

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ
КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЇ ГІДРОАЕРОМЕХАНІКИ І МЕХАНОТРОНІКИ**

«На правах рукопису»

УДК 621.91.01

До захисту допущено:

Завідувач кафедри ПГМ

_____ Олег ЛЕВЧЕНКО

“ ____ ” _____ 2025 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**за освітньо-професійною програмою «Автоматизовані та роботизовані
механічні системи»**

зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»

на тему: «Система дозування сипучих матеріалів з підвищеною точністю
дозування».

Виконав: студент 2 курсу, групи МА-41мп
(шифр групи)

Волошко Богдан Олегович
(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник доц., к.т.н. Галецький Олександр Сергійович
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент доц., к.т.н. Борис Руслан Степанович
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2025 рік

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий механіко-машинобудівний інститут
Кафедра прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма «Автоматизовані та роботизовані механічні системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ПГМ

_____ Олег ЛЕВЧЕНКО
(підпис)

« ____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

Волошку Богдану Олеговичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації: «Система дозування сипучих матеріалів з підвищеною точністю дозування».

Науковий керівник дисертації: доц., к.т.н. Галецький Олександр Сергійович
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

затверджені наказом по університету від « 06 » 11. 2025 р. № 4844-с

2. Термін подання студентом(кою) дисертації: _____

3. Об'єкт дослідження: система дозування сипучих матеріалів.

4. Вихідні дані: корисне зусилля основного циліндра 1340 Н, робочий тиск 1.6 МПа, довжина ходу 200 мм, час спрацювання 2 с. Корисне зусилля допоміжного циліндра 3000 Н, робочий тиск 1.6 МПа, довжина ходу 250 мм, час спрацювання 3 с.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

- Розглянути основні принципи сучасних систем дозування сипучих матеріалів та визначити їх переваги й недоліки.
- Розробити цикл роботи та побудувати схеми гідравлічні.
- Провести гідравлічний розрахунок та підібрати обладнання.
- Побудувати математичну модель стабілізації тиску в порожнині гідроциліндра та перевірити її в MATLAB.
- Побудувати 3D модель дозатора та провести моделювання і розрахунок на міцність гільзи гідроциліндра.
- Проаналізувати ринкову комерціалізацію проєкту та визначити його сильні і слабкі сторони.
- Визначити потенційно небезпечні і шкідливі виробничі чинники та запропонувати їх вирішення для дотримання правил охорони праці.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: складальне креслення, габаритне креслення, гідравлічна схема, електрорелейна схема, плакат результатів математичного моделювання, плакат математичної моделі та опису.

7. Орієнтовний перелік публікацій :Волошко, Б. О. Система дозування сипучих матеріалів : дипломний проєкт ... бакалавра : 131 Автоматизовані та роботизовані механічні системи / Волошко Богдан Олегович. – Київ, 2024. – 114 с. <https://imm-mmi.kpi.ua/imm2025/paper/view/33297/19795> .

8. Дата видачі завдання: 01.11.2024

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Отримання завдання до дипломного проєктування	01.11.2024	Виконано
2	Аналіз систем дозування	14.02.2025	Виконано
3	Розробка гідравлічної схеми приводу	10.10.2025	Виконано
4	Стартап проєкт	14.11.2025	Виконано
5	Безпечна експлуатація та обслуговування об'єкта проєктування	03.12.2025	Виконано
6	Робота над проєктом та виконання креслень	12.12.2025	Виконано
7	Загальне оформлення проєкту	16.12.2025	Виконано
8	Захист дипломного проєкту	23.12.2025	Виконано

Студент

(підпис)

Богдан ВОЛОШКО

Керівник

(підпис)

Олександр ГАЛЕЦЬКИЙ

**Пояснювальна записка
до магістерської дисертації**

на тему: «Система дозування сипучих матеріалів з підвищеною точністю
дозування»

Київ – 2025 рік

Анотація

Запропоновано систему дозування з підвищеною точністю дозування сипучих матеріалів, яка повинна бути орієнтована на автоматизацію дії процесу дозування та бути універсальною для дозування більшості сипучих матеріалів, а також мати здатність адаптувати свій алгоритм керування під величину ємності для дозування. Для досягнення поставленої мети, було проведено аналіз сучасних систем дозування, визначено їх особливості роботи та конструкції.

У першому розділі було розглянуто основні принципи дозування сипучих матеріалів на сучасних підприємствах, конструкції цих дозаторів та було визначено їх основні переваги і недоліки.

У другому розділі було розроблено цикл процесу дозування сипучих матеріалів, побудовано схеми з різними видами керування процесу дозування, проведено гідравлічний розрахунок даної системи, виконано підбір обладнання у випадку використання гідравлічної або електрорелейної схем, а також було проведено математичне моделювання процесу стабілізації тиску в порожнині гідроциліндра і побудовано 3D модель всієї конструкції.

У третьому розділі було проаналізовано можливості ринкової комерціалізації проєкту та визначено його сильні та слабкі сторони, конкурентні позиції на ринку систем дозування сипучих матеріалів.

У четвертому розділі було визначено всі потенційно небезпечні і шкідливі виробничі чинники та запропоновано рішення технічних та організаційних заходів, які б дозволяли суттєво знизити або унеможливілювали б їхній негативний вплив. Також було розглянуто організацію робочого місця оператора, екологію виробництва, відповідність нормам протипожежної безпеки та надано рекомендації по правилам експлуатації.

Ключові слова : дозування, дозатор, гідроциліндр, заслінка, шнек, бак, рухомий конвеєр, бункер накопичувач, ковш, сипучий матеріал.

Abstract

A dosing system with increased accuracy of dosing of bulk materials is proposed, which should be focused on automating the dosing process and be universal for dosing most bulk materials, as well as have the ability to adapt its control algorithm to the size of the dosing container. To achieve this goal, an analysis of modern dosing systems was conducted, their operation and design features were determined.

The first section examined the basic principles of dosing bulk materials at modern enterprises, the design of these batchers, and identified their main advantages and disadvantages.

In the second section, a cycle of the dosing process of bulk materials was developed, schemes with effective types of dosing process control were built, a hydraulic calculation of this system was performed, equipment selection was performed using a hydraulic or electrorelay circuit, and mathematical modeling of the process of stabilizing pressure in the surface of the hydraulic cylinder was also performed and a 3D model was created in the entire structure.

The third section analyzed the possibilities of market commercialization of the project and identified its strengths and weaknesses, competitive positions in the bulk materials dosing market system.

The fourth section identified all indicators of hazardous and harmful production factors and proposed solutions for technical and organizational measures that would significantly reduce or make impossible their negative impact. Also, the organization of the operator's workplace, production ecology, compliance with fire safety standards and recommendations on operating rules were noted.

Keywords: dosing, dosing device, hydraulic cylinder, damper, auger, tank, moving conveyor, storage bunker, bucket, bulk material.

Зміст

Вступ	10
РОЗДІЛ. 1. СИСТЕМИ ДОЗУВАННЯ СИПУЧИХ МАТЕРІАЛІВ	12
1.1. Застосування систем дозування в сучасному виробництві	12
1.2. Види систем дозування сипучих матеріалів	13
1.3. Системи контролю та способи дозування сипучого матеріалу.....	14
1.3.1. Бункерні дозатори.....	14
1.3.2. Стрічкові дозатори.....	17
1.3.3. Шнекові дозатори	20
1.3.4. Дискові поворотні затвори.....	22
Висновок до розділу 1	24
РОЗДІЛ. 2. РОЗРОБКА ГІДРАВЛІЧНОЇ СИСТЕМИ ПРИВОДУ ВІДКРИТТЯ/ ЗАКРИТТЯ ЗАСЛІНКИ ТА КОВША	25
2.1. Розробка циклу роботи гідравлічної системи керування приводами.....	25
2.2. Опис роботи гідравлічної системи керування приводами.....	28
2.3. Побудова принципової схеми гідравлічної системи керування приводами	30
2.4. Побудова принципової електрорелейної схеми гідравлічної системи керування приводами	33
2.5. Побудова схеми підключення до контролера гідравлічної системи керування приводами	36
2.6. Розрахунок гідравлічного приводу заслінки дозуючого пристрою та системи відкриття ковша	38
2.6.1. Визначення розмірів основного гідроциліндра	38
2.6.2. Визначення розмірів допоміжного гідрогідроциліндра.....	40
2.6.3. Визначення розмірів підвідних отворів.....	41
2.6.4. Визначення розміри циліндрів	43
2.6.5. Визначення витрат	44
2.6.6. Визначення тисків.....	49
2.6.7. Вибір насоса та схеми насосної установки	52

					МА41МД.01.00.00 ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розробив		Волошко, Б.О.			Система дозування сипучих матеріалів з підвищеною точністю дозування	Літ.	Арк.	Акрушів	
Перевірив		Галецький О.С.					8	128	
						НН ММІ ПГМ			

2.7. Гідравлічний розрахунок.....	53
2.7.1. Вибір розмірів трубопроводів.....	53
2.7.2. Тепловий розрахунок.....	56
2.7.3. Вибір робочої рідини.....	58
2.7.4. Підбір обладнання.....	59
2.8. Математичне моделювання процесу стабілізації тиску в порожнині гідроциліндра.	65
2.9. Розробка конструктивних особливостей дозатора сипучих матеріалів	74
2.10. Розрахунок основних параметрів гільзи гідроциліндра та розрахунок її на міцність методом кінцевих елементів.	85
2.10.1. Початкові дані.....	85
2.10.2. Розрахунок основних параметрів допоміжного гідроциліндра	86
2.10.3. Розрахунок гільзи гідроциліндру на міцність	89
Висновок до розділу 2	94
РОЗДІЛ. 3. СТАРТАП-ПРОЄКТ СИСТЕМИ ДОЗУВАННЯ СИПУЧИХ МАТЕРІАЛІВ.....	95
3.1. Опис ідеї проєкту	95
3.2. Технологічний аудит ідеї проєкту.....	97
3.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту.....	98
3.4. Розроблення ринкової стратегії проєкту	105
3.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту.....	109
Висновок до розділу 3.	111
РОЗДІЛ. 4. БЕЗПЕЧНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ОБСЛУГОВУВАННЯ ОБ'ЄКТА ПРОЄКТУВАННЯ.....	112
4.1. Умови та впливи, що можуть створити загрозу.	112
4.2. Комплекс заходів направлених на зниження небезпечного та шкідливого впливу.	114
4.3. Безпека використання робочої рідини в гідравлічній системі дозатора .	117
4.4. Організація робочого місця оператора дозатора	117
Висновок до розділу 4	119
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	120
Список літератури.....	127

Вступ

Системи дозування сипучих матеріалів відіграють важливу роль у багатьох галузях промисловості. Їх широко використовують у сільському господарстві, будівництві, хімічній та харчовій промисловості, а також у багатьох інших сферах. Саме від таких характеристик цих систем як точність, надійність та швидкість дозування, в значній мірі буде залежати якість і економіка виробництва в цілому.

На сучасних підприємствах висувуються високі вимоги до точності, оскільки навіть незначні відхилення чи втрати під час дозування можуть призвести до суттєвих збитків, особливо у випадку дефіцитних матеріалів. Наприклад, на підприємствах, які займаються виготовленням порошкових добрив, дуже важливо дотримуватися точних пропорцій, адже через невірне дозування значно знизиться його ефективність, що вплине на якість виготовлюваної продукції і призведе до економічних втрат.

Модернізація сучасних систем дозування для покращення їх основних характеристик із застосуванням сучасних технологій та інноваційних підходів є актуальною задачею, оскільки значна кількість застарілих методів вже не відповідає вимогам сучасного виробництва. Автоматизація дозування в цьому відіграє ключову роль, оскільки робить процес безперервним та знижує ризик людських помилок, пов'язаних із ручним керуванням, а також сприяє збільшенню продуктивності всього виробничого процесу.

Метою даної роботи було: розробка системи дозування сипучих матеріалів з підвищеною точністю дозування та покращеною продуктивністю. Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити наступні задачі:

- Розглянути основні принципи дозування сипучих матеріалів на сучасних підприємствах, конструкції цих дозаторів та визначити їх основні переваги і недоліки.
- Розробити цикл роботи дозатора та скласти граф роботи системи дозування сипучих матеріалів.
- Розробити схеми з різними видами керування процесом дозування.

					<i>МА41МД.01.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						10
Зм	Арк.		Підпис	Дата		

- Розробити код керування для контролера в програмі FST.
- Провести гідравлічний розрахунок та по його результату виконати підбір обладнання.
- Розробити математичну модель зміни тисків в порожнині гідроциліндрів в процесі його роботи.
- Провести розрахунок гільзи гідроциліндра на міцність методом кінцевих елементів.
- Провести аналіз можливості ринкової комерціалізації проєкту .
- Визначити його сильні та слабкі сторони, конкурентні позиції на ринку систем дозування сипучих матеріалів.
- Визначити потенційно небезпечні і шкідливі виробничі чинники та для кожного з них запропонувати рішення.
- Розглянуто організацію робочого місця оператора, екологію виробництва, відповідність нормам протипожежної безпеки та надати рекомендації по правилам експлуатації.

Об'єкт дослідження: система дозування сипучих матеріалів.

Предмет дослідження: покращення точності дозування дозатору сипучих матеріалів, шляхом оптимізації процесу автоматизованого дозування та розробки відповідних схем їхньої роботи.

					МА41МД.01.00.00 ПЗ	Арк.
						11
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. СИСТЕМИ ДОЗУВАННЯ СИПУЧИХ МАТЕРІАЛІВ

1.1. Застосування систем дозування в сучасному виробництві

Системи дозування сипучих матеріалів та автоматизація процесів на більшості виробництв є одним з пріоритетних завдань. Адже саме від точності дозування буде залежати наскільки якісною буде продукція, економіка виробництва, стабільність в технологічному процесі, а також швидкість отримання певних порцій матеріалу. У таких галузях як харчова, будівельна, хімічна, фармацевтична, аграрна та багато інших – дозування має велике значення оскільки її автоматизація процесів та надійність впливають на всю лінію виробництва.

Дозування - це процес вимірювання певної порції матеріалу в залежності від встановлених норм та процедур. У залежності від фізичних властивостей самого матеріалу, його дискретності, вологості, температури, в'язкості, потрібно обирати свій спосіб дозування. Наприклад, при дозуванні сипких матеріалів, що характеризуються неоднорідною сипкістю, наявністю пилу, можливим налипанням, потрібно це передбачувати конструкцією дозатора забезпечивши незмінно високу точність.

Сучасні дозатори досить часто працюють у взаємодії з іншими виробничими лініями на підприємствах тому ще однією важливою вимогою до них є наявність зворотного зв'язку з іншими системами на виробництві для контролю технологічних процесів у режимі реального часу.

Отже, можна дійти до висновку, що ефективна система дозування матиме значний вплив на автоматизацію, технологічний рівень, економіку, а також конкурентоспроможність виробництва, забезпечивши при цьому швидкість, точність, ефективність, а отже і надійність всього технологічного процесу.

					<i>МА41МД.01.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						12
Зм	Арк.		Підпис	Дата		

1.2. Види систем дозування сипучих матеріалів

Існує велика кількість різновидів систем дозування. Вибір кожного залежить від багатьох факторів таких як фізико-механічні властивості матеріалу – сипучість, ступінь подрібнення, липкість, вологість, текучість та інші чинники. Саме наявність цих особливостей матеріалу впливатиме на вибір конструкції та може потребувати впровадження в систему дозування додаткових елементів. Наприклад, для сипких матеріалів широко застосовують шнекові чи стрічкові дозатори, а от для неоднорідних та важкодозованих – вібраційні.

Також слід враховувати режими роботи необхідні для роботи обладнання: для безперервної роботи краще підходять стрічкові та вібраційні, а для порційних – шнекові та клапанні. Важливим чинником є галузь застосування для якої здійснюється дозування: для харчових чи фармацевтичних виробництв застосовують системи що складаються з нержавіючих матеріалів, тоді як для будівництва – більш дешеві металеві конструкції.

Крім того слід звертати увагу на ступінь автоматизації та рівень керування технологічним процесом. Системи дозування можуть функціонувати в таких режимах: ручному, напівавтоматичному або автоматичному використовуючи при цьому програмовані контролери. Застосування автоматизації на таких виробництвах дозволяє зменшити вплив людського фактору, підвищити точність дозування, забезпечити стабільність роботи обладнання та можливості оперативної і точної корекції параметрів процесу залежно від умов експлуатації.

Також при виборі системи дозування важливу роль відіграють вимоги до точності, надійності, а також енергоефективності роботи всієї системи, оскільки, ці параметри визначають економічну ефективність виробництва та її конкурентоспроможність

Розглянемо класифікацію систем дозування на (рис.1.1):

					<i>МА41МД.01.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						13
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

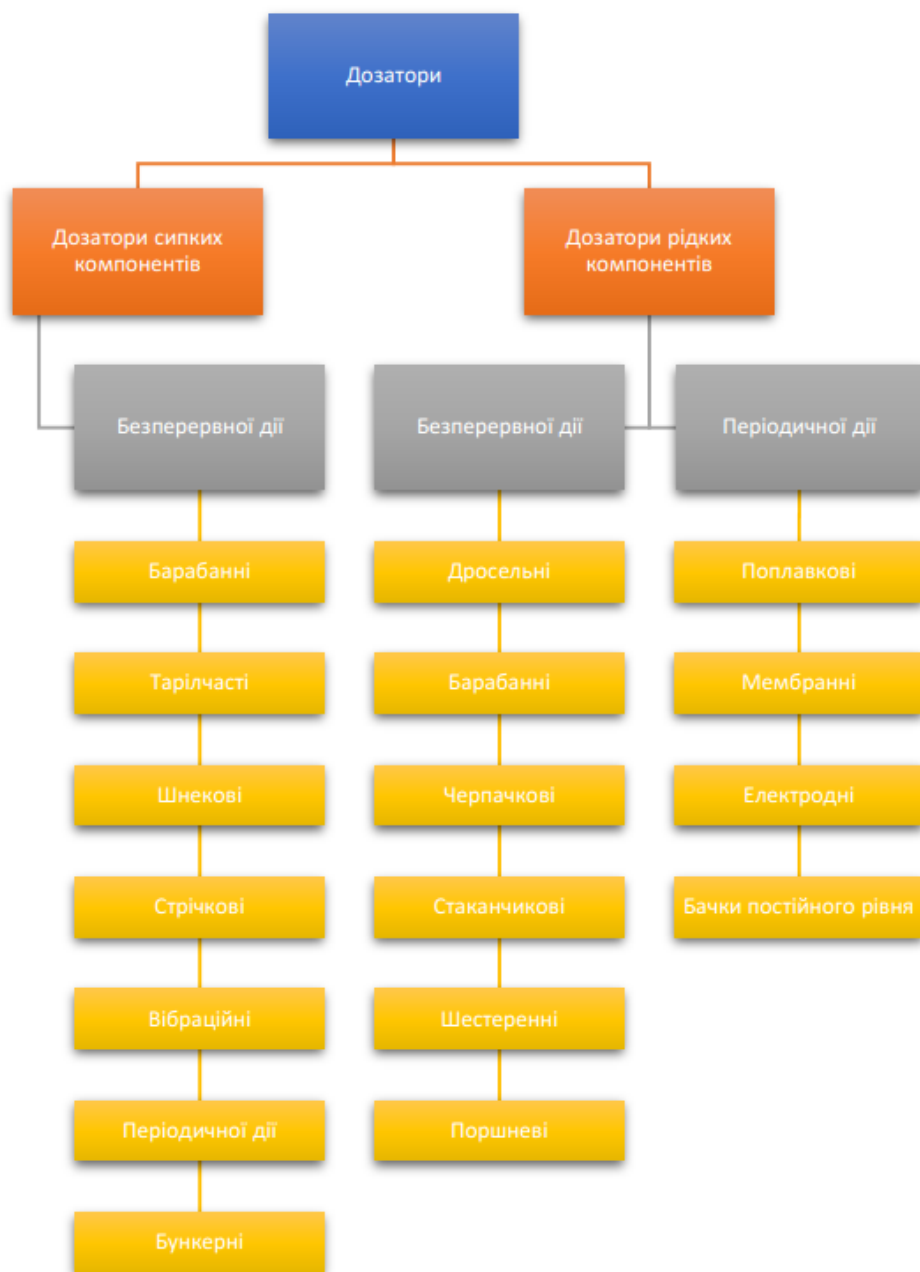


Рис.1.1. Класифікація систем дозування [1]

1.3. Системи контролю та способи дозування сипучого матеріалу

1.3.1. Бункерні дозатори

Бункерні дозатори – це пристрої , що забезпечують як порційне, так і неперервне дозування об’ємним методом та мають високу точність до 0,5%. Широко застосовуються в установках для подачі, а також змішування сипучих матеріалів у промислових технологічних процесах (рис.1.2).



