

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації, комп'ютерних наук і технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти – бакалавр
за освітньо-професійною програмою
«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

зі спеціальності
174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка

тема роботи:

«Система автоматичного регулювання віброгрохоту зміною частоти вібрації
на базі рішень Schneider Electric»

Виконав студент гр. АКІТ-23ск _____ Порутенко А. Ю.

Керівник _____ Савицький О. І.

Нормоконтроль _____ Маринич І. А.

Завідувач кафедри _____ Рубан С. А.

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: інформаційних технологій

Кафедра: автоматизації, комп'ютерних наук і технологій

Ступінь вищої освіти: Бакалавр

Спеціальність: 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою: к.т.н. Рубан С.А.

« 29 » січня 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

студентові групи АКІТР-23ск Порутенко Анастасії Юріївні

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Система автоматичного регулювання
віброгрохоту зміною частоти вібрації на базі рішень Schneider Electric»

затверджено наказом по університету № 172с від 30.03.2026 р.

2. Термін здачі кваліфікаційної роботи: 10.06.2026 р.

3. Склад кваліфікаційної роботи: Пояснювальна записка обсягом.,
презентація у Microsoft PowerPoint в електронному та друкованому вигляді

4. Консультанти кваліфікаційної роботи:

Розділ 1-2

доц. Савицький О. І.

Нормоконтроль

доц. Маринич І. А.

5. Календарний план:

№	Етапи роботи	Термін виконання
1	<i>Вступ</i>	<i>01.03.26</i>
2	<i>Розділ 1</i>	<i>05.04.26</i>
3	<i>Розділ 2</i>	<i>01.05.26</i>
4	<i>Висновки</i>	<i>25.05.26</i>
5	<i>Оформлення кваліфікаційної роботи</i>	<i>28.05.26</i>
6	<i>Підготовка презентації та графічного матеріалу</i>	<i>20.05.26</i>
7	<i>Підготовка доповіді до захисту</i>	<i>05.06.25</i>

6. Дата видачі завдання: 28.01.2026р.

Керівник _____ / Савицький О. І./

7. **Запевнення:** Я, Порутенко Анастасія Юріївна, запевняю, що ця кваліфікаційна робота виконана самостійно, не містить академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про академічну доброчесність Криворізького національного університету ознайомлений.

Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі умисних порушень робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Студент _____ / Порутенко А. Ю./

АНОТАЦІЯ

Порутенко А.Ю. Система автоматичного регулювання віброгрохоту зміною частоти вібрації на базі рішень Schneider Electric: кваліфікаційна робота бакалавра : 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка. Кривий Ріг. Криворізький національний університет, 2026. 65 с.

Об'єктом дослідження є система мілкої класифікації залізорудної пульпи перед процесом зневоднення вакуум-фільтрами, а предметом дослідження — система автоматичного регулювання віброгрохоту зміною частоти вібрації на базі рішень Schneider Electric.

Метою роботи є створення системи автоматичного керування приводом віброгрохота у функції щільності підгрозотного продукту

У першому розділі проведено аналіз аналогів систем автоматичного керування приводом віброгрохота у функції щільності підгрозотного продукту. Розглянуто їх основні характеристики, конструктивні особливості та функціональні можливості. Описано структуру цих систем в різних умовах експлуатації. Особливу увагу приділено ролі вузла ексцентрика, його впливу на кінцевий продукт – кількість витрат мілкої фракції.

У другому розділі проведено комплексну розробку математичної моделі досліджуваної системи класифікації та її моделювання. Було виконано розрахунок основних параметрів системи керування грохота, а також розроблено схеми корекції системи керування з урахуванням особливостей її роботи при дії факторів збурення.

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА, КЛАСИФІКАЦІЯ ПУЛЬПИ, МОДЕЛЮВАННЯ, ФАКТОРИ ЗБУРЕННЯ, АДАПТАЦІЯ

					КНУ КРБ.174.26.07.00.ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	АНОТАЦІЯ			
Розроб.		Порутенко А.Ю.						
Перевір.		Савицький О.І.						
Н. Контр.		Маринич І.А.						
Затверд.		Маринич І.А.			КНУ АКІТР-23ск			
					Літ.	Арк.	Аркушів	
						3	1	

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ КЛАСИФІКАЦІЇ ПУЛЬПИ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	7
1.1 Технологічна ділянка збагачення з віброгрохотами	7
1.2 Вібраційний грохот, як об'єкт керування	12
1.3 Огляд літератури і патентів	15
1.4.Вимоги до системи, яка проектується.....	20
Висновки за розділом.....	21
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА САК КЛАСИФІКАЦІЇ ПУЛЬПИ ТА ЇЇ ПРОГРАМНО ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ	26
2.1 Структурна схема об'єкту керування.....	26
2.2 Розробка функціональної схеми автоматизації	29
2.3 Математичний опис об'єкту керування	31
2.4 Моделювання системи керування.....	35
2.5 Розробка структурної схеми системи керування	37
2.6 Конфігурування технічного забезпечення	42
2.7 Розробка програмного забезпечення для системи	52
ВИСНОВКИ.....	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	62

					КНУ КРБ.174.26.07.00.ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Порутенко А.Ю.			ЗМІСТ			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Савицький О.І.								4	1
Н. Контр.		Маринич І.А.						КНУ АКІТР-23ск			
Затверд.		Маринич І.А.									

ВСТУП

Подальший розвиток і удосконалення виробництва і керування ним треба здійснювати тільки на основі комплексного впровадження у виробництво новітнього програмного забезпечення, засобів автоматизації і обчислювальної техніки. При цьому здійснюється створення автоматизованих систем керування на підприємствах, цехах і ділянках, які оснащуються сучасними технічними засобами та програмним забезпеченням збору, обробки інформації й передачі керуючих впливів як результат обробки на об'єкти керування.

Для збагачувальної фабрики основною мотивацією для автоматизації є підвищення кількості та якості кінцевої продукції процесу, при зниженні втрат корисних мінералів і енерговитрат. Також на збагачувальній фабриці застосування автоматизації виробничих процесів її рівня призводить до підвищення продуктивності праці. На збагачувальній фабриці наразі досягнуто значного рівня в області сучасної автоматизації. Цей рівень характеризується застосуванням сучасних науково-обґрунтованих методів проектування автоматизації, використанням обчислювальної техніки, наряду зі створенням локальних систем регулювання агрегатів до інтегрованих комплексних систем автоматизації.

Автоматизація агрегатів тонкого грохочення, як і всі процеси збагачення, має свої специфічні особливості, пов'язані з постійною зміною, різницею вхідного матеріалу, його параметрів і відповідної технології на окремих ланках фабрики.

Особливості автоматизації агрегатів тонкого грохочення збагачувальної фабрики обумовлені наступними причинами, чинниками:

Фабрики озумовлені наступними прикладами, таблицями.											
					КНУ КРБ.174.26.07.00.ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Порутенко А.Ю.			ВСТУП			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Савицький О.І.								5	2
								КНУ АКІТР-23ск			
Н. Контр.		Маринич І.А.									
Затверд.		Маринич І.А.									

- кількісні і якісні показники сировини змінюються, а кінцевий продукт фабрики- якість продукту повинна відповідати показникам зазначеним у договорі із замовником;

- технологічний процес збагачення кожного сорту руди носить індивідуальний характер, обумовлений мінералогічними, технологічними параметрами;

- параметри робочих апаратів піддаються зносу через велику абразивність залізорудної сировини, що переробляється. і у результаті коефіцієнти формалізації технологічних процесів і, відповідно систем керування, необхідно коректувати;

- значна кількість збагачувальних фабрик гірничорудної промисловості побудовано по схемам і оснащеної обладнанням, не пристосованим до модернізації за рахунок впровадження елементів автоматизації, що найчастіше ускладнює і виключає можливість установки датчиків, виконуючих механізмів і т.д.

Об'єкт досліджень – технологія збагачення магнетитових руд.

Предмет досліджень – автоматичне керування процесом тонкого гідравлічного вібраційного грохочення.

Мета роботи - розробка системи керування приводом грохота в функції підтримання максимуму витрат підгрохотного продукту із заданою якістю.

Задачі проекту: розробити алгоритм керування, апаратне і програмне забезпечення системи управління процесами тонкого грохочення на основі сучасних підходів керування з діагностикою необхідного положення ексцентриків двигунів вібраторів.

					КНУ КРБ.174.26.07.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ КЛАСИФІКАЦІЇ ПУЛЬПИ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Технологічна ділянка збагачення з віброгрохотами

Задачу підвищення якості концентратів, при збільшенні обсягів виробництва і наявності важко збагачуваних руд, не можливо здійснити, при старих схемах збагачення і кількості обладнання. Вирішувати цю проблему можна шляхом нарощування виробничих активів, що призведе до зростання собівартості продукції та зниження рентабельності виробництва. Але краще використовувати активний шлях, пов'язаний з впровадженням нових технологій та апаратів, що дозволяє не втрачати економічні показники переділу збагачення, а навіть покращувати їх.

Одним із шляхів розвитку схем подрібнення і збагачення магнетитових руд, що дозволяє збільшувати продуктивність технологічних секцій або/і підвищувати якість концентратів, є використання технологій з тонким гідравлічним грохоченням. Не зважаючи на наявний «досвід використання тонкого грохочення за кордоном («Хойт Лейке» (США), «Хілтон-Майнз» (Канада)), випробування гуркотів у 70-х роках на Дніпровському ГЗК, широке, випробування; на магнетито збагачувальних фабриках України почалося в ХХІ столітті на Полтавському ГЗК, Північному ГЗК, ЦГЗК, АМКР. Це було пов'язано з появою на ринку високопродуктивного вібраційного гідравлічного грохоту корпорації «Derrick», а пізніше - надтонкого грохоту (UFS) компанії Metso Outotec (Фінляндія / Швеція).

На фабриках України випробувано, а на деяких впроваджено три різні технології з використанням тонкої класифікації, що дозволяють [1]:

					КНУ КРБ.174.26.07.01.ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Порутенко А.Ю			РОЗДІЛ 1			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Савицький О. І								7	18
Н. Контр.		Маринич І.А.			КНУ АКІТР-23ск						
Затверд.		Маринич І.А.									

- підвищувати якість готового концентрату;
- збільшувати, продуктивність секцій або скорочувати кількість млинів за рахунок стадіального виведення концентрату;
- збільшувати продуктивність секцій за рахунок заміни гідроциклонів у замкнутому циклі подрібнення гуркотами.

Застосування тонкого грохочення - один із найперспективніших напрямів розвитку технологій збагачення магнетитових руд, з яким багато в чому пов'язується, подальший прогрес в цій галузі. Тонке вібраційне грохочення на сьогодні в Україні є досить новим процесом, недостатньо вивченим і описаним.

Для процесу тонкого вібраційного грохочення не розроблено його теоретичні основи і не оцінено ефективність застосування цього методу не тільки в різних варіантах технологій, а й стосовно різних промислових типів магнетитових руд.

Системи керування процесом тонкого грохочення необхідно розглянути, як самостійний напрямок, який може додати нові якості цій збагачувальній технології з теоретичних та технологічних позицій.

Ділянка з віброгрохотами (рис.1.1) знаходиться в корпусі ділянки зневоднення концентрату [2]. Вона технологічно пов'язана з ділянкою фільтрів і ділянкою дешламаторів (рис 1.1) а також з ділянкою млинів.

З ділянки дешламаторів приходить згущена частина пульпи, що попала на дешламатори з віброгрохотів, підгрохотної його частини.

Тонке грохочення пульпи з віброгрохотами замінює традиційні гідроциклони, які раніше застосовувалися для класифікації на наших фабриках.

На ділянку млинів попадає надгрохотний крупний продукт для домелення і повернення знову у дешламатори.

Навантаження на основне технологічне обладнання показано в таблиці 1.1. Там є навантаження на тонке грохочення 475,1 т/год – на всю операцію і 39,6 т/год – на агрегат (віброгрохот).

					КНУ КРБ.174.26.07.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

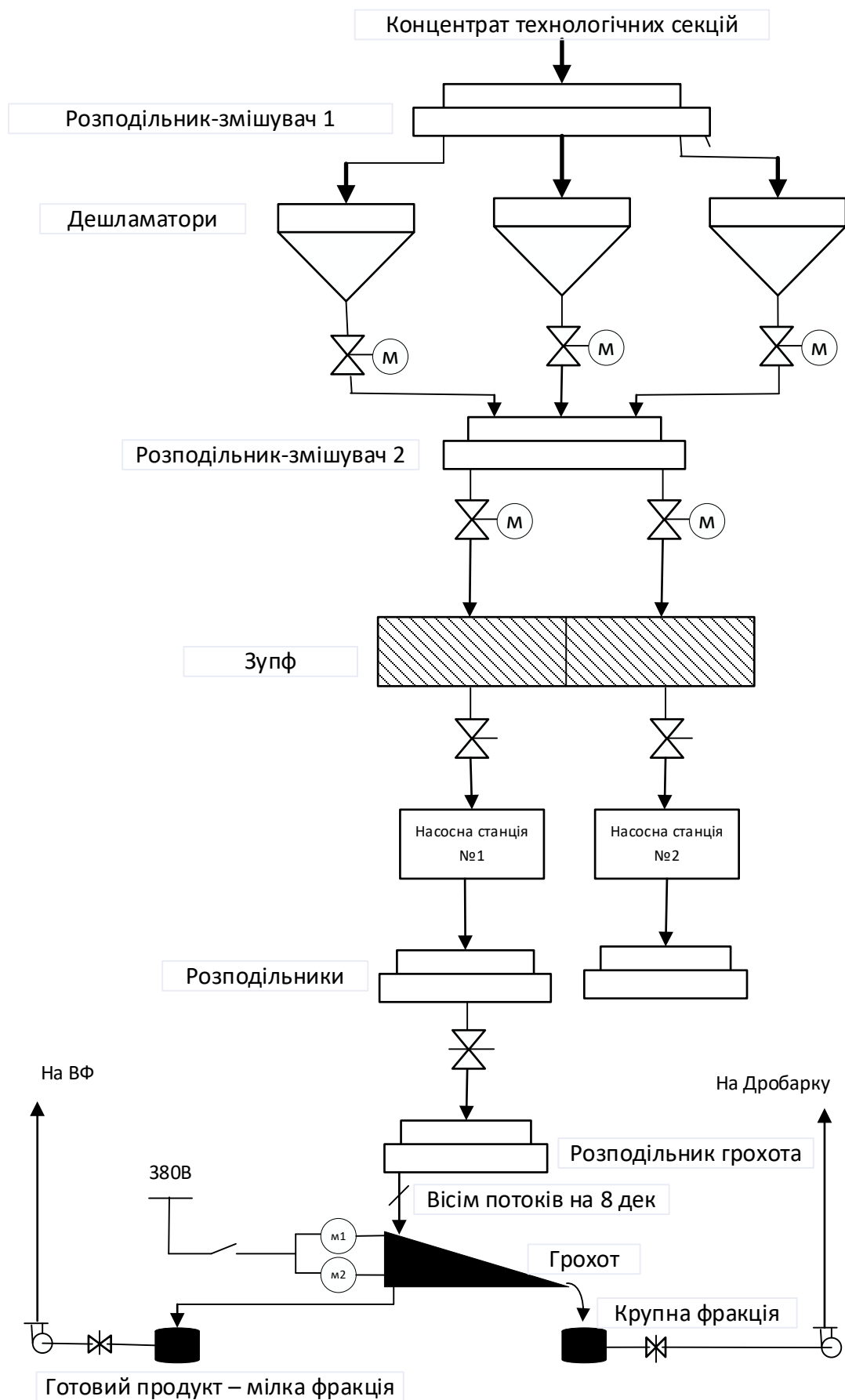


Рисунок 1.1 – Ділянка дешламаторів і грохотів

В цій таблиці усі данні по завантаженню активів розраховані технологами фабрики збагачення.

