

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

ННІ/факультет Навчально-науковий технологічний інститут
Кафедра Електричної інженерії та автоматизації
Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка
Форма навчання Денна

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної кваліфікаційної роботи

бакалавра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

Куницький Вадим Валерійович

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

на тему: Автоматизація металургійного виробництва. Система автоматизованого
керування електроприводом аглострічки агломашины

(повна назва теми)

за матеріалами АТ «Нікопольський завод феросплавів».

(повна назва бази дослідження)

науковий керівник доцент, к.т.н. Григор'єва В.Г.
(наук. ступінь, вчене звання) (підпис) (прізвище, ініціали)

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри

від _____ 202 р. № _____

Завідувач кафедри

(підпис)

доцент, к.п.н. Є.О. Модло
Наук. ступень, вчене звання Ініціали, прізвище

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
Кафедра Електричної інженерії та автоматизації

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« _____ » _____ 2026 року

ЗАВДАННЯ

НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТКИ

Куницького Вадима Валерійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема випускної кваліфікаційної роботи Автоматизація металургійного виробництва. Система автоматизованого керування електроприводом аглострічки агломашины.

керівник випускної роботи Григор'єва В.Г., доцент, к.т.н.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від «06» квітня 2026 року
№ 239-ст

2. Строк подання студентом випускної кваліфікаційної роботи 12.06.2026

3. Вихідні дані до випускної кваліфікаційної роботи: спікальний візок – ширина $B_T=2$ м; довжина $L_T=1$ м; вага $m_{T.o.}=1,7$ т (без вантажу); діаметр катків $D_K=200$ мм; діаметр цапфи $D_{ц.к.}=80$ мм; кількість візків – завантажених $Z_T=25$, незавантажених на верхньому поясі (між зіркою та першим завантаженим візком) $Z_0=2$, незавантажених на півокружності зірки $Z_3=7$; висота прошарку шихти $H_{ш}=250$ мм; вага зірки $m_3=2800$ кг; діаметр цапфи зірки $D_{ц.з.}=280$ мм; зовнішній діаметр зірки $D_3=3,9$ м; середнє розрідження над візками $h=900$ мм вод.ст., або 8820 н/м²; загальне передатне відношення від двигуна до зірки $i=2852$, швидкість машини – $1,4-4,2$ м/хв.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 4.1 Аналітична частина: технологічні особливості САР, огляд існуючих рішень, постановка задачі модернізації 4.2 Основна частина: розробити функціональну схему автоматизації; вибір технічних засобів автоматизації; розробити структурну схему системи електроприводу; вибір алгоритму векторного керування перетворювача частоти.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
ВРБ.174.239-ст.11.01 - Проєктна схема автоматизації аглострічки агломашини;
ВРБ.174.239-ст.11.02 - Базова схема електрична принципова електропривода
аглострічки; ВРБ.174.239-ст.11.03 - Проєктна схема підключення перетворювача
частоти; ВРБ.174.239-ст.11.04 - Математична модель електропривода та графіки
перехідних процесів

6. Консультанти розділів випускної кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналітична частина	Григор'єва В.Г.	10.04.2026	10.04.2026
Основна частина	Григор'єва В.Г.	10.04.2026	10.04.2026

7. Дата видачі завдання 10.04.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної роботи	Строк виконання етапів випускної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	01.05.2026	
2.	Основна частина	24.05.2026	
3.	Оформлення пояснювальної записки	29.05.2026	
4.	Виконання графічної частини	02.06.2026	
5.	Подання роботи до кафедри	13.06.2026	
6.	Захист роботи в ЕК	20.06.2026	

Студент

(підпис)

Куницький В.В.,

(прізвище та ініціали)

Керівник випускної кваліфікаційної роботи

(підпис)

Григор'єва В.Г.

(прізвище та ініціали)

№ ряд ка	Фор мат	Позначення			Назва	Кіл. листів	№ екз.	Прим.
1	A3	ВРБ.174.239-ст.11.01			Проектна схема			
2					автоматизації аглострічки			
3					агломашины	1		
4								
5	A3	ВРБ.174.239-ст.11.02			Базова схема електрична			
6					принципова			
7					електропривода			
8					аглострічки	1		
9								
10	A3	ВРБ.174.239-ст.11.03			Проектна схема			
11					підключення			
12					перетворювача			
13					частоти	1		
14								
15	A3	ВРБ.174.239-ст.11.04			Математична модель			
16					електропривода та			
17					графіки перехідних			
18					процесів	1		
19								
20	A3	ВРБ.174.239-ст.11.ПЗ			Пояснювальна записка	65		
21								
22								
23								
24								
25								
26								
					ВРБ.174.239-ст.11.ВР Автоматизація металургійного виробництва. Система автоматизованого керування електроприводом аглострічки агломашины Відомість роботи Літера Аркуш Аркушів			
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата				
Розроб.		Куницький В.В.						
Пров.		Григор'єва В.Г						
Н.контр.		Григор'єва В.Г						
Затв.		Модло Є.О.						
					ННТІ ДУЕТ Каф.ЕІА зр. АВ-23ск			

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра: 65 с., 24 рис., 5 табл., 9 джерел використаної літератури.

Об'єкт розробки – система автоматизована система керування електроприводом аглострічки агломашины.

Мета роботи – застосування сучасних систем автоматизованого керування для забезпечення стабільної роботи технологічного обладнання, підвищення продуктивності виробництва та покращення якості готового агломерату.

Методи дослідження та апаратура – технологічні особливості САР, огляд існуючих рішень, розробка основних вимог до системи, розробка функціональної схеми автоматизації; вибір технічних засобів автоматизації; розробка структурної схеми системи електроприводу; обґрунтування вибору алгоритму векторного керування для перетворювача частоти.

Результати дослідження: розроблено функціональну схему системи електропривода аглострічки агломашины, схему автоматизації з врахуванням модернізації привода аглострічки, структурну схему силової частини проєктованого привода. Виконано розрахунок САК електроприводом аглострічки. Отримано математичну модель електропривода аглострічки агломашины, яка дозволяє проводити дослідження процесів пуску електропривода данного механізму з отриманням графіків перехідних процесів за струмом на обмотці статора двигуна та кутовою швидкістю у часі.

Ключові слова: автоматизація, аглострічка, датчик, регулятор, агломашина, керування

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	9
1.1 Загальні відомості про виробництво та опис технологічного процесу.....	9
1.2 Технологічні особливості системи автоматизованого керування.....	13
1.3 Огляд існуючих рішень.....	18
1.4 Постановка задачі модернізації та розробка основних вимог до проектної системи.....	20
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	22
2.1 Розробка та обґрунтування функціональної схеми електропривода аглострічки агломашини.....	22
2.2 Вибір технічних засобів автоматизації та розрахунок параметрів системи автоматизованого керування силової частини та системи керування	26
2.3 Розробка схеми автоматизації з врахуванням модернізації привода аглострічки	37
2.4 Розробка структурної схеми силової частини проектного привода системи автоматизації аглострічки агломашини	39
2.5 Обґрунтування вибору алгоритму векторного керування для перетворювача частоти	41
2.6 Математичний опис системи векторного керування асинхронним електроприводом	43
2.7 Складання математичної моделі САК електроприводом аглострічки....	50
2.8 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів при експлуатації агломашини	55
2.9 Заходи щодо забезпечення безпечної експлуатації електропривода аглострічки	57
2.10 Пожежна профілактика	60
ВИСНОВКИ.....	63
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	65

ВСТУП

Сучасний розвиток металургійної промисловості нерозривно пов'язаний із впровадженням високопродуктивного обладнання, автоматизацією виробничих процесів та застосуванням енергоефективних технологій. В умовах постійного зростання вимог до якості продукції та економічності виробництва особливого значення набуває модернізація існуючих систем керування технологічними агрегатами. Одним із найважливіших напрямів удосконалення виробництва є впровадження сучасних автоматизованих систем керування електроприводами, які забезпечують стабільність технологічних режимів, підвищення надійності обладнання та зниження експлуатаційних витрат.

Виробництво феросплавів є складним багатостадійним процесом, у якому якість підготовки сировини значною мірою визначає ефективність подальших технологічних операцій. Важливу роль у цьому процесі відіграє агломераційне виробництво, основним призначенням якого є отримання агломерату з необхідними фізико-механічними характеристиками для подальшого використання у плавильних агрегатах. Одним із головних елементів агломераційної машини є аглострічка, яка забезпечує транспортування шихтових матеріалів через усі зони технологічного циклу та створює умови для формування якісного агломерату.

Надійна та безперервна робота аглострічки безпосередньо впливає на продуктивність агломераційної машини, якість готової продукції та ефективність використання виробничих ресурсів. Порушення режимів руху аглострічки може призводити до зниження продуктивності установки, погіршення характеристик агломерату, збільшення енергоспоживання та виникнення аварійних ситуацій. Саме тому забезпечення точного регулювання швидкості руху аглострічки та контролю її технологічних параметрів є одним із найважливіших завдань системи автоматизованого керування.

Сучасні електроприводи агломераційних машин оснащуються частотно-регульованими приводами, програмованими логічними контролерами, цифровими системами контролю та засобами диспетчеризації. Використання таких технічних рішень дозволяє реалізовувати складні алгоритми керування, підтримувати оптимальні режими роботи обладнання та оперативно реагувати на зміни технологічних параметрів. Автоматизація процесу керування електроприводом аглострічки сприяє підвищенню продуктивності виробництва, покращенню якості агломерату та зменшенню витрат електроенергії.

Особливо актуальними питання автоматизації стають для великих металургійних підприємств, де безперервність виробничого циклу має вирішальне значення для досягнення високих техніко-економічних показників. Одним із таких підприємств є АТ «Нікопольський завод феросплавів», яке належить до найбільших виробників феросплавної продукції в Україні. Стабільна робота агломераційного виробництва підприємства є важливою умовою забезпечення необхідних обсягів випуску продукції та підтримання конкурентоспроможності підприємства на внутрішньому і зовнішньому ринках.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання отриманих результатів для модернізації систем керування агломераційних машин, підвищення надійності роботи електроприводів та покращення техніко-економічних показників виробництва. Запропоновані рішення можуть бути використані під час реконструкції існуючих систем автоматизації або проектування нових виробничих комплексів.

Таким чином, удосконалення автоматизованої системи керування електроприводом аглострічки агломашини є актуальним інженерним завданням, вирішення якого сприятиме підвищенню ефективності агломераційного виробництва, покращенню якості готової продукції та забезпеченню стабільної роботи технологічного обладнання в умовах АТ «Нікопольський завод феросплавів».

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Загальні відомості про виробництво та опис технологічного процесу

Об'єктом дослідження в даній кваліфікаційній роботі є автоматизована система керування електроприводом аглострічки агломашины в умовах АТ «Нікопольський завод феросплавів».

АТ «Нікопольський завод феросплавів» (АТ «НЗФ») – розташований на південному заході України в м. Нікополі Дніпропетровської області.

На сьогоднішній день на АТ «НЗФ» діють: основні цеха – цех виробництва феросплавів (ЦВФ), агломераційний цех (АГЦ), флюсоплавильний цех №9.

Для забезпечення цих цехів запасними частинами та проведення ремонтів на заводі є: ремонтні цеха – ремонтно-механічні (РМЦ); ремонтно-будівельні (РБЦ-1, РБЦ-2); цеха з ремонту металургійного обладнання (ЦРМО-1, ЦРМО-2, ЦРМО-3).

Нормальну роботу підприємства також забезпечують: допоміжні цеха – електроремонтні (ЕРЦ), цех мереж та підстанцій (ЦМП), цех водопостачання (ЦВП), теплосиловий цех (ТСЦ), цех електродної маси (ЦЕМ), ділянка переробки шлаків (ДПШ), ЦЗЛ, ЦЛАМ, транспортні цехи: автотransпортний цех (АТЦ), залізничний цех (ЗДЦ).

Суть процесу агломерації полягає в тому, що руда або концентрат з добавкою подрібненого палива, повернення та інших компонентів шихти змішують та при необхідності зволожують до певної величини, що забезпечує утворення зернистої структури (грудочок). Шихту завантажують на колосники спекальних візків, під якими за допомогою ексгаустера створюється розріджене повітря, (залежно від гранулометричного складу шихти) і просмоктується зовнічне з поверхні через шар шихти.

Початковим процесом при агломерації є запалення. Потім паливо шихти горить за рахунок всмоктуваного атмосферного кисню. Зона горіння поступово просувається зверху вниз до колосників, утворює після твердого фазного перетворення мінералів при охолодженні шару агломерату. У міру опускання зони горіння температура в ній підвищується за рахунок регенерації тепла (у шар шихти повітря поступає холодне, а проходячи через шар гарячого агломерату, нагрівається). У зоні горіння відбуваються рідкі фазні перетворення мінералогічного складу, окислювально-відновні реакції, продовжується дисоціація оксидів та карбонатів.

Технологічна лінія агломашины представлена на рисунках 1.1-1.2. За допомогою грейферного крана й поточно-транспортних механізмів шихтові матеріали завантажуються в корпус шихтових бункерів (КШБ). У КШБ розміщено 52 шихтові бункери ємністю 80 м^3 кожний, оснащених дозаторами безперервної дії з ваговимірювачами типу 4195Пр і електровібровживильниками. Шихтові бункери розташовані в 2 ряди по 26 бункерів.

Під кожним рядом шихтових бункерів розміщені збірні конвеєри, на яких формується багат шаровий пиріг шихти, що забезпечує попереднє змішування компонентів. Дозування компонентів шихти здійснюється системою АСАД. Положення пересувних конвеєрів контролюється датчиками положення ДПІ-1.

Здозована шихта зі збірних конвеєрів надходить у змішувальні барабани, де виконується її первинне змішування. У технологічній лінії встановлено 2 змішувальних барабани, що дозволяють забезпечити роботу всіх агломашин. Збездоднений шлам завантажуються безпосередньо в змішувальні барабани.

Шихта зі змішувальних барабанів надходить на два стрічкових реверсивних спарених пересувних конвеєри (Ш-104, Ш-105), що виконують завантаження видаткових бункерів (РБ-4). Положення пересувних конвеєрів контролюється датчиками положення ДПІ-1. Кожна агломашина має свій видатковий бункер і далі технологічна лінія аглофабрики розділяється на 4

автономні галузі по агломашинам. Рівень матеріалу у видаткових бункерах контролюється акустичними датчиками. Вологість шихти у видаткових бункерах у теперішній час не вимірюється.