Рис.1.2. Бункерний дозатор VKBD BIKO-SERWIS [2]

Принцип роботи полягає у зсипанні матеріалу методом «втрати ваги в часі». Бункерний дозатор VKBD працює таким чином, що матеріал разом з бункером знаходиться на вагових тензодатчиках, дозатор поступово висипає матеріал через шнек із бункера. Система в цей момент постійно зважує бункер і визначає на скільки менше стало матеріалу за певний проміжок часу. Це дозволяє визначити витрату матеріалу кг/год. Контролер автоматично може змінювати швидкість подачі, щоб підтримувати заданий темп наповнення.

Ця система має два режими роботи:

Порційне дозування - видає точну масу матеріалу за цикл роботи.

Безперервний режим – забезпечує стабільну та безперебійну витрату матеріалу.

Отже, можна підвести підсумок, що головною ідеєю цієї системи дозування є саме постійне вимірювання ваги бункера та розрахунок витрати, а не зважування матеріалу окремо.

Бункерні дозатори, іноді ще називають як порційні ваги, використовуючи їх на пташниках, млинах, кормозмішувачах, підприємствах по переробці пластмаси, де вони дозують зерно, добрива, гранули, висівки, борошно та інші сипучі матеріали.

Ці дозатори зазвичай оснащують контролерами з аналоговим та цифровим зв'язком у різних модулях передачі даних. Існують також варіанти з гібридним дозуючим шнеком, що надає можливість здійснювати дозування в широкому діапазоні при незмінно високій точності.

Бак дозатора зазвичай оснащений змішувачем, що запобігає злежуванню та застряганню дозованого компонента. Також можливо при цій конструкції здійснити підключення кількох дозаторів, що подаватимуть різні компоненти безпосередньо до бункера чи у спеціальну дозувальну станцію зі змішувачем, який буде безпосередньо змішувати всі інгредієнти.

Однією з головних переваг цих дозаторів є простота експлуатації, надійність та досить висока точність. Також швидкість роботи цих систем є дуже високою, особливо у гібридних версія з додатковою установкою шнеку, що дозволить розширити діапазон швидкостей в дозуванні. Також можливі версії цих дозаторів для роботи в вибухонебезпечних зонах, для цього розроблена спеціальна версія АТЕХ. [2]

Переваги:

- Простота конструкції.
- Надійність.
- Можливість роботи в двох режимах – порційному і безперервному.
- Висока точність дозування сипких матеріалів.
- Висока швидкість роботи.
- Наявність міксеру у бункері.
- Керування через контролер.
- В гібридних версіях зі шнеком більший діапазон для регулювання швидкості дозування.
- Можливість деяких версій працювати в вибухонебезпечних зонах

					<i>МА41МД.01.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						16
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Недоліки:

- Можливість дозувати лише однорідний сипучий матеріал.
- Менша ефективність при дозуванні важких матеріалів.
- Можливе залипання чи скупчення матеріалу у бункері, якщо матеріал вологий та прилипає до стінок.
- Доволі складний процес очистки та обслуговування дозатора.

1.3.2. Стрічкові дозатори

Стрічкові дозатори – це пристрої, що мають конструкцію переважно для вимірювання потоку сипучого та гранульованого матеріалу. Існують версії з чорної сталі, що застосовується у важкій промисловості, такій як цементній чи вапняній, а також на виробництвах будівельної хімії (рис.1.3).

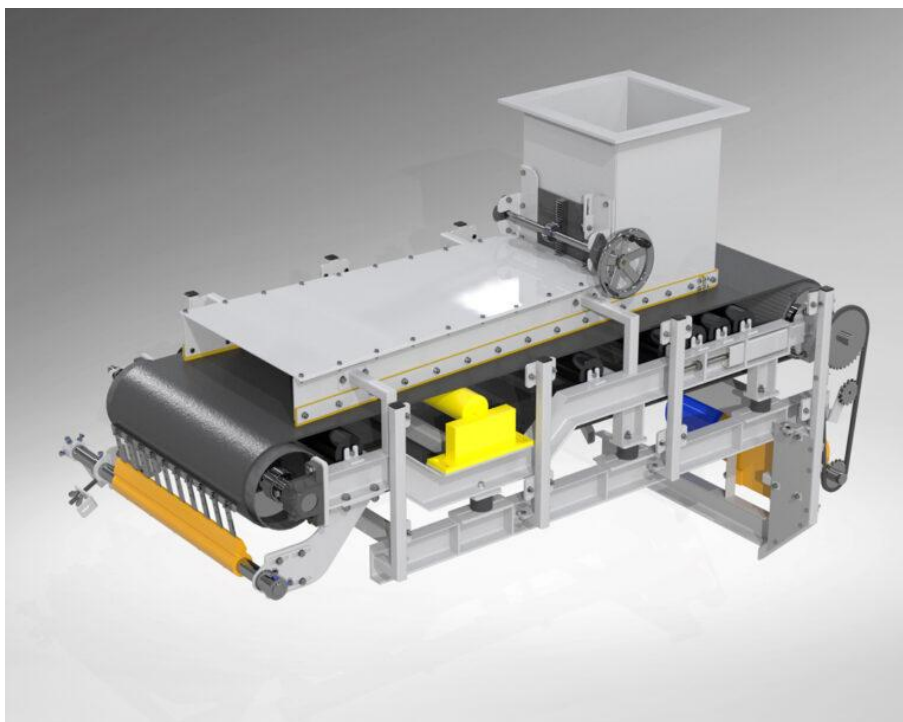


Рис.1.3. Стрічковий дозатор VKBF BICO-SERWIS [3]

Принцип роботи полягає у «зважування матеріалу на рухомій стрічці». Бункерний дозатор VKBF працює таким чином, що матеріал подається рівномірної товщини на транспортну стрічку, яка в цей момент рухається з постійною або керованою швидкістю. Тензометричні датчики, що

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

розташовані під стрічкою постійно зважують вагу матеріалу на певних ділянках стрічки. У цей момент контролер визначає миттєву витрату матеріалу кг/год як добуток маси матеріалу та швидкості руху стрічки. Система може в автоматичному режимі змінювати швидкість руху приводу стрічки, щоб витрата або подача матеріалу залишалися постійними.

Ця система має лише один режим роботи.

Безперервний режим – забезпечує стабільну та безперебійну витрату матеріалу.

Отже, можна підвести підсумок, що головною ідеєю цієї системи дозування є саме постійне вимірювання ваги матеріалу, що знаходиться на транспортній стрічці бункера та розрахунок витрати, а не зважування матеріалу окремо.

Стрічкові дозатори застосовують для плавної та рівномірної подачі сипучих матеріалів із середньою та великою насипною щільністю. Особливістю їх є те, що вони дозволяють дозувати та транспортувати матеріали які важко відокремлюються. Через це вони широко розповсюджені на шахтах, складах та підприємствах для відбору сировини, переміщення і заповнення матеріалом під пакування.

Подача та дозування матеріалу може здійснюватися лише безперервно. Ця система може також використовуватися виключно для вимірювання загального потоку матеріалу. Дозування може здійснюватися двома методами. Перший спосіб передбачає подання матеріалу рівномірного шару зі змінюваною швидкістю руху конвеєра. Другий спосіб – шляхом регулювання товщини та кількості матеріалу, що надходить на ваговий конвеєр, через шари, які визначають товщину шарів матеріалу, або через передні живильники. Живильники можуть бути виготовлені як у відкритому так і в закритому – у пилонепроникному корпусі. Це конструктивне рішення дозволяє мати не лише вбудовані стрічкові ваги, а й високу точність виготовлення всіх деталей.

Завдяки точності виготовлення, стрічкові живильники ефективно застосовуються при дозування делікатних матеріалів: порошоків, гранул, пелет

					<i>МА41МД.01.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						18
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тощо. Ідеально підійде також для крихких продуктів, що можуть пошкодитися при дозуванні.

Існують також версії цих дозаторів виготовлених з нержавіючої сталі, що оснащені вагами потоку, їх застосовують переважно в легкій промисловості – харчовій, хімічній, косметичній та інші. В залежності від матеріалу підбирається спеціальний бункер, що дозволить працювати навіть з сумішами важкодозуючими – високоабразивними, легко аерованими, та із можливістю неконтрольованого потоку чи грудкуванням.

Висока якість виготовлення, висока точність з похибкою до 0,5%, міцна сталева опорна конструкція, роблять цей дозатор конкурентоспроможним на ринку систем дозування. [3]

Переваги:

- Надійність.
- Висока точність дозування з вбудованою системою вагів (тензометричних датчиків).
- Можливість дозувати як сипкий так і кусковий матеріал.
- Забезпечує плавну та рівномірну подачу.
- Висока швидкість роботи.
- Керування через контролер.

Недоліки:

- Складніша конструкція і процес очистки та обслуговування дозатора.
- Можливість роботи тільки в одному режимі – безперервному.
- Липкість та грудкоподібність може зменшити точність дозування через зміну товщини шару на стрічці, а також погіршити рівномірність подачі матеріалу.
- Можливе залипання чи скупчення матеріалу у бункері, якщо матеріал вологий та прилипає до стінок.

1.3.3. Шнекові дозатори

Шнекові дозатори – це пристрої що забезпечують безперервне (потокowe) дозування сипучих матеріалів з використанням об’ємного методу та мають точність 1– 3%. Шнекові дозатори найкраще підходять для випадків, що потребують простих та ефективних рішень в дозуванні чи подачі матеріалу. Конструкція їх можлива в таких варіантах як: одно або двовальним, жолобчастим або трубчастим (рис.1.4).

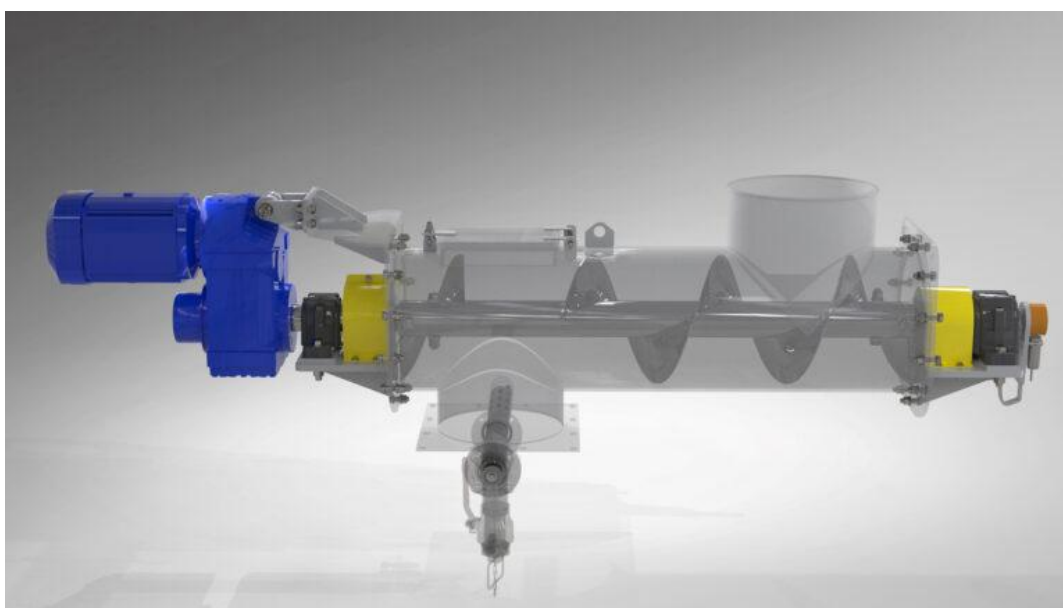


Рис.1.4. Шнековий дозатор BKSD BIKO-SERWIS [4]

Принцип роботи полягає у «подачі матеріалу за допомогою обертання гвинтового шнека». Бункерний дозатор BKSD працює таким чином, що матеріал надходить до циліндричного корпусу, в якому в цей момент обертається гвинтовий шнек. Матеріал переміщується в результаті обертання шнеку до вихідного отвору. Витрата матеріалу визначається об’ємом який переміщується шнеком за один оберт, тому дозування забезпечується за допомогою контрольованої механічної подачі, а не зважування матеріалу. В залежності від швидкості обертання шнека – чим вона більше, тим збільшується подача. Швидкість обертання шнеку регулюється контролером через зміну частоти обертів двигуна. Завдяки цьому підтримується задана

					МА41МД.01.00.00 ПЗ	Арк.
						20
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

масова чи об'ємна витрата. Цей принцип роботи дозволяє підтримувати стабільний потік і підтримувати сталу продуктивність протягом роботи.

Ця система має лише один режим роботи.

Безперервний режим – забезпечує стабільну та безперебійну витрату матеріалу.

Отже, можна підвести підсумок, що головною ідеєю цієї системи дозування є саме постійне обертання гвинтового шнека для подачі матеріалу, що надходить до циліндричного корпусу. Контрольована механічна подача, а не зважування матеріалу забезпечує точність дозування.

Особливостями цих дозаторів є висока ефективність при малих розмірах діаметра, висока пропускна здатність, простота конструкції та легке встановлення.

У залежності від фізичних характеристик матеріалу, що дозується, можливі різні типи шнекових живильників. Ці дозатори мають великий спектр застосування. Вони широко використовуються для дозування: цементу, пилу наповнювачу, золу-винесення, кремнеземний пил, штукатурки, піску, карбонату кальцію, зернових та тирси. Вони також можуть використовуватися для транспортування чи подачі цементу та різних наповнювачів, асфальту та інших будівельних компонентів. Шнекові дозатори BKSD також здатні дозувати гранульовані матеріали, створюючи точні суміші матеріалу та деякого додаткового компоненту наприклад барвника.

Одними з очевидних переваг цих дозаторів є достатня точність, надійність, простота конструкції, легкість в обслуговуванні та універсальність дозування. Повторюваність визначеної продукції гарантується через плавне регулювання у всьому діапазоні швидкості обертання двигуна. Також ці дозатори оснащені спеціальними контролерами з аналоговим та цифровим зв'язком, що дозволяє синхронізувати швидкості обертання з існуючою технологічною лінією. Завдяки сукупності всіх цих переваг, ця система дозування залишається ефективним та перспективним рішенням на ринку дозувальних систем. [4]

					МА41МД.01.00.00 ПЗ	Арк.
						21
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Переваги:

- Простота конструкції.
- Можливість дозувати практично будь який матеріал.
- Надійність.
- Висока швидкість роботи.
- Керування через контролер.
- Великий діапазон для регулювання швидкості дозування.
- Легкий процес очистки та обслуговування дозатора.
- Ідеально підійде для дозування порошків, гранул і дрібних сипких матеріалів.
- Може легко адаптуватися під конкретний матеріал змінюючи лише геометрію шнека.

Недоліки:

- Можливість роботи тільки в одному режимі – безперервному.
- Середня точність дозування 1-3%.
- Фізичні характеристики матеріалу сильно впливають на рівномірність подачі матеріалу.
- Має невисокий рівень герметичності .

1.3.4. Діскові поворотні затвори (дросельні заслінки)

Діскові поворотні затвори (дросельні заслінки) – це пристрої, що забезпечують перекриття потоку в трубопроводах. Ці пристрої є дуже розповсюдженими в багатьох галузях промисловості та на підприємствах з дозування сипучих та гранульованих матеріалів. Їх ставлять в місці де потрібно перервати потік сухого матеріалу, що зсипається чи рухається під пневматичним тиском. Хоча діскові поворотні затвори також використовуються в трубопроводах, призначених для рідин. Саме ці затвори є найбільш розповсюдженим рішенням для закриття та відсікання (рис.1.5).

					МА41МД.01.00.00 ПЗ	Арк.
						22
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

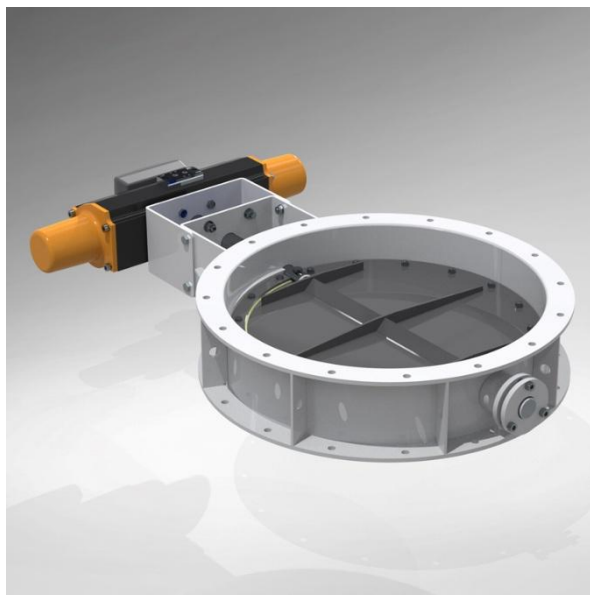


Рис.1.5. Дісковий поворотний затвор VKBV BICO-SERWIS [5]

Принцип роботи полягає у «перекритті або регулюванні потоку матеріалу за допомогою поворотного диска». Дісковий поворотний затвор VKBV працює таким чином, що в корпусі встановлюється круглий диск, який може обертатися навколо своєї осі. У положенні диска паралельно потоку, матеріал вільно проходить крізь нього. Після повороту диска та часткового перекриття перерізу для зсипання матеріалу – зменшується інтенсивність подачі. При повному закритті, тобто положенні перпендикулярно потоку диск повністю перекриває прохід зупиняючи цим подачу.

