

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 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Форма навчання Заочна

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної кваліфікаційної роботи

бакалавра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

Казакової Віоли Олександрівни

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

на тему: Електромеханічне обладнання металургійного виробництва.

Електропривод конвеєра ГТІ – 3 тракту подачі вапна в умовах аглоцеху ПАТ

«АрселорМіттал Кривий Ріг»

(повна назва теми)

за матеріалами ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

(повна назва бази дослідження)

науковий керівник

доцент, к.т.н.

(наук. ступінь, вчене звання)

(підпис)

Пироженко А.В.

(прізвище, ініціали)

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри

від 16.06.2026р № 405-ст

Завідувач кафедри

(підпис)

доцент, к.п.н.

Наук. ступінь, вчене звання

Є.О. Модло

Ініціали, прізвище

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

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

«___» _____ 2026 року

ЗАВДАННЯ

НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТКИ

_____ Казакової Віоли Олександрівни _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема випускної кваліфікаційної роботи

Електромеханічне обладнання металургійного виробництва. Електропривод конвеєра ГТІ – 3 тракту подачі вапна в умовах аглоцеху ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

керівник випускної роботи Пироженко Андрій Володимирович, доцент, к.т.н.

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

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

2. Строк подання студентом випускної кваліфікаційної роботи 02.06.2026

3. Вихідні дані до випускної кваліфікаційної роботи:

Об'єкт автоматизації - електропривод конвеєра ГТІ-3 тракту подачі вапна аглоцеху № 3 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»; довжина конвеєра - 152 м; швидкість стрічки - 1,31 м/с; номінальна продуктивність - 500 т/год; кут нахилу (макс.) - 7,8°; висота підйому - 8,13 м; ширина стрічки - 1200 мм; діаметр привідного барабана - 1000 мм; редуктор - ЦДН-630, передаточне число 50; існуючий двигун - А02-71-4, 30 кВт, 1500 об/хв (нерегульований); прийнятий двигун - АBB М3ВР 180МА4 ІЕ2, 30 кВт, 380 В, КПД 91%, номінальний струм 41,7 А, момент інерції 0,23 кг·м², номінальний момент 191 Нм, cosφ 0,89, пусковий момент 1,4 Мн, максимальний момент 2,3 Мн, ковзання 1,9%; перетворювач частоти - Schneider Electric Altivar ATV38HD33N4, лінійний струм 65 А, номінальний вихідний струм 60 А, діапазон вихідних частот 0,1-500 Гц, діапазон регулювання швидкості 1:10, маса 34 кг; вимоги - плавний пуск і гальмування з обмеженням ривка, контроль натягу та цілісності стрічки (поздовжній/поперечний розрив, схід стрічки), контроль температури двигуна, підшипників і обичайки барабанів, регулювання продуктивності, точність вагового

дозування - не менше 1%, діапазон регулювання приводу - 1:5, точність регулювання - не менше 2%, інтеграція з системою керування верхнього рівня.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити. 4.1 Аналітична частина: характеристика технологічного процесу агломерації та тракту подачі вапна; характеристика основного технологічного устаткування (конвеєри ГІ, ГТІ); призначення автоматизованої системи керування технологічним процесом шихтоподачі та вимоги до неї. 4.2 Основна частина: обґрунтування розробки автоматизованого регульованого електропривода стрічкового конвеєра; розрахунок потужності та вибір двигуна; режим роботи й вимоги до електропривода; вибір системи керування (ПЧ-АД), розрахунок схеми заміщення асинхронного двигуна та синтез регуляторів; моделювання динамічних режимів роботи системи; розробка алгоритмів управління конвеєрною лінією та вибір засобів автоматики. Заходи з охорони праці: аналіз умов праці; аналіз шкідливих та небезпечних виробничих чинників; пожежна безпека.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

ВРБ.141.237-ст.02.Е7 - Схема розташування апаратів технологічного процесу; ВРБ.141.237-ст.02.Е1.1 - Структурна схема керуючого комплексу; ВРБ.141.237-ст.02.Е0.1 - Схема дозування вапняку; ВРБ.141.237-ст.02.Е2 - Схема електрична функціональна; ВРБ.141.237-ст.02.Е0.2 - Графіки перехідних процесів; ВРБ.141.237-ст.02.Е0.3 - Блок-схема алгоритму оцінки стану завантаженості лінії; ВРБ.141.237-ст.02.Е0.4 - Алгоритм опитування датчиків.

6. Консультанти розділів випускної кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналітична частина	Пироженко А.В.	10.04.2026	10.04.2026
Основна частина	Пироженко А.В.	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	22.05.2026	
3.	Оформлення пояснювальної записки	28.05.2026	
4.	Виконання графічної частини	29.05.2026	
5.	Подання роботи до кафедри	02.06.2026	
6.	Захист роботи в ЕК	18.06.2026	

Студент

(підпис)

Казакова В.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник випускної кваліфікаційної роботи

(підпис)

Пироженко А.В.

(прізвище та ініціали)

№ ряд ка	Фор мат	Позначення			Назва	Кіл. листів	№ екз.	Прим.	
1	A3	ВРБ.141.237-см.02.К7			Схема розташування	1			
2					апаратів технологічного				
3					процесу				
4									
5	A3	ВРБ.141.237-см.02.Е1.1			Структурна схема	1			
6					керуючого комплексу				
7									
8	A3	ВРБ.141.237-см.02.Е0.1			Схема дозування	1			
9					вапняку				
10									
11	A3	ВРБ.141.237-см.02.Е2			Схема електрична	1			
12					функціональна				
14									
15	A3	ВРБ.141.237-см.02.Е0.2			Графіки перехідних	1			
16					процесів				
17									
18	A3	ВРБ.141.237-см.02.Е0.3			Блок-схема алгоритму	1			
19					оцінки стану				
20					завантаженості лінії				
21									
22	A3	ВРБ.141.237-см.02.Е0.4			Алгоритм опитування	1			
23					датчиків				
25									
26	A4	ВРБ.141.237-см.02.ПЗ			Пояснювальна записка	70			
					ВРБ.141.237-см.02.ВР				
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Електромеханічне обладнання металургійного виробництва. Електропривод конвеєра ГТІ – 3 тракту подачі вапна в умовах аглоцеху ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»	Літера	Аркуш	Аркушів	
Розроб.		Казакова В.О.						4	1
Пров.		Пироженко А.В.							
Н.контр.		Пироженко А.В.							
Затв.		Модло Є.О.			Відомість роботи	ННТІ ДУЕТ Каф.ЕІА гр. ЗЕПА-23ск			

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускної роботи: 70 с., 18 рис., 17 табл., 25 джерел.

Об'єкт розробки – стрічковий конвеєр ГТІ-3 тракту подачі вапна в умовах аглоцеху № 3 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Предмет розробки - система автоматизованого частотно-регульованого електропривода стрічкового конвеєра.

Мета роботи – підвищення надійності й ефективності транспортування шихтових матеріалів шляхом впровадження автоматизованої системи керування (АСК) електроприводом конвеєра ГТІ-3 на базі перетворювача частоти.

У роботі проведено аналіз технологічного процесу агломерації та визначено вимоги до системи електропривода. Виконано розрахунок статичного навантаження й потужності приводного двигуна, обрано асинхронний двигун ABB M3BP 180MA4 потужністю 30 кВт і перетворювач частоти Schneider Electric Altivar ATV38HD33N4. Розраховано параметри схеми заміщення асинхронного двигуна та синтезовано регулятори системи векторного керування. Побудовано механічні характеристики при частотному регулюванні та виконано моделювання системи ПЧ-АД у середовищі MATLAB.

Розроблено алгоритми роботи автоматизованої системи керування конвеєрною лінією, обрано технологічні датчики та мікропроцесорний контролер. Виконано аналіз шкідливих та небезпечних виробничих чинників і розроблено заходи з охорони праці.

Ключові слова: автоматизація, алгоритм, асинхронний двигун, векторне керування, електропривод, конвеєр, математична модель, перетворювач частоти, продуктивність, регулювання.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Характеристика технологічного процесу	9
1.2 Характеристика основного технологічного устаткування	11
1.3 Призначення автоматизованої системи керування технологічним процесом шихтоподачі	14
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	15
2.1 Обґрунтування розробки автоматизованого регульованого електропривода стрічкового конвеєра	15
2.2 Розрахунок потужності та вибір двигуна конвеєра	15
2.3 Режим роботи й вимоги до електропривода стрічкового конвеєра	18
2.4 Вибір системи керування	18
2.5 Розрахунок схеми заміщення АД	20
2.6 Розробка функціональної схеми	23
2.7 Механічні характеристики АД при частотному керуванні	29
2.8 Моделювання системи ПЧ-АД з векторним регулюванням	30
2.9 Актуальність завдання автоматизованого керування процесом подачі компонентів шихти	35
2.10 Аналіз існуючих методів і засобів регулювання подачі компонентів шихти	37
2.11 Вибір критерію управління конвеєрною лінією	42
2.12 Розробка алгоритмів роботи автоматизованої системи керування конвеєрною лінією	47
2.13 Розрахунок та аналіз інформаційних потоків	50
2.14 Обґрунтування та вибір технологічних датчиків та мікропроцесорного обладнання.....	52
2.15 Охорона праці.....	59
2.15.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників	60

2.15.2 Заходи щодо усунення шкідливих і небезпечних чинників	61
2.15.3 Засоби індивідуального захисту та медичні огляди	62
2.15.4 Пожежна безпека.....	63
2.15.5 Розрахунок захисного заземлення.....	64
ВИСНОВКИ.....	68
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	69

ВСТУП

ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» є одним із найбільших металургійних підприємств України та Європи. До виробничого комплексу входять шахтоуправління, гірничо-збагачувальний комплекс (ГЗК), коксохімічне та металургійне виробництва. Продукція ГЗК - залізорудний концентрат і агломерат - є сировиною для доменного виробництва.

Аглоцех № 3 забезпечує шихтовими матеріалами агломераційні цехи № 1 та № 2. Ключовим транспортним вузлом є стрічкові конвеєри, надійна робота яких безпосередньо визначає ритмічність всього виробництва. Конвеєр ГТІ-3, що є об'єктом дослідження, здійснює подачу дробленого вапняку від корпусу просівання до проміжних бункерів шихтового відділення.

Діюча нерегульована система приводу конвеєра не забезпечує плавного пуску та гальмування, що призводить до підвищених динамічних навантажень на стрічку, прискореного зносу роликкоопор і редуктора, а також значних втрат електроенергії в перехідних режимах. Впровадження частотно-регульованого асинхронного привода усуває зазначені недоліки і відкриває можливість автоматичного регулювання продуктивності відповідно до поточних технологічних вимог.

Мета роботи - розробка автоматизованої системи керування електроприводом конвеєра ГТІ-3 на базі перетворювача частоти Schneider Electric Altivar ATV38HD33N4 із застосуванням векторного принципу управління. Для досягнення поставленої мети вирішуються такі задачі:

- розрахунок статичних навантажень та вибір приводного двигуна;
- розрахунок параметрів схеми заміщення та синтез регуляторів системи управління;
- моделювання динамічних режимів роботи системи ПЧ-АД;
- розробка алгоритмів управління конвеєрною лінією та вибір засобів автоматизації;
- аналіз умов праці та розробка заходів з охорони праці.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Характеристика технологічного процесу

Агломерація являє собою термічний спосіб окуску дрібнодисперсних залізорудних матеріалів шляхом горіння твердого палива, рівномірно розподіленого у шарі шихти. Основна мета процесу - надання сировині необхідних металургійних властивостей: підвищення механічної міцності, поліпшення відновлюваності, виведення шкідливих домішок, корекція хімічного складу введенням флюсів.

Технологічна схема агломерації передбачає кілька послідовних стадій. Підготовлену шихту за допомогою барабанного живильника укладають на спікальні візки, що утворюють замкнену стрічку агломашини з решітчастим дном. Запалювання паливної складової шихти відбувається у зоні запального горна. Після запалювання повітря просмоктується через шар ексгаустерами, розміщеними під вакуум-камерами вздовж усієї робочої гілки стрічки.

На початковій стадії процесу газу, що відходять, мають температуру, близьку до температури шихти. При підвищенні температури до точки роси (60-70 °C) в нижніх шарах конденсується волога, яка випаровується у міру просування зони горіння до колосникових грат. Досягнення максимальної температури відхідних газів свідчить про завершення процесу спікання - зона горіння досягла рівня грат. Подальше охолодження агломерату відбувається за рахунок холодного повітря, що просмоктується через готовий пористий матеріал.

Загальна технологічна схема процесу агломерації наведена на рис. 1.1.

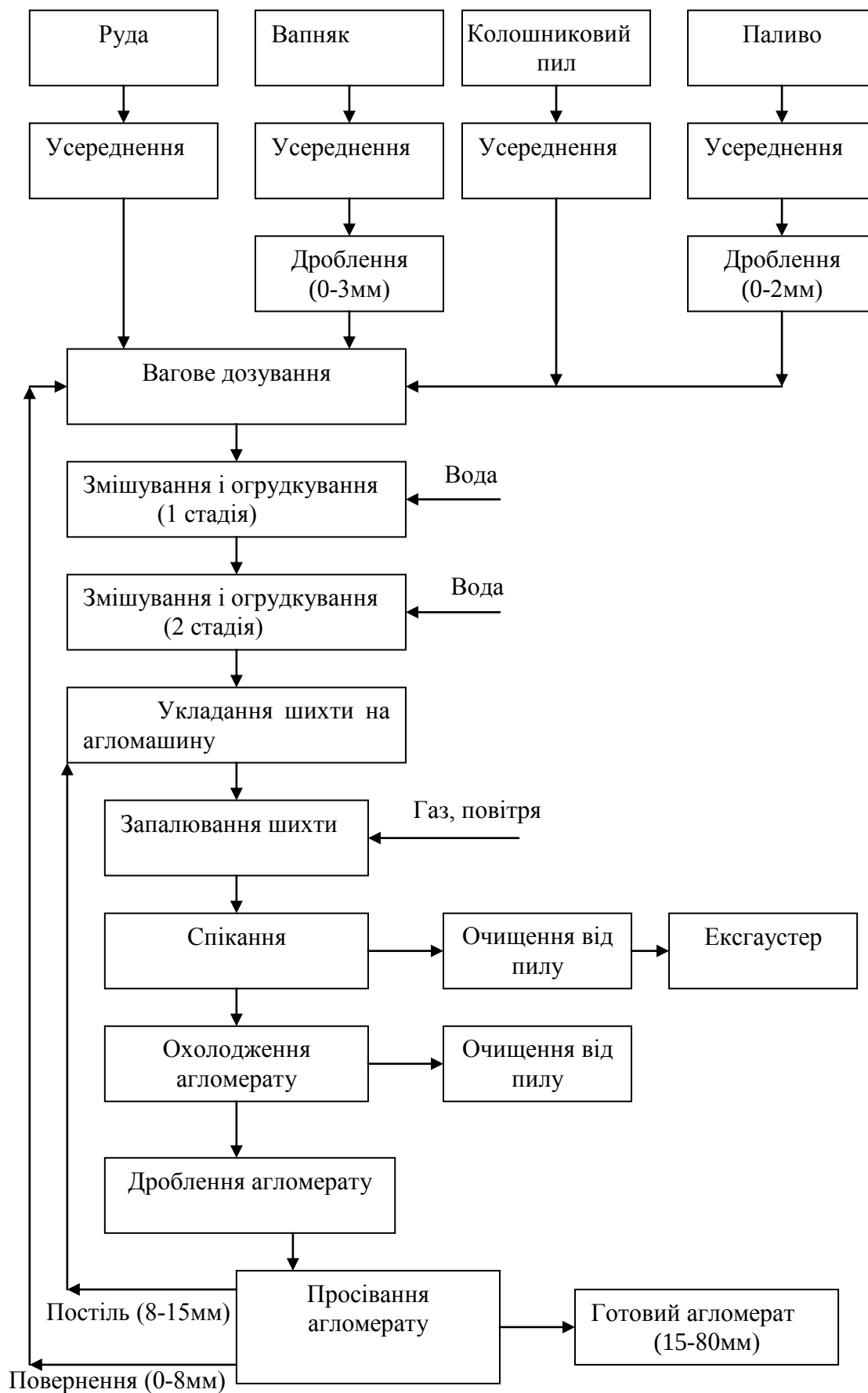


Рис. 1.1. Технологічна схема процесу агломерації
(розроблено автором)

Серед фізико-хімічних перетворень, що визначають якість агломерату, ключову роль відіграють: горіння вуглецю в спікаємому шарі, термічне розкладання карбонатів, дисоціація та відновлення оксидів заліза, видалення сірки, формування мінеральної структури продукту. Повнота перебігу цих реакцій залежить від гранулометричного складу шихти, витрати палива та флюсів, а також від рівномірності укладання та газопроникності шару [1].

Завданням аглоцеху № 3 є підготовка шихти з залізорудного концентрату, аглоруди, збагачених сталеплавильних шлаків, кальцинованого та доломітизованого вапняку, твердого палива (коковий дріб'язок, антрацитовий штиб). Вапняки дробляться у молоткових дробарках ДМРІЕ 14,5×13 та просіваються на віброгрохотах ГСТ-62Б, після чого стрічковими конвеєрами системи ГТІ-ГІ подаються до бункерів шихтового відділення.

