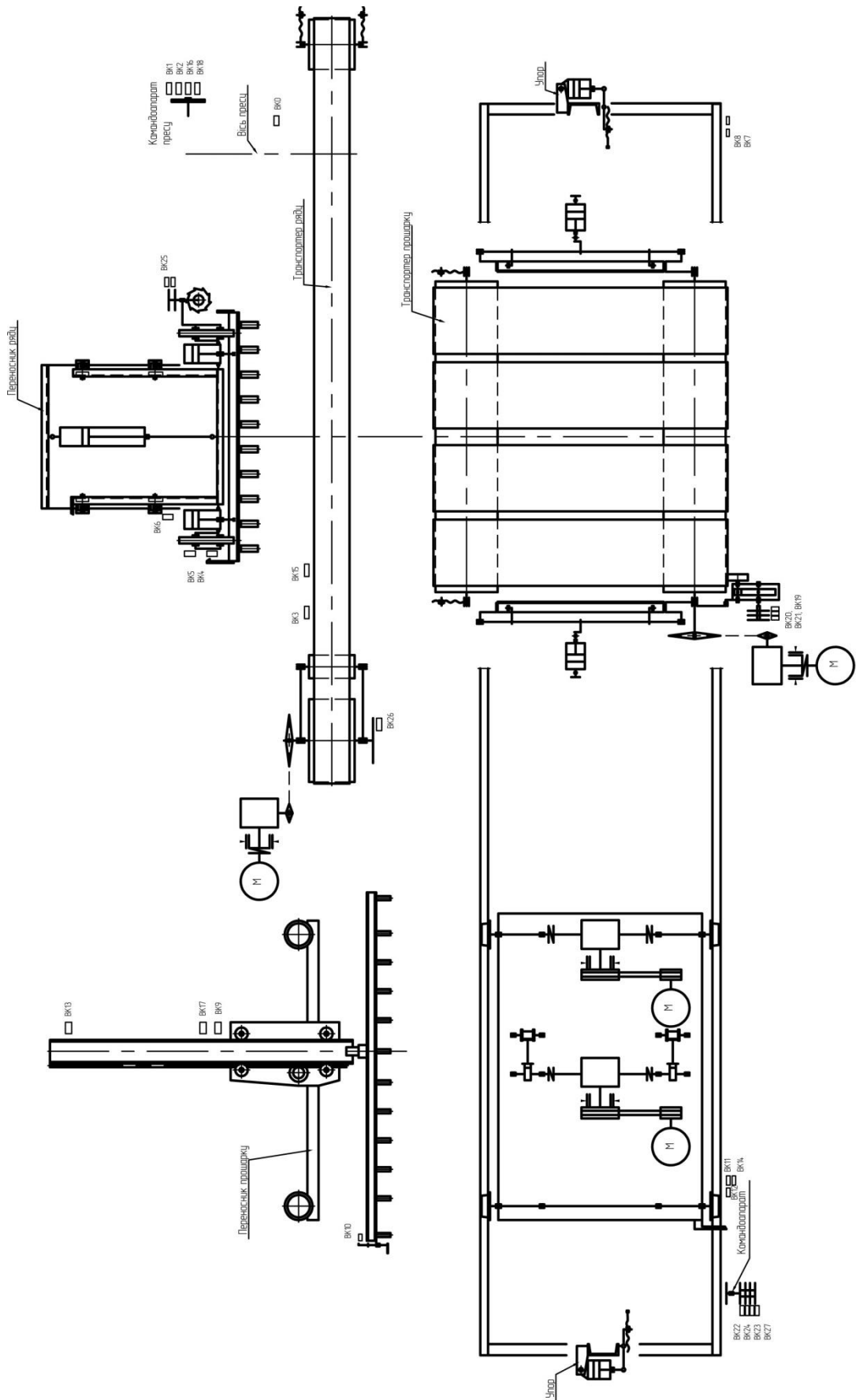


Figure 1.2 - Kinematic diagram of the main nodes of the brick overloading mechanism

1.2. Description of the technological process of brick production

1.2.1 Extraction, transportation, preparation of raw materials and submission for drying

The development of the diatomaceous deposit (dried clay) is carried out in an open way all year round with an excavator with a bucket capacity of 1 m³ in four stages. The height of the ledge is 7 m. Diatomite from the quarry is transported by KRAZ dump trucks with a carrying capacity of 8 tons to the storage facility, which is intended for settling and averaging, as well as creating a reserve for uninterrupted operation of the technological line in the autumn, spring and winter periods. Storage volume up to 30,000 m³. Loading of storage with diatomaceous earth by dump trucks is carried out through lateral unloading ramps. Its constant degree of filling should be at least 1/3. Diatomite is moved from the trestles by a bulldozer and leveled over the entire storage area.

The mixer carries out the following processes:

- ✓ Loosening of large natural clumps of diatomaceous earth.
- ✓ Uniform supply of loose mass to the belt conveyor.
- ✓ Dosing of the mass of diatomaceous earth on the conveyor, which is carried out by changing the angle of rotation of the blades in relation to the shaft within 25–30%.

The mixer can work in manual and automatic modes [1].

After the mixer, the mass of diatomaceous earth specified in terms of volume is fed into the hopper of the blade feeder-dispenser by means of a conveyor. An electromagnet is installed at the end of the conveyor to catch metal objects accidentally falling on the conveyor from the mass. The mass of diatomaceous earth released according to the specified volume is fed to the drying drums by belt conveyors and comes from the loading side of the working drum. Technical data of the conveyor: brand T-210, belt width 650 mm, length 75 m, electric motor power 75 kW. The electromagnet is powered by a voltage of 127 V direct current. Feeder-dispenser based on the SM-477A mixer (shaft rotation speed 31 per minute, productivity at least 18 m³/h, electric motor power 28 kW) is designed for volumetric

dosing and uniform feeding of diatomite mass to the feeding conveyor to the drying drum.

1.2.2 Drying of diatomaceous earth

For drying, a drying drum of the SMC-428.2 type, with a diameter of 2.8 m, is used. The deviation of the drum axis to the horizon in the unloading direction is 3°. The number of revolutions of the drum is 3–6 rpm. The average productivity of the drum is 25 t/h. The temperature of the coolant at the inlet is 900–1000° C, at the outlet 150–180° C. The drying time is 30–45 min. The drying drum is designed for drying diatomaceous earth with combustion gases mixed with air and for its partial grinding. The principle of drying diatomite in the drum is direct-flow-continuous, hot gases with a temperature of up to 1000° come from the furnace into the drum, come into contact with the diatomite and move with it in the same direction, heating it and the moisture contained in it. The exhaust gases are passed through the aspiration system and are discharged outside. If the humidity or intensity of the supply of raw materials changes, then the drying mode can be regulated by the amount entering the gas drum and a slight change in its temperature [2].

1.2.3 Transportation of dried diatomite, powder preparation

The dried diatomaceous mass from the drying drum is fed into the hammer crusher using a system of elevators, belt conveyors, hoppers, and screens. LH-250 elevators with a capacity of 14 kg/s, a bucket capacity of 4 liters, a bucket speed of 1.6 m/s. The power of the electric motor is 7 kW. Grinding of dried diatomite is carried out by a hammer single-rotor crusher SM-431 type M-8-6B. Productivity at a density of 13 mm 10–24 t/h. The coarseness of the loading material fraction is up to 250 mm. The coarseness of the fraction of the obtained material is up to 13 mm. Crushed diatomite is fed into the crusher body through the loading hatch. When the rotor rotates, the material is crushed, which wakes up downwards. The nominal speed of rotation of the rotor is 1000 rpm. Electric motor A02/01-6, rotor diameter 800 mm, working length 600 mm, electric motor power 85 kW.

Transportation of crushed and dried diatomite from the crusher to the screen is carried out by the LH-3200M bucket elevator. Sifting of powder is carried out on a GYL-32 sieve with a capacity of 90 m³/h. The dimensions of the sieves are 1200x2860. Vibration inertial rumble. The number of sieves is 1. Granules larger than 7 mm are separated during sieving. Pellets smaller than 7 mm pass through the sieve sieve to the discharge tray and are discharged into the conveyor belt, and those larger than 7 mm are returned to the crusher for re-grinding. After sieving, the press powder is transported to storage hoppers. In the bunkers, there is some equalization of the moisture content of the powder stock.

1.2.4 Semi-dry pressing of bricks

Diatomite mass for semi-dry pressing is a loose powder, the amount of water of which is not enough to create a continuous film around the grains. Therefore, diatomite mass does not have plasticity and viscosity. To give raw bricks the proper shape, integrity and required strength, the mass is pressed under high pressure, as a result of which the grains of diatomite powder are brought together, deformed, their total contact surface increases and particles of diatomite are connected due to surface molecular forces. The SM-1085 press is used for brick production. This press belongs to the type of continuous mechanical lever presses with two-sided single-stage pressing mode. The maximum pressing force is 630 tons.

1.2.5 Landing raw bricks on firing trolleys

Basic requirements for basket bricks:

- the garden should be strong, resistant to the shrinkage of bricks during firing, which is achieved by tying its rows.