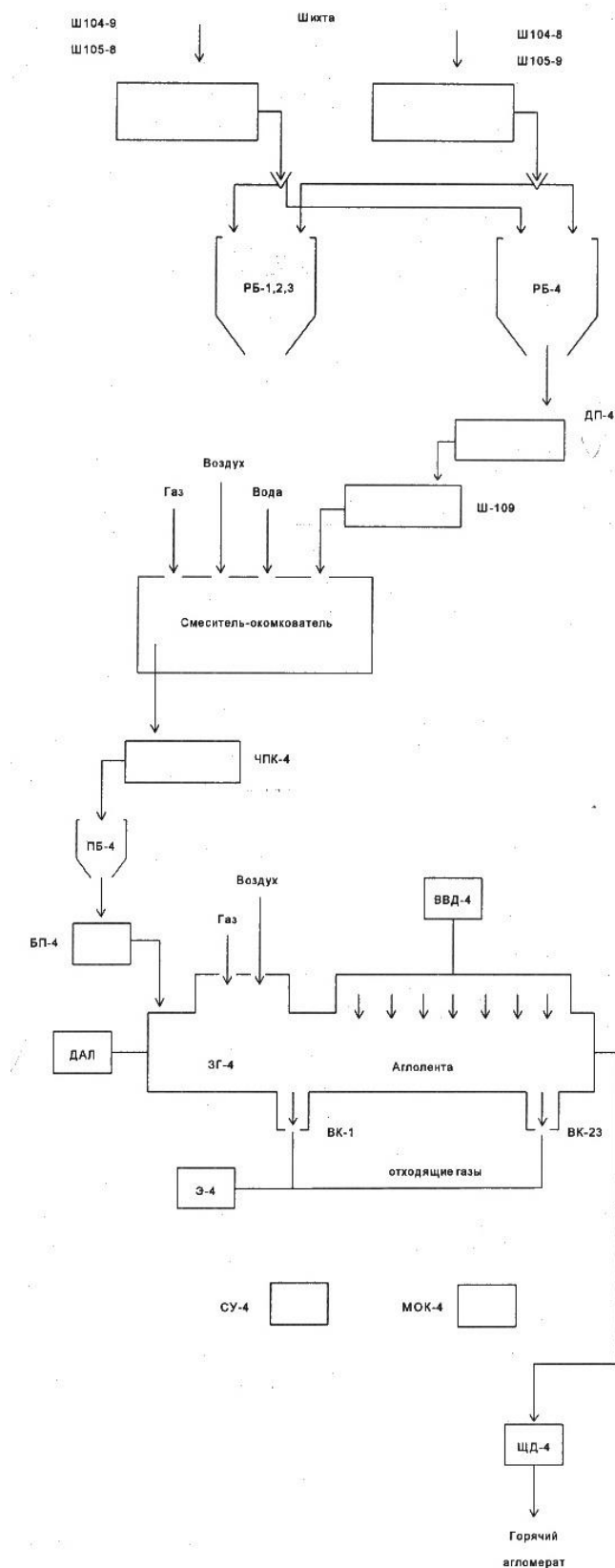


Рис. 1.1 Технологічна лінія підігріву та завантаження шихти

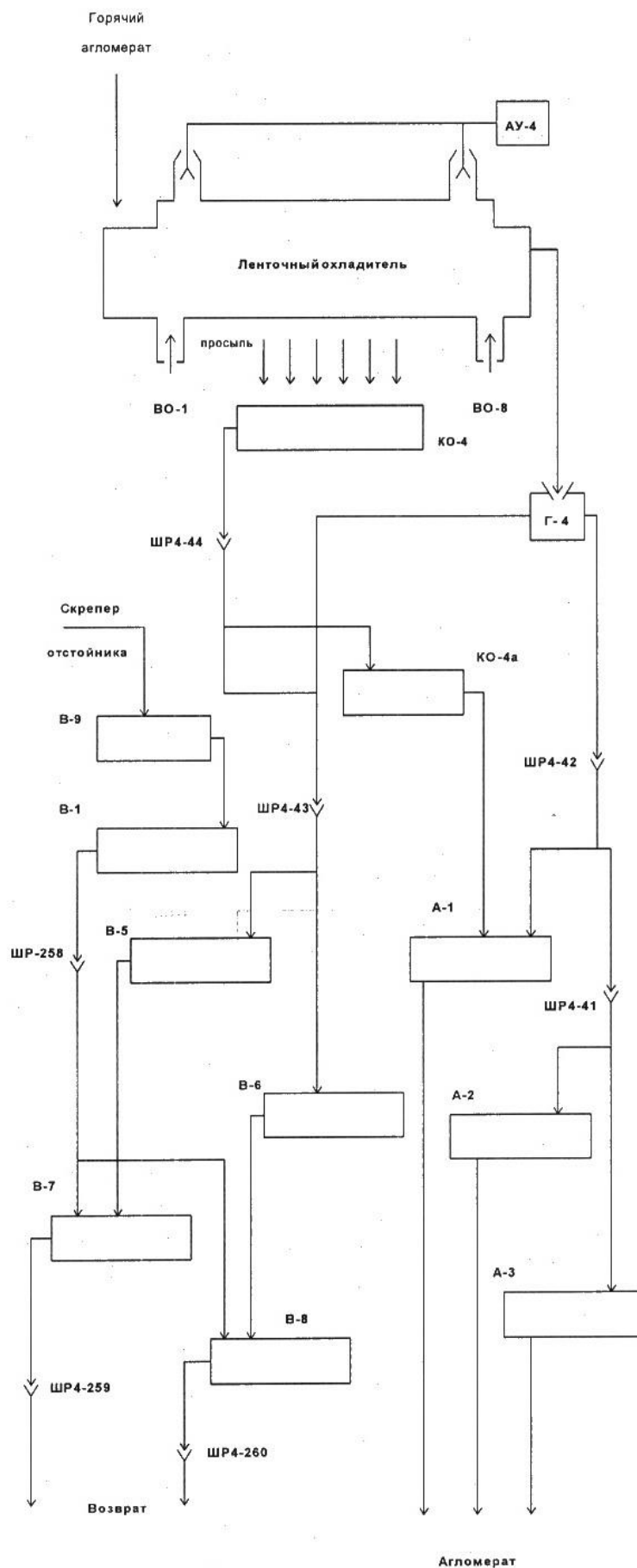


Рис. 1.2 Технологічна лінія охолодження шихти

З видаткового бункера шихтова суміш за допомогою дискового живильника (ДП-4) типу ДТ-25 і стрічкового конвеєра (Ш-109) завантажується в барабанний змішувач-окомкувач (З-4), у якому шихта підігрівається, окомкується й, при необхідності, зволожується. Для підігріву шихти в змішувач-окомкувач подають феррогаз і повітря. Стабілізація вологості шихти досягається зміною витрат води, що подається в змішувач-окомкувач або зміною частки підсушеного концентрату в шихті. Частота обертання дискового живильника контролюється датчиком, розробленим ЦІАМом. Маса шихти, що надходить у змішувач-окомкувач вимірюється датчиком, розміщеним на стрічковому конвеєрі (Ш-109). Витрата води, феррогаза й повітря, що надходять у змішувач-окомкувач контролюється приладами серії «Сапфір». Температура шихти на виході змішувача-окомкувача контролюється термопарою з перетворювачем Ш-72. Концентрація СО у покидаючих зі змішувача-окомкувача газів вимірюється аналізаторами ГІАМ-14.

Зі змішувача-окомкувача за допомогою челнокового пересувного конвеєра (ЧПК-4) шихта завантажується в проміжний бункер (ПБ-4), з якого за допомогою барабанного живильника (БП-5) і похилого відбивного листа вона надходить на аглострічку. Маса шихти в проміжному бункері контролюється датчиком розробленим ЦІАМ.

Запалювання шихти здійснюється феррогазом за допомогою газового горна (ЗГ-4), оснащеного шістьма пальниками. Спікання агломерату здійснюється за рахунок просмоктування повітря через 23 вакуумкамери (1-ВК-23), розрідження в яких створюється екстаустером (Э-4), оснащеним апаратами сухого й мокрого очищення газу. Повітря для підтримки горіння коксу подається двома вентиляторами високого тиску (ВВД-4).

Вакуумкамера, над якою процес спікання агломерату завершений має мінімальну концентрацію СО і СО₂, мінімальне розрідження, максимальну концентрацію О₂ і максимальну температуру газів, що відходять.

При нормальному ході процесу спікання агломерату температура газів, що відходять, у вакуумкамерах №20 і 21 повинна бути в межах 300-350⁰С, а у вакуумкамерах №22 і 23 на 30-50⁰С нижче, ніж у вакуумкамерах №20 і 21.

Для забезпечення якісного спікання, поряд з балансом палива в шихті, необхідно щоб швидкість руху аглострічки відповідала кількості шихти, що завантажується на неї. Це забезпечується синхронізацією частоти обертання привода аглострічки (ДАВ) із частотою обертання барабанного й дискового живильників. У зв'язку тим, що продуктивність дискового живильника неоднозначно залежить від частоти обертання диска, а також з огляду на транспортне запізнювання між дисковим і барабанним живильниками (4 хв.) необхідно вводити коригувальний вплив на подачу шихти в проміжний бункер по масі матеріалу в ньому.

Для видалення дріб'язку й неспеченої шихти під аглострічкою розміщені механізм остукування колосників (МОК-4) і скреперний пристрій (СУ-4). Висота шару шихти на аглострічці контролюється датчиком, розробленим заводом.

Температура поверхні шару шихти під горном вимірюється пірометром ТЕРА-50 з перетворювачем Ш-72. Витрата феррогаза й повітря на горн вимірюється приладами системи «Сапфір». Тиск феррогаза й повітря, що надходить на горн після регулювального клапана вимірюється приладами системи «Сапфір». Концентрація CO₂ у феррогазі контролюється аналізатором ГТМК-18. Швидкість руху аглострічки контролюється датчиком розробленим ЦЛІАМ. Розрідження у вакуумкамерах контролюється приладами системи «Сапфір». Температура покидаючих вакуумкамери газів вимірюється термопарою з перетворювачем Ш-705.

Концентрація CO, CO₂, O₂ газах, що відходять із вакуумкамер вимірюється газоаналізаторами ГІАМ-14, ГТМК-18. Температура агломерату на зламі вимірюється оптичним пірометром.

Гарячий агломерат, що сходить із політ аглострічки надходить на щогокову дробарку (ЩД-4), у якій гранулометричний склад доходить до 0-

200мм. Потім агломерат надходить на стрічковий прямолінійний охолоджувач.

Охолодження агломерату здійснюють 8 вентиляторів (В-8) за рахунок продувки повітрям шару агломерату висотою 500-550мм. Гаряче повітря з камери над охолоджувачем віддається аспіраційною установкою (АУ-4).

Температура агломерату на вході й виході охолоджувача відповідно становить 900 і 100⁰С. Стабілізація режиму охолодження агломерату досягається узгодженням швидкості руху полотна охолоджувача з висотою шару агломерату на ньому й витратою повітря, що надходить на охолодження.

Охолоджений агломерат піддається відсіванню на самобаласних грохотах (Г-4) з виділенням фракції менш 15мм.

Відсортований від дріб'язку агломерат поточно-транспортними механізмами (А-1, А-2, А-3, ШР 4-41, ШР 4-42, ШР 4-44) відправляється споживачам.

Просип зі стрічки охолоджувача віддається конвеєрами (ДО-4, ДО-4а). Повернення некондиційного агломерату здійснюється лінією поточно-транспортних механізмів (В-1, В-5, В-6, В-7, В-8, В-9, ШР 4-43, ШР 4-44, ШР-258, ШР-259, ШР-260).

Швидкість руху стрічки охолоджувача контролюється датчиком розробленим ЦЛІАМ. Висота шару агломерату на охолоджувачі контролюється датчиком, розробленим заводом. Температура агломерату на охолоджувачі контролюється термopарою з перетворювачем Ш-705. Витрата повітря на охолодження вимірюється приладом серії «Сапфір».

Об'єктом дослідження в даному дипломному проєкті є електропривод аглострічки, що входить до складу підсистеми керування режимом завантаження шихти на аглострічку (рис.2.1-2.2) АСК ТП агломашини 4.

Контур керування режимом завантаження шихти на аглострічку повинен забезпечити стабілізацію заданого значення висоти шару шихти на аглострічці. Ця функція здійснюється синхронізацією швидкості руху

аглострічки з кількістю поданої на неї шихти. З огляду на транспортне запізнювання на ділянці, щоб забезпечити подачу необхідної кількості шихти на аглострічку, у проміжному бункері варто мати достатню масу шихти. Тому контур включає дві вітки регулювання: стабілізації маси в промбункері й стабілізації висоти шару шихти на аглострічці.

Для реалізації цих функцій використовують наступні керуючі впливи:

- зміна частоти обертання дискового й барабанного живильників;
- відключення устаткування агломашины.

1.2 Технологічні особливості системи автоматизованого керування

Контур керування режимом завантаження шихти на аглострічку повинен забезпечити стабілізацію заданого значення висоти шару шихти на аглострічці. Ця функція здійснюється синхронізацією кількості поданої на аглострічку шихти зі швидкістю аглострічки. Щоб забезпечити подачу необхідної кількості шихти на аглострічку, з огляду на транспортне запізнювання на ділянці, у проміжному бункері необхідно мати достатню масу шихти. Тому контур включає дві вітки регулювання: стабілізація маси шихти в промбункері й стабілізація висоти шару шихти на аглострічці. Для реалізації цих функцій використовують наступні керуючі впливи: зміни частоти обертання дискового й барабанного живильників, відключення агломашины.

Крім контуру керування завантаженням шихти, куди входить розглянутий у даному дипломному проекті, електропривод аглострічки, є такі контури як: керування режимом спікання й керування процесом охолодження агломерату. Параметри перерахованих вище контурів керування напряду залежать від швидкості аглострічки.

Метою контуру керування режимом спікання є приведення у відповідність швидкості руху аглострічки зі швидкістю спікання.

Параметри режиму завантаження шихти на аглострічку наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Параметри режиму завантаження шихти на аглострічку

№ п/п	Параметри	Верхнє значення	Нижнє значення	Рекомендована величина
1	Маса шихти в промбункері (%)	80-95	10-25	50-70
2	Висота шару шихти на аглострічці (мм.):			
	- для АМНВ-1А	500	300	300-460
	- для АМНВ-2	500	300	300-450
3	Частота обертання дискового живильника (%)	100	0	35
4	Частота обертання барабанного живильника (%)	100	0	40

Нормальне протікання процесу агломерації характеризується мінімальним розрідженням, мінімальною концентрацією СО і СО₂ у газах, що відходять, максимальною концентрацією О₂ і максимальною температурою у вакуум-камерах №20, 21. При цьому має місце перепад температур (на 30-500⁰С) між вакуум-камерами № 20-21 (300-350⁰С) і № 22-23 (270-320⁰С). Для керування процесом спікання використовується зміна швидкості руху аглострічки.

Якщо процес спікання завершений, і максимальна температура газів, що відходять, доводиться на вакуумкамери з номером < 20-21, то швидкість аглоленты необхідно збільшувати, щоб зберегти продуктивність агломашины. У протилежному випадку швидкість аглоленты необхідно зменшити для завершення процесу спікання в межах агломашины.

Завданням контуру керування процесом охолодження агломерату є зниження температури агломерату, що надходить на охолоджувач (900⁰С) до заданого значення (90-100⁰С) при встановленій продуктивності агломашины.

Параметри режиму спікання агломерату наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Параметри режиму спікання агломерату

№ п/п	Параметри	Верхнє значення	Нижнє значення	Рекомендована величина
1	Різниця температур у вакуум-камерах 20-21 і 22-23 (°C)	300 і 300	0 і 0	20-50 і 40-50
2	Швидкість аглострічки (м/хв.)	6	0	1-2,5
3	Розрядження в колекторі напівчистого газу (кгс/м ²)	900	500	660-860

Параметри режиму охолодження агломерату наведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3

Параметри режиму охолодження агломерату

№ п/п	Параметри	Верхнє значення	Нижнє значення	Рекомендована величина
1	Температура зламу агломерату (°C)	1200	800	900-1000
2	Швидкість руху аглострічки (м/хв.)	3	1	1-2,5
3	Швидкість руху стрічки охолоджувача (м/хв.)	2,5	1,5	1, 5-2,5
4	Висота агломерату на охолоджувачі (м.):			
	АМНВ-1А	0,8	0,4	0,6
	АМНВ-2А	0,8	0,4	0,6

1.3 Огляд існуючих рішень

Схема електрична принципова керування електроприводом аглострічки наведена на рисунку 1.3.

У якості приводного двигуна у існуючій схемі керування задіяний двигун постійного струму М1 типу Д32 У2, потужністю 18кВт номінальною швидкістю 1140 об/хв.

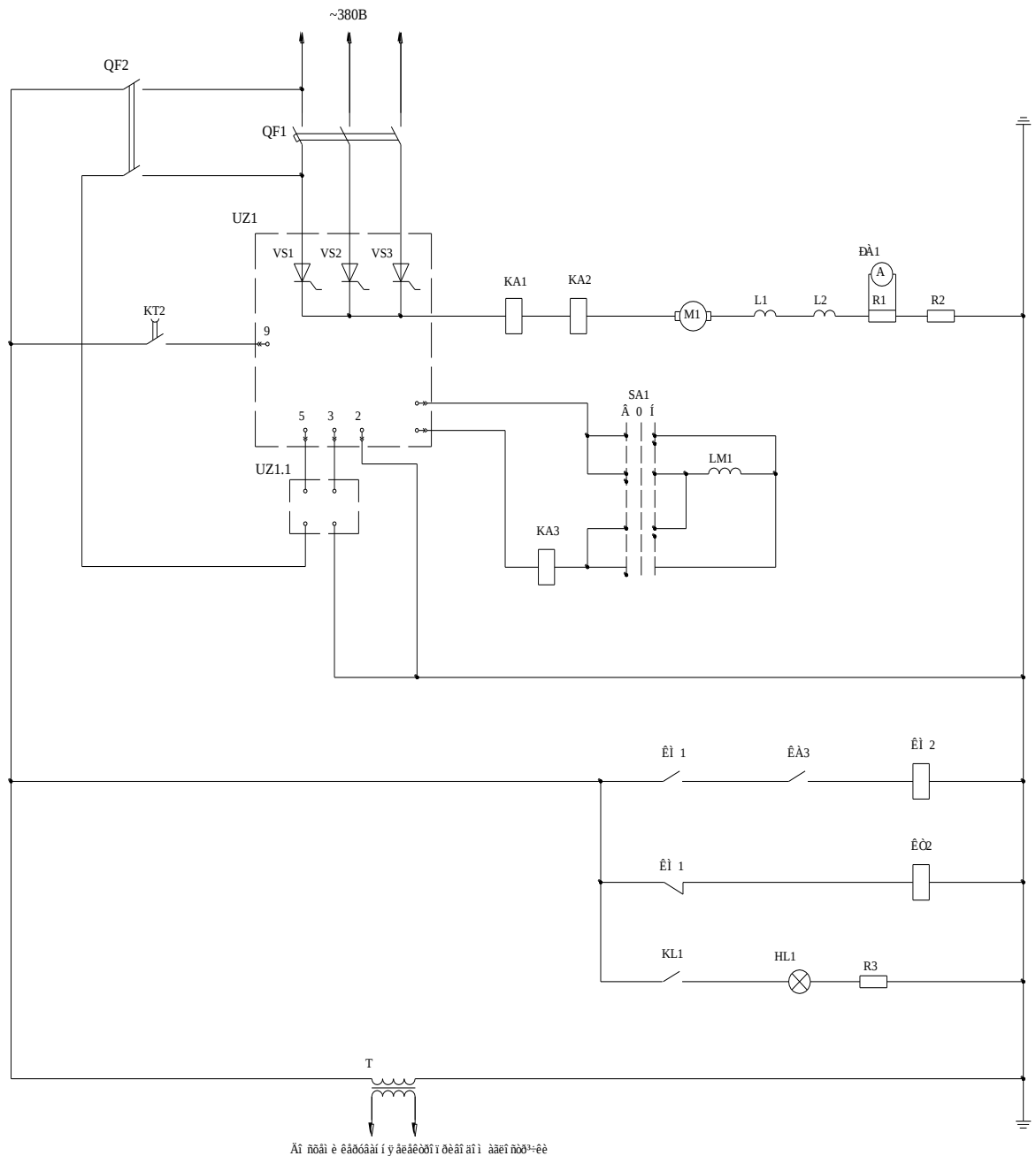


Рис. 1.3 Схема електрична принципова керування електроприводом аглострічки

Живлення коло якоря двигуна М1 отримує від тиристорного перетворювача UZ1. Обмотка збудження двигуна LM1 отримує живлення від цього ж перетворювача UZ1. Таким чином регулювання швидкості двигуна

аглострічки виконано двохзонним. Схема керування електродвигуном М1 зібрана на постійному струмі через трансформатор на відповідний діодний місток.