Склад агломерату служить для забезпечення безперебійної роботи аглоцехів №1 й №2, у випадку відсутності можливості відвантаження агломерату по звичайній технологічній схемі, і створення буферного запасу агломерату для відвантаження споживачам.

Для випускної роботи скористаємося спрощеною схемою апаратів, зображеної на рис. 1.2.

1.2 Характеристика основного технологічного устаткування

Шихтові матеріали, що надходять в аглоцех № 3, вивантажуються вагоноперекидачем і системою конвеєрів подаються на складський майданчик. Для виключення перемішування видів сировини на складі передбачені нормовані запаси кожної складової шихти.

Таблиця 1.1

Технічні характеристики конвеєра ГІ-2

№ п/п	Характеристика	Од. вим.	Значення
1	Довжина (між центрами барабанів)	м	130
2	Швидкість руху стрічки	м/с	1,45
3	Номінальна продуктивність	т/год	500
4	Кут нахилу (макс.)	град	18,0
5	Висота підйому	м	20,8
6	Електродвигун: тип / потужність / оберти	- / кВт / об/хв	АК3-315-4 / 132 / 1450
7	Редуктор: тип / передаточне число	-	ЦДН-630 / 50
8	Стрічка: ширина / прокладок / навішення	мм / шт / п.м	1200 / 5 / 260

Таблиця 1.2

Технічні характеристики конвеєра ГТІ-3

№	Характеристика	Од. вим.	Значення
1	Довжина	м	152,0
2	Швидкість стрічки	м/с	1,31
3	Номінальна продуктивність	т/год	500
4	Кут нахилу (макс.)	град	7,8
5	Висота підйому	м	8,13
6	Двигун (діючий): тип / потужність / оберти	-	А02-71-4 / 30 кВт / 1500
	Редуктор: тип / передаточне число	-	ЦДН-630 / 50
	Ширина стрічки	мм	1200
	Діаметр привідного барабана	мм	1000

1.3 Призначення автоматизованої системи керування технологічним процесом шихтоподачі

Основне завдання дипломного проєкту - розробка автоматизованої інформаційної системи забезпечення АСК конвеєрною лінією на основі мікроконтролерної платформи, що забезпечує збирання та обробку сигналів із датчиків і формує керуючий сигнал для системи управління конвеєром ГТІ-3.

Автоматизація конвеєрного транспорту дозволяє: скоротити кількість і тривалість простоїв; знизити трудомісткість обслуговування; підвищити безпеку праці за рахунок впровадження необхідних захистів і блокувань; розширити інформаційні можливості системи керування [1].

Система повинна задовольняти таким технічним та експлуатаційним вимогам:

- забезпечення плавного пуску і гальмування з обмеженням ривка та максимального моменту двигуна;
- контроль і регулювання натягу тягової стрічки;
- контроль поздовжнього та поперечного розривів стрічки;
- контроль сходу стрічки;
- контроль температури двигуна, підшипників і обичайки барабанів;
- регулювання продуктивності відповідно до технологічних вимог;
- точність вагового дозування - не менше 1 %;
- можливість інтеграції з системою керування верхнього рівня.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Обґрунтування розробки автоматизованого регульованого електропривода стрічкового конвеєра

На конвеєрі ГТІ-3 агроцеху № 3 встановлений нерегульований привод, що не відповідає сучасним вимогам щодо плавності пускогальмівних режимів та регулювання продуктивності. Регульований привод на основі перетворювача частоти забезпечує мінімальні динамічні навантаження на електромеханічне обладнання і раціональний розподіл зусиль на привідному барабані [2].

Впровадження регульованого привода покращує такі показники:

- коефіцієнти довговічності провідних валів за вигином і крутінням зростають у середньому на 30 %;
- термін служби стрічки збільшується на 10-20 % за рахунок плавного додавання зусиль у перехідних режимах;
- запас міцності редуктора зростає в 1,93 рази, термін його служби - приблизно в 1,4 рази;
- енергетичні показники двигуна (к.к.д., $\cos \varphi$) не знижуються порівняно з нерегульованим варіантом.

Таким чином, розробка автоматизованого електропривода і системи автоматичного керування конвеєром ГТІ-3 є актуальним завданням, впровадження якого дасть значний технічний та економічний ефект.

2.2 Розрахунок потужності та вибір двигуна конвеєра

Потужність приводного двигуна стрічкового конвеєра визначається тяговою силою F_c і швидкістю тягового органа V . Розрахункова потужність визначається за формулою [1]:

$$P_p = (F_c \cdot V \cdot k_3) / \eta \quad (2.1)$$

де F_c - тягова сила конвеєра, Н; V - швидкість тягового органа, м/с; $k_3 = 1,15$ - коефіцієнт запасу; $\eta = 0,92$ - к.к.д. приводного механізму.

Тягова сила визначається за виразом:

$$F_c = C \cdot (q_{\Gamma} + 2q_{\lambda} + q_p' + q_p'') \cdot L \cdot w + q_{\Gamma} \cdot H_{\Pi}' \quad (2.2)$$

де $C = 1,6$ - коефіцієнт зосереджених опорів; q_{Γ} - погонна вага вантажу, Н/м; q_{λ} - погонна вага стрічки, Н/м; q_p' - погонна вага роликів робочої гілки, Н/м; q_p'' - погонна вага роликів холостої гілки, Н/м; $L = 152$ м - довжина конвеєра; $w' = 0,025$ - коефіцієнт опору руху; $H_{\Pi} = 8,13$ м - висота підйому.

Погонна вага стрічки (ширина $B = 1,2$ м, маса $1 \text{ м}^2 \text{ тл} = 18,2 \text{ кг/м}^2$):

$$q_{\lambda} = B \cdot m_{\lambda} \cdot g = 1,2 \cdot 18,2 \cdot 9,81 \approx 214 \text{ Н/м} \quad (2.3)$$

Погонна вага роликів робочої гілки ($G_p = 15$ кг, крок $l_p = 1$ м):

$$q_p' = G_p \cdot g / l_p = 15 \cdot 9,81 / 1 \approx 147 \text{ Н/м} \quad (2.4)$$

Погонна вага роликів холостої гілки ($G_{p''} = 12$ кг, крок $l'' = 2$ м):

$$q_{p''} = G_{p''} \cdot g / l'' = 12 \cdot 9,81 / 2 \approx 58,9 \text{ Н/м} \quad (2.5)$$

Погонна вага вантажу на стрічці при продуктивності $Q = 500$ т/год, $V = 1,31$ м/с:

$$q_{\Gamma} = Q \cdot g / (3,6 \cdot V) = 500 \cdot 9,81 / (3,6 \cdot 1,31) \approx 1040 \text{ Н/м} \quad (2.6)$$

Підставляючи в (2.2):

$$F_c = 1,6 \cdot (1040 + 2 \cdot 214,03 + 147 + 58,9) \cdot 152 \cdot 0,025 + 1040 \cdot 8,13 \approx 17400 \text{ Н} \quad (2.7)$$

Розрахункова потужність електропривода за формулою (2.1):

$$P_p = (17400 \cdot 1,31 \cdot 1,15) / 0,92 \approx 28,489 \text{ кВт} \quad (2.8)$$

Частота обертання приводного барабана ($d_b = 1 \text{ м}$):

$$n_b = 60 \cdot V / (\pi \cdot d_b) = 60 \cdot 1,31 / (3,14 \cdot 1) \approx 25 \text{ об/хв} \quad (2.9)$$

Частота обертання двигуна ($i_p = 50$):

$$n_{dv} = n_b \cdot i_p = 25 \cdot 50 = 1250 \text{ об/хв} \quad (2.10)$$

За результатами розрахунків обрано двигун АВВ МЗВР 180МА4 ІЕ2 (виробник: АВВ, Швеція/Швейцарія) з відповідними параметрами - табл. 2.1. Двигун серії МЗВР відповідає класу ефективності ІЕ2 та стандартам ІЕС 60034-30 [3].

Таблиця 2.1

Параметри двигуна АВВ МЗВР 180МА4 ІЕ2

№	Показник	Од. вим.	АВВ МЗВР 180МА4
	1	2	3
1	Виробник (країна)	-	АВВ (SE/CH)
2	Потужність	кВт	30
3	Номінальна наруга статора	В	380
4	КПД	%	91
5	Номінальна швидкість обертання	об/хв	1500
6	Номінальний струм статора	А	41,7

Продовження табл.2.1

	1	2	3
7	Момент інерції	кгм ²	0,23
8	Номінальний момент	Нм	191,083
9	Пусковий струм	А	6,5 Ін
10	Максимальний момент	Нм	2,3 Мн
11	Номінальне значення ковзання	%	1,9
12	Коефіцієнт потужності cosφ	-	0,89
13	Пусковий момент	Нм	1,4 Мн

2.3 Режим роботи й вимоги до електропривода стрічкового конвеєра

У процесі проектування системи автоматичного керування електроприводом враховуються вимоги з боку механізму. Загальні вимоги до електроприводу конвеєра ГТІ-3:

- швидке протікання перехідних процесів при заданих обмеженнях динамічного струму;
- регулювання швидкості залежно від фактичної продуктивності;
- висока перевантажувальна здатність приводного двигуна;
- обмеження динамічних зусиль на стрічку й опорні конструкції;
- високий ступінь надійності роботи системи електропривода (діапазон регулювання 1:5, точність не менше 2 %).

2.4 Вибір системи керування

Аналіз існуючих способів регулювання частоти обертання асинхронних двигунів (зміна числа пар полюсів, реостатне регулювання, зміна напруги

статора, частотне регулювання) показав, що найбільш повно вимогам конвеєрного привода відповідає система з перетворювачем частоти з проміжною ланкою постійного струму [4].

У цій системі напруга живильної мережі спочатку перетворюється некерованим випрямлячем у постійну, яка потім через LC-фільтр подається на автономний інвертор напруги з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ) на базі IGBT-модулів. Така схема забезпечує: плавне регулювання швидкості в широкому діапазоні; необхідну жорсткість механічних характеристик; відносно високі енергетичні показники; можливість рекуперації енергії.

Обрано перетворювач частоти Schneider Electric Altivar ATV38HD33N4 (виробник: Schneider Electric, Франція). Технічні параметри наведено в табл. 2.2 [5].

Таблиця 2.2

Технічні параметри перетворювача частоти Altivar ATV38HD33N4

№	Параметр	Од. вим.	Значення
1	Виробник (країна)	-	Schneider Electric (FR)
2	Лінійний струм при 400 В	А	65
3	Потужність двигуна	кВт	30
4	Номінальний вихідний струм	А	60
5	Макс. перехідний струм	А	66
6	Втрати при ном. режимі	Вт	925
7	Діапазон вихідних частот	Гц	0,1 - 500
8	Діапазон регулювання швидкості	-	1 : 10
9	Маса	кг	34

2.5 Розрахунок схеми заміщення АД

Максимальний момент:

$$M_{\max} = M_N \cdot \gamma = 191.083 \cdot 2.3 = 439.491 \text{ Нм} \quad (2.11)$$

Опір короткого замикання:

$$Z_{k1} = \frac{U_N}{\sqrt{3} \cdot K_i \cdot I_N} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 6.5 \cdot 41.7} = 0.809 \text{ Ом} \quad (2.12)$$

де $K_i = 6,5$ відношення пускового струму до номінального.

Втрати двигуна в номінальному режимі:

$$\Sigma \Delta P_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{ДВ}} \cdot (1 - \eta_{\text{ДВ}})}{\eta_{\text{ДВ}}} = \frac{30000 \cdot (1 - 0.91)}{0.91} = 2.967 \text{ кВт} \quad (2.13)$$

Втрати в міді статора і ротора:

$$\Delta P_M = \frac{\Sigma \Delta P_{\text{НОМ}}}{2} = \frac{2.967 \cdot 10^3}{2} = 1.484 \text{ кВт} \quad (2.14)$$

Втрати в роторі:

$$\Delta P_{2\text{НОМ}} = \frac{1.1 \cdot P_{\text{ДВ}} \cdot S_n}{1 - S_n} = \frac{1.1 \cdot 30 \cdot 10^3 \cdot 0.019}{1 - 0.019} = 639.144 \text{ Вт} \quad (2.15)$$

Вирати в статорі:

$$\Delta P_{1\text{НОМ}} = \Delta P_M - \Delta P_{2\text{НОМ}} = 1484 - 639.144 = 844.856 \text{ кВт} \quad (2.16)$$

Активний опір:

$$R_1 = \frac{\Delta P_{1\text{НОМ}}}{I_{\text{ндв}}^2 \cdot 3} = \frac{844.856}{41.7^2 \cdot 3} = 0.164 \text{ Ом} \quad (2.17)$$

Активний опір двигуна при зупиненому роторі:

$$R_{21} = \frac{1.01 \cdot P_H \cdot m}{3 \cdot (1 - S_H) \cdot (I_H \cdot K_i)^2} = \frac{1.01 \cdot 30000 \cdot 1.4}{3 \cdot (1 - 0.019) \cdot (41.7 \cdot 6.5)^2} = 0.196 \text{ Ом} \quad (2.18)$$

де $m = 1,4$ відношення пускового моменту до номінального.

Індуктивний опір короткого замикання:

$$X_k = \sqrt{(Z_{k1})^2 - (R_1 + R_{21})^2} = \sqrt{0.809^2 - (0.164 + 0.196)^2} = 0.724 \text{ Ом} \quad (2.19)$$

Еквівалентна індуктивність:

$$L = \frac{X_k}{2 \cdot f \cdot \pi} = \frac{0.724}{2 \cdot 50 \cdot 3.14} = 2.305 \text{ мГн} \quad (2.20)$$

Параметри перетворювача частоти:

$$R_f = \frac{\Delta P_M \cdot U_H^2}{P_H^2} = \frac{1484 \cdot 380^2}{30000^2} = 0.238 \text{ Ом} \quad (2.21)$$

$$Z_f = \frac{U_{кз} \cdot U_H^2}{100 \cdot P_H} = \frac{0.55 \cdot 380^2}{100 \cdot 30000} = 0.00265 \text{ Ом} \quad (2.22)$$

де $U_{кз} = 5,5 \%$, напруга короткого замикання.

$$X_f = \sqrt{(Z_f)^2 + (R_f)^2} = \sqrt{0.00265^2 + 0.238^2} = 0.238 \text{ Ом} \quad (2.23)$$

$$L_f = \frac{X_f}{2 \cdot f \cdot \pi} = \frac{0.238}{2 \cdot 50 \cdot 3.14} = 0.758 \text{ мГн} \quad (2.24)$$

Сумарний активний опір та індуктивність ланцюга статора:

Постійна часу:

$$T_e = \frac{\Sigma L}{R} = \frac{0.003063}{0.598} = 0.006 \text{ с} \quad (2.27)$$

Із розрахунків проведених вище складаю схему заміщення системи ПЧ - АД. Перелік позначок на схемі приведений в табл.2.3 [6].