- the cage must be sufficiently permeable for gases in all directions and must ensure uniform distribution of fire across the cross-section of the furnace, which is achieved by the device of longitudinal and transverse channels. The outer perimeter of the garden should correspond to the inner profile of the burning channel.

1.2.6 Transportation of trolleys to furnaces

The transportation of firing trolleys with a cage of bricks to the firing tunnel furnaces is carried out with the help of electric transmission trolleys (EPT) of the SM-94 S type with a carrying capacity of 12 tons. The number of transporting trolleys is 1. The speed of movement is 0.4 m/s. The power of the electric motor is 4 kW.

1.2.7 Loading the tunnel furnace with trolleys

The firing trolleys with a cage of bricks are rolled into the forechamber, the loading of the tunnel furnace with the firing trolleys with a cage of bricks is carried out by a CM-54 S hydraulic pusher. The loading of the tunnel furnace with trolleys with a cage of raw bricks is carried out according to the approved pushing schedule.

1.2.8 Brick firing.

Bricks are fired in tunnel kilns. The length of the furnace is 66 m; channel width 2 m; height 2.125 m; the volume of the heating channel is 164.5 m³; furnace capacity 32 firing trolleys. The fuel is natural gas.

Firing is the final stage in the brick production process, which determines the strength and frost resistance of the brick, its appearance and color. The main characteristic of the firing mode in the tunnel furnace is the temperature curve. Brick firing consists in heat treatment of raw materials with hot gases with a temperature from 100 to 1200 °C. It has 32 positions in terms of the number of carriages in the furnace at the same time. Along the length, the furnace is conditionally divided into three zones: heating (2 - 18), firing (18 - 21), quenching and cooling (21 - 32). In each zone, a certain temperature regime is maintained and corresponding physical and chemical processes take place.

1.2.9 Unloading bricks from the furnace

Fired bricks are unloaded from the furnace at the same time as they are loaded. When rolling into the furnace from the loading end of one trolley, one trolley is simultaneously rolled out from the unloading end.

1.2.10 Transportation, filming and stacking of bricks on pallets

Next, a trolley with fired bricks is transported to a special platform, where bricks are manually removed from the firing trolleys and placed on pallets. Here it is sorted by assortment in accordance with standards. Ready pallets are moved to the loading and unloading platform by a KKS-10 gantry crane with a load capacity of 10 tons. The one-time capacity of this site is 500,000 units. bricks (1262 pallets). Pallets with bricks are shipped to motor vehicles and railway cars.

1.3 Brick overloading mechanism as an object of modernization

The overloading mechanism (automatic planter) is designed for selecting raw bricks from the SM-1085 press and placing them in a technological cage on a 2x2 m furnace trolley. Bricks are placed in the cage in layers (Figs. 1.3 and 1.4).

The machine provides a programming mechanism for 18 layers of the cage, and the 12 lower layers are laid without longitudinal tying of bricks. The productivity of the machine is taken according to the maximum passport productivity of the press SM-1085 – 2040 pcs. in an hour

Technical characteristics of the overload mechanism:

1. Productivity is maximum - 2040 units/hour.
2. Number of bricks in the garden – 870 pcs.
3. The time of collecting a trolley is 40 minutes.
4. The installed total power is 6.6 kW.
5. Row storage drive - 1.1 kW
6. Drive of the interlayer accumulator - 2.2 kW.
7. Drive for moving the layer carrier – 1.1 kW.
8. The drive of the layer lifter is 2.2 kW.
9. Air consumption (at network pressure $P = 5 \text{ atm.}$) – 0.45 m³/1 thousand units.
10. Dimensions:
 - length – 6585 mm;
 - width – 4380 mm;
 - height - 4500 mm.

11. Mass – 2800 kg.

The automatic planter consists of the following main components:

- The conveyor is a series accumulator.
- Series carrier.
- The transporter is a layer accumulator.
- Layer carrier.

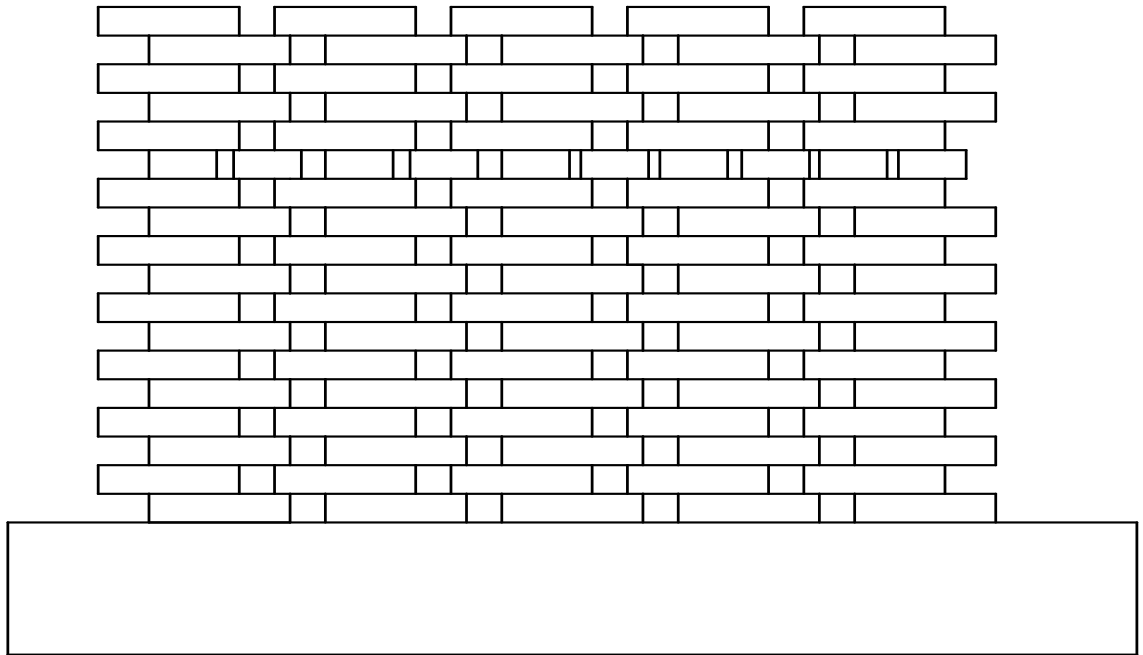


Figure 1.3 – Laying bricks on the furnace trolley (side view)

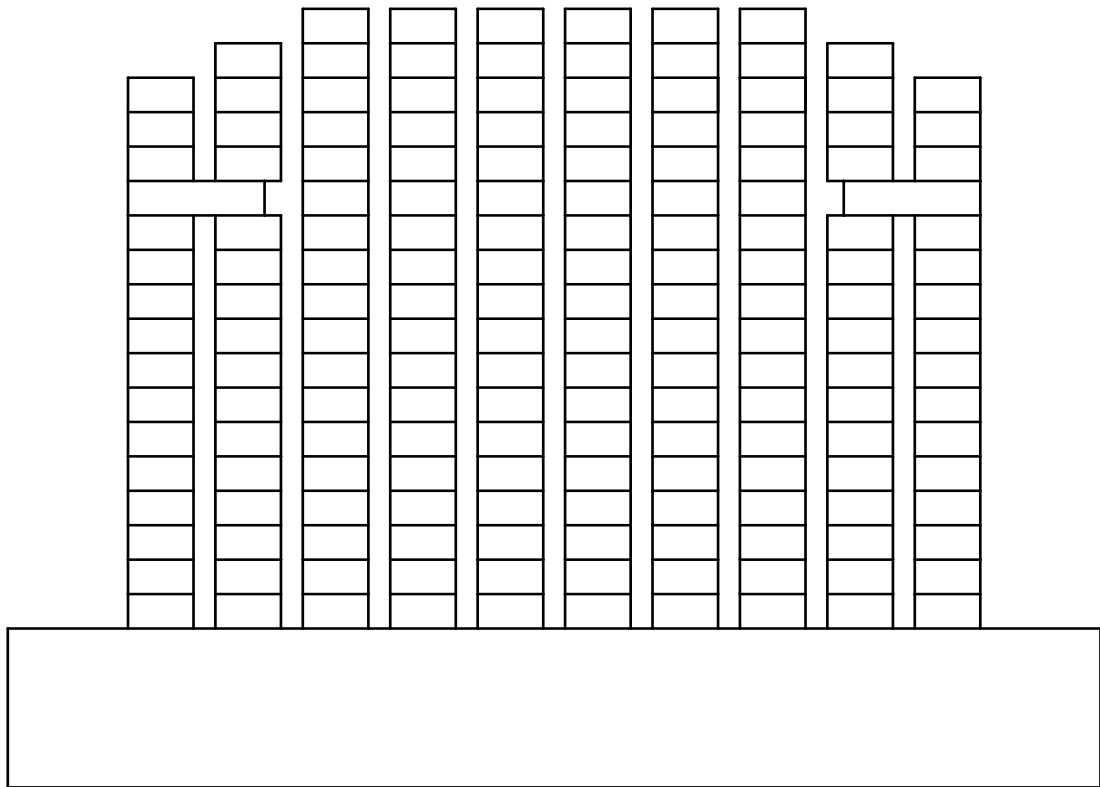


Figure 1.4 – Laying bricks on the furnace trolley (front view)

The drive drum is rotated using an electric motor through a gearbox. The row accumulator serves to accumulate a row of bricks in the amount of 10 pieces with the same gaps between them.