1.4 Постановка задачі модернізації та розробка основних вимог до проєктної системи

У даній кваліфікаційній роботі розглядається питання заміни двигуна постійного струму з живленням від тиристорного перетворювача (заводської розробки) на вітчизняний сучасний перетворювач частоти з асинхронним двигуном в рамках модернізації існуючої системи автоматизації.

Передбачувана заміна проілюстрована на рисунку 1.4. Тут показані основні вимірювані параметри існуючої системи й параметри, після введення в неї частотного електропривода.

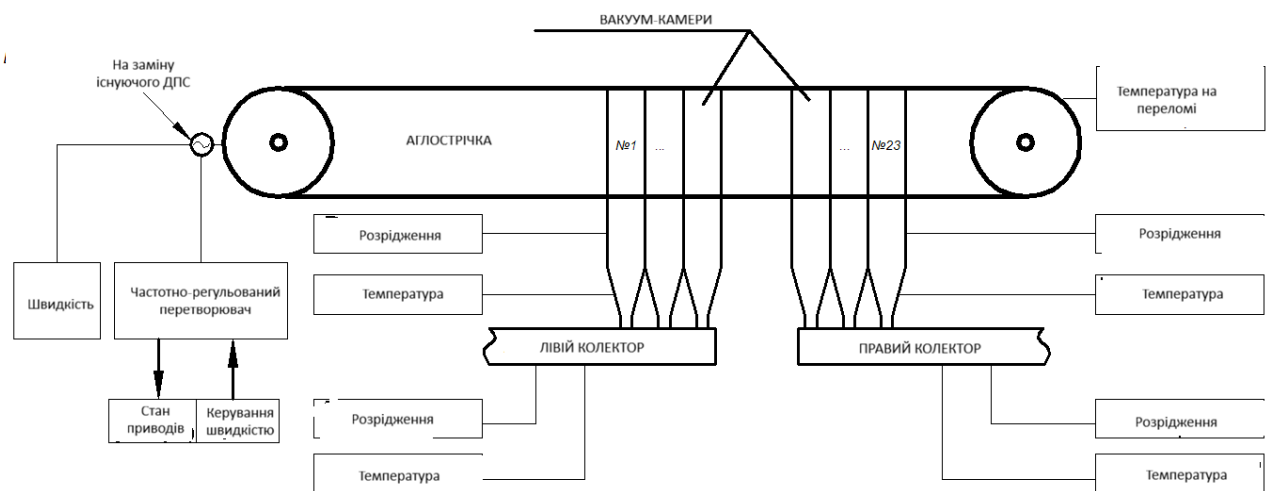


Рис. 1.4 Загальний вид підсистеми завантаження шихти

Залежність температури спікання T ($^{\circ}\text{C}$) від висоти шару аглошихти H (мм.) наведена на рисунку 1.5.

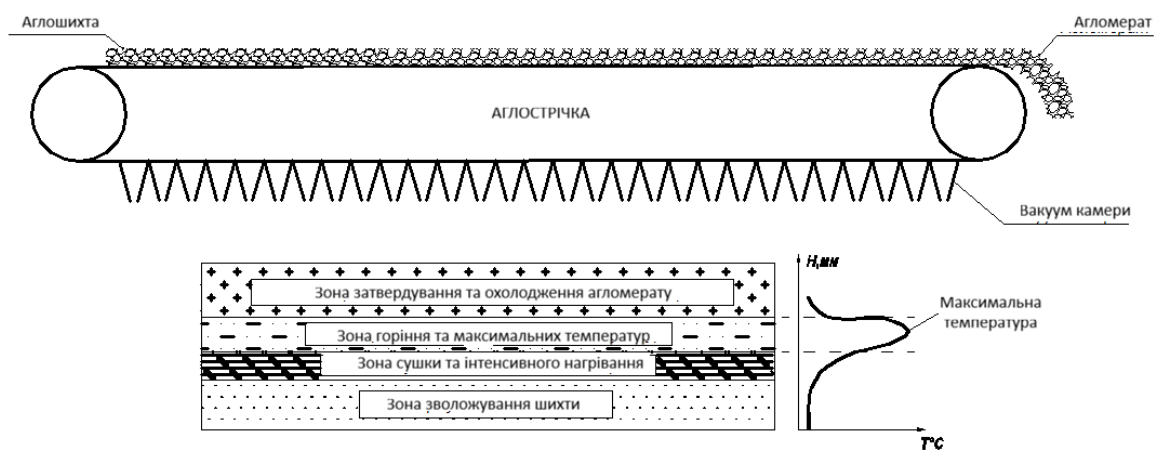


Рис. 1.5 Ілюстрація процесу спікання аглошихти

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Розробка та обґрунтування функціональної схеми електропривода аглострічки агломашини

На рисунку 2.1 наведений загальний вигляд кінематичної схеми аглострічки агломашини.

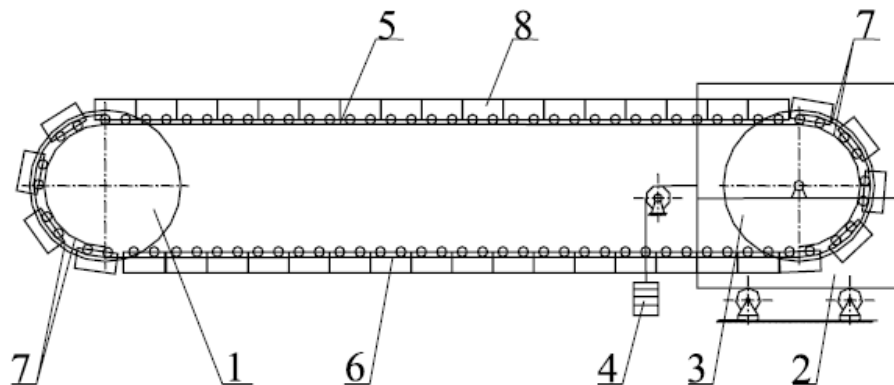


Рис. 2.1. Загальний вигляд кінематичної схеми аглострічкиагломащини:

1 – приводні зірочки; 2 – рухома завантажувальна частина;
3 – неспричинні зірочки; 4 – контрвантаж; 5 – верхні прямолінійні направляючі; 6 – нижні прямолінійні направляючі; 7 – радіусні направляючі;
8 – візки спікаючі

При проведенні модернізації у кваліфікаційній роботі проєкті кінематична схема залишається без змін, а зміні підлягає тільки двигун постійного струму незалежного збудження.

Порівняння економічних показників електроприводів постійного та змінного струмів показує, що у теперішній час електропривод змінного струму дешевше. Середня вартість електропривода змінного струму приблизно на 15% менша, ніж вартість електропривода постійного струму. Крім того двигуни постійного струму мають такі недоліки: наявність

щіточно-колекторного вузла; великі габаритні розміри та вартість закритого виконання двигуна. Асинхронні двигуни дешевше та простіше за конструкцією, їх вага на 35-65% менша, ніж у двигунів постійного струму. Їх легко виконати за ступенем захисту IP44, у той час як двигуни постійного струму мають ступінь захисту IP23.

Застосування електроприводів змінного струму дозволяє здійснювати роздільне регулювання сили струму, що створює момент та магнітного потоку. Такі асинхронні двигуни працюють з постійним моментом до номінальної швидкості та з постійною потужністю, коли швидкість перевищує номінальну. У сучасних електроприводах розповсюджені як системи керування з традиційними пропорційно-інтегральними (ПІ) та пропорційно-інтегрально-диференціальними (ПІД) регуляторами, так і системи, що використовують нові принципи керування: зі змінною структурою, ковзаючим режимом, зі спостерігачами стану та еталонними моделями.

Для отримання високих динамічних характеристик електропривід змінного струму виконують з векторним керуванням, яке реалізовано з застосуванням засобів мікропроцесорної техніки. Векторне керування електроприводів з асинхронними двигунами має таку перевагу як незалежне регулювання складових сили струму, що створюють потік та момент.

Системи керування двигунами змінного струму можна розділити на два типи: системи зовнішнього і внутрішнього керування.

У системах зовнішнього керування (рисунок 2.2, а) регулювання частоти f_s перетворювача ПЧ, що живить статор двигуна змінного струму М, здійснюється автономно через зовнішній пристрій системи керування СК, без залучення параметрів самого двигуна.

У системах внутрішнього (векторного) керування (рисунок 2.2,б) регулювання частоти f_s перетворювача ПЧ здійснюється через подачу на пристрій системи керування СК вимірюваних параметрів самого двигуна М,

а саме: кутової швидкості двигуна ω_d , кута повороту вала γ_p , просторового вектора напруги статора $\overline{U}_s$, або вектору потоку статора $\overline{\psi}_s$.

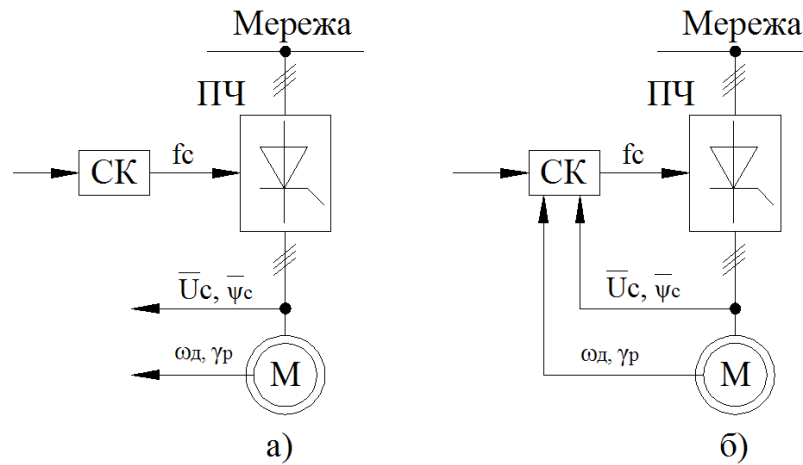


Рис. 2.2. Типи систем частотного керування двигунами

Якщо при частотному керуванні двигуном змінного струму оперувати в колах керування не реальними змінними двигуна, а з перетвореними до координатних осей, орієнтованих за полем двигуна, то можна окремо керувати магнітним потоком і моментом двигуна, маючи справу не зі змінними синусоїдними величинами, а з постійними перетвореними їхніми значеннями. Це дозволяє будувати систему керування двигуном змінного струму аналогічно як для двигуна постійного струму. Основою побудови таких систем векторного керування є інформація про стан просторового вектора потокозчеплення з повітряного проміжку та його модуля, виміряти який можна, наприклад, давачем Холла[1, 4].

У даній кваліфікаційній роботі для регулювання швидкості електропривода аглострічкиагломашины, попередньо обираємо тип системи керування за рисунком 2.2, б.

Обраний тип системи частотного керування можна зобразити у вигляді функціональної схеми привода (рисунок 2.3).

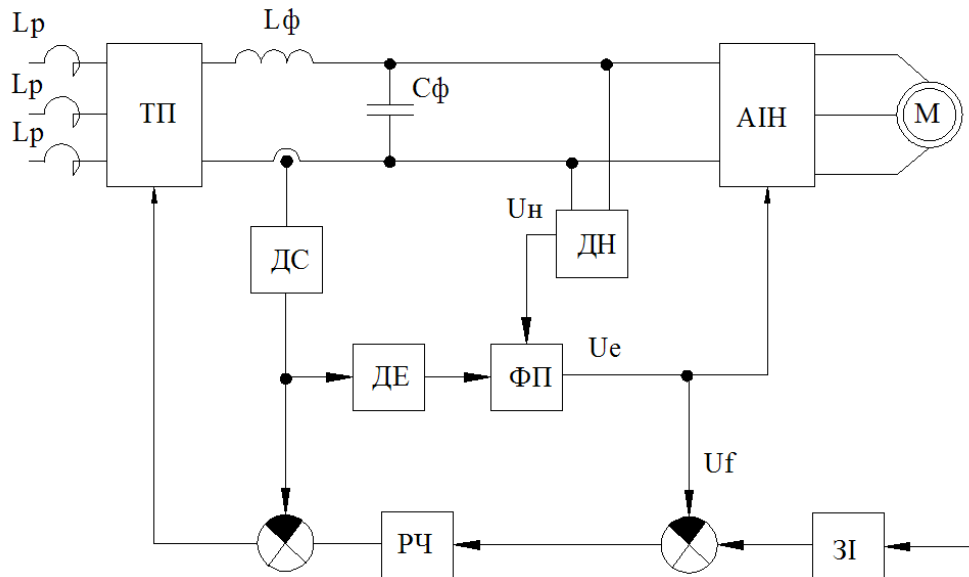


Рис. 2.3. Функціональна схема привода

В електроприводі перетворення частоти відбувається у два етапи: спочатку змінна напруга мережі випрямляється керованим тиристорним перетворювачем ТП у постійну напругу, потім постійна напруга за допомогою автономного інвертора напруги АІН перетворюється в змінну напругу необхідної частоти. У колі постійного струму встановлений фільтр L_f для згладжування пульсацій випрямленої напруги.

Підтримка постійного рівня потоку намагнічування асинхронного двигуна при різних частотах напруги здійснюється за допомогою підтримки відповідного співвідношення між рівнем напруги асинхронного двигуна і його частоти. Додатково, для врахування спадання напруги на активному опорі статора асинхронного двигуна, уведена IR -компенсація, тому в електроприводі підтримується співвідношення $(U - IR)/f = \text{const}$.

Система автоматичного регулювання складається із двох контурів: внутрішнього контуру струму й зовнішнього контуру частоти. З виходу регулятора струму РС керуюча напруга надходить на ТП, завдяки якому встановлюється необхідний рівень напруги в ланцюзі постійного струму. Із сигналів датчиків струму U_c і напруги U_n у колі постійного струму в датчику ЕРС ДЕ формується сигнал зворотного зв'язку по ЕРС U_e .

Функціональний перетворювач ФП забезпечує виконання умови $E/f = \text{const}$. Керуюча напруга U_f з його виходу використовується у якості сигналу зворотного зв'язку по частоті, і як, задаюча напруга, що встановлює частоту перемикання транзисторів АІН, тобто частоту напруги на виході перетворювача частоти. Для забезпечення роботи електропривода у всіх режимах на лінійній ділянці механічної характеристики, на виході системи автоматичного регулювання установлений задатчик інтенсивності ЗІ. Таким чином, ТП установлює рівень амплітуди напруги, а АІН - значення частоти напруги, що живить асинхронний двигун.

Обраний тип перетворювача дозволить плавно й у широких межах регулювати вихідну частоту. Істотною перевагою АІН є незалежність вихідної напруги від частоти й від моменту навантаження. Вихідна напруга визначається лише напругою живлення інвертора. Це спрощує формування необхідного закону частотного регулювання, особливо коли напруга регулюється тільки у функції частоти.

2.2 Вибір технічних засобів автоматизації та розрахунок параметрів системи автоматизованого керування силової частини та системи керування

2.2.1 Технічні засоби автоматизації

Система автоматизованого керування (САК) електроприводом аглострічки агломашины входить в існуючу підсистему АСК ТП – «керування режимом завантаження шихти на аглострічку».

Загалом, АСК ТП призначена для забезпечення ефективного функціонування агломашин АТ «НЗФ» шляхом автоматизованого обліку, контролю, аналізу, координації й регулювання основних параметрів процесу агломерації.

До складу АСК ТП агломашины входять наступні підсистеми:

- інформаційна;

- керування режимом зволоження шихти;
- керування режимом підігріву шихти в змішувачі-окомкувачі;
- керування режимом завантаження шихти на аглострічку;
- керування тепловим режимом початкової стадії спікання шихти;
- керування процесом спікання шихти;
- керування процесом охолодження агломерату;
- керування механізмами й устаткуванням.

Функції керування електроприводом аглострічки, що підлягають автоматизації:

- завантаження шихти на аглострічку;
- початкова стадія спікання;
- спікання агломерату;
- охолодження агломерату;
- підігрів шихти в змішувачі-окомкувачі (З/ПРО);
- зволоження шихти;
- подача води на трубу Вентурі;
- керування швидкістю руху аглострічки;
- підбір шихти, обмеження маси шихти в промбункері;
- зупинкаагломашин по температурі шихти під горном;
- зупинкаагломашин по температурі зламу агломерату;
- зупинкаагломашин по максимальному рівню шихти в промбункері.

У таблиці 2.1 наведено технічне забезпечення автоматизованої системи керування технологічним процесом (АСК ТП).