Отже, можна підвести підсумок, що головною ідеєю цієї системи є регулювання або зупинення потоку матеріалу через поворот диску всередині корпусу. Ця система може займати як повністю відкрите положення, так і повністю закрите, а також займати проміжні положення, здійснюючи тим самим регулювання потоку. Таким чином, дозування здійснюється не за рахунок зважування чи вимірювання маси, а через механічне регулювання прохідного перерізу потоку.

Головною перевагою такого типу затворів є те, що при повному перекритті гарантується герметичність в обох напрямках, а довговічність і простота конструкції роблять таку конструкцію найефективнішим промисловим рішенням такого типу.

					<i>МА41МД.01.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						23
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зазвичай заслінка працює у відкритому чи закритому положенні, хоча в деяких випадках її можна використати для регулювання швидкості потоку відкривши частково. Заслінка перекриває потік через обертовий диск на осі, який перпендикулярний напрямку потоку. [5]

Переваги:

- Простота конструкції.
- Можливість дозувати практично будь який матеріал.
- Гарантує повне закриття та герметичність з обох напрямків.
- Висока швидкодія.

Недоліки:

- Диск завжди присутній навіть при повному відкритті, що створює певний опір.
- При сильному налипанні на стінках та диску, можливе неповне закриття.

Висновок до розділу 1

Розглянуто застосування систем дозування на сучасному виробництві та в технологічних процесах багатьох галузей промисловості. Також визначені критерії за якими здійснюється підбір системи дозування в залежності від вимог по точності, умовами експлуатації, конструкції, фізико-механічними властивостями матеріалу та рівнем автоматизації.

Представлено класифікацію систем дозування та проаналізовано найбільш поширені способи дозування сипучого матеріалу в сучасній промисловості з детальним описом принципу роботи - бункерних, стрічкових, шнекових дозаторів, а також дискового поворотного затвору. Для кожного такого типу визначено головні переваги й недоліки, а також сфери, де вони найбільш ефективно застосовуються.

					<i>МА41МД.01.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						24
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ. 2. РОЗРОБКА ГІДРАВЛІЧНОЇ СИСТЕМИ ПРИВОДУ ВІДКРИТТЯ/ ЗАКРИТТЯ ЗАСЛІНКИ ТА КОВША

2.1. Розробка циклу роботи гідравлічної системи керування приводами

Під час розробки системи дозування було визначено основні властивості, які вона повинна мати, а саме:

- точне дозування сипучого матеріалу за заданою вагою;
- точне зважування дозуючого матеріалу;
- робота системи в двох режимах – швидкої подачі та більш повільної;
- врахування об'ємів тари для насипання;
- розрізнення тари за кольором;
- точне позиціонування ємності під насипання;
- переміщення ємності під насипання.

Відповідно до вимог було складено цикл роботи її виконавчих пристроїв. Згідно з визначеними властивостями, що має мати дана система, необхідно було забезпечити два режими роботи, в залежності від об'єму тари під насипання. Відповідно до вищезазначеного було визначено, що дана система являє собою систему 5-го класу складності, тобто вона є гнучкою та альтернативною, спочатку було складено два цикли роботи, що відповідали за два різні режими:

для швидкої подачі під більшу тару:

XSTART – NXO – XC – 1,2(X1,X2) – 3,4(X3,X4) – XT2 – N3,N4(XN3,XN4) – N1,N2(XN1,XN2);

для більш повільної подачі під меншу тару:

XSTART – XO – XC – 1,2(XC1,XC2) – 3,4(X3,X4) – XT1 – N3,N4(XN3,XN4) – N1,N2(XN1,XN2).

Згідно отриманих циклів, було сформовано повний цикл роботи системи, шляхом злиття аналогічно спрацьовуючих приводів та розрізнення при утворюваних змінах в спрацюванні. У результаті було отримано загальний цикл:

$$XSTART \rightarrow \begin{matrix} XO \rightarrow XC \rightarrow 1,2(XC1, XC2) \rightarrow 3,4(X3, X4) \rightarrow XT1 \\ NXO \rightarrow XC \rightarrow 1,2(X1, X2) \rightarrow 3,4(X3, X4) \rightarrow XT2 \end{matrix} \rightarrow N3, N4(XN3, XN4) \rightarrow N1, N2(XN1, XN2),$$

де XSTART – кнопка початку роботи нашої системи;

XO – сигнал від оптичного датчика;

NXO – відсутність сигналу від оптичного датчика;

XC – сигнал від ємнісного датчика;

1,2(XC1, XC2) – команда на витягування гідроциліндрів 1 та 2 до середнього положення;

1,2(X1, X2) – команда на витягування гідроциліндрів 1 та 2 до крайнього положення;

3,4(X3, X4) – команда на витягування гідроциліндрів 3 та 4 до крайнього положення;

XT1 – сигнал від тензOMETричного датчика меншої ваги спрацювання;

XT2 – сигнал від тензOMETричного датчика більшої ваги спрацювання;

N3, N4(XN3, XN4) – команда на втягування гідроциліндрів 3 та 4 до початкового положення;

N1, N2(XN1, XN2) – команда на втягування гідроциліндрів 1 та 2 до початкового положення.

Приводи 1,2 – гідравлічні циліндри для відкриття та закриття заслінки.

Приводи 3,4 – гідравлічні циліндри для відкриття та закриття ковша.

Для складеного циклу роботи було побудовано функціональний граф роботи системи (рис. 2.1.1), визначено лінії невизначеності та проведено лінії елементів пам'яті, що знешкоджують лінії невизначеності, після чого, було складено, рівняння команд керування кожним приводом з урахуванням їх розбіжностей в залежності від підциклів.

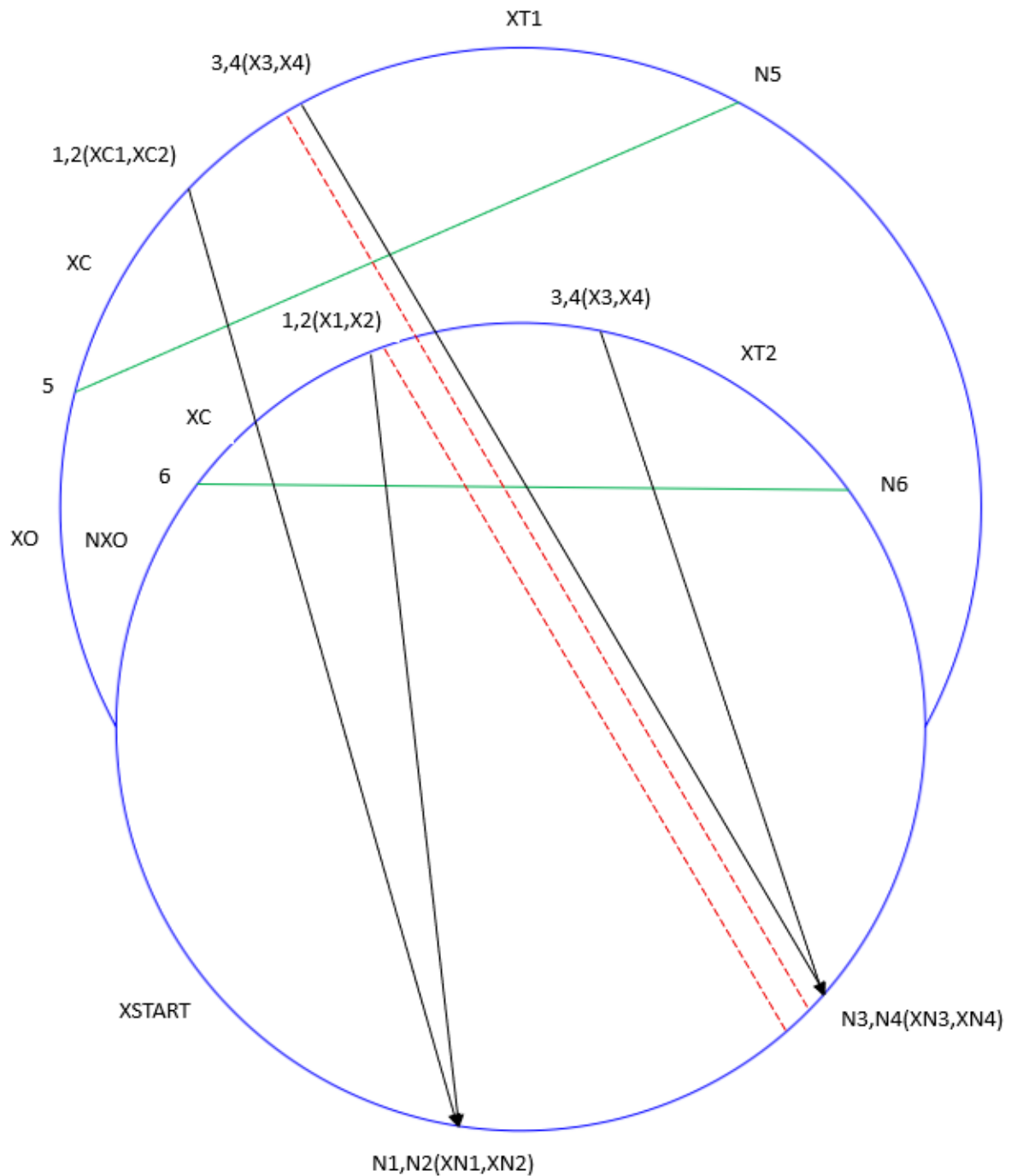


Рисунок 2.1.1 – Граф циклу роботи систем приводів дозуючого пристрою

Рівняння команд керування кожним приводом залежать від можливості кожного з них мати один чи два стійких стани. Попередньо було прийнято, що гідроприводи будуть керуватися розподільниками 4/3, що дають змогу для гідроприводів приймати проміжне положення. Такі розподільники, хоч і мають два сигнали, однак також мають проміжне положення, в яке вони повертаються одразу, після зникнення сигналу і відповідно, при складанні рівнянь керування класифікуються, як моностабільні, хоч і мають два сигнали

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МА41МД.01.00.00 ПЗ

Арк.

27

керування. Елементи пам'яті у свою чергу завжди мають два сигнали та два положення, що класифікує їх бістабільними, оскільки при спрацюванні розподільника, навіть під час втрати сигналу, його положення не зміниться до тих пір, поки не з'явиться протилежний сигнал. Відповідно рівняння керування мають вигляд:

команди керування моностабільними гідророзподільниками:

$$Y1=Y2=X5*XC*N(XC1*XC2)+XC*X6*N(XN3*XN4)=$$

$$=X5*XC*NXC1*NXC2+XC*X6*NXN3*NXN4$$

$$YN1=YN2=XN3*XN4*NX6*XC+XN3*XN4*NX5*XC=$$

$$=XN3*XN4*XC(NX6+NX5)$$

$$Y3=Y4=XC1*XC2*X5+X1*X2*X6$$

$$YN3=YN4=XN6*XT2+N(X1*X2)+XN5*XT1+N(XC1*XC2)*X5=$$

$$=XN6*XT2+NX1*NX2+XN5*XT1+NXC1*NXC2*X5;$$

команди керування бістабільними елементами пам'яті:

$$Y5=XN1*XN2*XSTART*ХО$$

$$YN5=X3*X4*XT1$$

$$Y6=XN1*XN2*XSTART*NXO$$

$$YN6=X3*X4*XT2$$

2.2. Опис роботи гідравлічної системи керування приводами

Відповідно до розробленого функціонального графа та команд керування виконавчими пристроями, маємо:

Циліндри №1,2 – здійснюють відкриття та закриття рухомої заслінки, початкове їх положення – втягнуте.

Циліндри №3,4 – здійснюють відкриття та закриття ковша, початкове їх положення – втягнуте.

Циліндри №1,2 – мають кінцеві (X1, X2, XN1 та XN2) та середні положення (XC1 та XC2).

Циліндри №3, 4 – мають лише кінцеві положення (X3, X4, XN3 та XN4).

					МА41МД.01.00.00 ПЗ	Арк.
						28
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відповідно, до наявних даних, було створено опис роботи системи, зазначений нижче, відповідно до якого, в подальшому було створено принципову гідравлічну схему.

Перед початком роботи система знаходиться в початковому стані, при якому штоки всіх циліндрів №1-№4 знаходяться у втягнутому положенні. Робота циклу починається з натискання кнопки XSTART, після спрацювання якої відбувається перевірка кольору ємності під дозування оптичним датчиком ХО. Якщо датчик не спрацьовує, наприклад, для випадку, коли колір ємності чорний або для випадку, коли оптичний датчик вийшов з ладу, тоді система обирає основний алгоритм роботи системи. Початок роботи після опитування оптичного датчика здійснюється лише після спрацювання ємнісного датчика ХС. Ємнісний датчик спрацює у випадку, коли ємність під дозування позиціонується точно під ковшем для зсипання матеріалу, що у випадку виходу з ладу оптичного датчика не дасть системі продовжувати цикл роботи. Лише після подачі сигналу ХС починається робота гідравлічних виконавчих пристроїв. Першими спрацьовують циліндри №1, 2, які відкривають рухому заслінку повністю у випадку основного алгоритму роботи (відсутній сигнал ХО), доки не спрацюють кінцеві датчики Х1, Х2. Цей режим розрахований на швидку подачу в більшу коробку – максимальне відкриття заслінки. У випадку коли ж алгоритм роботи пішов за альтернативним циклом (наявний сигнал ХО), циліндри №1, 2 відкривають рухому заслінку частково, доки не спрацюють датчики ХС1, ХС2, тоді режим розрахований на більш повільну подачу в меншу коробку. Одразу після спрацювання циліндрів №1, 2 в роботу вступають циліндри №3, 4, які відкривають ківш для зсипання матеріалу в зважувальну ємність. Незалежно від того, основний чи альтернативний цикл виконує система, гідроциліндри №3, 4 завжди займають свої кінцеві положення, поки не спрацюють датчики Х3, Х4, повністю відкриваючи ківш для зсипання. Саме з моменту початку відкриття ковша відбувається початок наповнення ємності під зважування. Оскільки, за завданням маємо дві ємності, перша коричнева, а інша чорна і вдвічі більша за першу, то і вага наповнення буде в них відрізнятися. Сигнал про досягнення меншою коробкою

					МА41МД.01.00.00 ПЗ	Арк.
						29
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(коричневої) заданої ваги буде здійснюватися тензометричним датчиком ХТ1, а наповнення більшої (чорної) аналогічно – датчиком ХТ2. Відразу після спрацювання будь якого з цих тензометричних датчиків, подається команда на швидке закриття ковша через втягування циліндрів №3, 4. Повне закриття здійснюється після досягнення циліндрами №3, 4 початкового свого положення ХN3, ХN4. Після спрацювання початкових датчиків про закриття ковша, подається команда на закриття рухомої заслінки через втягування циліндрів №1, 2. Повне закриття здійснюється після досягнення циліндрами №1, 2 початкового свого положення ХN1, ХN2. Після цього система зупиняє цикл роботи до повторного натискання кнопки ХSTART.

2.3. Побудова принципової схеми гідравлічної системи керування приводами

Згідно створеного опису роботи системи дозування сипучого матеріалу, було виконано побудову принципової гідравлічної схеми системи (рис. 2.3.1). У даній схемі було враховано всі вищезазначені елементи системи, а саме: елементи пам'яті, логічні елементи, виконавчі органи (гідроциліндри), органи керування (гідророзподільники), датчики положення та кнопки керування системою. Також під час побудови даної схеми керування було враховано що з логічних елементів в гідравліці існує відповідний аналог лише для функції додавання, тому функцію множення було представлено підключенням до розподільника 2/2 необхідних сигналів. Один з них підводиться в під'єднувальний отвір що має позначення Р, а інший до лінії керування розподільником, таким чином забезпечуючи виконання необхідної функції для системи. При цьому, функцію елементів пам'яті також виконують бістабільні розподільники до ліній керування якими підводяться лінії від відповідних елементів.

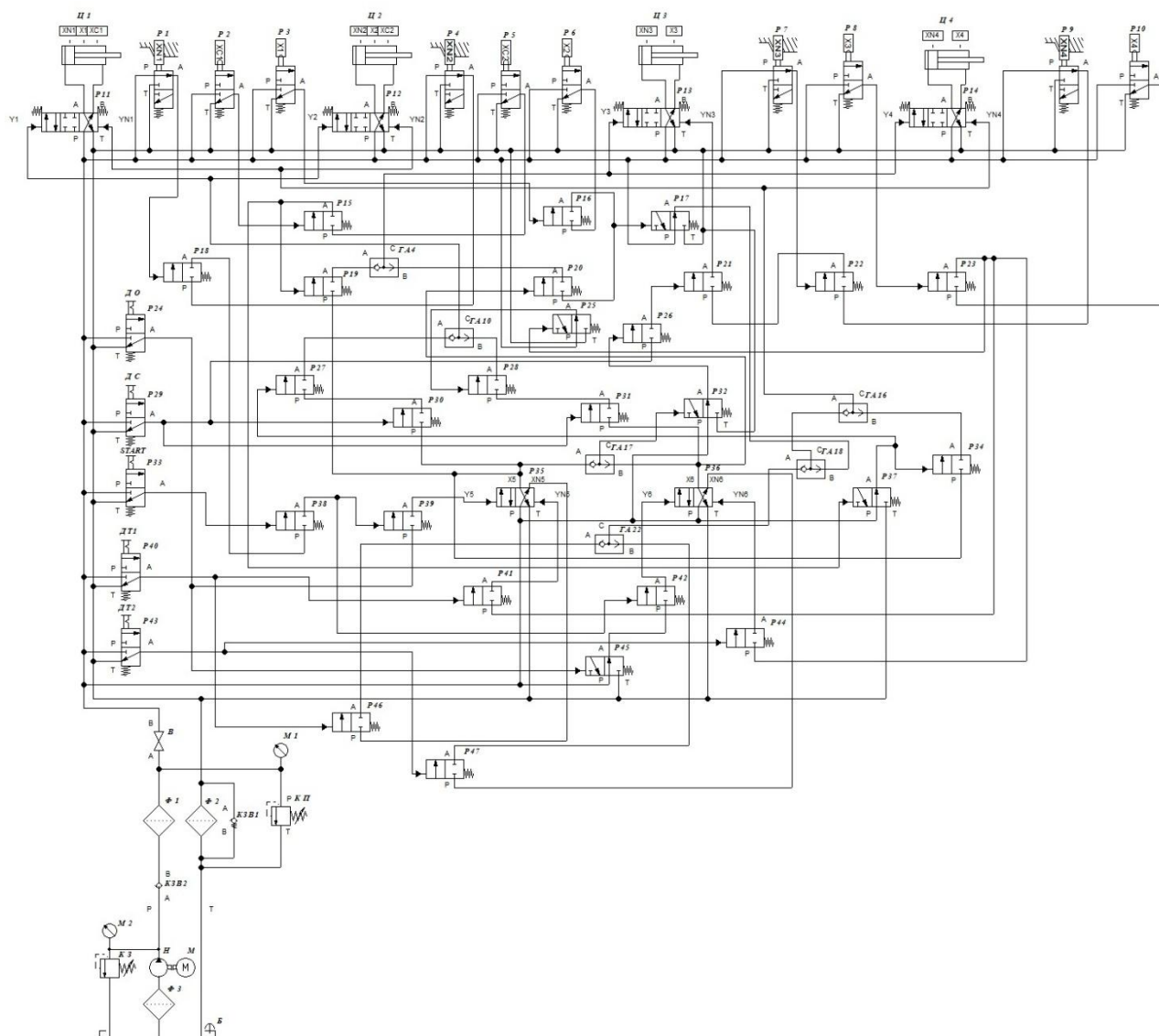


Рисунок 2.3.1 – Принципова гідравлічна схема системи дозування сипучих матеріалів

Система складається з гідроциліндрів двосторонньої дії №1-№4 (Ц1-Ц4), гідравлічних розподільчих клапанів типу 4/3 (P11-P14), гідравлічних датчиків положення (гідравлічних моностабільних розподільчих клапанів типу 3/2) на кожному з циліндрів (P1-P10), гідравлічних моностабільних розподільчих клапанів типу 3/2 (гідравлічний елемент множення) (P15, P16, P18-P23, P25-P28, P30, P31, P34, P38, P39, P41, P42, P44, P46, P47), гідравлічних бістабільних розподільчих клапанів типу 4/2 (гідравлічний елемент пам'яті) (P35, P36), гідравлічних моностабільних розподільчих клапанів типу 3/2 (гідравлічний логічний елемент інверсії) (P17, P25, P32, P37, P45), гідравлічних моностабільних розподільчих клапанів типу 3/2 (гідравлічні кнопки) (P24, P29,

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МА41МД.01.00.00 ПЗ

Арк.