It is a belt conveyor mounted on a welded frame. The upper branch of the belt is supported by a metal plate, the lower one by rollers. The transporter-accumulator of the layer serves for the formation of layers of the garden (50 pcs. in the lower 12 layers). The drive drum and four tension drums are installed on the frame. The drive of the conveyor-accumulator layer consists of an electric motor and a gearbox.

The row conveyor is designed to transfer the rows of bricks from the row accumulator to the conveyor-accumulator of the garden layer. It consists of a welded frame on which a portable carriage is installed. The carriage moves along the frame on skates with the help of a pneumatic cylinder. Pneumatic clamps for ten bricks are installed on the carriage. Pneumo-clamps are lowered and raised with the help of pneumo-cylinders.

The layer conveyor is designed to form a brick bed on the firing carriage by transferring the layers of bricks from the conveyor-accumulating layer to under the

firing carriages. It consists of a welded frame, in the center of which a pneumatic tire lifting mechanism is installed. Lifting and lowering is carried out from the electric motor through the gearbox with two toothed rails mounted on rods moving on rollers with flanges. A frame with pneumatic tires is attached to the bars.

The length of the trolley stroke is variable and depends on the evenness of the layers of the cage on the burning trolley. To change the stroke length of the cart, a software device is installed on the guide frame of the machine. The movement of the cart is carried out along the guides of the machine frame from the electric motor through the gearbox and conductive ramps.

Let's consider the principle of operation of an automatic planter.

When the formed bricks are delivered from the press to the conveyor-accumulator of the row, the accumulator is turned on by the limit switch located on the press and operates from the crankshaft. During one cycle of the press, the accumulator is turned on twice, and each time it advances by a distance equal to 327 mm (the distance occupied by two bricks).

At the row stacking position, the pneumatic clamps are lowered, the brick is placed on the conveyor belts. The conveyor returns to its original position and at the same time the electric drive of the conveyor-accumulator of the layer is turned on, thus the laid line moves by a certain step.

After ten bricks accumulate under the grips of the row, the limit switch is triggered from the tenth brick and the grips of the row are lowered down. Having clamped the bricks, they are lifted with a pneumatic clamp and the carriage of the row carrier moves to the conveyor-accumulator of the layer to the position of stacking the row.

Having collected five rows (layers of the cage) on the conveyor, the pneumatic clamps of the layer carrier drop down and grab the bricks of the layer. After climbing up, the carriage goes to the firing carriage. When the cart is returned to its initial position, the drum of the software device is turned, thereby preparing for a change in the length of the cart's stroke during the next transfer of the cage layer. After

placing a layer of bricks on the firing trolley, the carrier of the layer returns to its original position and waits for the next layer to be added. After making 18 cycles, the layer carrier will transfer 18 layers of bricks from the layer-accumulating conveyor to the firing trolley and the formation of the cage will be completed. Moreover, in the rows of the 17th layer, 8 bricks are collected, and in the rows of the 18th layer - 6 bricks each.

Part of the existing control scheme is presented in Figure 1.5.

As the analysis of the automatic planter control system showed, the system is very cumbersome and has a lot of elements that increase the chances of their failure.

Consider the disadvantages of relay control schemes:

- if the requirements for the quality of the electric drive increase, the complexity of the relay control scheme increases significantly;
- relay circuits are bulky, have excessive weight and high cost of control systems, especially for medium and high power engines;
- the danger of operating relay circuits in explosive environments;
- in the presence of external disturbances, such schemes have a rather low accuracy of maintaining the required operating modes.

Taking into account the number and power of electrical equipment used in the brick production process, we can draw the following conclusions:

- 1) Taking into account the shortcomings of the existing control system, and especially the pneumatic components, there is an urgent need for its modernization.
- 2) The issue of implementing energy-saving technologies is quite urgent.
- 3) The equipment has an outdated control system, which leads to frequent breakdowns and energy overspending.

Another significant drawback is the use of pneumatic systems in existing automatic machines, which have a number of significant disadvantages:

1. Pneumatic energy has a rather large cost. The efficiency of hydraulic and electric drives is about 70 and 90%, and for a pneumatic drive, the efficiency is

usually 5–15% (very rarely it can approach 30%). Therefore, the pneumatic drive is almost never used in high-power machines or with long-term operation.

2. Pneumatic machines have relatively large weight and dimensions due to low working pressure.

3. Pneumatic machines are characterized by difficult maintenance of speed stability if the external load changes. However, it should be added that sometimes the softness of the mechanical characteristics of the pneumatic drive becomes its advantage.

4. If noise reduction devices are not installed, pneumatic drives have a high noise level, reaching 95-130 dB. These include piston compressors and pneumatic motors (especially pneumatic hammers and other impact mechanisms).

5. Pneumatic actuators have a low speed of transmission of the control signal, which can lead to a delay in the performance of work operations. The speed of the pneumatic signal cannot exceed the speed of sound and, depending on the working air pressure, can be approximately 150 to 360 m/s.

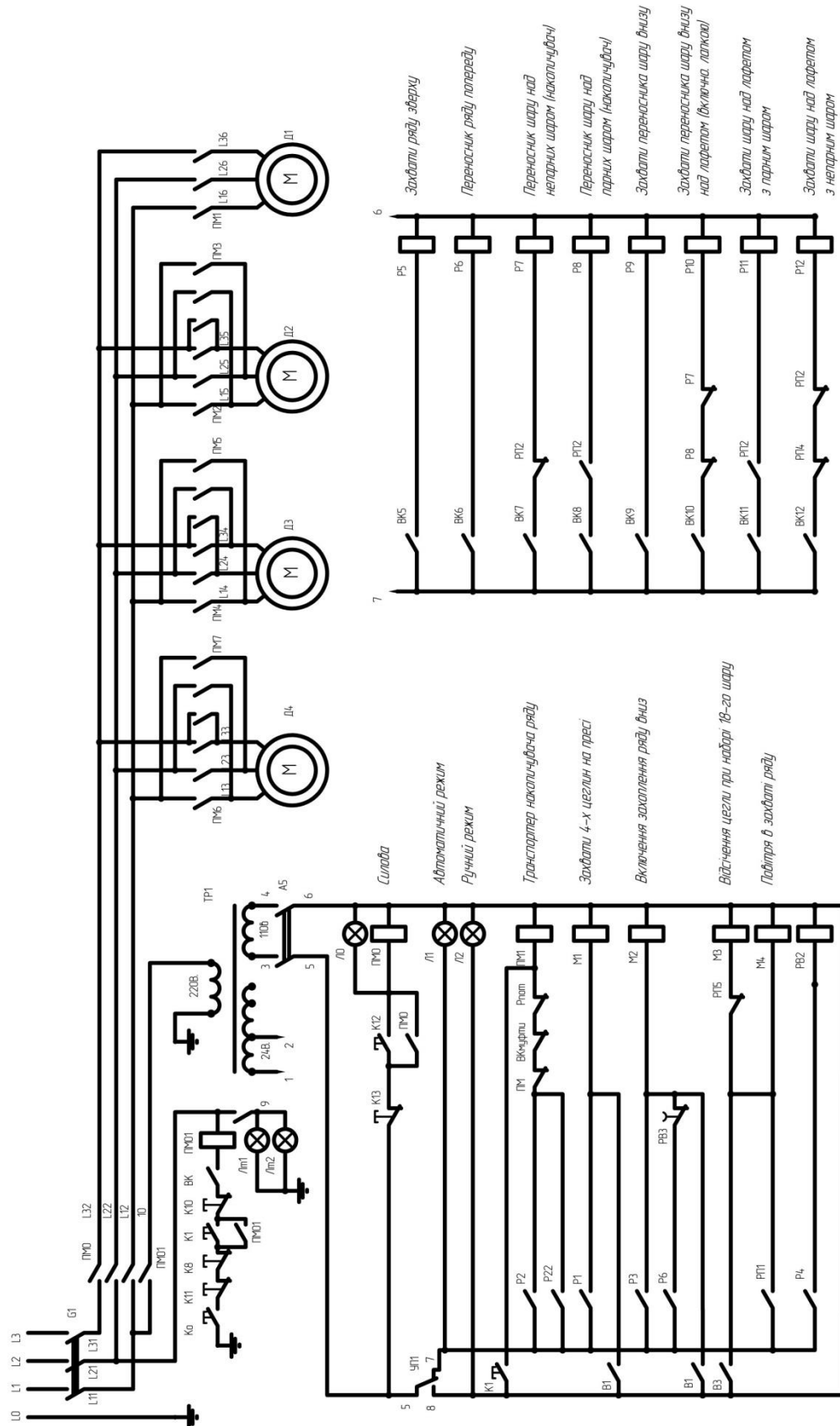


Figure 1.5 – Part of the existing relay-contactor control scheme

As a result of the above reasons, the issue of improving equipment for brick production is quite urgent.

1.4. Expediency of using industrial robots in brick production

A promising direction for improving the mechanism of automatic overloading of bricks (automatic planter) is the introduction of an industrial robot (RP) in the process of its placement, which will replace the operation of the row accumulator and will immediately move the bricks to the firing trolley.

Will consider the classification of industrial robots.