Таблиця 2.1

Технічне забезпечення існуючої АСК ТП

№ п/п	Найменування устаткування	Тип	Кіл.
1	2	3	4
1	Перетворювач вимірювальний	Сапфір 2204	38
2	Термопара	ТХА, ТХК	28
3	Вимірник рівня	FMU670	1
4	Силувимірювальний датчик	Д7ВДУ-10	1
5	Вимірювальний перетворювач температур	Ш71, Ш72, Ш703, Ш705	47

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4
6	Прилад вторинний вимірювальний	ПВИ-7	3
7	Блок діагностики	БД1	40
8	Витратомір	ВФС-ДМ	1
9	Термометр опору	ТСМ, ТСП	19
10	Конвеєрний ваговимірювач	17-78 ДСМ	1
11	Датчик частоти обертання	ВТВ-Н24	1
12	Пірометр чатичного випромінювання	Смотрич-7	1
13	Реле проміжне	РПУ-0, РП-21	23
14	Блоки трансформаторів	10Вт, ~220/=24У	15
15	Тиристорний регулятор	ЦЛІАМ	3
16	Тиристорний регулятор	ТВ400	1
17	Блок добування кореня	БИК	5
18	Вимірювальний тахоміст	ЦЛІАМ	1
19	Перетворювач феррорезонансний	ПФ	1
20	Перетворювач	Е857	2
21	Прилад для виміру температури	ТЭРА 50	1
22	Блок захисту	БСГ	11
23	Блок контролю вібрацій	ЦЛІАМ	1
24	Блок контролю вібрацій	ВСВ33	1
25	Накопичувач на магнітному диску	ПС 5501	1
26	Накопичувач на магнітній стрічці	СМ 5300	1
27	Термінал обчислювального зв'язку з об'єктом	СМ1634.169	1
28	Пристрій зовнішньої пам'яті на касетній магнітній стрічці	СМ5211.02	1
29	Робоче місце оператора-технолога	СМП1634.7801	2
30	Відеотермінал алфавітно-цифровий (ПО)	СМ7238.05	1
31	Відеотермінал алфавітно-цифровий (ПТО)	СМ7238.06	1
32	Пристрій печатки знакосинтезуючий	А6380	1
33	Модуль внутрисистемного зв'язку	А 723-7	3
34	Узгоджувач інтерфейсів ИУС/ИРПС	А 711-25	2
35	Узгоджувач інтерфейсів ИУС/32	А 711-30	3
36	Модуль введення дискретних сигналів	А 622-12	4
37	Модуль введення ініціативних сигналів	А 622-11/4	1
38	Модуль виводу дискретних сигналів	А 641-16	1
39	Лічильник імпульсних сигналів	А 623-4	6
40	Модуль гальванічної розв'язки	А 621-2/6	17
41	Модуль нормалізації	А 613-11/4	19
42	Модуль аналого-цифрового перетворення	А 611-21	2
43	Перетворювач вимірювальний груповий	А 614-7	8
44	Модуль комутації безконтактний	А 612-20	6
45	Задатчик струму	ДАС	8
46	Контролер обліку агломерату		1
47	Вологомір	Нейтрон-3	1
48	Контролер-концентратор дискретних сигналів		1
49	Робоча станція IBM PC/AT		3

Метою даної кваліфікаційної роботи є впровадження в існуючу АСК ТП агломащини частотного регульованого електроприводу аглострічки, керування швидкістю якою в цей час виконується схемою із двигуном постійного струму. Регулювання швидкості здійснюється у двох зонах. На агломащині, у теперішній час, функціонують такі підсистеми: керування режимом зволоження шихти; керування режимом підігріву шихти у змішувачі-окомкувачі; керування режимом завантаження шихти на аглострічку; керування тепловим режимом початкової стадії спікання шихти; керування процесом спікання шихти; керування процесом охолоджувача агломерату.

Вхідна інформація існуючої системи представлена аналоговими, числоімппульсними та дискретними сигналами:

- аналогові сигнали (0-5мА, 4-20мА);
- вхідні сигнали (0-5В);
- вхідні дискретні сигнали (+24В);
- вхідні числоімппульсні сигнали (+24В);
- вхідні аналогові сигнали (0-5мА);
- вхідні дискретні сигнали (+24В).

Структура локальної обчислювальної мережі представлена на рисунку 2.4. Локальна обчислювальна мережа (ЛОМ) АСК ТП АГЦ поєднує 18 робочих станцій на базі РС/АТ для передачі потоку технологічної інформації від об'єкта (агломащин, операторської) до користувача (клієнта) у складі заводської комп'ютерної мережі.

Доступ до технологічної інформації ЛОМ АСК ТП АГЦ визначений адміністратором мережі заводу. Відновлення даних файл-сервера здійснюється з інтервалом 1хв.

При виборі перетворювача частоти для електроприводу аглострічки слід врахувати такі вже існуючі – вхідні дискретні сигнали (+24В): готовність дискового живильника (1); стан дискового живильника (1); перевантаження

дискового живильника (1); аварійна зупинка дискового живильника (1); сигнали з барабанного живильника (4).

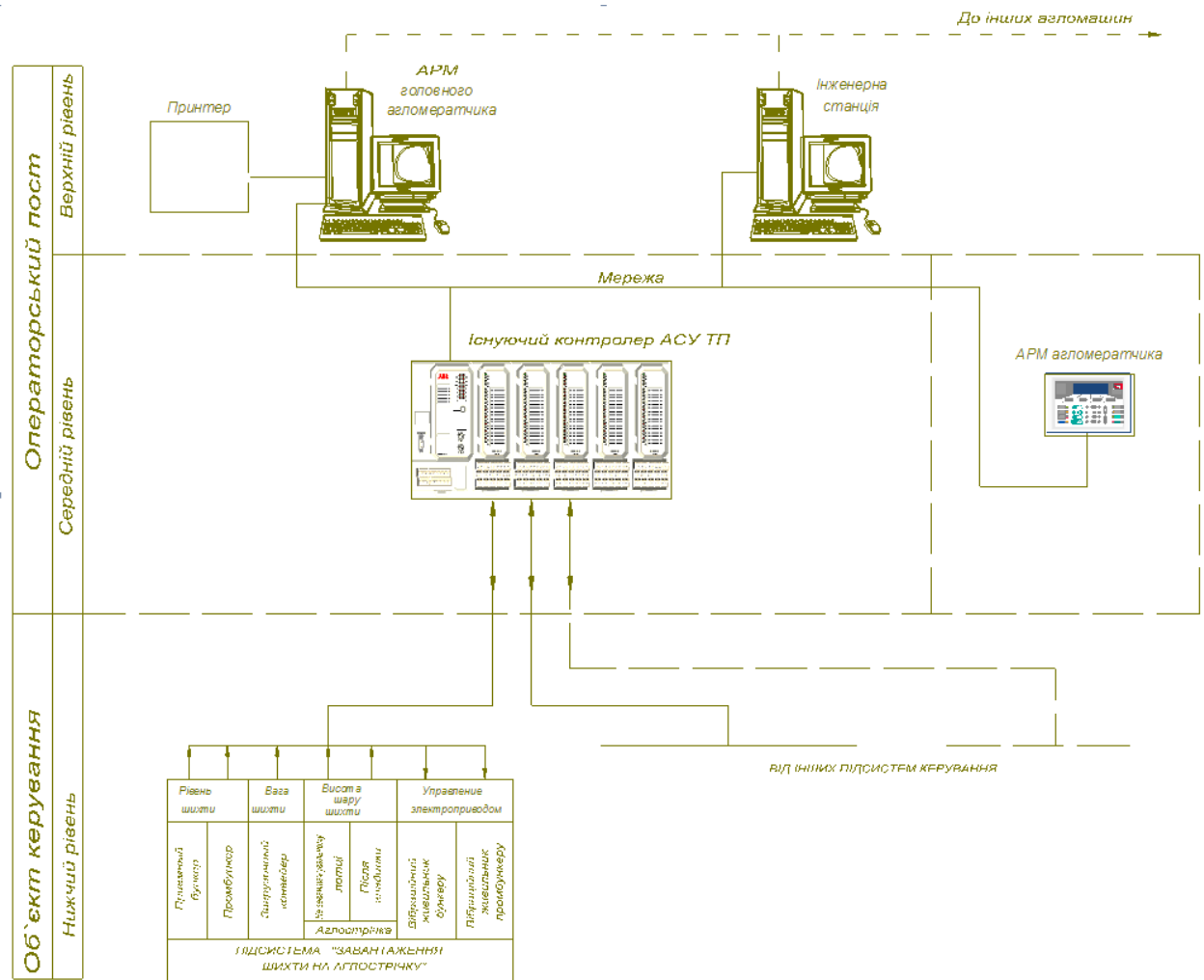


Рис. 2.4. Структура локальної обчислювальної мережі

Таким чином, при роботі частотного перетворювача повинні бути враховані 4 дискретних сигнали від дискового живильника, 4 дискретних сигнали від барабанного живильника та 1 аналоговий сигнал завдання руху аглострічки. Отже схему з'єднань перетворювач частоти UZ та асинхронного двигуна M1, наведено на рисунку 2.5.

ЛОМ виконує такі функції:

- безперервний вимір, обробка, оперативне відображення, реєстрація технологічних параметрів і показників стану устаткування у встановлених межах;

- оперативне відображення й реєстрація результатів математичних і логічних операцій, а також графіків оперативного використання певних параметрів за останні 40хв.;

- довгострокове зберігання (до п'яти діб) технологічної інформації з можливістю роздрукування звітних документів (екрана) з вибіркою будь-якого 8-годинного інтервалу доби.

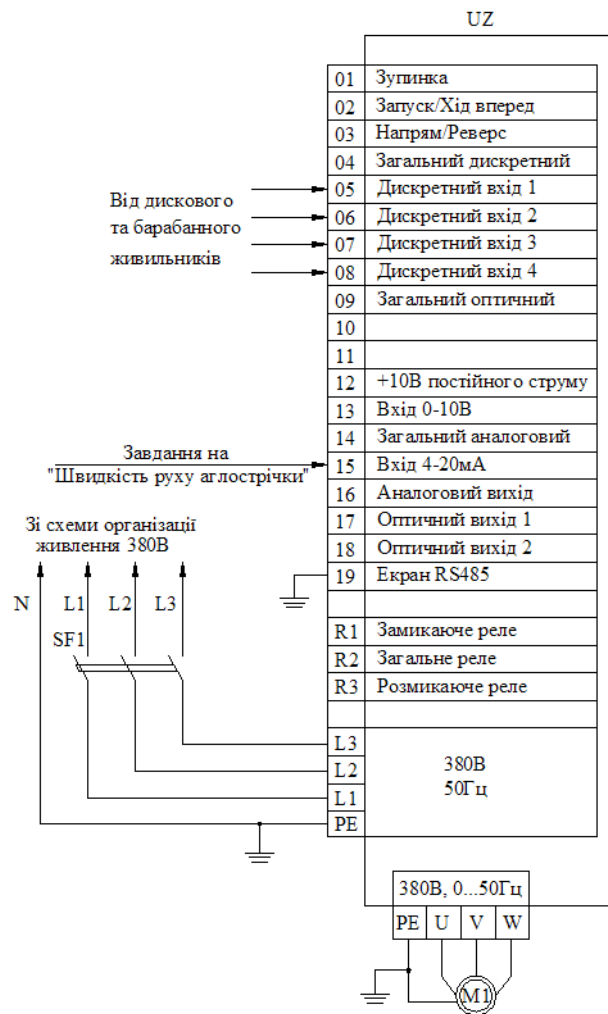


Рис. 2.5. Схема керування електроприводом аглострічки

2.2.2 Розрахунок силової частини системи керування, потужності та вибір електродвигуна аглострічки

Привод зубчастих коліс агломераційної машини здійснюється через систему шестеренних передач (рисунок 2.6).

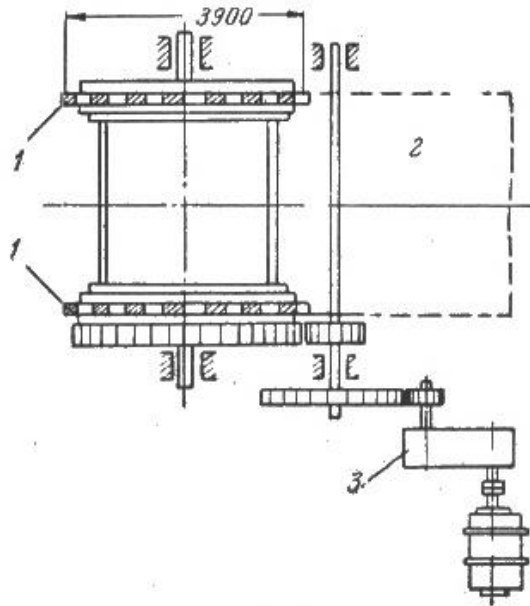


Рис. 2.6. Кінематична схема привода агломераційної машини:

1 – зубчасте колесо (зірка); 2 – спекальні візки;

3 – чотириступінчастий редуктор, $i=209$

Вихідні дані: спікальний візок – ширина $B_T=2\text{м}$; довжина $L_T=1\text{м}$; вага $m_{T.o.}=1,7\text{т}$ (без вантажу); діаметр катків $D_K=200\text{мм}$; діаметр цапфи $D_{ц.к.}=80\text{мм}$; кількість візків – завантажених $Z_T=25$, незавантажених на верхньому поясі (між зіркою та першим завантаженим візком) $Z_0=2$, незавантажених на півокружності зірки $Z_3=7$; висота прошарку шихти $H_{ш}=250\text{мм}$; вага зірки $m_3=2800\text{кг}$; діаметр цапфи зірки $D_{ц.з.}=280\text{мм}$; зовнішній діаметр зірки $D_3=3,9\text{м}$; середнє розрідження над візками $h=900\text{мм вод.ст.}$, або 8820 н/м^2 ; загальне передатне відношення від двигуна до зірки $i=2852$, швидкість машини – $1,4\text{-}4,2\text{ м/хв.}$

Регулювання швидкості у відношенні $4,2:1,4=3:1$ необхідне у зв'язку з можливою на практиці зміною часу спікання шихти при зміні її складу, вологості, температури повітря та інших умов [9].

Потужність приводного двигуна агломераційної машини визначається за статичним моментом опору руху. Динамічний момент можна не враховувати, оскільки машина працює тривало з постійною швидкістю. Сумарне статичне зусилля опору руху:

$$F = F_1 + F_{11}, \quad (2.1)$$

де F_I – сумарне статичне зусилля опору руху при пересуванні візків за напівокружністю зірки;

F_{II} – сумарне статичне зусилля опору руху при пересуванні візків за верхньою горизонтальною ділянкою.

Визначаємо силу тяжіння візка ($F_{T.o.}$) та зірки $F_{T.з.}$:

$$F_{T.o.} = m_{T.o.} \cdot g = 1700 \cdot 9,81 = 16700 \text{ Н}, \quad (2.2)$$

$$F_{T.з.} = m_{з.} \cdot g = 2800 \cdot 9,81 = 27500 \text{ Н}. \quad (2.3)$$

Силу тяжіння візків можна розкласти на дотичні та нормальні складові (рисунок 2.7):

$$T_2 = F_{T.o.} \cdot \sin 30^\circ = 16700 \cdot 0,5 = 8350 \text{ Н}, \quad (2.4)$$

$$T_3 = F_{T.o.} \cdot \cos 30^\circ = 16700 \cdot 0,86 = 14400 \text{ Н}, \quad (2.5)$$

$$T_3 = F_{T.o.} = 16700 \cdot 0,5 = 16700 \text{ Н}, \quad (2.6)$$

$$T_5 = T_3 = 14400 \text{ Н}, T_6 = T_2 = 8350 \text{ Н}, \quad (2.7)$$

$$N_1 = F_{T.o.} = 16700 \text{ Н}, \quad (2.8)$$

$$N_2 = F_{T.o.} \cdot \cos 30^\circ = 16700 \cdot 0,86 = 14400 \text{ Н}, \quad (2.9)$$

$$N_3 = F_{T.o.} \cdot \sin 30^\circ = 16700 \cdot 0,5 = 8350 \text{ Н}, \quad (2.10)$$

$$N_5 = N_3 = 8350 \text{ Н}, N_6 = N_2 = 14400 \text{ Н}, \quad (2.11)$$

$$N_7 = F_{T.o.} = 16700 \text{ Н}.$$

Зусилля:

$$F_I = F_{I-1} + F_{I-2} + F_{I-3}, \quad (2.12)$$

де F_{I-1} – зусилля опору підйому палет від додичних складових сили тяжіння візків;

F_{I-2} – зусилля тертя катків о направляючу раму;

F_{I-3} – зусилля тертя у цапфах зірки.

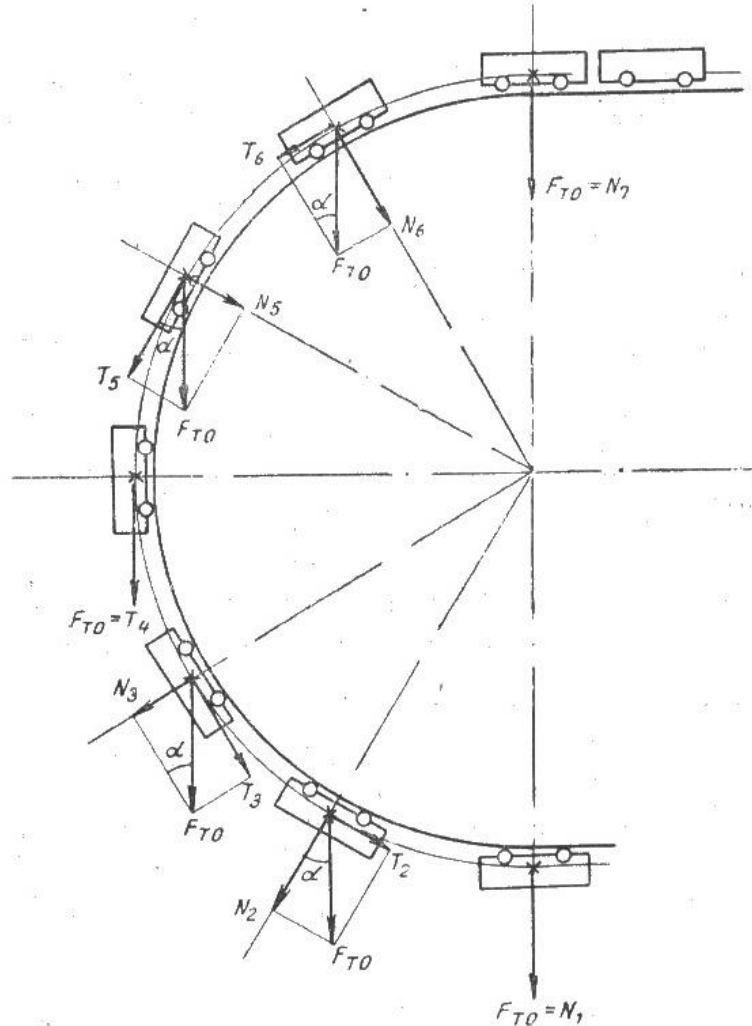


Рис. 2.7. Розрахункова схема діючих зусиль на зірки

Розрахункові формули вказаних складових:

$$F_{I-1} = k_1 \cdot (T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6), \quad (2.13)$$

$$F_{I-2} = \frac{(N_1 + N_2 + N_3) \cdot (\mu_k \cdot \frac{D_{п.к.}}{2} + \rho_k)}{D_k / 2}, \quad (2.14)$$

$$F_{I-3} = \frac{(N_5 + N_6 + N_7 + F_{T.3.}) \cdot \mu_3 \cdot \frac{D_{п.3.}}{2}}{D_3 / 2}, \quad (2.15)$$

де k_1 – коефіцієнт запасу, що враховує тертя ковзання вантажних роликів о зчеплення зірки, приймається 1,1;

$\mu_{\hat{e}}$ – коефіцієнт тертя о роликові підшипники катків, рівний 0,005;

μ_{ζ} – коефіцієнт тертя кочення катків о направляючу раму, рівний 0,08.