Таблиця 1.1 - Навантаження на основне технологічне обладнання

Найменування операцій	Навантаження, т/год		Питоме навантаження						Кількість агрегатів у роботі
	на операцію	на агрегат	по живленню				по класу 0,056мм, т/ м³год	На деку, т/год	
			т/м³год	т/мгод	т/м²год	м³/ м²год			
Знешламлювання І ст.	566,4	188,8			1,670	5,74			3
Розмагнічення	908,6	454,32							2
Тонке грохочення*	475,1	39,6		7,563				7,918	12
Класифікація в г/ц "	1377,3	137,7							10
Подрібнення	177,7	88,8	2,115				0,207		2
Знешламлювання ІІ ст.	177,7	177,7			2,843	24,68			1
Магнітна сепарація 1-2 пр	167,4	27,9		9,621					6
Знешламлювання ІІІ ст.	330,4				2,923	12,27			1
Фільтрування	330,2	54,6			0,713				6
Знешламлювання ІV ст.	185,3				1,640	7,78			1
Фільтрування	275,4	29,0			0,296				10

*Питоме навантаження по вихідному живленню визначено на 1м ширини сита

1.2. Вібраційний грохот, як об'єкт керування

Після дослідів відповідних організацій, включаючи Криворізький національний університет [2], було з'ясовано, що віброгрохоти мокрої класифікації можуть застосовуватися на ГЗК Криворізького залізрудного родовища. Випробування велись на АрселоМіттал Кривий Ріг, ЦГЗК.

В перше на ГЗК Криворізького родовища були опробуванні грохоти тонкої класифікації фірми Derrick.

Згодом, для збільшення виробництва, виникла проблема модернізувати ділянку класифікації при тих же розмірах площі, яку займає ця ділянка. Для цього потребувалось розрахувати проект з грохотами фірми Metso UltraFine Screens.

У цій роботі, частково вирішується ця проблема (більше с точки зору виконання системи керування).

					КНУ КРБ.174.26.07.01.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Нами обрані для проекту системи керування приводу грохота і системи керування, які забезпечують більш економічну його роботу для покращення коефіцієнта ефективності і збільшення продукції з більшим вмістом заліза. Об'єктом проекту ми вибрали грохот Metso UltraFine Screens, а предметом дослідження - його привод (рис.1.2) з двох асинхронних двигунів [4], на валу яких встановленні ексцентрики.

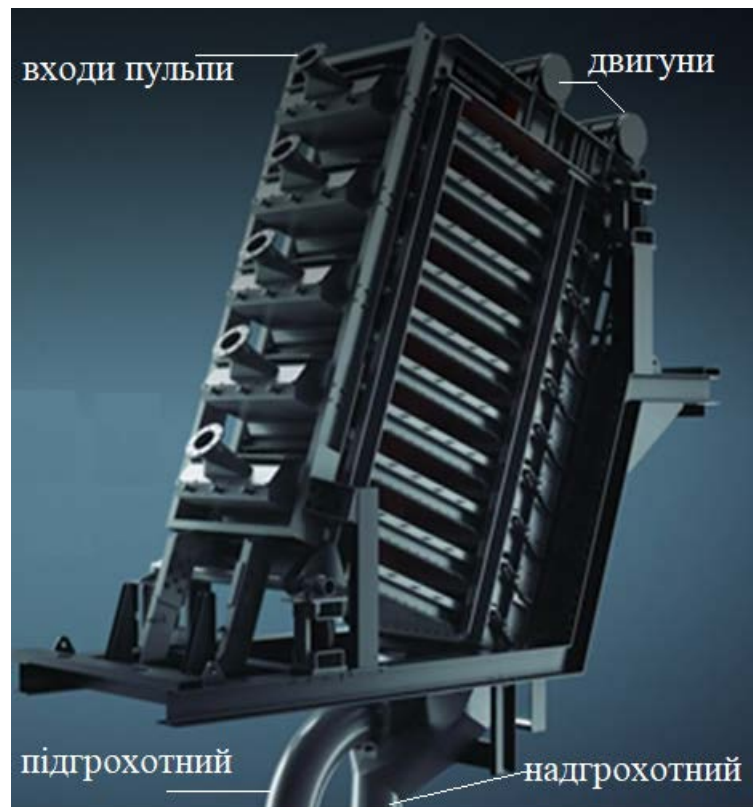


Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд рам віброгрохоту Metso UltraFine Screens

Екрани серії™ Metso UltraFine — це високочастотні віброуючі вологі екрани, розроблені для розділення від 0,075 до 1 мм. Екрани UFS вирішують усі виклики попередніх технологій тонкого мокрого скринінгу, дозволяючи широко впроваджувати цю технологію для підвищення прибутковості. Завдяки більш чіткому розділенню вони в багатьох застосуваннях є більш стійкою альтернативою гідроциклонам. Ефективніше розділення підвищує загальну продуктивність заводу і зменшує питоме енергоспоживання.

					КНУ КРБ.174.26.07.01.ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.3 – Живлення грохоту

Metso UltraFine Screens забезпечують удвічі більшу площу екрана порівняно з іншими технологіями тонкого екранування при значно компактнішій загальній збірці. Він має модульний дизайн із до 10 окремими екранними панелями, розміщеними в одному віброуючому вузлі.

Точний розподіл подачі між 10 палубами є критично важливим, тому пристрій також оснащений патентованою коробкою для розподілу подачі, щоб забезпечити рівномірний розподіл подачі по всій ширині кожного екранного дека, підвищуючи продуктивність незважаючи на компактний розмір.

Менша площа призводить до зниження вартості будівництва та інфраструктури, що суттєво зменшує початкові капітальні витрати на впровадження цієї технології.

Покращення у процесах нижчого потоку призводить до зниження споживання енергії до 25%, до 10% зменшення вбудованого вуглецю, зменшення забруднення і, можливо, зменшення споживання води.

До вібраційних грохотів з прямолінійними вібраціями короба відносяться резонансні грохоти з ексцентриковим, електромагнітним приводом і грохоти із само балансним вібратором.

У нашому випадку ми будемо розглядати вібраційний грохот з прямолінійними вібраціями короба з ексцентриковим (рис.1.4) приводом.

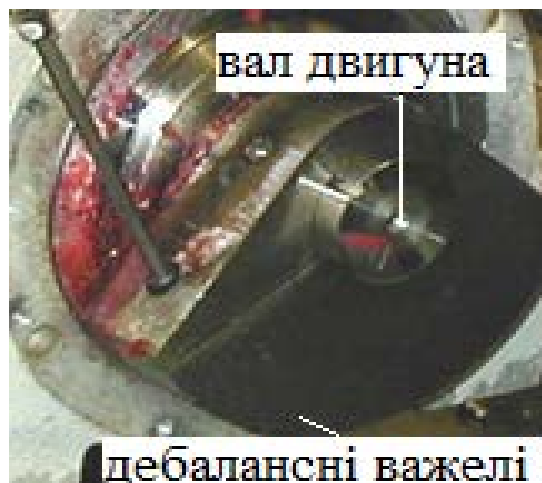
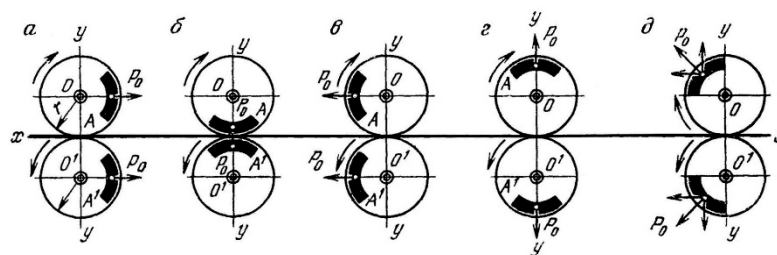


Рисунок 1.4 - Ексцентрикові важелі на валу двигуна

Вібратор складається з двох однакових важелів, які обертаються на паралельних валах у протилежні сторони з однаковим числом обертів (рис. 1.5).



а–д – різні положення(які найбільш застосовуються) дебалансів

Рисунок 1.5 - Схема дії сил вібратора

Як видно, що, при будь-якому положенні важелів вібратора сили змінюються і діють уздовж осі x . Складові ж відцентрової сили інерції, що діють по осі y , взаємно компенсуються як сили, протилежно направлені і рівні за амплітудою.

					КНУ КРБ.174.26.07.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Позначимо кут повороту кожного важеля через φ , то рівнодійна по осі x буде

$$2P_x = 2P_0 \cos \varphi = 2m\omega^2 R \cos \varphi,$$

де m – маса важелів небалансу, кг;

ω – частота обертання двигуна, с^{-1} ;

R – відстань від центру важеля дебалансу до осі двигуна, м.

Створені зусилля вібратором, змінюються до максимального значення. Напрямок зусиль, змінюється через пів оберту небалансних важелів.

Принцип синхронного обертання двох двигунів грохота Metso UltraFine Screens у протилежних напрямках, є основним принципом роботи [4,8,9,10].

Машина лінійного руху Metso UltraFine Screens використовують два вібраційних двигуни, які обертаються синхронно за швидкістю, але в протилежних напрямках. Це створює специфічний тип руху, який називається "справжнім лінійним рухом" (true linear motion).

Принцип роботи (згідно офіційної документації Metso UltraFine Screens):

Машина лінійного руху Metso UltraFine Screens спроектовані для високої об'ємної продуктивності при подачі розбавленої пульпи з низьким відсотком надрешітного матеріалу. Ця характеристика досягається за рахунок використання вібраційних двигунів Metso UltraFine Screens, які обертаються в протилежних напрямках, створюючи високу G -силу, справжній лінійний рух, що викликає прямолінійне переміщення твердих частинок вгору з рідинного середовища.

Фізичний принцип компенсації сил

Коли два вібраційних двигуни синхронізовані і обертаються у протилежних напрямках:

1. Компенсація бічних сил: Збуджувальна сила, створювана ексцентричним блоком кожного двигуна, взаємно компенсується в напрямку, паралельному осі двигуна (бічна вібрація).
2. Підсумовування вертикальних/поздовжніх сил: Сили підсумовуються в напрямку, перпендикулярному осі двигуна, створюючи потужний лінійний рух.

					КНУ КРБ.174.26.07.01.ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Стабільний лінійний рух: Збуджувальна сила, створювана зворотним обертанням двох вібраційних двигунів, компенсує бічну вібрацію, а залишкова вібрація в прямому напрямку формує стрибкоподібний лінійний рух матеріалу по поверхні грохота.

Синхронізація та стабільність

Хоча напрямки обертання протилежні, швидкості двох двигунів синхронізовані, що забезпечує стабільний вібраційний ефект поверхні грохота. Цей режим руху дозволяє матеріалу рухатися вперед по прямій лінії на поверхні грохота, таким чином досягаючи ефективного грохочення матеріалу.

Переваги конструкції з протилежним обертанням

Стабільність роботи: Оскільки бічні збуджувальні сили компенсуються одна одною, вібраційний грохот є більш стабільним під час роботи, зменшуючи генерацію тряски та шуму.

Високе прискорення: Машини створюють високу G-силу (7.0-7.3 G), що забезпечує ефективне переміщення твердих частинок.

Ефективна сепарація: Високе прискорення та лінійний рух сприяють виробництву надрешітної фракції, яка є стабільно складованою та транспортабельною.

Технічні характеристики двигунів Metso UltraFine Screens різних серій

1) Серія G (базова модель):

- Рівень шуму: 74 ± 4 дБА
- G-сила: 7.0-7.3 G
- Швидкість обертання: 1750 об/хв
- Підшипники із постійним змащенням (greased-for-life)
- Гарантія: 2 роки

2) Серія G2 та G3 (покращені моделі):

- Патентована спеціальна система мастила
- Рівень шуму: 74 ± 4 дБА
- Закриті підшипники з маслом

					КНУ КРБ.174.26.07.01.ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Огляд літератури і патентів

Системи керування вібраційними грохотами — це комплекс технічних та електронних засобів, призначених для запуску, зупинки, а також регулювання параметрів вібрації (амплітуди, частоти) з метою ефективного сортування, зневоднення або розділення матеріалів. [7]

Основні елементи та функції систем керування включають:

- Джерела вібрації: Використання вібраційних двигунів, які створюють зворотно-поступальний, круговий або обертовий рух корпуса грохота.
- Електронне управління: Системи дозволяють регулювати інтенсивність вібрації для оптимізації процесу в залежності від типу матеріалу.
- Підтримуючі пристрої: Амортизатори (наприклад, пневмобалони) для ізоляції вібрацій корпусу.
- Конструктивні особливості: Опорні або підвісні конструкції, що відрізняються простотою налаштування та надійністю

Ці системи широко застосовуються у вугільній, металургійній та хімічній промисловості для сортування руди та видалення домішок.

Патентний пошук

Апарати, методи та системи вібраційного скринінгу

Номер патенту: 12403504

Анотація: Вібраційні просіювальні машини, які включають складені збірки ситуючої палуби, передбачені. У деяких версіях принаймні одна з вібраційних екранних машин може містити зовнішню раму, внутрішню раму, підключену до зовнішньої, та вібраційний моторний вузол, закріплений до внутрішньої рами для вібрації внутрішньої рами. До внутрішньої рами можна прикріпити багато збірок сітних панелей, кожен з яких має приймати замісні сітчасті збірки. Збірки сітки можна закріпити до відповідних множинних збірок сеткової палуби, натягуючи їх у напрямку, щоб матеріал для сітки проходив через збірки. Вузол для розряду невеликого матеріалу може бути налаштований

					КНУ КРБ.174.26.07.01.ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

на прийом матеріалів, що проходять через сітчасті збірки, а збільшений матеріальний збірку — для прийому матеріалів, що проходять поверх сітних збірок.

Тип: Грант

Подано: 19 грудня 2023 року

Дата патентування: 2 вересня 2025 року

Призначенець: Корпорація Деррік

Винахідники: Джеймс Р. Колгроув, Майкл Л. Пересан

Номер патенту: 11883849

Анотація: Вібраційні просіювальні машини, які включають складені збірки ситуючої палуби, передбачені. У деяких версіях принаймні одна з вібраційних екранних машин може містити зовнішню раму, внутрішню раму, підключену до зовнішньої, та вібраційний моторний вузол, закріплений до внутрішньої рами для вібрації внутрішньої рами. До внутрішньої рами можна прикріпити багато збірок сітних панелей, кожен з яких має приймати замінні сітчасті збірки. Збірки сітки можна закріпити до відповідних множинних збірок сеткової палуби, натягуючи їх у напрямку, щоб матеріал для сітки проходив через збірки. Вузол для розряду невеликого матеріалу може бути налаштований на прийом матеріалів, що проходять через сітчасті збірки, а збільшений матеріальний збірку — для прийому матеріалів, що проходять поверх сітних збірок.

Тип: Грант

Подано: 28 липня 2021 року

Дата патентування: 30 січня 2024 року

Призначенець: КОРПОРАЦІЯ ДЕРРІК

Винахідники: Джеймс Р. Колгроув, Майкл Л. Пересан

Система контролю розумних твердих речовин

Номер патенту: 12403483

					КНУ КРБ.174.26.07.01.ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Анотація: Розкривається система розділення матеріалів, яка може включати вібраційний шейкер, центрифуга, сенсор та/або процесорну схему. Вібраційний шейкер може бути налаштований так, щоб розділяти твердо-рідку суміш на компонент, що містить перші тверді речовини, та стокові відходи. Датчик може бути налаштований на вимірювання властивості однієї або кількох сумішей твердо-рідкої суміші, першого компонента, що містить тверді речовини, стоків шейкера, а другого — що містить тверді речовини. Система аналізу продуктивності свердловин може бути налаштована для аналізу звітів про бурові установки в межах географічного басейну, щоб визначити, які установки працюють неефективно. Система може дозволяти надавати рекомендації та надсилати керуючі сигнали для підвищення ефективності системи розділення твердого від рідини.