Активний опір статора і ротора:

$$R_k = R_1 + R_{12} = 0.164 + 0.196 = 0.36 \text{ Ом} \quad (2.28)$$

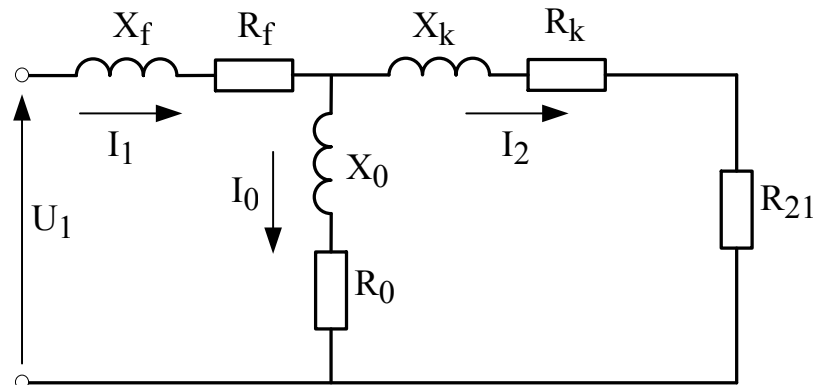


Рис. 2.1. Схема заміщення ПЧ - АД
(розроблено автором)

Втрати у сталі двигуна:

$$\begin{aligned} \Delta P_{ст} &= \Sigma \Delta P_{ном} - \Delta P_{1ном} - \Delta P_{2ном} - 0.015 P_{дв} = \quad (2.29) \\ &= 2967 - 884.856 - 639.144 - 450 = 993 \text{ Вт} \end{aligned}$$

Активний опір контуру намагнічення:

$$R_0 = \frac{\Delta P_{ст}}{3 \cdot I_H^2} = \frac{993}{3 \cdot 41.7^2} = 0.19 \text{ Ом} \quad (2.30)$$

Повний опір кола намагнічення:

$$Z_0 = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot I_H} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 41.7} = 5.261 \text{ Ом} \quad (2.31)$$

Індуктивний опір контуру намагнічення:

$$X_0 = \sqrt{(Z_0)^2 - (R_0)^2} = \sqrt{5.261^2 - 0.19^2} = 5.258 \text{ Ом} \quad (2.32)$$

Струм контуру намагнічення:

$$I_0 = I_n \cdot \left(\sqrt{1 - \cos\phi^2} - \frac{\cos\phi}{\gamma + \sqrt{\gamma^2 - 1}} \right) =$$

$$= 41.7 \cdot \left(\sqrt{1 - 0.89^2} - \frac{0.89}{2.3 + \sqrt{2.3^2 - 1}} \right) = 10.523 \text{ А} \quad (2.33)$$

Таблиця 2.3

Параметри схеми заміщення системи ПЧ-АД

Позна-чення	Параметр	Величина	Од. вим.	Примітка
U1	Напруга статора	380	В	
Rf	Активний опір перетворювача частоти	0,238	Ом	(2.11)
Rk	Активний опір статора і ротора	0,360	Ом	(2.12)
Ro	Активний опір контуру намагнічення	0,190	Ом	(2.13)
R21	Активний опір ротора	0,196	Ом	(2.14)
Xf	Індуктивний опір перетворювача частоти	0,238	Ом	(2.15)
Xk	Індуктивний опір статора і ротора	0,724	Ом	(2.16)
Хо	Індуктивний опір контуру намагнічення	5,258	Ом	(2.32)
I1	Струм статора	41,7	А	
I0	Струм контуру намагнічення	10,523	А	(2.17)
I2	Струм ротора	439,965	А	

2.6 Розробка функціональної схеми

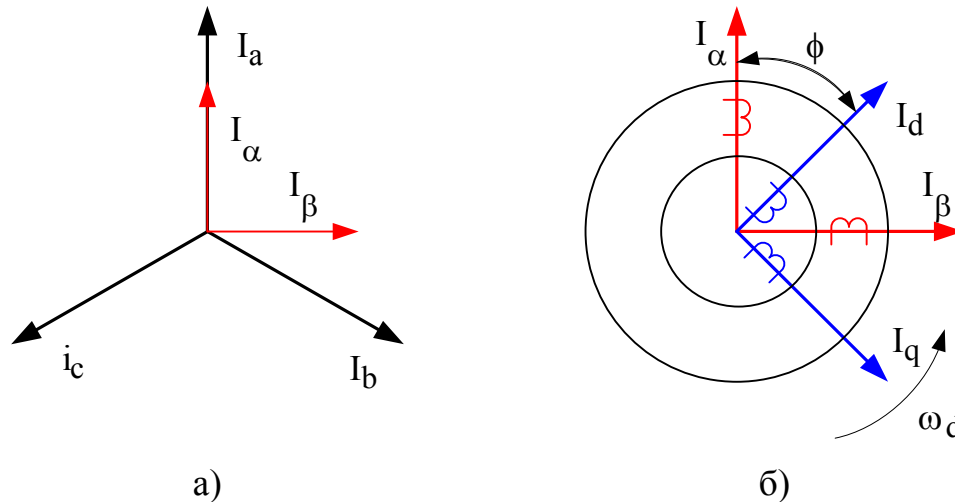
Більшість асинхронних двигунів живляться від трифазної мережі. При виведенні використані ряд допущень, тому модель і зветься моделю узагальненої машини:

машина симетрична та має рівномірний повітряний зазор;

магніто провід машини не насичений;

МДС обмоток має синусоїдальне розміщення по робочому зазору.

Для векторного керування електроприводом необхідно виконати координатні перетворення (див. рис. 2.2)



а) - з трифазної у двофазну; б) - з умовою обертання ротора

Рис. 2.2. Схеми перетворення координат
(розроблено автором)

Для початку знайдемо складові потоку статора:

$$I_\alpha = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \left(I_a - \frac{I_b}{2} - \frac{I_c}{2} \right) \quad (2.34)$$

$$I_\beta = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_b - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_c \right) \quad (2.35)$$

Враховуючи те що ротор обертається тому кут між складовими потоку статора і ротора змінюється. Розглянемо формули перетворення з урахуванням кута ϕ .

$$I_d = I_\alpha \cdot \cos(\phi) - I_\beta \cdot \sin(\phi) \quad (2.36)$$

$$I_q = I_\alpha \cdot \sin(\phi) + I_\beta \cdot \cos(\phi) \quad (2.37)$$

Також можливе і зворотнє перетворення координат із двох в три фазну:

$$I_a = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot I_\alpha \quad (2.38)$$

$$I_b = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{-1}{2} \cdot I_\alpha + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_\beta \right) \quad (2.39)$$

$$I_c = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{-1}{2} \cdot I_\alpha - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_\beta \right) \quad (2.40)$$

А також із dq до $\alpha\beta$:

$$I_\alpha = I_d \cdot \cos(\phi) + I_q \cdot \sin(\phi) \quad (2.41)$$

$$I_\beta = -I_d \cdot \sin(\phi) + I_q \cdot \cos(\phi) \quad (2.42)$$

На рис. 2.3 зображена функціональна схема векторного керування АД. Вона має два канали керування швидкістю обертання ω та модулем потокозчеплення ротора.

Для розрахунку кутової частоти ротори необхідно знайти складові потоку ротора.

$$\psi_{2d} = I_d \cdot \frac{L_m \cdot r_2}{L_2} \quad (2.43)$$

де L_2 , r_2 - індуктивність та активний опір ротора;

L_m - взаємоіндукція.

$$\omega_2 = I_q \cdot \frac{L_m}{T_2 \cdot \psi_{2d}} \quad (2.44)$$

Електромагнітна постійна часу ротора:

$$T_2 = \frac{L_2}{r_2} \quad (2.45)$$

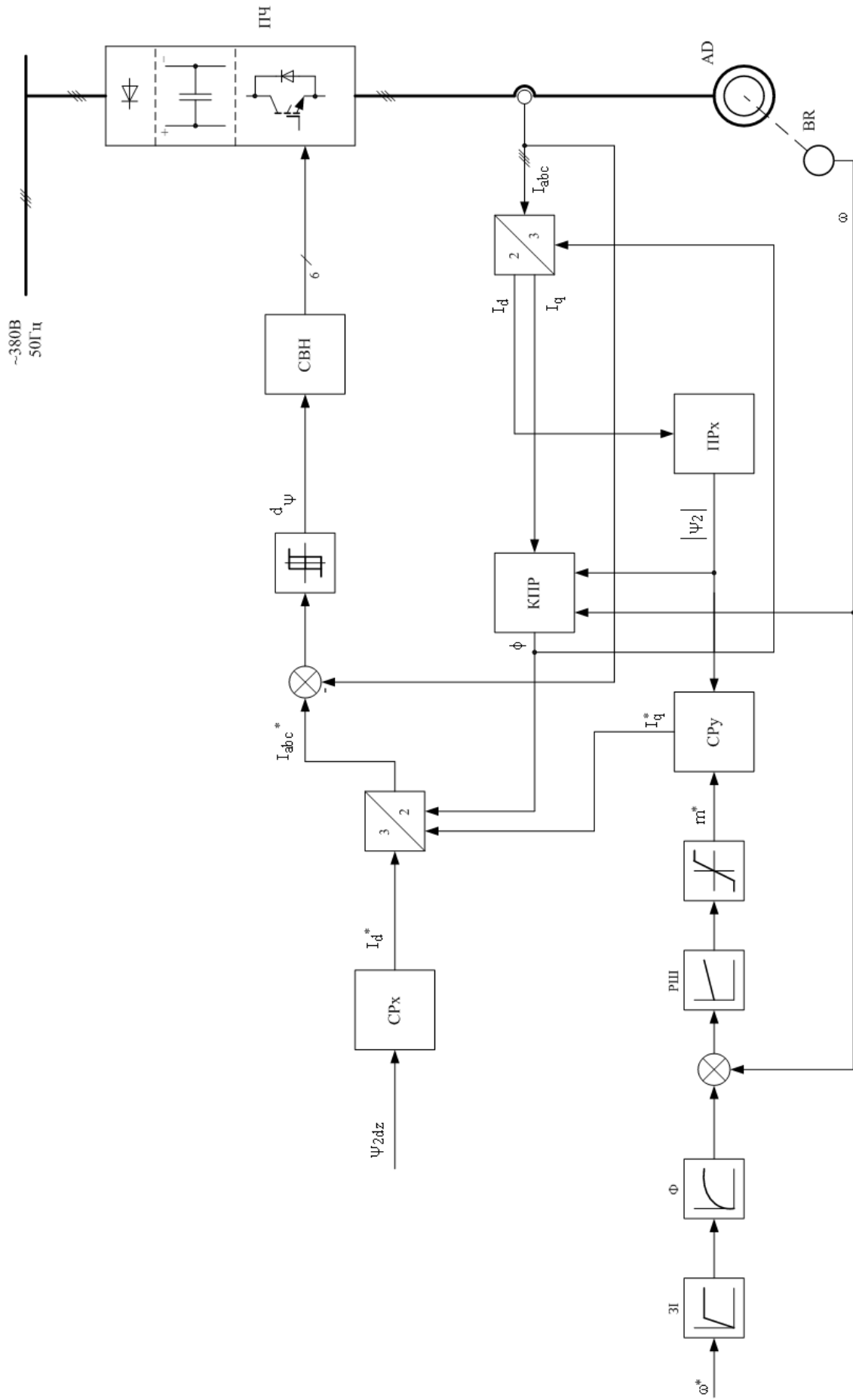


Рис. 2.3. Функціональна схема електроприводу
(розроблено автором)

На функціональній схемі представлені такі скорочення:

ПРх - блок розрахунку потоку ротора по осі x;

ω^* - задана швидкість;

ЗІ - за датчик інтенсивності;

Ф – фільтр;

РШ - регулятор швидкості;

СРу - блок розрахунку складової струму ротора по осі у;

I_q - струм ротора по осі у;

$|\Psi_2|$ - потік ротора;

$\Psi_{2\text{вн}}$ - заданий потік ротора по осі x;

СРх - блок розрахунку складової струму ротора по осі x;

КПР - розрахунок кута повороту ротора;

3/2, 2/3 - перетворювачі координат;

СВН - блок генерування імпульсів.

Електромагнітний момент:

$$m = \frac{3 z_p \cdot L_m}{2 \cdot L_2} \cdot \psi_{2d} \cdot I_d \quad (2.46)$$

Принцип роботи схеми досить простий. Завдяки зворотному зв'язку по швидкості отримуємо величину кута повороту ротора ϕ та електромагнітний момент двигуна m .

Використовуючи значення струмів статора через перетворення координат отримуємо реальні значення складових струму ротора. Завдяки цим даним знаходимо величину потоку ротора $|\Psi_2|$ та той же таки кута повороту ротора ϕ .

Після зворотного перетворення в регуляторі струму з отриманих I_{abc}^* віднімаємо дійсні значення I_{abc} та завдяки блоку з гістерезисною кривою задаємо імпульси на вхід IGBT - транзисторів.

Використовуючи функціональну схему та формулу будуємо структурну схему (див. рис. 2.4) [4].

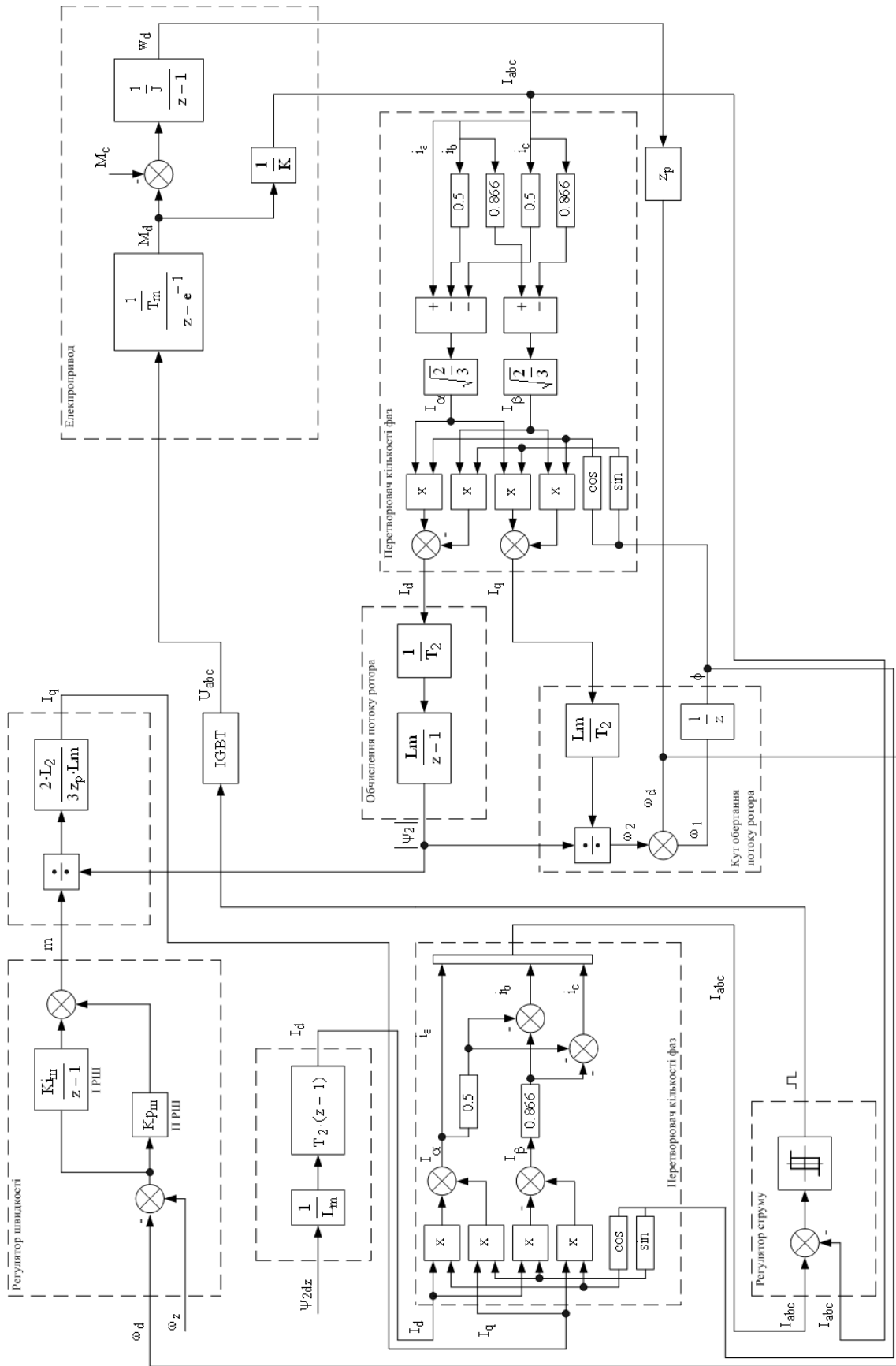


Рис. 2.4. Структурна схема АД з векторним керуванням
(розроблено автором)

2.7 Механічні характеристики АД при частотному керуванні

Частота статора у відносних одиницях:

$$\alpha = \frac{f}{f_H} \quad (2.47)$$

де $f_H = 50$ Гц, номінальна частота;

f - вироблена частота.

Відносна зміна напруги статора:

$$\gamma = \frac{U}{U_H} = \sqrt{\frac{\alpha \cdot [R_1 + \sqrt{(R_1)^2 + (X_k \cdot \alpha)^2}]}{R_1 + \sqrt{(R_1)^2 + (X_k)^2}}} \quad (2.48)$$

Зі зміною частоти змінюється критичне ковзання:

$$s_{kp} = \frac{R_{21}}{\sqrt{(R_1)^2 + (X_k \cdot \alpha)^2}} \quad (2.49)$$

Максимальний момент для різних частот:

$$M_{max} = \frac{3 \cdot U_H^2 \cdot R_{21}}{s_{kp} \cdot \omega (R_1 + R_{21} \cdot s_{kp})^2 + (X_k)^2} \quad (2.50)$$

Провівши розрахунки по формулам (2.47 - 2.50), знаходимо момент двигуна та швидкість для кожної з частот [4].

