

Міністерство освіти і науки України  
Західноукраїнський національний університет  
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій  
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

ЄРЕМЕНКО Віталій Олексійович

**СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО РЕГУЛЮВАННЯ  
ЗАВАНТАЖЕННЯ ДРОБАРКИ У КОМБІКОРМОВОМУ ЦЕХУ / THE  
AUTOMATED ADJUSTMENT SYSTEM OF THE LOADING OF THE  
CRUSHER IN THE COMPOUND FEED SHOP**

спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані  
технології

Випускна кваліфікаційна робота  
здобувача першого (бакалаврського) рівня освіти

Виконала: студент групи АКІТ-41  
Єременко В.О.

---

Науковий керівник:  
д.т.н., професор Возна Н.Я.

---

Випускну кваліфікаційну роботу  
допущено до захисту:  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р.

Завідувач кафедри СКС  
\_\_\_\_\_ А. І. Сегін

Тернопіль 2023

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИГОТУВАННЯ КОМБІКОРМІВ.....	11
1.1 Аналіз технічних характеристик малогабаритних комбікормових установок.....	11
1.2 Аналіз технологічної схеми.....	20
1.3 Формулювання завдань.....	22
2 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	24
2.1 Аналіз стану автоматизації об'єкта управління.....	24
2.2 Вибір обладнання, визначення регульованих і контрольованих параметрів.....	25
2.3 Вибір технічних засобів системи автоматизації.....	27
2.4 Вибір електродвигунів.....	32
3 РОЗРОБЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ ДРОБАРКИ У КОМБІКОРМОВОМУ ЦЕХУ.....	34
3.1 Формування функціональної та структурної схем системи автоматизації.....	34
3.2 Розрахунок параметрів електродвигуна.....	37
3.3 Визначення стійкості САР.....	40
3.4 Побудова частотних характеристик системи.....	42
3.5 Оцінка якості перехідного процесу.....	46
3.6 Коректування якості роботи САР.....	48
4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	52

					ДП.АКІТ.8894467.00.00.000 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Єременко В.О.</i>			Система автоматизованого регулювання завантаження дробарки у комбікормовому цеху / The automated adjustment system of the loading of the crusher in the compound feed shop	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Возна Н.Я.</i>				5		
<i>Консульт.</i>		<i>Сапожник Г.В.</i>				ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Заставний О.М.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Сегін А.І.</i>						

4.1 Аналіз стану охорони праці при виробництві комбікормів.....	52
4.2 Вибухова безпека при виробництві комбікорму.....	53
4.3 Забезпечення екологічної безпеки праці при виробництві комбікормів..	54
ВИСНОВКИ.....	55
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	56
ДОДАТКИ.....	59

					ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		6

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

БВД - білково-вітамінні добавки;

ДАУ - дистанційне автоматичне управління;

ДСП – державна система приладів;

МКУ - малогабаритна комбікормова установка;

САР – система автоматизованого регулювання;

ЧХ - частотна характеристика;

АЧХ - амплітудно-частотна характеристика;

ФЧХ - фазо-частотна характеристика;

АФЧХ – амплітудно-фазо-частотна характеристика;

ЛАЧХ - логарифмічна амплітудно-частотна характеристика;

ЛФЧХ - логарифмічна фазо-частотна характеристика;

БЛАЧХ - бажана ЛАЧХ.

					ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

## ВСТУП

**Актуальність теми.** У тваринництві, найефективнішим є застосування харчової бази у вигляді комбікормів, які збалансовані протеїном, амінокислотами, мікроелементами та вітамінами. Використання комбікормів дозволяє підвищити повноцінність годівлі тварин, значно підвищити їх продуктивність і забезпечити ефективніше використання кормів. Як результат, оптимальне задоволення потреб тварин у життєво важливих елементах харчування призводить до підвищення їх продуктивності у порівнянні з використанням звичайних сумішей зернових.

Комбікормовий цех є важливим елементом тваринницької галузі і забезпечує виробництво якісного комбікорму для тварин. Однак, проблемою є регулювання завантаження дробарки у ручному режимі, яке може перевантажувати чи недостатньо завантажувати, що негативно впливає на якість комбікорму [1-3].

Закупівля господарствами комбікормів на спеціалізованих міжгосподарських підприємствах обходиться набагато дорожче. Крім того додаткові кошти потрібні на навантажувально-розвантажувальні роботи та транспортування. Тому виготовлення комбікормів на власній кормовій базі дає можливість знизити собівартість продукції, заготувати комбікорм в достатніх кількостях та у будь-який час. Для вирішення таких завдань необхідне просте і надійне в експлуатації обладнання.

Сьогодні невеликі комбікормові заводи, які виробляють 10-20 тонн на добу, довели свою мотивацію [1-3]. Практика показала, що для виробництва комбікормів сільськогосподарські підприємства використовують власну зернову продукцію та інші місцеві кормові ресурси, а також сторонні білково-вітамінні добавки (БВД), мінеральні збагачувачі та премікси промислового виробництва, що має значні переваги. Порівняння з традиційним виробництвом великих державних підприємств.

Покращення якості комбікормів і розширення асортименту можливі внаслідок технічного переозброєння підприємств, застосування нових технологій, машин і устаткування, засобів автоматизації й обчислювальної техніки. Це дає

					ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

змогу удосконалювати організацію комбікормових цехів і установок, їхньої технічної оснащеності. Технічна база підприємств удосконалюється, освоюються нові технологічні лінії, керовані не тільки за допомогою звичайних засобів автоматики, але і за допомогою ЕОМ [4-9]. Як результат скорочуються витрати праці і покращується якість виготовленої продукції.

**Мета роботи.** Мета даної роботи полягає в розробці системи автоматизованого регулювання завантаження дробарки у комбікормовому цеху, що дозволить знизити ризик перевантаження або недостатнього завантаження дробарки, забезпечити якісний комбікорм і підвищити ефективність роботи комбікормового цеху. Для досягнення даної мети необхідно вирішити такі завдання:

- аналіз технології приготування комбікормів;
- обґрунтування технічних засобів автоматизації;
- побудова математичних моделей системи автоматизованого регулювання завантаження дробарки у комбікормовому цеху.

**Об'єкт дослідження.** Малогабаритні комбікормові установки.

**Предмет дослідження.** Підсистема автоматизованого регулювання завантаження дробарки у складі малогабаритної комбікормової установки УМК-Ф-2.

**Практичне значення одержаних результатів.** Система автоматизованого регулювання (САР) дозволить оптимізувати завантаження дробарки зернових компонентів, зменшити ймовірність виникнення завалу ротора дробарки (відповідно, аварійних режимів приводного двигуна, аварійних зупинок обладнання) тим самим збільшивши продуктивність комбікормового комплексу, зменшити питомі витрати праці. При впровадженні даної розробки, за рахунок оптимізації роботи дробарки покращиться якість комбікорму. Управляти процесами за допомогою сучасного устаткування зможуть оператори, що володіють питаннями технології, знанням властивостей сировини, що забезпечують оптимальне завантаження устаткування.

**Напрямки подальшого розвитку.** Результати моєї роботи можуть бути корисними для комбікормових цехів, які бажають покращити якість комбікорму

					ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

та підвищити ефективність своєї роботи. Мій дипломний проект буде корисним інженерам та фахівцям у галузі тваринництва.

**Публікації.** Єременко В.О. Розроблення структурно-функціональної схеми автоматизації технологічного процесу завантаження дробарки / В.О. Єременко, В.Б.Макогін, А.В.Войцешко. - Збірник матеріалів проблемно-наукової міжгалузевої конференції "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" (АКІТ - 2023). - Тернопіль, 2023. –С.12-15.

					ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		10

# 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИГОТУВАННЯ КОМБІКОРМІВ

## 1.1 Аналіз технічних характеристик малогабаритних комбікормових установок

Сучасною концепцією розвитку сільського господарства на Україні є тенденція виробництва сільськогосподарської продукції на малих фермах, підсобних, сімейних та інших господарствах, що дає можливість значно знизити собівартість продукції, одержувати комбікорм необхідного складу, у необхідній кількості й у будь-який час.

Технологія приготування комбікормів включає вагове дозування сухої та рідкої сировини, подрібнення суміші, змішування інгредієнтів, маршрутно-формулярне управління та інші процеси [1-3]. Завдання маршруту – транспортувати потрібний вид сировини до відповідної потужності лінії дозування. У кожному маршруті можливий лише один із кількох матеріальних шляхів. В автоматичному режимі операційна програма контролера відкриває маршрут за заданим рецептом процесу.

Лінія дозування складається з дозатора інгредієнтів суміші, ваги для зважування інгредієнтів і змішувача. Контрольні засоби включають лінії дозування, включаючи системи зважування, дозатори сухих компонентів, подачі рідких компонентів і змішувачі. Інгредієнти в автоматичному режимі вносяться за заданою рецептурою.

Загалом, при виробництві комбікормів дотримуються наступної послідовності операцій (рисунок 1.1).

Для дрібних фермерів агропромислового комплексу для збільшення виробництва комбікормів, підвищення якості та різноманітності комбікормів, використання місцевої сировинної бази необхідно створення малих міжгосподарських і фермерських господарств. Для цього потрібні порівняно невеликі, надійні, зручні в експлуатації та відносно недорогі подрібнювально-дозуючо-змішувальні агрегати та пристрої, що дозволяють готувати високоякісний комбікорм із місцевої сировини та широкого асортименту

					ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		



покупних добавок.



Рисунок 1.1 - Порядок операцій на виробництві комбікормів

У зв'язку з цим промисловістю багатьох країн випускається досить широкий спектр малогабаритних комбікормових установок, як серійних, так і експериментальних [1, 3, 10, 11], основні з яких представлені в таблиці 1.1.

Як видно з таблиці 1.1, в Україні досить добре освоєно виробництво малогабаритних комбікормових агрегатів. Проаналізуємо роботу деяких з них, а також найбільш відомих агрегатів закордонного виробництва.

Таблиця 1.1 - Характеристики малогабаритних комбікормових установок.

Устаткування	Загальні показники				
	Країна – виробник	Продуктивність, т/год	Встановлена потужність, кВт	Маса, кг	Число обслуг. перс.
Серійні МКУ					
УМК-Ф-2	Україна	3 - 5	20,0	3800	1
АКМ-1	Україна	1,0 – 1,1	25,0	2200	1
АКН-1М	Україна	1,0	17,2	1 500	2
АWF-4	Німеччина	0,15 - 0,2	3,0	70	1
БМКА–1–01	Україна	0,6–0,8	13,2	650	1
"Ніагара"	Україна	1,4	27,1	1 080	1
Мишко ("Супрол")	Польща	0,6	-	-	1
ІБМЕР	Польща	0,8	-	-	1
Рако	Німеччина	1,5	-	-	1
МХ–170 («Гейл»)	США	40 л/с	-	-	1
Експериментальні МКУ					
Elger	Угорщина	3	44,5	-	1
Buhler-MIAG	Швейцарія – Німеччина	7	-	-	-
Компакт	Україна	4			1
ККУ-1(2,3)	Литва	0,9	7,5	750	1
ККУ-2	Литва	1,3	15	1000	1
ККУ-3	Литва	1,8	18,5	3000	1
RVOF12	Німеччина	0.5	7.5	-	1
RVM332	Німеччина	0.64	10	-	1
RVM442	Німеччина	0.8	12.5	-	1

Однією з найпоширеніших малих установок є установка УМК-Ф-2 [5, 10, 11]. Вона складається з перевантажувального бункера з п'яти компонентів, з'єднаних в один основний корпус, шнекового живильника, дробильного змішувача з кільцевим ситом, нижнього шнекового змішувача та автоматичної системи керування. Комбікормова установка використовується на фермах, тваринницьких фермах і комплексах для приготування розсипних комбікормів з використанням власної сировини (зернових комбікормів, гранульованого трав'яного борошна) і БВД промислового виробництва. Установка забезпечує приймання сировини з автотранспорту (або складів), накопичення її експлуатаційного запасу, безперебійне об'ємне дозування, подрібнення заповнювачів і змішування компонентів у змішувачах, транспортування готової продукції до резервуарів-накопичувачів.

										ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата							13

Технологічна схема виготовлення комбікормів за допомогою установки УМК-Ф-2 приведена на рисунку 1.2, де ЗС - зернова сировина; ТМ - гранульована трав'яна мука; БВД - білково-вітамінні добавки; К - готовий комбікорм; АС - аспіраційна система; 1 - наддозаторні бункери; 2 - рейкова засувка; 3 - розподільчий гвинтовий конвеєр; 4 - магнітна колонка; 5 - сепаратор; 6 - норія; 7 - вентилятор; 8 - циклон; 9 - бункер зберігання БВД; 10 - бункер готової продукції [11].

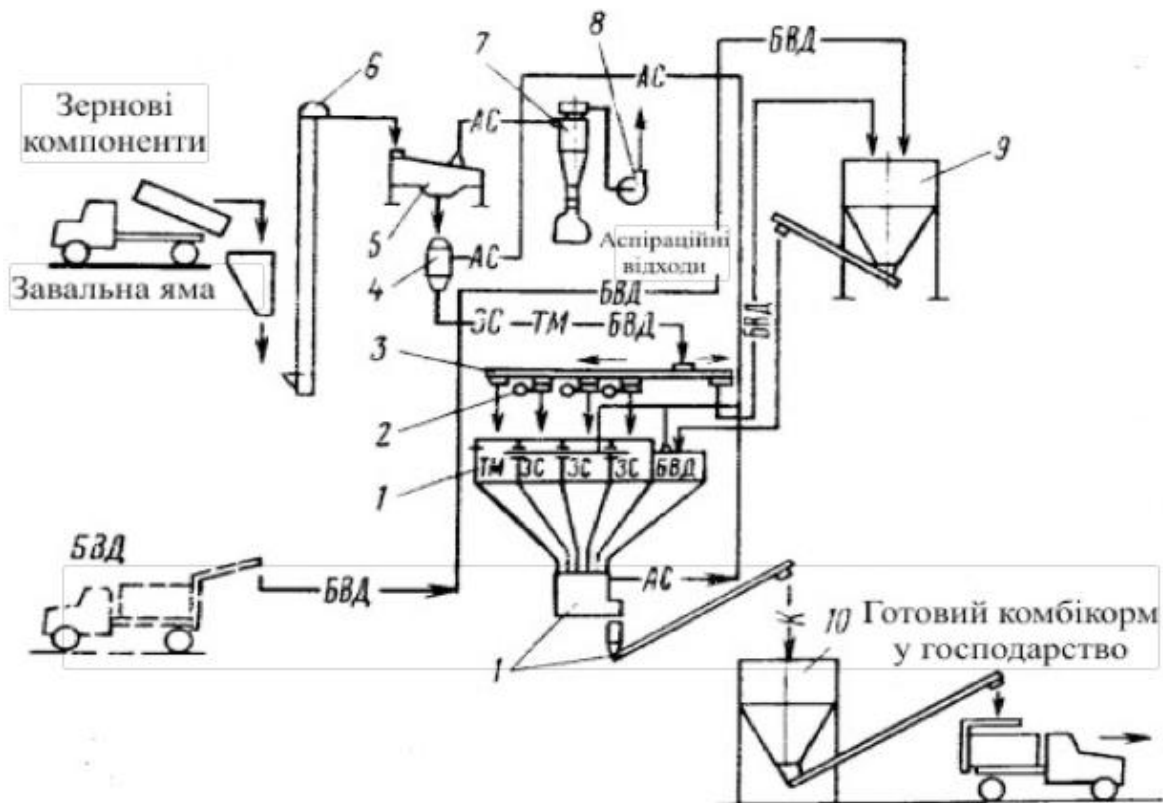


Рисунок 1.2 - Технологічна схема виробництва комбікормів на агрегаті УМК-Ф-2

Сировина завантажується в бункер-накопичувач, звідки безперервно (після витрати) подається в п'ять секцій надлишкового бункера-дозатора 1. Найбільш об'ємний інгредієнт рецепта відправляється в частину 2, а інгредієнти, які не підлягають подрібненню, направляються в робочі ділянки № 1 і № 5 відповідно. З бункера-дозатора компоненти через розподільник подаються в камеру дроблення. Після того, як подрібнений продукт просіюється грохотом, він направляється в бункер подачі готової продукції за допомогою вертикальних і горизонтальних шнеків. Під час подрібнення та транспортування інгредієнти

					ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		14

змішуються. Якщо в рецептурі є інгредієнти, які не потребують подрібнення, то, як було сказано вище, вони направляються по камері подрібнення до горизонтального шнека за допомогою обертового стрижня. У цьому випадку змішування відбувається під час транспортування розширення вертикального шнека. При використанні агрегату як змішувача сито витягується з дробильної камери

Поряд традиційною комплектацією, яка включає молоткову дробарку, до складу агрегату УМК-Ф-2 також може входити нова ударно-відцентрова дробарка ДЗУ-Ф-2, яка складається з корпусу, розгінного ротора, ударного ротора, розділювальної камери, електродвигунів (рисунок 1.3).