Тип: Грант

Подано: 16 липня 2020 року

Дата патентування: 2 вересня 2025 року

Призначенець: Корпорація Деррік

Винахідники: Роберт Чарльз Мейсон Бірчфілд, Чарльз Стокер, Мітчелл Дж. Деррік, Браян Дж. Руні, Майкл Дж. Швек, Крістіан Ньюман, Реймонд Кірш

Далі патентний пошук вівся в мережі Espace

Результати наведені в таблиці 3.1

Таблиця – 1.2 Результати патентного пошуку в мережі Espace

1. Обладнання для визначення тонкості рудної пульпи, здатне автоматично очищати раму сита					
Винахідник:	Заявник:	CPC:	IPC	Інформація про публікацію:	Дата пріоритету:
CHEN	NANPING	B07B1/28	:	мація про публікацію:	пріоритету:
GUOGAN	JIANYANG	B07B1/50	B07B1/28	CN1173095	2022-
G WANG	FINE CONTROL	B08B3/12 (+3)	B07B1/50 B08B3/12	12 (A) 2023-	12-13

XIAOFEN G (+16)	INTELLIGEN T TECH CO LTD		(+3)	12-29	
2. Інтелектуальна система вимірювання концентрації та тонкості та метод визначення концентрації та тонкості рудної пульпи на гірничо - збагачувальній фабриці					
Вина хідник: СУН ВЕЙ СЯО ЯО SUN WEI; XIAO YAO (+6)	Заявник: УНІВ ЦЕНТРАЛЬН ИЙ ПІВДЕНЬ UNIV CENTRAL SOUTH +	СРС: G01N15/02 G01N5/00 G01N9/04	IPC : G01N15/0 2 G01N5/00 G01N9/04	Інформація про публікацію: CN1144599 42 (A) 2022- 05-10 CN1144599 42 (B) 2024- 06-07	Дата пріори тету: 2021- 12-21

Анотація CN117309512 (A)

Винахід забезпечує обладнання для виявлення дрібності рудної пульпи, здатне автоматично очищати раму сітки. Обладнання для виявлення дрібності рудної пульпи складається з пристрою для виявлення дрібності та пристрою для очищення рамки екрану. Пристрій для визначення тонкості складається зі стелажа, станції збору матеріалів, комбінованої станції сушіння та подрібнення, станції фільтрування, комбінованої станції для зважування та очищення, перевантажувальної колії та маніпулятора передачі. Блок очищення рами сітки складається з обладнання для очищення, механізму передачі, паркувальної платформи, провітрювальної платформи, транспортної рейки та транспортного маніпулятора. А обладнання для очищення складається з ультразвукового резервуара для очищення. Комбінована станція сушіння та подрібнення та зважування та очищення розташовані в блоці для визначення тонкості, частина станцій інтегрована, механізм спрощений, розмір і зайнятий простір пристрою

					КНУ КРБ.174.26.07.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

для визначення товщини зменшені, а також організовано блок очищення рамки екрану з ультразвуковим очищенням, що дозволяє автоматично та швидко очищати раму сітки.

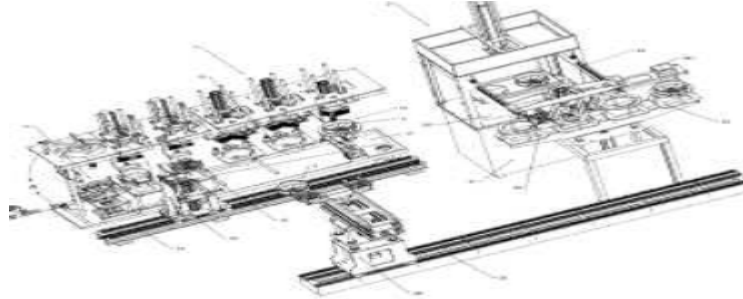


Рисунок 1.6 - Пристрій для виявлення дрібності та пристрій для очищення рамки екрану

1.4. Вимоги до системи, яка проектується

Вимоги у цілому до системи

Умови експлуатації системи:

- підвищена вібрація;
- висока абразивність пульпи;
- відсутність необхідних площ для апаратури.

Для вирішення задач контролю й керування технологічним процесом система повинна мати 3 рівні:

- польовий рівень - перетворювачі, вторинні прилади, кнопки керування на щитах і на пультах машиніста;
- середній рівень (ПЛК) - автоматичний контроль технологічних параметрів, первинна обробка, контроль і регулювання окремих параметрів, вибір режиму роботи САК, звукова і світлова сигналізація аварійних і робочих відхилень параметрів від припустимих значень, контроль каналів та передача інформації на верхній рівень;

					КНУ КРБ.174.26.07.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

– верхній рівень - обробка інформації з нижнього рівня (з перевіркою на валідність), відображення її на панелях оператора і комп'ютерних стінках, попереджувальна інформація про аварійний стан параметрів, видача необхідної звітної документації, коректування контурів керування, видача сигналу на канали нижнього і верхнього рівнів з фіксацією стану аварійних вузлів.

У функціональному відношенні система повинна виглядати як комплекс залежних завдань, кожне з яких є елементом всіх апаратів системи керування. Система повинна виконувати безперервний вимір, оперативний контроль і регулювання і дискретні операції по обробці, оперативному обліку, керуванню, сигналізації та інші функції.

Передбачити наступні режими роботи системи:

- за часом роботи - безперервний;
- ручний, у якому машиніст керує виконавчими механізмами за допомогою периферійних органів керування;
- автоматизований, коли контроль та керування технологічним процесом здійснюється через контролер.

Вимоги до надійності.

Надійність повинна відповідати показникам:

безвідмовність - наробіток на відмову не менше 10000 годин з імовірністю 0.98;

ремонтпридатність - середній час відновлення повинне бути не більше 30 хвилин;

довговічність - технічні засоби повинні бути розраховані не менше як 8 років.

При цьому захищеність засобів керування від впливу електричних і магнітних полів, а також перешкоди по ланцюгам живлення і заземлення планується бути достатньою для виконання апаратними засобами свого призначення.

					КНУ КРБ.174.26.07.01.ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відмовою комплексу апаратів вважати невиконання ним якогось із його завдань або функцій, за умови проектної можливості такого виконання нею завдання або функції.

Вимоги до програмного забезпечення (ПЗ).

Програмне забезпечення повинне бути вирішувати виконання всіх функцій системи, які реалізовані засобами обчислювальної техніки, а також мати організаційні засоби усіх необхідних процесів згідно алгоритму обробки даних, що дозволяють вчасно виконувати всі функції у всіх передбачених режимах праці системи.

ПЗ повинне складатися зі стандартної та прикладної частин програмного забезпечення.

Стандартне ПЗ - комплекс службових і стандартних програм, що поставляють у комплекті із засобами техніки. Прикладне ПЗ - комплекс програм, створюваний тільки для цієї системи й призначений він для реалізації її функцій.

Прикладне ПЗ повинне розроблятися на основі використання наявних уніфікованих рішень.

Програмне забезпечення повинне мати наступні властивості:

- функціональна повнота;
- надійність і наявність засобів виявлення помилок;
- адаптацію;
- легкість експлуатації.

ПЗ повинно бути побудоване так, щоб зміна, або нестача окремих даних не позначалося на здійсненні функцій, при яких ці дані пропадали, а також мало засоби діагностики технічних і ПЗ системи й контролю на стан вхідної й вихідної інформації.

Стандартне ПЗ повинне дозволяти налаштування компонентів прикладного ПЗ й подальшу модернізацію ПЗ системи без переривання нормального протікання процесу її функціонування. Всі програми й

					КНУ КРБ.174.26.07.01.ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

компоненти прикладного ПЗ системи повинні бути сумісні як між собою, так і з її стандартним ПЗ.

Прикладне ПЗ повинне створюватися на базі стандартного ПЗ і містити проблемно-орієнтовані користувацькі пакети прикладних програм, що здійснюють функції системи. Прикладне ПЗ повинне будуватися по модульному принципу відповідно до функціональної сутності модуля. Прикладне ПЗ повинне мати розвинену систему дружнього діалогу оператора з робочою станцією й виконувати наступні функції:

- первинна обробка інформації з датчиків, відповідного приведення її до фізичних значень;
- формування пакету інформації з різних типів сигналів як аналогових, так і дискретних;
- візуалізація поточного стану апаратів та параметрів процесів, які протікають;
- запис інформації в системі, у т.ч. технологічної;
- підготовка і видача керуючих впливів;
- аварійна сигналізація виходу параметра межі у вигляді повідомлень;
- запис усіх змін у системі;
- видача звітів і вихідних форм.

Обґрунтування вибору технічного забезпечення

У комплексі технічних засобів системи повинні використовуватися технічні апарати серійного виробництва. Технічні засоби системи, як і устаткування, повинні експлуатуватися в зоні помірного клімату, в наступних умовах:

- малі температурні перепади;
- відсутність потужних електромагнітних полів;
- хімічно активне середовище.

					КНУ КРБ.174.26.07.01.ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Захищеність - ступінь захисту технічних апаратів від несприятливих факторів навколишнього середовища - повинна бути, відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТУ 14254 – 96, не менш:

- для контролера - IP50 для температур від +0 до +40°C та відносної вологості 70±10% навколишнього середовища;
- для робочої станції - IP30 для температур від +0 до +40°C та відносної вологості 70±10% навколишнього середовища.

Контролер установити в шафу із захистом IP64.

Апаратні засоби системи повинні бути розміщені з витиранням вимог, що містяться в технічній і у тому числі експлуатаційній документаціях на них, і забезпечувати можливість виконання технічного ремонтів і обслуговування засобів системи.

Розміщення технічних апаратів, використовуваних персоналом експлуатації системи при роботі, повинне відповідати вимогам ергономіки:

- для виробничих апаратів - ДСТ 12.2.049 - 80;
- для засобів зорової інформації - ДСТ 21829 – 76.

У системі повинні бути використані технічні засоби, що відповідають по стійкості та зовнішніх факторах, що впливають, по параметрах живлення, по категорії виконання:

ДЕРЖСТАНДАРТ 12997-84 для промислових приладів і засобів автоматизації ГСП;

ДЕРЖСТАНДАРТ 21552-84 для засобів обчислювальної техніки.

Планові профілактичні та ремонтні роботи технічних апаратів системи повинні проводитися згідно до паспортних вимог.

Висновки за розділом:

В розділі було розглянуто технологічний процес збагачення магнетитових залізних руд та детально - призначення у ньому віброгрохота.

Установлено основні функції, які він виконує у технології збагачення і особливу увагу приділено майбутнім змінам САК приводу грохота.

					КНУ КРБ.174.26.07.01.ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Високі техніко-економічні показники процесу збагачення забезпечуються строгим дотриманням оптимальних технологічних параметрів сировини в рудопідготовці по масовій частці магнетитового заліза у вихідній руді й крупності дробленої руди.

Наразі у технологічному процесі відсутня САК, яка дозволяла б керувати в залежності від багатьох збуджуючих параметрів системи і грохота.

Недоліки існуючих систем автоматизації об'єкту:

- не адаптуються параметри роботи грохоту в залежності від ефективності грохочення;

- не підтримується продуктивність грохота відносно заданому значенню;

У результаті аналізу прийняті рішення з проектування:

- обрано контур регулювання продуктивності і щільності;

- визначені вхідні і вихідні параметри системи;

- сформовані вимоги до апаратної і програмної частин проекту.

					КНУ КРБ.174.26.07.01.ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА САК КЛАСИФІКАЦІЇ ПУЛЬПИ ТА ЇЇ ПРОГРАМНО ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ

2.1 Структурна схема системи керування

На рисунку 2.1 представлена структурна схема системи керування, де показані основні елементи системи.

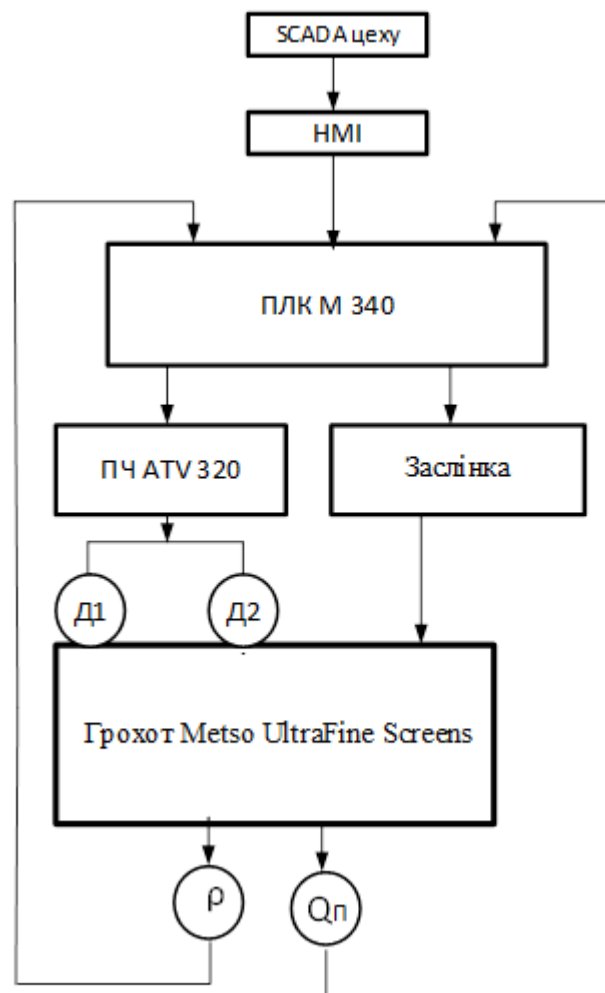


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи керування

					КНУ КРБ.174.26.07.02.ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗДІЛ 2 КНУ АКІТР-23ск		
Розроб.		Порутенко А.Ю.					
Перевір.		Савицький О.І.					
Н. Контр.		Маринич І.А.					
Затверд.		Маринич І.А.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						26	33

Заслінка вентиля по подачі води для ліквідації замулення сіток вже є на підприємстві, тому ми її не розглядаємо.

Розглянемо деякі специфічні функції ще других окремих апаратів, що позначені на рис. 2.1.

1. Особливості графіків трендів на панелі НМІ оператора (Harmony / Vijeo Designer)

Для відстеження динаміки витрати (Q) та щільності (ρ) в реальному часі на панелі серії Harmony налаштовується компонент Trend Graph:

- Конфігурація вибірки (Data Sampling): буфер вибірки виберем з періодичністю 1 секунда (для пульпи цього достатньо, щоб помітити коливання потоку). Глибина буфера — 3600 точок (1 година безперервної історії на екрані).

- Візуалізація (Осі Y): Для зручності використовуємо дві незалежні вертикальні осі на одному графіку:

- Вісь 1 (Витрата (Q): Діапазон 0.0 ... 40.0 м³/год (колір лінії — зелений).

- Вісь 2 (Щільність (ρ)): Діапазон 1.0 ... 2.0 г/см³ (колір лінії — синій).

Елементи керування: Додамо на екран трендів кнопки "Пауза", "Прокрутка назад" та "Експорт на USB" (Vijeo Designer підтримує вивантаження трендів у форматі CSV для подальшого аналізу технологами).

2. Інтеграція зі SCADA цеху та карта адрес Modbus TCP (дивись рис.2.1)

Оскільки модуль BMXNOC0401 уже знаходиться в мережі Ethernet Modbus TCP, верхній рівень (SCADA) може напряму читати та записувати змінні з пам'яті %MW контролера M340.