Момент двигуна:

$$M_d = M_{max} \cdot \frac{2 \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_{21}} \cdot s_{kp} \right)}{\frac{s}{s_{kp}} + \frac{s_{kp}}{s} + 2 \cdot \left(\frac{R_1}{c \cdot R_{21}} \cdot s_{kp} \right)} \quad (2.51)$$

Швидкість обертання валу двигуна:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p} \cdot (1 - S) \quad (2.52)$$

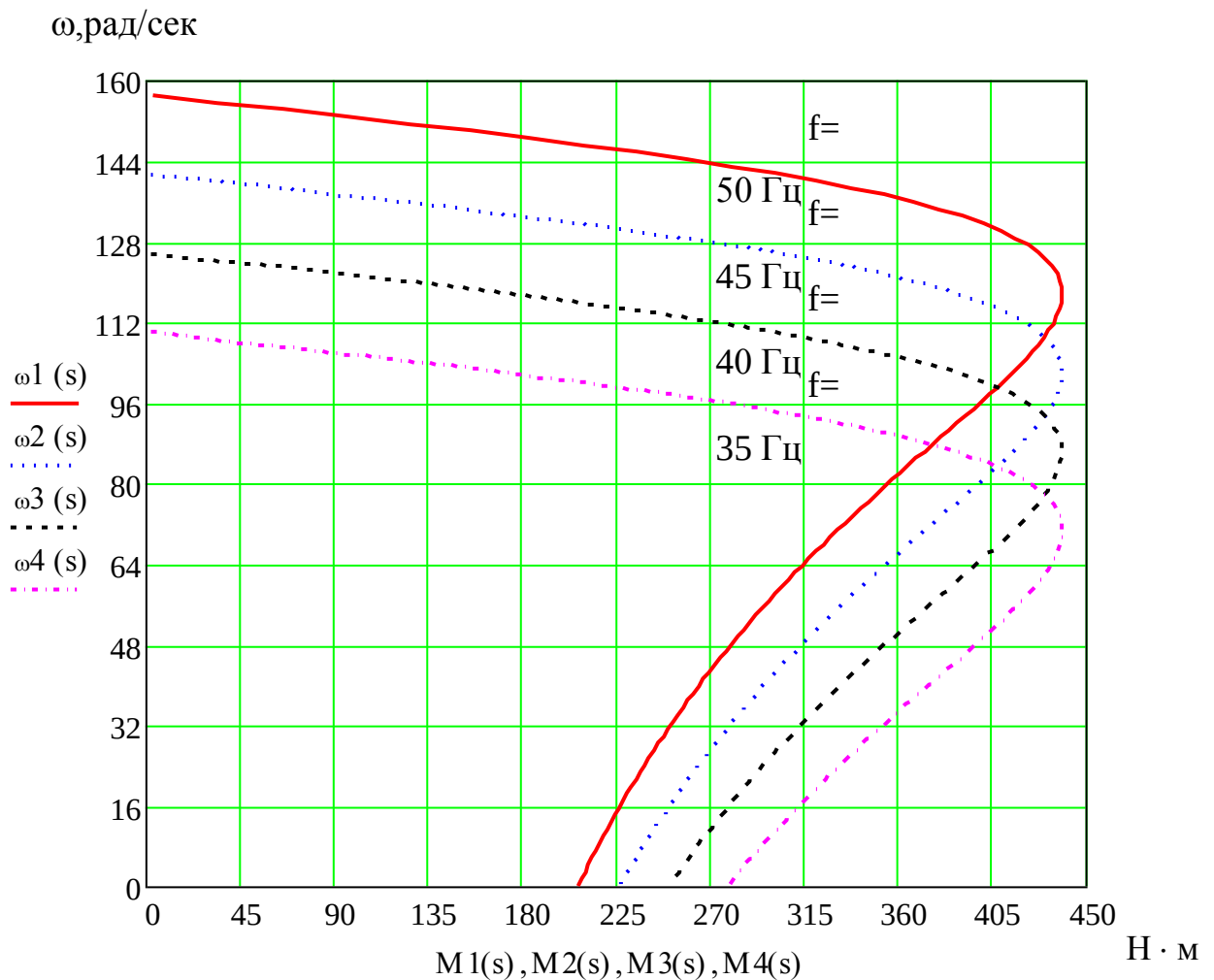


Рис. 2.5. Залежність $\omega = f(M)$ при частоті живильної напруги 50; 45; 40; 35 Гц
(розроблено автором)

2.8 Моделювання системи ПЧ-АД з векторним регулюванням

Коефіцієнт передачі датчика швидкості:

$$K_{\text{ш}} = \frac{U_{\text{ПГ}}}{n} = \frac{10}{157.08} = 0.067 \quad \text{В} \cdot \text{рад} \quad (2.53)$$

де $U_{TG} = 10 \text{ В}$, напруга виходу тахогенератора.

Коефіцієнт зв'язуючи момент зі струмом:

$$K_M = \frac{M_H}{I_H} = \frac{191.083}{41.7} = 4.582 \quad \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{А}} \quad (2.54)$$

Проводимо розрахунок коефіцієнтів пропорційної та інтегральної частини регулятора швидкості.

Пропорційна частина регулятора швидкості:

$$K_{p_c} = \frac{J}{K_M \cdot T_i \cdot K_{ш}} \cdot \frac{1 - e^{-0.5}}{1 - e^{-1}} = \frac{0.46}{4.582 \cdot 0.0033 \cdot 0.063} \cdot \frac{1 - e^{-0.5}}{1 - e^{-1}} = 0.482.89 \quad (2.55)$$

Інтегральна частина регулятора:

$$K_{i_c} = K_{p_c} \cdot \left(1 - e^{\frac{-T_i}{T_e}} \right) = 0.482 \cdot \left(1 - e^{-0.052} \right) = 0.048 \quad (2.56)$$

Для реалізації в ЕОМ:

$$K_{i_{cm}} = K_{i_T} \cdot 256 = 0.048 \cdot 256 = 13 \quad (2.57)$$

$$K_{p_{cm}} = K_{p_T} \cdot 256 = 0.482 \cdot 256 = 123 \quad (2.58)$$

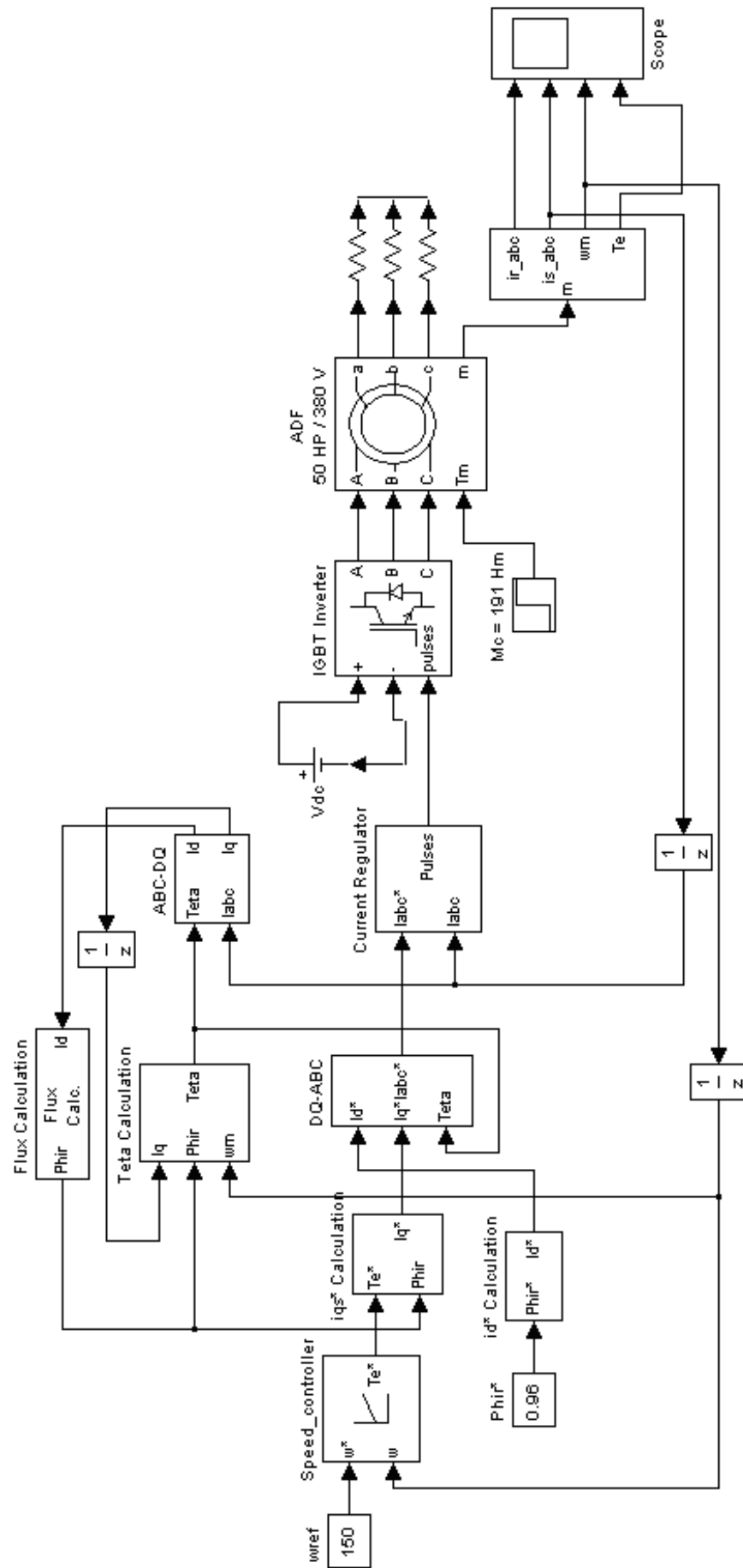


Рис. 2.6. Структурна схема для моделювання

(розроблено автором)

Модель містить:

Віртуальний асинхронний двигун.

Трьох фазний автоматичний інвертор на IGBT – транзисторах.

Гістерезисний трьохфазний регулятор струму (Current Regultfor). У вікні, яке відкривається настройки цього блоку вказується ширина «струмового коридору». На вхід блока надходять сигнали завдання струмів у фазах та сигнали зворотних зв'язків реальних струмів.

Блоки ABC-XY та XY-ABC виконують перетворення нерухомої трьохфазної системи координат у крутячу двофазну та крутячу двофазну у нерухому трьохфазну.

Блок визначення вихідної частоти інвертора (блок Teta Calculation). Цей блок визначає вихідну частоту інвертора.

Блок обчислення потоку (блок Flux Calculator).

Блок завдання потоку (Phir) та регулятор струму по осі x F (lux Controler).

Сигнал з виходу регулятора швидкості (блок Speed Controller), поділений на обчислений потік, є задаючим струмом по осі у.

Під час моделювання в пакеті MATLAB були отримані графіки залежності моменту, швидкості і струму від часу.

Перехідні процеси по швидкості і по моменту показані на рис. 2.7.

Як показує аналіз наведених залежностей застосований у проекті частотно-регульований асинхронний електропривод забезпечує високі динамічні параметри системи автоматичного керування конвеєром. У процесі пуску система автоматичного керування електроприводом забезпечує обмеження робочих струмів й обертаючого моменту машини [4].

У такий спосіб система електропривода автоматизованого конвеєра повністю задовольняє технічним і технологічним вимогам поставленим у роботі.

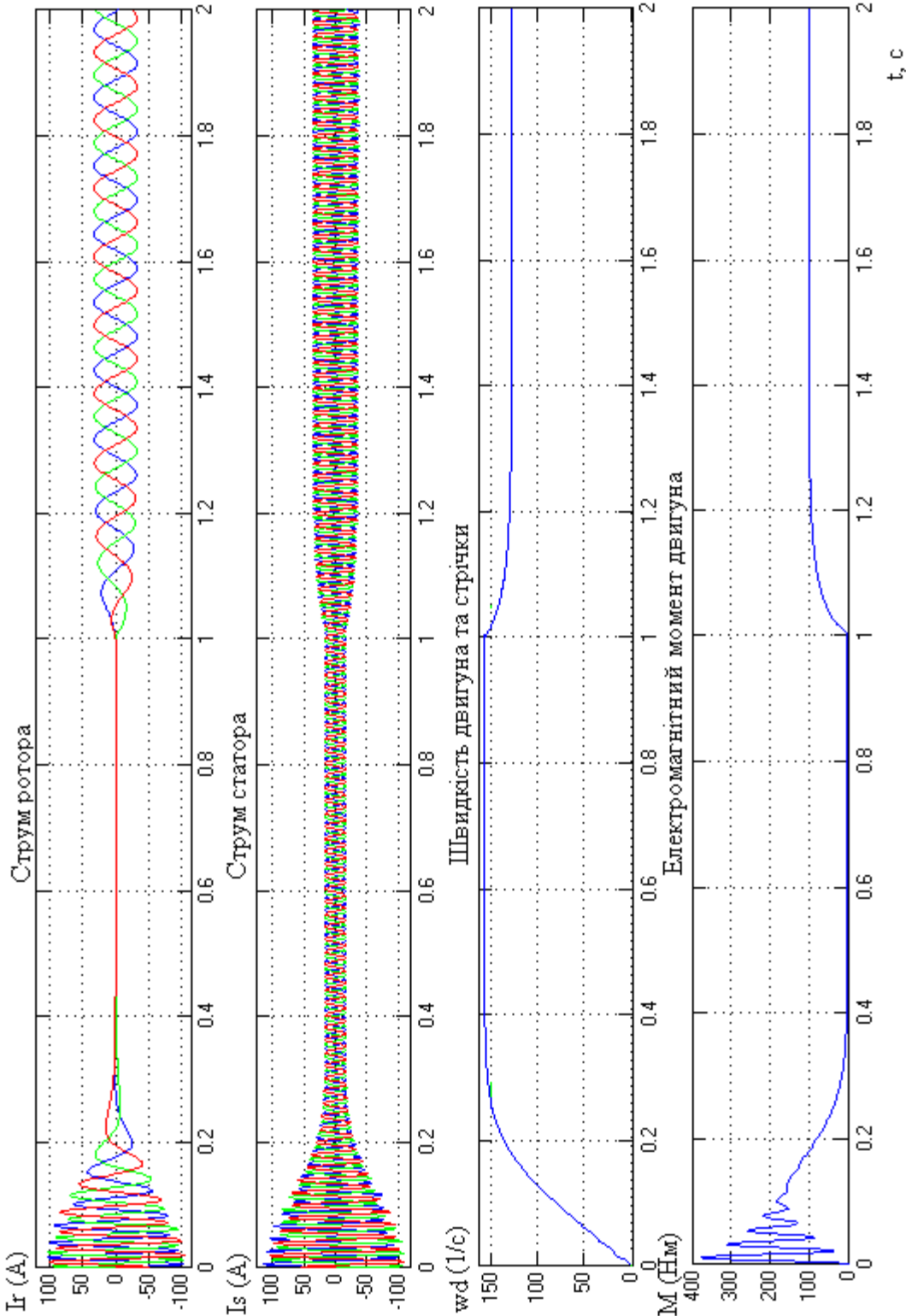


Рис. 2.7. Графіки перехідних процесів
(розроблено автором)

2.9 Актуальність завдання автоматизованого керування процесом подачі компонентів шихти

Технологічний процес агломерації висуває жорсткі вимоги до точності підтримання складу шихти. Відхилення у масовому співвідношенні компонентів знижують якість агломерату та призводять до перевитрат сировини. Регулювання продуктивності конвеєра ГТІ-3, що транспортує дроблений вапняк, є ключовим завданням системи дозування [1].

Структурна схема інформаційного комплексу, що охоплює задачі управління конвеєрною системою, наведена на рис. 2.8. Система реалізує такі функції управління:

- розподіл матеріалу по приймальних бункерах з вирішенням задач усереднювання, резервного накопичення та конфігурування потоків;
- оперативний пуск і зупинка агрегатів у рамках традиційних систем автоматичного управління;
- вибір кількості одночасно працюючих агрегатів;
- управління пристроями пневмообрушіння та живильниками бункерів;
- інструментальний нагляд за технічним станом агрегатів;
- багатоканальна сигналізація технологічних невідповідностей.

Введення автоматизованого частотно-регульованого привода дозволяє регулювати швидкість стрічки в діапазоні 1:5 із точністю не менше 2 %, забезпечити точність вагового дозування не менше 1 % та скоротити час аварійних простоїв за рахунок вбудованої діагностики.