31

Р33, Р40, Р43), гідравлічні апарати (гідравлічний логічний елемент множення «АБО»), гідравлічний вентиль (В), манометри (М1, М2), гідравлічні фільтри (Ф1-Ф3), гідравлічні зворотні клапани (КЗВ1, КЗВ2), клапан переливний регульований (редукційний – КП), клапан запобіжний регульований (КЗ), гідравлічний насос (Н), гідравлічний мотор (М), бак для зливу рідини (Б).

Перед початком роботи поршні в гідроциліндрах Ц1-Ц4 знаходяться в початковому втягнутому стані. Розподільники Р11-Р14 знаходяться в середньому положенні, за якого рідина не надходить до камер циліндра, а йде через переливний клапан відразу в бак. При натисканні кнопки START (розподільник Р33) та наявності сигналу від оптичного датчика ХО (на принциповій схемі зображено у вигляді розподільника Р24) та сигналів від ХN1 (розподільник Р1), ХN2 (розподільник Р4) відбувається ввімкнення елемента пам'яті У5 (на принциповій схемі зображено у вигляді розподільника Р35). При натисканні кнопки START та відсутності сигналу від оптичного датчика ХО та сигналів від ХN1, ХN2 відбувається ввімкнення елемента пам'яті У6 (на принциповій схемі зображено у вигляді розподільника Р36). При наявності сигналів від Х5 (розподільник Р35), ХС (ємнісний датчик, на схемі зображено у вигляді розподільника Р29) та відсутніх сигналів від ХС1 (розподільник Р2) та ХС2 (розподільник Р5) або при наявності сигналів від Х6 (розподільник Р36), ХС та відсутності сигналів від ХN3 (розподільник Р7) та ХN4 (розподільник Р9), відбувається перемикавання розподільників Р11 та Р12 в крайнє ліве положення завдяки чому рідина потрапляє в поршневу порожнину гідроциліндрів ГЦ1 та ГЦ2 і відбувається рух штоку на виштовхування. При наявності сигналів від ХС1, ХС2, та Х5 або при наявності сигналів від Х1 (розподільник Р3), Х2 (розподільник Р6) та Х6, відбувається перемикавання розподільників Р13 та Р14 в крайнє ліве положення завдяки чому рідина потрапляє в поршневу порожнину гідроциліндрів ГЦ3 та ГЦ4 і відбувається рух штоку на виштовхування. При наявності сигналу Х3 (розподільник Р8), Х4 (розподільник Р10) та наявності сигналу від тензометричного датчика ХТ1 (який зображено на схемі у вигляді розподільника Р40) відбувається

					МА41МД.01.00.00 ПЗ	Арк.
						32
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вимкнення елементу пам'яті UN5, що відіграє роль у вигляді розподільника P35. При наявності сигналу X3, X4 та наявності сигналу від тензометричного датчика ХТ2 (на принциповій схемі зображено у вигляді розподільника P43) відбувається вимкнення елементу пам'яті UN6. При наявності сигналу XN6 (розподільник P36), ХТ2 або відсутності сигналів від NX1, NX2 або наявності сигналів XN5, ХТ1 або відсутності сигналів ХС1,ХС2 та Х5 відбувається перемикання розподільників P13 та P14 в крайнє праве положення завдяки чому рідина потрапляє в штокову порожнину гідроциліндрів ГЦ3 та ГЦ4 і відбувається рух штоку на втягування. При наявності сигналу XN3, XN4, ХС та відсутності сигналу Х6 або наявності сигналу XN3, XN4, ХС та відсутності сигналу Х5 відбувається перемикання розподільників P11 та P12 в крайнє праве положення завдяки чому рідина потрапляє в штокову порожнину гідроциліндрів ГЦ1 та ГЦ2 і відбувається рух штоку на втягування.

2.4. Побудова принципової електрорелейної схеми гідравлічної системи керування приводами

Згідно створеного опису роботи системи дозування сипучого матеріалу було виконано побудову принципової електрорелейної схеми системи (рис. 2.4.1). Аналогічно до принципової гідравлічної схеми, в даній схемі було використано всі необхідні елементи, відповідно до складеного функціонального графу та системи рівнянь керування гідроприводами, однак, на відміну від гідравлічної схеми, в якій роль логічних елементів виконували розподільники з бістабільним гідравлічним керуванням, в даній системі їх роль відіграють реле керування, що містять в своєму під'єднанні до мережі замкнені та розімкнені контакти від датчиків, що використовуються в системі, що паралельно під'єднані до розімкненого контакту від цього самого реле, таким чином самопідхватуючи себе та поєднуються в лінії, що містить замкнений контакт від реле, що відповідає за їх відключення. При використанні такого елементу пам'яті в схемі застосовується контакт лише від

					МА41МД.01.00.00 ПЗ	Арк.
						33
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

увімкнення елементу пам'яті, контакт від його вимкнення використовується лише при створенні сигналу даного елементу.

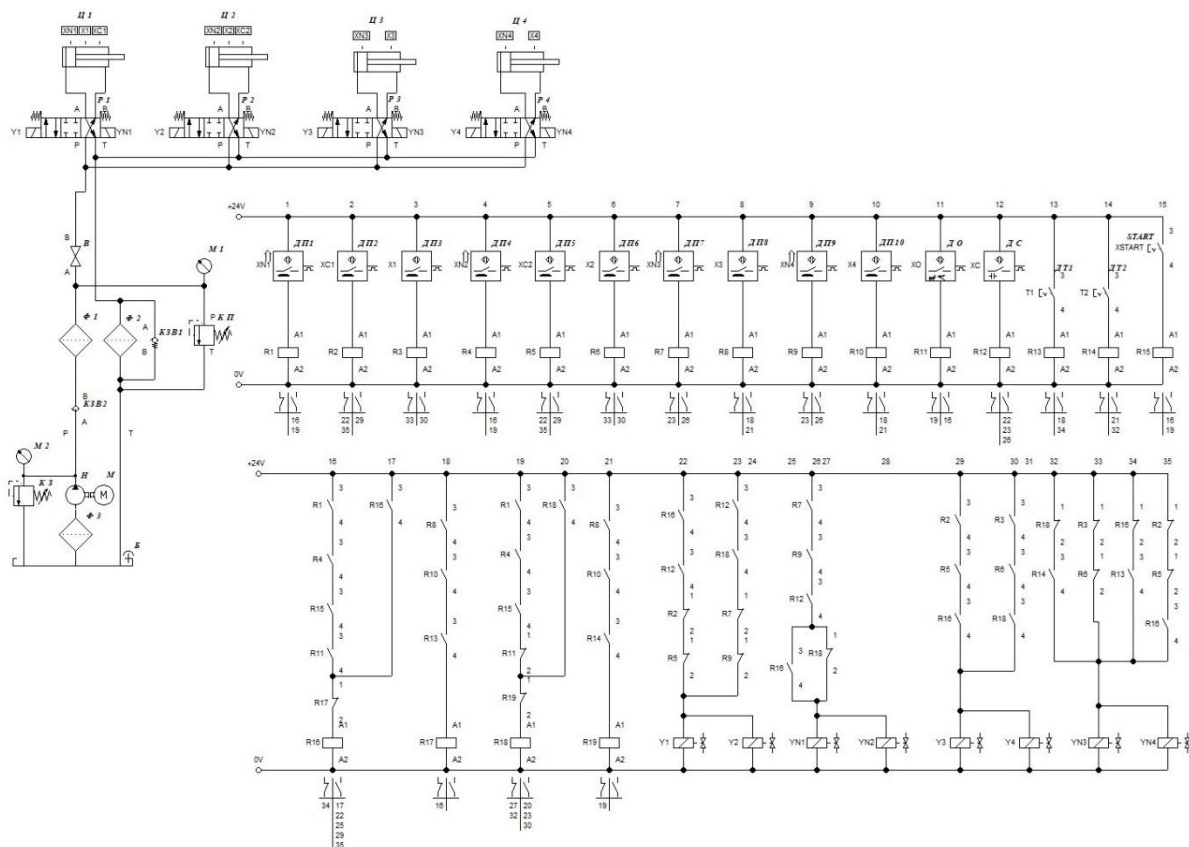


Рисунок 2.4.1 – Принципова електрорелейна схема системи дозування сипучих матеріалів

Система складається з гідроциліндрів двосторонньої дії №1-№4 (Ц1-Ц4), гідравлічних розподільчих клапанів типу 4/3 (Р11-Р14), індукційних датчиків положення (ДП1-ДП10), оптичного датчика (ДО), ємнісного датчика (ДС), кнопок з фіксацією, що виконують роль тензометричних датчиків (ДТ1, ДТ2), кнопки з фіксацією (START), реле (R1-R15), реле елементів пам'яті (R16-R19), соленоїдів (Y1-YN4), гідравлічний вентиль (В), манометри (М1, М2), гідравлічні фільтри (Ф1-Ф3), гідравлічні зворотні клапани (КЗВ1, КЗВ2), клапан переливний регульований (редукційний – КП), клапан запобіжний регульований (КЗ), гідравлічний насос (Н), гідравлічний мотор (М), бак для зливу рідини (Б).

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МА41МД.01.00.00 ПЗ

Арк.

34

Перед початком роботи поршні в циліндрах Ц1-Ц4 знаходяться в початковому втягнутому стані. Розподільники Р1-Р4 знаходяться в середньому положенні за якого рідина не надходить до камер циліндра, а йде через переливний клапан відразу в бак. При натисканні кнопки START (XSTART) та наявності сигналу від оптичного датчика ХО (який зображено на схемі у вигляді оптичного датчика ДО) та сигналів від ХN1 (індукційного датчика ДП1), ХN2 (індукційного датчика ДП4) відбувається ввімкнення елемента пам'яті R16 (реле). А при натисканні кнопки START та відсутності сигналу від оптичного датчика ХО та сигналів від ХN1, ХN2 відбувається ввімкнення елемента пам'яті R18 (реле). При наявності сигналів від елемента пам'яті R16, R12 (ємнісний датчик ДС) та відсутніх сигналів від ХС1 (індукційний датчик ДП2) та ХС2 (індукційний датчик ДП5) або при наявності сигналів від елемента пам'яті R18, R12 та відсутності сигналів від ХN3 (індукційний датчик ДП7) та ХN4 (індукційний датчик ДП9) відбувається перемикання розподільників Р1 та Р2 в крайнє ліве положення завдяки чому рідина потрапляє в поршневу порожнину гідроциліндрів ГЦ1 та ГЦ2 і відбувається рух штоку на виштовхування. При наявності сигналів від ХС1, ХС2 та R16 або при наявності сигналів від Х1 (індукційного датчика ДП3), Х2 (індукційного датчика ДП6) та R18, відбувається перемикання розподільників Р3 та Р4 в крайнє ліве положення завдяки чому рідина потрапляє в поршневу порожнину гідроциліндрів ГЦ3 та ГЦ4 і відбувається рух штоку на виштовхування. При наявності сигналу Х3 (індукційного датчика ДП8), Х4 (індукційного датчика ДП10) та наявності сигналу від тензометричного датчика ХТ1 (який зображено на схемі у вигляді кнопки ДТ1) відбувається вимкнення елемента пам'яті R17 (реле). При наявності сигналу Х3, Х4 та наявності сигналу від тензометричного датчика ХТ2 (який зображено на схемі у вигляді кнопки ДТ2) відбувається вимкнення елемента пам'яті УN6 (реле). При наявності сигналів від елемента пам'яті R19 (реле), ХТ2 або відсутності сигналів від NX1, NX2 ,або наявності сигналів R17, ХТ1, або відсутності сигналів ХС1,ХС2 та R16 відбувається перемикання розподільників Р3 та Р4 в крайнє праве положення ,завдяки чому рідина потрапляє в штокову

					МА41МД.01.00.00 ПЗ	Арк.
						35
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

порожнину гідроциліндрів ГЦ3 та ГЦ4 і відбувається рух штоку на втягування. При наявності сигналу XN3, XN4, XC та відсутності сигналу R18 або наявності сигналу XN3, XN4, XC, та відсутності сигналу R16 відбувається перемикання розподільників P1 та P2 в крайнє праве положення, завдяки чому рідина потрапляє в штокову порожнину гідроциліндрів ГЦ1 та ГЦ2 і відбувається рух штоку на втягування.

2.5. Побудова схеми підключення до контролера гідравлічної системи керування приводами

Аналогічно до попередніх принципових схем, в схемі підключення системи до контролера (рис. 2.5.1) було використано всі необхідні елементи, відповідно до складеного функціонального графу та системи рівнянь керування гідроприводами, однак, на відміну від попередніх схем, дана схема не має в собі логічних елементів чи елементів пам'яті, що зумовлено наявністю контролера, що містить в собі програму керування, яка в свою чергу містить їх в собі у вигляді прописаного коду.

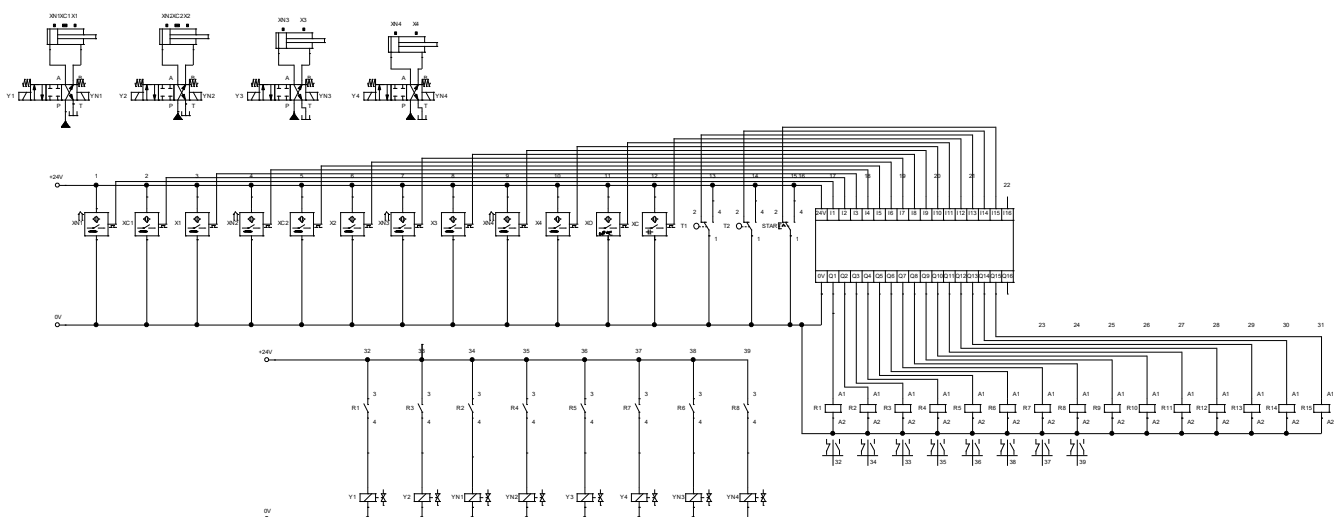
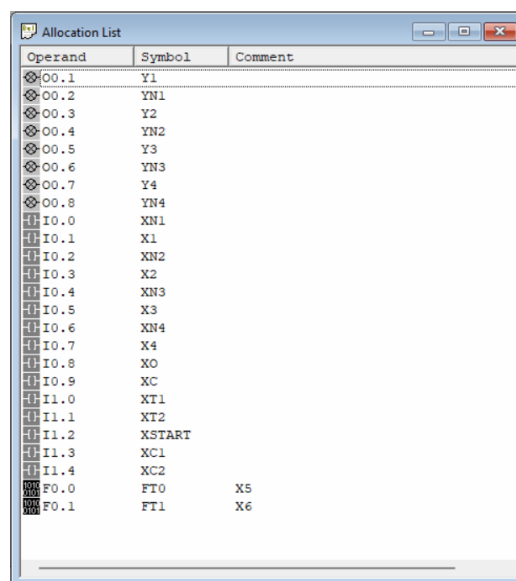


Рисунок 2.5.1 – Схема підключення системи дозування сипучих матеріалів до контролера

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Система складається з чотирьох гідроциліндрів двосторонньої дії, чотирьох гідравлічних розподільчих клапанів типу 4/3, індукційних датчиків положення, оптичного датчика, ємнісного датчика, кнопок з фіксацією, що виконують роль тензометричних датчиків, кнопки з фіксацією, реле, соленоїдів.

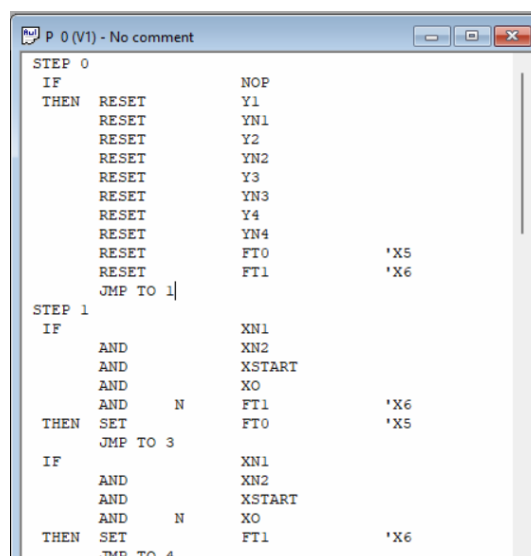
Відповідно до розробленої схеми підключення системи дозування сипучих матеріалів до контролера була написана програма керування мовою STL (додаток А) в програмі FST. Відповідно до розробленої схеми підключення було введено данні в Allocation List (рис.2.5.2).