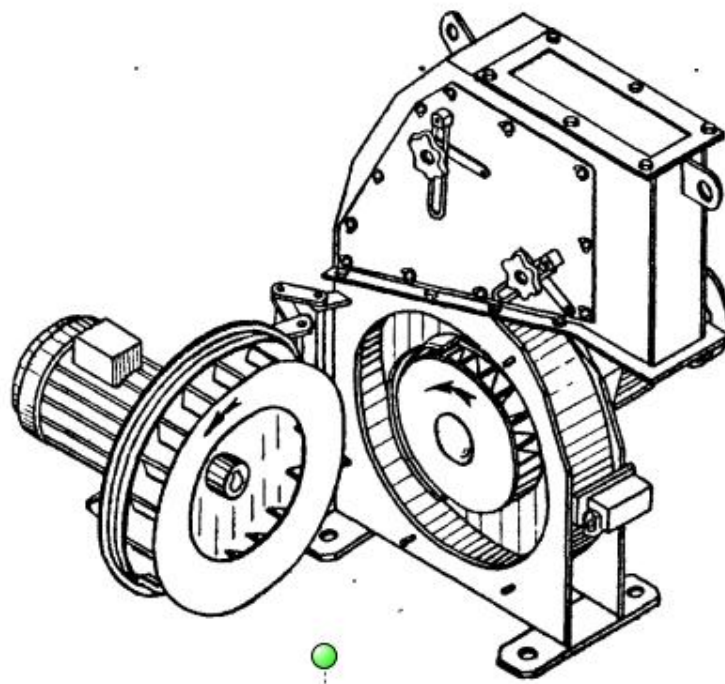


Рисунок 1.3 - Дробарка зерна ДЗУ-Ф-2

Корпус являє собою жорстку конструкцію, де монтуються основні вузли дробарки. Ротори виконані у вигляді радіальних вентиляторів з об'ємними лопатками трикутної (пластинчастої) форми і встановлені на валах електродвигунів.

Для обслуговування дробильної камери передня стінка виконана у вигляді кришки, що відчиняється, на якій закріплений електродвигун з ударним ротором.

Сепараційна камера призначена для поділу дроблених часток за розміром і направлення більшості частинок на додаткове подрібнення. У порожнині за

					ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		15

допомогою грохотів, вертушки і перегородок утворюються три канали: канал готової продукції, канал розвантаження і зворотний канал.

За допомогою розподільника шматочки зерна потрапляють в камеру дроблення, особливо в прискорювальний ротор, захоплюються лопатями і під дією відцентрової сили направляються на ударний ротор, що обертається в протилежному напрямку. Знищується внаслідок попадання зерна на листя. Подрібнені частинки надходять у сепараційну камеру, де відбувається їх сепарація: дрібні частинки - через продуктопровод і вихідний патрубок надходять в лінію змішування агрегату УМК-Ф-2, які потребують додаткового подрібнення - повертаються в камеру дроблення через зворотний канал. Регулюється шорсткість виробу, змінюючи положення обертової пластини та перегородки.

У корпусі дробарки є перекидні заслінки, за допомогою яких вихідні компоненти, що не потребують подрібнення, можуть направлятися від дозатора установки на лінію змішування, минаючи камеру подрібнення.

Переваги дробарки ДЗУ-Ф-2:

- використана нова технологія подрібнення зерна (без застосування решіт, молотків та дек), яка забезпечує високу надійність машини;
- відсутні місця змащування і окремих передач за рахунок установки роторів безпосередньо на валу електродвигунів;
- відсутність змінних робочих органів і вільний доступ до них полегшують роботу оператора при експлуатації дробарки;
- можливість безступінчастого (простого) регулювання якості подрібнення без зупинки технологічного процесу;
- низькі матеріало- та енергоємність;
- знижено шум і запиленість, що значно поліпшило умови експлуатації;
- можливість відокремленого застосування дробарки в зерноскладах і на фермах при комплектації її завантажувальними та вивантажувальними засобами, шафою керування.

Технічні характеристики дробарки ДЗУ-Ф-2

Продуктивність по зерну ячменю вологістю 12-14 % (при залишку на ситі з

					ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

отворами діаметром 3 мм - не більше 5 %), т:

за 1 год. основного часу 1,6-2,4

за 1 год. експлуатаційного часу 1,47-2,15

Середній розмір часток, мм 0,8-2

Номінальна потужність встановленого електроустаткування, кВт 11,5

Номінальна частота обертання ротора, хв-1:

розгінного 2880 ударного 2895

Габаритні розміри, мм:

довжина 1500

ширина 1000 висота 1100 Маса, кг, 220

Таким чином, на основі аналізу конструкції малогабаритного комбікормового агрегату УМК-Ф-2 [11], можна зробити такі висновки:

1) молоткова дробарка установки УМК-Ф-2 має такі недоліки:

- високу питому енергоємність;

- нерівномірність гранулометричного складу отриманого продукту і

підвищений вміст пилових часток;

- інтенсивний знос робочих органів;

- певні труднощі в технічному обслуговуванні.

2) заміна молоткової дробарки УМК-Ф-2 на ударно-відцентрову ДЗУ-Ф-2 дозволяє знизити енергоємність процесу подрібнення зерна, зменшити кількість пилових часток, підвищити надійність роботи конструкції та збільшити період між технічним обслуговуванням.

3) відсутність сталого повітряного потоку в дробарці ДЗУ-Ф-2 призводить до недостатньо якісного розділення на фракції подрібненого зерна.

Для приготування комбікормів за спрощеними конструктивними рішеннями розроблені установки на основі молоткових дробарок [15]. Їх використання дозволяє істотно знизити метало- та енергоємність процесу, а також витрати на транспортування, а отже, вартість самого комбікорму та продукції тваринництва, отриманої з їх використанням. До таких установок належать, зокрема, УМК-Ф-2 (рисунок 1.4) і АКМ-1, SKIOLD (Данія), MIX MILL (США) і DLOUNT (Німеччина), а також малий АWF-4 (рисунок 1.5)) Українсько-німецьке

					ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		17

підприємство «Авіла-Факел» та ін. У більшості випадків таке обладнання призначене для переробки власного зерна і використання покупних мінеральних, білкових і вітамінних добавок.

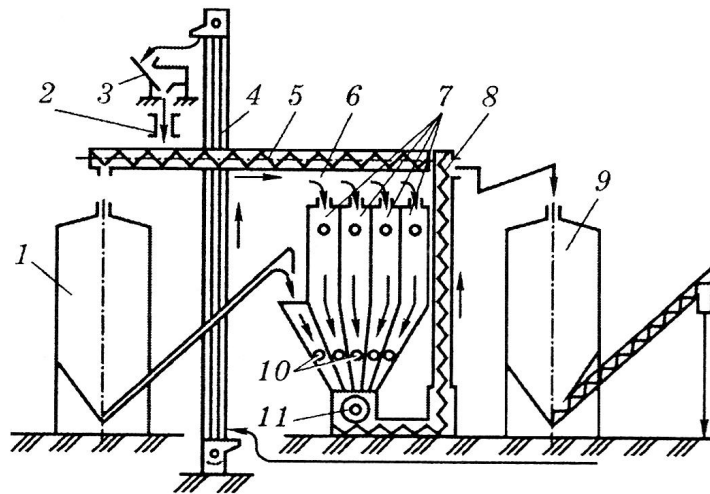


Рисунок 1.4 - Схема комбікормового агрегату УМК-Ф-2:

1 – бункер для зерна; 2, 6 – горловини; 3 – уловлювач феромагнітних домішок; 4 – норія; 5 – розподільний шнек; 7 – бункери вихідних компонентів; 8 – конвеєр; 9 – бункер готової продукції; 10 – дозатори; 11 – дробарка

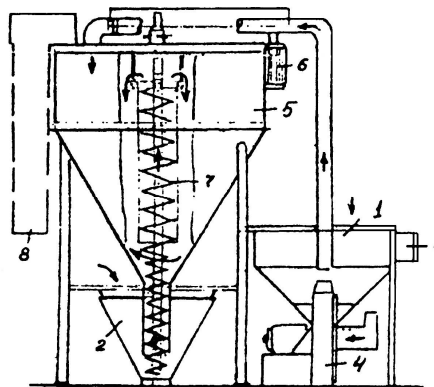


Рисунок 1.5 - Конструктивно-функціональна схема агрегату АWF-4:

1, 2 – бункери відповідно для зернових компонентів і подрібнених добавок; 3 – пульт керування; 4 – молоткова дробарка; 5 – змішувач; 6 – електричний привод; 7 – вертикальний шнек; 8 – фільтрувальний пристрій

Ці відносно прості (порівняно з комплектами обладнання промислових комбікормових підприємств) комбікормові апарати мають конструктивно-функціональні характеристики, технологічну організацію (безперервної та

						ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата			18



періодичної дії), рівень механізації допоміжних операцій (завантаження сировини, розлив готової продукції тощо). ) і техніко-економічні показники.

Тому найпростіший існуючий агрегат АВФ-4, завдяки наявності змішувача періодичної дії, забезпечує хорошу якість змішування та можливість додавання преміксів у готовий комбікорм. Проте низька продуктивність і низький рівень механізації зумовлюють високу трудомісткість процесу. Через очевидний дефіцит трудових ресурсів в умовах невеликих господарств (тобто для таких господарств агрегати проектуються за продуктивністю) цей дефіцит значно звужує перспективи їх використання..

Агрегат подрібнювально-змішувальний УМК-Ф-2, MIX MILL, призначений для завантаження різних сортів зерна, а також концентрованих добавок в багатосекційний бункер, обладнаний шнековими розподільниками. Остання одночасно подає вихідні компоненти в робочу камеру молоткової дробарки, де вони одночасно подрібнюються і змішуються. Однак відсутність змішувача періодичної дії ускладнює можливість приготування комбікормів цільними раціонами, до складу яких входить премікс, що вводиться малими дозами.

Із закордонних представників необхідно відзначити компанію SKIOLD (рисунок 1.6), яка для транспортування компонентів комбікорму використовує пневматичні потоки, котрі створюються дробаркою, та гнучкі гвинтові шнеки, що дозволяє суттєво спростити прокладку маршруту.

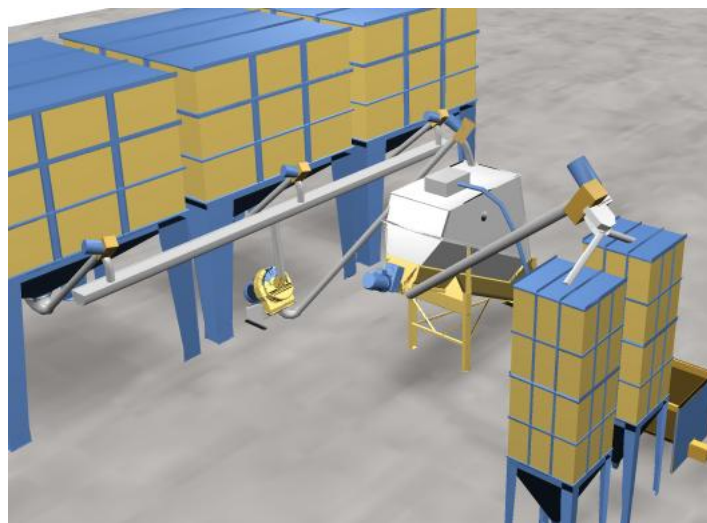


Рисунок 1.6 – Комплект обладнання компанії SKIOLD для господарств продуктивністю 2 т/год:

					ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		19



На рисунку 1.6: 1 – бункери вхідних компонентів; 2 – об’ємні дозатори; 3 – гнучкий шнек 4 – дробарка; 5 – змішувач; 6 – вивантажувач; 7 – бункери готової продукції.

## 1.2 Аналіз технологічної схеми

Для подальшого вивчення зупинимося на установці вітчизняного виробництва УМК-Ф-2 (рисунок 1.7), яка призначена для збагачення корисних копалин шляхом введення промислових БВД, домішок і преміксів. У комплект входять дозатори для сухих інгредієнтів, дозатор-змішувач, дробарка, живильник, панель управління, дозатор-бункер преміксів і змішувач, встановлений на виході з розвантажувального шнека дробарки.

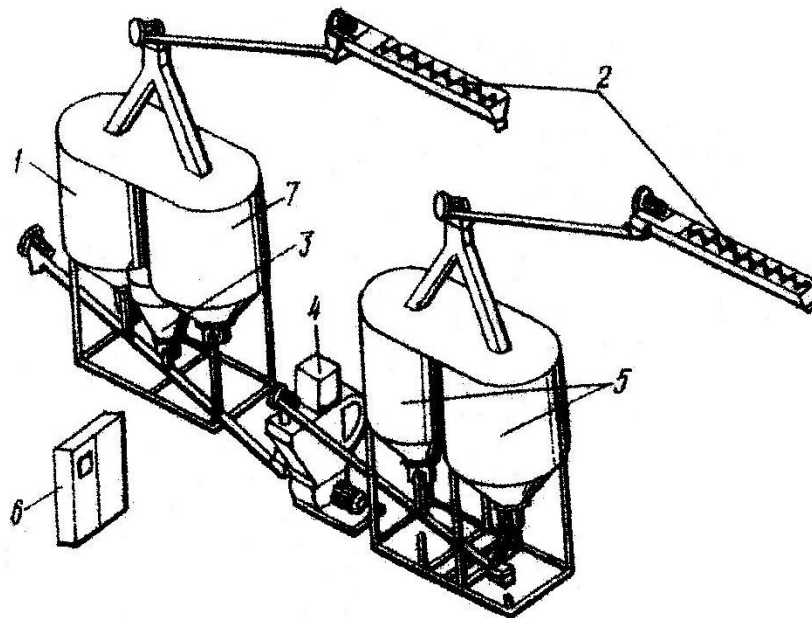


Рисунок 1.7 - Основні блоки УМК-Ф-2:

1 - бункер-дозатор преміксів і змішувач, 2 - живильник, 3 - змішувач-дозатор, 4 - дробарка, 5 - блок дозування, 6 - пульт керування.