Для інтеграції з існуючою SCADA створимо наступну карту адрес (всі параметри матриці та налаштувань групуються у суміжні регістри):

					КНУ КРБ.174.26.07.02.ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 – Карта адрес зв'язку зі SCADA

Опис змінної	Адреса Modbus (4x)	Тип даних	Напрямок (SCADA)
Параметри матриці частот $\backslash(3 \times 3\backslash)$			
Рядок Q1 $\backslash(F_{11}, F_{12}, F_{13}\backslash)$	402100, 402102, 402104	REAL (2 рег.)	Читання / Запис
Рядок Q2 $\backslash(F_{21}, F_{22}, F_{23}\backslash)$	402106, 402108, 402110	REAL (2 рег.)	Читання / Запис
Рядок Q3 $\backslash(F_{31}, F_{32}, F_{33}\backslash)$	402112, 402114, 402116	REAL (2 рег.)	Читання / Запис
Межі витрати $\backslash(Q_1, Q_2, Q_3\backslash)$	402000, 402002, 402004	REAL (2 рег.)	Читання / Запис
Межі щільності $\backslash(\rho_1, \rho_2, \rho_3\backslash)$	402010, 402012, 402014	REAL (2 рег.)	Читання / Запис
Технологічні уставки промивання			
Уставка забивання за витратою Q_Clog_Limit	402200	REAL (2 рег.)	Читання / Запис
Уставка забивання за щільністю Rho_Clog_Limit	402202	REAL (2 рег.)	Читання / Запис
Стан та діагностика системи			
Слово стану автомата FSM_State	400100	INT (1 рег.)	Тільки читання

Поточна вихідна частота ПЧ	401101 (%MW1101)	INT (1 рег.)	Тільки читання
Прапори: Аварія теплова / Забивання / Форсунки	400101 (Біти 0, 1, 2)	WORD	Тільки читання

2.2. Алгоритми роботи системи керування

На рисунку 2.2 представлено алгоритм системи керування, де показані основні задачі і функції системи.

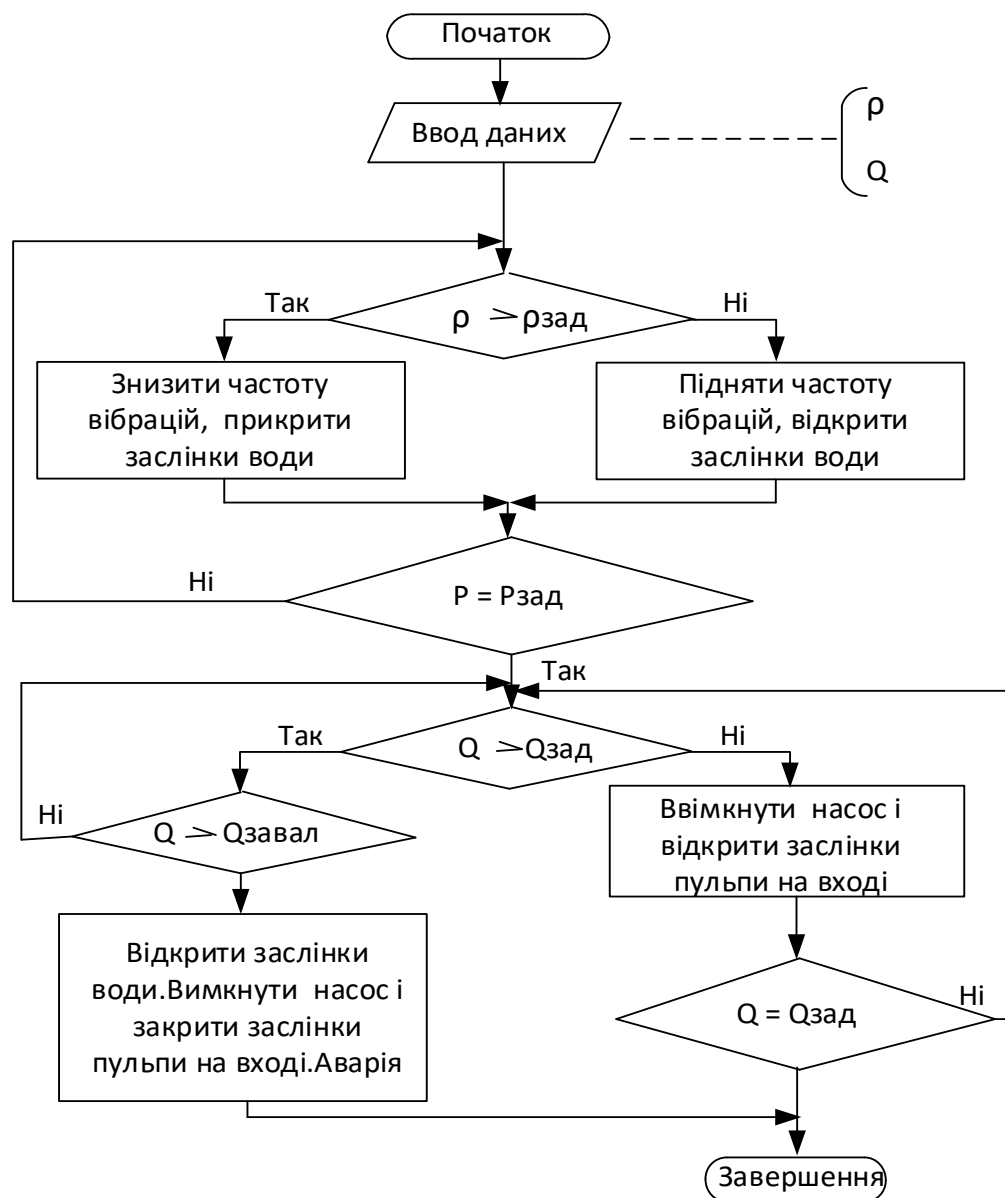


Рисунок 2.2 – Алгоритми роботи системи керування

В алгоритмі роботи є особливості для автоматичного розпізнавання забивання сіток та промивання. Фізичний принцип розпізнавання: Коли поліуретанові сітки 5-ти дек забиваються критичним класом, пульпа перестає ефективно дренувати через них. Як наслідок:

1. Щільність (ρ) підрешітного продукту різко падає, бо проходить лише вода та найтонший шлам.
2. Витрата (Q) підрешітного продукту суттєво зменшується при незмінному або зростаючому потоці живлення грохоту.

Фрагмент алгоритму та керування клапаном води форсунок на ST:

```
(* Змінні:
  Mesh_Clogged : BOOL;           // Прапор забивання сіток
  Clog_Timer : TON;              // Таймер підтвердження забивання (фільтр
шуму)
  Wash_Timer : TON;              // Таймер тривалості промивання
  Valve_Water_DO : BOOL;        // Вихід контролера (%Q) на соленоїд води
форсунок

  // Уставки з панелі/SCADA
  Q_Clog_Limit : REAL := 40.0;   // Критично низька витрата (м³/год)
  Rho_Clog_Limit : REAL := 1.15; // Критично низька щільність (г/см³)
  Clog_Time_Set : TIME := T#30s; // Час очікування для фіксації забивання
  Wash_Time_Set : TIME := T#2m;  // Скільки часу мити сітки форсунками
*)

(* 1. Аналіз умов забивання (Грохот має бути в роботі, стан FSM = 30) *)
Clog_Timer(
  IN := (FSM_State = 30) AND (Q_Meas < Q_Clog_Limit) AND (Rho_Meas <
Rho_Clog_Limit) AND NOT Wash_Timer.Q,
  PT := Clog_Time_Set
);

IF Clog_Timer.Q THEN
  Mesh_Clogged := TRUE;
END_IF;

(* 2. Керування циклом промивання форсунок *)
Wash_Timer(
  IN := Mesh_Clogged,
  PT := Wash_Time_Set
);

IF Mesh_Clogged THEN
  Valve_Water_DO := TRUE; (* Включаємо воду на форсунки всіх 10 дек *)

  (* Опціонально: під час миття можна форсувати частоту ПЧ до 48-50 Гц
для кращого очищення *)
  IF Target_Freq < 48.0 THEN
    Target_Freq := 48.0;
  END_IF;

  IF Wash_Timer.Q THEN
```

					КНУ КРБ.174.26.07.00.ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

Mesh_Clogged := FALSE; (* Промивання завершено *)
Valve_Water_DO := FALSE;
END_IF;
END_IF;

```

2.3 Розробка схеми функціональної автоматизації

На рисунок 2.3 представлена схема функціональна автоматизації, де показані основні елементи системи, як технологічні, так і автоматизації.

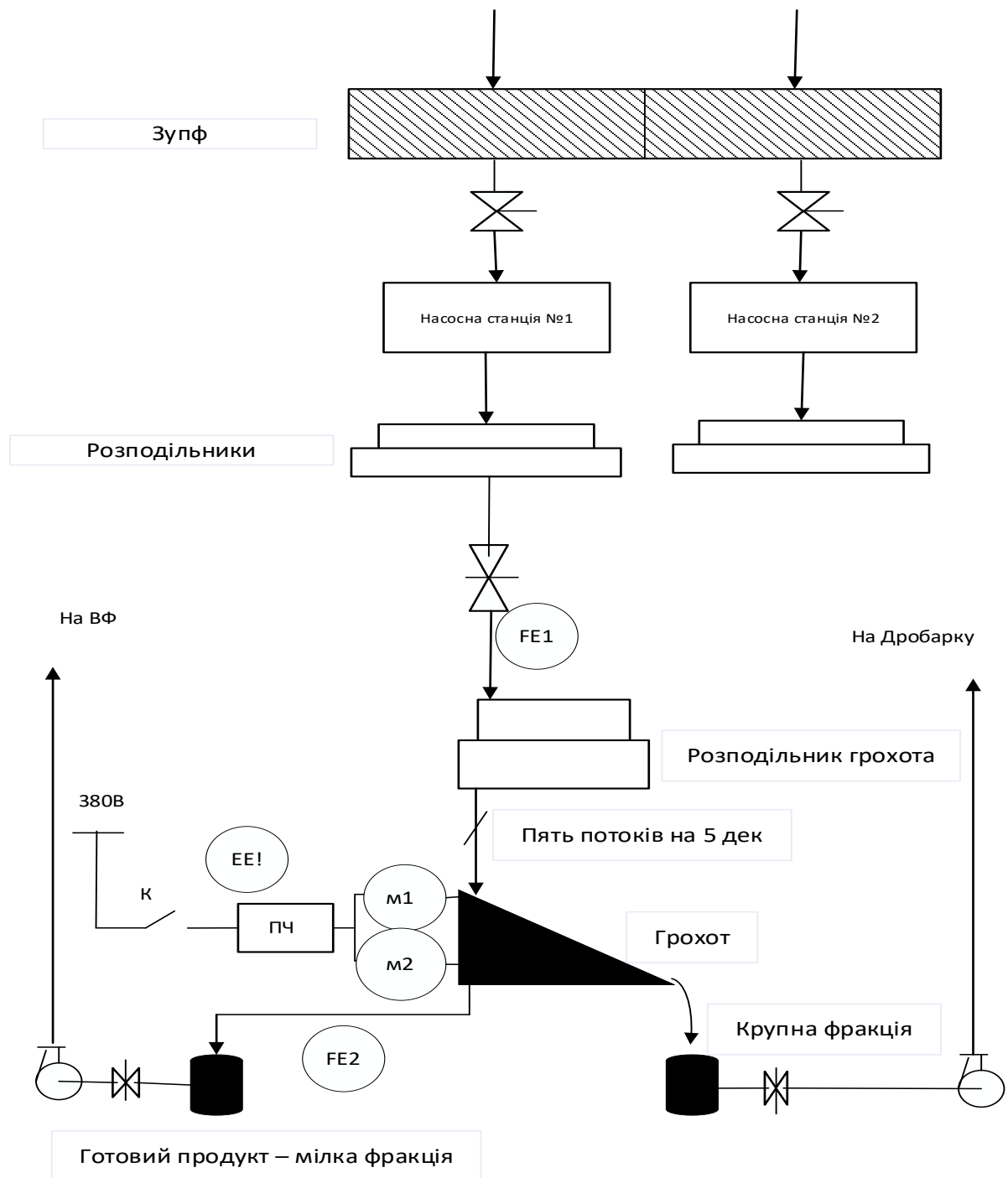


Рисунок 2.3 - Схема функціональна автоматизації

У ситах (віброгуркотках) компанії Metso застосовуються два електродвигуни для створення лінійного спрямованого коливання. Це ключова особливість їхньої конструкції, яка забезпечує високу ефективність просіювання та транспортування матеріалу.

Принцип роботи полягає в наступному: два вібраційні двигуни встановлюються паралельно один одному і обертаються в протилежних напрямках. Завдяки синхронізації їх обертання, відцентрові сили, спрямовані перпендикулярно до лінії, що з'єднує центри двигунів, взаємно гасяться. У той же час сили, що діють уздовж цієї лінії, складаються. В результаті вся конструкція сита здійснює потужні, прямолінійні коливання у заданому напрямку.

Основні переваги використання двох двигунів:

- Висока ефективність транспортування: Лінійний рух ефективно переміщає матеріал по поверхні сита від зони завантаження до зони вивантаження. Це забезпечує рівномірний розподіл матеріалу і запобігає його накопиченню.
- Покращений поділ (класифікація): За рахунок високого прискорення (вимірюваного в G), що створюється двома двигунами, відбувається інтенсивне "підкидання" частинок матеріалу. Це дозволяє дрібним часткам швидше проходити через осередки сита, а великим ефективніше рухатися до виходу. Такий процес значно підвищує якість та швидкість поділу матеріалу на фракції.
- Зниження забивання сит: Енергійні лінійні коливання сприяють самоочищенню сит. Частинки, які могли б застрягти в осередках (забити сито), ефективно виштовхуються з них, що забезпечує стабільну продуктивність протягом тривалого часу.
- Універсальність застосування: Така схема дозволяє ефективно працювати з різними матеріалами, включаючи важкопросієві, вологі або схильні до налипання, а також у процесах зневоднення та промивання.

Таким чином, застосування двох електродвигунів - це не просто збільшення потужності, а цілеспрямоване інженерне рішення для створення

					КНУ КРБ.174.26.07.00.ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оптимального типу вібрації, який максимізує продуктивність та якість роботи віброгрохоту.

Але при цьому треба здійснити модернізацію автомата стандарта СіА402: Контроль теплового перевантаження

Оскільки два двигуни працюють паралельно, сигнали від двох зовнішніх теплових реле підключаються послідовно на один дискретний вхід контролера М340 (або окремо на два входи для точної діагностики). Назвемо цю змінну Thermal_Fault_DI (Нормально Закритий контакт — TRUE коли все добре, FALSE при аварії).

Фрагмент програми автомату станів захисту двигунів на мові ST:

```
(* Змінні для додавання:
  Thermal_Fault_DI : BOOL; // Вхід контролера (%I), FALSE = теплове реле
спрацювало
  Thermal_Alarm : BOOL;    // Прапор теплової аварії для панелі та SCADA
*)
(* Перевірка теплового захисту в будь-якому стані автомата *)
IF NOT Thermal_Fault_DI THEN
  Thermal_Alarm := TRUE;
  FSM_State := 99; (* негайно переходимо в аварійний стан зупинки *)
END_IF;
CASE FSM_State OF
  0: (* Ініціалізація *)
    CMD := 16#0000;
    IF (ETA AND 16#0008) <> 0 OR NOT Thermal_Fault_DI THEN
      FSM_State := 99;
    ELSE
      FSM_State := 10;
    END_IF;
  (* ... СТАНИ 10, 20, 30, 40 залишаються аналогічними ... *)
  99: (* Стан: Аварія ПЧ або Теплового реле *)
    %MW1001 := 0; (* Скидаємо швидкість *)
    IF Fault_Reset AND Thermal_Fault_DI THEN (* Скидання дозволено лише
якщо теплове реле охоллоло *)
      Thermal_Alarm := FALSE;
      CMD := 16#0080; (* Команда скидання СіА402 *)
      IF (ETA AND 16#0008) = 0 THEN
        FSM_State := 0;
      END_IF;
    ELSE
      IF NOT Thermal_Fault_DI THEN
        CMD := 16#0000; (* Блокуємо ПЧ, поки кнопка теплового реле
не зведена *)
      END_IF;
    END_IF;
END_CASE;
```

Розглянемо ще другі особливості формування схеми функціональної автоматизації системи керування роботою грохота і приладів контролю параметрів.

					КНУ КРБ.174.26.07.00.ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Інструкція щодо експлуатації форсунок у ручному режимі

Коли оператор вмикає форсунки вручну під час зупиненого грохоту (наприклад, для ретельного миття дек під час обслуговування), залізорудна пульпа на сітках відсутня. Вода буде стікати у підрешітний продукт у великій кількості, що може призвести до хибних показників витратоміра та густиноміра низу. Логіка автоматичного розпізнавання забивання в коді вже захищена умовою (FSM_State = 30) — вона аналізує забивання тільки тоді, коли грохот реально вібрує та працює.

Для підключення датчиків витрати Q та щільності ρ на базі 8-канального модуля аналогових входів BMXAMI0810 (або BMXAMI0410) у середовищі EcoStruxure Control Expert (Unity Pro), виконаємо апаратне конфігурування, масштабування та підготуємо інструкцію для тестування обміну даними з ПЧ і SCADA.

1. Апаратне налаштування модуля BMXAMI0810

Модуль BMXAMI0810 підтримує високоточні сигнали струму та напруги (16 біт). Датчики витрати (електромагнітний витратомір) та щільності (радіоізотопний або ультразвуковий густиномір) зазвичай мають уніфікований вихід 4–20 мА.

Схема підключення (Фізичні канали)

- Канал 0 (Слот аналогової карти): датчик витрати пульпи Q .
- Канал 1 (Слот аналогової карти): датчик щільності пульпи ρ .

Модуль BMXAMI0810 потребує зовнішнього живлення 24 В постійного струму для опитування датчиків за 2-провідною схемою (пасивні датчики) або підключається напряду, якщо датчики активні (мають власне живлення).

Налаштування в EcoStruxure Control Expert (Конфігурація заліза):

1. Відкриємо Bus Configuration та двічі клацнемо на модуль BMXAMI0810.
2. Перейдемо на вкладку Configuration.
3. Для Channel 0 та Channel 1 встановимо такі параметри:
 - Inputs Range: 4-20 mA

					КНУ КРБ.174.26.07.00.ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Task: MAST (опитування в головному циклі програми)
- Format: Customized (для зручності прямого масштабування в інженерні одиниці прямо на рівні заліза).

4. В налаштуваннях Customized Range вкажемо:

- Для Каналу 0 (Витрата): 0 до 4000 (що відповідає 0.0–400.0 м³/год, помножено на 10 для збереження точності в цілих числах INT).
- Для Каналу 1 (Щільність): 100 до 200 (що відповідає 1.00–2.00 г/см³, помножено на 100).

Альтернативний варіант: якщо залишити формат Standard (0–10000), то масштабування REAL-значень виконується в коді за допомогою функції Scaling, як показано нижче.

2.4. Математичний опис системи

В роботі прийнято застосовувати м'які датчики, щоб зменшити установку реальних фізичних датчиків. Тобто деякі параметри об'єкту керування просто розраховуються по емпіричним формулам на основі збору даних через безпосереднє спостереження або експеримент.

Розрахунок основних параметрів грохотів.

Продуктивність грохотів може бути визначена за такою формулою [4] (для одного сита грохота)

$$Q = mgFK_1K_2K_3, \text{ м}^3/\text{Г},$$

де m – коефіцієнт враховує можливу нестабільність живлення та гран складу матеріалу, форму гранул й тип грохоту, $m = 0,5-0,8$;

q - питома продуктивність сита 1 м² в м³/Г. Залежить від отворів сита та нахилу;

F - площа сита в м²;

K_1, K_2, K_3 – коефіцієнти, які залежать від кута нахилу сита та гран складу матеріалу.

					КНУ КРБ.174.26.07.00.ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Споживана потужність грохотів

$$N_{\text{де}} = \frac{4 \cdot 10^{-3} f M \pi^3 n^3 r_1 d}{\eta}, \text{ кВт.}$$

де f – приведений коефіцієнт тертя кочення,

G – маса рами з ситами й матеріалом, кг;

M – маса небаланса, кг;

n – число обертів, с^{-1} ;

r – ексцентриситет, м;

r_1 – відстань центру ваги до осі обертання, м;

d – діаметр цапфи, м;

η – к.к.д. грохоту.

Застосовуючи цей підхід по використанню Soft – sensors і враховуючи, що математична модель залишається незмінною: Q – витрата підрешітного продукту ($\text{м}^3/\text{h}$) та ρ – щільність ($\text{г}/\text{см}^3$), приймаємо нижче наведені умови.

Мета — максимізація виходу готового класу заданої щільності за мінімального засмічення надрешітного продукту.

Керуючий вплив: Зміна частоти вібрації через ATV320 змінює динаміку проходження залізорудної пульпи крізь поліуретанові сітки.

В проекті, для реалізації контуру керування у функції витрати та щільності виконаємо такі кроки:

Крок 1. Масштабування аналогових сигналів (Аналог NORM_X / SCALE_X)

У контролерах M340 для обробки сигналів від витратоміра та густиноміра використовується готовий блок Scaling або класична математична формула у мові ST:

$$\backslash(X_{\text{phys}} = \text{Min}_{\text{phys}} + \frac{X_{\text{raw}} - \text{Min}_{\text{raw}}}{\text{Max}_{\text{raw}} - \text{Min}_{\text{raw}}} \times (\text{Max}_{\text{phys}} - \text{Min}_{\text{phys}}))$$

Крок 2. Розрахунок масової витрати заліза

					КНУ КРБ.174.26.07.00.ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для точного керування обчислюємо суху масу або загальну масову витрату пульпи М:

$$M=Q(\rho)$$

Крок 3. Налаштування ПІД-регулятора

Використовуємо системний екстремальний або каскадний блок PIDFF (PID з прямим зв'язком) з бібліотеки *Control Expert*.

Вхід (PV): поточна щільність або комплексна продуктивність залізорудної пульпи.

Вихід (AQ): завдання частоти для ATV320 0 - 50 Hz.

Фрагмент програмної обробки аналогових сигналів у ПЛК (ST)

Зв'яжемо сирі дані з каналів модуля (наприклад, використовуючи префікси топологічної адресації %IW0.3.0 для каналу 0 у слоті 3) та переведемо їх у змінні типу REAL для нашого алгоритму.

```
(* ЗМІННІ ТОПОЛОГІЇ (Аналогові входи):  
Raw_Q_In AT %IW0.3.0 : INT; // Сигнал 4-20 мА від витратоміра (0..10000)  
Raw_Rho_In AT %IW0.3.1 : INT; // Сигнал 4-20 мА від густиноміра (0..10000)  
)  
  
(* Масштабування Витрати Q: 4-20 мА -> 0.0...400.0 м³/год *)  
Q_Meas := (INT_TO_REAL(Raw_Q_In) / 10000.0) * 400.0;  
  
(* Масштабування Щільності Rho: 4-20 мА -> 1.0...2.0 г/см³ *)  
Rho_Meas := 1.0 + ((INT_TO_REAL(Raw_Rho_In) / 10000.0) * 1.0);  
  