1. Розподіл матеріалу по приймальних бункерах ділянки, з рішенням задач усереднювання, резервного накопичення, конфігурування потоків;
2. Оперативного пуску і зупинки агрегатів в рамках традиційних САУ ПТС;
3. Обрання до роботи необхідної кількості одночасно працюючих агрегатів;
4. Обрання до роботи обрушуючих пристроїв, станцій живильників;

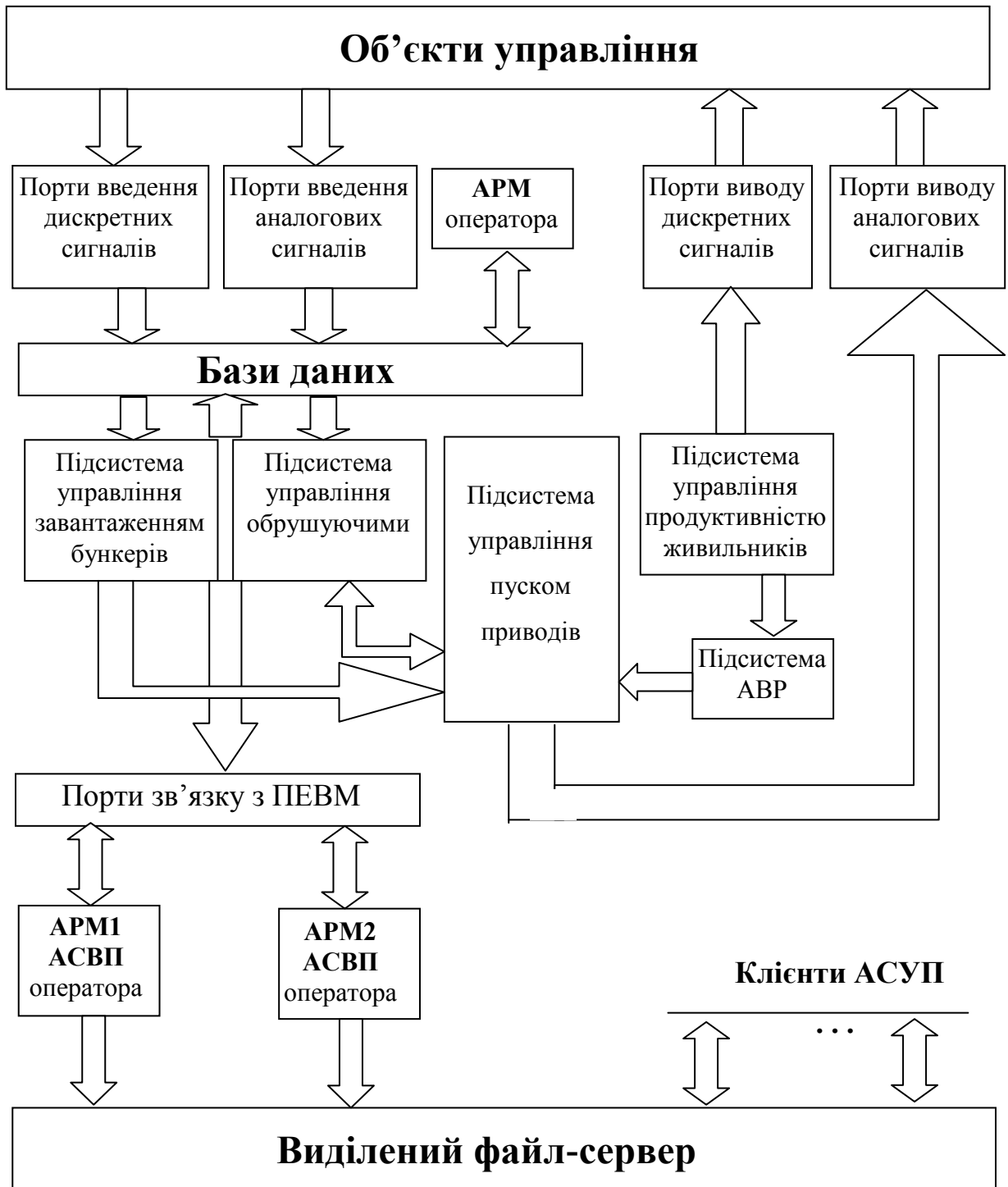


Рис. 2.8. Структурна схема керуючого комплексу
(розроблено автором)

5. Інструментального нагляду за технічним станом агрегатів;
6. Багатоканальної коментованої сигналізації виниклої технологічної невідповідності.

При виявленні відсутності матеріалу на живильнику, програма після затримки в декілька секунд включає механізм пневмообрушіння, якщо через декілька секунд матеріал не з'явився, живильник відключається. Підпрограма

АВР (автоматичне включення резерву) включає наступний зарезервований бункер з урахуванням тимчасових транспортних затримок. Слід зазначити, що АВР також управляє пуском додаткових бункерів, якщо продуктивності працюючих бункерів недостатньо. Підпрограма ВЗЖ (виключення зайвого живильника) виконує протилежну задачу.

2.10 Аналіз існуючих методів і засобів регулювання подачі компонентів шихти

Якісний розрахунок агломераційної шихти та точне дозування її компонентів забезпечують постійний хімічний склад і стабільну якість агломерату. На ділянці підготовки вапняку аглоцеху № 3 застосовуються стрічкові живильники – робочі органи систем дозування. Вимірювання витрати матеріалу досягається зміненням площі перерізу S та швидкості V [2]:

$$Q = S \cdot V \quad (2.59)$$

де S - площа перерізу потоку матеріалу, м^2 ; V - швидкість руху матеріалу, м/с .

Продуктивність за масою пов'язана з об'ємною залежністю:

$$Q_m = \rho \cdot Q \quad (2.60)$$

де ρ - насипна щільність матеріалу, кг/м^3 .

При об'ємному дозуванні відхилення витрати від заданого значення становить 15-20 %. Ваговий метод підвищує точність у 3-5 разів. Маса матеріалу G на ваговому транспортері:

$$G = Q \cdot L_{\text{тр}} / V_{\text{тр}} \quad (2.61)$$

де $L_{\text{тр}}$ - довжина робочої ділянки, м; $V_{\text{тр}}$ - швидкість транспортера, м/с.
Коефіцієнт підсилення ваговимірювача $k = L_{\text{тр}} / V_{\text{тр}}$.

Динаміка ваговимірювача при стрибкоподібній зміні витрати:

$$G'(t) = Q_i \cdot t - Q_i \cdot (t - t_{\text{відс}}) \quad (2.62)$$

де $t_{\text{відс}}$ - час відсічення, с.

Передатна функція ваговимірювача в операторній формі:

$$W(p) = \frac{1}{p} (1 - e^{-pt_{\text{відс}}}) \quad (2.63)$$

Маса вапняку, що рухається стрічкою конвеєра ГТІ-3:

$$G = dm \cdot V \cdot T \quad (2.64)$$

де dm - погонне навантаження, кг/м (датчик ваги без маси стрічки); T - час аналізу продуктивності, с.

Продуктивність конвеєра:

$$Q = G / T = dm \cdot V \quad (2.65)$$

Технологічним завданням є узгодження $Q_{ГП-3}$ з сумарною продуктивністю живильників $ДІ_{2-10}$ $Q_{ДІ2-10}$. Відносно збудень об'єкт апроксимується ланкою чистого запізнювання:

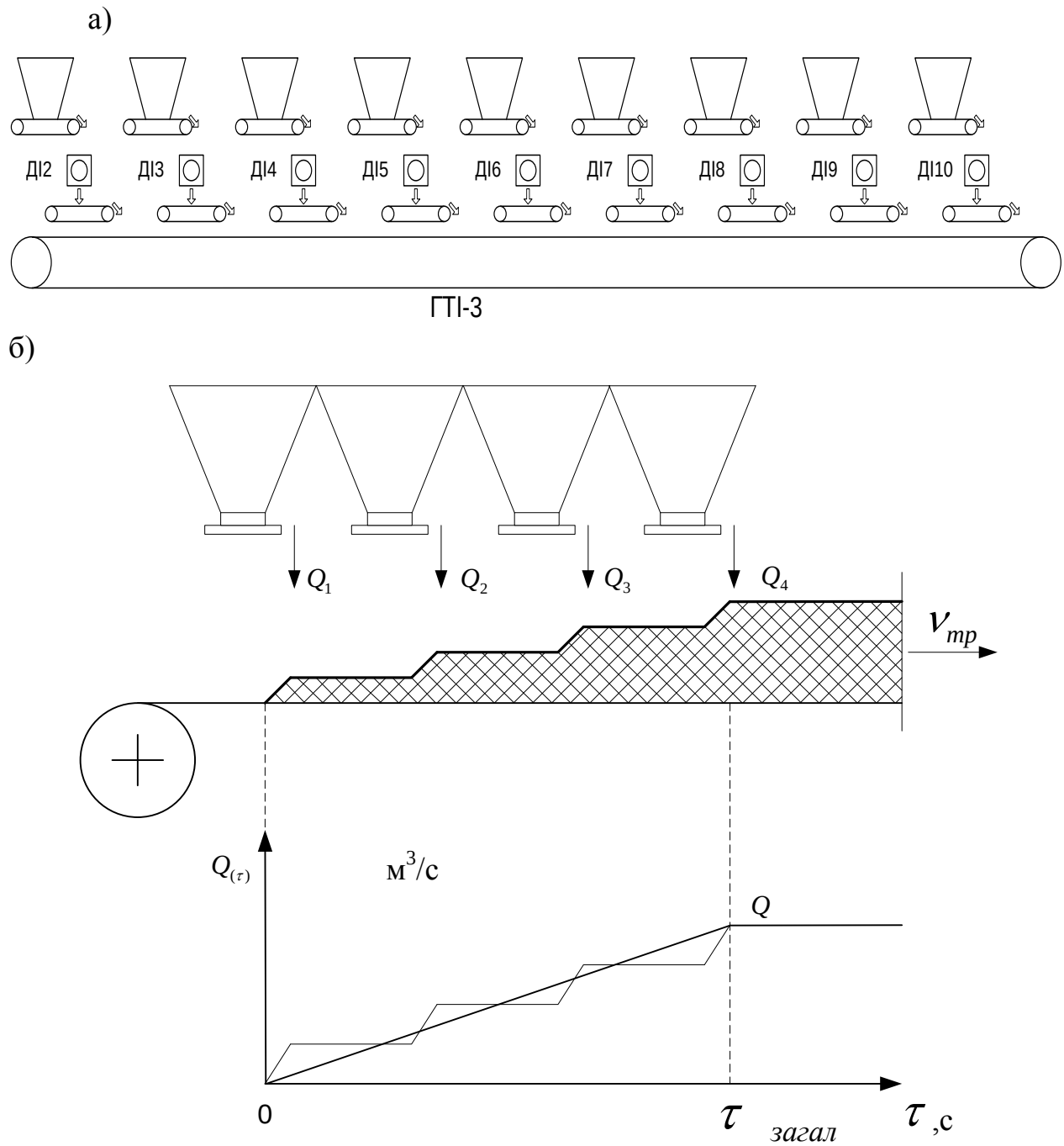


Рис. 2.9. Схема дозування вапняку
(розроблено автором)

$$W_{об}(p) = K_{об} \cdot e^{-p\tau}, \quad (2.66)$$

де τ - час запізнювання ($0 \dots t_{відс}$) залежно від місця збурення. Застосування n ваговимірювальних точок зменшує τ в n разів.

Умовні позначки на схемі: SE - датчик швидкості; TE - датчик температури; WE - датчик ваги; EI - датчик струму головного привода; ЕЕС - регулятор струму головного привода; YETCS - програмувальний логічний контролер;

YEICSA - пристрій контролю й керування; YEIRCSA - персональна ЕОМ.

При порівнянні способу опосередкованого послідовного з'єднання дозаторів ($\Delta\tau = n\tau_{ум.} - \tau_i$) зі способом їхнього безпосереднього з'єднання ($\Delta\tau = \tau_{ум.} - \tau_i$) (рис. 2.10, а) видно, що в цьому випадку величина $\Delta\tau$ може виявитися значно меншою і якість регулювання вище. У той же час таке з'єднання дозаторів має й істотні недоліки. Якщо при паралельному з'єднанні ведені дозатори є незалежними один від одного, то в цьому випадку робота кожного з них визначається станом всіх попередніх. Опосередковане з'єднання приводить до згладжування сигналів у ланцюзі дозаторів, а також до нагромадження статичної помилки в міру віддалення дозаторів один від одного.

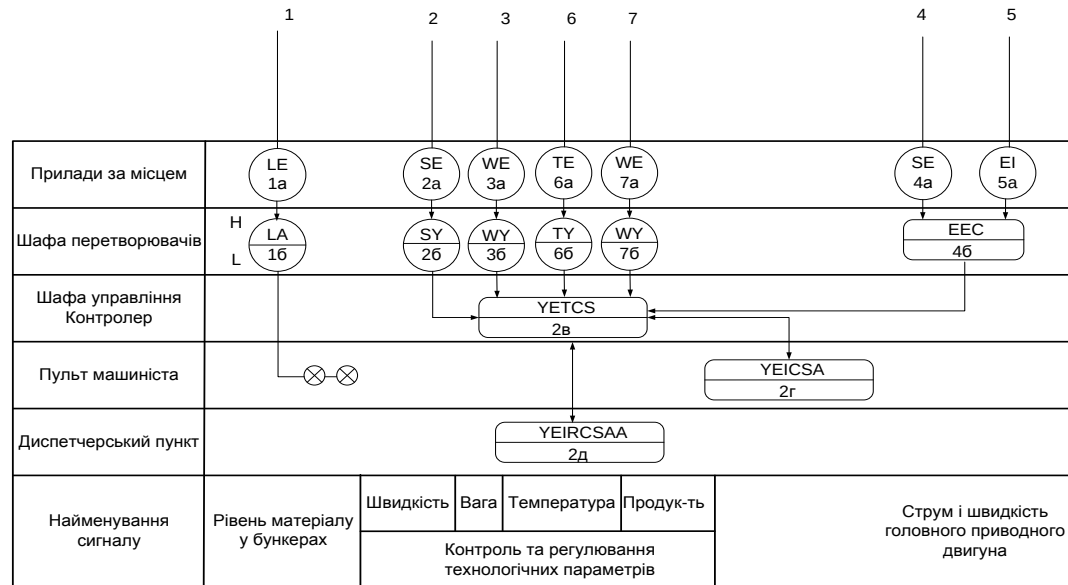
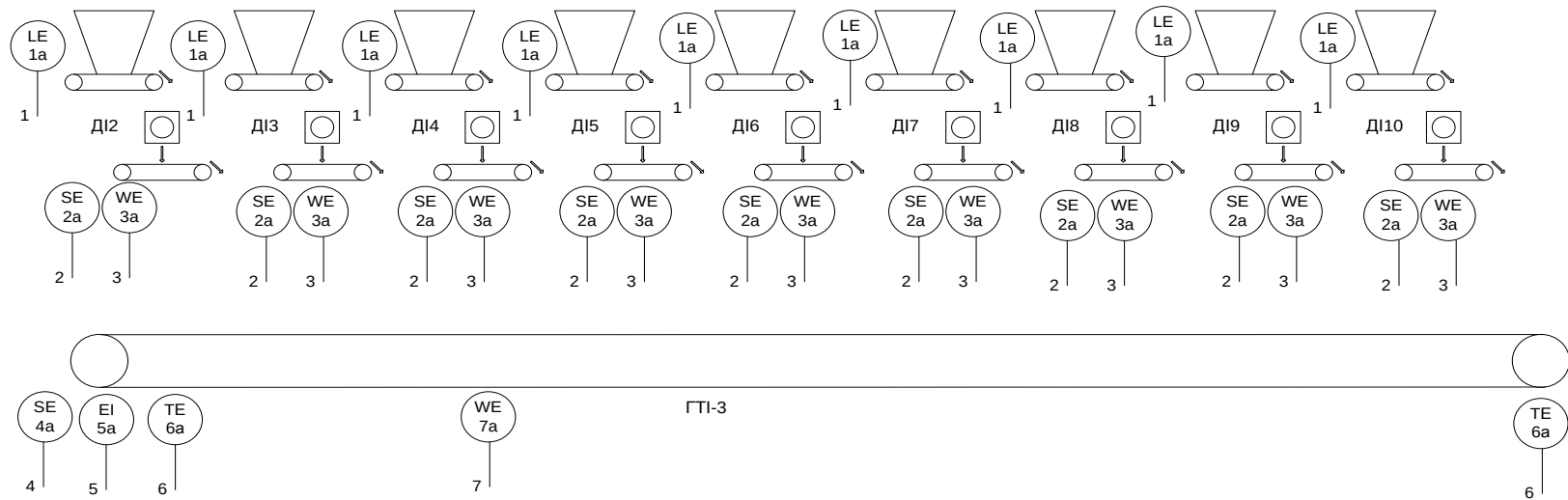


Рис. 2.10. Функціональна схема системи керування конвеєром ГТІ-3
(розроблено автором)

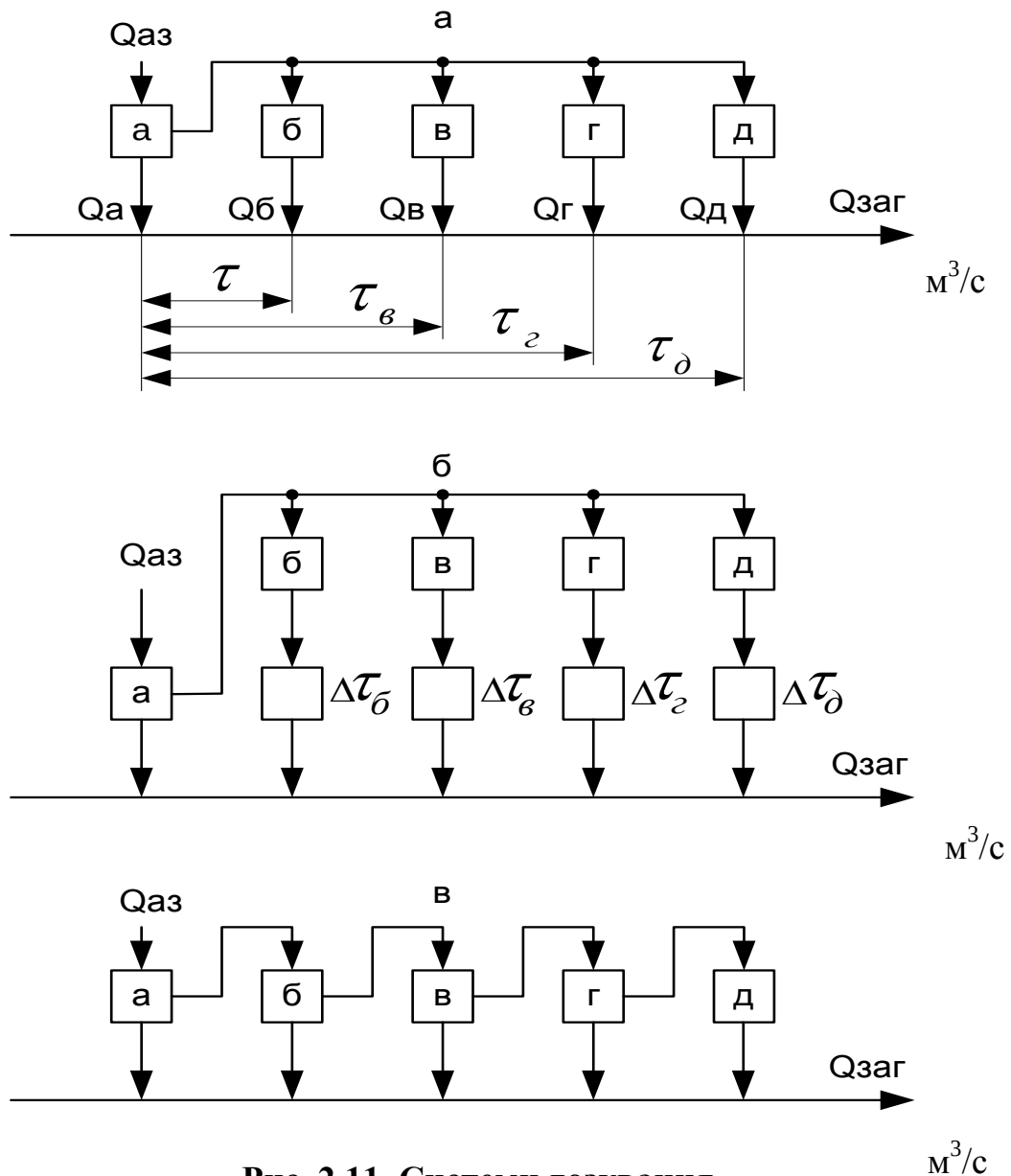


Рис. 2.11. Системи дозування
(розроблено автором)

2.11 Вибір критерію управління конвеєрною лінією

За результатами аналізу можливих критеріїв виокремлено три напрями: мінімальний час простою; мінімальна витрата електроенергії; мінімальний знос матеріальної частини. Критерій мінімального часу простою є найбільш загальним. Цільова функція витрат:

$$\psi = c \sum_{j=1}^d \tau_j F_j \rightarrow \min \quad (2.67)$$

де c - вартість матеріалу за одиницю часу; τ_j - інтервал незмінності керуючих дій; d - кількість інтервалів; F_j - логічна функція ймовірності технологічного простою.