Підставивши числові значення у формули 2.13-2.15, отримаємо:

$$F_{I-1} = 1,1 \cdot (8350 + 14400 + 16700 + 14400 + 8350) = 68200 \text{ Н},$$

$$F_{I-2} = \frac{(16700 + 14400 + 8350) \cdot (0,05 \cdot \frac{8}{2} + 0,08)}{20 / 2} = 394,5 \text{ Н},$$

$$F_{I-3} = \frac{(8350 + 14400 + 16700 + 27500) \cdot 0,1 \cdot \frac{28}{2}}{390 / 2} = 480 \text{ Н}.$$

Сумарне зусилля:

$$F_I = 68200 + 394,5 + 480 = 69074,5 \text{ Н}.$$

Зусилля F_{II} :

$$F_{II} = F_{II-1} + F_{II-2}, \quad (2.16)$$

де F_{II-1} – складова сили тертя при переміщенні катків по рейками горизонтального шляху, що обумовлена тиском, що складає 0,75 від сумарного тиску (сила тяжіння візків, шихти та тиску повітря);

F_{II-2} – складова сили тертя ковзання полоз по рейкам, що обумовлена тиском, рівним 0,25 від сумарного тиску.

Розрахункові формули вказаних складових:

$$F_{II-1} = \frac{0,75 \cdot k_2 \cdot (F_{т.ш.} + F_B) \cdot (\mu_k - \frac{D_{ш.к.}}{2} + \rho_k)}{D_k / 2}, \quad (2.17)$$

$$F_{II-2} = 0,25 \cdot (F_{т.ш.} + F_B) \cdot \mu_{п}, \quad (2.18)$$

де k_2 – коефіцієнт запасу, що враховує бокові зусилля тертя реборд о рейки, рівний 1,2;

$F_{т.ш.}$ – сумарне зусилля тяжіння візків та шихти;

F_B – тиск повітря на шихту, що обумовлений розрідженням;

μ_i – коефіцієнт тертя полоз о рейки, рівний 0,1.

Величина $F_{т.ш.}$:

$$\begin{aligned} F_{т.ш.} &= F_{т.о.} \cdot (Z_r + Z_0) + B_t \cdot L_t \cdot H_{ш} \cdot \rho \cdot Z_r \cdot g \cdot 10^3 = \\ &= 16700 \cdot (25 + 2) + 2 \cdot 1 \cdot 0,25 \cdot 1,8 \cdot 25 \cdot 9,81 \cdot 10^3 = 672000 \text{ Н}, \end{aligned} \quad (2.19)$$

$$F_B = h \cdot B_t \cdot L_t \cdot Z_r = 8820 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 25 = 441000 \text{ Н}. \quad (2.20)$$

Підставивши числові значення у формули 2.17-2.18, отримаємо:

$$F_{II-1} = \frac{0,75 \cdot 1,2 \cdot (672000 + 441000) \cdot (0,005 - \frac{8}{2} + 0,08)}{20 / 2} = 10000 \text{ Н},$$

$$F_{II-2} = 0,25 \cdot (672000 + 441000) \cdot 0,1 = 25800 \text{ Н}.$$

Сумарне зусилля:

$$F_{II} = 10000 + 25800 = 35800 \text{ Н}.$$

Момент на валу двигуна:

$$M = \frac{(F_I + F_{II}) \cdot \frac{D_3}{2}}{i \cdot \eta}, \quad (2.21)$$

де η – ККД передачі для шести ступенів ($\eta = 0,94^6 = 0,7$).

Підставивши значення у формулу 2.21 отримаємо:

$$M = \frac{(69074,5 + 35800) \cdot \frac{3,9}{2}}{2852 \cdot 0,7} = 130 \text{ Нм.}$$

Максимальна швидкість двигуна $n_{\text{макс}}$, що відповідає швидкості машини, $v_{\text{макс}} = 4,2 \text{ об / хв}$:

$$n_{\text{макс}} = \frac{v_{\text{макс}} \cdot i}{\pi \cdot D_3} = \frac{4,2 \cdot 2852}{3,14 \cdot 3,9} = 980 \text{ об / хв.} \quad (2.22)$$

Потужність двигуна:

$$P = \frac{M \cdot n_{\text{макс}}}{9550} = \frac{130 \cdot 980}{9550} = 13,3 \text{ кВт.} \quad (2.23)$$

Обираємо асинхронний двигун з короткозамкненим ротором типу 4A160M4Y3 та його параметри зводимо до таблиці 2.2.

2.3 Розробка схеми автоматизації з врахуванням модернізації привода аглострічки

Крім встановлення частотного приводу на аглострічку, були змінені такі технічні засоби: встановлений ультразвуковий датчик E4PA-LS200-M1 з вимірювальним приладом K3MA-J-A2 (ТОВ «Техноімплекс», м. Черкаси),

для вимірювання висоти шару шихти на завантажувальному лотці та аглострічці; встановлений рівномірний ультразвуковий SID-330 («Expertronic», м. Київ), для вимірювання рівня шихти у бункері; встановлений датчик кута повороту E6C2-CWZ5B з цифровим вимірювачем K3NR-PB2A (ТОВ «Техноімплекс», м. Черкаси), для вимірювання швидкості аглострічки.

Схема автоматизації агломашини, з врахуванням встановлення частотно-регульованого приводу аглострічки, наведена на рисунку 2.8.

Тут присутні такі сигнали: 1 – рівень у бункері шихти; 2 – вага шихти на завантажувальному конвеєрі; 3 – рівень у промбункері; 4 – висота шару шихти на завантажувальному лотці;

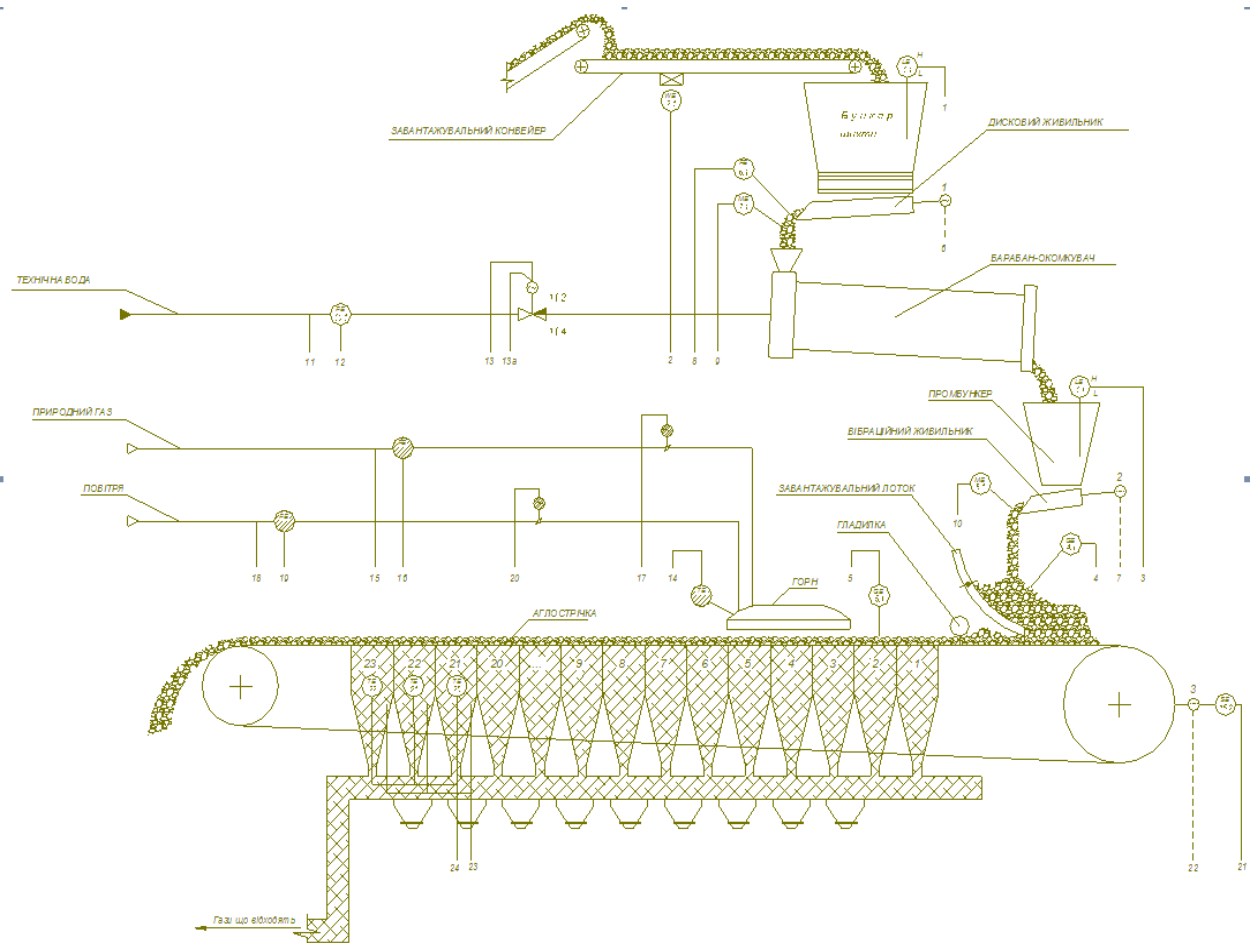


Рис. 2.8. Схема автоматизації агломашини

Схемою автоматизації (див. рисунок 2.8) передбачені такі сигнали: 5 – висота шару шихти на аглострічці; 6 – керування вібраційним живильником бункера шихти; 7 – керування вібраційним живильником промбункера; 8 – наявність шихти до барабану-окомкувача; 9 – вологість шихти до барабану

окомкувача; 10 – вологість шихти після барабану-окомкувача; 11 – вимірювання тиску технічної води; 12, 13, 13а – регулювання витрат технічної води; 14 – температура поверхні шихти під горном; 15 – вимірювання тиску природного газу; 16 – вимірювання витрат природного газу; 17 – регулювання витрат природного газу; 18 – вимірювання тиску повітря; 19 – вимірювання витрат повітря; 20 – регулювання витрат повітря; 21 – швидкість аглострічки; 22 – керування аглострічкою; 23 – розрідження у вакуум-камерах №21-23; 24 – температура у вакуум-камерах №21-23.

2.4 Розробка структурної схеми силової частини проєктованого привода системи автоматизації аглострічки агломашини

Двигун змінного струму обираємо, аналогічним за потужністю існуючого двигуна постійного струму типу Д32 У2, 18кВт, 1140 об/хв, з врахуванням розрахованої потужності за формулою 2.23. Параметри асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором наведені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Паспортні дані асинхронного двигуна 4А160М4У3

Величина, од. виміру	Значення
Номінальна потужність, P_n , кВт	18,5
ККД, η , %	87
$\cos\phi$, %	86
Синхронна частота обертів, n_0 , об/хв	1500
Момент інерції, кгм^2	0,47
Головний індуктивний опір, X_μ , відн.од	4,8
Активний опір обмотки статора, R'_1 , відн.од	0,021
Індуктивний опір обмотки статора, X'_1 , відн.од	0,08
Активний опір обмотки ротора, R''_2 , відн.од	0,015
Індуктивний опір обмотки ротора, X''_2 , відн.од	0,13

Як правило, номінальний лінійний струм двигуна змінного струму $I_{лн.}$, та повна потужність, яку споживає двигун $S_{ндв}$ розраховується за формулами:

$$I_{\text{ЛН}} = \frac{P_{\text{Н}} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ЛН}} \cdot \eta_{\text{Н}} \cdot \cos f_{\text{Н}}} = \frac{18,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,87 \cdot 0,86} = 37,6 \text{ А}, \quad (2.24)$$

$$S_{\text{НДВ}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{ЛН}} \cdot I_{\text{ЛН}} \cdot 10^{-3} = 1,73 \cdot 380 \cdot 37,6 = 24,72 \text{ кВА}, \quad (2.25)$$

де $P_{\text{Н}}$ – номінальна потужність двигуна;

$\eta_{\text{Н}}$ - номінальний ККД двигуна;

$\cos f_{\text{Н}}$ – номінальний коефіцієнт потужності двигуна

Вибір комплектного тиристорного перетворювача виконуємо за умовами:

$$U_{\text{Н}} \geq U_{\text{ЛН}}; I_{\text{Н}} \geq I_{\text{ЛН}}; S_{\text{Н}} \geq S_{\text{НДВ}}.$$

Вибираємо комплектний тиристорний електропривод серії ЕКТ2Р-63/380-200 УХЛ4 ВАТ «Завод силової електроніки» (м. Запоріжжя) з такими паспортними даними:

Номінальний струм – 63 А;

Номінальна потужність – 41,5кВА;

Діапазон регулювання частоти – (5÷240) Гц;

Робочий режим регулювання частоти – (15÷200) Гц;

Робочий діапазон регулювання напруги – (38÷340) В;

Потужність яка споживається – 45,2кВА;

$\cos f$ – 0,88;

ККД – 0,91.

2.5 Обґрунтування вибору алгоритму векторного керування для перетворювача частоти

Враховуючи те, що у теперішній час на аглострічці функціонує система тиристорний перетворювач – двигун постійного струму (ТП-ДПС), доцільним буде проведення аналогії між векторною системою керування асинхронним двигуном та системою керування двигуном постійного струму з незалежним збудженням [3,4].

Робота приводу при жорстких вимогах до швидкодії може бути забезпечена векторними системами керування. Саме ці системи дозволили досягти у приводі з асинхронним двигуном регульовальних властивостей, які раніше вважалися досяжними тільки у приводах з двигунами постійного струму незалежного збудження, і навіть перевершити їх.

Основні принципи векторного керування було розроблені у 70-х роках ХХ ст. Сьогодні у результаті фундаментальних теоретичних досліджень та успіхів у галузі силової напівпровідникової електроніки та мікропроцесорних систем розроблені електроприводи з векторним керуванням, що серійно випускаються електротехнічними фірмами всього світу [1, 2].

Якщо під скалярним регулюванням швидкості у асинхронному двигуні прийнято таке регулювання, при якому у якості змінних у системі використовуються ефективні значення напруг, струмів та потужностей, а самі ці величини вважаються скалярними, то в основі векторного керування покладено уяву, о цих величинах, як о просторових векторах. Можна зауважити, що скалярне керування базується на залежностях, що покладені у заступній схемі асинхронного двигуна, а векторне керування – на відповідних структурних схемах.

Наглядне уявлення о різниці між скалярним і векторним керуванням дано у роботі на основі розгляду ІР-компенсації. Аналогія з двигуном постійного струму стає ще більш очевидною, якщо у перетворювачі, від якого отримує живлення двигун, за допомогою швидкодіючих струмових

контурів, формуються складові струму статора у обертаючій системі координат $\alpha - \beta$. На рисунку 2.9, а наведена частина структурної схеми, що ілюструє процес формування електромагнітного моменту у цьому випадку, а на рисунку 2.9,б – схема формування електромагнітного моменту у двигуні постійного струму з незалежним збудженням.

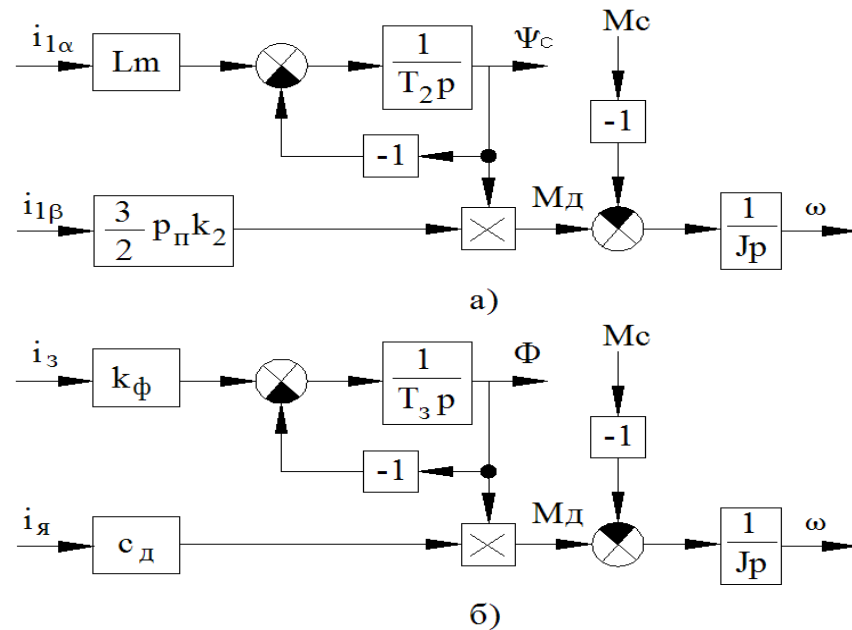


Рис. 2.9 Порівняння структури асинхронного двигуна при векторному керуванні (а) з структурою двигуна постійного струму незалежного збудження (б).