Operand	Symbol	Comment
Q0.1	Y1	
Q0.2	YN1	
Q0.3	Y2	
Q0.4	YN2	
Q0.5	Y3	
Q0.6	YN3	
Q0.7	Y4	
Q0.8	YN4	
I0.0	XN1	
I0.1	X1	
I0.2	XN2	
I0.3	X2	
I0.4	XN3	
I0.5	X3	
I0.6	XN4	
I0.7	X4	
I0.8	X0	
I0.9	XC	
I1.0	XT1	
I1.1	XT2	
I1.2	XSTART	
I1.3	XC1	
I1.4	XC2	
F0.0	FT0	X5
F0.1	FT1	X6

Рисунок 2.5.2 – Allocation List

Програму було написано за кроковою структурою (рис. 2.5.3).



```

STEP 0
IF
THEN RESET Y1
      RESET YN1
      RESET Y2
      RESET YN2
      RESET Y3
      RESET YN3
      RESET Y4
      RESET YN4
      RESET FT0 'X5
      RESET FT1 'X6
      JMP TO 1

STEP 1
IF
AND XN1
AND XN2
AND XSTART
AND X0
AND N FT1 'X6
THEN SET FT0 'X5
      JMP TO 3
IF
AND XN1
AND XN2
AND XSTART
AND N X0
THEN SET FT1 'X6
      JMP TO 4
  
```

Рисунок 2.5.3 – Крокова система керування (STEP0-STEP1)

Крокова системи забезпечила легкий перехід як на основний так і на альтернативний цикли в залежності від вхідних даних, що поступають на контролер від встановлених в системі оптичних та ємнісних датчиків (рис.2.5.4).

```

STEP 1
IF
    AND      XN1
    AND      XN2
    AND      XSTART
    AND      XO
    AND      N   FT1      'X6
THEN SET     FT0      'X5
    JMP TO 3
IF
    AND      XN1
    AND      XN2
    AND      XSTART
    AND      N   XO
THEN SET     FT1      'X6
    JMP TO 4
    
```

Рисунок 2.5.4 – Перехід на відповідний цикл

Аналогічно за допомогою крокової системи відбувається легкий перехід на загальний цикл при завершенні повного циклу (основного або альтернативного) роботи системи (рис.2.5.5).

```

STEP 13
IF
    AND      XN1
    AND      XN2
    AND      N   XT1
THEN JMP TO 0
STEP 14
IF
    AND      XN1
    AND      XN2
    AND      N   XT2
THEN JMP TO 0
    
```

Рисунок 2.5.5 – Перехід на загальний цикл при завершенні повного циклу

2.6. Розрахунок гідравлічного приводу заслінки дозуючого пристрою та системи відкриття ковша

2.6.1. Визначення розмірів основного гідроциліндра

Розрахунок відбувався, відповідно до даних [10]:

Корисне зусилля основного гідроциліндра:

$$P = 1.340 \text{ кН} = 1340 \text{ Н}$$

Робочий тиск основного гідроциліндра:

$$p = 1.6 \text{ МПа} = 1600000 \text{ Па}$$

Час спрацювання основного гідроциліндра:

$$t_d = 2\text{с}$$

Довжина ходу основного гідроциліндра:

$$l = 200\text{мм} = 0.2\text{м}$$

Оскільки у основного гідроциліндра початкове положення - шток втягнуто, він працює на стиск при виштовхуванні поршня, відповідно внутрішній діаметр гідроциліндра Ц1 визначили за формулою (1) [10]:

$$D = \sqrt{\frac{4 * P}{\pi \left(\frac{p_1}{\psi} - p_2 \right) \eta_M}}, \quad (1)$$

де D – внутрішній діаметр гільзи, p_1 – тиск в напірній лінії, p_2 – тиск в зливній лінії, ψ – коефіцієнт відношення площ, η_M – механічний ККД гідроциліндра, P – корисне зусилля основного гідроциліндра.

При розрахунку попередньо прийняли:

$$p_1 = 1.6 \text{ МПа} = 1600000 \text{ Па}$$

$$p_2 = 0.1 \text{ МПа} = 100000 \text{ Па}$$

Коефіцієнт відношення площ обрали для гідроциліндра із нормальним діаметром штока:

$$\psi = 1.33$$

Механічний ККД обрали для гідроциліндра з манжетними ущільненнями:

$$\eta_M = 0.97$$

Під час розрахунку внутрішнього діаметра Ц1, для отримання значення в системі СІ (мм), отриманий результат домножуємо на 1000:

$$D = \sqrt{\frac{4 * P}{\pi \left(\frac{p_1}{\psi} - p_2 \right) \eta_M}} = 0.039943\text{м} = 39.943\text{мм}$$

Округлили до найближчого значення:

$$D = 40\text{мм} = 0.04\text{м}$$

					МА41МД.01.00.00 ПЗ	Арк.
						39
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Діаметр штока визначили за формулою (2) [10]:

$$d_d = D_d \sqrt{1 - \frac{1}{\psi}}, \quad (2)$$

де D_d – внутрішній діаметр гільзи допоміжного гідроциліндра, d_d – діаметр штока допоміжного гідроциліндра, ψ – коефіцієнт відношення площ.

$$d = D \sqrt{1 - \frac{1}{\psi}} = 19.92467 \text{ мм}$$

Округлили до найближчого значення:

$$d = 20 \text{ мм} = 0.02 \text{ м}$$

2.6.2. Визначення розмірів допоміжного гідроциліндра

Розрахунок відбувався, відповідно до даних:

Корисне зусилля допоміжного гідроциліндра:

$$P_d = 3 \text{ кН} = 3000 \text{ Н}$$

Робочий тиск допоміжного гідроциліндра:

$$p_d = 1.6 \text{ МПа} = 1600000 \text{ Па}$$

Час спрацювання допоміжного гідроциліндра:

$$t_d = 3 \text{ с}$$

Довжина ходу допоміжного гідроциліндра:

$$l_d = 0.25 \text{ м}$$

Аналогічно до основного гідроциліндра, визначили внутрішній діаметр гільзи допоміжного гідроциліндра:

$$D = \sqrt{\frac{4 * P}{\pi \left(\frac{p_1}{\psi} - p_2 \right) \eta_M}} = 59.76552 \text{ мм}$$

Округлили до найближчого значення:

$$D_d = 63 \text{ мм} = 0.063 \text{ м}$$

					МА41МД.01.00.00 ПЗ	Арк.
						40
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Аналогічно до основного гідроциліндра, діаметр штока допоміжного гідроциліндра визначили:

$$d_d = D_d \sqrt{1 - \frac{1}{\psi}} = 31.38136 \text{ мм}$$

Округлили до найближчого значення:

$$d_d = 32 \text{ мм} = 0.032 \text{ м}$$

2.6.3. Визначення розмірів підвідних отворів

Діаметр підвідних отворів основного гідроциліндра визначили за формулою (3) [10]:

$$d_{1,п} = \sqrt{\frac{4 * Q_{1,маx}}{\pi * v_p}}, \quad (3)$$

де $d_{1,п}$ – діаметр підвідних отворів основного гідроциліндра, $Q_{1,маx}$ – максимальна витрата рідини через прохідний отвір основного гідроциліндра, P – корисне зусилля основного гідроциліндра, p – робочий тиск основного гідроциліндра, d – діаметр штока, v_p – середня швидкість руху рідини.

Визначили максимальну витрату для основного гідроциліндра.

Площа поршневої порожнини основного гідроциліндра:

$$F_1 = \frac{\pi * D^2}{4} = 12.57 \text{ см}^2$$

Швидкість ШВ/ШВ:

$$v_{ш} = 3 \frac{\text{м}}{\text{хв}} = 0.05 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Максимальна витрата рідини через прохідний отвір основного гідроциліндра:

$$Q_{1,маx} = F_1 * v_{ш} = \frac{3.771 \text{ л}}{\text{хв}}$$

Середню швидкість, м/с, прийняли за:

$$v_p = 3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

					МА41МД.01.00.00 ПЗ	Арк.
						41
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначили діаметр підвідних отворів за формулою [10]:

$$d_{1,п} = \sqrt{\frac{4 * Q_{1,маx}}{\pi * v_p}} = 5.16603\text{мм}$$

Округлили до найближчого значення:

$$d_{1,п} = 6\text{мм} = 0.006\text{м}$$

За прийнятим діаметром визначили дійсну швидкість рідини, м/с:

$$v_p = \frac{4 * Q_{1,маx}}{\pi * d_{1,п}^2} = 2.223 \text{ м/с}$$

Визначили діаметр підвідних отворів допоміжного гідроциліндра [10]

$$d_{2,п} = \sqrt{\frac{4 * Q_{2,маx}}{\pi * v_p}}$$

де $d_{2,п}$ – діаметр підвідних отворів допоміжного гідроциліндра, $Q_{2,маx}$ – максимальна витрата рідини через прохідний отвір допоміжного гідроциліндра, v_p – середня швидкість руху рідини.

Визначили максимальну витрату для допоміжного гідроциліндра.

Площа поршневої порожнини допоміжного гідроциліндра:

$$F_2 = \frac{\pi * D_D^2}{4} = 31.17\text{см}^2$$

Швидкість руху допоміжного гідроциліндра:

$$v_{ш} = \frac{l_D}{t_D} = 0.083 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 5 \frac{\text{м}}{\text{хв}}$$

Максимальна витрата рідини через прохідний отвір допоміжного гідроциліндра:

$$Q_{2,маx} = F_2 * v_{ш} = 15.585 \frac{\text{л}}{\text{хв}}$$

Середню швидкість, м/с, прийняли за:

$$v_p = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Визначили діаметр підвідних отворів за формулою [10] :

$$d_{2,п} = \sqrt{\frac{4 * Q_{2,max}}{\pi * v_p}} = 8.11 \text{ мм}$$

Округлили до найближчого значення:

$$d_{2,п} = 10\text{мм} = 0.01\text{м}$$

За прийнятим діаметром визначили дійсну швидкість рідини, м/с:

$$v_p = \frac{4 * Q_{2,max}}{\pi * d_{2,п}^2} = 2.98\text{м/с}$$

2.6.4. Визначення розміри циліндрів

Визначені розміри основного гідроциліндра:

Внутрішній діаметр гільзи:

$$D = 40 \text{ мм} = 0.04 \text{ м}$$

Діаметр штока:

$$d = 20 \text{ мм} = 0.02\text{м}$$

Довжина ходу основного гідроциліндра:

$$l = 200\text{мм} = 0.2\text{м}$$

Діаметр підвідних отворів основного гідроциліндра:

$$d_{1,п} = 6\text{мм} = 0.006\text{м}$$

Визначені розміри допоміжного гідроциліндра:

Внутрішній діаметр гільзи допоміжного гідроциліндра:

$$D_d = 63\text{мм} = 0.063\text{м}$$

Діаметр штока допоміжного гідроциліндра:

$$d_d = 16\text{мм} = 0.016\text{м}$$

Довжина ходу допоміжного гідроциліндра:

$$l_d = 250\text{мм} = 0.25\text{м}$$

Діаметр підвідних отворів допоміжного гідроциліндра:

$$d_{2,п} = 10\text{мм} = 0.01\text{м}$$

2.6.5. Визначення витрат

Визначили площі робочих порожнин основного і допоміжного циліндрів.

Площа поршневої порожнини основного гідроциліндра:

$$F_1 = \frac{\pi * D^2}{4} = 12.57 \text{ см}^2$$

Площа штокової порожнини основного гідроциліндра:

$$f_1 = \frac{\pi * (D^2 - d^2)}{4} = 9.42 \text{ см}^2$$

Площа поршневої порожнини допоміжного гідроциліндра:

$$F_2 = \frac{\pi * D_d^2}{4} = 31.17 \text{ см}^2$$

Площа штокової порожнини допоміжного гідроциліндра:

$$f_2 = \frac{\pi * (D_d^2 - d_d^2)}{4} = 23.12 \text{ см}^2$$

Визначили витрати приводу, що працює по циклу:

XSTART → XO → XC → 1,2(XC1, XC2) → 3,4(X3, X4) → XT1
NXO → XC → 1,2(X1, X2) → 3,4(X3, X4) → XT2 → N3, N4(XN3, XN4)
→ N1, N2(XN1, XN2)

Визначили час спрацювання кожного гідроциліндра та витрату на кожному з тактів, для основного кола такти мають конфігурацію _1, а для допоміжного _2, а спільні такти не мають додаткового рівня списку:

Такт 1.1: Рух допоміжного гідроциліндра №1 від початкового положення XN1 до кінцевого положення X1.

Визначили час руху поршня виходячи з його швидкості та довжини ділянки:

$$v_{1.1} = 5 \text{ м/хв}$$

$$l_{1.1} = 250 \text{ мм} = 0.25 \text{ м}$$

$$t_{1.1} = \frac{l_{1.1}}{v_{1.1}} = 3 \text{ с}$$

Робоча площа в такті 1.1:

$$f_{1.1} = 31.17 \text{ см}^2$$

Витрата в такті 1.1:

$$Q_{1.1} = v_{1.1} * f_{1.1} = 15.585 \frac{\text{л}}{\text{хв}}$$

Такт 1.2: Рух допоміжного гідроциліндра №1 від початкового положення ХН1 до середнього положення ХС1.

Визначили час руху поршня виходячи з його швидкості та довжини ділянки:

$$v_{1.2} = 5 \text{ м/хв}$$
$$l_{1.2} = 125 \text{ мм} = 0.125 \text{ м}$$
$$t_{1.2} = \frac{l_{1.2}}{v_{1.2}} = 1.5 \text{ с}$$

Робоча площа в такті 1.2:

$$f_{1.2} = 31.17 \text{ см}^2$$

Витрата в такті 1.2:

$$Q_{1.2} = v_{1.2} * f_{1.2} = 15.585 \frac{\text{л}}{\text{хв}}$$

Такт 2: Рух основного гідроциліндра №3 від початкового положення ХН3 до кінцевого положення ХЗ.

Визначили час руху поршня виходячи з його швидкості та довжини ділянки:

$$v_2 = 3 \text{ м/хв}$$
$$l_2 = 200 \text{ мм} = 0.2 \text{ м}$$
$$t_2 = \frac{l_2}{v_2} = 4 \text{ с}$$

Робоча площа в такті 2:

$$f_2 = 12.57 \text{ см}^2$$

Витрата в такті 2:

$$Q_2 = v_2 * f_2 = 3.77 \frac{\text{л}}{\text{хв}}$$

Такт 3: Рух основного гідроциліндра №3 від кінцевого положення ХЗ до початкового положення ХН3.

Визначили час руху поршня виходячи з його швидкості та довжини ділянки:

$$v_3 = 4 \text{ м/хв}$$
$$l_3 = 200 \text{ мм} = 0.2 \text{ м}$$

					МА41МД.01.00.00 ПЗ	Арк.
						45
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$t_3 = \frac{l_3}{v_3} = 3 \text{ с}$$

Робоча площа в такті 3:

$$f_3 = 9.42 \text{ см}^2$$

Витрата в такті 3:

$$Q_3 = v_3 * f_3 = 3.77 \frac{\text{л}}{\text{хв}}$$

Такт 4.1: Рух допоміжного гідроциліндра №1 від кінцевого положення Х1 до початкового положення ХN1.

Визначили час руху поршня виходячи з його швидкості та довжини ділянки:

$$v_{4.1} = 6.74 \text{ м/хв}$$

$$l_{4.1} = 250 \text{ мм} = 0.25 \text{ м}$$

$$t_{4.1} = \frac{l_{4.1}}{v_{4.1}} = 2.22 \text{ с}$$

Робоча площа в такті 4.1:

$$f_{4.1} = 23.12 \text{ см}^2$$

Витрата в такті 4.1:

$$Q_{4.1} = v_{4.1} * f_{4.1} = 15.585 \frac{\text{л}}{\text{хв}}$$

Такт 4.2: Рух допоміжного гідроциліндра №1 від середнього положення ХС1 до початкового положення ХN1.

Визначили час руху поршня виходячи з його швидкості та довжини ділянки:

$$v_{4.2} = 6.74 \text{ м/хв}$$

$$l_{4.2} = 125 \text{ мм} = 0.125 \text{ м}$$

$$t_{4.2} = \frac{l_{4.2}}{v_{4.2}} = 1.11 \text{ с}$$

Робоча площа в такті 4.2:

$$f_{4.2} = 23.12 \text{ см}^2$$

Витрата в такті 4.2:

$$Q_{4.2} = v_{4.2} * f_{4.2} = 15.585 \frac{\text{л}}{\text{хв}}$$

					МА41МД.01.00.00 ПЗ	Арк.
						46
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отримані значення швидкості руху, відстані, часу, робочих площ та витрат на кожному з тактів занесли до таблиці 2.6.1:

Таблиця 2.6.1 – Розрахункові дані по тактам

Цикл	1, 2 (X1, X2)	1, 2 (XC1, XC2)	3, 4 (X3, X4)	N3, N4 (XN3, XN4)	N1, N2 (XN1, XN2)	N1, N2 (XN1, XN2)
Такти	1.1	1.2	2	3	4.1	4.2
Швидкість м/хв	5	5	3	4	6.74	6.74
Довжина ділянки, l, мм	250	125	200	200	250	125
Час спрацюван ня, t,с	3	1.5	4	3	2.22	1.11
Робоча площа, см ²	31.17	31.17	12.57	9.42	23.12	23.12
Витрата, л/хв	15.585	15.585	3.77	3.77	15.585	15.585

Оскільки, в розрахунку витрат ми враховували спрацювання лише одного з двох синхронно працюючих гідроциліндрів, де №1, 2 – допоміжні синхронно працюючі гідроциліндри, що відкривають заслінку, №3, 4 – основні синхронно працюючі гідроциліндри, що відкривають ковш, то для визначення повної витрати за кожен такт достатньо помножити кожне зі значень витрати на 2, цим самим розрахуємо витрату при синхронній дії двох циліндрів.