Для реалізації критерію система автоматизації повинна забезпечувати [7]:

- пуск і зупинку конвеєрної лінії залежно від завантаження окремих конвеєрів;
- завантаження накопичувальних бункерів з контролем рівня маси;
- оптимальне розвантаження бункерів з попереджувальним контролем завантаження конвеєра.

Цифровий ПІД-регулятор у складі Altivar ATV38 забезпечує стабілізацію швидкості і технологічних параметрів (продуктивності, витрати) відповідно до критерію (2.67).

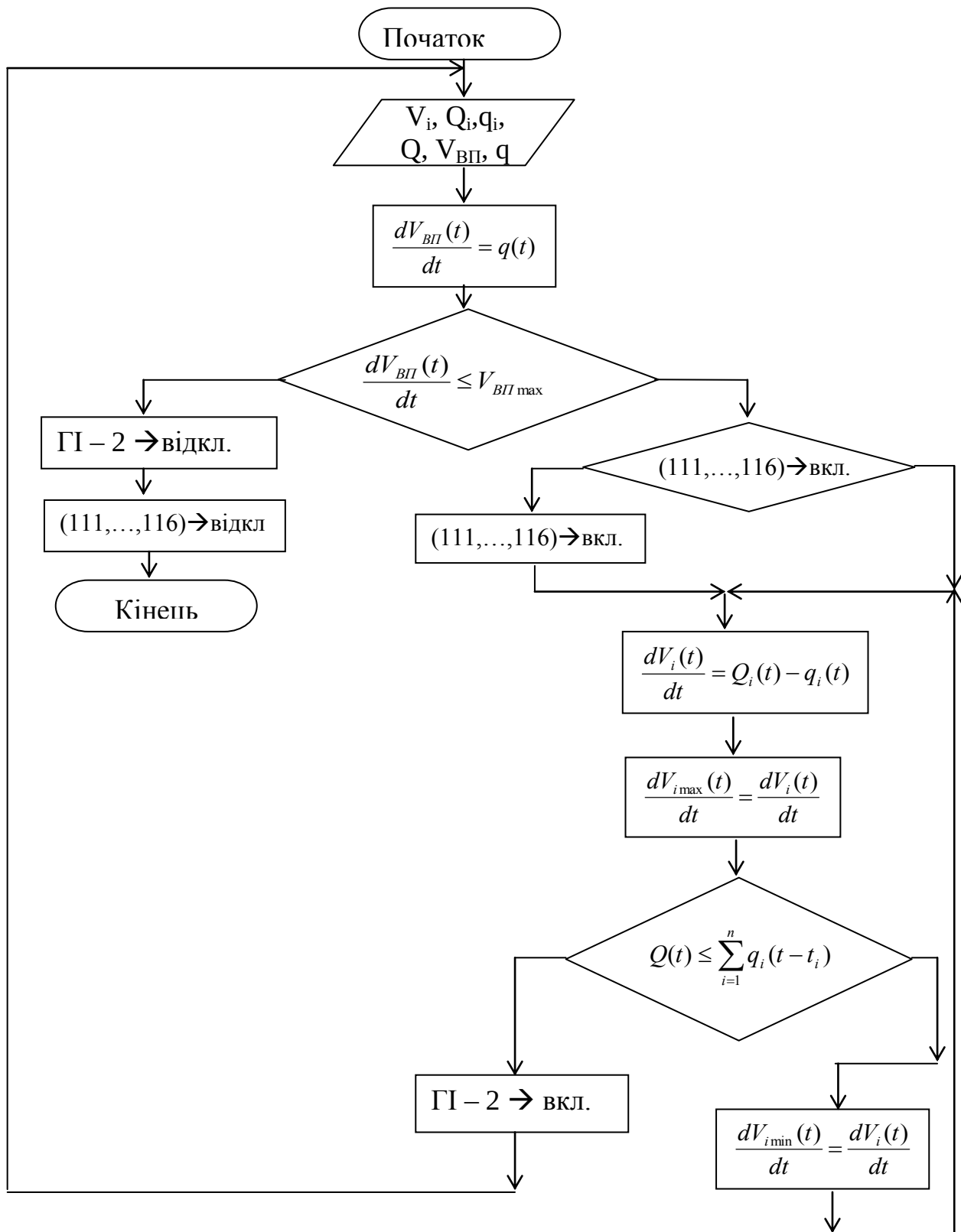


Рис. 2.12. Блок-схема алгоритму оцінки стану завантаженості лінії
(розроблено автором)

На рис.2.14. підсистема централізованого управління (ПЦУ) – це функціональне ядро, що визначає і забезпечує цільову спрямованість управління. ЛПР – особа чи людина, що приймає рішення при управлінні. Підсистема людино-машинного інтерфейсу (ПЛМІ) забезпечує взаємодію ЛПР з системою автоматизації в рамках виконання таких умов як наявність інформації про об'єкт управління, наявність засобів відображення цієї інформації, можливість однозначної реалізації управляючої дії, наявність зворотного зв'язку, що змінює в моделі відображення інформацію про реакцію об'єкту управління на ці дії. ПЦУ, ЛПР, ПЛМІ займають вищий рівень у структурній схемі автоматизованої інформаційної системи.

Підсистема системної інтеграції (ПСІ) реалізує процеси передачі інформації між іншими підсистемами системи автоматизованого диспетчерського управління. Підсистема взаємодії з об'єктом управління (ПвзОУ) забезпечує інтерфейс зв'язку з об'єктом управління.

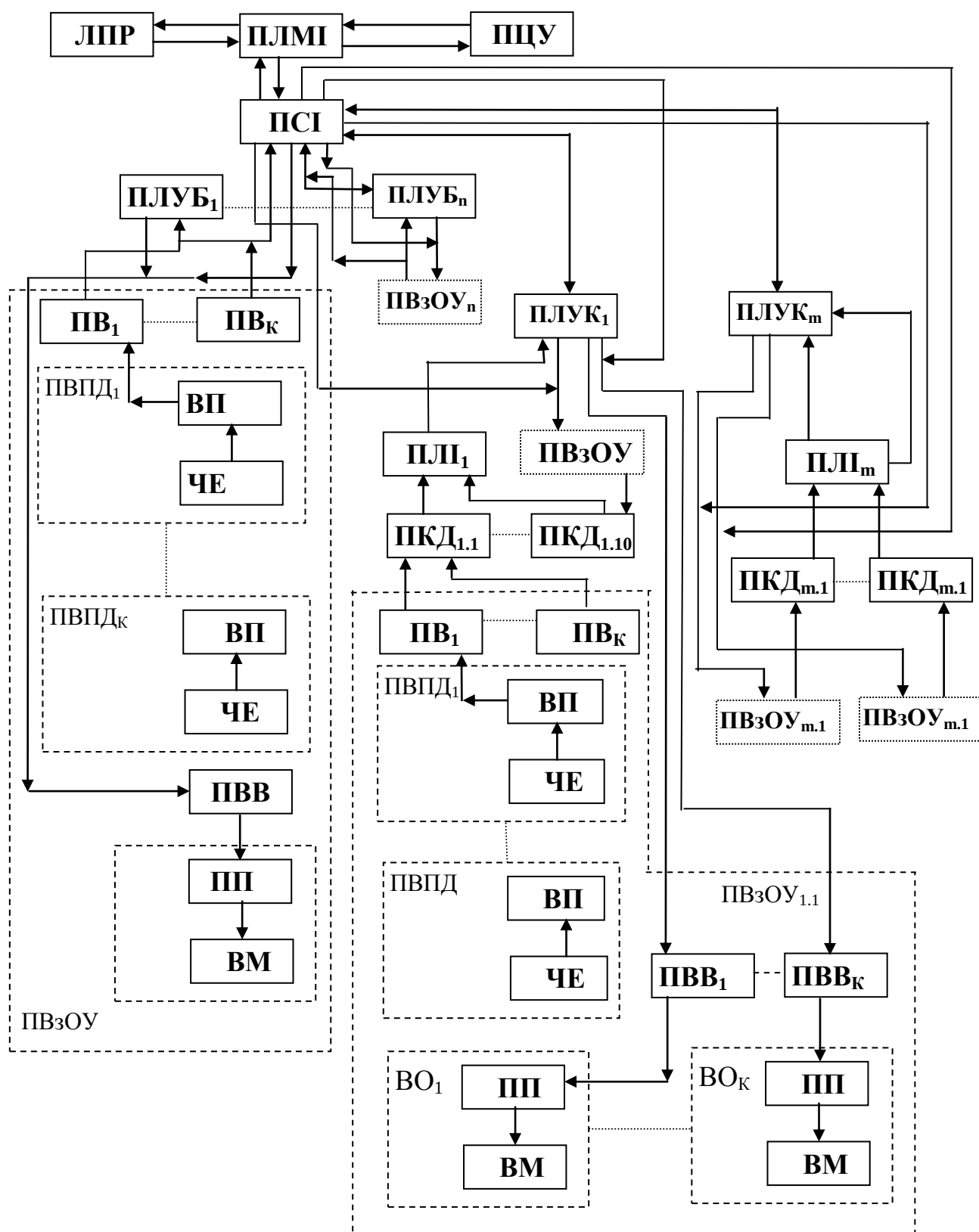


Рис. 2.13. Структурна схема автоматизованої інформаційної системи
(розроблено автором)

2.12 Розробка алгоритмів роботи автоматизованої системи керування конвеєрною лінією

Алгоритм управління реалізований у контролері ICP DAS I-8811. При послідовному опитуванні датчиків після встановлення номера i -го датчика визначається необхідність опитування на даний момент. Алгоритм опитування датчиків наведено на рис. 2.14. Кожен сигнал перевіряється на достовірність:

$$X_t \min_{\text{доп}} < X_t < X_t \max_{\text{доп}} \quad (2.68)$$

Потім виконуються такі операції:

- масштабування (переведення у машинний код);
- фільтрація (усунення перешкод 50 Гц аналоговими фільтрами, низькочастотна цифрова фільтрація);
- перевірка на граничні технологічні значення;
- запис у масив даних.

Підпрограма АВР (автоматичне вмикання резерву) вмикає наступний зарезервований бункер при виявленні відсутності матеріалу на живильнику. Алгоритм побудований за принципом «мінімальний час простою»: накопичення вантажу в бункерах дозволяє продовжувати роботу суміжних ланок при короткочасній зупинці. Вибір часового квантування здійснюється відповідно до теореми Котельникова [7].

При послідовному опитуванню датчиків, після встановлення номеру чергового i -ого датчика визначається чи треба його опитувати на даний момент часу. Це залежить від потреб на використання інформації, що надається датчиком. Якщо необхідності в опитуванні нема номер датчика змінюється, тобто здійснюється перехід на цикл опитування наступного датчика. Якщо датчик необхідно опитувати, виконується введення інформації з нього, після чого сигнал перевіряється на достовірність, масштабується, тобто переводиться

в машинний код, фільтрується, перевіряється на припустимі технологічні значення і потім засилається до масиву даних. Після закінчення списку датчиків опитування їх закінчується.

Перевірка сигналів на достовірність дуже важлива, оскільки тільки при цій умові управляюча система захищена від грубих помилок, викликаних виходом із ладу якого-небудь елементу системи. Перевірка виконується порівнянням поточного значення x_t з граничними значеннями виміряного параметру:

$$x_{t \min \text{ дост}} < x_t < x_{t \max \text{ дост}} \quad (2.69)$$

Більш надійним є контроль достовірності за швидкістю зміни виміряної величини. В залежності від важливості виміряної величини та особливостей її виміру використовують і інші методи перевірки на достовірність:

- установка дублюючих датчиків;
- виконання декількох вимірювань одним датчиком, який регулярно перевіряється.

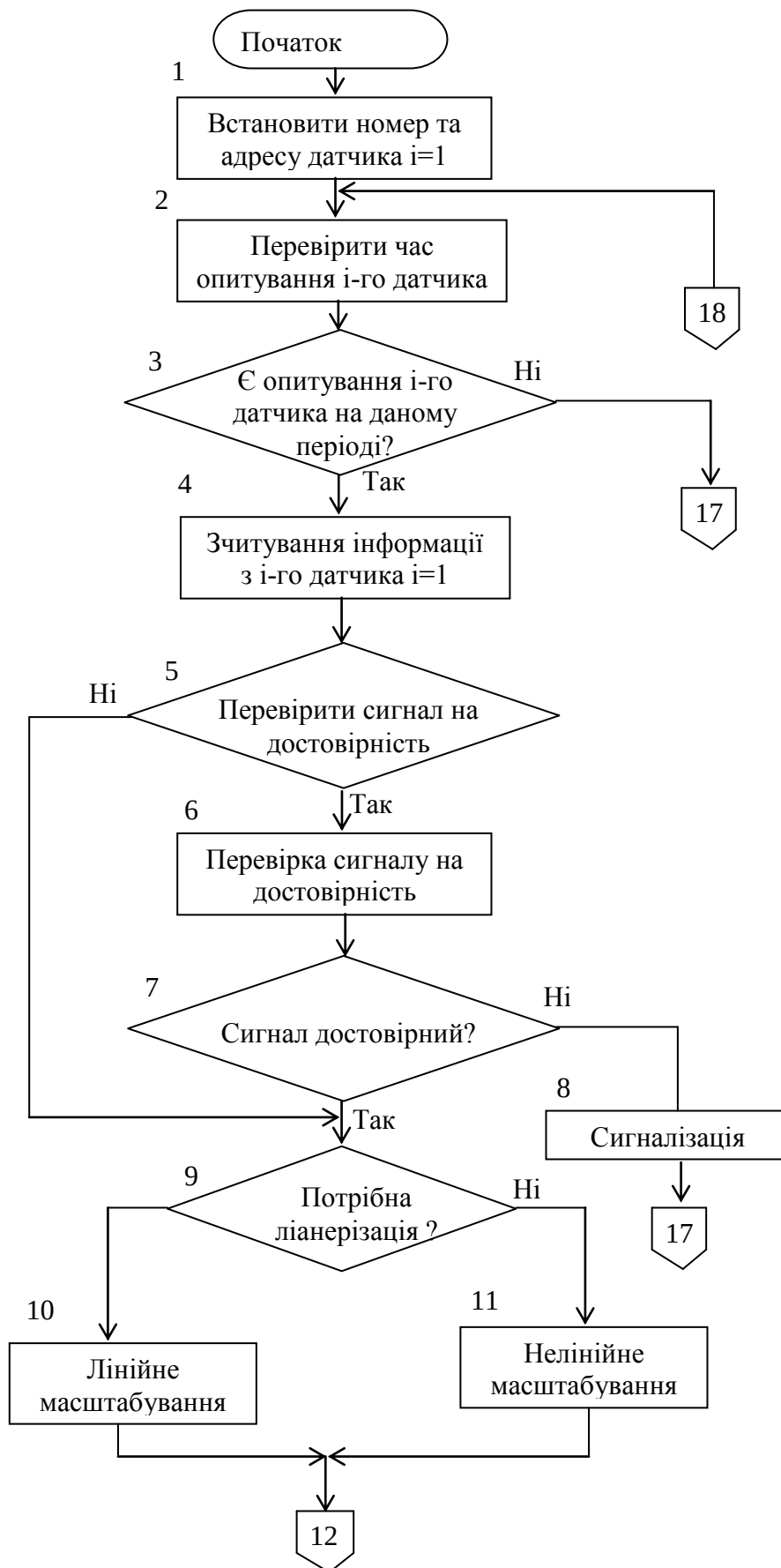


Рис. 2.14. Алгоритм опитування датчиків та початкової обробки інформації

(розроблено автором)

2.13 Розрахунок та аналіз інформаційних потоків

Кількість інформації в одному узагальненому показнику оцінюється за формулою Хартлі [8]:

$$I = k \cdot \log_2(m) \quad (2.70)$$

де $k = 6,2$ - середня довжина символного показника (знаків); $m = 12$ - кількість символів алфавіту (10 цифр + 2 розділових знаки).