According to the load capacity, industrial robots (PR) are divided into ultra-light (weight up to 1 kg), light (weight from 1 to 10 kg), medium (weight from 10 to 200 kg), heavy (from 200 to 1000 kg), extra heavy (over 1000 kg). Currently, up to 73% of light and medium-type PR models with a load capacity from 5 to 80 kg are produced [4].

Robots are also classified by the degree of mobility. They are divided into three groups: with low mobility (up to three degrees of mobility); with medium (4-6 degrees of mobility) and with high mobility (having more than six degrees). This characteristic of the robot can determine its versatility. Usually, modern industrial robots have from 2 to 6 degrees of mobility: the simplest - only 2 degrees; and the most difficult - 7 or more. In the modern world park, PR designs with 4 and 5 degrees of mobility prevail (about 67%).

All jobs can be classified into five classes according to the size of the service workload. The most common currently are medium-sized industrial robots (45%), the second place is occupied by small robots (30%), followed by large ones (12%), then mini-robots (9%) and, finally, micro-robots (4%). It should be taken into account that in this classification the value of the serving working volume is determined without taking into account the overall dimensions of the manipulation object itself.

The object of manipulation of the automatic planter is a brick that must be moved from the row accumulator to the firing carriage. The functional scheme of the manipulator includes the following elements (Fig. 1.6):

- a manipulator or other mechanical robot system;
- information system (IS);
- software control system (SPC), or other control device.

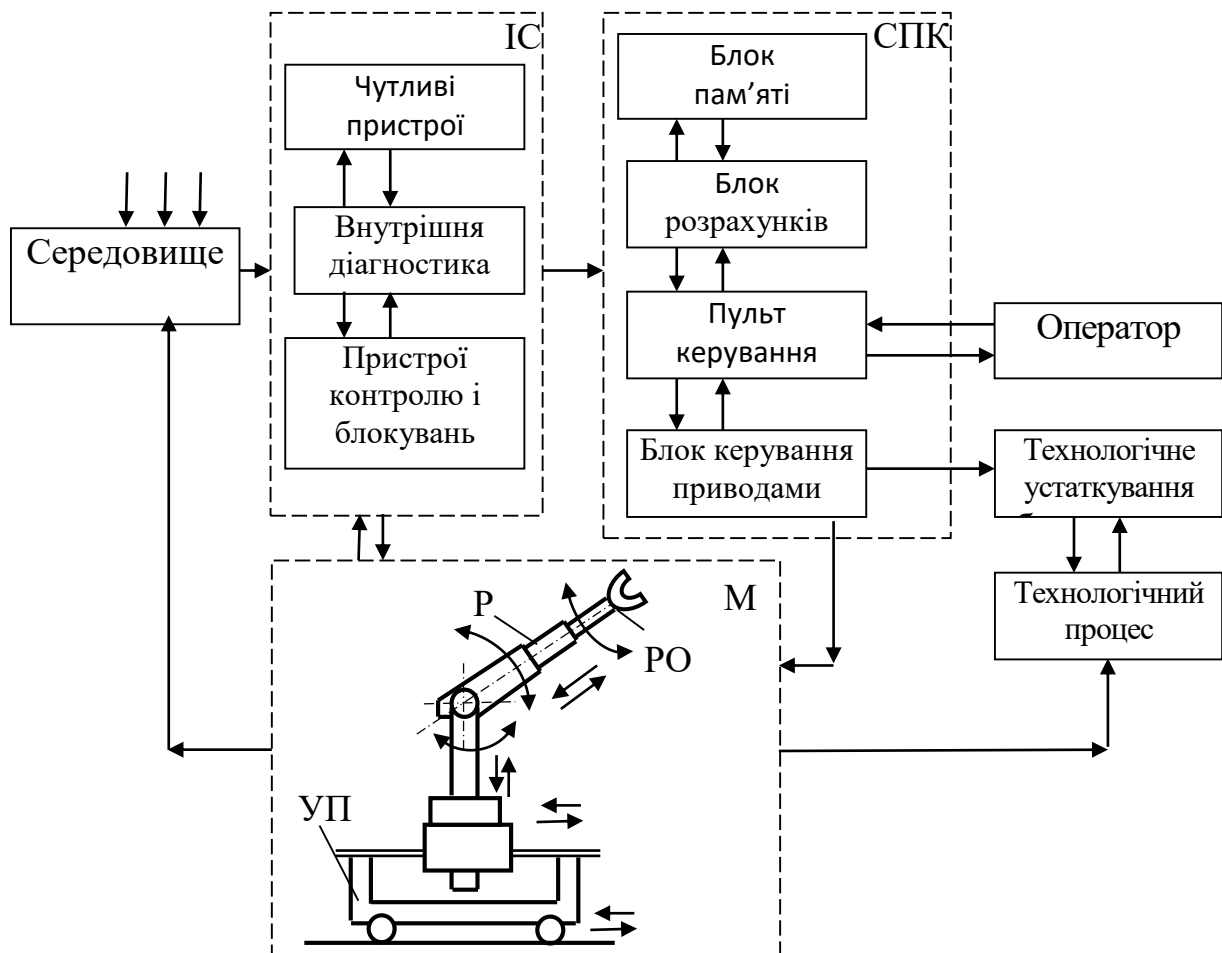


Figure 1.6 - Functional scheme of PR

Together, the information system and the software control system form an automatic control device (ACD).

KUKA Robotics, the most famous supplier of robotics in Ukraine, supplies its products only in the form of fully equipped robots or robotic complexes, as components - linear blocks that allow you to place a stationary robot on a carriage with guides, turning the robotics into a mobile robotics. High prices (for example, the Kuka KR-210 Robotic Painting Cell costs about 300,000 dollars) are justified by

high reliability and good service. The company specializes in PR of medium and large capacity.

The KUKA company produces a wide range of OLS designed for assembly, painting, welding, palletizing and other operations.

All PRs of medium carrying capacity differ in that most of the degrees of mobility are rotary, which are usually 5–6 degrees. The robot KR 5 scara R350, intended for assembly, has a radius of action of 350 mm with a load capacity of 5 kg and a positioning accuracy of 0.03 mm (Fig. 1.7). The required area for installing the robot itself is only about 150 x 150 mm, it has 4 degrees of mobility. The KR AGILUS fivve robot has a radius of action of 700 mm with a load capacity of 6 kg and positioning accuracy of 0.03 mm, 5 degrees of mobility (Fig. 1.8). The maximum load capacity of the KR 6 R900 sixx robot is 6 kg, and the radius of action is approximately 901 mm with a load capacity of 6 kg and a high positioning accuracy of 0.03 mm, 6 degrees of mobility.



Figure 1.7 – Robot KR 5 scara R350

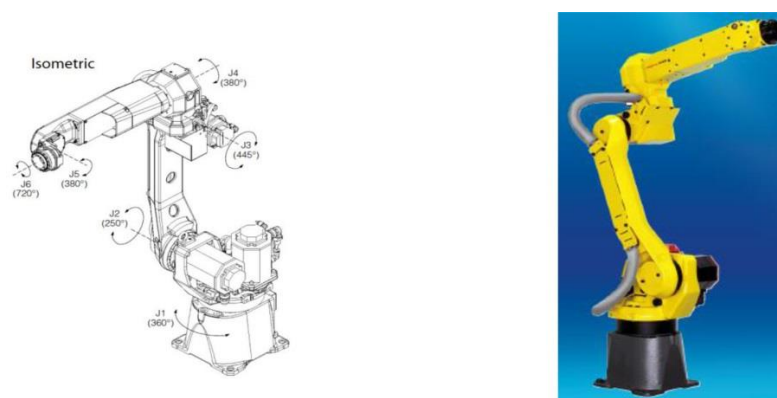


Figure 1.8 – Robot KR 6 R900 SIXX

FANUC Robotics, a competitor of the above-mentioned company, also has a number of OLs (Figures 1.9 - 1.10) of approximately the same configuration with an average load capacity.

The ARC Mate 100iC welding robot with a load capacity of 10 kg has a reach of about 1400 mm and 6 degrees of mobility with a positioning accuracy of 0.08 mm. The robot for various technological operations M-10iA with a load capacity of 10 kg has 5 levels of mobility and a reach area of about 1420 mm with a positioning accuracy of 0.05 mm. The lighter M-430iA packaging robot with a load capacity of 2 kg has a reach area of about 1130 mm and 5 stages of mobility with a positioning accuracy of 0.5 mm, but the average movement speed is about 4 times higher (100 cycles per minute). The RP with parallel kinematics (Δ -robot) M-3iA/6A has 6 levels of mobility with a load capacity of 6 kg, service area $\text{Ø}1300 \times 500$ mm, maximum speed of 2000 °/s.