Отже, витрати для кожного такту будуть мати такі значення:

Такт 1.1 Основний цикл: (За відсутності сигналу від оптичного датчика NXO та наявності сигналу від ємнісного датчика XC відбувається –

синхронний рух допоміжних циліндрів №1 та №2 від початкового положення XN1, XN2 до кінцевого положення X1,X2) $Q_{1.1} = 15.585 * 2 = 31.17$ л/хв

Такт 1. Альтернативний цикл: (за наявності сигналу від оптичного датчика ХО та наявності сигналу від ємнісного датчика ХС відбувається – синхронний рух допоміжних циліндрів №1 та №2 від початкового положення XN1, XN2 до середнього положення ХС1,ХС2) $Q_{1.2} = 15.585 * 2 = 31.17$ л/хв

Такт 2. Основний або альтернативний цикл: (За наявності сигналу від оптичного датчика ХО та наявності сигналу від ємнісного датчика ХС, або за відсутності сигналу від оптичного датчика NXO та наявності сигналу від ємнісного датчика ХС відбувається – синхронний рух основних циліндрів №3 та №4 від початкового положення XN3, XN4 до кінцевого положення X3,X4) $Q_2 = 3.77 * 2 = 7.54$ л/хв

Такт 3. Основний або альтернативний цикл: (За наявності сигналу від датчиків положення X3,X4, а також сигналу від тензометричного датчика ХТ1 або ХТ2 відбувається – синхронний рух основних циліндрів №3 та №4 від кінцевого положення X3,X4 до початкового положення XN3,XN4) $Q_3 = 3.77 * 2 = 7.54$ л/хв

Такт 4.1 Основний цикл: (За наявності сигналу від датчиків положення XN3,XN4, а також сигналу від тензометричного датчика ХТ1 або ХТ2 відбувається – синхронний рух допоміжних циліндрів №1 та №2 від кінцевого положення X1,X2 до початкового положення XN1,XN2) $Q_{4.1} = 15.585 * 2 = 31.17$ л/хв

Такт 4.2 Альтернативний цикл: (За наявності сигналу від датчиків положення XN3,XN4, а також сигналу від тензометричного датчика ХТ1 або ХТ2 відбувається – синхронний рух допоміжних циліндрів №1 та №2 від середнього положення ХС1,ХС2 до початкового положення XN1,XN2) $Q_{4.2} = 15.585 * 2 = 31.17$ л/хв

Отже, маючи результуючі значення витрат для кожного такту та визначивши час на їх спрацювання створили таблицю (табл. 2.6.2) та побудували діаграму витрат та часу (див. рис. 2.6.1) за кожним з тактів:

					<i>МА41МД.01.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						48
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.6.2 – Підсумкові дані по тактам

Цикл	1, 2 (X1, X2)	1, 2 (XC1, XC2)	3, 4 (X3, X4)	N3, N4 (XN3, XN4)	N1, N2 (XN1, XN2)	N1, N2 (XN1, XN2)
Такти	1.1	1.2	2	3	4.1	4.2
Час спрацюван ня, t, с	3	1.5	4	3	2.22	1.11
Витрата, л/хв	31.17	31.17	7.54	7.54	31.17	31.17

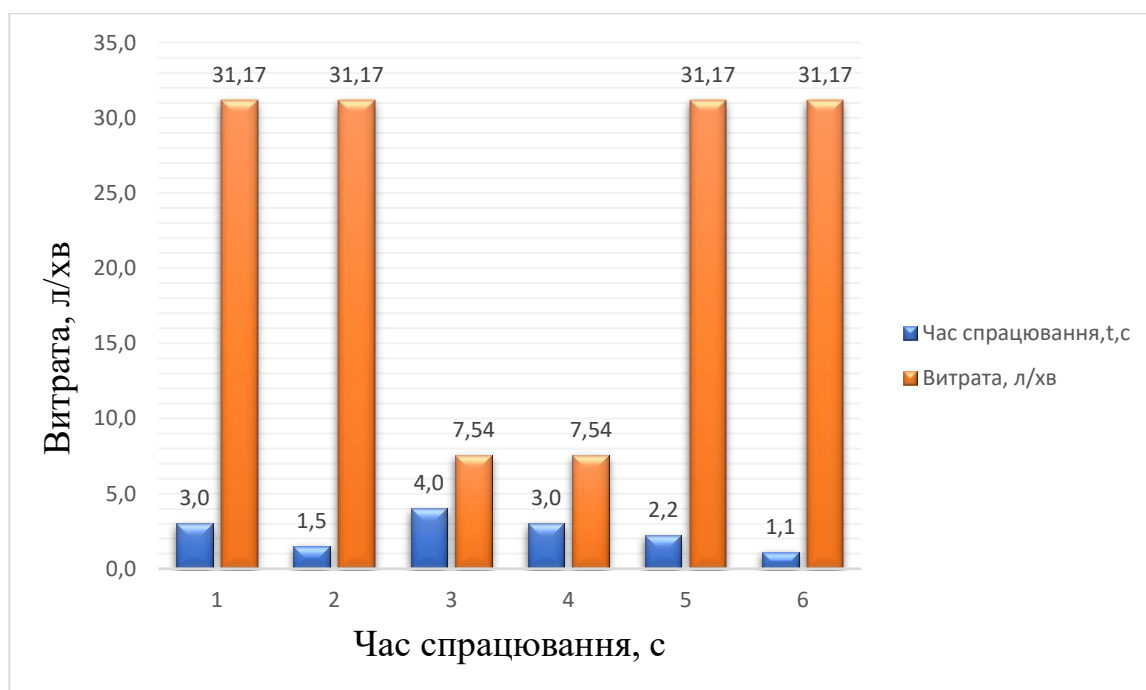


Рисунок 2.6.1 – Порівняльна діаграма витрат та часу за циклами

2.6.6. Визначення тисків

Перепад тисків в порожнинах гідроциліндрівм визначили за формулою (4) [10]:

$$\Delta p = p_n - p_{зл}, \quad (4)$$

де Δp – перепад тиску, p_n – тиск в робочій порожнині, $p_{зл}$ – тиск в зливній порожнині, p – робочий тиск основного гідроциліндра.

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МА41МД.01.00.00 ПЗ

Арк.

49

Визначили тиски в робочих порожнинах по тактам:

Такт 1.1: Синхронний рух допоміжних гідроциліндрів №1 та №2 від початкового положення XN1, XN2 до кінцевого положення X1,X2

При виштовхуванні штока гідроциліндрів №1 та №2:

$$p_{н,1.1} = \frac{P_D}{F_2 * \eta_M} + \frac{p_{зл}}{\psi} = 0.74301 \text{ МПа}$$

Такт 1.2: Синхронний рух допоміжних гідроциліндрів №1 та №2 від початкового положення XN1, XN2 до середнього положення XC1,XC2

При виштовхуванні штока гідроциліндра №1 та №2:

$$p_{н,1.2} = \frac{P_D}{F_2 * \eta_M} + \frac{p_{зл}}{\psi} = 0.74301 \text{ МПа}$$

Такт 2: Синхронний рух основних гідроциліндрів №3 та №4 від початкового положення XN3, XN4 до кінцевого положення X3,X4

При виштовхуванні штока гідроциліндра №3 та №4:

$$p_{н,2} = \frac{P_D}{F_1 * \eta_M} + \frac{p_{зл}}{\psi} = 0.77035 \text{ МПа}$$

Такт 3: Синхронний рух основних циліндрів №3 та №4 від кінцевого положення X3,X4 до початкового положення XN3,XN4

При втягуванні штока гідроциліндра №3 та №4:

$$p_{н,3} = \left(\frac{P_D}{f_1 * \eta_M} + p_{зл} \right) * \psi = 1.30194 \text{ МПа}$$

Такт 4.1: Синхронний рух допоміжних циліндрів №1 та №2 від кінцевого положення X1,X2 до початкового положення XN1,XN2

При втягуванні штока гідроциліндра №1 та №2:

$$p_{н,4.1} = \left(\frac{P_D}{f_2 * \eta_M} + p_{зл} \right) * \psi = 1.34955 \text{ МПа}$$

Такт 4.2: Синхронний рух допоміжних циліндрів №1 та №2 від середнього положення XC1,XC2 до початкового положення XN1,XN2

При втягуванні штока гідроциліндра №1 та №2:

$$p_{н,4.2} = \left(\frac{P_D}{f_2 * \eta_M} + p_{зл} \right) * \psi = 1.34955 \text{ МПа}$$

					МА41МД.01.00.00 ПЗ	Арк.
						50
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підсумкові дані по тактах, а саме по значенням тисків в робочих порожнинах, витратам та часу відпрацювання кожного з тактів записали в табл. 2.6.3 та відобразили на рис. 2.6.2-2.6.3

Таблиця 2.6.3 – Тиски, витрати та час відпрацювання кожного з тактів

Такти	1.1	1.2	2	3	4.1	4.2
Час спрацювання, t, c	3	1.5	4	3	2.22	1.11
Витрата, л/хв	31.17	31.17	7.54	7.54	31.17	31.17
Тиск в робочій порожнині, Мпа	0.74301	0.74301	0.77035	1.30194	1.34955	1.34955

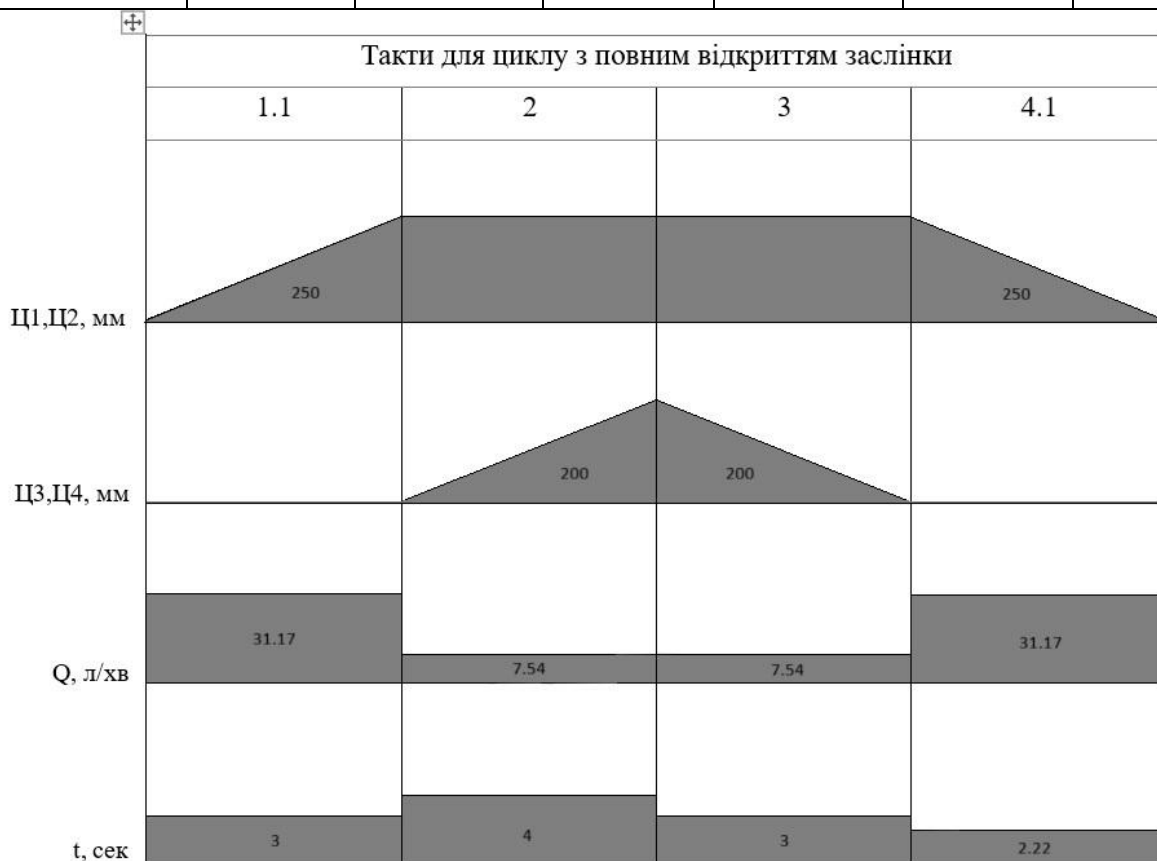


Рисунок 2.6.2 – Циклограма роботи приводу

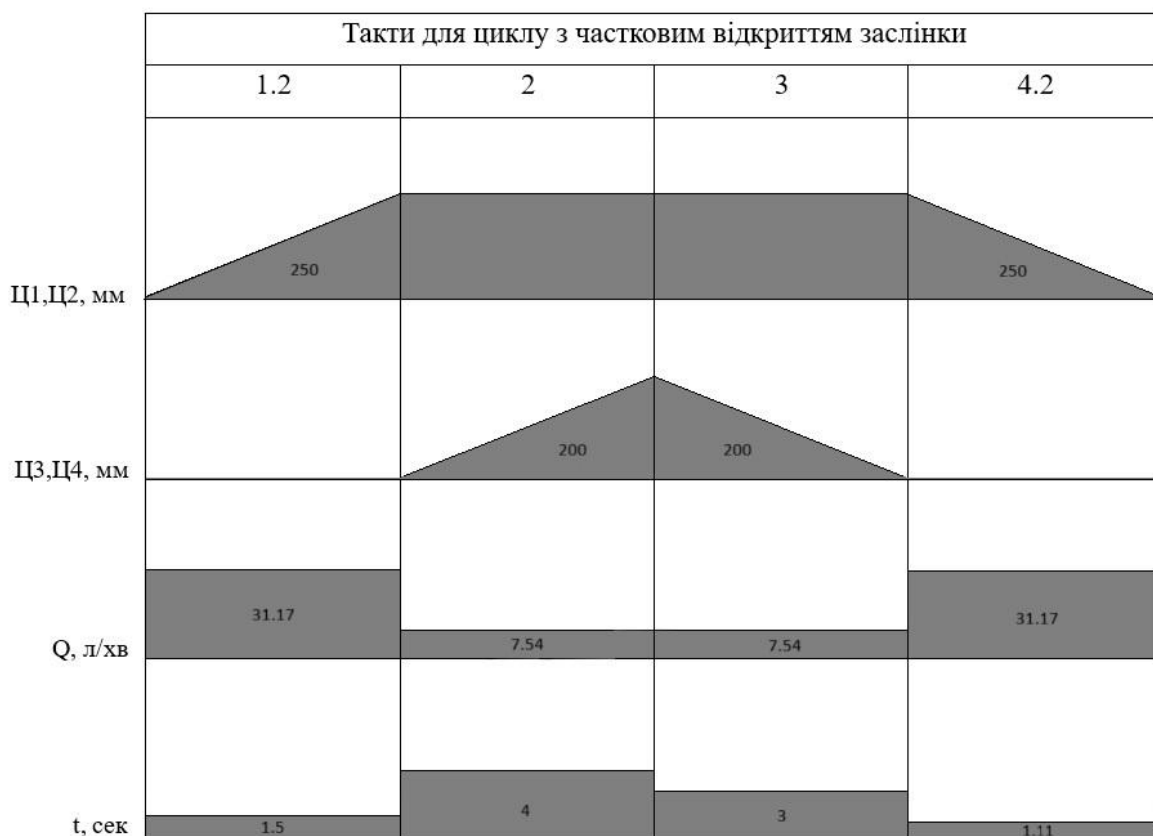


Рисунок 2.6.3 – Циклограма роботи приводу

2.6.7. Вибір насоса та схеми насосної установки

Оптимальна витрата насоса за формулою: [10]

$$Q_n = \frac{k_3 * V_{\text{ц}}}{t_{\text{ц}}} = \frac{1,15 * (Q_1 * t_1 + \dots * Q_{16} * t_{16})}{t_{\text{ц}}} = 20.279 \frac{\text{л}}{\text{хв}}$$

Оскільки оптимальна витрата насоса буде меншою за витрату яка необхідна для спрацюванні тактів 1.1, 1.2, 4.1, 4.2 то приймаємо витрату, яка буде рівною найбільшому значенню витрати за всі такти.

Витрата, на яку розраховано насос:

$$Q_n = \frac{0.000533 \text{ м}^3}{\text{с}} = 32 \frac{\text{л}}{\text{хв}}$$

В подільшому при виборі насосу будемо розглядати насоси з обраним значенням, або насоси з більшою витратою оскільки згідно з циклограмою мінімальне значення витрати для першого та четвертого такту будь якого з циклів переважає розраховане значення.

2.7. Гідравлічний розрахунок

2.7.1. Вибір розмірів трубопроводів

Визначили внутрішній діаметр труби для напірної і зливної ліній кожного з гідроциліндрів за формулою (5) [10]:

$$d = \sqrt{\frac{4 * Q_T}{\pi * v_{cp}}}, \quad (5)$$

де d_T – внутрішній діаметр трубопроводу, Q_T – витрата рідини на ділянці, що розраховується, v_{cp} – середня швидкість руху рідини.

Після цього за визначеним стандартним розміром трубопроводу знайшли дійсну швидкість рідини за формулою (6) [10]:

$$v_p = \frac{4 * Q_T}{\pi * d_T^2}, \quad (6)$$

де d_T – внутрішній діаметр трубопроводу, Q_T – витрата рідини на ділянці, щорозраховується, v_p – дійсна швидкість руху рідини.

Трубопроводи, що відносяться до допоміжного гідроциліндра, розраховували за витратою такту №1:

$$Q_T = 15.585 \text{ л/хв} = 0.00026 \text{ м}^3/\text{с}$$

Для напірної лінії:

Середня швидкість руху рідини:

$$v_{cp} = 4 \text{ м/с}$$

Внутрішній діаметр труби:

$$d_T = \sqrt{\frac{4 * Q_T}{\pi * v_{cp}}} = \sqrt{\frac{4 * 0.00026}{3.14 * 4}} = 9.099 \text{ мм}$$

Округлили до найближчого значення:

$$d_T = 10 \text{ мм}$$

Визначили дійсну швидкість:

$$v_p = \frac{4 * Q_T}{\pi * d_T^2} = \frac{4 * 0,00026}{3.14 * 10^2} = 3.31 \text{ м/с}$$

Дійсна швидкість знаходиться в діапазоні швидкостей, прийнятих для напірних ліній:

$$3\text{м/с} \leq 3.31 \text{ м/с} \leq 6\text{м/с}$$

Для зливної лінії:

Середня швидкість руху рідини:

$$v_{cp} = 1.8 \text{ м/с}$$

Внутрішній діаметр труби:

$$d_T = \sqrt{\frac{4 * Q_T}{\pi * v_{cp}}} = \sqrt{\frac{4 * 0,00026}{3.14 * 1.8}} = 13.56\text{мм}$$

Округлили до найближчого значення:

$$d_T = 14\text{мм}$$

Визначили дійсну швидкість:

$$v_p = \frac{4 * Q_T}{\pi * d_T^2} = \frac{4 * 0,00026}{3.14 * 14^2} = 1.69 \text{ м/с}$$

Дійсна швидкість знаходиться в діапазоні швидкостей, прийнятих для зливних ліній:

$$1.4\text{м/с} \leq 1.69\text{м/с} \leq 2.2\text{м/с}$$

Трубопроводи, що відносяться до основного гідроциліндра, розраховували за витратою такту №2:

$$Q_T = 3.77 \text{ л/хв} = 0.0000628 \text{ м}^3/\text{с}$$

Для напірної лінії:

Середня швидкість руху рідини:

$$v_{cp} = 4 \text{ м/с}$$

Внутрішній діаметр труби:

$$d_T = \sqrt{\frac{4 * Q_T}{\pi * v_{cp}}} = \sqrt{\frac{4 * 0.0000628}{3.14 * 4}} = 4.47 \text{ мм}$$

Округлили до найближчого значення за другорядним рядом ДЕРЖСТАНДАРТУ 8732-78:

$$d_T = 5 \text{ мм}$$

Визначили дійсну швидкість:

$$v_p = \frac{4 * Q_T}{\pi * d_T^2} = \frac{4 * 0.0000628}{3.14 * 5^2} = 3.2 \text{ м/с}$$

Дійсна швидкість знаходиться в діапазоні швидкостей, прийнятих для напірних ліній:

$$3 \text{ м/с} \leq 3.2 \text{ м/с} \leq 6 \text{ м/с}$$

Для зливної лінії:

Середня швидкість руху рідини:

$$v_{cp} = 1.8 \text{ м/с}$$

Внутрішній діаметр труби:

$$d_T = \sqrt{\frac{4 * Q_T}{\pi * v_{cp}}} = \sqrt{\frac{4 * 0.0000628}{3.14 * 1.8}} = 6.67 \text{ мм}$$

Округлили до найближчого значення за другорядним рядом ДЕРЖСТАНДАРТУ 8732-78:

$$d_T = 7 \text{ мм}$$

Визначили дійсну швидкість

$$v_p = \frac{4 * Q_T}{\pi * d_T^2} = \frac{4 * 0.0000628}{3.14 * 7^2} = 1.63 \text{ м/с}$$

Дійсна швидкість знаходиться в діапазоні швидкостей, прийнятих для зливних ліній:

$$1.4 \text{ м/с} \leq 1.63 \text{ м/с} \leq 2.2 \text{ м/с}$$

					МА41МД.01.00.00 ПЗ	Арк.
						55
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.7.2. Тепловий розрахунок

При роботі гідроприводу внаслідок механічних, гідравлічних і об'ємних втрат відбувається виділення теплової енергії, що йде на нагрівання гідробака з маслом, а також розсіюється в навколишній простір.