Технологічний процес даної малогабаритної комбікормової установки (МКУ) полягає в наступному. Зернові компоненти заданого рецепта завантажуються одним із живильників у блок дозування. Після заповнення бункера живильник відключається по сигналу датчика верхнього рівня. Одночасно іншим живильником у блоки дозування подаються БВД. У змішувач-

						ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата			20

дозатор вручну в потрібному співвідношенні засипають компоненти збагачувальної добавки, а в бункер-дозатор – премікс. Всі дозатори встановлюють на потрібну норму видачі. Зерно подрібнюється в дробарці ДБ-5-1. Змішування здрібнених зернових компонентів, БВД, трав'яної муки, преміксів і збагачувальних добавок відбувається у вивантажувальному шнеку дробарки і змішувача. Готовий комбікорм вивантажується у транспортний засіб або у накопичувальний бункер готової продукції.

Враховуючи перелічені ознаки вказаного комбікормового агрегату, приймаємо його як базовий для лінії, що проектується. Технічна характеристика агрегату УМК-Ф-2 приведена в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Технічна характеристика агрегату УМК-Ф-2

Параметри	Показники
Продуктивність, т/год	2-5
Число вихідних компонентів:	
зернових	2
збагачувальних	4
Ємність бункерів, м <sup>3</sup> :	
зернових	6
БВД	6
преміксів	0,4
збагачуючих добавок	0,4
Встановлена потужність ,кВт	46,2
Маса, кг	4500
Обслуговуючий персонал, чол.	1

Як і для великих промислових комбікормових підприємств, технологічні процеси на базі МКУ також пройшли певні етапи автоматизації: від автоматичного контролю окремих параметрів до автоматизованих систем на рівні комп'ютерного управління [12, 13].

Таким чином, використання засобів обчислювальної техніки в цих системах дозволило виконувати в автоматичному режимі наступні функції [12, 13]:

- оперативне керування і контроль технологічного процесу відповідно до

					ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

оптимальної програми, у тому числі операцій по підготовці сировини, дозуванню і змішуванню;

- оперативне керування транспортно-технологічними маршрутами по оптимальних схемах;

- оптимальна подача продукції до ємностей для збереження і реалізації із запам'ятовуванням місць і часу зберігання і видачі;

- безупинний автоматичний контроль роботи технологічного і транспортного устаткування, реєстрація причин аварійних зупинок і тривалості простоїв;

- оперативний облік і реєстрація всієї сировини і готової продукції по видах, якості і терміном надходження, а також облік передачі сировини.

Однак функціонування таких установок здійснюється, в основному, у так званому режимі радника, що вимагає безпосередньої участі оператора в процесі формування і реалізації керуючих впливів. Крім цього, даний клас установок не передбачає контроль цілого ряду параметрів, таких як: вологість і засміченість вихідних компонентів, ступінь однорідності і рівень зараженості готового комбікорму. При незадовільних останніх двох показниках, до складу комбікормової лінії необхідно додатково включати блоки змішування і знезаражування.

Отже проведений аналіз показав, що, якщо автоматизація технологічних процесів на державних комбікормових підприємствах знаходиться на достатньому рівні, що забезпечує одержання якісної продукції, то існуючі лінії, побудовані на базі МКУ, вимагають, з урахуванням умов їхнього функціонування, удосконалення як складу технологічних блоків, так і розширення функцій автоматичних систем управління.

### 1.3 Формулювання завдань

Як об'єкт електрифікації та автоматизації комбікормовий цех є складним об'єктом, в якому є велика кількість технологічного та енергетичного обладнання, а також різного роду допоміжного обладнання, зв'язок між якими ускладнений.

					ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		22

Складність процесу переробки сировини та виробництва комбікормів забезпечує більш високі умови для оперативності управління технологічними процесами та управління роботою обладнання. Тому необхідна автоматизація основного технологічного процесу для зниження собівартості готової продукції, зниження енергоємності окремої технологічної операції, скорочення часу простою технологічного обладнання та підвищення якості готової продукції. стабільна технологія виробництва.

Для цього необхідно забезпечити автоматизацію наступних технічних процесів:

- у бункерах для прийому товарів, що надходять, передбачити датчики контролю верхнього і нижнього рівнів;
- для повного завантаження електродвигуна дробарки передбачити ре-гулювання частоти обертання дозуючого шнека;
- у пристрої регулювання подачі зерна в дробарку передбачити поворотний клапан, приведення в дію якого буде здійснюватися від електродвигуна через електромагнітну муфту (при відключенні електроенергії або в аварійному режимі така конструкція дозволяє клапану під власною вагою закрити вхід зерна у дробарку).

За результатами аналізу стану технічного та електрообладнання автоматизації цеху було вирішено автоматизувати процес завантаження дробарки з метою підвищення надійності електрообладнання, продуктивності праці, якості комбікормів та зниження витрати виробництва.

					ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

## 2 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

### 2.1 Аналіз стану автоматизації об'єкта управління

Як правило, автоматизовані системи мають тривірневу структуру (рисунок 2.1). Нижній рівень містить датчики збору даних і механізми контролю. Другий рівень складається з ПЛК з модулями зважування і модулями розширення вводу/виводу, панелі оператора для ручного вибору рецепта, частотного контролера і кінцевого двигуна для керування редуктором дозатора. Третій рівень – станція управління, на якій відображається інформація про АРМ оператора з встановленими системами візуалізації SCADA zenon [12, 13].

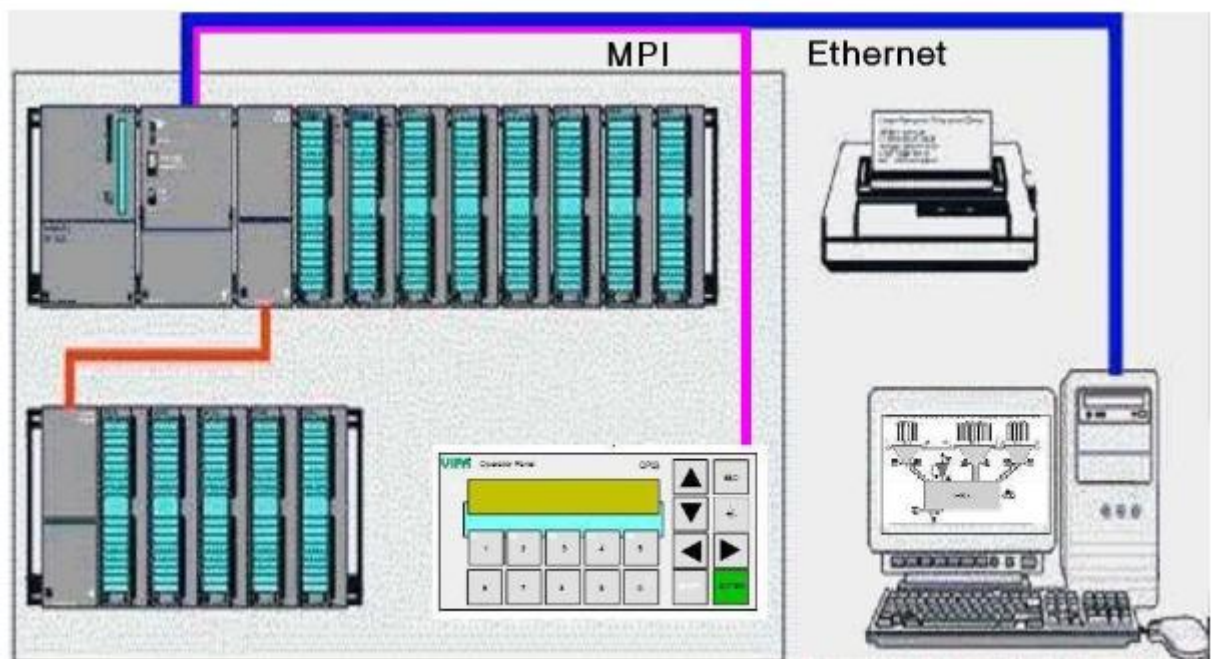


Рисунок 2.1 – Узагальнена структура системи автоматизації

Комбікормова установка УМК-Ф-2 повністю електрифікована. Крім того, в ручному режимі управління здійснюється тільки коромислом дробарки і змінюється положення фіксатора шнекового розподільника вузла.

В управлінні технічним процесом повинні брати участь окремі оператори. Процес регулювання подачі сировини в дробарку залежить від сили струму двигуна, що впливає на точність додавання компонентів в камеру дробарки. Точність дозування можна підвищити, встановивши регулятор швидкості дозатора, тобто тахогенератор на двигун дозатора.

					ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		24

Подальше розширення та ускладнення виробництва комбікормів призвело до створення рівневих систем дистанційного автоматичного управління (ДАУ). У цьому випадку централізоване дистанційне керування виробництвом здійснюється через загальний пульт. У системі ДАУ управлінські рішення в основному приймає оператор (диспетчер). Однак, у зв'язку з інтенсивною роботою операторів, значною інформаційною складністю ППК, можливістю прийняття суб'єктивних помилкових рішень у цих системах (в основному через перевантаження або недбалість диспетчерів), це часто призводить до неоптимальних режимів роботи обладнання, затримки реакції на сигнали вимірювальних датчиків, неправильний вибір маршрутів руху вихідних компонентів і готової продукції, також не запобігає тривалій роботі обладнання на холостому ходу.

## 2.2 Вибір обладнання, визначення регульованих і контрольованих параметрів

У дипломному проекті розробляється система автоматизації установки УМК-Ф-2 з використанням типового технічного обладнання. Цех призначений для виробництва комбікормів у господарстві з використанням власної сировини та імпортованих БВД виробництва промисловості.

До складу комбікормового цеху входять такі споруди:

- завальна яма з пандусом для прийому сировини із самоскидного автотранспорту;
- виробничий корпус, у якому змонтовані бункери компонентів, малогабаритний комбікормовий агрегат, пульт керування й аспіраційна мережа;
- бункер ємністю 10 м<sup>3</sup> для накопичування і тимчасового збереження БВД;
- бункер для накопичування, тимчасового збереження і вивантаження в автотранспорт готового комбікорму;
- навіс над завальною ямою і бункерами.

До комплексу агрегату УМК-Ф-2 входять наступне обладнання (таблиця 2.1).

					ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 2.1 - Комплект обладнання УМК-Ф-2

Найменування	Кількість
Бункер БСК – 6	3
Бункер БСК – 0,4	2
Комбінований дозатор ДК-10	5
Дробарка ДБ-5-1	1
Живильник кормів ПК-6А	2
Пульт керування	1

Параметри технологічного процесу вимірюються вимірювальними перетворювачами (ВП), частина сигналів яких передається локальним регуляторам (ЛР), що впливають на процес через виконавчі механізми ВМ. Сигнали параметрів, які потрібно контролювати постійно, надходять до групи індикаторних реєструючих приладів РП1. Інші сигнали подаються на комутатор К, керування яким здійснюється або програмним пристроєм ПР, що підключає по черзі через задані інтервали часу до індикаторного приладу РП2 сигнали визначених ВП, або оператором з пульта управління (ПУ) (рисунк 2.2).

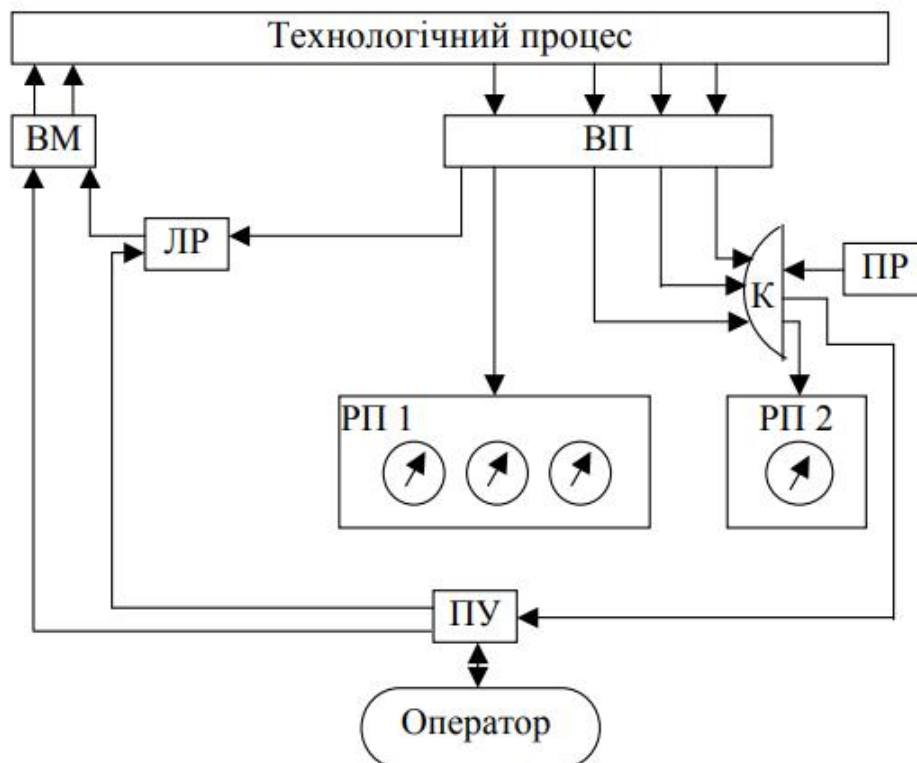


Рисунок 2.2. – Структурно-функціональна схема системи

При роботі системи у режимі збору та обробки інформації, параметри процесу вимірюються ВП, перетворюються в цифрову форму спеціальними засобами сполучення і вводяться до ЕОМ. Після обробки в ЕОМ оперативна інформація про хід процесу надходить на засоби відображення, статична інформація, друкується у виді звіту, а дані, що використовуються в подальших розрахунках, фіксуються на машинних носіях. Керуючі команди при цьому формує оператор і реалізує їх через засоби керування виконавчими механізмами.

Для розроблення функціональної схема автоматизації визначаємо місця установки первинних перетворювачів, приводних та виконавчих механізмів, тощо. Дані про регульовані і контрольовані параметри системи автоматизації:

1. Контроль: положення засувки, рівня, швидкості, струму, витрати сировини;
2. Регулювання: вмикання і вимикання за допомогою магнітного пускача.