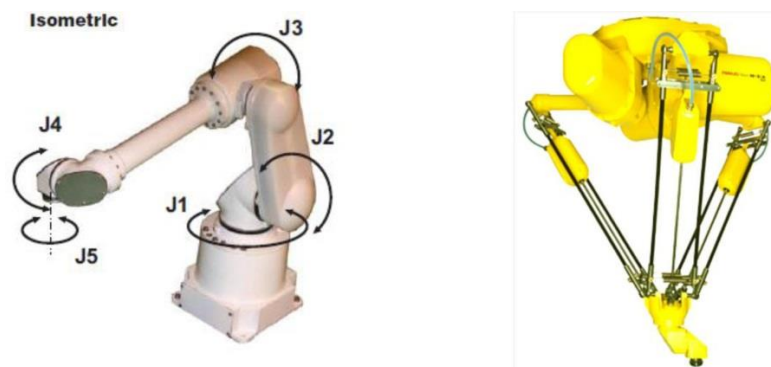


Figure 1.9 – Robot for packaging M-430iA

The Danish company Universal Robots ApS produces PR with 6 degrees of mobility with a load capacity of 5 and 10 kg (Fig. 1.10).

The manipulator of the robot is an arm fixed on the base. Its characteristics:

- weight 28.9 kg;
- payload 10 kg;
- reach zone: 1300 mm;
- the range of movements of joints: $\pm 360^\circ$ for all joints;
- speed: in hinges: max. 120/180 °/s, working body: approximately 1 m/s;

- positioning accuracy: +/- 0.1 mm;
- area at the base: Ø190 mm;
- degrees of freedom: 6 rotary.

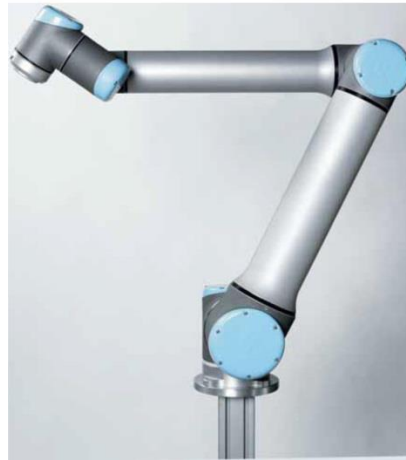


Figure 1.10 - PR Universal Robot 10

According to its structure, the robot has an anthropomorphic hand.

The SHUNK company (Germany) produces the LWA 4D robot, an analogue of the Universal Robot 10 robot, which is advantageously light in weight and has 7 levels of mobility (Fig. 1.11). Its characteristics:

- weight 17.5 kg;
- payload 10 kg;
- reach zone: 1030 mm;
- the range of joint movements: +/- 180 ° for most joints;
- speed: in hinges, °/s: max. 40/72;
- positioning accuracy, mm: +/- 0.15;
- diameter at the base, mm: Ø186;
- degrees of freedom: 7 rotary.

Compactness and lower weight of the robot is achieved due to the use of two-stage modules of the last link of the arm. The robot is equipped with torque sensors. There is a whole set of intermediate modules that allow you to quickly change not only working bodies, but also modules of degrees of mobility.



Figure 1.11 - SHUNK LWA 4D robot

The six-position industrial robot LWA 4.6 has two-coordinate rotary modules Powerball ERB (Fig. 1.12).



Figure 1.13 - Six-stage robot LWA 4.6 SHUNK

Due to the use of two-coordinate mechatronic modules, the robot weighs approximately 1.5 times less than a robot with similar one-coordinate modules [4].

1.5. Setting tasks for a master's thesis

Having conducted an analysis of the brick manufacturing technology, we came to the conclusion that the control system of the brick overloading mechanism has outdated, cumbersome relay-contactor equipment. Such a system leads to significant time costs for the manufacture of products, as well as frequent downtime due to the unreliability of electrical equipment.

The modern direction of improving lifting and handling operations in production is the introduction of industrial robots [4]. The analysis of the constructions and features of the functioning of industrial robots made it possible to come to the conclusion that the most compact and successful design of robots of the KUKA type. Therefore, we will take this type of construction as the basis for designing an industrial robot for overloading bricks onto a firing trolley.

To modernize the brick overload unit and study the electric drive, it is necessary:

- perform kinematic calculations and select the electric drive of the PR;
- analyze the types of electric drives and choose the optimal one;
- calculate and select elements of the power unit;
- to develop structural and functional diagrams of the PR electric drive;
- to investigate the dynamic properties of the PR electric drive;
- develop a basic control scheme.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»**

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
за матеріалами X Всеукраїнської науково-практичної конференції
**«ЕЛЕКТРОННІ ТА МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ:
ТЕОРІЯ, ІННОВАЦІЇ, ПРАКТИКА»**
20 грудня 2024 року



Полтава 2024

УДК 004.89 + 681.51

Збірник наукових праць за матеріалами X Всеукраїнської науково-практичної конференції «Електронні та мехатронні системи: теорія, інновації, практика», 20 грудня, 2024 р. / Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

Редколегія: О.В. Шефер (головний редактор) та ін. – Полтава: НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2024. – 124 с.

У збірнику представлені результати наукових досліджень та розробок в області сучасних електромеханічних систем та автоматизації, електричних машини і апаратів, моделювання та методів оптимізації, енергозбереження в електромеханічних системах, управління складними технічними системами, проблем аварійності та діагностики в електромеханічних системах та електричних машинах, інформаційно-комунікаційних технологіях та засобах управління. Призначений для наукових й інженерно-технічних працівників, аспірантів і магістрів.

Матеріали відтворено з авторських оригіналів та рекомендовано до друку IX Всеукраїнської науково-практичної конференції «Електронні та мехатронні системи: теорія, інновації, практика». Редакція не обов'язково поділяє думку автора і не відповідає за фактичні помилки, яких він припустився.

Відповідальний за випуск - д.т.н., професор О.В. Шефер.

Редакційна колегія:

О.В. Шефер – головний редактор, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматики, електроніки та телекомунікацій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»;

Н.В. Єрмілова – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматики, електроніки та телекомунікацій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»;

С.Г. Кислиця – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматики, електроніки та телекомунікацій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Б.Р. Боряк – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматики, електроніки та телекомунікацій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

© Національний університет
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

УДК 621.865.8

М.М. Губіцький, магістрант

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

МОДЕРНІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНІЗМУ ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ ЦЕГЛИ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ ПРОМИСЛОВОГО РОБОТА

Основними напрямками підвищення ефективності виробництва є зростання продуктивності праці та поліпшення якості продукції, використання новітнього технологічного обладнання, оновлення виробничого апарату, зниження ручної праці тощо [1]. В Україні є багато підприємств, що експлуатують промислових роботів на різних ділянках технологічного процесу. До введення в експлуатацію автомата – механізму перевантаження цегли, укладання відпресованої цегли-сирцю на випалювальні вагонетки проводилася вручну (або із застосуванням найпростішого пневматичного пристрою). З преса цегла подавалась на транспортер, по якому вона переміщувалась до обпалювальної вагонетці, куди його переміщував робітник - укладальник. Швидкість укладання була невисока, що значно знижувало продуктивність усієї роботи преса.

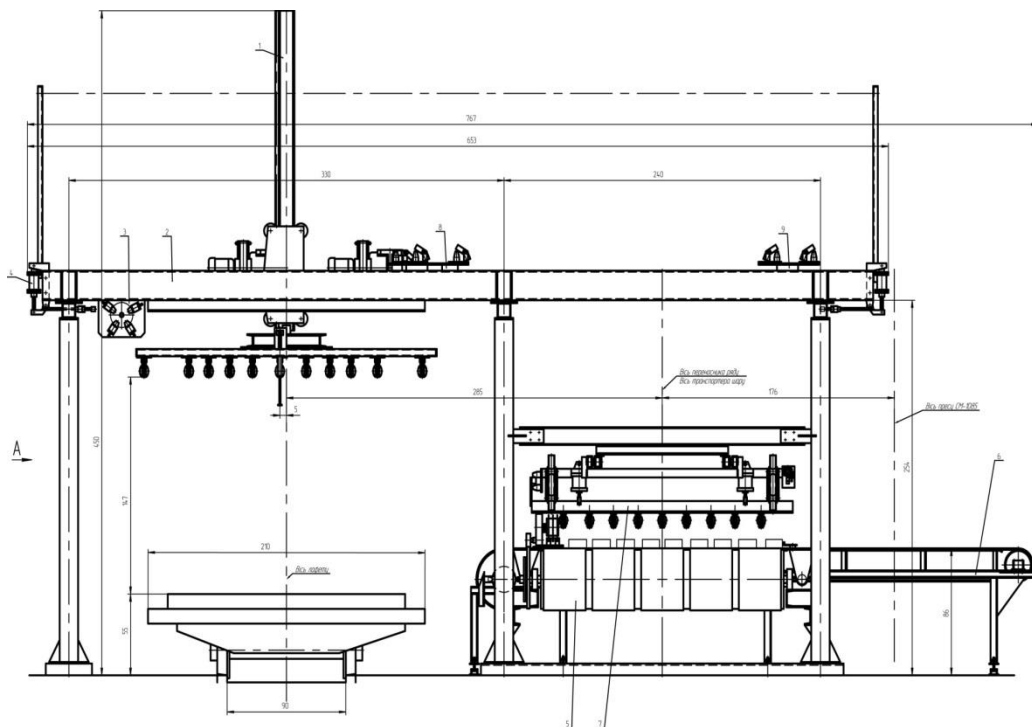


Рисунок 1 – Механізм перевантаження цегли на базі преса СМ-1085

Сучасний автомат (рис.1) отримує рух від колінчастого вала 1 преса [2]. Привід відбору потужності включає циліндричну 2 і конічну 3 зубчасті передачі та кривошип 10. Кривошип за допомогою тяги 11 передає коливальні рухи від преса до транспортеру-накопичувача 12. Знімач-кантувач складається

з двох парних (симетричних) захватів 4, які затискають цеглини, знімають їх зі столу преса, розгортають в лінію, кантують на 90° і встановлюють на лоткову поверхню стрічки транспортера-накопичувача 12. Переносний візок 24 має привід переміщення, що складається з електродвигуна 27, редуктора 28, зубчастої циліндричної передачі 29 і ковзаник 30, що рухаються по рейках. На переносному візку змонтований також механізм підйому-спуску, що складається з електродвигуна 31 і редуктора 26, на обох кінцях вихідного вала якого закріплені барабани 25 для навивки канату 23. Канат прикріплений до підйомної рами 20. Для забезпечення суворого напрямку підйомної рами є дві кінематичні пари, шестерня-рейка 22. У напрямних балках підйомної рами 20 переміщуються ролики 16, до яких підвішена висувна рама 18 з пневмошинами 17.