Кількість теплоти Q , кДж, виділеної в гідроприводі за 1 год роботи t визначають різницею споживаної N_H і ефективної N_E потужностей (кВт):

Потужність споживана насосом N_H (Вт), визначили за формулою (7), а ефективна потужність гідродвигуна N_E (Вт), визначили за формулою (8) [10]:

$$N_{Hi} = \frac{P_{Hi} * Q_{Hi}}{\eta_H}, \quad (7)$$

де p_H – тиск на виході насоса, Q_H – подача насоса, η_H – повний ККД насоса, p – тиску гідродвигуні, Q – витрата гідродвигуна, η_D – повний ККД гідродвигуна.

$$N_{Hi} = \frac{1600000 * 0.000533}{0.8} = 1066 \text{ Вт}$$

$$N_{Ei} = p_i Q_i \eta_D, \quad (8)$$

$$N_{E1.1} = 0.74301 \cdot 10^6 \cdot 5.195 \cdot 10^{-4} \cdot 0.95 = 366.6 \text{ Вт}$$

$$N_{E1.2} = 0.74301 \cdot 10^6 \cdot 5.195 \cdot 10^{-4} \cdot 0.95 = 366.6 \text{ Вт}$$

$$N_{E2} = 0.77035 \cdot 10^6 \cdot 1.2567 \cdot 10^{-4} \cdot 0.95 = 91.9 \text{ Вт}$$

$$N_{E3} = 1.30194 \cdot 10^6 \cdot 1.2567 \cdot 10^{-4} \cdot 0.95 = 15.5 \text{ Вт}$$

$$N_{E4.1} = 1.34955 \cdot 10^6 \cdot 5.195 \cdot 10^{-4} \cdot 0.95 = 66.6 \text{ Вт}$$

$$N_{E4.2} = 1.34955 \cdot 10^6 \cdot 5.195 \cdot 10^{-4} \cdot 0.95 = 66.6 \text{ Вт}$$

Кількість теплоти θ , що виділяється в гідроприводі за 1 год роботи, визначили, як алгебраїчну суму кількості теплоти θ_i для кожного такту, за формулою (9) [10]:

$$\theta = \sum_{i=1}^n \theta_i, \quad (9)$$

					МА41МД.01.00.00 ПЗ	Арк.
						56
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З урахуванням записаного виразу кількість теплоти θ_i визначили за формулою (10) [10] :

$$\theta_i = 3600(N_{Hi} - N_{Ei}) \frac{t_i}{t_{\text{ц}}}, \quad (10)$$

Основний і альтернативний цикл мають розбіжність в часових рамках в наслідок неповного відкриття заслінки в одному з них, відповідно для кожного такту було виконано подвійний розрахунок для кількості теплоти:

$$\theta_{1.1} = 3600(1066 - 366.6) \frac{3}{12.22} = 618127.6 \frac{\text{Дж}}{\text{год}}$$

$$\theta_2 = 3600(1066 - 91.9) \frac{4}{12.22} = 1147875.3 \frac{\text{Дж}}{\text{год}}$$

$$\theta_3 = 3600(1066 - 15.5) \frac{3}{12.22} = 928428.8 \frac{\text{Дж}}{\text{год}}$$

$$\theta_{4.1} = 3600(1066 - 66.6) \frac{2.22}{12.22} = 653617.4 \frac{\text{Дж}}{\text{год}}$$

$$\theta_{1.2} = 3600(1066 - 366.6) \frac{1.5}{9.61} = 393003.1 \frac{\text{Дж}}{\text{год}}$$

$$\theta_2 = 3600(1066 - 91.9) \frac{4}{9.61} = 1459630 \frac{\text{Дж}}{\text{год}}$$

$$\theta_3 = 3600(1066 - 15.5) \frac{3}{9.61} = 1180580 \frac{\text{Дж}}{\text{год}}$$

$$\theta_{4.2} = 3600(1066 - 66.6) \frac{1.11}{9.61} = 415567 \frac{\text{Дж}}{\text{год}}$$

$$\theta_1 = 618127.6 + 1147875.3 + 928428.8 + 653617.4 = 3348049,1 \frac{\text{Дж}}{\text{год}}$$

$$\theta_2 = 393003.1 + 1459630 + 1180580 + 415567 = 3448780,1 \frac{\text{Дж}}{\text{год}}$$

Розраховували перевищення сталої температури масла в баку над температурою навколишнього середовища:

$$\Delta t_1 = \frac{\theta_1}{(k \cdot F)} = \frac{3348049,1}{63000 \cdot 1,38} = 38.51^\circ,$$

$$\Delta t_2 = \frac{\theta_2}{(k \cdot F)} = \frac{3448780,1}{63000 \cdot 1,38} = 39.67^\circ,$$

					МА41МД.01.00.00 ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

де $k = 63 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^2 \cdot \text{год}}$ - коефіцієнт теплопередачі від масла до повітря.

Розрахункова площа гідробака:

$$F = 0.064 \sqrt[3]{V_M^2} = 0.064 \sqrt[3]{100^2} = 1,38 \text{ м}^2,$$

де V_M – об'єм масла в баку.

Об'єм масла в гідробаку не повинен перевищувати двох-трьох хвилинної подачі насоса:

$$V_M = (2 \dots 3) Q_H = 3 \cdot 32 = 96 \text{ л}$$

Повний геометричний об'єм гідробаку V_6 – визначили з умови його заповнення на 0,8 висоти до найближчого значення V_6 згідно з ДЕРЖСТАНДАРТОМ 16770-71.

$$V_6 = 100 \text{ л.}$$

Максимальна температура робочої рідини:

$$t_{max1} = t_{пов} + \Delta t_1 = 25 + 38.51 = 63.51^\circ$$

$$t_{max2} = t_{пов} + \Delta t_2 = 25 + 39.67 = 64.67^\circ$$

Оскільки кінцева температура не перевищувала 70°C , то додаткового охолодження гідросистема не потребує.

2.7.3. Вибір робочої рідини

Враховуючи сферу використання дозатора сипучих матеріалів, обрали масло згідно з стандартами що контролюють використання робочих рідин в промисловості яка контактує з продуктами які в подальшому будуть використовуватися в харчовій сфері було обрано масло серії Mobil SHC Cibus.

Дане масло відповідає стандарту NSF H1 що надає можливість використання даного масла у харчовій промисловості при виробництві та упаковці продуктів харчування та напоїв що відповідає використанню даного

					МА41МД.01.00.00 ПЗ	Арк.
						58
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мастила при фасуванні зерна. Нижче наведено таблицю з основними характеристиками даного мастила [11].

Таблиця 2.9.1 – Таблиця фізико-хімічних властивостей робочої рідини
Mobil SHC Cibus 32 [11]

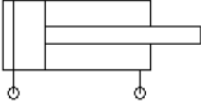
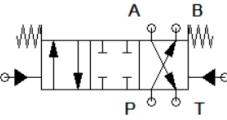
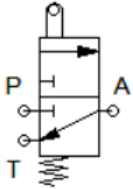
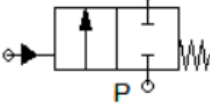
Mobil SHC Cibus Series	Mobil SHC Cibus 32
Клас в'язкості ISO	32
В'язкість кінематична, ASTM D445:	
сСт при 40°C	30.7
сСт при 100°C	5.8
Індекс в'язкості, ASTM D2270	134
Питома вага при 15,6°C, ASTM D 4052	0.843
Корозія на мідній платівці, ASTM D 130	1B
Температура застигання, °C, ASTM D97	-51
Температура спалаху, °C, ASTM D92	244
Випробування на шестерному стенді FZG, DIN 51354, ступінь відмови	>12

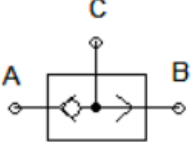
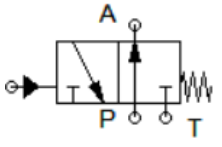
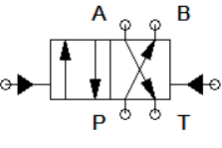
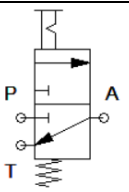
2.7.4. Підбір обладнання

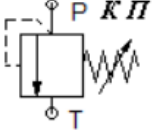
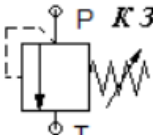
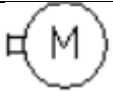
Було виконано підбір обладнання елементів на гідравлічних схемах, виходячи з результатів гідравлічного розрахунку (табл. 2.10.1)

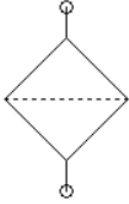
Таблиця 2.10.1 – Обладнання для гідравлічної схеми

Назва	Застосування	Схематичне зображення	Характеристики	Позначення на схемі

Гідроциліндр ГЦ40.20.200.01 (основний) двосторонньої дії	Керування ковшем		Діаметр поршня – 40 мм Діаметр штока – 20 мм Хід поршня – 200 мм Номінальний тиск – 1.2 МПа	Ц3-Ц4
Гідроциліндр ГЦ 63.32.250.030.00 (допоміжний) двосторонньої дії	Керування заслінкою		Діаметр поршня - 63 мм Діаметр штока - 32 мм Хід поршня - 250 мм Номінальний тиск – 1.2 МПа	Ц1-Ц2
Гідрравлічний розподільник з гідравлічним керуванням RSH 4-103 Z 11	Зміна напрямку руху робочої рідини		Максимальний робочий тиск 31.5 МПа Максимальна витрата рідини 80 л/хв	P11-P14
Гідрравлічний розподільник з механічним керуванням С2.340	Датчик положення штока		Робочий тиск 1.6 МПа	P1-P10
Гідрравлічний розподільник з гідравлічним керуванням	Логічний клапан типу "І"		Максимальний робочий тиск - 350 Бар	P15,P16, P18-P23, P26-P28, P30,P31,

керуванням WKN10V/14				P34,P38, P39,P41, P42,P44, P46,P47
Гідравлічний логічний клапан типу "АБО" VU2P 3/8"	Логічний клапан типу "АБО"		Пропускна здатність, 45 л/хв Макс. робочий тиск, 450 Бар	ГА4,ГА10, ГА16- ГА18, ГА22
Гідравлічний розподільник з гідравлічним керуванням Xqf22- а	Клапан інверсії		Робочий тиск 1.6 МПа	P17,P25, P32,P37, P45
Гідравлічний розподільник з гідравлічним керуванням RSH 4-102 X 11	Елемент пам'яті		Робочий тиск 1.6 МПа	P35,P36
Гідравлічний розподільник з ручним керуванням P40-G12-G38-OTW	Кнопка керування		Робочий тиск 1.6 МПа	P24,P29, P33,P40, P43
Кран шаровий нержавіюча сталь 3/4" BB PN63 149104 15707 від ARCO	Кран налаштуванн я тиску для редукційно- переливного клапана		Тиск 63 Бар Робоча температура - 25...+180 °C	В

Манометр гліцериновим наповненням 63P100.MGE OLEODINAMICA MOZIONI	з Контроль тиску в системі		Діапазон тиску від - до, 0-100 Бар Робоча температура - 10°C - +60°C	M1,M2
Клапан редукційно- переливний VRP 3/8" BSP	Зміна вихідного тиску		Діапазон налаштування тиску, 10-60 Бар Пропускна спроможність, 30 л/хв	КП
Клапан запобіжний VMP L 1/4" BSP	Обмежує надлишковий тиск		Діапазон налаштування тиску, 10- 180 Бар Пропускна спроможність, 30 л/хв	КЗ
Гідронасос пластинчастий НПЛ 32-32/6,3	Подача рідини		Подача, 27,9- 27,9 л/хв Тиск на виході, 6,3 МПа	Н
Електродвигун AIP 100 L4 U3	Приводить в дію насос		Потужність 4,0 кВт Частота обертання 1500 (1435) об/хв	М

Зворотній клапан VU 1/2" T.1 BAR	Контроль напрямку руху рідини		Пропускна здатність, 70 л/хв Макс. робочий тиск, 350 Бар	КЗВ2
Зворотній клапан з пружиною CVU 3/8 G	Контроль напрямку руху рідини		Максимальний потік 40 л/хв Максимальний тиск 350 Бар	КЗВ1
Фільтр для всмоктування MP Filtri STR0653	Очищує рідину		Пропускна спроможність, 40 л/хв Ступінь фільтрації: 90 мкм	ФЗ
Зливний фільтр MPF0301			Пропускна спроможність, 61-80 л/хв Тонкість фільтрації, 25 мкм	Ф2
Фільтр напірний MP Filtri FMP0392BAA6A10 NP01 Filtri			Пропускна спроможність 48 л/хв Тонкість фільтрації 10 мкм	Ф1
Бак для рідини	Охолодження		Об'єм бака 100 л	Б

	зберігання рідини			
--	----------------------	--	--	--

Відповідно, було виконано підбір обладнання елементів для електрорелейної схеми, що відрізняється від гідравлічних елементів системи на гідравлічних схемах (табл. 2.10.2)

Таблиця 2.10.2 – Обладнання для електрорелейної схеми

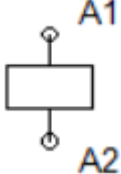
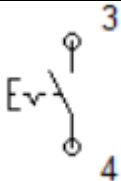
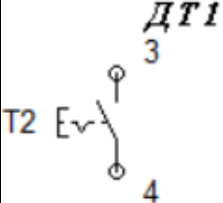
Назва	Застосування	Схематичне зображення	Характеристики	Позначення на схемі
Електромагнітний гідророзподільник ДУ6, схема G (64)	Зміна напрямку руху робочої рідини		Максимальний робочий тиск 31.5 МПа Максимальна витрата рідини 80 л/хв	P1-P4
Індуктивний датчик IFM IB5133	Визначення положення штока в циліндрі		Напруга живлення DC 24 В Відстань спрацювання 30 мм	ДП1-ДП10
Оптичний датчик PA18CAD10PASA	Визначення типу коробки		Напруга живлення DC 24 В Відстань спрацювання 50 мм	ДО
Ємнісний датчик Akuserse CKN18-15PO	Визначення розташування коробки		Напруга живлення DC 24 В	ДС

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МА41МД.01.00.00 ПЗ

Арк.

64

			Відстань спрацювання 30 мм	
Реле Євроавтоматик а Фиф РК- 4PR/24В	Елемент пам'яті, запобіжник, для комутації силових ланцюгів		Напруга живлення DC 10...36 В	R1-R19
Кнопка ХВ2- ВА21	Вмикає/вимик ає систему		З фіксацією Номінальна робоча напруга 24 В	ДТ1-ДТ2
Тензодатчик Sensocar PL50 50кг С3;	Здійснює контроль наповнення		Робоче навантаження 50 кг Напруга живлення 24В	ДТ1
Тензодатчик Sensocar PL50 100кг. С3			Робоче Навантаження 100 кг Напруга живлення 24В	ДТ2

2.8. Математичне моделювання процесу стабілізації тиску в порожнині гідроциліндра.

Опираючись на основні закони гідромеханіки про потік рідини, та властивості робочих рідин, було створено математичний опис, який відтворює математичну модель динаміки руху гідроциліндра [12].

При цьому було вирішено, що зусиллям, яке діє на шток гідроциліндра, буде знехтувано, оскільки цей параметр не є суттєвим в даному дослідженні. Відповідно оскільки рідина є стисливою речовиною, маємо [12]:

1. Тиск що встановлюється в порожнині гідроциліндра

$$p_2 = \dot{p}_2 + \Delta p_2.$$

2. Зміна тиску в порожнині гідроциліндра, знаходиться за формулою:

$$\Delta p_2 = \frac{(1 - (\dot{p}/\rho))}{\beta}, \quad (8)$$

де β - коефіцієнт стисливості робочої рідини, $\dot{p}$ – попереднє значення густини.

3. Густина робочої рідини, що тепер знаходиться в порожнині гідроциліндра
Визначили за загальноприйнятою формулою:

$$\rho = m/W.$$

4. Загальна маса робочої рідини, що тепер знаходиться в порожнині гідроциліндра:

$$m = \dot{m} + \Delta m.$$

5. Знаючи всі необхідні параметри розраховували масу робочої рідини, що надійшла до порожнини гідроциліндра.

$$\Delta m = V \cdot f \cdot \Delta t \cdot \dot{\rho}. \quad (5)$$

6. Швидкість робочої рідини:

$$V = a \cdot \Delta t, \quad (4)$$

де Δt - час, що пройшов з моменту відкриття порожнини гідроциліндра.

7. Прискорення робочої рідини, Визначили з зусилля та маси рідини:

$$a = F/(0.5 \cdot \dot{m}).$$

8. Масу рідини, яка була в порожнині, розраховували за стандартною формулою:

$$\dot{m} = \dot{\rho} \cdot W, \quad (2)$$

де W - об'єм порожнини гідроциліндра.

					МА41МД.01.00.00 ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

На рис 2.11.1 зображено логіко-функціональна схема стабілізації тиску в порожнині гідроциліндра.

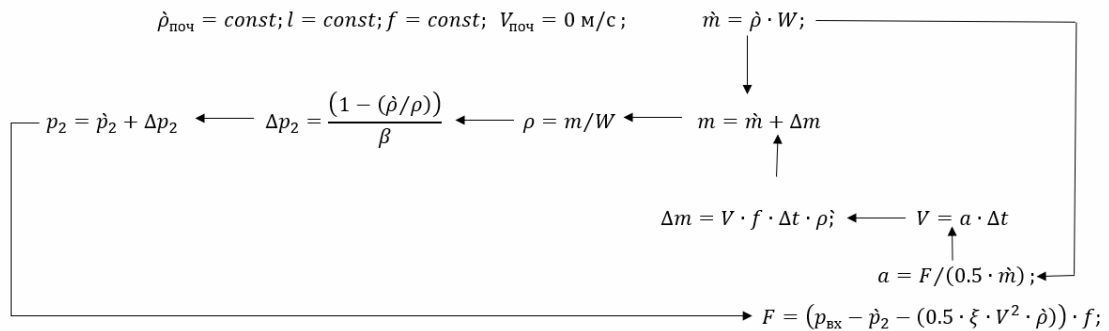


Рисунок 2.11.1 – Логіко-функціональна схема стабілізації тиску в порожнині гідроциліндра

Відповідно до розробленої логіко-функціональної схеми стабілізації тиску в порожнині гідроциліндра було створено модель стабілізації тиску в порожнині гідроциліндра в середовищі MATLAB SIMULINK (рисю 2.11.2).