Кількість інформації в одному показнику:

$$I = 6,2 \cdot \log_2(12) = 6,2 \cdot 3,585 \approx 22,32 \text{ біт} \quad (2.71)$$

Перелік вхідних сигналів наведено в табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Таблиця вхідної інформації системи АСК конвеєрної лінії

№	Найменування	Періодич.	К-сть показн./зміну
1	Датчики рівня матеріалу	1 раз/хв	7200
2	Датчики положення	1 раз/хв	6240
3	Датчики контролю збігу стрічки	1 раз/10 хв	528
4	Датчики контролю заштибовки	1 раз/10 хв	432
5	Датчики швидкості	1 раз/хв	2400
6	Ваговимірювальні датчики	1 раз/10 хв	336
7	Датчики контролю пориву стрічки	1 раз/10 хв	240
8	Датчики вібрації	1 раз/24 хв	120
9	Датчики потужності	1 раз/30 хв	64
10	Датчики температури і перегріву барабанів	1 раз/20 хв	96

Перелік вихідних сигналів наведено в табл. 2.5.

Таблиця 2.5

Таблиця вихідної інформації системи АСК конвеєрної лінії

№	Найменування	Періодич.	К-сть показн./зміну
1	Контроль рівня матеріалу в бункерах	1 раз/хв	480
2	Управління автостелюю ГІ-2	1 раз/0,5 хв	960
3	Контроль збігу стрічки	1 раз/хв	480
4	Контроль заштибовки перевантажувальних пунктів	1 раз/хв	480
5	Контроль і регулювання швидкості стрічки	1 раз/0,5 хв	960
6	Контроль зважування матеріалу	1 раз/хв	480
7	Контроль перегріву барабанів	1 раз/хв	480
8	Пуск і зупинка конвеєра	1 раз/хв	480

Обсяг вхідної та вихідної інформації за одну зміну (8 год):

$$Q_{\text{вх}} = \sum Q_{\text{вх}i} \cdot K_{it} \quad (2.72)$$

$$Q_{\text{вих}} = \sum Q_{\text{вих}i} \cdot K_{it} \quad (2.73)$$

За табл. 2.4-2.5 (три зміни/добу): $Q_{\text{вх}} = 17\,658$ показн./зміну; $Q_{\text{вих}} = 5\,280$ показн./зміну.

Загальний обсяг технологічної інформації за рік (~900 змін):

$$N_p = 22,32 \cdot (Q_{вх} + Q_{вих}) \quad (2.74)$$

$$N_p = 22,32 \cdot (15\,892\,200 + 4\,752\,000) \approx 460,78 \text{ млн. біт/рік} \quad (2.75)$$

$$N_p = 22,32(15892200 + 4752000) = 354713904 + 106064640 \approx 460,78 \text{ млн.біт/рік.}$$

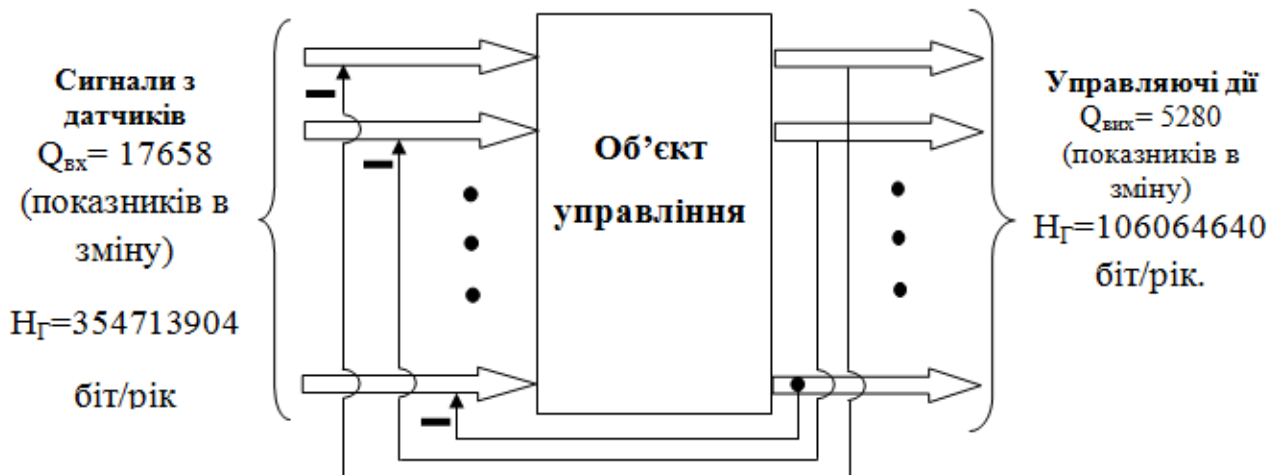


Рис. 2.15. Схема інформаційних потоків в системі
 (розроблено автором)

2.14 Обґрунтування та вибір технологічних датчиків та мікропроцесорного обладнання

Вимоги до датчиків визначаються специфікою роботи в умовах підвищеної запиленості та температури аглоцеху: достовірне відображення стану ТП; висока надійність; безперервний відбір інформації; доступність для обслуговування; необхідна точність і стандартний вихідний сигнал; захист від агресивного середовища та вологи.

Набір датчиків для контролю стану вузлів конвеєра ГТІ-3: рівня матеріалу; положення засувки; збігу стрічки; заштибовки перевантажувальних

пунктів; швидкості та реле швидкості; ваговимірювальні; пориву стрічки; вібрації; потужності привода; температури та перегріву барабанів.

Обрано мікропроцесорний контролер ICP DAS I-8811 (TW). Технічні дані наведено в табл. 2.6.

Таблиця 2.6

Технічні дані контролера ICP DAS I-8811 [9]

Параметр	Од. вим.	Значення
Процесор	МГц	80188-40
ОЗП	кБ	512
Flash-диск	кБ	512
Інтерфейс COM1	-	RS-485
Інтерфейс COM2	-	RS-485 Auto (гальванорозв.)
EEPROM	кБ	2
Температура довкілля	°C	-25 до +75
Напруга живлення	В	10...30
Споживана потужність (макс.)	Вт	3
Слоти розширення	шт.	8

Для введення аналогових сигналів встановлено 5 модулів I-8017 (8-канальний АЦП, 14 біт, ± 150 мВ... ± 10 В / 4-20 мА, ізоляція 3000 В DC, точність $\pm 0,1$ %). Дискретні сигнали – модуль I-8054 (16 каналів, 4...30 В). Аналоговий вивід – модуль I-8024 (4 канали, 12 біт, 0...20 мА / ± 10 В).

Як датчик швидкості веденого барабана обрано енкодер Kubler EN5802 (DE). Технічні параметри – табл. 2.7 [10].

Таблиця 2.7

Технічні параметри датчика швидкості Kubler EN5802

№	Параметр	Од. вим.	Значення
1	Виробник (країна)	-	Kubler (DE)
2	Напруга живлення	В	12-24
3	Макс. споживаний струм	мА	±80
4	Макс. вихідний струм	мА	±60
5	Макс. частота імпульсів	кГц	100
6	Час спрацьовування/відпускання	мс	1
7	Макс. швидкість обертання	об/хв	12 000
8	Ступінь захисту вал/корпус	-	IP65/IP67
9	Температурний діапазон	°C	-20 до +70

Як датчик погонного навантаження застосовуються конвеєрні ваги Schenck Process Belt Scale MMS4 (DE), точність $\pm 0,25$ %, з передачею даних на контролер верхнього рівня [11].

Контролер I-8811 виконує функції цифрового регулятора і передає дані на верхній рівень інформаційної системи через інтерфейс RS-485/Modbus RTU [12].

Для повноцінного контролю стану стрічкового конвеєра ГТІ-3 окрім датчиків швидкості та ваги обрано датчики: температури підшипників і барабанів, сходу стрічки, вібрації підшипникових вузлів та рівня матеріалу в бункерах. Вибір здійснено з урахуванням умов роботи в аглоцеху (підвищена запиленість, температура до 40 °C, вологість до 70 %).

Для контролю температури підшипників привідного та натяжного барабанів, а також корпусу двигуна обрано датчик IFM Electronic TA3010 (DE). Датчик виконаний у захисному корпусі зі ступенем захисту IP67 і призначений для встановлення безпосередньо на поверхні підшипникових щитів. Технічні параметри наведено в табл. 2.8 [10].

Таблиця 2.8

Технічні параметри датчика температури IFM Electronic TA3010

№	Найменування параметра	Од. вим.	Значення
1	Виробник (країна)	-	IFM Electronic (DE)
2	Принцип вимірювання	-	Pt100 / 4-20 мА
3	Діапазон вимірювання	°C	-30 ... +200
4	Точність вимірювання	°C	±1,0
5	Вихідний сигнал	-	4-20 мА (двопровідний)
6	Напруга живлення	В	14 ... 35 DC
7	Ступінь захисту	-	IP67
8	Температура довкілля	°C	-25 ... +70
9	Час відгуку	с	≤ 5
10	Матеріал корпусу	-	Нерж. сталь 1.4301

Для контролю сходу стрічки в зонах обслуговування та завантаження конвеєра ГТІ-3 обрано контактний датчик Pepperl+Fuchs NMB5 (DE) — спеціалізований перемикач сходу стрічки. При бічному зміщенні стрічки понад 25 мм датчик формує дискретний сигнал аварії, який подається на вхід контролера I-8811. Технічні параметри наведено в табл. 2.9. [13]

Технічні параметри датчика сходу стрічки Pepperl+Fuchs NMB5

№	Найменування параметра	Од. вим.	Значення
1	Виробник (країна)	-	Pepperl+Fuchs (DE)
2	Тип	-	Контактний перемикач сходу стрічки
3	Ширина стрічки (макс.)	мм	2000
4	Поріг спрацьовування	мм	25 (регульований до 50)
5	Вихідний сигнал	-	NO/NC дискретний, 24 В DC
6	Комутаційна напруга	В	до 250 AC / 220 DC
7	Комутаційний струм	А	до 5,0
8	Ступінь захисту	-	IP65
9	Температура довкілля	°C	-25 ... +70
10	Матеріал ролика	-	Поліамід PA66-GF30

Для вібраційного контролю підшипникових вузлів привідної станції конвеєра обрано датчик вібрації IFM Electronic VSA001 (DE) з вбудованим перетворювачем сигналу. Датчик здійснює безперервний вимір середньоквадратичного значення прискорення вібрації та формує аналоговий вихідний сигнал 4-20 мА, пропорційний рівню вібрації. Технічні параметри наведено в табл. 2.10 [10].

Технічні параметри датчика вібрації IFM Electronic VSA001

№	Найменування параметра	Од. вим.	Значення
1	Виробник (країна)	-	IFM Electronic (DE)
2	Вимірювана величина	-	СКЗ прискорення вібрації
3	Діапазон вимірювання	g	0 ... 5
4	Частотний діапазон	Гц	10 ... 1000
5	Вихідний сигнал	-	4-20 мА
6	Напруга живлення	В	18 ... 35 DC
7	Ступінь захисту	-	IP67
8	Температура довкілля	°C	-25 ... +70
9	Різьбове з'єднання	-	M12 × 1
10	Матеріал корпусу	-	Алюміній / нерж. сталь

Для контролю рівня вапняку в приймальних бункерах шихтового відділення обрано ультразвуковий датчик рівня SICK UM30-213118 (DE). Датчик не має механічних частин, що рухаються, стійкий до запиленості та вологи, що відповідає умовам аглоцеху. Технічні параметри наведено в табл. 2.11 [14].

Таблиця 2.11

Технічні параметри датчика рівня SICK UM30-213118

№	Найменування параметра	Од. вим.	Значення
1	Виробник (країна)	-	SICK AG (DE)
2	Принцип вимірювання	-	Ультразвуковий, відбиття
3	Діапазон вимірювання	м	0,06 ... 6,0
4	Роздільна здатність	мм	1
5	Точність (відтворюваність)	% від ВВД	0,3
6	Вихідний сигнал	-	4-20 мА / PNP NO/NC
7	Напруга живлення	В	18 ... 30 DC
8	Ступінь захисту	-	IP67 / IP69K
9	Температура довкілля	°C	-25 ... +70
10	Запилення	-	Стійкий до щільного пилю

Зведена номенклатура обраних технологічних датчиків системи контролю конвеєра ГТІ-3 наведена в табл. 2.12.

Зведена номенклатура технологічних датчиків конвеєра ГТІ-3

№	Призначення	Модель	Виробник	К-сть, шт.
1	Швидкість тягової стрічки	Kubler EN5802	Kubler (DE)	2
2	Погонне навантаження (ваги)	Schenck MMS4	Schenck (DE)	1
3	Температура підшипників / барабанів	IFM TA3010	IFM (DE)	6
4	Схід стрічки (бічне зміщення)	P+F NMB5	Pepperl+Fuchs (DE)	4
5	Вібрація підшипникових вузлів	IFM VSA001	IFM (DE)	4
6	Рівень матеріалу в бункерах	SICK UM30-213118	SICK (DE)	6

2.15 Охорона праці

У цьому підрозділі розглянуто питання безпеки праці стосовно електроприводної системи стрічкового конвеєра ГТІ-3 в умовах аглоцеху № 3 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Виконано аналіз шкідливих і небезпечних виробничих чинників, розроблено заходи щодо їх усунення або мінімізації, визначено склад засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) та визначено організацію медичних оглядів. Розрахунок захисного заземлення виконано відповідно до [15].

2.15.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників

Персонал, що обслуговує систему частотно-регульованого привода (перетворювач Altivar ATV38HD33N4 + двигун ABB M3BP 180MA4) та рухомі механізми конвеєра ГТІ-3, зазнає впливу таких виробничих чинників:

- Електрична безпека. Перетворювач частоти працює при напрузі живильної мережі 380 В змінного струму та напрузі ланки постійного струму до 600 В. Приміщення аглоцеху відноситься до категорії «особливо небезпечних» за ймовірністю ураження електрострумом відповідно до [16] через наявність декількох чинників: струмопровідні підлоги, температура понад 35 °С, можливість одночасного дотику до заземлених металоконструкцій і корпусів електроустановок.

- Виробничий пил. Транспортування та дроблення вапняку супроводжується виділенням кальцієвого пилу. Фактична запиленість на ділянці ГТІ-3 становить 7,0-16,1 г/м³, що перевищує гранично допустиму концентрацію 6,0 г/м³.

- Шум. Рухомі частини конвеєра (ролікоопори, привідний барабан, стрічка), а також вентилятор охолодження перетворювача частоти створюють шум на рівні 72-82 дБ(А) (норма за [17]: 80 дБ(А)).

- Вібрація. Приводна станція конвеєра генерує загальну вібрацію з частотою 18,5-48 Гц. Фактичний рівень вібрації відповідає нормі (99 Гц при нормі 101 Гц).

- Рухомі частини. Стрічка, барабани, ролики конвеєра становлять небезпеку затягування і травмування при відсутності або несправності огорожень.

- Температура. У теплий період роботи агломашин температура на робочих місцях перевищує зовнішню на 15 °С і більше внаслідок тепловиділення аглопроцесу та встановленого обладнання.

Зведені дані про виробничі чинники наведено в табл. 2.13. [18]

Таблиця 2.13

**Характеристика шкідливих і небезпечних виробничих чинників
аглоцеху № 3**

№	Чинник	Од. вим.	Норм. знач.	Фактичне знач.
1	Запиленість (вапняковий пил)	г/м ³	6,0	7,0-16,1 ↑
2	Шум (еквівалентний рівень)	дБ(А)	80	72-82 ↑
3	Температура повітря (теплий пер.)	°С	≤ 28	до 35-40 ↑
4	Відносна вологість повітря	%	40-60	61-70 ↑
5	Вібрація загальна	Гц	101	99 ✓
6	Напруга в електроустановках	В	до 400	до 600 (DC) ↑

2.15.2 Заходи щодо усунення шкідливих і небезпечних чинників

Для захисту від пилу передбачаються: герметизація місць пересипання вапняку на стрічку конвеєра ГТІ-3, встановлення місцевих відсмоктувачів з очисткою у матер'яних фільтрах, регулярне вологе прибирання приміщень. Зниження концентрації пилу до нормативного значення досягається комбінуванням заходів.

Для захисту від шуму застосовуються: звукоізолюючі кожухи на приводній станції конвеєра (корпус двигуна і редуктора), вібровіброізолюючі підкладки під опорами агрегату, глушники у вентиляційних каналах шафи перетворювача частоти.