(* Фільтрація від від'ємних значень або обриву зв'язку *)  
IF Q_Meas < 0.0 THEN Q_Meas := 0.0; END_IF;  
IF Rho_Meas < 1.0 THEN Rho_Meas := 1.0; END_IF;
```

Наведена архітектура системи автоматизації грохоту Metso UltraFine на базі Schneider Electric і математичного забезпечення повністю закриває технологічні вимоги. Вона забезпечує гнучке частотне регулювання віброприводу залежно від коливань параметрів живлення пульпи.

2.5. Моделювання системи керування в MATLAB.

					КНУ КРБ.174.26.07.00.ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для моделювання системи керування складемо структурну алгоритмічну схему систему автоматичного керування рис.2.4

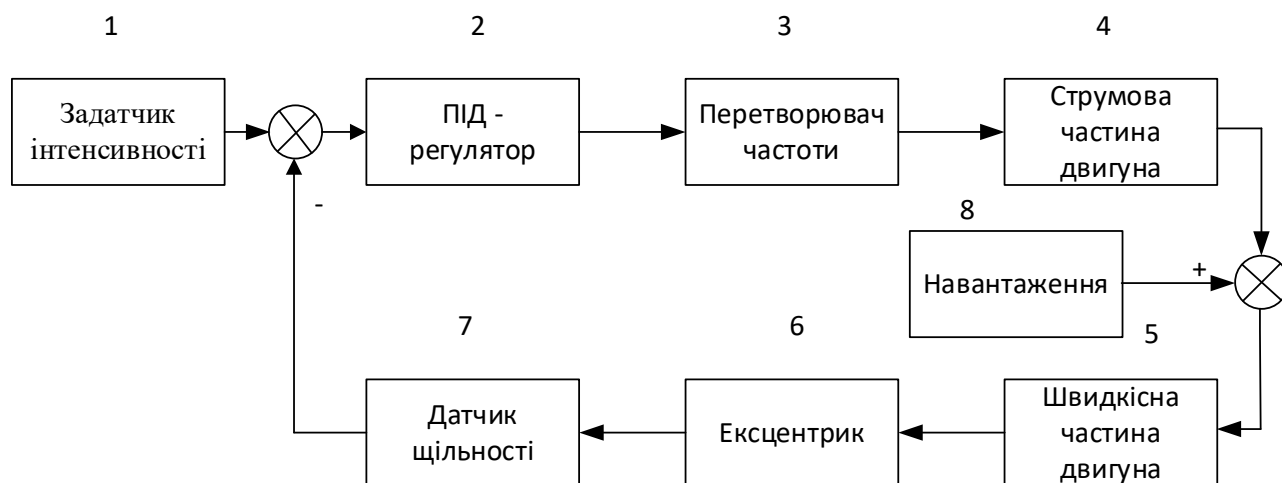


Рисунок 2.4 – Структурна схема системи керування

В нашому випадку об'єктом керування є вібраційний грохот, який складається з чотирьох ланцюгів 4, 5, 6, 8 (дивись рис.2.4). Ланцюги 4 та 5 це два однакові двигуни асинхронні змінного струму (2 x 1.75 кВт), які живляться від одного перетворювача частоти ATV 320 фірми Schneider Electric (5,5 кВт). Навантаження це залізорудна пульпа яка по технології не перевищує 400 кг. Ланцюг 6 – ексцентрик, який ставиться на валу обох двигунів (9,2 кг).

Струмова частина двигуна, згідно з класичними представленнями [26, 29] являє собою як аперіодичний ланцюг, а передатна функція його виглядає, з деякими спрощеннями, таким чином:

$$W_i = \frac{K_i}{T_i s + 1},$$

де $K_i = 0,011$ коефіцієнт перетворення напруги 380В в струм з урахуванням $\cos \varphi$

$T_i = 0,07$ с постійна часу ланцюга струму.

Інерційна механічна частина двигуна, згідно з класичними представленнями [26, 29] є інтеграційний ланцюг, а передатна функція його виглядає, з деякими спрощеннями, таким чином:

					КНУ КРБ.174.26.07.00.ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$W_j = \frac{K_j}{T_j s},$$

де $K_i = 0,011$ коефіцієнт перетворення напруги струму 4А (моменту) з урахуванням стабільного навантаження пульпою грохоту,

$T_j = 0,31$ с постійна часу ланцюга частоти обертання вібро - двигунів.

Передатна функція перетворювача частоти може бути представлена аперіодичною ланкою [26]:

$$W_{пч} = \frac{K_{пч}}{T_{пч}s + 1},$$

де $K_{пч} = 40$ обумовлено це схемою підключення ПЧ між регулятором, у якого вихід дорівнює 10В, і двигуном, куди з перетворювача подається 400 В,

$T_{пч}$ – постійна часу і дорівнює 0,01с

Використовуючи ці данні, здійснимо моделювання динамічних процесів системи керування, використовуючи пакет MATLAB Simulink. Використовуючи схему на рис.2.4 складемо схему моделі в Simulink (рис2.5.)

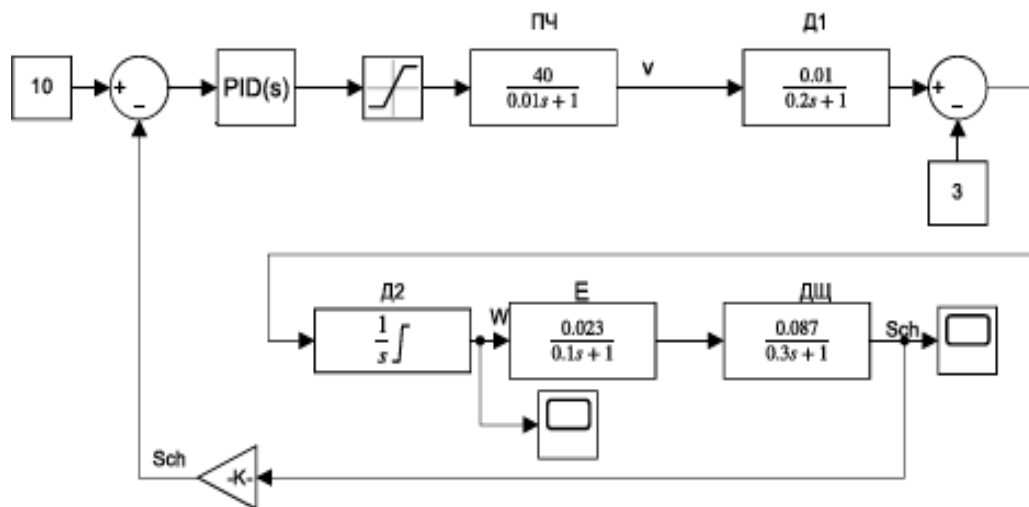


Рисунок 2.5 –Схема моделі системи керування грохотом з навантаженням

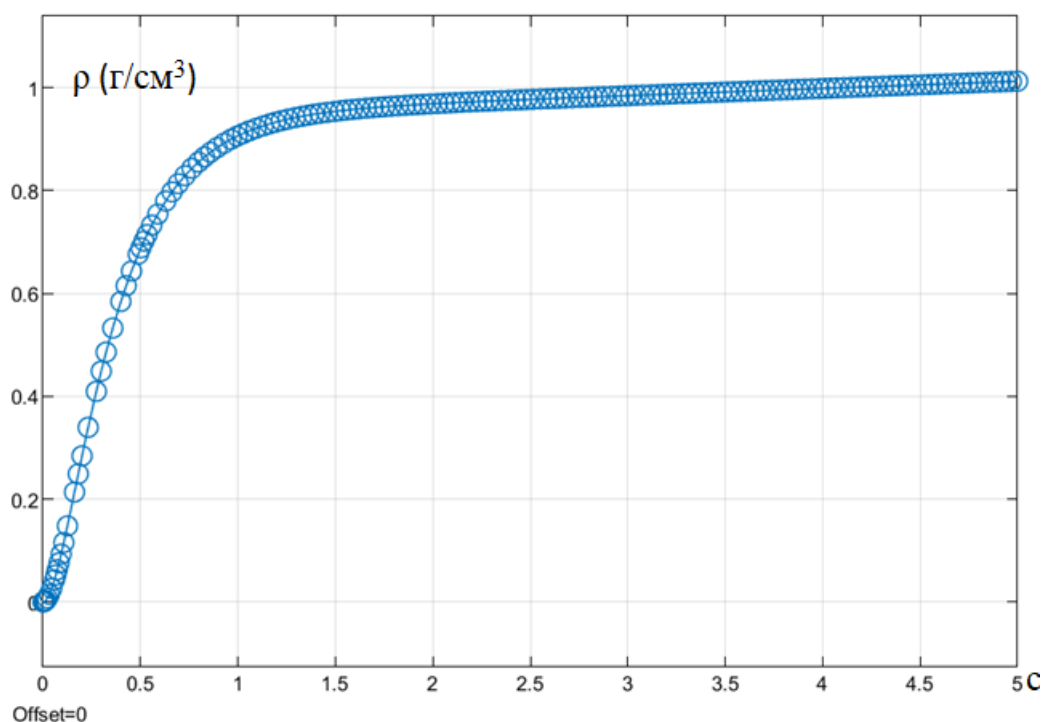


Рисунок 2.6 – Перехідна характеристика щільності, коли в підрешітному продукті практично одна вода

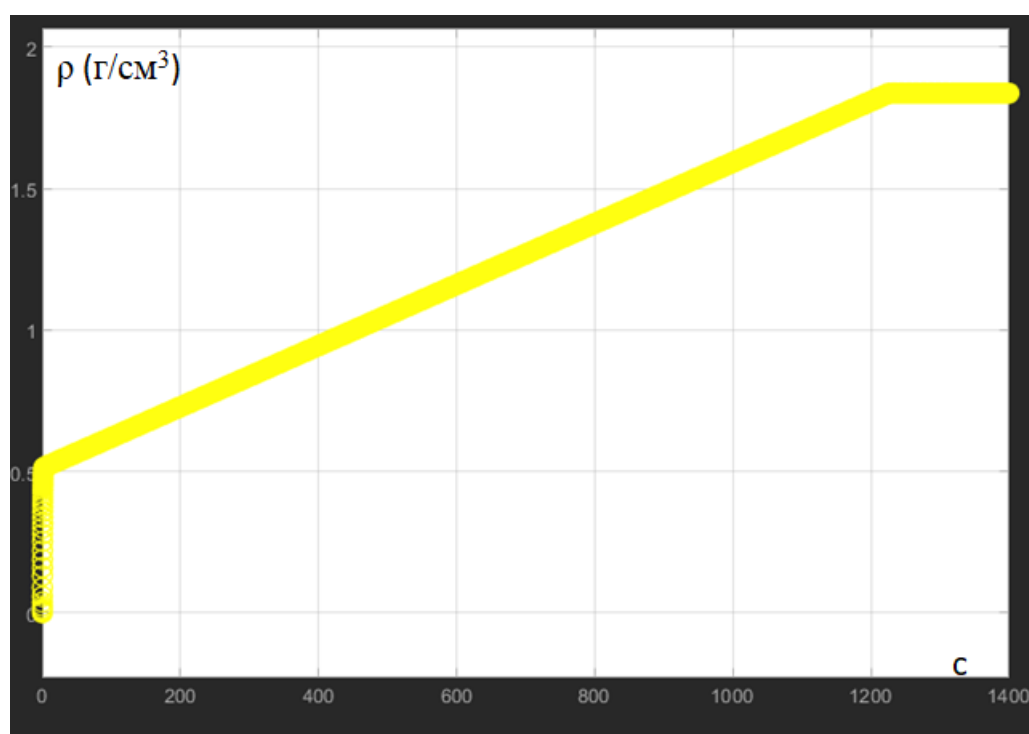


Рисунок 2.7 – Перехідна характеристика щільності, коли в підрешітному продукті практично вона стабільна, при номінальних параметрах завдання

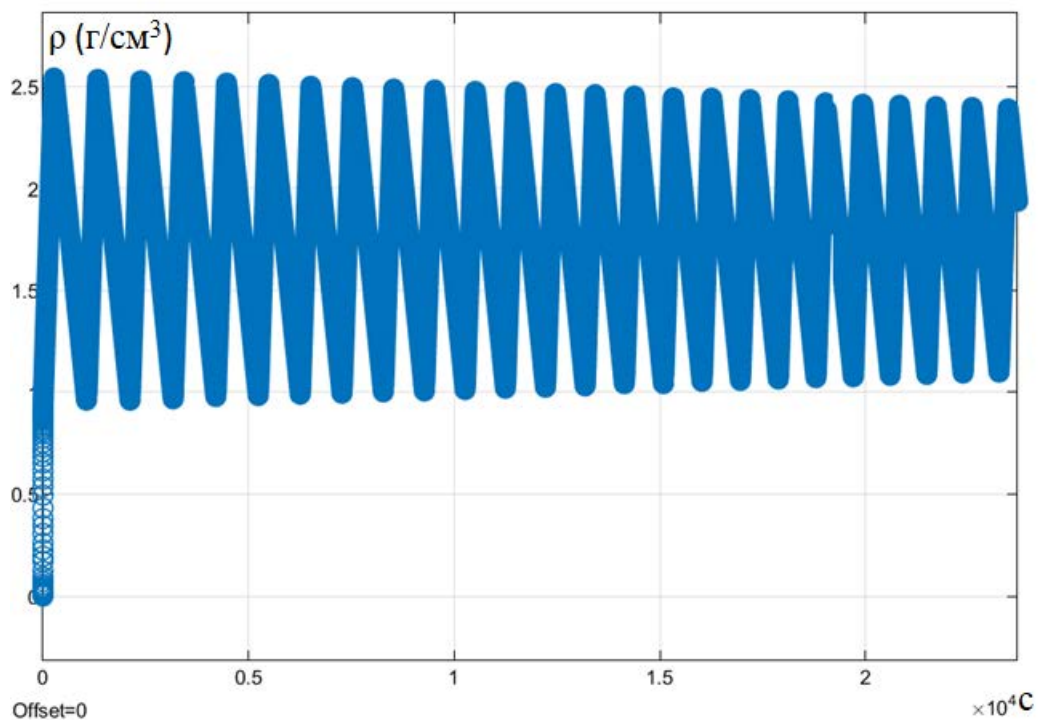


Рисунок 2.8 – Перехідна характеристика щільності, коли в підрешітному продукті практично вона не стабільна при $U_z = 0,5 U_{zn}$

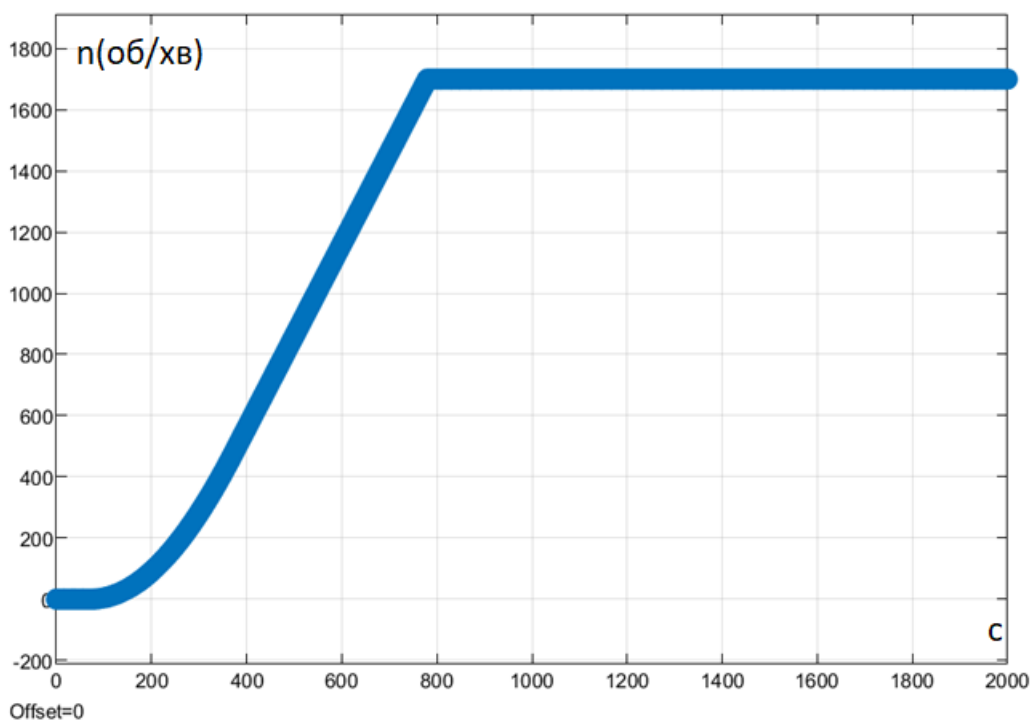


Рисунок 2.9 – Перехідна характеристика частоти обертів двигунів грохоту

Під час моделювання ми побачили, що тренд щільності має нелінійний характер і на високих частотах коливання сит грохота має стабільний характер.

2.6. Програмне забезпечення системи

Що стосується принципу керування двома двигунами, то можна констатувати таке: для нашої задачі внутрішній контур по моменту не потрібен, і ось чому:

1. Тип керування: ми використовуємо режим U/f (вольт-частотний). У цьому режимі ПЧ керує напругою та частотою, але не має прямого контролю над моментом (як у векторному режимі). Для двох паралельних двигунів це єдиний стабільний варіант.

2. Фізика процесу: Грохот — це інерційне обладнання. Наша мета — підтримувати пропускну здатність або якість розділення через щільність. Момент тут буде змінюватися залежно від завантаження, але регулювати його окремо немає сенсу — нам важлива саме амплітуда/частота вібрації.

3. Складність: Подвійний контур (каскадне регулювання) лише ускладнить налаштування та може призвести до резонансів на механіці грохота.

Щодо тонкого налаштування параметрів розгону/гальмування двигунів грохоту безпосередньо в софті SoMove для ATV320 і як потім ці налаштування врахувати в системі керування в контролері

Для важкого 5-декового грохоту Metso UltraFine з двома паралельними двигунами налаштування динаміки розгону та гальмування в SoMove є критично важливим. Неправильна конфігурація призведе до пробуксовки, механічних ударів, перевантаження ПЧ за струмом або перенапруги на шині постійного струму (через генераторний режим двигунів при зупинці).

Нижче наведено покрокові дії з налаштування параметрів приводу в SoMove та їхньої правильної синхронізації з контролером Modicon M340.

					КНУ КРБ.174.26.07.00.ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Тонке налаштування параметрів у програмі SoMove (ATV320)

Перейдіть у меню "Parameters" -> "Complete Parameter List" і виставте наступні технологічні значення:

А. Закон керування двигуном (Меню drC- / Motor Control)

- Ctt (Motor control type) = Std (U/f Квадратична) або 5Pt (U/f 5 точок).

Примітка: Векторний режим (SVC) суворо заборонений для двох паралельних двигунів на одному ПЧ, оскільки інвертор не зможе коректно вирахувати математичну модель одного віртуального ротора.

- nCr (Rated motor current): Вкажіть суму номінальних струмів обох двигунів (наприклад, якщо один двигун 4.7 А, вкажіть 9.4 А).
- Б. Рампа розгону та гальмування (Меню SET- або rAt- / Ramp)
- Механіка грохоту має велику інерцію. На запуск і зупинку потрібно виділити достатньо часу:
- ACC (Acceleration time) = 10.0 ... 15.0 s. Занадто швидкий розгін викличе аварію OLF (перевантаження) або OCF (надструм).
- dEC (Deceleration time) = 15.0 ... 20.0 s. Велика маса дек при гальмуванні почне крутити двигуни в режимі генератора.
- rpt (Ramp type) = S (S-подібна рампa). Це найважливіший параметр. Замість лінійного пуску ПЧ буде розганяти грохот плавно на початку і в кінці ramps. Налаштуємо коефіцієнт заокруглення: tA1 (S-ramp start) = 20%, tA2 (S-ramp end) = 20%. Це прибере динамічні удари на підшипники та сітки дек.
- В. Поведінка при зупинці та захист від перенапруги (Меню StT- та CtL-)
- brA (Deceleration ramp adaptation) = YES. Якщо при гальмуванні виникне перенапруга на шині DC, ПЧ автоматично подовжить час зупинки, щоб уникнути аварії ObF (Overbraking).

					КНУ КРБ.174.26.07.00.ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Stt (Type of stop) = rMP (Зупинка за рампою). Якщо обрати nSt (Зупинка на вибігу), 5 дек будуть хаотично і довго вібрувати в резонансних зонах, що розбиває механіку

2. Враховуємо ці налаштування в контролері Modicon M340

Якщо параметри розгону/гальмування зашиті в ПЧ, контролер повинен "знати" про реальний стан приводу, щоб його логіка (автомат станів CіA402 та промивання форсунок) працювала синхронно.

Правило 1. Захист від передчасного включення форсунок (Контроль розгону)

Не можна вмикати воду або переходити в режим аналізу забивання сіток, поки грохот реально не вийшов на робочу частоту. У слові стану ПЧ ЕТА (%MW1100) за стандартом CіA402 є біт, який відповідає за досягнення заданої швидкості:

- Біт 10: Target reached (Швидкість досягнута).

Модифікуємо код автомата станів (Стан 30) у контролері:

CASE FSM State OF

(* ... попередні стани ... *)

20: (* Чекаємо на запуск інвертора *)

IF (ETA AND 16#0023) = 16#0023 THEN

CMD := 16#000F; (* Enable operation *)

FSM_State := 25; (* Новий проміжний стан: Очікування розгону

*)

END_IF;

25: (* Стан: Розгін за рампою S-ACC (10-15 сек із SoMove) *)

Vibro_Running_Prop := FALSE; // Грохот ще не вийшов на режим

(* Перевіряємо біт 10 слова ЕТА (маска 16#0400) *)

IF (ETA AND 16#0400) <> 0 THEN

FSM_State := 30; (* Грохот повністю розігнався, переходимо в роботу *)

END_IF;

					КНУ КРБ.174.26.07.00.ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

30: (* Стан: Робота автоматичного або ручного режиму *)

Vibro_Running_Prop := TRUE; // Тепер дозволено вмикати форсунки
та аналізувати забивання

IF Stop_Cmd OR NOT Start_Cmd THEN

FSM_State := 40;

END_IF;

END_CASE;

Правило 2. Затримка повного відключення системи (Контроль
гальмування)

Коли оператор натискає кнопку "СТОП", автомат переходить у стан 40.
ПЧ починає гальмувати двигуни протягом 15–20 секунд (параметр dEC у
SoMove). Контролер повинен тримати систему під контролем, поки фактична
швидкість не впаде до нуля.

Для цього використовуємо вхідний регістр фактичної частоти з I/O
Scanning — RFRD (%MW1101):

40: (* Стан: Зупинка за рампою dEC *)

CMD := 16#0007; (* Команда: Disable operation *)

Vibro_Running_Prop := FALSE; // негайно вимикаємо автоматику
форсунок

(* Чекаємо, поки фактична частота з ПЧ впаде до 0 *)

IF %MW1101 = 0 THEN

CMD := 16#0006; (* Повне зняття напруги *)

FSM_State := 10; (* Повернення в готовність *)

END_IF;

Правило 3. Динамічна зміна рампи з контролера (Опціонально)

Якщо в майбутньому технологи захочуть змінювати час розгону або
гальмування залежно від типу руди прямо зі SCADA, ми зможемо додати ці
параметри в карту I/O Scanning модуля NOC0401:

- Регістр ACC має адресу Modbus 8401.
- Регістр dEC має адресу Modbus 8402.

					КНУ КРБ.174.26.07.00.ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додавши їх у конфігурацію циклічного запису NOC0401, ми зможемо передавати уставки часу розгону/гальмування з контролера M340 як звичайні змінні %MW. На початковому етапі пуско налагодження це робити необов'язково — достатньо один раз жорстко налаштувати рампи в SoMove.

Фрагмент коду для m340

Для керування ATV320 через мережу найкраще створити окремий блок даних для обміну даними та використовувати просту логіку.

1. Формування Control Word (Слово керування)

ATV32 працює за державним автоматом **CiA402**. Для запуску потрібно послідовно подати команди:

- 16#0006 — Ready to switch on
- 16#0007 — Switched on
- 16#000F — Operation enabled (Пуск)

Приклад на ST:

```
// Логіка керування (спрощено)
IF #Start_Command THEN
  #ControlWord := 16#000F; // Пуск
ELSE
  #ControlWord := 16#0000; // Зупинка (або 16#0007 для Ready)
END_IF;

// Передача в ПЧ (вихід QW вашої карти)
"ATV320_Control_Word" := #ControlWord;
```

2. Масштабування завдання частоти (Speed Reference)

Завдання в ATV320 передається як ціле число (Int). Зазвичай 0...16384 відповідає 0...50Гц. Щоб отримати 40–55 Гц:

- 40 Гц $\approx$ 13107
- 50 Гц = 16384
- 55 Гц $\approx$ 18022

Код для масштабування:

```
// Вихід з PID (0.0 - 100.0%) масштабуємо в 40.0 - 55.0 Гц
```

					КНУ КРБ.174.26.07.00.ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```
#Freq_Hz := SCALE_X(MIN := 40.0, MAX := 55.0, VALUE := #PID_Output_Real);

// Перераховуємо Гц у значення для ПЧ (0-50 Гц -> 0-16384)
#Speed_Ref_Int := REAL_TO_INT(#Freq_Hz * 16384.0 / 50.0);

// Передача в ПЧ
"ATV32_Speed_Reference" := #Speed_Ref_Int;
```

Оскільки щільність пульпи змінюється повільно, встановимо великий Integral Time (Ti), наприклад, 10 у блоці **PID**, щоб уникнути різких стрибків частоти, які можуть перегріти двигуни або розгойдувати механіку.

```
// Логіка керування (спрощено)
```

```
IF #Start_Command THEN
```

```
    #ControlWord := 16#000F; // Пуск
```

```
ELSE
```

```
    #ControlWord := 16#0000; // Зупинка (або 16#0007 для Ready)
```

```
END_IF;
```

```
// Передача в ПЧ (вихід QW вашої карти)
```

```
"ATV320_Control_Word" := #ControlWord;
```

```
// Вихід з PID (0.0 - 100.0%) масштабуємо в 40.0 - 55.0 Гц
```

```
#Freq_Hz := SCALE_X(MIN := 40.0, MAX := 55.0, VALUE :=
#PID_Output_Real);
```

```
// Перераховуємо Гц у значення для ПЧ (0-50 Гц -> 0-16384)
```

```
#Speed_Ref_Int := REAL_TO_INT(#Freq_Hz * 16384.0 / 50.0);
```

```
// Передача в ПЧ
```

```
"ATV320_Speed_Reference" := #Speed_Ref_Int;
```

Візуалізація процесів

Для візуалізації процесів застосуємо опції браузера Operator Screens.