### 2.3 Вибір технічних засобів системи автоматизації

При виборі засобів автоматизації техніки обов'язково дотримуватися Державної системи приладів (ДСП), щоб можна було сформувати необхідні структури і забезпечити самостійну заміну окремих вузлів [1-3, 10, 11].

Для системи автоматичного керування, яка проектується, обираємо наступні засоби.

Реле часу – електромеханічне РВ-2Н (рисунок 2.3):

- номінальна напруга 220В;
- номінальний струм 5 А;
- витримка часу від 2 до 250 с;
- кількість програм 2.

Реле часу РВ-2Н призначене для автоматичного включення і відключення виконавчих пристроїв (системи поливу, освітлення і т.д.) в задані користувачем моменти астрономічного (реального) часу. Реле часу має тижневий цикл роботи. Користувач може встановити до 16 міток (вмикання або вимикання) на кожен день тижня.

					ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		27





Рисунок 2.3 – Реле часу PB-2H

Давач положення – шляховий вимикач BZ-2RQ18A2 (рисунок 2.4):

- номінальна напруга 220 В;
- номінальний струм 10 А;
- кількість полюсів 2;
- вид привода – штовхач р роликом;
- спосіб кріплення – базове;
- ступинь захисту – IP67;
- контакти – 1 розмикаючий, 1 замикаючий;
- сила спрацювання 2,6 Н.



Рисунок 2.4 – Шляховий вимикач BZ-2RQ18A2

					ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		28

Виконання робочого елемента: 33- боковий важіль, поворотний, регульований по довжині з малим металевим роликом.

Вимикачі шляхові - комутуючі пристрої, головне призначення яких - контроль, обмеження, блокування, а також контроль і зміна напрямку переміщення механізму.

Давач рівня – сигналізатор рівня зерна та комбікорму СУ-1Ф:

- чутливий елемент – прапорець;
- номінальна напруга 220 В;
- номінальний струм 5 А
- вихідний сигнал – контакт 1 розмикаючий, 1 замикаючий.

Сигналізатор рівня СУ - 1Ф прапорцевий (важільний) (рисунок 2.5) призначений для контролю заповнення зерном і продуктами його переробки виробничих ємностей, силосних сховищ і зернопереробних машин. Сигналізатор рівня зерна СУ - 1Ф (інше найменування датчик зерна СУ - 1Ф) може застосовуватися на елеваторах, млинових комбінатах і комбікормових заводах.



Рисунок 2.5 – Сигналізатор рівня СУ - 1Ф

При засипці (відсипанні) зерно продуктів прапорець, встановлений в ємності, повертається і впливає на мікроперемикач, який замикає й розмикає електричні ланцюги сигналізації при досягненні заданого рівня.

Виконавчий механізм приводу перекидних засувок – МЕО-250 (рисунок 2.6):

- момент на валу 40 Нм;

					ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		29

- час повного ходу 10 с;
- повній хід вала 0,25 обертів;
- споживана потужність 40 В·А;
- маса 26 кг.



Рисунок 2.6 - Виконавчий механізм МЕО-250

Механізм МЕО 250 являє собою електричний виконавчий механізм, який має крутний момент на валу 250Нм і з даними зусиллям пересуває органи регулювання, такі як шибера, засувки, вентилі, затвори, клапана, із заданою швидкістю і на певний градус повороту відповідно до сигналом, прийнятим від регулюючих пристроїв. Наприклад механізм МЕО-250/25-0,25 має крутний момент на валу 250Нм, робота вихідного валу на повному ході 25 секунд і коефіцієнт обороту вихідного валу рівний 0,25 (тобто 90°). МЕО 250 відноситься до групи МЕО-250 і використовується в системах АСУТП в різних сферах

Давач швидкості – тахогенератор ТС-1МУХЛ4 (рисунок 2.7):

- виконання закрите вмонтоване;
- крутизна статичної характеристики 0,03В·об/хв;
- навантажувальний опір не менше 2кОм.



Рисунок 2.7 - Тахогенератор постійного струму ТС-1МУХЛ4

					ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		30

Тахогенератор постійного струму ТС-1МУХЛ4 призначений для комплектації електродвигунів, що працюють у широко регульованих електроприводах постійного струму та з іншими машинами.

Давач струму – трансформатор струму Т-0,66 (рисунок 2.8):

- номінальна напруга 0,66 кВ;
- номінальний клас точності 3;
- номінальний струм первинної обмотки 30 А;
- номінальний струм вторинної обмотки 1 А;
- номінальне вторинне навантаження при  $\cos \varphi_2 = 0,8$  10 А;



Рисунок 2.8 - Трансформатор струму Т-0,66

Трансформатори серії Т-0,66; ТШ-0,66 застосовуються для передачі інформаційного сигналу приладів обліку, вимірювання, автоматики, сигналізації та керування в електричних ланцюгах змінного струму частотою 50 Гц (60 Гц).

Для контролю та управління положенням засувки використовується програмований логічний контролер (ПЛК) Siemens SIMATIC S7 1200 (рисунок 2.9), з функцією реєстрації та сигналізації; входи Profibus, RS-485; виходи Profibus, що розміщується на щиті керування [1-3].

У S7-1200 використовується 3 моделі центральних процесорів, що відрізняються продуктивністю, обсягами вбудованої пам'яті, кількістю і видом

					ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

вбудованих входів/виходів та іншими показниками. Кожна модель має три модифікації:

- з напругою живлення = 24 В, дискретними входами = 24 В і дискретними виходами = 24 В / 0.5А на основі транзисторних ключів;

- з напругою живлення = 24 В, дискретними входами = 24 В і дискретними виходами з замикаючими контактами реле і здатністю навантаження до 2 А на контакт;

- з напругою живлення ~ 115/230 В, дискретними входами = 24 В і дискретними виходами з замикаючими контактами реле і здатністю навантаження до 2 А на контакт.



Рисунок 2.9 - ПЛК Siemens SIMATIC S7 1200

Сигнальні модулі SM (модулі розширення) Siemens SIMATIC S7 1200 дозволяють адаптувати контролер до вимог розв'язуваної задачі. Вони дозволяють збільшувати кількість входів і виходів, з якими працює центральний процесор, доповнювати систему введення-виведення дискретними і аналоговими каналами з необхідними параметрами вхідних і вихідних сигналів.

#### 2.4 Вибір електродвигунів

У комбінованому пристрої подачі, виготовленому на заводі, гвинтовий розподільник спільно приводиться в дію двигуном постійного струму [10]. З метою зниження витрат на монтаж і підвищення надійності роботи агрегату в рамках автоматизації монтажу ми використовуємо приводи від усіх чотирьох розподільників одного АД. Передача крутного моменту здійснюється через

					ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		32

храповий механізм приводу. Електроприводи інших агрегатів, які ми будемо встановлювати, залишаються такими ж, базовими. Надійність ЕД у значній мірі залежить від того, наскільки його конструкція та виконання забезпечують стійкість до впливу зовнішніх кліматичних факторів середовища. При виборі ЕД за умовами захисту від впливу кліматичних факторів зовнішнього середовища необхідно враховувати категорію приміщення та місце встановлення технічного обладнання з електроприводами.

Ми приймаємо кліматичне виконання ЕД і категорію розташування УПУЗ, а також виконання відповідно до класу захисту IP54.

Обираємо по серії, номінальній напрузі, частоті мережі живлення, частоті обертання, так як ці дані вказані в технічній характеристиці комбінованого фідера. Електродні інжектори перевіряються на перевантаження, пуск і мінімальний крутний момент відповідно до режиму роботи, оскільки в дипломних програмах використовуються серійні пристрої, що працюють в номінальному режимі.

Паспортні дані двигунів, які використовуються в установках УМК-Ф-2, наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Вибір електродвигунів

Місце установки	Тип електродвигуна	Кільк.	$P_H$ , кВт	$n_H$ , об/хв	$I_H$ , А	$k_i$	$\eta_H$	$\cos \varphi_H$
Завантажувальний шнек	АИР90L6УПУЗ	1	1,5	925	4,2	6,0	0,76	0,72
Похилий шнек	АИР80В6УПУЗ	1	1,1	920	3,05	6,0	0,74	0,74
Дробарка	АИР180М2УПУЗ	1	30,0	2925	55,5	7,5	0,91	0,9
Змішувач	АИР80В6УПУЗ	1	1,1	920	3,05	4,5	0,74	0,74
Дозатор	АИР71А4УПУЗ	4	0,55	1360	1,69	5,0	0,7	0,7

## 3 РОЗРОБЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ ДРОБАРКИ У КОМБІКОРМОВОМУ ЦЕХУ

### 3.1 Формування функціональної та структурної схем системи автоматизації

На основі аналізу технологічного процесу виготовлювання комбікормів та обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації, представимо їх у вигляді передавальних функцій (таблиця 3.1) [1-3, 17, 21].

Таблиця 3.1 – Специфікація технічних засобів автоматизації.

№ з/п	Найменування	К-ть	Вид типової елементарної ланки	Передатна функція
1	Підсилювач	1	Безінерційна	$W_1(P) = K_1$
2	Регулятор	1	Інтегруюча	$W_2(P) = \frac{K_2}{T_2 P}$
3	Виконавчий механізм	1	Аперіодична ланка 1 порядку	$W_3(P) = K_3 \left( 1 + \frac{1}{T_3 P} \right)$
4	Об'єкт керування	1	Коливальна	$W_4(P) = \frac{K_4}{T_{4.1}^2 P^2 + 2\xi T_{4.2} P + 1}$
5	Трансформатор струму	1	Інтегруюча	$W_5(P) = \frac{K_5}{T_5 P}$

Функціональна схема системи - це графічне зображення, що відображає функціональну структуру системи, тобто послідовність функцій, які виконуються системою для досягнення певної мети. Функціональна схема системи дозволяє визначити залежності між різними вузлами системи [14-21].

У цій роботі як принцип управління був обраний принцип управління за відхиленням. Стабілізація фізичної величини з використанням даного принципу полягає у формуванні відхилення величини, що регулюється, з подальшою його компенсацією. Для реалізації принципу управління за відхиленням використовується зворотний зв'язок - лінія зв'язку, що передає інформацію з виходу певного пристрою або системи.

Графічне представлення функціональної схеми САР, побудованої за принципом управління за відхиленням, представлено на рисунку 3.1.

					ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		



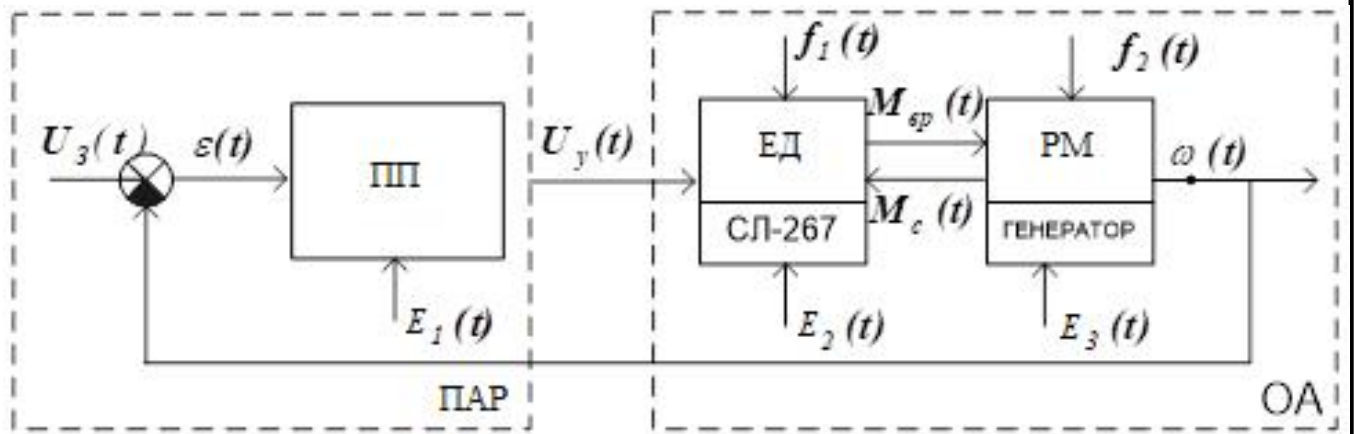


Рисунок 3.1 – Функціональна схема САР

На рисунку 3.1 прийняті наступні позначення:

ОА - об'єкт автоматизації;

ПАР - пристрій автоматичного регулювання;

ПП - підсилювач потужності;

РМ - робочий механізм;

ЕД - електродвигун;  $U_y(t)$  - напруга керування;

$U_3(t)$  – заданий вплив;

$\varepsilon(t)$  - відхилення;

$M_{кр}(t)$  - крутний момент двигуна на РМ;

$M_c(t)$  - момент опору; (t) - впливи;  $E_i(t)$  - енергія.

Структурна схема - це графічне зображення операторного рівняння, що описує процес перетворення сигналів. Структурні схеми відбивають інформаційно-перетворювальну особливість системи в лінійному наближенні [14-21].

Керуючись функціональною схемою, представленою на рисунку 3.1, побудуємо структурну схему САР (рисунку 3.2), із зазначенням передавальних функцій елементів, що входять до неї, і процесів, що відбуваються в системі.

Визначимо передавальні функції елементів, що входять до досліджуваної системи управління.

Передавальна функція підсилювача потужності:

$$W_{\text{вм}}(s) = \frac{U_{\text{вм}}(s)}{U_3(s)} = k_{\text{вм}} = 1$$



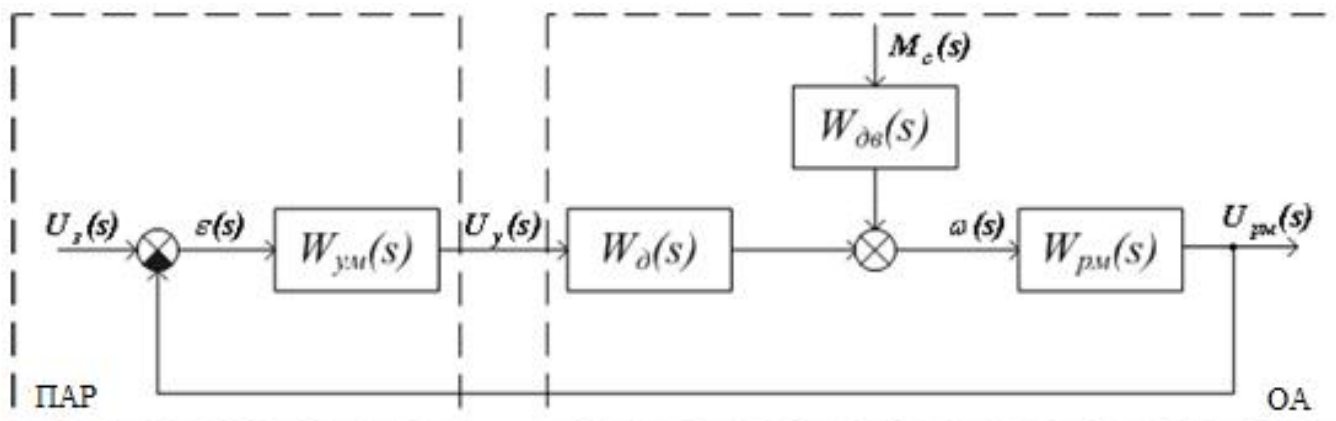


Рисунок 3.2 - Структурна схема САР

Передавальна функція двигуна по задаючому і збурювальному впливу:

$$W_{Д}^U(s) = \frac{\omega(s)}{U_3(s)} = \frac{k_{Д}}{T_{ЭМ}s + 1} = \frac{4,25}{1,28s + 1};$$

$$W_{Д}^f(s) = \frac{\omega(s)}{M_{H}(s)} = \frac{k_{ДВ}}{T_{ЭМ}s + 1} = \frac{921}{1,28s + 1}.$$

Передавальна функція робочого механізму:

$$W_{РМ}(s) = \frac{U_{РМ}(s)}{\omega(s)} = \frac{k_{РМ}}{T_{РМ}s + 1} = \frac{1}{0,5s + 1}.$$

Отримаємо передавальні функції розімкнутої та замкнутої системи з керуючим та збурювальним впливами.