Механізм перевантаження з використанням промислового робота займає значно менше виробничої площі, ніж механізм лінійного переміщення, він є електромеханічною машиною, і у зв'язку з цим позбавлений експлуатаційних недоліків гідравлічних систем, до того ж робот здатний реалізовувати широкий спектр технологій [3]. Він оснащується захватним пристроєм, за допомогою робочих механізмів котрого відбувається захват продукції і її утримання під час транспортування. Сам промисловий робот при цьому виконує роль маніпулятора, що здійснює запрограмований рух. Промислові роботи можуть використовуватися не тільки при палетуванні цегли, за тим же принципом здійснюється й укладання продукції або обслуговування транспортних систем і технологій при виробництві всього спектра будівельної кераміки: черепиця, елементи трубних систем, блоки та ін. Вантажопідйомність робота середнього типорозміру знаходиться в значеннях 150-450 кг. Механізм перевантаження на базі промислового робота може також виконувати операції установки транспортного піддону в позицію, укладання гофрокартону як матеріалу прокладки шару, допоміжні операції підрахунку кількості, маси продукції на піддоні та ін.

Таким чином, можна зробити висновок, що на сьогоднішній день перспективність застосування промислових роботів в технологіях виробництва будівельної кераміки є безперечною і актуальною.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Сучасні технології та тренди у виробництві цегли [Електронний ресурс] // Євротон: клінкерна цегла. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://euroton.com.ua/>.*
2. *Алексієв В.О., Волков В.П., Калмиков В.І. Мехатроніка транспортних засобів та систем. – Харків: ХНАДУ, 2004. – 176 с.*
3. *Цвіркун Л.І. Робототехніка та мехатроніка: навч. посіб. / Л.І. Цвіркун, Г. Грулер ; під заг. ред. Л.І. Цвіркуна ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – 3-тє вид., переробл. і доповн. – Дніпро: НГУ, 2017. – 224 с.*

Міністерство освіти та науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

Модернізація електропривода механізму перевантаження цегли шляхом впровадження промислового робота

Кваліфікаційна робота магістра

Виконав:

Студент групи 601МЕ

Губіцький М.М.

Керівник:

доцент, канд. техн. наук

Бороздін М.К.

Полтава 2025

2

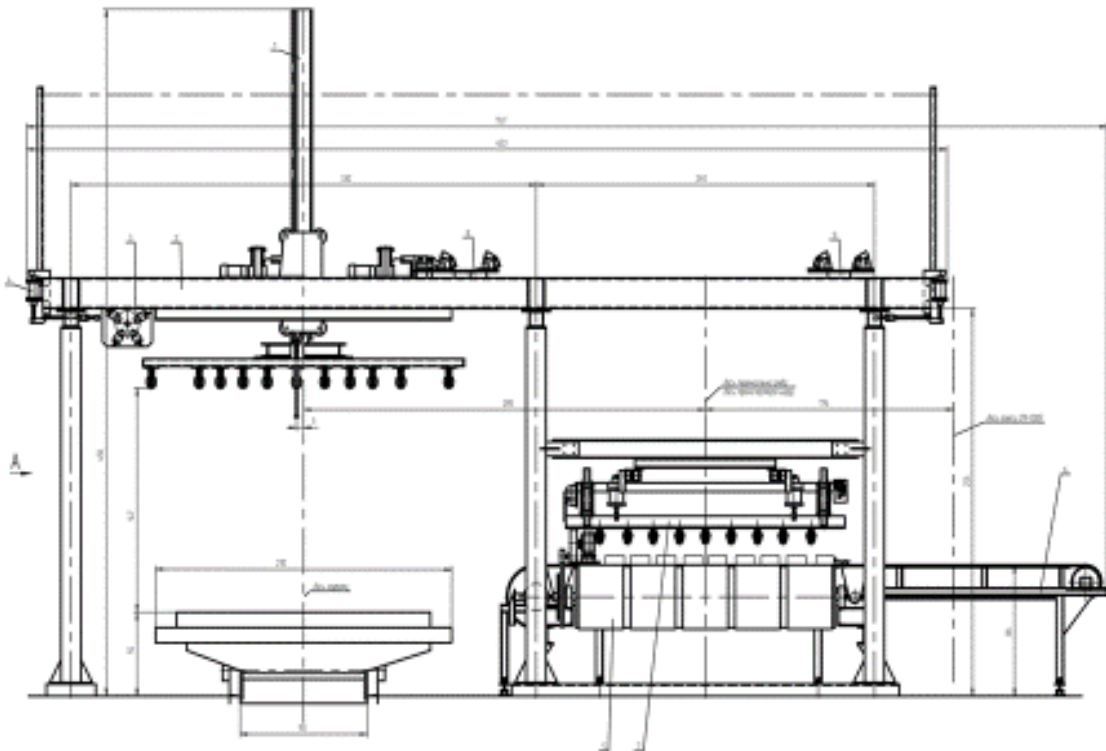
Актуальність теми. Для осучаснення виробництва цегли в Україні необхідне створення високоефективних нових технологій, активне використання енергозберігаючих та безвідходних методів виробництва, що дадуть змогу отримувати якісну продукцію при мінімальних витратах.

Метою роботи є модернізація електропривода механізму перевантаження цегли шляхом дослідження можливості та доцільності заміни застарілого пневматичного пристрою переносника цегли на промисловий робот з частотно-регульованим електроприводом.

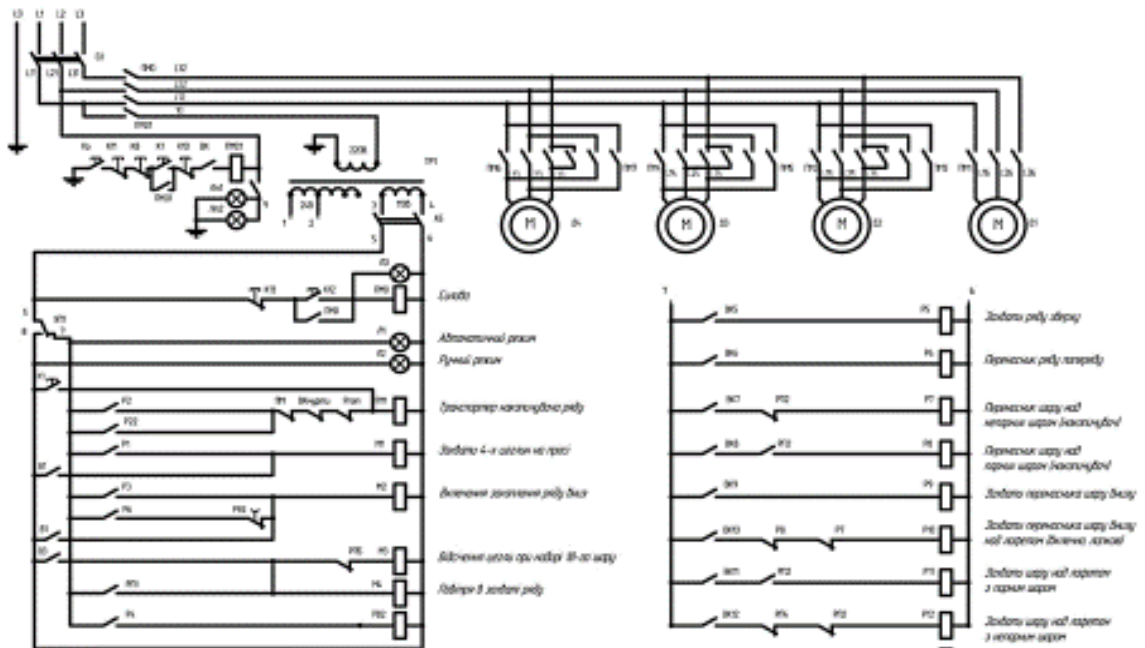
Для досягнення даної мети потрібно вирішити наступні **завдання**:

- проаналізувати технологію виготовлення цегли, дослідити стан системи керування електроприводом механізму перевантаження;
- провести аналіз конструкцій промислових роботів та систем керування електроприводом роботів;
- виконати розрахунок статичних характеристик розімкнутої системи;
- розробити схему керування електроприводом, яка буде відповідати технологічному процесу та забезпечить необхідний діапазон регулювання;
- виконати моделювання та аналіз перехідних процесів в замкнутій системі зі зворотним зв'язком за швидкістю та положенням.