Для захисту від теплового впливу передбачено: примусову припливно-втяжну вентиляцію у шафі перетворювача частоти (вбудований вентилятор

Altivar ATV38), загальнообмінну вентиляцію цеху, регламентовані перерви для операторів.

Для запобігання ураженню електрострумом всі струмовідні частини надійно огорожені або ізольовані. Шафа перетворювача частоти має блокування дверцят, що унеможливорює відкривання кришки при наявності напруги у силовому колі. Здійснюється також захисне заземлення всього електрообладнання згідно з [19].

Для захисту від рухомих частин конвеєра виконуються: металеві огороження привідного і натяжного барабанів, захисні кожухи роликкоопор у зонах обслуговування, блокувальні перемикачі на знімних кришках кожухів [20].

2.15.3 Засоби індивідуального захисту та медичні огляди

Обслуговуючий персонал ділянки шихтопідготовки забезпечується ЗІЗ відповідно до встановлених нормативів [21]. Перелік ЗІЗ наведено в табл. 2.14.

Таблиця 2.14

Засоби індивідуального захисту електромонтера ділянки шихтопідготовки [21]

Найменування та матеріал захисного засобу	Термін носки, міс.
Спецкостюм бавовняний з підвищеним захистом від пилу	12
Черевики шкіряні на кислото- та лугостійкій підошві	12
Рукавиці бавовняні з ПВХ-точками	1
Респіратор фільтруючий FFP2 (ДСТУ EN 149)	За потребою
Окуляри захисні закритого типу	До зношення
Каска захисна з вентиляцією	До зношення
Антифони (протишумові навушники)	До зношення
Діелектричні рукавички (гумові, понад 1 кВ)	6 (перевірка)

Строки перевірки електрозахисних засобів наведено в табл. 2.15 відповідно до [22].

Таблиця 2.15

Строки перевірки електрозахисних засобів [22]

№	Найменування електрозахисного засобу	Періодичність перевірки
1	Ізолювальні штанги	1 раз на квартал
2	Ізолювальні кліщі	2 рази на рік
3	Показчики напруги	2 рази на рік
4	Діелектричні рукавички	2 рази на рік
5	Діелектричні боти	1 раз на 3 роки
6	Діелектричні калоші	1 раз на рік
7	Діелектричні килими	1 раз на рік

Медичні огляди персоналу проводяться відповідно до [23]: попередній медогляд - при прийнятті на роботу, який передбачає перевірку придатності до роботи в умовах підвищеного шуму, запиленості та теплових навантажень; періодичний медогляд - щорічно, з обов'язковим контролем слухового та органів дихання.

2.15.4 Пожежна безпека

За ступенем пожежної небезпеки ділянка агломашин спікального відділення відноситься до категорії «Г» відповідно до [24]. Будівля споруджена із залізобетонних і сталевих конструкцій, які відносяться до групи незгораних матеріалів зі ступенем вогнестійкості II. Причинами виникнення пожежі можуть бути: витік природного газу з трубопроводів запального горна, полум'я запалювальних пальників, контакт горючих мастил із розпеченим агломератом [25].

Система пожежної сигналізації забезпечує виявлення осередку пожежі на початковій стадії та автоматичне сповіщення пожежного підрозділу. Ручні й автоматичні сповіщувачі розміщені відповідно до [24]. Для пожежогасіння передбачено засоби, наведені в табл. 2.16.

Таблиця 2.16

Засоби пожежогасіння на ділянці агломашин

№	Найменування	Од. вим.	Кількість
1	Вогнегасник порошковий ВП-5	шт.	5
2	Вогнегасник вуглекислотний ВВ-5 (для електроустановок)	шт.	2
3	Пожежні гідранти (зовнішні, $\varnothing \geq 100$ мм)	шт.	2
4	Пожежні рукави	шт.	2
5	Ящики з піском	шт.	3
6	Пожежні відра	шт.	3
7	Пожежні щити	шт.	2
8	Протигази фільтруючі	шт.	2

Евакуаційні шляхи ведуть з виробничих приміщень безпосередньо назовні або у суміжні захищені зони. Ширина евакуаційних проходів - не менше 1,2 м, висота - не менше 2,0 м. Блискавкозахист споруди виконано відповідно до [24] шляхом встановлення заземлених стрижневих блискавковідводів.

2.15.5 Розрахунок захисного заземлення

Захисне заземлення виконується загальним контуром для РУ-6 кВ та електроустановок напругою до 1000 В. Заземлюється: шафа перетворювача

частоти Altivar ATV38, корпус двигуна АВВ МЗВР 180МА4, пульт керування та металоконструкції конвеєра.

Відповідно до [16] струм замикання на землю в мережі з ізольованою нейтраллю 6 кВ визначається за виразом:

$$I_3 = U_{\text{л}} \cdot (35L_{\text{к}} + L_{\text{п}}) / 1000 \quad (2.76)$$

де $U_{\text{л}} = 6$ кВ - лінійна напруга; $L_{\text{к}} = 4,7$ км - загальна довжина кабельних ліній; $L_{\text{п}} = 0$ км - довжина повітряних ліній.

$$I_3 = 6 \cdot (35 \cdot 4,7 + 0) / 1000 = 0,987 \text{ А} \quad (2.77)$$

Максимально допустимий опір заземлювального пристрою:

$$R_3^{\text{доп}} = 250 / I_3 = 250 / 0,987 \approx 253 \text{ Ом} \quad (2.78)$$

Оскільки контур заземлення використовується також для електроустановок напругою до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю ($U_{\text{л}} = 380$ В), нормативна вимога [16]: $R_3 \leq 4$ Ом. Приймаємо $R_3^{\text{доп}} = 4$ Ом.

Виконується штучне заземлення зі сталевих куточків $50 \times 50 \times 5$ мм, заглиблення верхнього кінця - 0,75 м. Питомий опір ґрунту (суглинок):

$$\rho_{\text{гр}} = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м} \quad (2.79)$$

Розрахунковий питомий опір ґрунту з урахуванням кліматичного коефіцієнта $K_c = 1,5$:

$$\rho_p = \rho_{\text{гр}} \cdot K_c = 100 \cdot 1,5 = 150 \text{ Ом} \cdot \text{м} \quad (2.80)$$

Опір розтікання одного вертикального електрода-куточка $L = 2,5$ м ($d_e = 0,0475$ м, $t = 1,95$ м):

$$R_B = (\rho_p / (2\pi L)) \cdot [\ln(2L/d_e) + 0,5 \cdot \ln((4t+L)/(4t-L))] \quad (2.81)$$

$$R_B = (150 / (2\pi \cdot 2,5)) \cdot [\ln(2 \cdot 2,5 / 0,0475) + 0,5 \cdot \ln((4 \cdot 1,95 + 2,5) / (4 \cdot 1,95 - 2,5))] \quad (2.82)$$

$$R_B = 9,55 \cdot [\ln(105,3) + 0,5 \cdot \ln(2,21)] = 9,55 \cdot [4,657 + 0,397] \approx 48,3 \text{ Ом} \quad (2.83)$$

Необхідна кількість вертикальних заземлювачів (коефіцієнт використання $\eta_B = 0,69$ при $n = 22$, $a/L = 3$):

$$n = R_B / (R_3^{\text{доп}} \cdot \eta_B) = 48,3 / (4 \cdot 0,69) \approx 17,5 \rightarrow n = 18 \text{ шт.} \quad (2.84)$$

Опір розтікання горизонтальної з'єднувальної смуги (40×4 мм², $L' = 160$ м, $t = 0,7$ м, $\eta_H = 0,32$):

$$R_T = (\rho_p / (2\pi L')) \cdot \ln(L'^2 / (b \cdot t)) / \eta_H \quad (2.85)$$

$$R_T = (150 / (2\pi \cdot 160)) \cdot \ln(160^2 / (0,04 \cdot 0,7)) / 0,32 \approx 0,149 \cdot \ln(91429) / 0,32 \approx 2,68 \text{ Ом} \quad (2.86)$$

Загальний опір заземлювального контуру ($n = 18$, $\eta_B = 0,69$):

$$R_K = (R_B \cdot R_T) / (\eta_B \cdot R_B \cdot n + R_T) \quad (2.87)$$

$$R_K = (48,3 \cdot 2,68) / (0,69 \cdot 48,3 \cdot 18 + 2,68) = 129,4 / 602,6 \approx 3,78 \text{ Ом} \quad (2.88)$$

Отримане значення $R_k = 3,78 \text{ Ом} < R_{\text{здоп}} = 4 \text{ Ом}$, тобто опір заземлювального контуру задовольняє вимогам [16]. Схему захисного заземлення наведено на рис. 2.16.

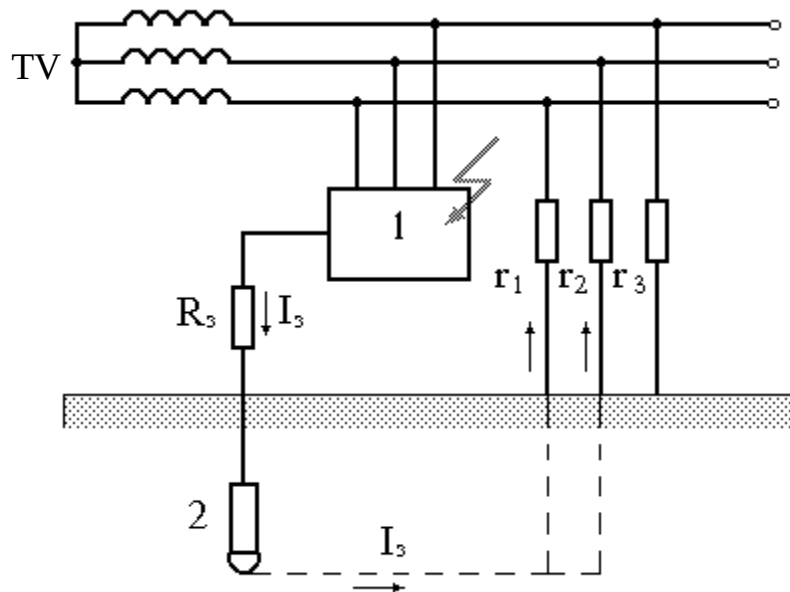


Рис. 2.16. Схema захисного заземлення в мережі з ізолюваною нейтраллю

1 - корпус заземленої електроустановки; 2 - заземлювач.

(розроблено автором)

Приєднання смуги до контурів здійснюється зварюванням внакладку на подвійну ширину смуги. Електричні апарати приєднуються до заземлюючого контуру окремими відгалуженнями за допомогою зварювання й пофарбовуються у чорний колір.

ВИСНОВКИ

У випускній роботі виконано розробку автоматизованої системи частотно-регульованого електропривода стрічкового конвеєра ГТІ-3 дільниці шихтоподачі в умовах аглоцеху № 3 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

За результатами роботи можна зробити такі висновки.

Аналіз технологічного процесу підготовки агломераційної шихти показав, що конвеєр ГТІ-3 є критичним елементом тракту подачі вапняку і потребує автоматизованого регулювання швидкості для забезпечення точності дозування та плавності перехідних режимів.

Розраховано статичне навантаження конвеєра і вибрано приводний двигун ABB M3BP 180MA4 IE2 (37 кВт, 380 В, 1470 об/хв, $\eta = 92,5 \%$) та перетворювач частоти Schneider Electric Altivar ATV38HD33N4 з вбудованою системою ШІМ-керування на IGBT-модулях.

Розраховано параметри схеми заміщення системи ПЧ-АД, синтезовано регулятори швидкості та потоку за методикою оптимального настроювання. Побудовано механічні характеристики при частотах 35, 40, 45 і 50 Гц.

За результатами моделювання в MATLAB/Simulink підтверджено, що частотно-регульований асинхронний електропривод забезпечує обмеження пускового струму та моменту, плавні перехідні процеси та необхідну точність стабілізації швидкості.

Розроблено алгоритми роботи АСК конвеєрною лінією, що реалізовані на контролері ICP DAS I-8811. Алгоритм забезпечує мінімальний час простою конвеєра внаслідок своєчасного виявлення відмов і використання акумулюючої здатності бункерів.

Виконано аналіз умов праці в аглоцеху, розроблено заходи щодо усунення впливу шкідливих і небезпечних чинників, визначено склад ЗІЗ та розраховано захисне заземлення електроприводної системи з отриманим значенням опору контуру $R_k = 3,78 \text{ Ом}$, що задовольняє нормативним вимогам.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Буряченко О. О., Остапчук Ю. В. Автоматизація технологічних процесів в металургійному виробництві. Дніпро: ДМетАУ, 2018. 210 с.
2. Гевко І. М., Дячун А. Є., Ліщинська Л. Б. Механіка та привід конвеєрних систем. Тернопіль: Вектор, 2019. 256 с.
3. ABB. Product specification M3BP 180MA4 IE2. ABB Motors and Generators catalogue 2022. URL: <https://new.abb.com/motors-generators> (дата звернення: 15.04.2026).
4. Чорний О. П., Нікітіна А. В., Родькін Д. Й., Чередніченко О. І. Моделювання електромеханічних систем. Кременчук: КДПУ, 2001. 376 с.
5. Schneider Electric. Altivar 38 Drive Programming Manual. Ref. 30072-451-23В. 2021. 350 р.
6. Чорний О. П., Плахтина Д. Г., Закладний О. М. Чисельне моделювання електромеханічних систем. Кременчук: КрНУ ім. М. Остроградського, 2017. 336 с.
7. Голубничий Д. Ю. Мікропроцесорні системи управління технологічними об'єктами. Харків: НТУ «ХПІ», 2015. 214 с.
8. Лазарєв В. Г. Динамічне керування потоками інформації в мережах зв'язку. Київ: Техніка, 2006. 195 с.
9. ICP DAS. ICP DAS I-8811 Industrial Controller User Manual. Taipei: ICP DAS, 2020. 124 р.
10. IFM Electronic. Speed and distance sensors DI5001 Catalogue. IFM Electronic GmbH, 2023. URL: <https://www.ifm.com> (дата звернення: 15.04.2026).
11. Schenck Process. Belt Scale MMS4 Technical Documentation. Frankfurt: Schenck, 2022. 88 р.
12. Рогоза М. В., Вергун В. В., Власенко А. С. Промислові мережі і засоби зв'язку. Полтава: ПУЕТ, 2012. 170 с.
13. Pepperl+Fuchs. Belt Alignment Sensor NMB5 Product Sheet. Mannheim: P+F, 2021. 14 р.

14. SICK AG. Ultrasonic Sensor UM30 Product Family Data Sheet. Waldkirch: SICK AG, 2023. URL: <https://www.sick.com> (дата звернення: 15.04.2026).
15. Ткачук К. Н., Халімовський М. О., Зацарний В. В. та ін. Основи охорони праці. 2-е вид., доп. Київ: Основа, 2006. 448 с.
16. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. Чинний від 2001-01-01. Київ: МінПраці України, 2001. 280 с.
17. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Чинні від 1999-12-01. Київ: МОЗ України, 1999. 18 с.
18. Желібо Є. П., Заверуха Н. М., Зацарний В. В. Безпека життєдіяльності. Київ: Каравела, 2005. 344 с.
19. ДСТУ EN ISO 13850:2016. Безпечність машин. Функції аварійної зупинки. Принципи проектування. Чинний від 2017-01-01. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 20 с.
20. Ватуля М. І., Теличенко В. І., Юхименко С. Г. Охорона праці на виробництві. Київ: Алерта, 2011. 304 с.
21. Наказ Держгірпромнагляду від 16.04.2009 № 62. Про затвердження Норм безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам металургійної промисловості. Київ: ННЦОП, 2009.
22. Гогіташвілі Г. Г., Лапін В. М. Основи охорони праці. Київ: Знання, 2008. 302 с.
23. Наказ МОЗ України від 21.05.2007 № 246. Порядок проведення медичних оглядів працівників певних категорій. Чинний від 2007-07-01. Київ: МОЗ України, 2007.
24. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. Чинний від 2017-06-01. Київ: Мінрегіон, 2016. 38 с.
25. ДСТУ 2272:2006. Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять. Чинний від 2007-01-01. Київ: Держстандарт України, 2006. 25 с.



Метадані

ДОКУМЕНТ

Заголовок
141-63-2026врб

Автор
141-63-2026врб

Науковий керівник / Експерт
Модло Є

ІД документу
334133563

ОРГАНІЗАЦІЯ

Назва організації
STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

підрозділ
STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

ЗВІТ

Дата звіту
6/2/2026

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.

3.19%
3.19%
КП 1

8300
Кількість слів

0.2%
0.2%
КЦ

57920
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		26
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		18

Джерела

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Копір 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

Копір тексту

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

**ЗГОДА здобувачки вищої освіти
Державного університету економіки і технологій про перевірку
кваліфікаційної роботи на прояви академічного плагіату
та розміщення в Репозитарії Університету**

Я, *Казакова Віола Олександрівна*, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу.

Засвідчую, що кваліфікаційна бакалаврська робота Електромеханічне обладнання металургійного виробництва. Електропривод конвеєра ГТІ – 3 тракту подачі вапна в умовах аглоцеху ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавала і не одержувала 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 ознайомена. Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі порушення норм академічної доброчесності робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Також я поінформована, 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 ознайомена.

1.06.2026