Передавальні функції САС за впливом і збуренням:

- передавальна функція розімкнутої системи:

$$W^U(s) = \frac{U_{РМ}(s)}{U_3(s)} = W_{УМ}(s) \cdot W_{Д}(s) \cdot W_{РМ}(s) = \frac{k_{УМ} \cdot k_{Д} \cdot k_{РМ}}{(T_{ЭМ}s + 1)(T_{РМ}s + 1)};$$

$$W^f(s) = \frac{U_{РМ}(s)}{M_c(s)} = W_{ДВ}(s) \cdot W_{РМ}(s) = \frac{k_{ДВ} \cdot k_{РМ}}{(T_{ЭМ}s + 1)(T_{РМ}s + 1)}; \quad (2.6)$$

- передавальна функція замкнутої системи за задаючим і збурюючим впливам:

$$\begin{aligned} \Phi^u(s) &= \frac{U_{РМ}(s)}{U_3(s)} = \frac{W_{УМ}(s) \cdot W_{Д}(s) \cdot W_{РМ}(s)}{1 + W_{УМ}(s) \cdot W_{Д}(s) \cdot W_{РМ}(s)} = \frac{4,25}{(1,28s + 1)(0,5s + 1) + 4,25} = \\ &= \frac{4,25}{0,64s^2 + 1,78s + 5,25}; \end{aligned}$$

					ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		36

$$\Phi^f(s) = \frac{U_{PM}(s)}{M_c(s)} = \frac{W_{DB}(s) \cdot W_{PM}(s)}{1 + W_{YM}(s) \cdot W_D(s) \cdot W_{PM}(s)} = \frac{921}{(1,28s + 1)(0,5s + 1) + 4,25} = \frac{921}{0,64s^2 + 1,78s + 5,25}$$

Отже, проведено математичний опис системи регулювання (САР). Отримана модель системи у вигляді передавальних функцій елементів. Сформовано функціональну та структурні схеми САР. Для кожного елемента структурної схеми та системи загалом визначені передавальні функції у загальному та кількісному вигляді.

Математична модель та отримані передавальні функції необхідні подальшого статичного і динамічного розрахунку системи управління.

### 3.2 Розрахунок параметрів електродвигуна

Визначимо потужність електродвигуна за заданими параметрами.

$$P_{д.треб.} = \frac{2 \cdot (M_{ст} / \eta + I_n \cdot \varepsilon_n) \cdot \Omega_{max}}{975 \cdot \eta},$$

де:  $M_{ст}$  - момент статичного навантаження,  $I_{ст} = 1100 \text{ Нм}$ ;

$I_n$  - момент інерції навантаження,  $I_n = 2400 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ;

$\varepsilon_n$  - максимальне прискорення,  $\varepsilon_n = 0,12 \text{ рад} / \text{с}^2$ ;

$\Omega_{max}$  - максимальна частота обертання,  $\Omega_{max} = 0,24 \text{ рад} / \text{с}$ ;

$\eta$  - ККД редуктора,  $\eta = 0,8$ ;

$$P_{д.треб.} = \frac{2 \cdot (M_{ст} / \eta + I_n \cdot \varepsilon_n) \cdot \Omega_{max}}{975 \cdot \eta} = 1,023 \text{ кВт}$$

Отже, визначимо технічні характеристики:

$P_д = 1,1 \text{ кВт}$ ;  $U_{ном} = 110 \text{ В}$ ;

$n_{ном} = 1500 \text{ об} / \text{мин}$ ;  $I = 13 \text{ А}$ ;

$R_a = 0,42 \text{ Ом}$ ;  $M_{ном} = 7,15 \text{ Нм}$ ;

$I_d = 408 \cdot 10^4 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ;

Виходячи з отриманих значень, знаходимо передатне відношення редуктора:

					ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$i_{\text{yy}} = \sqrt{\frac{I_{\text{ст}}/\eta + I_{\text{н}} \cdot n_{\text{max}}}{I_{\text{д}} \cdot n_{\text{max}}}},$$

$$i_{\text{ред}} = \sqrt{\frac{I_{\text{ст}}/\eta + I_{\text{н}} \cdot n_{\text{max}}}{I_{\text{д}} \cdot n_{\text{max}}}} = \sqrt{\frac{1100/0,8 + 2400 \cdot 0,12}{408 \cdot 10^{-4} \cdot 0,12}} = 582,81$$

Виконаємо перевірку двигуна на відповідність вимогам за швидкістю та моментом:

1. Визначимо номінальну кутову швидкість:

$$\Omega_{\text{ном}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{ном}}}{30},$$

$$\Omega_{\text{ном}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{ном}}}{30} = \frac{\pi \cdot 1500}{30} = 157,08 \text{ рад/с};$$

Визначимо частоту обертання:

$$\Omega_{\text{ред.}} = \Omega_{\text{max}} \cdot i_{\text{ред}}, \quad (4)$$

$$\Omega_{\text{ред.}} = \Omega_{\text{max}} \cdot i_{\text{ред}} = 0,24 \cdot 582,81 = 140 \text{ рад/с};$$

Оскільки  $\Omega_{\text{ном}} > \Omega_{\text{ред.}}$ , значить електродвигун за швидкістю обраний правильно.

2. Перевіримо обраний електродвигун на перевантаження. Для цього знайдемо значення необхідного моменту обертання і порівняємо з номінальним моментом електродвигуна:

$$M_{\text{треб.}} = \frac{I_{\text{ст}}}{i_{\text{ред}} \cdot \eta} + \left( \frac{I_{\text{н}}}{i_{\text{ред}}} + I_{\text{д}} \cdot i_{\text{ред}} \right) \cdot \varepsilon_{\text{н}},$$

$$M_{\text{треб.}} = 5,707 \text{ Нм};$$

$$\frac{M_{\text{треб.}}}{M_{\text{ном}}} \leq 2;$$

3. Розрахуємо наведений до осі момент статичного навантаження:

$$M_{\text{стат.}} = \frac{I_{\text{ст}}}{i_{\text{ред}} \cdot \eta},$$

$$M_{\text{стат.}} = \frac{I_{\text{ст}}}{i_{\text{ред}} \cdot \eta} = \frac{1100}{582,81 \cdot 0,8} = 2,36 \text{ Нм};$$

Оскільки  $M_{\text{стат.}} < M_{\text{ном}}$ , то двигун обраний правильно.

4. Знайдемо передавальну функцію двигуна.

Коефіцієнт протиЕРС при номінальних значеннях визначимо за формулою:

					ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$C_e = \frac{U_{\text{уном}} - I_{\text{я.ном}} \cdot R_{\text{я}}}{\Omega_{\text{д.ном}}},$$

$$C_e = \frac{U_{\text{уном}} - I_{\text{я.ном}} \cdot R_{\text{я}}}{\Omega_{\text{д.ном}}} = \frac{110 - 13 \cdot 0,42}{157,08} = 0,666 \text{ В} \cdot \text{с/рад}$$

Коефіцієнт моменту або струмова постійна:

$$C_M = \frac{M_{\text{вр.ном}}}{I_{\text{я.ном}}},$$

$$C_M = \frac{M_{\text{вр.ном}}}{I_{\text{я.ном}}} = \frac{7,15}{13} = 0,55 \text{ Н} \cdot \text{м/А};$$

Повний момент інерції навантаження, наведений до валу двигуна:

$$I = I_{\text{д}} + \frac{I_{\text{н}}}{q_{\text{опт}}^2},$$

$$I = I_{\text{д}} + \frac{I_{\text{н}}}{q_{\text{опт}}^2} = 408 \cdot 10^{-4} + \frac{2400}{582,81^2} = 480 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Механічна постійна часу:

$$T_M = \frac{I \cdot R_{\text{я}}}{C_e \cdot C_M},$$

$$T_M = \frac{I \cdot R_{\text{я}}}{C_e \cdot C_M} = 0,055 \text{ с};$$

Коефіцієнт передачі двигуна за швидкістю:

$$k_{\text{д}} = \frac{1}{C_e},$$

$$k_{\text{д}} = \frac{1}{C_e} = \frac{1}{0,666} = 1,503 \frac{\text{рад}}{\text{А} \cdot \text{с}};$$

Отже, передавальна функція двигуна:

$$K_{\text{д}}(p) = W_{\text{ид}}(p) = \frac{K_{\text{д}}}{p \cdot (1 + p \cdot T_M)},$$

$$K_{\text{д}}(p) = W_{\text{ид}}(p) = \frac{K_{\text{д}}}{p \cdot (1 + p \cdot T_M)} = \frac{1,5}{p \cdot (1 + p \cdot 0,055)};$$

					ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		39

### 3.3 Визначення стійкості САР

Під стійкістю розуміють здатність системи самостійно повертатися до попереднього стану після застосування впливу, який вивів її зі стану рівноваги [14-21].

Замкнута система через властивості, обумовлені наявністю зворотнього зв'язку, схильна до нестійкої роботи. У процесі регулювання сигнал із виходу передається на вхід групи ланок системи. Зовнішні впливи можуть привести систему до збуреного стану, що супроводжується коливаннями регульованої величини. Наявність головного зворотного зв'язку сприятиме підтримці коливального процесу і при високих коефіцієнтах посилення може привести до нестійкої роботи, що характеризується необмеженим зростанням амплітуди коливань. У стійких системах енергія коливань з часом зменшується, коливання згасають.

#### 3.3.1 Визначення стійкості за критерієм Гурвіца

Алгебраїчні критерії стійкості дозволяють встановити, стійка система чи ні, за результатами алгебраїчних дій над коефіцієнтами характеристичного рівняння. Умови, що визначають від'ємні значення кореня, і будуть критеріями стійкості. Характеристичне рівняння для замкнутої системи - це знаменник передавальної функції:

$$p \cdot (1 + p \cdot 0,055) \cdot (0,09 \cdot p + 1) \cdot (0,105 \cdot p + 1) + 6,44 = 0$$

Перетворивши рівняння отримаємо:

$$0,00051975p^4 + 0,020175p^3 + 0,25p^2 + p + 6,44 = 0;$$

Для стійкості необхідно, щоб визначники другого та третього порядку були позитивними.:

$$\Delta_2 := \begin{pmatrix} 0,020175 & 1 \\ 0,00051975 & 0,25 \end{pmatrix} \quad |\Delta_2| = 4,524 \times 10^{-3}$$

$$\Delta_4 := \begin{pmatrix} 0,020175 & 1 & 0 \\ 0,00051975 & 0,25 & 6,44 \\ 0 & 0,020175 & 1 \end{pmatrix} \quad |\Delta_4| = 1,903 \times 10^{-3}$$

					ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Отже, система є стійкою, оскільки коефіцієнти характеристичного рівняння та визначники другого та третього порядку позитивні.

### 3.3.2 Визначення стійкості за критерієм Михайлова

Критерій Михайлова дає можливість судити про стійкість системи за годографом, що описується кінцем характеристичного вектора замкнутої системи, за амплітудно-частотною характеристикою (рисунок 3.3) [14-21].

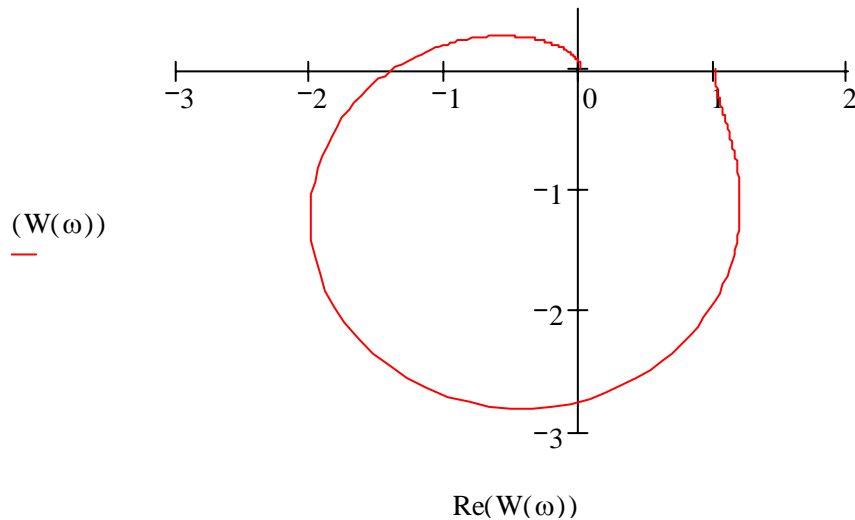


Рисунок 3.3 - АФЧХ замкнутої САР

Система автоматичного управління є стійкою, оскільки функція Михайлова починається на додатній осі і огинає проти годинникової стрілки початок координат проходячи чотири квадранти.

### 3.3.3 Визначення стійкості за критерієм Найквіста

Критерій Найквіста базується на використанні частотних характеристик, дозволяє судити про стійкість замкнутої системи автоматичного регулювання за її амплітудно-фазовою характеристикою в розімкнутому стані. АФЧХ розімкнутої системи не повинно охоплювати точку з координатою  $(-1; j0)$  (рисунок 3.4) [14-21].

З використанням критерію Найквіста можна визначити стійкість щодо ЛАЧХ та ЛФЧХ.

					ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		41

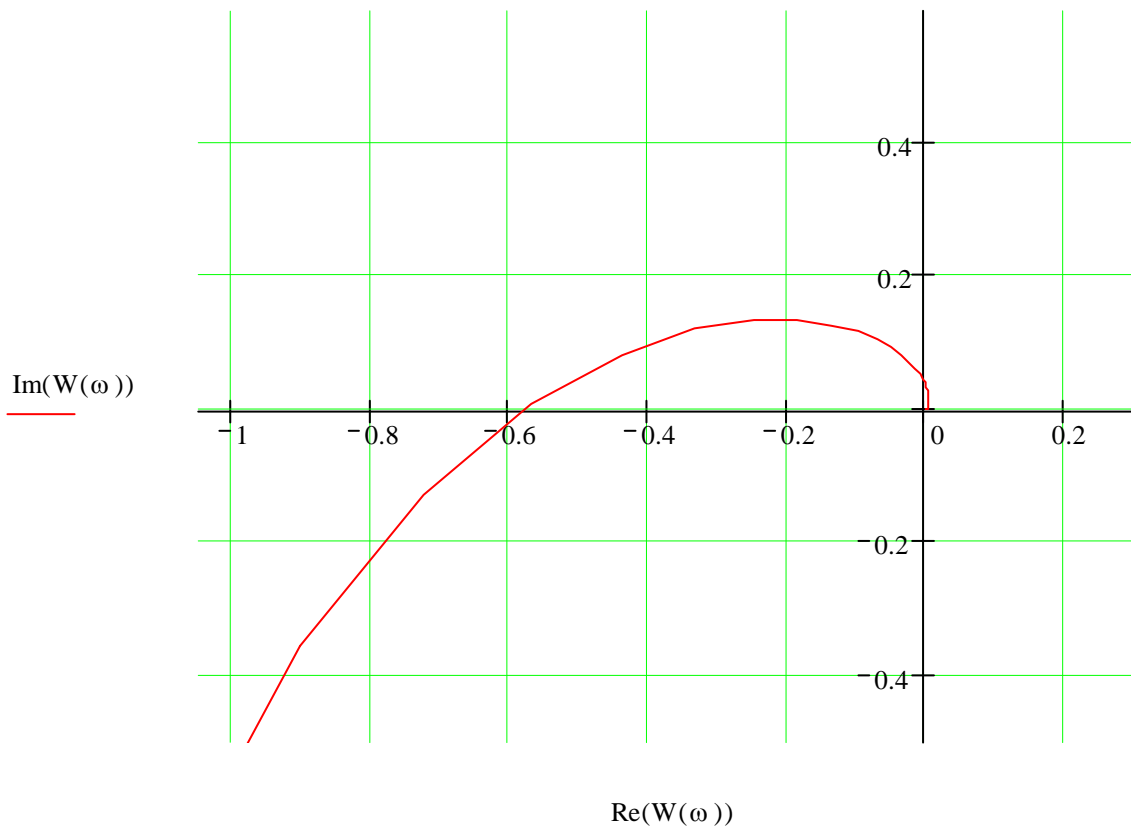


Рисунок 3.4 - ЛФЧХ розімкнутої САР

Дана система є стійкою, оскільки на частоті, для якої логарифмічна фазочастотна характеристика перетинає вісь, ординати логарифмічної амплітудно-частотної характеристики мають від'ємне значення.

### 3.4 Побудова частотних характеристик системи

#### 3.4.1 Побудова АФЧХ розімкнутої системи

Частотна передавальна функція є комплексним числом, що є вектором на комплексній площині, у якого довжина дорівнює модулю цього числа, а кут нахилу до дійсної осі - його аргументу. Тоді амплітудно-фазо-частотна характеристика буде траєкторією руху цього вектора при різних значеннях частоти (рисунок 3.5) [14-21].

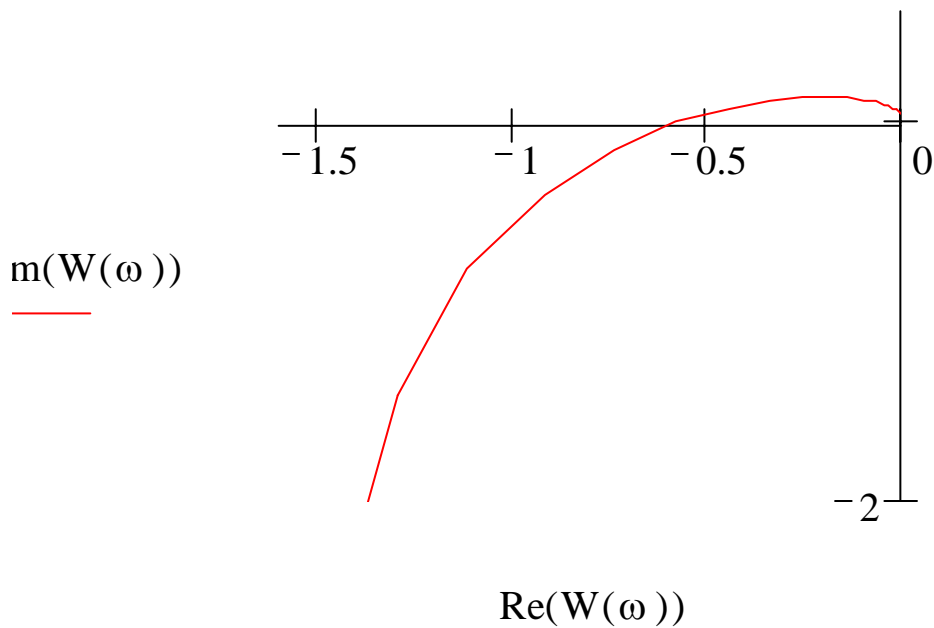


Рисунок 3.5 - АФЧХ розімкнутої САР

### 3.4.2 Побудова АЧХ системи автоматичного управління

Амплітудно-частотна характеристика (рисунок 3.7) - це залежність модуля комплексного числа (передавальної функції) від частоти. Модуль для розімкнутої та замкнутої систем знаходяться наступним чином:

$$A(\omega) = \sqrt{\text{Re}(\omega)^2 + \text{Im}(\omega)^2} ;$$

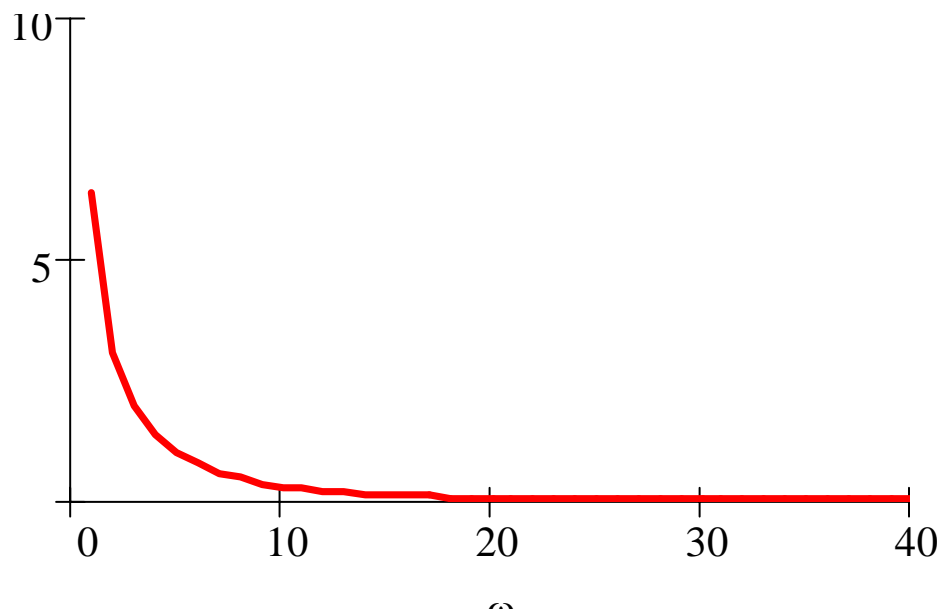


Рисунок 3.6 - АЧХ розімкнутої САР



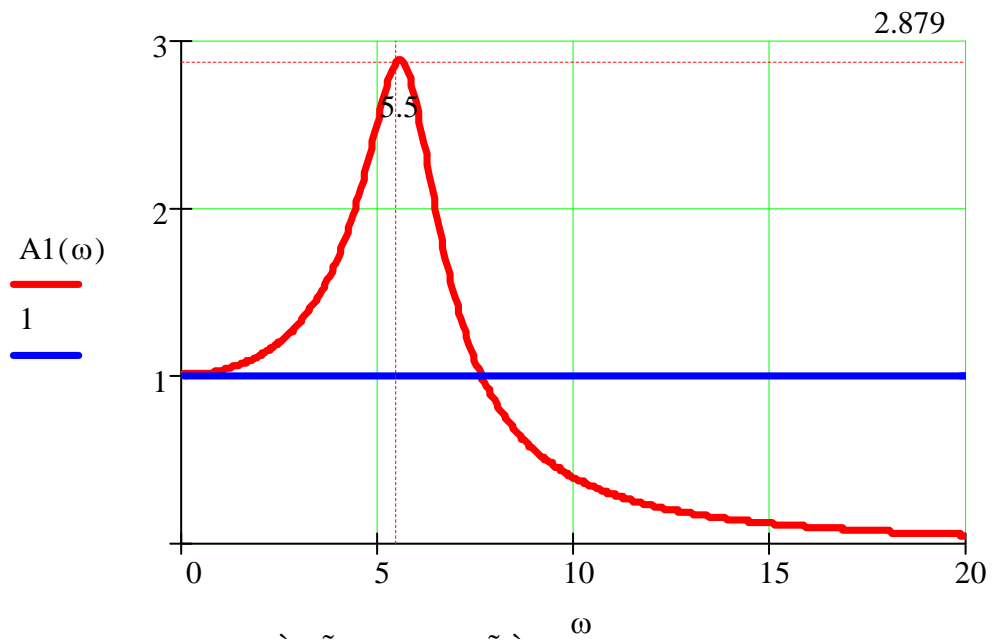


Рисунок 3.7 - ЧХ замкнутої САР

### 3.4.3 Побудова ФЧХ системи автоматичного управління

Фазо-частотна характеристика (рисунок 3.8, 3.9) - це залежність аргументу комплексного числа (передавальної функції) від частоти, яка для розімкнутої та замкнутої систем знаходиться наступним чином:

$$\varphi(\omega) = \arctan \frac{\text{Im}(\omega)}{\text{Re}(\omega)};$$

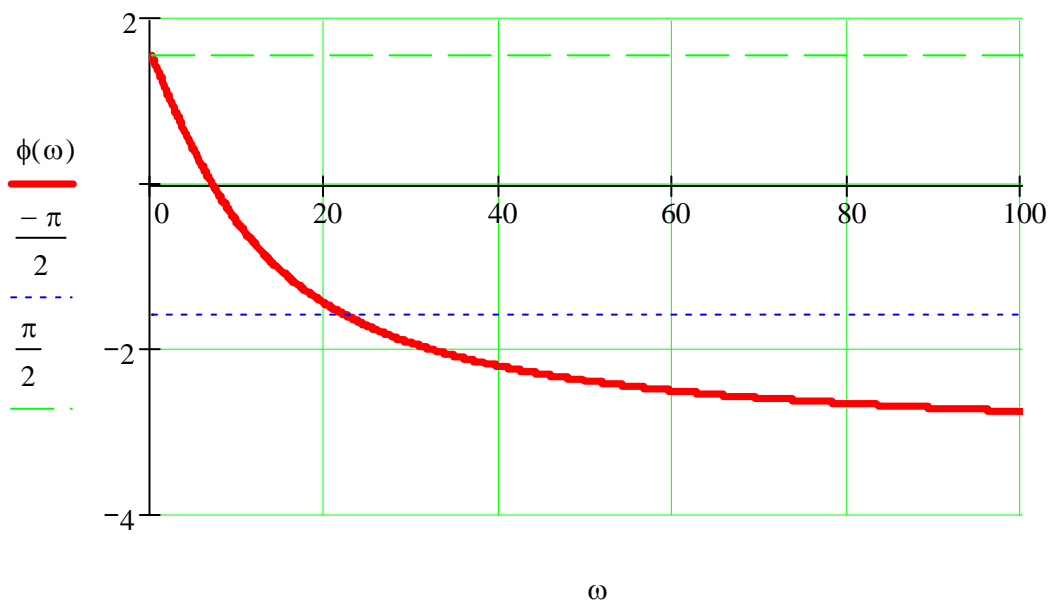


Рисунок 3.8 - ФЧХ розімкнутої САР

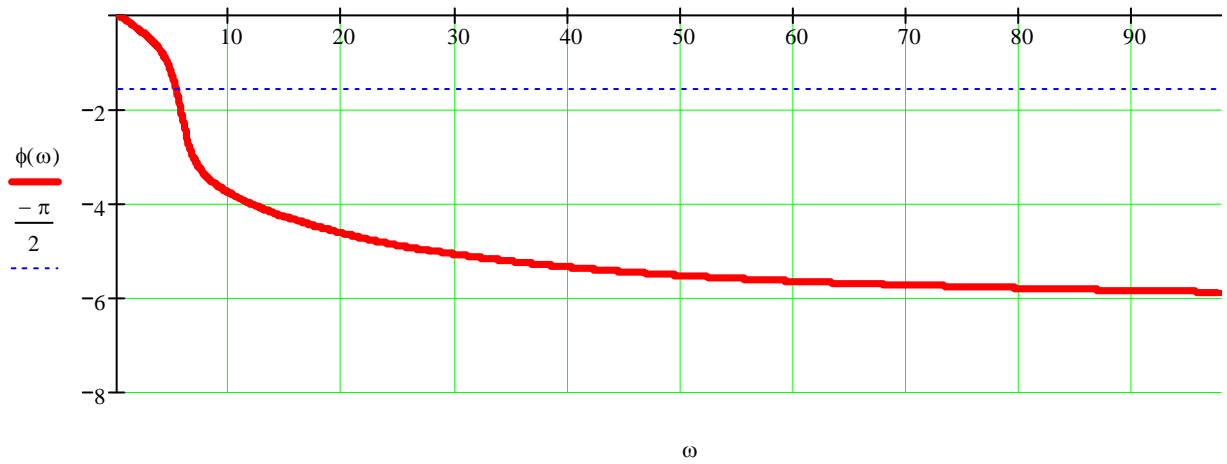


Рисунок 3.9 - ФЧХ замкнутої САР

### 3.4.4 Побудова ЛАЧХ системи автоматичного регулювання

Логарифмічна амплітудно-частотна характеристика (рисунок 3.10) - це залежність модуля комплексного числа (передавальної функції) від десятичного логарифму частоти. ЛАЧХ виходить з АЧХ за формулою:

$$L(\omega) = 20 \cdot \lg(A(\omega)),$$

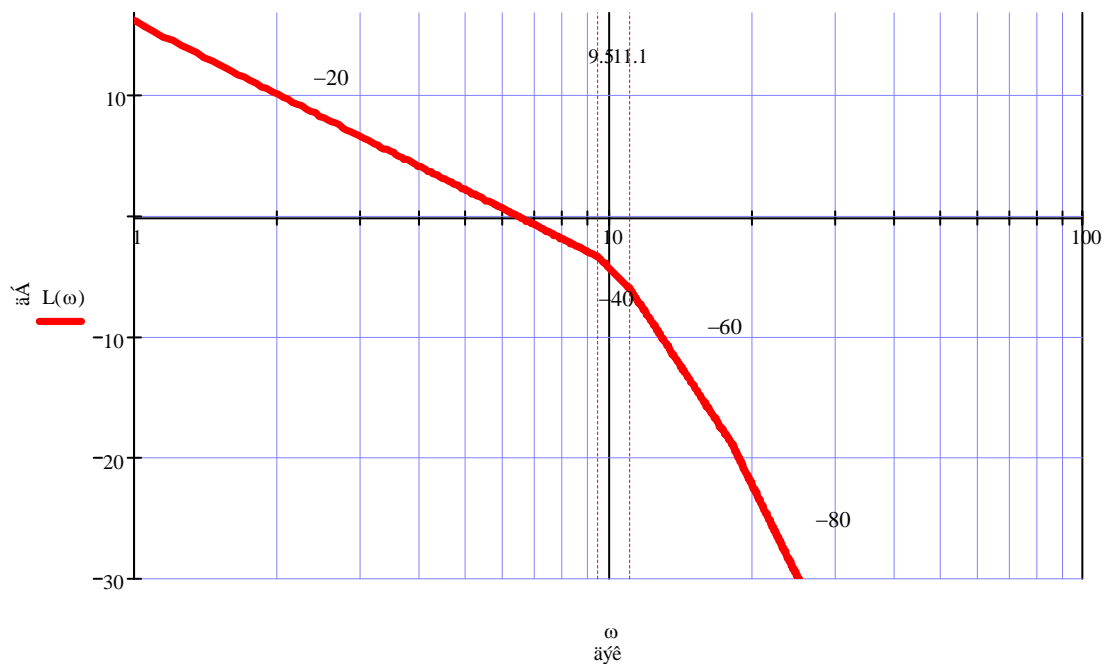


Рисунок 3.10 - ЛАЧХ системи автоматичного регулювання

### 3.4.5 Побудова ЛФЧХ розімкнутої системи

Логарифмічна фазо-частотна характеристика (рисунок 3.11) - це залежність аргументу комплексного числа (передавальної функції) від десятичного логарифму

					ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		45

частоти. ЛФЧХ виходить із ФЧХ відкладенням по осі абсцис шкали десяткового логарифму.