Тут k_{δ} – коефіцієнт, що пов'язує у лінеаризованому опису двигуна постійного струму потік збудження Φ зі струмом збудження i_c . Складова струму статора асинхронного двигуна $i_{1\alpha}$ у приводі з векторним керуванням відіграє ту саму роль, що і струм збудження у машині постійного струму, постійна часу ротору T_2 еквівалентна постійній часу збудження T_c , а коефіцієнт $3\delta_i k_2 / 2$ відповідає машинній постійній двигуна постійного струму c_a .

2.6 Математичний опис системи векторного керування асинхронним електроприводом

Виконаємо розрахунок параметрів заступної схеми асинхронного двигуна.

$$R_1 = 0,021; R_2 = 0,015; X_1 = 0,08; X_2 = 0,13; X_\mu = 4,8$$

Перехід від системи відносних одиниць:

$$Z_\phi = \frac{U_\phi}{I_\phi} = \frac{220}{37,6} = 5,85 \text{ Ом}, \quad (2.26)$$

$$r_1 = R_1 \cdot Z_\phi = 0,021 \cdot 5,85 = 0,12 \text{ Ом}, \quad (2.27)$$

$$x_1 = X_1 \cdot Z_\phi = 0,08 \cdot 5,85 = 0,47 \text{ Ом}, \quad (2.28)$$

$$r_2 = R_2 \cdot Z_\phi = 0,015 \cdot 5,85 = 0,088 \text{ Ом}, \quad (2.29)$$

$$x_2 = X_2 \cdot Z_\phi = 0,13 \cdot 5,85 = 0,76 \text{ Ом}, \quad (2.30)$$

$$x_\mu = X_\mu \cdot Z_\phi = 5,85 \cdot 1,62 = 9,45 \text{ Ом}. \quad (2.30)$$

Наведені на рисунках 2.10-2.11 змінні розраховуються виходячи з параметрів двигуна (таблиця 2.2).

Кутова частота мережі живлення:

$$\omega_o = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ с}^{-1} \quad (2.32)$$

Кутова максимальна швидкість двигуна:

$$\omega_{\max} = \frac{\pi \cdot n_o}{30} = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157 \text{ с}^{-1} \quad (2.33)$$

Кількість пар полюсів електродвигуна $p_n = 2$.

Індуктивність розсіювання обмотки статора:

$$L_{1\delta} = \frac{x_1}{\omega_o} = \frac{0,47}{314} = 0,0015 \text{ Гн.} \quad (2.34)$$

Індуктивність розсіювання обмотки ротора:

$$L_{2\delta} = \frac{x_2}{\omega_o} = \frac{0,76}{314} = 0,0024 \text{ Гн.} \quad (2.35)$$

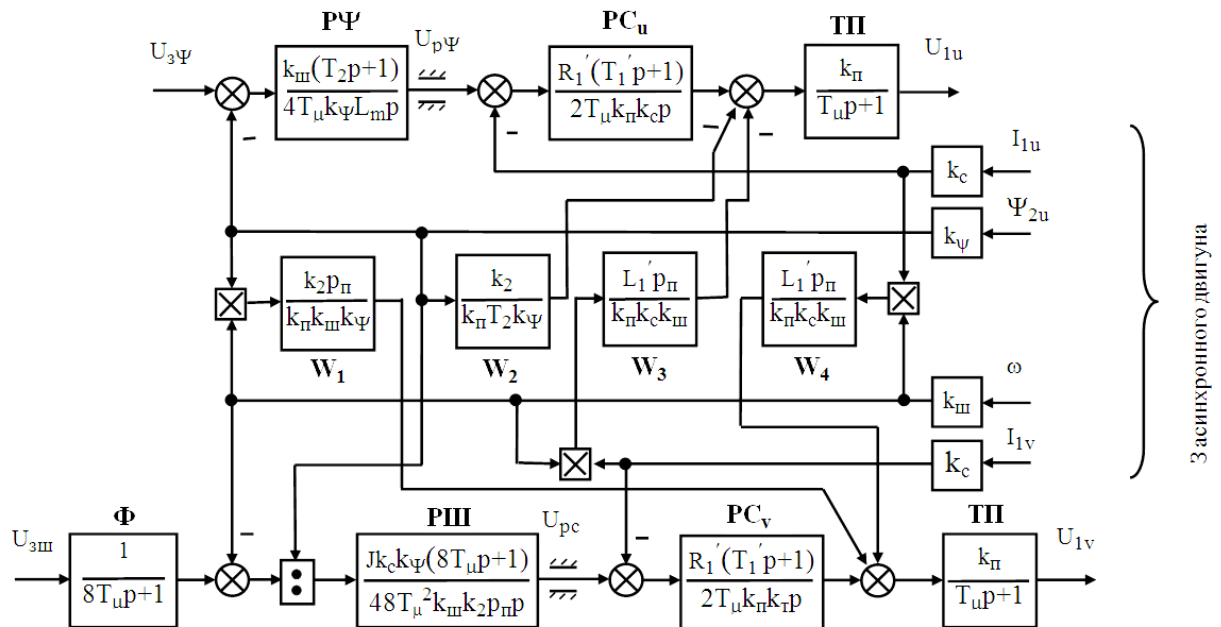


Рис. 2.10. Структурна схема векторної системи керування асинхронним двигуном

Максимальна взаємна індуктивність між обмотками статора та ротора:

$$L_m = \frac{x_\mu}{\omega_o} = \frac{9,45}{314} = 0,03 \text{ Гн.} \quad (2.36)$$

Загальна індуктивність обмотки статору:

$$L_1 = L_{1\delta} + L_m = 0,0015 + 0,03 = 0,0315 \text{ Гн.}$$

(2.37)

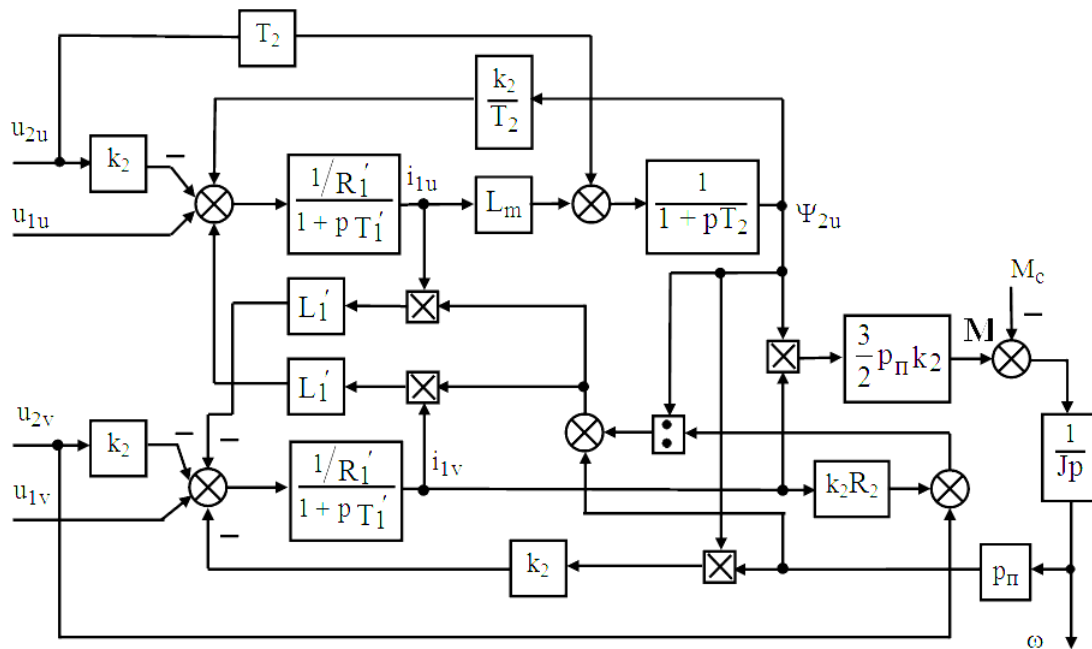


Рис. 2.11. Структурна схема асинхронного двигуна

Загальна індуктивність обмотки ротору:

$$L_2 = L_{2\delta} + L_m = 0,0024 + 0,03 = 0,0324 \text{ Гн.}$$

(2.38)

Коефіцієнт електромагнітного зв'язку ротору:

$$k_2 = \frac{L_m}{L_2} = \frac{0,03}{0,0324} = 0,93.$$

(2.39)

Еквівалентна індуктивність розсіювання двигуна:

$$L_1' = L_{1\delta} + k_2 \cdot L_{2\delta} = 0,0015 + 0,93 \cdot 0,0024 = 0,0037 \text{ Гн.}$$

(2.40)

Еквівалентний активний опір двигуна:

$$R_1' = r_1 + k_2 \cdot r_2 = 0,012 + 0,93 \cdot 0,088 = 0,094 \text{ Ом.}$$

(2.41)

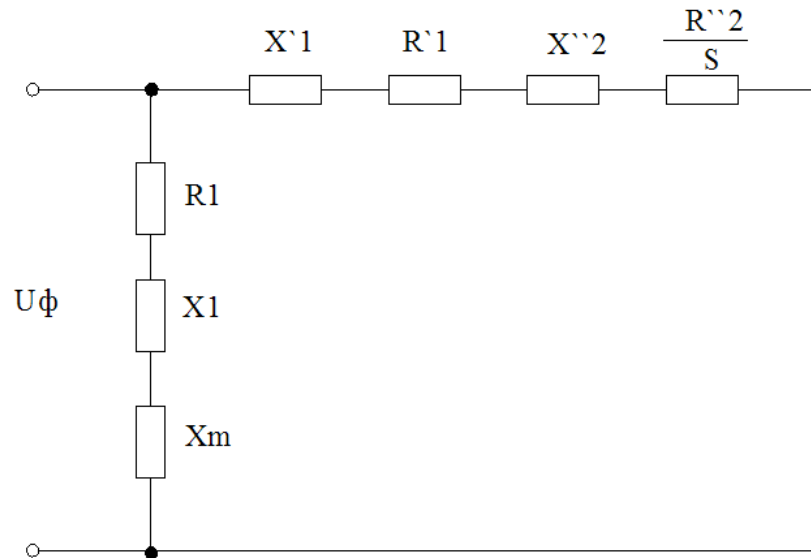


Рис. 2.12. Заступна схема асинхронного двигуна

Еквівалентна електромагнітна стала часу обмотки статора:

$$T_1' = \frac{L_1'}{R_1'} = \frac{0,0037}{0,094} = 0,039 \text{ с.} \quad (2.42)$$

Еквівалентна електромагнітна стала часу обмотки ротора:

$$T_2 = \frac{L_2}{r_2} = \frac{0,0324}{0,088} = 0,37 \text{ с.} \quad (2.43)$$

Номінальне потокозчеплення двигуна:

$$\begin{aligned} \psi &= \frac{I_{\text{лн}}}{1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{нф}} \cdot p_n \cdot k_2} = \\ &= \frac{37,6}{1,5 \cdot 1,41 \cdot 37,6 \cdot 2 \cdot 0,93} = 0,25 \text{ Вб.} \end{aligned} \quad (2.44)$$

Максимальна напруга у системі керування: $U_{\text{стах}} = 10\text{В}$.

Коефіцієнт передачі датчика струму:

$$k_c = \frac{U_{c \max}}{\sqrt{2} \cdot 2 \cdot I_{\text{нф}}} = \frac{10}{1,41 \cdot 2 \cdot 37,6} = 0,094 \frac{\text{В}}{\text{А}}. \quad (2.45)$$

Коефіцієнт передачі датчика потокозчеплення:

$$k_\psi = \frac{U_{c \max}}{\psi} = \frac{10}{0,25} = 40 \frac{\text{В}}{\text{Вб}}. \quad (2.46)$$

Постійна часу силового перетворювача: $T_\mu = 0,0005 \text{ с}$.

Розрахуємо передатні функції, що наведені на рис. 2.10-2.11.

Ланка зв'язку W1:

$$\frac{k_2 \cdot p_\pi}{k_\pi \cdot k_{\text{ш}} \cdot k_\psi} = \frac{0,93 \cdot 2}{31,02 \cdot 0,032 \cdot 40} = 0,047. \quad (2.47)$$

Ланка зв'язку W2:

$$\frac{k_2}{k_\pi \cdot T_2 \cdot k_\psi} = \frac{0,93}{31,02 \cdot 0,37 \cdot 40} = 0,002. \quad (2.48)$$

Ланка зв'язку W3:

$$\frac{L'_1 \cdot p_\pi}{k_\pi \cdot k_c \cdot k_{\text{ш}}} = \frac{0,0037 \cdot 2}{31,02 \cdot 0,094 \cdot 0,032} = 0,079. \quad (2.49)$$

Ланка зв'язку W4:

$$\frac{L'_1 \cdot p_\pi}{k_\pi \cdot k_c \cdot k_{\text{ш}}} = \frac{0,0037 \cdot 2}{31,02 \cdot 0,094 \cdot 0,032} = 0,079. \quad (2.50)$$

Ланка $P\Psi$:

$$\begin{aligned} \frac{k_c \cdot (T_2 \cdot p + 1)}{4 \cdot T_\mu \cdot k_\psi \cdot L_m \cdot p} &= \frac{0,094 \cdot (0,37 \cdot p + 1)}{4 \cdot 0,0005 \cdot 40 \cdot 0,03 \cdot p} = \\ &= 39,2 \cdot \frac{0,37 \cdot p + 1}{p}. \end{aligned} \quad (2.51)$$

Ланка PT_u :

$$\begin{aligned} \frac{R_1' \cdot (T_1' p + 1)}{2 \cdot T_\mu \cdot k_\pi \cdot k_c \cdot p} &= \frac{0,094 \cdot (0,039p + 1)}{2 \cdot 0,0005 \cdot 31,02 \cdot 0,094 \cdot p} = \\ &= 32,24 \cdot \frac{0,039p + 1}{p}. \end{aligned} \quad (2.52)$$

Ланка Φ :

$$\frac{1}{8 \cdot T_\mu \cdot p + 1} = \frac{1}{8 \cdot 0,0005p + 1} = \frac{1}{0,004p + 1}. \quad (2.53)$$

Ланка $\frac{k_2}{T_2}$:

$$\frac{k_2}{T_2} = \frac{0,93}{0,37} = 2,51. \quad (2.54)$$

Ланка $P\Pi$:

$$\begin{aligned}
& \frac{J \cdot k_c \cdot k_\psi \cdot (8 \cdot T_\mu \cdot p + 1)}{48 \cdot T_\mu^2 \cdot k_{ш} \cdot k_2 \cdot p_n \cdot p} = \\
& = \frac{0,47 \cdot 0,094 \cdot 40 \cdot (8 \cdot 0,0005p + 1)}{48 \cdot 0,0005^2 \cdot 0,032 \cdot 0,93 \cdot 1 \cdot p} = \\
& = 676236,98 \cdot \frac{0,004p + 1}{p}.
\end{aligned} \tag{2.55}$$

$$\text{Ланка } k_2 \cdot r_2:$$

$$k_2 \cdot r_2 = 0,93 \cdot 0,088 = 0,082. \tag{2.56}$$

$$\text{Ланка } \frac{3}{2} \cdot p_n \cdot k_2:$$

$$\frac{3}{2} \cdot p_n \cdot k_2 = \frac{3}{2} \cdot 2 \cdot 0,93 = 2,79. \tag{2.57}$$

$$\text{Ланка } \frac{1}{1 + T_2 \cdot p}:$$

$$\frac{1}{J \cdot p} = \frac{1}{0,47 \cdot p} = 2,13 \cdot \frac{1}{p}. \tag{2.58}$$

$$\text{Ланка } \frac{1}{1 + T_2 \cdot p}:$$

$$\frac{1}{1 + T_2 \cdot p} = \frac{1}{1 + 0,37 \cdot p}. \tag{2.59}$$

$$\text{Ланка } \frac{1/R_1}{1 + T_1 p}:$$

$$\frac{1/R_1}{1+T_1p} = \frac{1/0,094}{1+0,039p} = \frac{10,64}{0,039p+1}. \quad (2.60)$$

2.7 Складання математичної моделі САК електроприводом аглострічки

Структурна схема моделі асинхронного двигуна засобами Simulink наведена на рисунку 2.13, яка зібрана згідно з розрахованою структурною схемою асинхронного двигуна (рис.2.10) [7].

На рис.2.13 прийнято наступні позначення: 10, 17, 20, 30 - блоки додавання та віднімання; 12, 14, 21, 24 - блоки множення; 22 - блок помноження та ділення; 9, 15 - блоки вхідних значень напруг u_{1u} , u_{1v} , із системи керування двигуном (рис.2.15); 3, 19 - блоки вихідних значень струмів i_{1u} , i_{1v} у систему керування двигуном; 5 - блок завдання вихідного значення вектора потокозчеплення Ψ_{2u} ; 6 - блок масштабу потокозчеплення; 26 - блок масштабу моменту; 27 - блок масштабу швидкості; 28 - блок вихідного значення швидкості; 29 - завдання моменту опору із системи керування; 11, 13 - блоки завдання еквівалентної індуктивності розсіювання двигуна; 34 - блок завдання максимальної взаємної індуктивності між статором і ротором; 18 - блок завдання коефіцієнту електромагнітного зв'язку ротору; 2, 16 - передатна функція ланки $(1/R_1)/(1+T_1p)$; 23 - передатна функція ланки $k_2 \cdot r_2$; 25 - передатна функція ланки $(3/2) \cdot \delta_i \cdot k_2$; 31, 32 - передатна функція ланки $1/(Jp)$; 4 - передатна функція ланки k_2/T_2 ; 33 - блок завдання кількості пар полюсів асинхронного двигуна δ_i ; 8 - засіб відображення перехідних процесів (осцилограф); 7 - блок об'єднання сигналів, для їхнього наступного відображення на осцилографі 8.