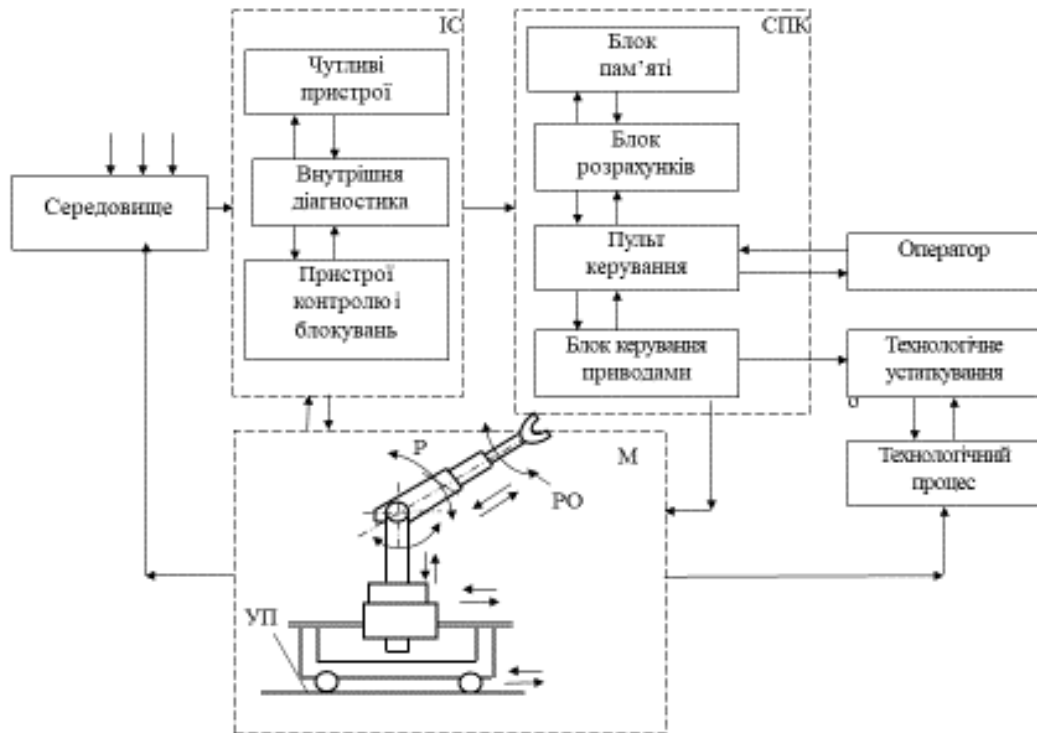
Будова механізму перевантаження цегли на базі пресу CM-1085



Діюча релейно-контакторна схема керування електроприводом механізму перевантаження



Функціональна схема елементів промислового робота



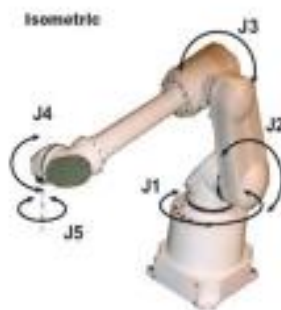
Конструкції сучасних роботів для перевантаження та пакування



Робот KUKA KR 5 scara R350



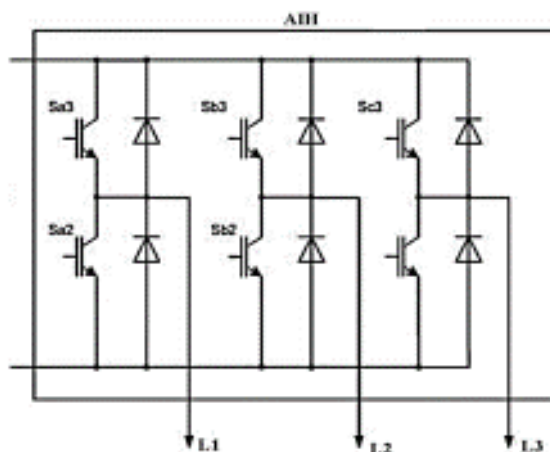
Робот KUKA KR 210 R3100-2

Робот компанії SHUNK
LWA 4DРобот для пакування M-430iA
від FANUC RoboticsШестиступеневий робот LWA 4.6
від компанії SHUNK

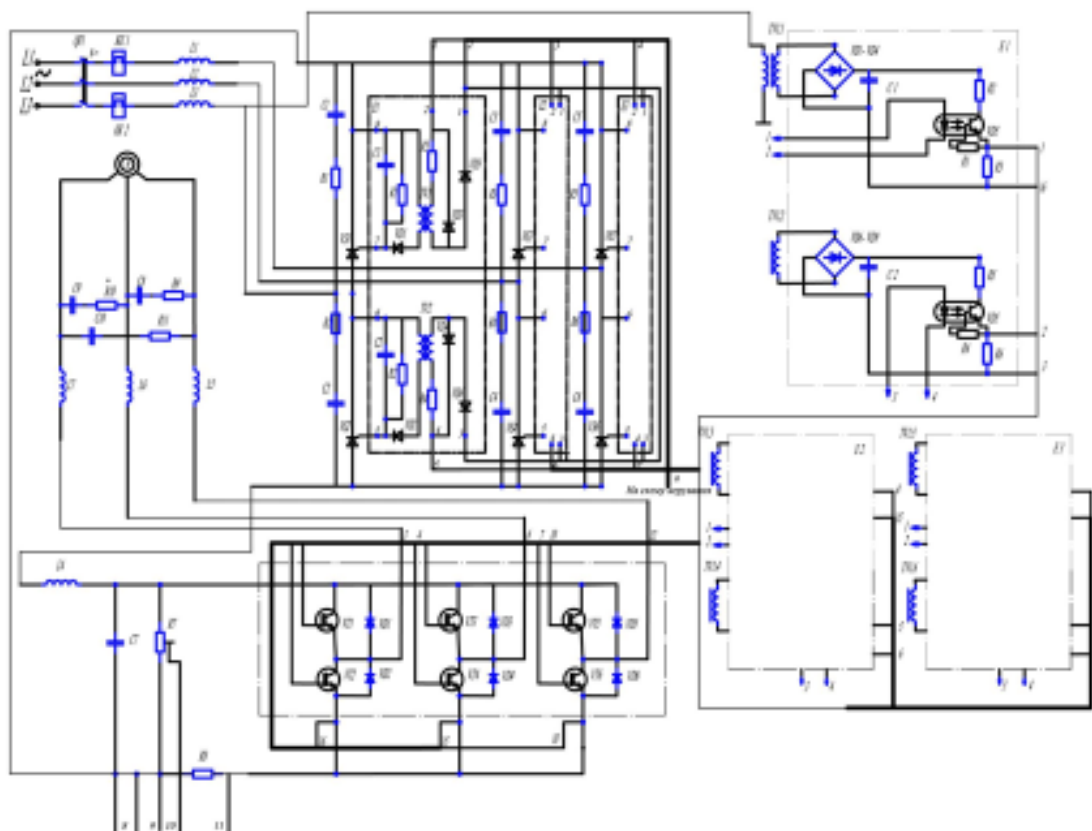
Спрощена функціональна схема електроприводу