На цій же площині побудуємо пряму  $-\pi$  :

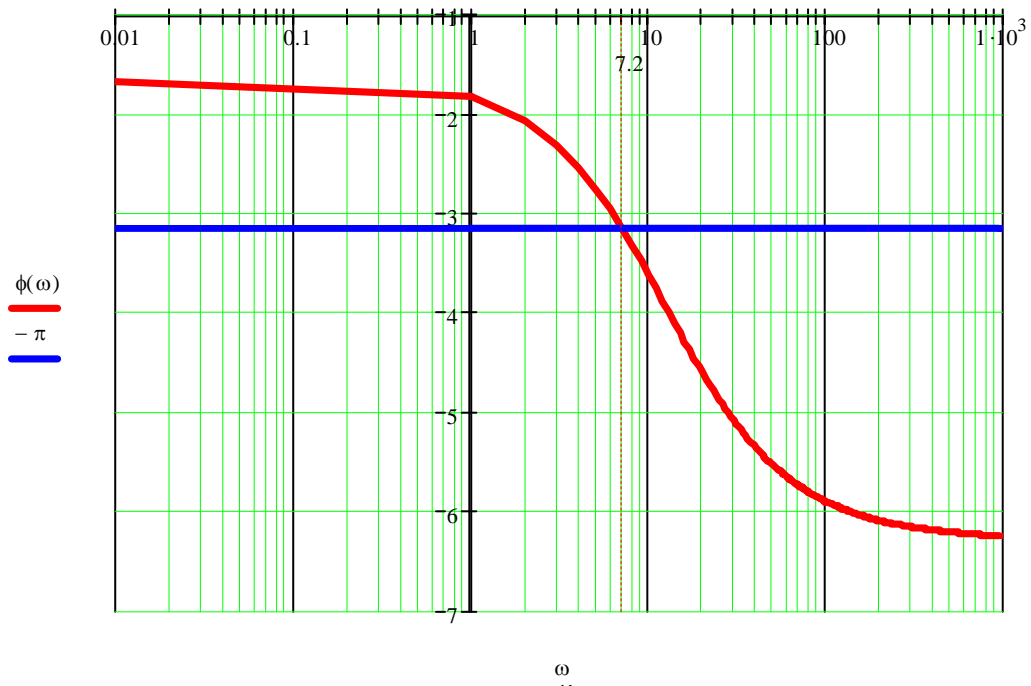


Рисунок 3.11 - ЛФЧХ розімкнутої системи

### 3.5 Оцінка якості перехідного процесу

Стійкість систем автоматичного регулювання є необхідною, але недостатньою умовою її придатності. Поняття стійкості відбиває наявність чи відсутність згасання перехідного процесу у системі. Тому САР повинна бути не тільки стійкою, але мати певний перехідний процес, а її помилки, що встановилися в режимах, не повинні перевищувати допустимий характер перехідних процесів, який залежить від виду збурюючих впливів і початкових умов. Для порівняння САР за характером перехідного процесу вибирають типові або найбільш несприятливі. Визначимо якість процесу регулювання вихідної САР за частотною характеристикою (ЧХ) замкнутої системи.

#### 3.5.1 Оцінка якості регулювання системи за її перехідним процесом

Для стійких систем автоматичного регулювання ЧХ пов'язано з перехідною характеристикою.

					ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		46

$$h(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{\infty} \operatorname{Re}(W(\omega)) \cdot \frac{\sin(\omega \cdot t)}{\omega} \cdot d\omega,$$



Рисунок 3.12 - Крива перехідного процесу вихідної замкнутої САР

За даною кривою (рисунок 3.12) знаходимо наступні показники якості:

- час перехідного процесу;

$$t_{\text{пп}} \approx 5 \text{ c};$$

- перерегулювання;

$$\sigma = \frac{y_{\text{max}} - y_{(\infty)}}{y_{(\infty)}} \cdot 100\%,$$

$$\sigma = 77\%$$

- кількість коливань за час перехідного процесу;

$$n = 4.$$

### 3.5.2 Оцінка якості регулювання системи з її АЧХ

Графік АЧХ системи наведено рисунку 3.6.

За кривою АЧХ знаходимо наступні показники якості:

- показник коливань:

$$M = \frac{A_m}{A_0}$$

$$M = 2.575$$

					ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- тривалість перехідного процесу, що визначається шириною характеристики  $\omega_m$

$$t_{II} = 2 \cdot \frac{2\pi}{\omega_m}$$

$$t_{II} = 1.7c.$$

За отриманими значеннями показників якості регулювання вихідної системи видно, що вона потребує коригування. Для цього побудуємо ЛАЧХ такої системи, яка задовольнятиме вимогам системи регулювання.

### 3.6 Коректування якості роботи САР

Під поліпшенням якості розуміють зміну динамічних властивостей системи з метою отримання необхідного запасу стійкості та швидкодії. У цій проблемі основне значення має забезпечення запасу стійкості [14-21].. Це тим, що прагнення знизити помилки регулювання призводить як правило до необхідності використовувати такі значення коефіцієнта посилення, в якому без вживання додаткових заходів система взагалі виявляється нестійкою.

Коригування якості роботи системи автоматичного регулювання будемо проводити за допомогою ЛАЧХ розімкнутої системи. Для побудови бажаної ЛАЧХ розімкнутої системи (БЛАЧХ) знайдемо кілька характерних точок, через які вона повинна проходити.

#### 3.6.1 Побудова бажаної ЛАЧХ

Знайдемо робочу частоту. Робоча частота вхідного синусоїдального сигналу, при якому динамічна помилка системи ще не повинна бути більшою за задану.

$$\omega_p = \frac{\varepsilon_{\max}}{\Omega_{\max}},$$

де:  $\varepsilon_{\max}$  - максимальне прискорення об'єкту,  $rad/c^2$ ;

$\Omega_{\max}$  - максимальна частота обертання об'єкта,  $rad/c$ ;

					ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$\omega_p = \frac{\varepsilon_{\max}}{\Omega_{\max}} = \frac{0,12}{0,24} = 0,5 \text{ рад/с} = 0,081 \text{ Гц};$$

Визначимо амплітуду вхідного сигналу:

$$\beta_0 = \frac{\Omega_{\max}}{\omega_p},$$

$$\beta_0 = \frac{\Omega_{\max}}{\omega_p} = \frac{0,24}{0,5} = 27,52^\circ;$$

Динамічна похибка системи  $\delta_0 = 4'$ .

Для забезпечення системою заданої точності необхідне виконання наступної умови:

$$20 \cdot \log \frac{\beta_0}{\delta_0} \leq W(j \cdot \omega_p),$$

Таким чином можемо зробити висновок, що бажана ЛАЧХ має проходити над точкою або через точку з координатами  $(\omega_p, 20 \cdot \log \frac{\beta_0}{\delta_0})$ :

$$W(j \cdot \omega_p) \geq 20 \cdot \log \frac{\beta_0}{\delta_0} = 20 \cdot \log \frac{27,52}{0,067} = 52,3 \text{ дБ};$$

Визначимо частоту зрізу бажаної ЛАЧХ. На цій частоті ЛАЧХ має перетинати частотну вісь. Для того, щоб система була стійкою, необхідно, щоб цей перетин здійснювався ділянкою ЛАЧХ з нахилом  $-20$  дБ/дек. Частоту зрізу знайдемо із заданого часу перехідного процесу  $t_p = 0,1$  с:

$$\omega_c \approx \frac{b \cdot \pi}{t_p},$$

де:  $b$  - коефіцієнт за допустимим перерегулюванням  $\sigma \approx 20\%$ .

Звідси знаходимо  $b = 2,9$ .

$$\omega_c \approx \frac{b \cdot \pi}{t_p} = \frac{2,9 \cdot \pi}{0,1} = 91,1 \text{ рад/с};$$

Знайдемо частоти початку та кінця середньочастотної ділянки бажаної ЛАЧХ:

$$2 < \frac{\omega_3}{\omega_c} < 4,$$

					ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$\frac{\omega_3}{\omega_2} \approx 10$$

Розв'язавши рівняння ми отримуємо:

$$\omega_2 = 18 \text{ рад/с}, \quad \omega_3 = 425 \text{ рад/с}.$$

Побудуємо бажану ЛАЧХ та вихідну ЛАЧХ (рисунок 3.13). По БЛАЧХ ми можемо визначити які ланки входять у структурну схему і визначимо передавальну функцію САР  $W_x(p)$ . У високочастотній зоні бажана ЛАЧХ буде паралельна ЛАЧХ вихідної системи, бо високочастотна складова не впливає на якість САР.

Виберемо наступну типову ЛАЧХ: -20; -40; -20; -60. Внесемо до неї деякі зміни, а саме наприкінці додамо нахил на -80.

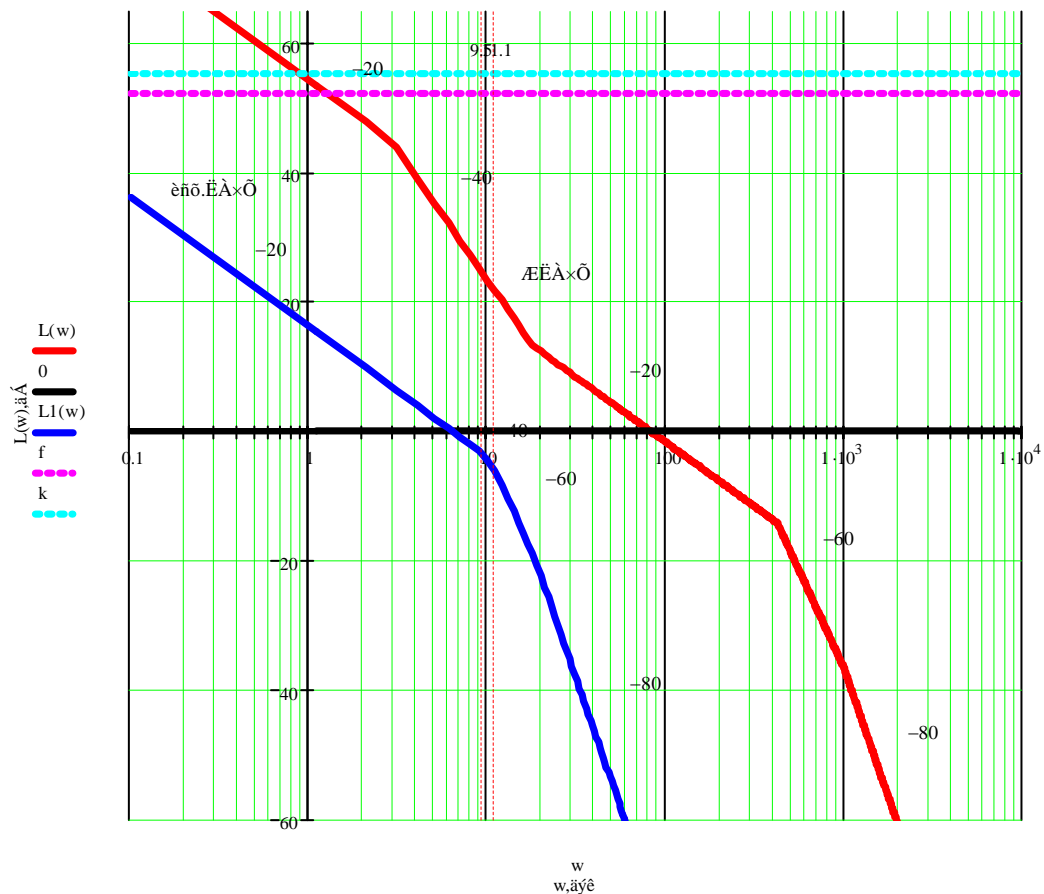


Рисунок 3.13 - Бажана ЛАЧХ та вихідна ЛАЧХ системи автоматичного регулювання

Передавальна функція БАЛХ (рисунок 3.14):

$$W_{ж}(p) = \frac{501,19 \cdot (0,056 \cdot p + 1)}{p \cdot (0,339 \cdot p + 1) \cdot (0,00235 \cdot p + 1)^2 \cdot (0,001 \cdot p + 1)}, \quad (30)$$

Побудуємо бажану ЛФЧХ:

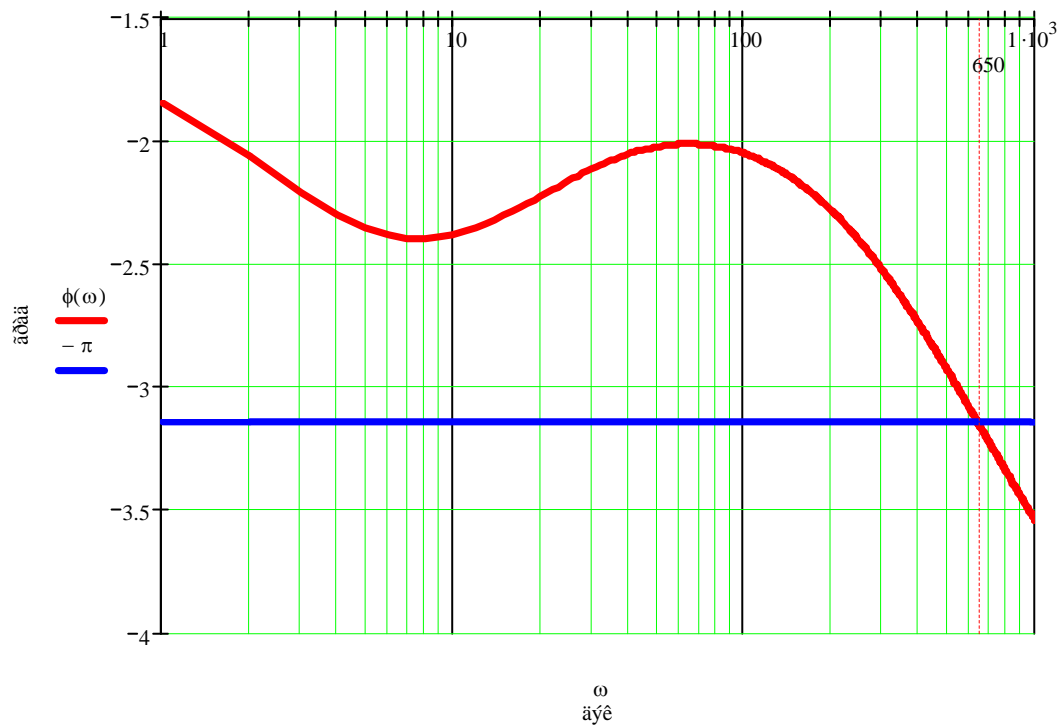


Рисунок 3.14 - Бажана ЛФЧХ системи автоматичного регулювання



## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1 Аналіз стану охорони праці при виробництві комбікормів

Виробництво комбікормів пов'язано зі здрібнюванням, стиранням і змішуванням органічних речовин рослинного і тваринного походження. Все це призводить до утворення у великих кількостях виробничих пилів з органічних пальних речовин. На всіх етапах виробничих процесів, включаючи збереження і транспортування, можливо виникнення пожежо-, вибухонебезпечних пилоповітряних сумішей [22-26]. При пиловому вибуху процес згорання речовини протікає стрімко, виникає надлишковий тиск, що призводить до вибуху.