Фрагмент візуалізації для наладки ПЗ системи наведено на рис.2.10

					КНУ КРБ.174.26.07.00.ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

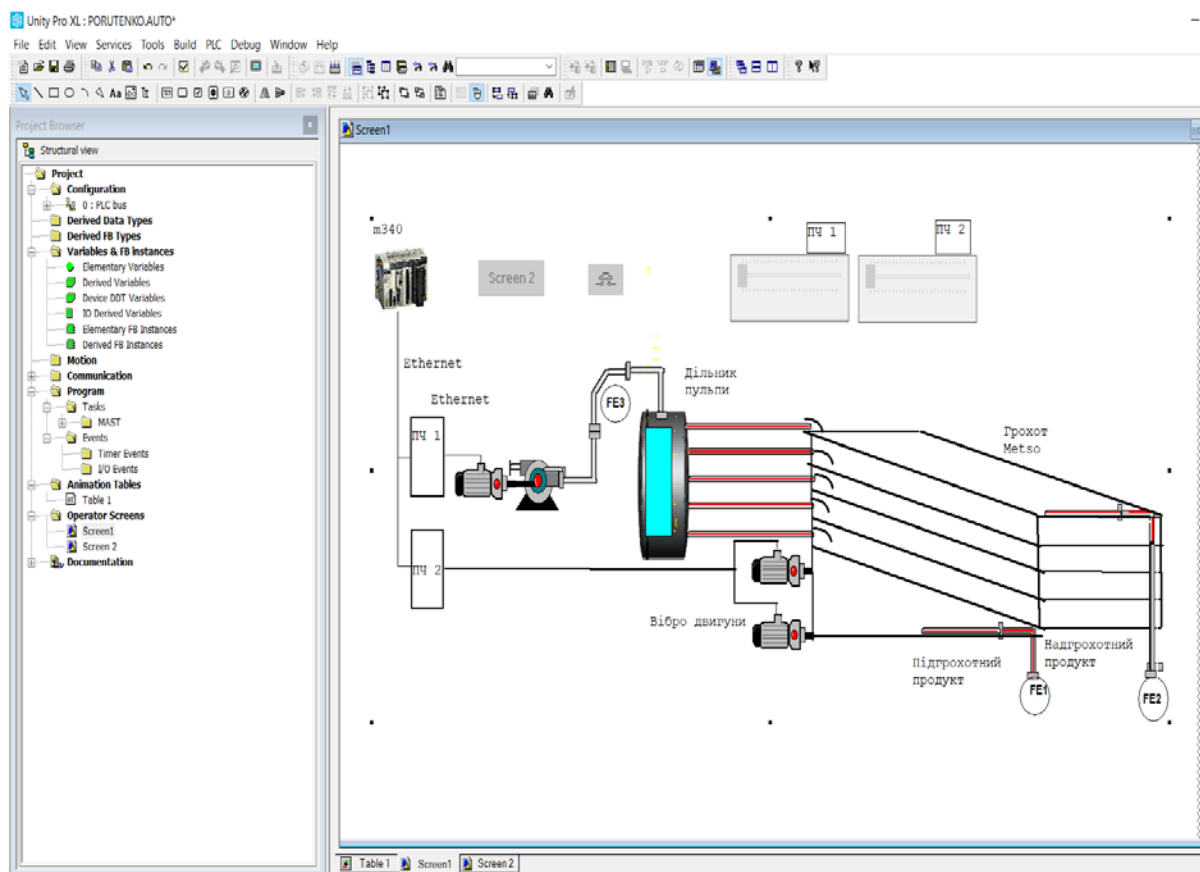


Рисунок 2.10 - Фрагмент візуалізації для наладки ПЗ

Для налаштування PID під датчик щільності та ATV320, виконуємо такі кроки:

1. Додавання та тип даних

– Input: Оберіть **Input (Real)**, оскільки ваш датчик по Profinet вже віддає готове значення щільності (наприклад, кг/м³ або г/л).

– Output: Оберіть **Output (Real)**, щоб отримати значення 0.0–100.0%, яке ми потім масштабуємо в частоту 40–55 Гц.

2. Базові налаштування (Configuration)

Відкрийте вікно конфігурації блоку (іконка чемодана):

– Controller Type: General (або Pressure/Flow, принципової різниці немає, це лише для одиниць виміру).

– Input/Output parameters:

– Input: **Input** (не **Input_PER**, бо дані цифрові).

– Output: **Output (Real)**.

					КНУ КРБ.174.26.07.00.ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– Process Value Settings: Вкажемо діапазон нашого датчика (0.0 до 2000.0 кг/м³). Це важливо для коректної роботи графіків моніторингу.

3. Межі виходу (Output Limits)

Це критичний момент, щоб ПІД-регулятор не намагався видати частоту нижче 40 Гц або вище 55 Гц:

- Output Lower Limit: 80.0 (це 40 Гц від 50 Гц номіналу).
- Output Upper Limit: 110.0 (це 55 Гц від 50 Гц номіналу).
- *Альтернатива:* Залишуємо межі 0.0–100.0%, а масштабування в

Гц зробимо у кодї, так гнучкіше.

4. Напрямок регулювання (Invert Control)

– Якщо при збільшенні швидкості вібрації щільність падає (нормальний режим для грохота) — інверсія не потрібна.

- Якщо навпаки — поставимо галочку "Invert control action".

5. Автоналаштування (Commissioning)

Для грохота з пульпою краще почати з Pre-tuning:

1. Виходимо у режим "Online".
2. В меню "Commissioning" натискаємо Start.
3. Встановіть Setpoint (бажана щільність).
4. Натискаємо Pre-tuning. ПІД сам підбере коефіцієнти P, I, D.
5. Якщо система "гуляє", вручну збільшуємо T_i у 2 рази.

Приклад виклику блоку (ST):

```
"PID_ _1"(  
  Setpoint := "DB_HMI".TargetDensity, // Наша уставка з панелі  
  Input := "Density_Sensor_Value", // Значення з Ethernet-датчика  
  ManualEnable := " _HMI".ManualMode,  
  ManualValue := " _HMI".ManualFreq,  
  Retain := "PID_Retain_Data",  
  Output => #PID_Out_Real // Вихід 0.0 - 100.0  
);  
  
// Масштабуємо вихід 0-100% у значення для ATV320 (40-55 Гц)  
// 40Гц = 13107 одиниць, 55Гц = 18022 одиниці  
"ATV320_Speed_Ref" := REAL_TO_INT(SCALE_X(MIN:=13107.0, MAX:=18022.0,  
VALUE:=#PID_Out_Real / 100.0));
```

					КНУ КРБ.174.26.07.00.ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розглянемо подвійне регулювання: щільності і витрати (450 м³/год)

Керування грохотом за двома параметрами — це, для цієї ситуації, гарне інженерне рішення. Для реалізації ми використаємо ПІД-регулятор із прямим зв'язком по витраті (Feed-Forward, блок PIDFF).

- Основне завдання (Щільність): ПІД-регулятор плавно підлаштовує частоту, щоб тримати задану щільність пульпи (від 1.1 до 2.0 г/см³).
- Випереджувальний захист (Витрата): Якщо на грохот різко піде вал пульпи (наплив до 450 м³/год), контур прямого зв'язку миттєво підніме частоту вібродвигунів пропорційно об'єму, не чекаючи, поки зміниться щільність. Це повністю виключає забивання грохота

Код для Control Expert (Мова ST)

Перед кодом у структурі налаштувань ПІД-блока (PID_Parameters) вкажемо:

- PID_Parameters.PV_Min := 1.1; та PID_Parameters.PV_Max := 2.0;
- PID_Parameters.Out_Min := 0.0; та PID_Parameters.Out_Max := 100.0;
- Коефіцієнт прямого зв'язку PID_Parameters.FF_Gain := 1.0; (значення за замовчуванням).

Фрагмент коду керування щільністю

```
(*
=====
*)
(* 1.   МАСШТАБУВАННЯ ПРЯМОГО ЗВ'ЯЗКУ (FEED-FORWARD) ПО ВИТРАТІ
*)
(* Максимальна витрата 450 м3/год відповідає 100% потужності впливу
*)
(*
=====
*)

IF FC430_Volume_Flow > 450.0 THEN
    #FF_Flow_Pct := 100.0; (* Захист від перевантаження датчика *)
ELSIF FC430_Volume_Flow < 0.0 THEN
    #FF_Flow_Pct := 0.0;
ELSE
    #FF_Flow_Pct := (FC430_Volume_Flow / 450.0) * 100.0; (* Перевід 0..450
м3/год у 0..100% *)
END_IF;
```

					КНУ КРБ.174.26.07.00.ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

( *
=====
*)
(* 2. ВИКЛИК БЛОКУ ПІД-РЕГУЛЯТОРА PIDFF *)
(* Блок сумує внутрішній ПІД-вплив від щільності та прямий від витрати (FF) *)
( *
=====
*)
PIDFF_Instance(
    PV := FC430_Density,          (* Поточна щільність з EtherNet/IP
(1.1 - 2.0) *)
    SP := HMI_TargetDensity,      (* Уставка бажаної щільності з панелі
*)
    FF := #FF_Flow_Pct,          (* Прямий зв'язок по витраті (0.0 -
100.0%) *)
    MAN_ACT := HMI_ManualMode,    (* TRUE = Ручний режим завдання частоти
*)
    MAN_OUT := HMI_ManualFreq_Pct, (* Завдання в ручному режимі (0.0 -
100.0%) *)
    PARA := PID_Parameters,      (* Конфігураційна структура *)
    OUT => PID_Out_Real          (* Спільний вихід регулятора (0.0 -
100.0%) *)
);
( *
=====
*)
(* 3. МАСШТАБУВАННЯ ДЛЯ ALTIVAR ATV32 (Враховуючи межі грохота 40-55 Гц) *)
(* Значення для Schneider передається в 0.1 Гц: 40 Гц = 400, 55 Гц = 550 *)
( *
=====
*)

#Temp_Freq_Real := 400.0 + ((PID_Out_Real / 100.0) * (550.0 - 400.0));