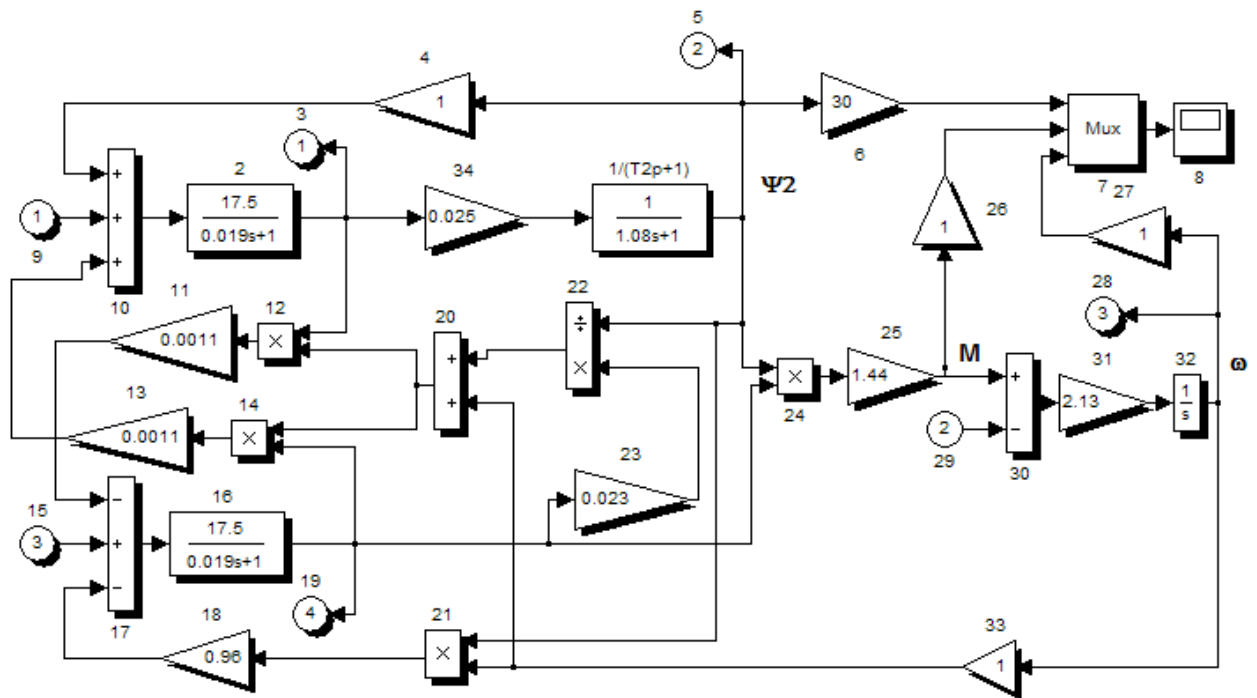


Рис. 2.13. Структурна схема моделі асинхронного двигуна

Структурна схема моделі системи векторного керування асинхронним двигуном наведена на рисунку 2.14, а структурна схема моделі асинхронного двигуна відповідно на рис.2.11. На рис.2.14 модель асинхронного двигуна об'єднана у окрему підсистему (блок 11).

На структурній схемі (рис. 2.11) прийняті наступні позначення блоків:

- 1 - блок завдання потокозчеплення; 2 - передатна функція $(k_c \cdot (T_2 p + 1)) / (4 \cdot T_\mu \cdot k_\psi \cdot L_m \cdot p)$ контуру потокозчеплення; 3, 22 - блоки підсистем регуляторів струму $(R_1' \cdot (T_1 p + 1)) / (2 \cdot T_\mu \cdot k_i \cdot k_c p)$; 4, 7, 17, 19 - блоки передатних функцій ланок W1-W4; 11 - блок підсистеми моделі асинхронного двигуна, модель якого зображена на рис.2.11. 9, 15 - вхідні сигнали напруг u_{1u} , u_{1v} , 29 - вхідне значення моменту опору, 3, 19 - вихідні значення струмів i_{1u} та i_{1v} , 5 - вихідне значення потокозчеплення, 28 - вихідне значення швидкості; 10 - блок завдання моменту опору; 6, 24 - передатна функція тиристорного перетворювача; 5, 23 - блоки додавання та віднімання; 13, 16, 18 - блоки множення; 9, 12 - коефіцієнти регулятору

струму k_c ; 14 – коефіцієнт підсилення регулятора швидкості k_θ ; 21 – підсистема регулятора швидкості.

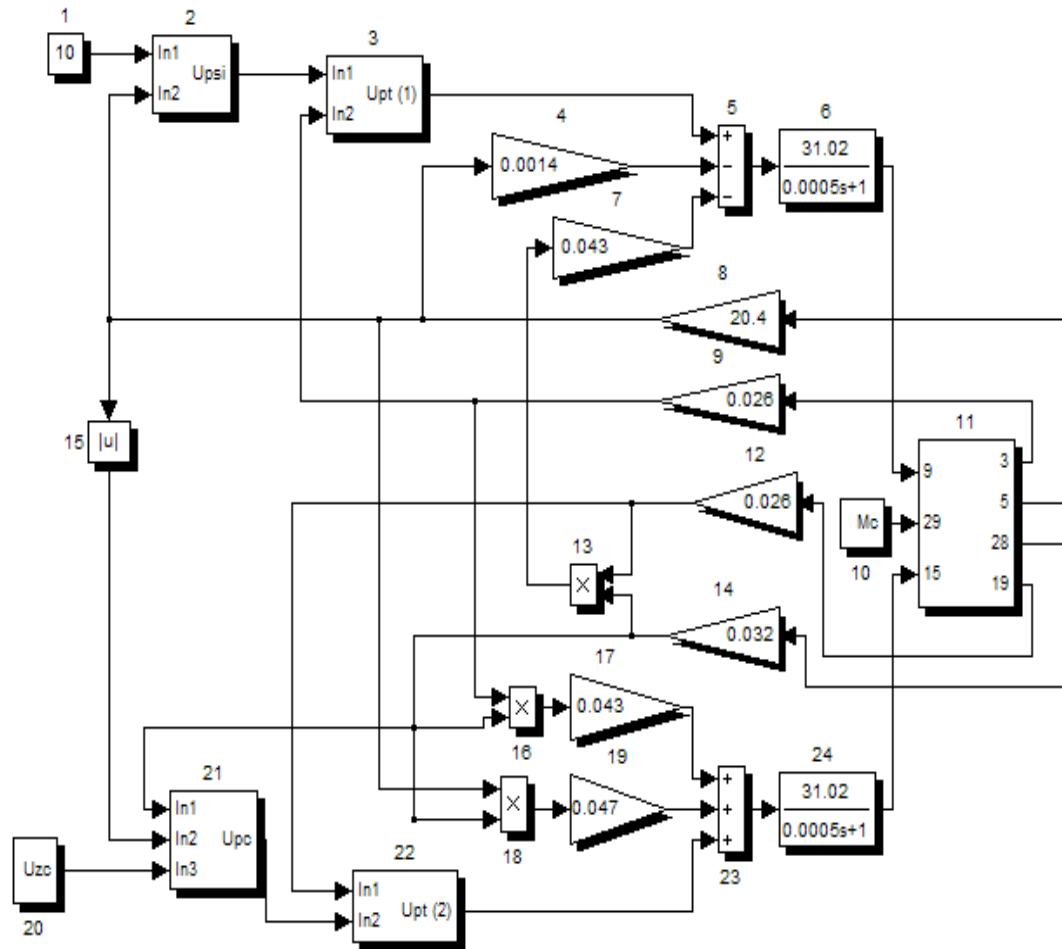


Рис. 2.14. Структурна схема моделі системи векторного керування асинхронним двигуном

Таким чином ми розділили канали керування швидкістю та потокозчепленням. Об'єкт керування характеризується наявністю нелінійних перехресних зв'язків між каналами керування. Для їх компенсації у систему автоматичного регулювання введені нелінійні зв'язки, що відтворюють функціональні залежності, зворотні залежностям об'єкта керування. Цим забезпечено задані динамічні характеристики системи автоматичного регулювання, а в деяких випадках і її стійкість.

Силовий перетворювач представлений двома безперервними аперіодичними ланками у системі відліку, що пов'язана з вектором потокозчеплення ротора. Цьому у електроприводі немає необхідності

здійснювати пряме та звороте перетворення координат, яке присутнє у реальному електроприводі.

Структурна схема моделі контуру струму наведена на рисунку 2.15.

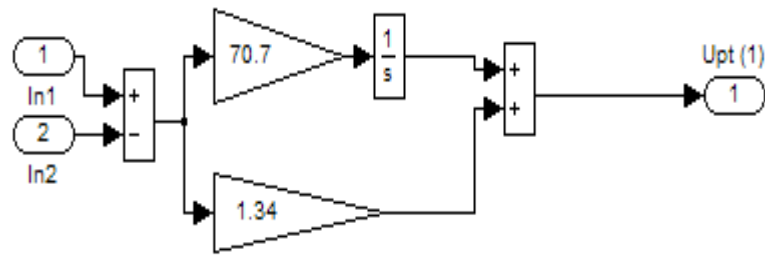


Рис. 2.15. Структурна схема моделі контуру струму

Структурна схема моделі контуру швидкості наведена на рисунку 2.16

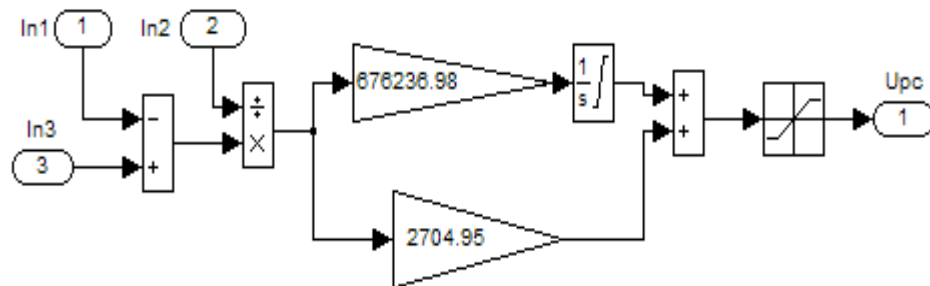


Рис. 2.16. Структурна схема моделі контуру швидкості

Структурна схема моделі контуру потокозчеплення наведена на рисунку 2.17.

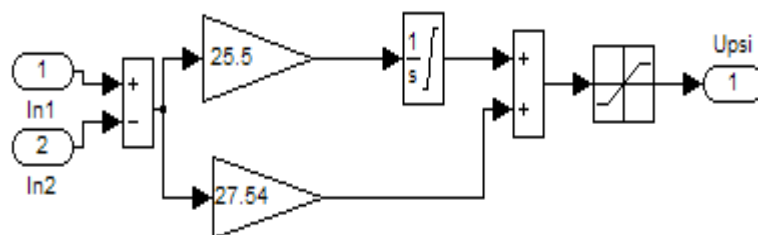


Рис. 2.17. Структурна схема моделі контуру потокозчеплення

Графіки зміни струму та швидкості при номінальному навантаженні наведені на рисунку 2.18, а при 50% навантаження – на рисунку 2.19.

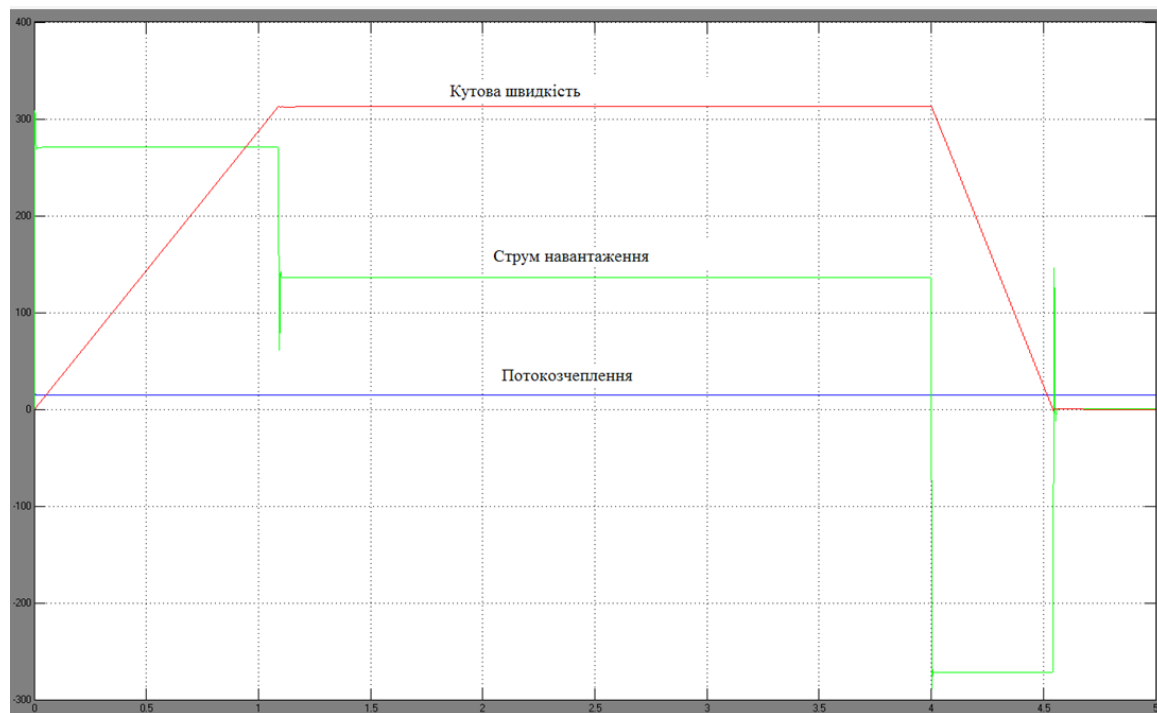


Рис. 2.18. Графіки перехідних процесів пуску асинхронного двигуна з номінальним навантаженням

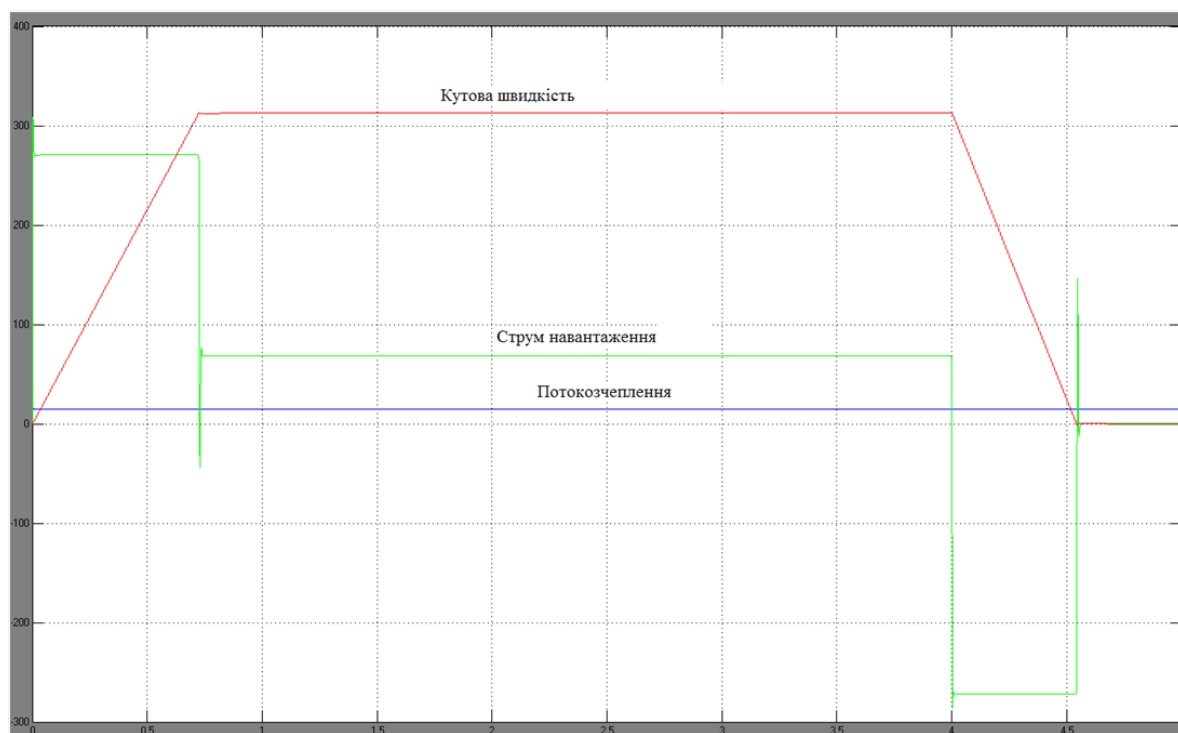


Рис. 2.19. Графіки перехідних процесів пуску асинхронного двигуна з 50% номінального навантаження

У даному розділі кваліфікаційної роботи була отримана математична модель електропривода аглострічки агломашины, яка дозволяє проводити дослідження процесів пуску електропривода данного механізму з отриманням графіків перехідних процесів за струмом на обмотці статора двигуна та кутовою швидкістю у часі.

2.8 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів при експлуатації агломашины

Агломераційне виробництво належить до технологічних процесів підвищеної складності, які характеризуються значною кількістю механічного, електротехнічного та теплотехнічного обладнання. Під час експлуатації агломашины на працівників впливає комплекс небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які можуть призвести до погіршення стану здоров'я, виникнення професійних захворювань або виробничого травматизму. Тому своєчасне виявлення таких факторів та впровадження відповідних захисних заходів є важливою складовою забезпечення безпечних умов праці.