Персонал, що обслуговує машини для очищення сировини повинний знати: основні характеристики сировини і домішок; принцип дії машин для очищення сировини; технологічні схеми очищення, методи ефективного використання устаткування; правила техніки безпеки і протипожежних заходів.

Під час роботи машин необхідно стежити за: рівномірним розподілом сировини по всій ширині сит; чистотою прийомних і сортувальних сит, періодично очищаючи їхньою щіткою. Персонал, що обслуговує сушарки, веде процес сушіння солі і мела, контролює і регулює по контрольно-вимірювальним приладах температурний режим і якість сушіння (вологість, рівномірність сушіння і т.д.), усуває несправності в роботі устаткування і виконує технічний відхід за ним відповідно до рекомендацій, зазначеними в технічному паспорті. Повинний знати: пристрій і принцип роботи сушарок, допоміжного устаткування і контрольно-вимірювальних приладів; технологію процесу сушіння; методи усунення дефектів у роботі устаткування.

Протягом зміни необхідно строго виконувати правила охорони праці і виробничої санітарії, правила протипожежної і вибухової безпеки, забезпечити чистоту робочих місць і належний санітарний стан приміщення [22-26].

Заземлення і занулення в пристроях систем автоматизації варто виконувати: у всіх випадках при напрузі перемінного струму 380 В и постійного 440 В. Також заземленню і зануленню підлягають: металеві частини електроустановок, що не

					ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		52

знаходяться під напругою, але на який може з'явитися небезпечно для життя напруга при ушкодженні ізоляції струмоведучих частин; металеві корпуси контрольно-вимірювальних приладів; апаратура керування, захисту, сигналізації та освітлення; електродвигуни виконавчих механізмів і електроприводів засувок; металеві щити і пульти всіх призначень; сталеві труби електропроводок і металеві елементи їхнього кріплення.

#### 4.2 Вибухова безпека при виробництві комбікорму

Характеристики споруди, де знаходиться лінія по виробництву комбікормів [23]: за умовою навколишнього середовища – запилене (приміщення, в яких за умовами виробництва виділяється технологічний пилю у такій кількості, що вона може осідати на проводах, проникати всередину машин, апаратів тощо); за вибухопожежною небезпекою – категорія Б (виділяється горючий пилю або волокна з температурою спалаху понад 28°C); за вибухонебезпечністю – категорія В-І а (за нормальних умов вибухонебезпечні суміші горючих газів не утворюється а можливе лише в наслідок аварій чи несправностей).

Вибухобезпека може бути підвищена різноманітними методами: запобіганням наслідків вибуху, придушенням вибуху або запобіганням виникнення вибуху. Запобігти виникненню вибуху можна шляхом виключення джерел запалення, запобігання виникнення вибухонебезпечної концентрації пилю в повітрі вмиканням аварійної вентиляції або сигналізації.

Найбільше ефективним у даному випадку є попередження виникнення пилового вибуху шляхом установки вибухозапобіжної сигналізації наявності вибухонебезпечної концентрації пилю в кормприготувальному відділенні.

Виходячи з [27, 28] і відповідно до ДСТУ 53319-2009 та ДСТУ 12.2.042-2013 молоткова дробарка, особливо на холостому ходу, є найбільше вибухонебезпечною машиною, у ній можливо одночасне утворення вибухонебезпечної суміші і джерела її запалення – ударної іскри. Дробильний агрегат комбікормової установки захищений від руйнації під час внутрішнього вибуху за допомогою вибухорозрядного пристрою, що являє собою розташовану

					ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		53

у верхній частині бічної поверхні дробарки кришку у виді мембрани (рис. 4.1 а-б). При вибуху в дробарці надлишковий тиск виходить через розрядне вікно назовні. У цьому випадку при наявності поблизу вибухорозрядного вікна достатньої концентрації пилю можливий пиловий вибух в усьому кормоприготувальному відділенні. Другим найбільше вибухонебезпечним агрегатом після дробарки є норія (рис. 5.1 в).

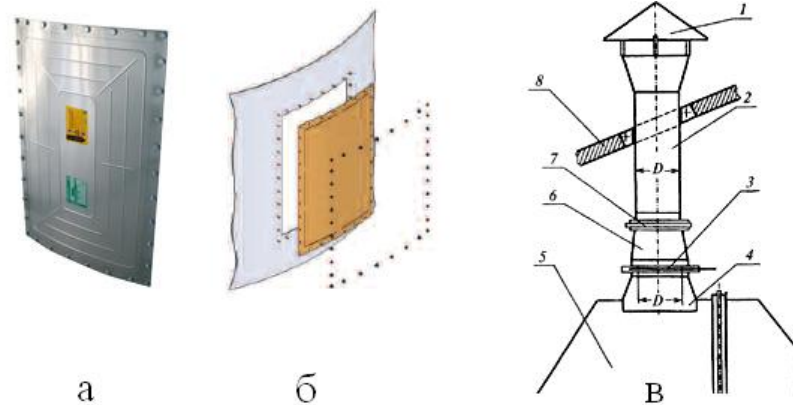


Рисунок 4.1 – Вибухорозрядні пристрої: вибухорозрядна мембрана EX-GO-VENT прямокутної форми (а) та її монтажу (б); вибухорозрядний пристрій шибєрного типу: 1 – захисний ковпак; 2 - вертикальна труба з дифуззором; 3 – вибухорозрядний пристрій шибєрного типу; 4 - вхідний патрубок; 5 - корпус головки норії; 6 - перехідник; 7 - хомут; 8 – укриття.

#### 4.3 Забезпечення екологічної безпеки праці при виробництві комбикормів

Відносно екологічної безпеки при експлуатації малогабаритної комбикормової установки, то можна зазначити, технологічний процес виробництва комбикормів супроводжується виділенням пилю у навколишнє середовище, що має негативний вплив на стан робочого місця та біосфери за рахунок збільшення кількості та концентрації шкідливих речовин. Ця проблема вирішуються за рахунок використання усмоктуючої аспіраційної системи та дотримання загальних вимог безпеки праці, котрі представлені на початку розділу.

					ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		54

## ВИСНОВКИ

Основним завданням даного дипломного проекту було розроблення системи автоматизованого регулювання завантаження дробарки у комбікормовому цеху.

Поставлена задача була досягнута внаслідок застосування сучасних засобів автоматизації, які дали змогу підвищити надійність роботи електросилового обладнання, зменшити витрати праці на виробничий процес, підвищити обсяг та якість продукції, що у результаті повинно привести до зниження собівартості комбікорму.

Запропонований варіант дозволяє оптимізувати завантаження дробарки зернових компонентів, зменшити ймовірність виникнення завалу ротора дробарки (відповідно, аварійних режимів приводного двигуна, аварійних зупинок обладнання) тим самим збільшивши продуктивність комбікормового комплексу, зменшити питомі витрати праці.

Розроблено математичні моделі системи автоматизованого регулювання завантаження дробарки у комбікормовому цеху, зокрема здійснено розрахунок параметрів електродвигуна, побудовано частотні характеристики, що дало змогу визначити стійкість САР та скоректувати якість САР.

При впровадженні даної розробки, за рахунок оптимізації роботи дробарки (зменшення кількості мучної фракції та вирівнювання модулю помелу компонентів комбікорму), поліпшується якість комбікорму. Таким чином установка САР завантаженням дробарки на комбікормовий агрегат УМК-Ф-2 є економічно доцільною.

Проаналізовано необхідні та достатні умови для реалізації безпечного та комфортного виробництва з максимальною продуктивністю праці. Для мінімізації випадків нещасних випадків і професійних захворювань працівників розроблено детальний комплекс взаємопов'язаних організаційних, технічних, гігієнічних заходів щодо створення здорових і безпечних умов праці.

					ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		55

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вербицький, С. Обладнання для виробництва кормів / С. Вербицький // Наше птахівництво. – 2017. – № 5 (53). – С. 26–29.
2. Браженко В. Є. Комплексні проектні рішення на пересувних комбікормових агрегатах та техніка безпеки при експлуатації / В. Є. Браженко, О. О. Фесенко // Зернові продукти і комбікорми. – 2016. – № 3. – С. 40–46.
3. Бойко А. Агрегати для виробництва комбікормів і забезпечення їх надійності / А. Бойко, А. Новицький, С. Карабиньош // Вісник Львівського національного аграрного університету: Агроінженерні дослідження. – 2008. – Т. 2, № 12. – С. 353–357.
4. Лисак К. Автоматизація кормовиробництва / К. Лисак // Корми і факти : Практичне видання для фахівців агробізнесу. – 2018. – № 1-2. – С. 6–7.
5. Єгоров Б. В. Управління та безпечна експлуатація комбікормових заводів / Б. В. Єгоров // Корми і факти: Практичне видання для фахівців агробізнесу. – 2017. – № 11 (87). – С. 18–19.
6. Автоматизація процесу виготовлення комбікормів / О. О. Гіль, І. М. Єфремов // Науково-технічний бюлетень Інституту машинознавства ім.О.В.Мікольського НАН України. - 2015. - Вип. 15. - С. 94-102.
7. Діордієв В.Т. Автоматизація процесів виробництва комбікормів в умовах реформованих господарств АПК. – Сімферополь.: Доля, 2004. – 138с.
8. Жигайло О. М. Особливості ефективного вирішення задачі адаптації регулятора в САУ прес-гранулятором / О. М. Жигайло // Зернові продукти і комбікорми. – 2014. – № 1 (53) – С. 45–50.
9. Шебалдін В. А. Підвищення ефективності управління процесом експандування комбікормів / В. А. Шебалдін // Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. – Одеса: ОНАХТ, 2015. – Т. 7, № 3. – С. 72–77.
10. Альбом конструктивно-функціональних схем технологічного обладнання борошномельних, круп'яних та комбікормових підприємств / М. В. Георгі, О. І. Гапонюк, Л. С. Солдатенко, Г. К. Кравченко ; відп. за вип. О. І.

					ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		56

Гапонюк; Кафедра технологічного обладнання зернових виробництв. – Одеса : ОДАХТ, 2002. – 101 с.

11. Болтянський Б. В. Методологічна база обґрунтування технологічного процесу та обладнання для приготування комбікормів в умовах сільськогосподарських підприємств / Б. В. Болтянський, Р. О. Бакарджиєв, О. В. Гвоздев // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. – 2016. – Т. 3, вип. 6. – С. 104–110. [Електронний ресурс] – Режим доступу : [http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvt dau\\_2016\\_6\\_3\\_11](http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvt dau_2016_6_3_11)

12. Автоматизовані системи контролю якості комбікормів / О. О. Коблов, В. М. Курінний, С. В. Кірій та ін. // Вісник Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Серія: Машинобудування. - 2014. - Т. 73, № 1. - С. 92-97.

13. Розробка системи автоматичного вибору рецептур комбікормів на основі методу інформаційного аналізу / О. О. Жданова, С. А. Пшеничнюк, Л. В. Гірняк та ін. // Науково-технічний журнал "Техніка, енергетика, транспорт АПК". - 2017. - № 3 (101). - С. 19-24.

14. Попович М.Г. Теорія автоматичного керування. / М.Г. Попович, О.В. Ковальчук - К.: Либідь, 2007. - 656 с.

15. Клепач М.І. Теорія автоматичного керування. Навчальний посібник. / М.І. Клепач. - Рівне: НУВГП, 2007. – 206 с.

16. Сорока К.О. Теорія автоматичного керування. Навчальний посібник / К.О. Сорока – Харків, ХНАМГ, 2006 – 187 с.

17. Приклади застосування теорії керування в промисловості / О. С. Івахненко, І. В. Плаксін // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – 2018. – № 37 (1292). – С. 109-117.

18. Методи та алгоритми автоматичного керування технічними об'єктами / В. О. Карпов, В. М. Коваленко, С. В. Прищепа та ін. – К.: Техніка, 2014. – 448 с.

19. Теорія керування рухом машин: Навчальний посібник / О. І. Столяренко, І. Ю. Лаптев, Ю. А. Ходьберда та ін. – К.: НАУ, 2008. – 284 с.

					ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

20. Методи та засоби автоматичного керування технологічними процесами: Навчальний посібник / І. В. Дубінін, М. І. Дорошенко, М. В. Руднева та ін. – К.: ВПЦ “Київський університет”, 2011. – 536 с.
21. Трегуб В.Г. Проектування систем автоматизації / В.Г.Трегуб - Ліра-К, 2019. – 344с.
22. Грибан В., Негодченко О. Охорона праці.- К.: Центр навчальної літератури, 2019. – 280 с.
23. Атаманчук П. Охорона праці в галузі / П. Атаманчук, В.Мендерецький, О.Панчук, Р.Білик // Навчальний посібник – К.: Центр навчальної літератури, 2019. – 322с.
24. Бугай О. Екологія і охорона навколишнього середовища / О.Бугай, Ю.Бойчук, Е.Солошенко – К.: Університетська книга, 2018, 316 с.
25. Мягченко О. Основи екології / О.Мягченко – К.: Центр навчальної літератури, 2019. – 312 с.
26. Безпека життєдіяльності / Бедрій Я.І., Джигирей В.С., Кидесюк А.І. [та ін.] – Львів: Афіша, 2018. – 275 с.
27. ДСТУ 53319-2009 “Пожежовибухобезпечність горючих пилів”.
28. ДСТУ 12.2.042-2013 “Машини та технологічне обладнання для тваринництва та кормовиробництва”.

					ДП.АКІТ. 8894467.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		58