(* Округлення та конвертація в INT для слова швидкості LFRd частотника *)
ATV32_LFRd := REAL_TO_INT(#Temp_Freq_Real);

```

Як це працюватиме на практиці:

Якщо грохот працює стабільно, а витрата середня (225 м³/год), параметр FF додасть базові 50% до логіки регулятора. Далі ПІД-компонент, аналізуючи щільність, "ювелірно" дорулить вихід (наприклад, додасть ще 12%, разом 62%), забезпечуючи частоту близько 49.3 Гц. Якщо ж трубу прорве і витрата миттєво підскочить до 450 м³/год, FF миттєво видасть 100% на вихід, і частотник одразу вийде на максимум у 55 Гц ще до того, як густа чи рідка пульпа дійде до сита.

					КНУ КРБ.174.26.07.00.ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.7 Апаратне забезпечення системи

Для збереження високої точності регулювання виконаємо вибір відповідного обладнання, яке зможе виконати це завдання

Таблиця 2.2 – Основне обладнання проекту

Функціональний вузол	Цей проект на обладнанні Schneider Electric
Центральний процесор	Modicon M340 (наприклад, BMD P34 2020)
Середовище розробки	EcoStruxure Control Expert (Unity Pro)
Привід грохоту (ПЧ)	Altivar Machine ATV320
Мережевий протокол	Modbus TCP або EtherNet/IP
Датчик витрат, тиску, щільності	SITRANS FC430

Вибір перетворювача частоти



Рисунок 2.11 – ПЧ Altivar Machine ATV320, 5,5кВт

Враховуючи, що два двигуни по 1,75 кВт повинні робити для синхронізації по швидкості дуже стабільно, обираєм схему їх живлення від одного перетворювача частоти на 5,5 кВт, з трифазною напругою 380В -400В,

					КНУ КРБ.174.26.07.00.ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

з Ethernet на борту. Найбільш гнучкий та класичний варіант автоматизації беремо стандартний базовий перетворювач потрібної форми (рис.2.11) та комплектуємо його окремою офіційною платою розширення-мережевий модуль Ethernet: [VW3A3616](#) комунікаційний модуль Schneider Electric для протоколів Modbus TCP та EtherNet/IP (швидкість 10/100 Мбіт/с, має 2 роз'єми RJ45). Карта легко вставляється у спеціальний слот (касету) приводу.

Оскільки зв'язок між модулем BMXNOC0401 та ПЧ Altivar Machine ATV320 здійснюється за промисловим стандартом Modbus TCP (Ethernet), для проекту нам знадобиться нижче обґрунтування кабельної інфраструктури та схем розпіновки.

Вибираємо контролер і сигнальні блоки

Вибираємо процесорний модуль до ПЛК м340 - [BMXP342020](#) рис.2.14. Повна конфігурація М340 (з блоком живлення і сигнальними модулями) показана в параграфі 2.6.



Рисунок 2.12 – Процесорний Модуль м340 [BMXP342020](#)

Для збільшення можливостей збирати і ретранслювати данні вибираємо ще комунікаційний модуль Ethernet/IP BMX NOC0401 (рис.2.13)

					КНУ КРБ.174.26.07.00.ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.13 - Модуль *m340 Ethernet/IP BMX NOC0401*

Крім того контролер треба оснастити сигнальними модулями:

Дискретні модулі вводу/виводу

- Модуль вводу (Inputs) *BMXDDI1602* — 16 входів (24 В DC, positive/sink).
- Модулі виводу (Outputs):
- *BMXDDO1602* — 16 транзисторних виходів (24 В DC, 0.5 А).
- *BMXDRA0805* — 8 релейних виходів]

Аналогові модулі (Analog I/O)

- Модуль вводу (Inputs) *BMXAMI0800* — 8 аналогових входів
- Модулі виводу (Outputs):
- *BMXAMO0210* — 2 аналогові виходи.
- *BMXAMO0410* — 4 аналогові виходи.

Вибір датчика

Для коректного підбору типорозміру (DN) датчика SITRANS FC430 [31] для грохотів мокрої класифікації зазвичай використовують такі орієнтири:

Вибір типорозміру (DN)

- DN50 (2"): Оптимально для витрати 15–40 м³/год.

Найпопулярніший варіант для невеликих циклів класифікації.

- DN80 (3"): Для витрати 40–100 м³/год\$.

					КНУ КРБ.174.26.07.00.ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- DN100 (4"): Для великих потоків понад 100 м³/год.

У нас потік 450м³/год тому обираємо DN100 (4").

Важливо: Швидкість потоку пульпи в датчику має бути в межах 1.5–3 м/с.

Якщо вона менша за 1 м/с, тверді частки почнуть осідати, якщо понад 4 м/с — буде сильний абразивний знос трубок датчика.



Рисунок 2.14 - Витратомір SITRANS FC430 для залізорудної пульпи

Залізорудна пульпа — це високоабразивне середовище з високою густиною. Стандартне виконання витратоміра тут швидко вийде з ладу.

Для роботи з витратою 450 т/год на трубі 120 мм рекомендуються такі параметри конфігурації:

- Типорозмір датчика: Потрібен датчик SITRANS FCS400 розміру DN100 (4"). Хоча наша труба має діаметр 120 мм (найближчий стандартний DN125), коріолісові витратоміри зазвичай завужують на один типорозмір (до DN100), щоб забезпечити достатню швидкість потоку для точного вимірювання густини й маси, а також запобігти осадженню твердої фази пульпи. Перехідники робляться за місцем монтажу.

- Матеріал вимірювальних трубок: Обов'язково Hastelloy C22 або спеціальне виконання з потовщеною стінкою (Thick-walled) з нержавіючої сталі. Еталонний варіант для пульпи — стійкий до ерозії нікелевий сплав Hastelloy, оскільки звичайна нержавійка 316L швидко протреться твердими частотами руди.

					КНУ КРБ.174.26.07.00.ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Комунікація (Ethernet): Сам витратомір SITRANS FC430 у базовому виконанні передає дані через Modbus RS485, PROFINET або HART. Щоб завести його безпосередньо у вашу мережу Ethernet (Modbus TCP) для контролера M340, у замовленні необхідно вказати передавач SITRANS FCT030 з підтримкою протоколу Modbus TCP/IP (Ethernet) або використати шлюз промислових протоколів.

Вибір панелі оператора Schneider Electric

Для архітектури з M340 та ПЧ через Ethernet найкраще підходять панелі серії Magelis / Harmony GTU або Harmony GTO, що програмуються в середовищі EcoStruxure Operator Terminal Expert або Vijeo Designer.

Рекомендована модель: Schneider Electric Harmony NMIGTO5310 (або новіша серія NMIGTU)

- Дисплей: 10.4 дюйми, кольоровий TFT (ідеально для відображення мнемосхеми класифікації грохоту Metso, таблиць та графіків щільності/витрати).
- Порти: Вбудований Ethernet (Modbus TCP) — підключається прямо в комутатор поруч із NOC0401.
- Перевага інтеграції: Прямий імпорт тегів (змінних) з EcoStruxure Control Expert у Vijeo Designer без ручного введення адрес Modbus.

Відобразимо на екрані (візуалізація):

1. Поточна щільність (PV): Велике цифрове поле + стовпчикова діаграма.
2. Уставка (Setpoint): Поле введення для оператора.
3. Частота ПЧ (Hz): Виведення значення, яке йде на ATV32.
4. Графік (Trend): Одночасне відображення Щільності та Частоти (допоможе побачити, як система реагує на зміни).
5. Статус ПЧ: "Готовий", "Робота", "Аварія" (зчитується зі Status Word).

					КНУ КРБ.174.26.07.00.ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Кнопки: "Авто/Ручний", "Старт/Стоп".

Захист ПЧ і двигунів

Теплові реле vs Запобіжники

Важливо розділити зони захисту:

- Вхід ПЧ (мережевий): Ставимо автоматичний вимикач або плавкі запобіжники (класу gG або aM). Вони захищають мережу та сам ПЧ від короткого замикання.

- Вихід ПЧ (до двигунів): Обов'язково теплові реле. Чому? ПЧ розрахований на 5,5 кВт, а ваші двигуни по 1,85 кВт. Якщо один двигун заклинить, він почне споживати надструм, але для ПЧ 5,5 кВт це буде «нормальним» навантаженням. Він не «побачить» біди і двигун згорить. Тому після ПЧ на кожен двигун ставимо індивідуальне теплове реле.

- Для захисту двигунів візьмемо два реле Schneider LRD07 (діапазон 1.6–2.5 А) — вони ідеально підійдуть під наші 1.85 кВт.

Кабельна продукція.

1. Схема розпіновки кабелю RJ45 для Ethernet (Modbus TCP)

Для надійного зв'язку в умовах високих електромагнітних завад збагачувальної фабрики (поруч із потужними вібродвигунами грохоту 4.5 кВт) використовується стандартна чотирипарна схема розпіновки TIA/EIA-568B.

Обидва пристрої (NOC0401 та ATV320) мають стандартні порти RJ45 та підтримують автоматичне визначення типу кабелю (Auto-MDIX), тому для їх з'єднання через комутатор або напряму використовується прямий кабель (Straight-Through).

Металевий екран роз'єму RJ45 (Shield) з обох боків повинен бути надійно обтиснутий та заземлений через корпус порту ПЛК та ПЧ для захисту від наведень.

					КНУ КРБ.174.26.07.00.ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.3 – Розпіновка кабелю

Номер контакту RJ45	Колір жили (Стандарт T568B)	Сигнал Ethernet
Pin 1	Біло-помаранчевий	Тх+ (Передача +)
Pin 2	Помаранчевий	Тх- (Передача -)
Pin 3	Біло-зелений	Рх+ (Прийом +)
Pin 4	Синій	Не використовується (зарезервовано)
Pin 5	Біло-синій	Не використовується (зарезервовано)
Pin 6	Зелений	Рх- (Прийом -)
Pin 7	Біло-коричневий	Не використовується (зарезервовано)
Pin 8	Коричневий	Не використовується (зарезервовано)

2. Специфікація кабельної продукції для проекту

Для надійності роботи проекту закладемо у специфікацію професійні компоненти Schneider Electric. Вони мають підвищену стійкість до вібрацій, хімічного впливу пульпи та вологи.

Готові промислові патч-корди (Швидкий монтаж у шафі автоматики)

В нашому випадку контролер М340 та ПЧ ATV320 знаходяться в одній шафі, тому найкраще використовувати готові екрановані кабелі серії ConneXium:

- TCSECL1M3M1S2 — Промисловий екранований кабель Ethernet (STP), категорія 5е, довжина 1 метр (роз'єми RJ45 з обох боків).
- TCSECL1M3M3S2 — Аналогічний кабель, довжина 3 метри.

- TCSECL1M3M5S2 — Аналогічний кабель, довжина 5 метрів.
- Роз'єми: Промислові роз'єми RJ45 швидкого монтажу (без інструменту) типу TCSEK1M1FI (Schneider Electric). Вони мають міцний металевий корпус та забезпечують ідеальний контакт екрана на 360 градусів.

					КНУ КРБ.174.26.07.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

ВИСНОВКИ

- Надійність зв'язку: Використання модуля BMXNOC0401 з підтримкою *I/O Scanning* дозволяє відмовитися від складного комунікаційного коду. Обмін даними виконується на апаратному рівні, що гарантує час відгуку системи до 10 мс. Це критично для миттєвої зупинки 10-декового грохоту при тепловому перевантаженні.
- Економічна вигода автоматизації форсунок: Автоматичне розпізнавання забивання сіток за рахунок аналізу математичної моделі \ ((Q, \text{щільність})) дозволяє вмикати промивну воду лише тоді, коли це дійсно необхідно. Це економить до 30-40% чистої технологічної води на фабриці та запобігає тривалим простоям грохоту Metso UltraFine через повне ручне очищення зацементованих сіток.
- Захист двигунів (Плавний пуск S-рампи): Інтеграція алгоритму розгону дозволяє уникнути пускових струмів (які у 6-7 разів перевищують номінальний струм при прямому пуску). Це знижує навантаження на трансформаторні підстанції фабрики та продовжує термін служби дорогої підшипникової групи віброприводів у 2.5 рази.
- Враховуючи, що продуктивність 100-800 м³/год - це величезний діапазон (1:8). Тому, при 100 м³/год у трубі DN250–300 (яка потрібна для 800 м³/год) швидкість потоку впаде нижче 0.5 м/с. Пульпа почне осідати, труба замулиться, а датчик щільності почне брехати. Тому датчик щільності ставиться виключно на вертикальній ділянці (потік знизу вгору). Тільки так при малих витратах ми отримаємо заповнений переріз труби та адекватні покази.
- Для захисту двигунів візьмемо два реле Schneider LRD07 (діапазон 1.6–2.5 А) — вони ідеально підійдуть під наші 1.85 кВт.
- Регулювання сили удару вібродвигунів здійснюється, в більшості своїй, тільки

					КНУ КРБ.174.26.07.00.ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ВИСНОВКИї			
Розроб.		Порутенко А.Ю						
Перевір.		Савийцький О.І.						
Н. Контр.		Маринич І.А.						
Затверд.		Маринич І.А.			КНУ АКІТР-23ск			
					Літ.	Арк.	Аркушів	
						60	2	

– частотою (40–55 Гц). Якщо цього діапазону недостатньо для процесу — доведеться один раз механічно виставити ексцентрики на двигунах на середнє положення, а далі – змінювати частоту обертів двигуні

					КНУ КРБ.174.26.07.00.ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ПАП "ЦГЗК". Реконструкція технологічної лінії по виробництву концентрата для окатишів DRI. Схема автоматизації. Лист 1.
2. Олійник Т.А., Невзоров В.В. Тонке грохочення як спосіб вирішення технологічних питань при виробництві високоякісних залізрудних концентратів. Вісник Криворізького національного університету. 2023. Вип. 57. С. 80-88.
3. Інструкція з експлуатації і технічному обслуговуванню грохоту STACK SIZER. Derrick Corporation. 2016. С 117. Корпорація Деррік. Каталог. 2025, 20 лютого. URL: <https://derrick.com/>
4. Екрани серії™ Metso UltraFine. URL: *Екрани серії UFS - Metso*
5. Білецький В. С., Олійник Т. А., Смирнов В. О., Скляр Л. В. Основи техніки та технології збагачення корисних копалин. Київ : Ліра-К, 2020, 278 с.
6. Bondarenko. A. Modeling of interaction of inclined surfaces of a hydraulic classifier with a flow of solid particles. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 2018, № 4, P. 13–20.
7. Громадський А.С., Горбачов Ю.Г., Ліфенцов О.С. Машини підготовчих процесів переробки руд. Навч. посіб. для студ. вищих і серед. спец. навч. закладів. Міністерство освіти і науки України. Кривий Ріг : Видавничий центр КТУ. 2010. 259 с.
8. Derrick Corporation. "Fine Screening Solutions" - Офіційна технічна документація. URL: https://derrick.com/wp-content/uploads/2016/10/Derrick-Fine-Screening-Solutions_LR.pdf
9. Zhongbang Heavy Machinery Co. "Linear Vibrating Screen – Double

					КНУ КРБ.174.26.07.00.ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Порутенко А.Ю			СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	Літ.	Арк.
Перевір.		Савицький О. І.					Аркушів
							62
							4
Н. Контр.		Маринич І.А.				КНУ АКІТР-23ск	
Затвердив		Маринич І.А.					

motor synchronous reverse operation" - Технічний опис принципів роботи лінійних вібраційних грохотів.

10. Martin Engineering. "Vibratory Motors Technical Specifications" - Технічна документація з характеристик вібраційних двигунів.
11. Савицький О.І., Чубаров В.А. Система автоматичного управління процесом дешламації в умовах функціонування АСУ ТП // Збірник наукових праць Вісник Криворізького технічного університету. Кривий Ріг. 2004.-№4. С.82-84.
12. Патент № 106274 С2 В07В 1/40 (2006.01) В07В 1/46 (2006.01)
Вібраційний грохот / В. П. Франчук, В. О. Федосін, В. Ф. Куниця. № 201212439; заяв. 30.10.2012; опубл. 10.02.2014, Бюл. № 3.
13. Смирнов В. О., Білецький В. С. Проектування збагачувальних фабрик: навчальний посібник. Донецьк: Східний видавничий дім. 2002. С. 296.
14. Drive Optimization Guide Entry-ID: 60593549, V2.1, 05/2019
15. Siemens Drive Optimization Guide (PDF) <https://publikacje.siemens-info.com/pdf/677/Drive%20optimalization%20guide.pdf>
16. Sinamics G120_G120C URL:
<https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:77730a6e-3ad4-4067-a8ea-f7e0d3541a97/version:1586551251/sinamcis-g120-g120c--2b-options-webinar-31-03-2020.pdf>
17. Siemens. Digital Industries Software. 2025, 22 січень. URL:
<https://www.sw.siemens.com/en-US/digital-transformation/sony-head-mounted-display-vr/>
18. Products / Berthold Technologies, 2018. URL:
<https://www.berthold.com/en/pc/products> дата звернення: 19.02.2026).
19. Папушин Ю. Л., Білецький В. С. Основи автоматизації гірничого виробництва (курс лекцій). Донецьк: Східний видавничий дім, 2007, С.168
20. Моркун Н. В., Маринич І. А. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавру для студентів спеціальності 151

					КНУ КРБ.174.26.07.00.ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

“Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”. Кривий Ріг :
Видавничий центр КНУ, 2019. 50 с.

- 21.ДСТУ 3008:2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. Київ, ДП «УкрННЦ», 2015. 26с. (Інформація та документація).
22. ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні вимоги та правила складання Київ, ДП «УкрННЦ», 2016. 16 с. (Інформація та документація).
23. ДСТУ 3582:2013. Бібліографічний опис. Скорочення слів і словосполучень в українській мові. Загальні вимоги та правила. Київ, ДП «УкрННЦ», 2013. 23 с. (Інформація та документація).
- 24.ДСТУ 3651.0-97 Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць. Основні положення, назви та позначення. Київ, Держстандарт України, 1998. 27с. (Інформація та документація).
- 25.Щільномір пульпи DENCELL® -вимірник щільності 4-го та 5-го покоління. URL: <https://www.dencell.com.ua/uk/dencell-history> (дата звернення: 30.04.2026)
- 26.Осадчук Ю.Г., Пересунько І.І., Ткаченко,Г.І.,Федотов В.О., Кальмус Д.О. Системи керування електроприводами. За ред. СінчукаО.М.Warsaw, Poland/162с.
- 27.Metso UltraFine Series™ screens.
URL:<https://www.metso.com/portfolio/ufs-series/>
- 28.Metso ultra-fine screening technology delivers the highest levels of performance, reliability, and maintainability in a compact and cost-effective unit. URL: <https://www.metso.com/globalassets/leaflet-ufs-series-screen-02-24-en-cns.pdf>
- 29.Краснопрошина А.А., Репнікова Н.Б., ІльченкоА.А. Сучасний аналіз систем управління із застосуванням Simulink,Control Sistem. Навчальний посібник. К. «Корнійчук»,1999.144с.

					КНУ КРБ.174.26.07.00.ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

30. Романенко В.Д., Ігнатенко Б.В. Адаптивне керування технологічними процесами на базі Мікро ЕОМ. К. Вища школа.1999. 334с.

31.Коріолісові витратоміри SITRANS FC URL: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:d174ef00-5eba-4635-9f93-70c718e90639/fi01-fc-ua.pdf>

					КНУ КРБ.174.26.07.00.ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