Одним із найбільш небезпечних факторів є наявність рухомих частин технологічного обладнання. У процесі роботи агломашины здійснюється безперервне переміщення аглострічки, приводних барабанів, роликів, редукторів та інших механізмів. Під час виконання технологічних операцій або ремонтних робіт працівники можуть перебувати поблизу рухомих вузлів, що створює ризик затягування одягу, травмування кінцівок або отримання механічних пошкоджень. Особливо небезпечними є ділянки приводних станцій та місця контакту стрічки з барабанами.

Важливим фактором виробничої безпеки є електричний струм. Електропривод аглострічки складається з електродвигунів, силових кабельних ліній, частотних перетворювачів, шаф керування та інших електротехнічних пристроїв. Пошкодження ізоляції, виникнення коротких

замикань, порушення правил експлуатації або проведення ремонтних робіт без належного відключення обладнання можуть призвести до ураження працівників електричним струмом. Враховуючи значну потужність електроприводів, наслідки таких аварій можуть бути особливо тяжкими.

Під час роботи агломераційної машини значний вплив на виробниче середовище справляють підвищені температури. Процес агломерації супроводжується спіканням шихтових матеріалів під дією високих температур, у результаті чого нагріваються металоконструкції, елементи обладнання та повітря робочої зони. Інтенсивне теплове випромінювання може спричиняти перегрівання організму працівників, підвищену втому та зниження працездатності. Особливо складні умови праці спостерігаються в теплий період року та поблизу зон спікання агломерату.

Одним із характерних шкідливих факторів агломераційного виробництва є виробничий пил. Під час підготовки шихти, транспортування сировини, просіювання матеріалів та роботи агломашини в повітря робочої зони потрапляє значна кількість дрібнодисперсних частинок. Тривале вдихання пилу негативно впливає на органи дихання людини, може спричиняти розвиток професійних захворювань та погіршення загального стану здоров'я. Крім того, пил осідає на поверхнях обладнання, що ускладнює його експлуатацію та технічне обслуговування.

Суттєвим шкідливим фактором є підвищений рівень шуму. Джерелами шуму в агломераційному цеху виступають електродвигуни, вентилятори, редуктори, дробарки, транспортні механізми та інше обладнання. Тривалий вплив шуму може призводити до погіршення слуху, підвищеної втомлюваності, нервового напруження та зниження концентрації уваги. Це, у свою чергу, підвищує ймовірність помилкових дій персоналу та виникнення аварійних ситуацій.

Під час роботи приводних механізмів виникають вібрації, які передаються через конструкції обладнання та робочі майданчики. Вібраційний вплив негативно позначається на функціональному стані

організму людини, викликає швидко втому та може стати причиною професійних захворювань опорно-рухового апарату. Крім того, надмірна вібрація прискорює зношування механічних вузлів та знижує надійність роботи обладнання.

Виробниче середовище агломераційного цеху також характеризується наявністю загазованості. У процесі спікання шихти утворюються продукти горіння та технологічні гази, які можуть містити оксиди вуглецю, оксиди сірки та інші хімічні сполуки. За недостатньої ефективності вентиляційних систем концентрація шкідливих речовин у повітрі робочої зони може перевищувати допустимі значення, що негативно впливає на здоров'я працівників.

Додатковим фактором небезпеки є можливість виникнення пожеж та аварійних ситуацій. Джерелами займання можуть бути короткі замикання в електрообладнанні, перегрів електродвигунів, пошкодження кабельних мереж, іскріння контактів або порушення правил виконання ремонтних робіт. Наявність мастильних матеріалів та пилових відкладень підвищує ризик поширення пожежі.

Таким чином, під час експлуатації агломації на персонал одночасно впливають механічні, електричні, теплові, акустичні та хімічні фактори. Для забезпечення безпечних умов праці необхідно застосовувати комплекс технічних і організаційних заходів, спрямованих на мінімізацію ризиків виробничого травматизму, зниження впливу шкідливих факторів та підтримання нормативних параметрів виробничого середовища.

2.9 Заходи щодо забезпечення безпечної експлуатації електропривода аглострічки

Безпечна експлуатація електропривода аглострічки є однією з основних умов надійної та безперервної роботи агломераційної машини. Враховуючи значну потужність приводного обладнання, складність технологічного

процесу та наявність шкідливих виробничих факторів, система охорони праці повинна передбачати комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на запобігання виробничому травматизму, аваріям та пошкодженню обладнання.

Одним із головних напрямів забезпечення безпеки є захист персоналу від ураження електричним струмом. Для цього всі металеві неструмовідні частини електрообладнання, які можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, підлягають обов'язковому захисному заземленню. Система заземлення забезпечує зниження напруги дотику до безпечного рівня та створює умови для спрацювання апаратів захисту у випадку аварійних режимів роботи.

Для захисту електричних мереж і електропривода від струмів короткого замикання та перевантажень застосовуються автоматичні вимикачі, теплові реле, запобіжники та інші захисні пристрої. Використання сучасних систем релейного захисту дозволяє оперативно виявляти аварійні режими та автоматично відключати пошкоджене обладнання, запобігаючи його руйнуванню та виникненню пожежонебезпечних ситуацій.

Важливу роль у забезпеченні безпечної роботи відіграють системи автоматичного контролю та діагностики електропривода. Використання датчиків струму, температури, швидкості та положення дає можливість контролювати технічний стан обладнання в режимі реального часу. У разі відхилення параметрів від допустимих значень система автоматизації формує попереджувальні сигнали або здійснює аварійну зупинку привода. Це дозволяє своєчасно виявляти несправності та запобігати розвитку аварійних ситуацій.

Особлива увага приділяється безпеці експлуатації рухомих частин аглострічки. Приводні барабани, муфти, редуктори та інші елементи механічної передачі повинні бути обладнані надійними захисними огороженнями, що унеможливають випадковий доступ працівників до небезпечних зон. Конструкція огорожень повинна забезпечувати

необхідний рівень захисту та не перешкоджати проведенню технічного обслуговування обладнання.

Для оперативного реагування на аварійні ситуації система керування електроприводом оснащується пристроями аварійної зупинки. Кнопки аварійного вимкнення повинні бути розташовані у доступних місцях уздовж траси аглострічки та на постах керування. У разі виникнення небезпеки оператор або обслуговуючий персонал може негайно зупинити роботу обладнання та запобігти розвитку аварії.

Під час проведення ремонтних та профілактичних робіт необхідно виконувати повне відключення електропривода від джерел живлення із застосуванням організаційних заходів безпеки. Для виключення випадкового подавання напруги використовуються блокувальні пристрої, попереджувальні плакати та системи фіксації комутаційних апаратів у вимкненому положенні. Допуск до виконання робіт повинен здійснюватися відповідно до встановленого порядку та вимог чинних нормативних документів.

З метою зниження впливу несприятливих факторів виробничого середовища працівники забезпечуються засобами індивідуального захисту. До них належать захисні каски, спеціальний одяг, діелектричне взуття, захисні окуляри, рукавиці та засоби захисту органів слуху. Використання засобів індивідуального захисту є обов'язковим під час виконання робіт поблизу електрообладнання та рухомих механізмів.

Важливим елементом забезпечення безпечної експлуатації електропривода є належна професійна підготовка персоналу. Працівники повинні проходити вступний, первинний та періодичний інструктажі з охорони праці, перевірку знань правил безпечної експлуатації електроустановок та навчання діям у разі виникнення аварійних ситуацій. Систематичне підвищення рівня знань і практичних навичок сприяє зменшенню ризику помилкових дій та підвищенню загального рівня виробничої безпеки.

Таким чином, безпечна експлуатація електропривода аглострічки забезпечується комплексом взаємопов'язаних технічних та організаційних заходів, що включають електрозахист, автоматичний контроль параметрів роботи, застосування захисних огорожень, використання аварійних систем зупинки, забезпечення персоналу засобами індивідуального захисту та належну організацію технічного обслуговування обладнання. Реалізація зазначених заходів дозволяє створити безпечні умови праці та забезпечити надійну роботу агломераційного обладнання.

2.10 Пожежна профілактика

Пожежна безпека є одним із найважливіших елементів безпечної експлуатації агломераційного обладнання та електроприводів аглострічки. В умовах агломераційного виробництва використовуються потужні електроустановки, кабельні мережі, системи автоматизованого керування, мастильні матеріали та механічне обладнання, що створює потенційну небезпеку виникнення пожеж. Тому забезпечення належного рівня пожежної профілактики є обов'язковою умовою стабільної та безпечної роботи виробничого підрозділу.

Основними причинами виникнення пожеж під час експлуатації агломашини можуть бути короткі замикання в силових і контрольних електричних колах, перевантаження електродвигунів, пошкодження ізоляції кабелів, перегрів контактних з'єднань, виникнення електричної дуги та несправність електротехнічного обладнання. Додаткову небезпеку створює наявність горючих мастильних матеріалів, пилових відкладень і підвищених температур, характерних для процесу агломерації.

Важливим напрямом пожежної профілактики є підтримання електрообладнання в технічно справному стані. Для цього необхідно проводити планові огляди електродвигунів, перетворювачів частоти, комутаційної апаратури та кабельних ліній. Особливу увагу слід приділяти

контролю стану ізоляції, якості контактних з'єднань та температурному режиму роботи обладнання. Своєчасне виявлення та усунення несправностей дозволяє значно знизити ризик виникнення загоряння.

Для захисту електричних мереж від аварійних режимів роботи застосовуються автоматичні вимикачі, плавкі запобіжники, теплові реле та інші пристрої захисту. У разі виникнення короткого замикання або перевантаження вони забезпечують автоматичне відключення пошкодженої ділянки мережі, запобігаючи перегріванню провідників і виникненню пожежі. Система захисту повинна регулярно перевірятися та відповідати параметрам електрообладнання.

З метою зменшення пожежного навантаження необхідно підтримувати чистоту виробничих приміщень. У процесі роботи агломації на конструкціях і обладнанні накопичується пил, який у поєднанні з мастильними матеріалами може стати додатковим джерелом займання. Регулярне очищення технологічного обладнання, кабельних трас, електротехнічних приміщень та вентиляційних систем сприяє підвищенню рівня пожежної безпеки.

Для оперативного виявлення загорянь виробничі приміщення обладнуються системами пожежної сигналізації та засобами оповіщення персоналу. Такі системи забезпечують своєчасне виявлення осередку займання та передачу інформації працівникам і відповідальним службам підприємства. Швидке реагування на початковій стадії розвитку пожежі дозволяє мінімізувати матеріальні збитки та запобігти поширенню вогню.

Важливе значення мають первинні засоби пожежогасіння. У місцях розташування електрообладнання та постів керування повинні бути встановлені вуглекислотні та порошкові вогнегасники, які придатні для гасіння електроустановок під напругою. Крім того, виробничі приміщення забезпечуються пожежними щитами, внутрішніми пожежними кранами та іншими засобами відповідно до вимог нормативних документів.

Розташування засобів пожежогасіння повинно забезпечувати швидкий доступ до них у разі виникнення надзвичайної ситуації.

Для запобігання поширенню пожежі необхідно передбачати вільні евакуаційні проходи та виходи, які не допускається захащувати обладнанням або матеріалами. На видимих місцях повинні розміщуватися плани евакуації, інформаційні знаки пожежної безпеки та інструкції щодо дій персоналу в разі пожежі. Працівники повинні бути ознайомлені з маршрутами евакуації та порядком використання первинних засобів пожежогасіння.

Важливою складовою пожежної профілактики є навчання персоналу. Працівники агломераційного цеху повинні проходити первинний, повторний та позаплановий інструктажі з пожежної безпеки, знати причини виникнення пожеж, правила експлуатації електрообладнання та порядок дій у разі виникнення надзвичайної ситуації. Регулярне проведення тренувань і навчань дозволяє підвищити готовність персоналу до ліквідації можливих загорянь.

Таким чином, пожежна профілактика при експлуатації електропривода аглострічки базується на комплексі технічних і організаційних заходів, спрямованих на попередження виникнення пожеж, своєчасне виявлення джерел займання та забезпечення ефективного реагування на аварійні ситуації. Виконання зазначених вимог сприяє підвищенню рівня виробничої безпеки, збереженню обладнання та захисту життя і здоров'я працівників підприємства.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі було розглянуто питання автоматизації електропривода аглострічки агломашини, що експлуатується в умовах АТ «Нікопольський завод феросплавів». Проведене дослідження підтвердило важливість застосування сучасних систем автоматизованого керування для забезпечення стабільної роботи технологічного обладнання, підвищення продуктивності виробництва та покращення якості готового агломерату.

У процесі виконання роботи було проаналізовано особливості технологічного процесу агломерації та визначено роль аглострічки як одного з основних елементів агломашини. Встановлено, що від стабільності швидкісного режиму аглострічки значною мірою залежать продуктивність агрегату, рівномірність проходження технологічного процесу та якісні характеристики отриманого агломерату.

Виконано аналіз конструкції та принципу роботи електропривода аглострічки, розглянуто склад основного електротехнічного обладнання та особливості його функціонування в умовах безперервного виробничого циклу. Визначено основні вимоги до системи керування, серед яких забезпечення надійності роботи, точності регулювання швидкості, енергоефективності та безпеки експлуатації.

У роботі досліджено сучасні технічні засоби автоматизації, які використовуються для керування електроприводами промислових механізмів. Обґрунтовано доцільність використання частотно-регульованого електропривода та програмованих засобів керування, що дозволяють забезпечити плавне регулювання швидкості, зменшення динамічних навантажень на механічне обладнання та зниження споживання електричної енергії.

У результаті проведеного аналізу запропоновано технічні рішення щодо вдосконалення системи автоматизованого керування електроприводом аглострічки. Реалізація запропонованих заходів дозволяє підвищити

ефективність роботи обладнання, покращити стабільність технологічного процесу та зменшити ймовірність виникнення аварійних режимів роботи.

Особливу увагу приділено питанням охорони праці та пожежної безпеки. Проведено аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, характерних для агломераційного виробництва, а також розглянуто комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпечної експлуатації електропривода аглострічки. Запропоновані рішення сприяють зниженню ризику виробничого травматизму, підвищенню рівня електробезпеки та забезпеченню належного рівня пожежного захисту виробничих приміщень.

Отримані результати свідчать про те, що впровадження сучасної автоматизованої системи керування електроприводом аглострічки створює умови для підвищення техніко-економічних показників роботи агломашини, збільшення надійності технологічного обладнання та раціонального використання енергетичних ресурсів. Використання сучасних засобів автоматизації забезпечує більш ефективне керування технологічним процесом і відповідає сучасним вимогам розвитку промислового виробництва.

Таким чином, поставлена мета кваліфікаційної роботи досягнута, а визначені завдання виконані в повному обсязі. Результати проведеного дослідження можуть бути використані під час модернізації існуючих систем керування агломераційними машинами та впровадження нових автоматизованих комплексів на підприємствах металургійної галузі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Eremin A.V. Modernization of the electric drive of the sintering machine / A.V. Eremin, O.V. Fedorov, Yu.V. Shevyrev. // NTSU. Technicalscience. – 2010. – No. 3. – pp. 38–43.
2. Ципленков Д. В. Пристрої спостереження у асинхронному електроприводі з векторним керуванням : дис. канд. техн. наук : 05.09.03 / Ципленков Д. В. – Дніпро, 2002. – 137 с.
3. Йовбак В. Д. Асинхронний електропривод з векторним керуванням напругою фазного статора : дис. канд. техн. наук : 05.09.03 / Йовбак В. Д. – Львів, 2005. – 156 с.
4. Півняк Г.Г., Волков О.В. Сучасні частотно-регульовані електроприводи з широтно-імпульсною модуляцією: Монографія. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2006. – 470с.
5. Sokolovsky G. G. AC electric drives with frequency control / Sokolovsky G. G. – М.: ACD, 2006. – 265 p.
6. Дослідження систем електропривода методами математичного моделювання: Навч. посібник /С. М. Довгань. – Дніпропетровськ: НГА України, 2001. – 137с.
7. Modeling electric drive system sin Simulink (Matlab 7.0.1): textbook / V.B. Terekhin. – TPU, 2008. – 320 p.
8. Gulyaev A. Visual modelin gin MATLAB: training course. – SPT, 2000. – 432 p.
9. Колб Ант.А., Колб А.А. Теорія електроприводу. Навчальний посібник. – Д.: Національний гірничий університет, 2006. – 511 с.



Метадані

ДОКУМЕНТ

Заголовок

151-22д-2026врб

Автор

151-22д-2026врб

Науковий керівник / Експерт

Модло Є.О.

ІД документу

334249853

ОРГАНІЗАЦІЯ

Назва організації

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

підрозділ

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

ЗВІТ

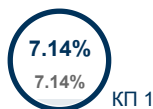
Дата звіту

6/10/2026

Дата редагування

Обсяг знайдених подібностей

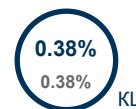
Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.



КП 1

9117

Кількість слів



КЦ

71191

Кількість символів

Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв		15
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		55

Джерела

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Колір тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз

Колір тексту

#	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
---	--	---

ЗГОДА здобувача(чки) вищої освіти
Державного університету економіки і технологій про перевірку
кваліфікаційної роботи на прояви академічного плагіату
та розміщення в Репозитарії Університету

Я, Куницький Вадим Валерійович, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу.

Засвідчую, що кваліфікаційна бакалаврська (магістерська) робота Автоматизація металургійного виробництва. Система автоматизованого керування електроприводом аглострічки агломашини (назва роботи повністю) виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про запобігання та виявлення академічного плагіату в роботах здобувачів вищої освіти Державного університету економіки і технологій ознайомлений(а). Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі порушення норм академічної доброчесності робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Також я поінформований(на), що відповідно до «Положення про Репозитарій (електронну базу даних) Державного університету економіки і технологій» зазначена робота буде розміщена в Електронному архіві Університету (Репозитарії ДУЕТ). З умовами такого розміщення ознайомлений(на).

Дата

підпис

ініціали, прізвище (власноруч)