Схема силовій частини АІН

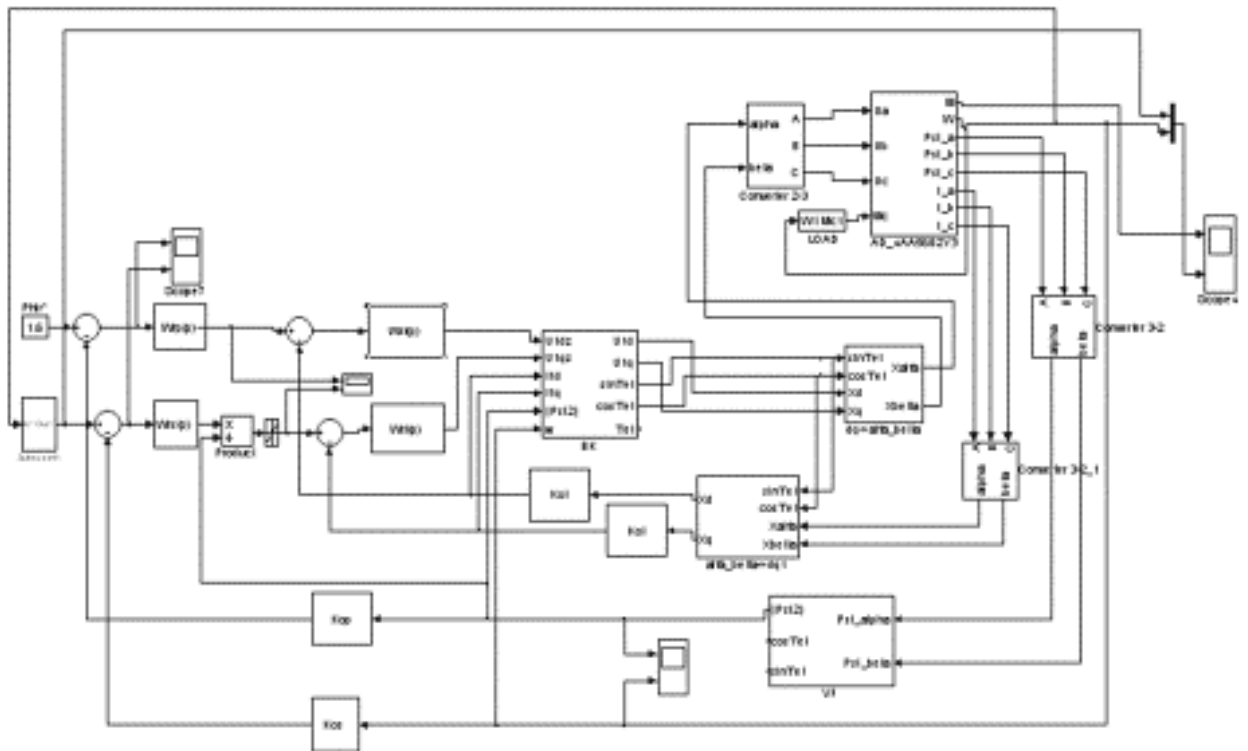


Принципова схема силовій частини електропривода ПР 8



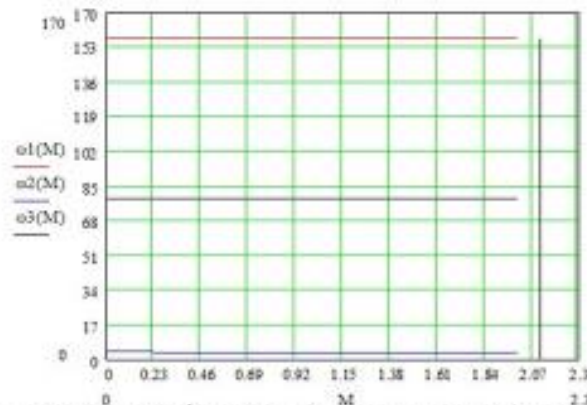
Модель системи ПЧ-АД

11

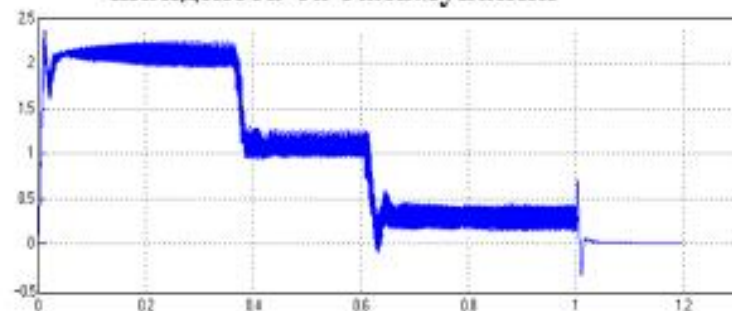


Статичні механічні характеристики двигуна в замкненій системі

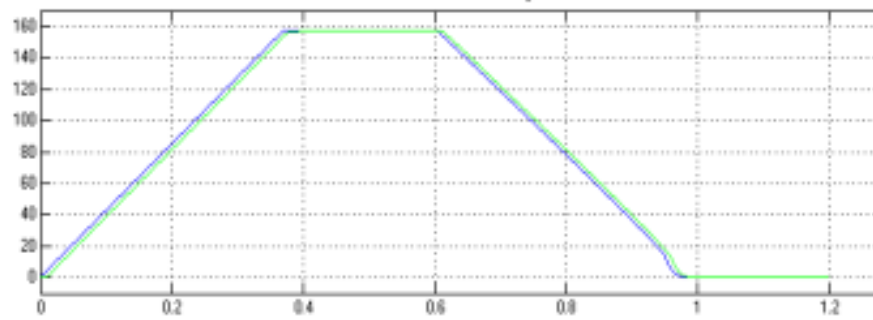
12



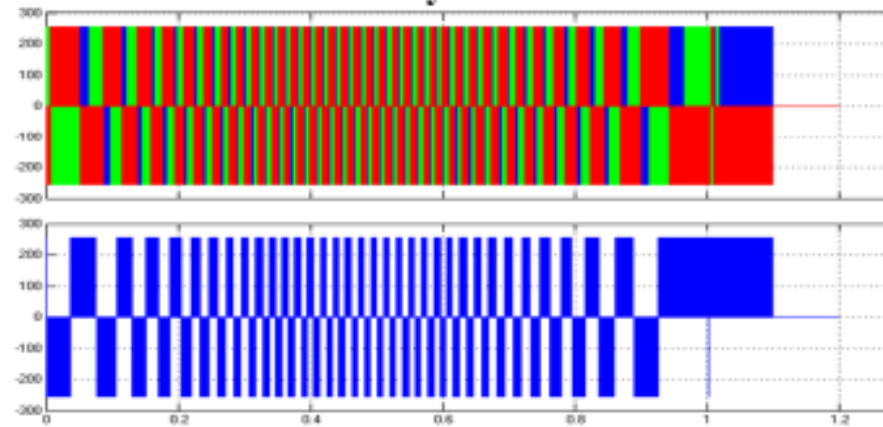
Перехідні процеси зміни моменту при пуску на номінальну швидкість та гальмування



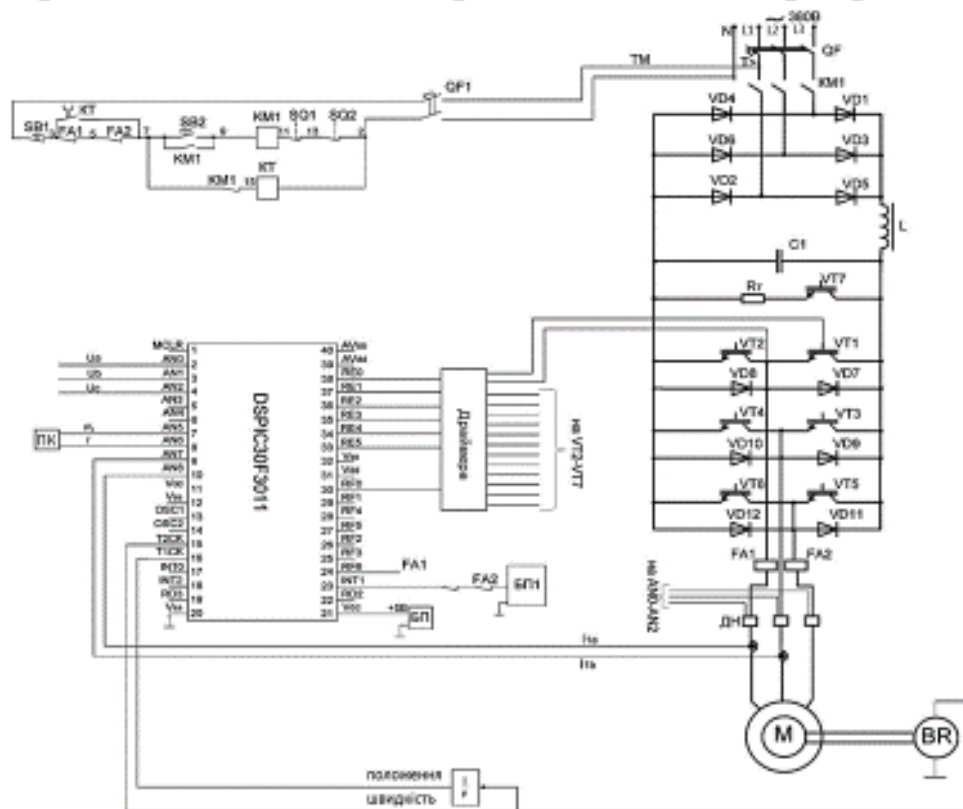
Перехідні процеси зміни швидкості при пуску на номінальну швидкість та гальмування **13**



Зміна фазної напруги при пуску на номінальну швидкість та гальмуванні



Принципова схема модернізованого електропривода **14**



Висновки

15

1. В роботі проаналізовано технологічний процес виготовлення цегли, розглянута будова та принцип функціонування механізму перевантаження цегли, виявлені недоліки у його роботі. Розглянуті можливі варіанти конструкцій промислового робота для використання у механізмі перевантаження.
2. Проведений розрахунок потужності, вибір та перевірки вибору електродвигуна, обраний асинхронний двигун типу АІР63А4. Проаналізовані можливі варіанти електроприводу, в якості робочого варіанту обрали регульований по швидкості електропривод з частотно - струмовим векторним керуванням.
3. Розроблена схема керування електроприводом, проведений розрахунок і вибір основних елементів силової частини схеми.
4. Проведене розроблення структурної схеми САК, здійснено моделювання та аналіз перехідних процесів в замкненій системі зі зворотним зв'язком за швидкістю і положенням, в результаті досліджень можна стверджувати, що потрібна точність позиціонування механізму досягнута.
5. Проаналізовані статичні й динамічні властивості системи електроприводу, які показують, що розроблена система повністю задовольняє поставленим вимогам.
6. В роботі спроектована принципова електрична схема керування електроприводом промислового робота.

Таким чином можна стверджувати, що мета магістерської роботи досягнута.