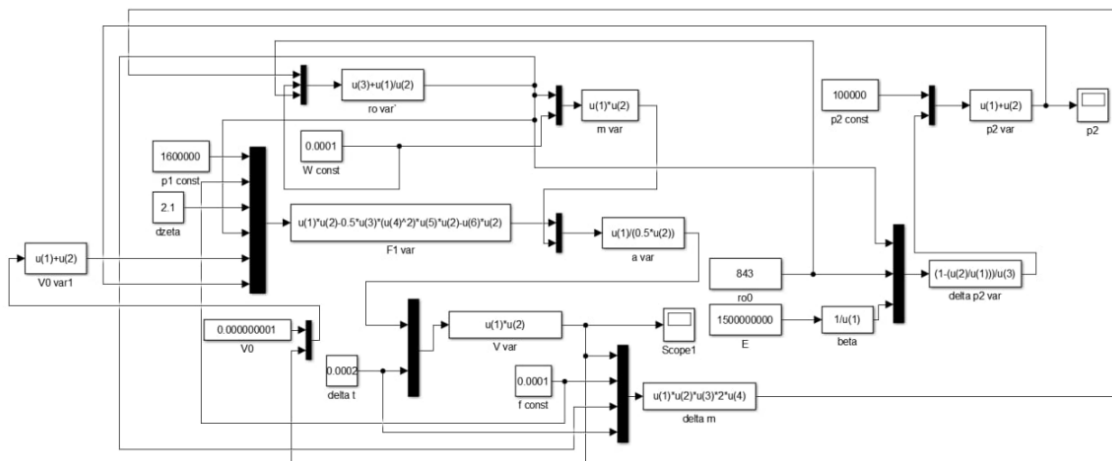


Рисунок 2.11.2 – Модель стабілізації тиску в порожнині гідроциліндра в середовищі MATLAB SIMULINK

Використовуючи розроблену математичну модель було проведено ряд досліджень для перевірки її роботоспроможності, а саме: залежність зміни тиску від часу, залежності швидкості від часу та залежності прискорення від часу.

Згідно з проведеними дослідженнями по зміні тиску в поршневій порожнині допоміжного та основного гідроциліндра можна побачити, що при перепідключенні поршневої порожнини гідроциліндрів з зливної в напірну лінію спочатку відбувається різке зростання тиску, коли перепад тисків в

порожнині та лінії більше 1 МПа після чого, коли перепад тисків зменшується зміна тиску в порожнині – сповільнюється. В середовищі MATLAB Simulink були отримані такі дані про період стабілізації тиску в порожнинах гідроциліндрів, а саме: повний період стабілізації допоміжного гідроциліндра становить 0,8 с. (рис.2.11.3), а для основного гідроциліндра – 0.5с. (рис.2.11.4).

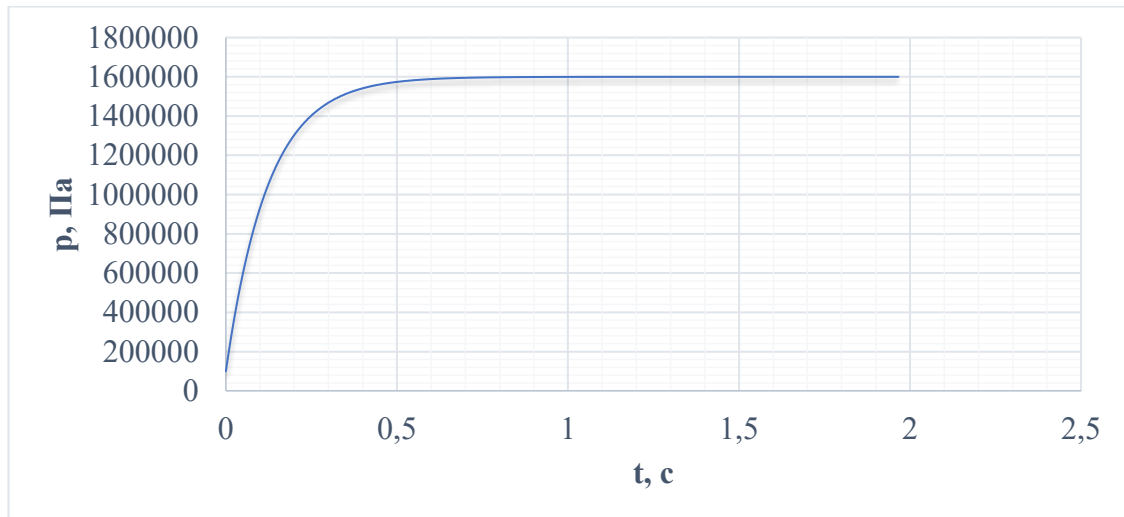


Рисунок 2.11.3 – Графік зміни тиску для допоміжного гідроциліндра при наповненні поршневої порожнини від часу

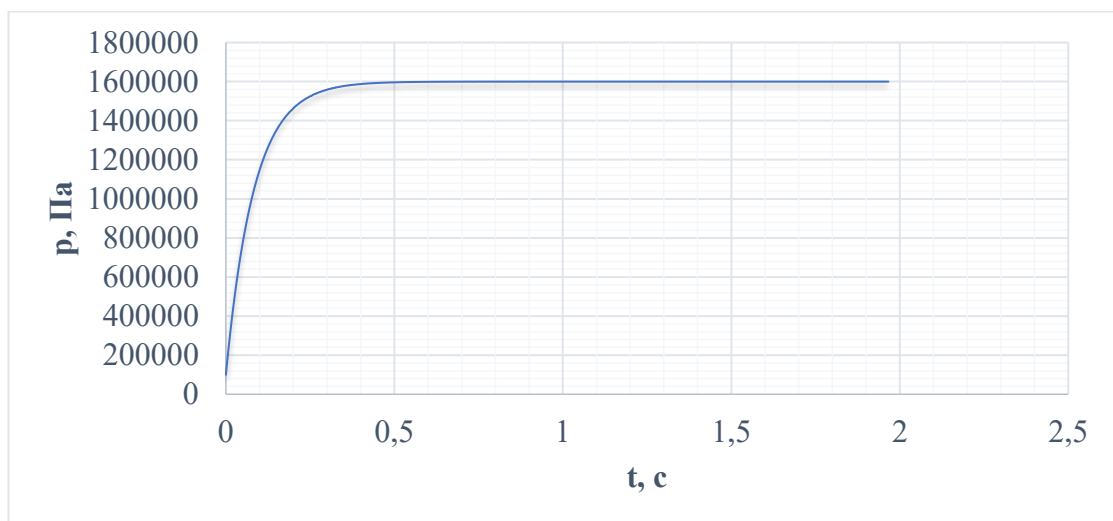


Рисунок 2.11.4 – Графік зміни тиску для основного гідроциліндра при наповненні поршневої порожнини від часу

Аналогічно, при перепідключенні штокової порожнини гідроциліндрів з зливної в напірну лінію спочатку відбувається різке зростання тиску, коли перепад тисків в порожнині та лінії більше 1 МПа після чого, коли перепад тисків зменшується зміна тиску в порожнині – сповільнюється. Для

допоміжного гідроциліндра повний період стабілізації становить 1.1 с. (рис.2.11.5), а для основного гідроциліндра – 0.9с. (рис.2.11.6).

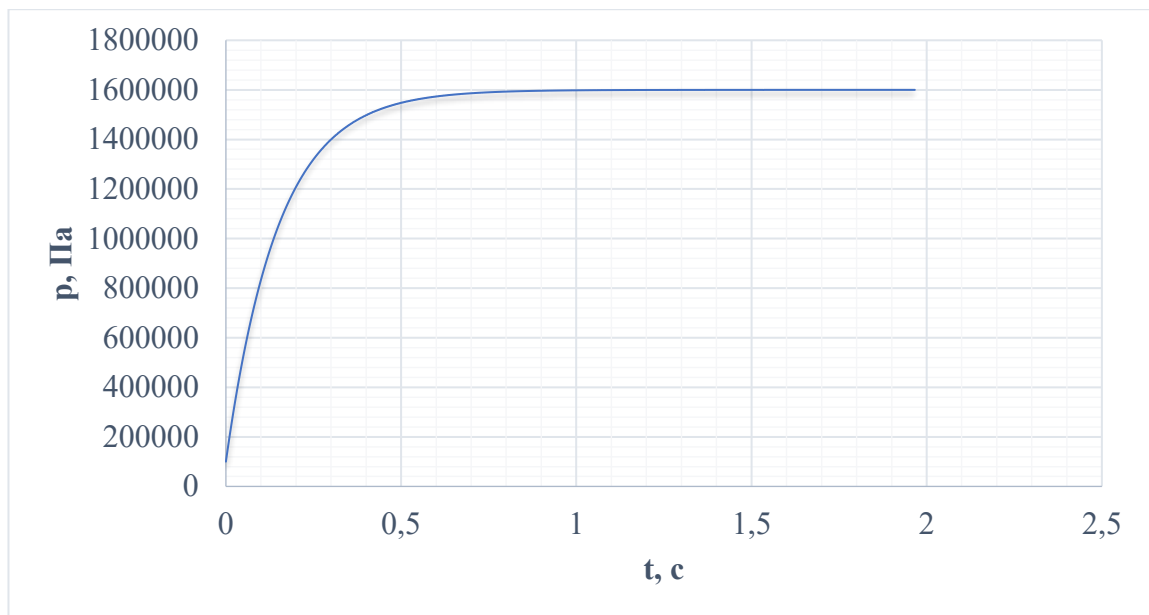


Рисунок 2.11.5 – Графік зміни тиску для допоміжного гідроциліндра при наповненні штокової порожнини від часу

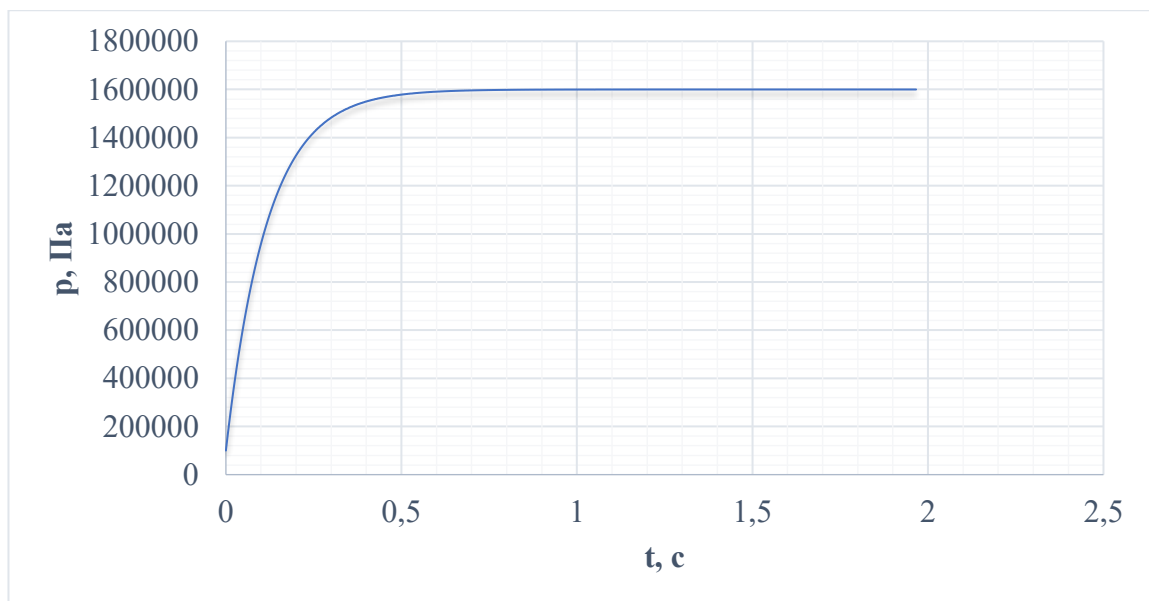


Рисунок 2.11.6 – Графік зміни тиску для основного гідроциліндра при наповненні штокової порожнини від часу

Відповідно до проведеного дослідження по зміні тиску в камері, було вирішено, розглянути зміну швидкості наповнення порожнин гідроциліндрів відносно часу. Згідно отриманих даних можна побачити, що на початку при великих перепадах тиску між порожниною гідроциліндра та лінією нагнітання

швидкість наповнення є більшою і повільно спадає при врівноваженні тисків.
Результати моделювання можна побачити на рис. 2.10.7 – 2.10.10.

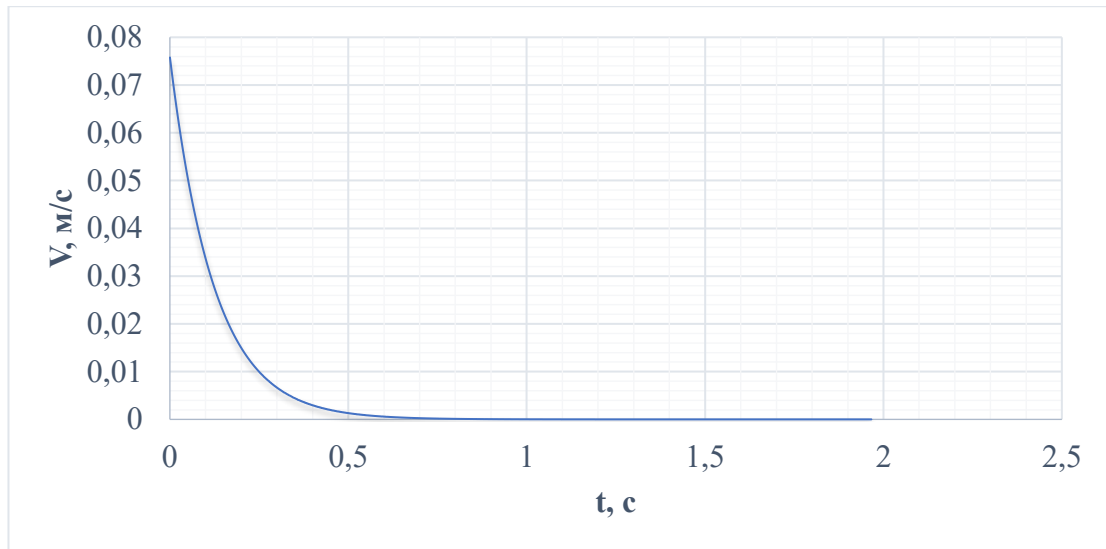


Рисунок 2.11.7 – Графік залежності швидкості наповнення поршневої порожнини допоміжного гідроциліндра від часу

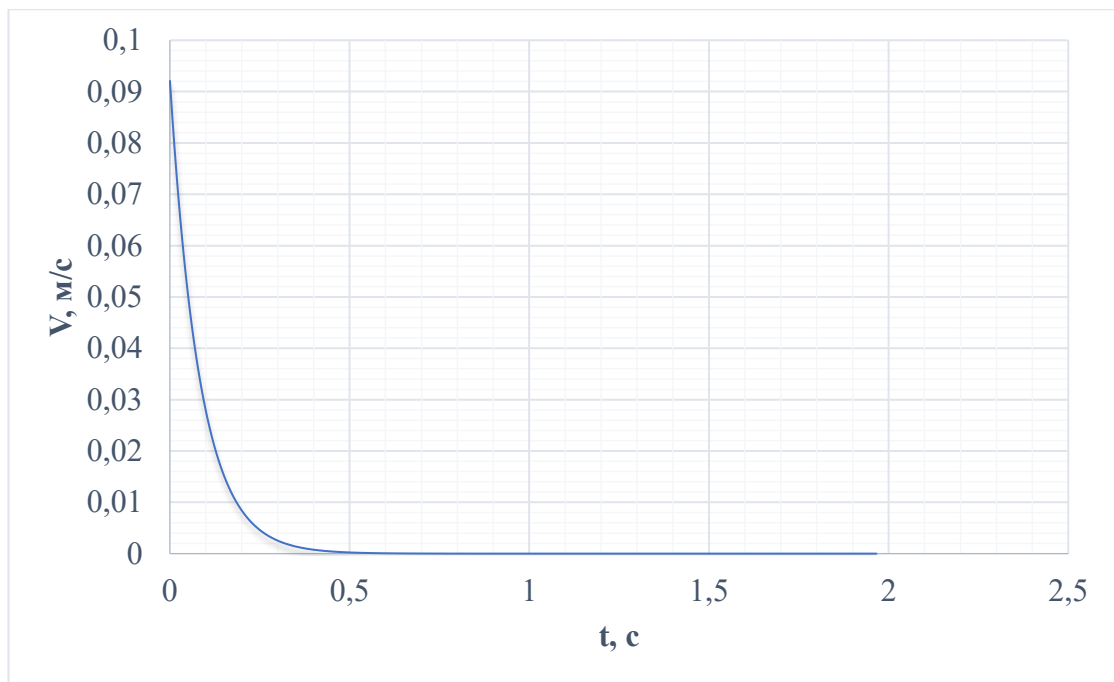


Рисунок 2.10.8 – Графік залежності швидкості наповнення поршневої порожнини основного гідроциліндра від часу

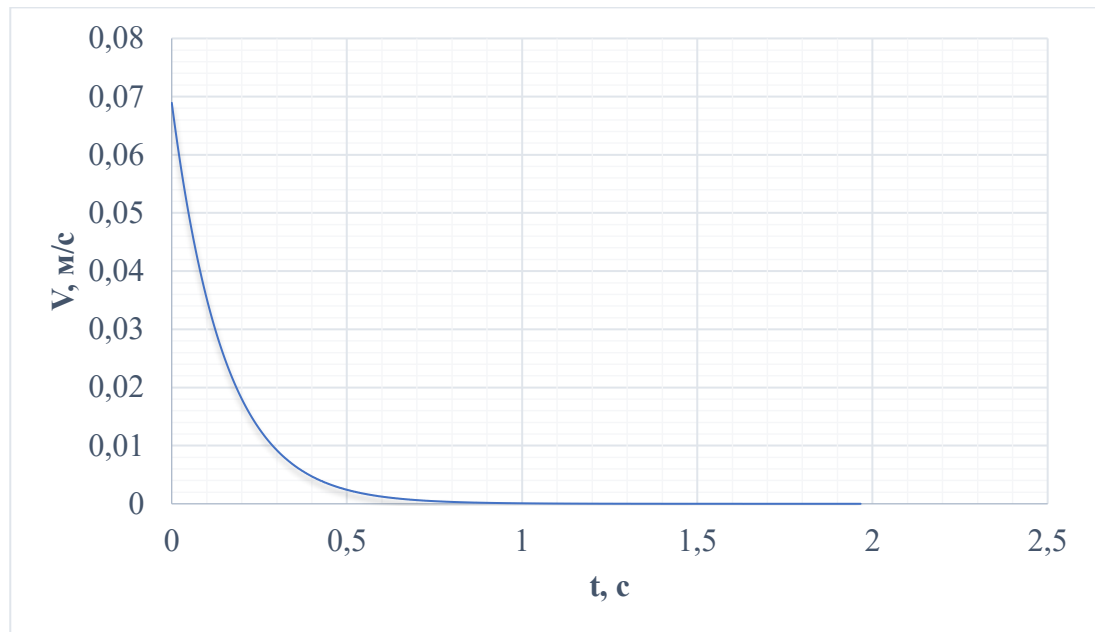


Рисунок 2.11.9 – Графік залежності швидкості наповнення штокової порожнини допоміжного гідроциліндра від часу

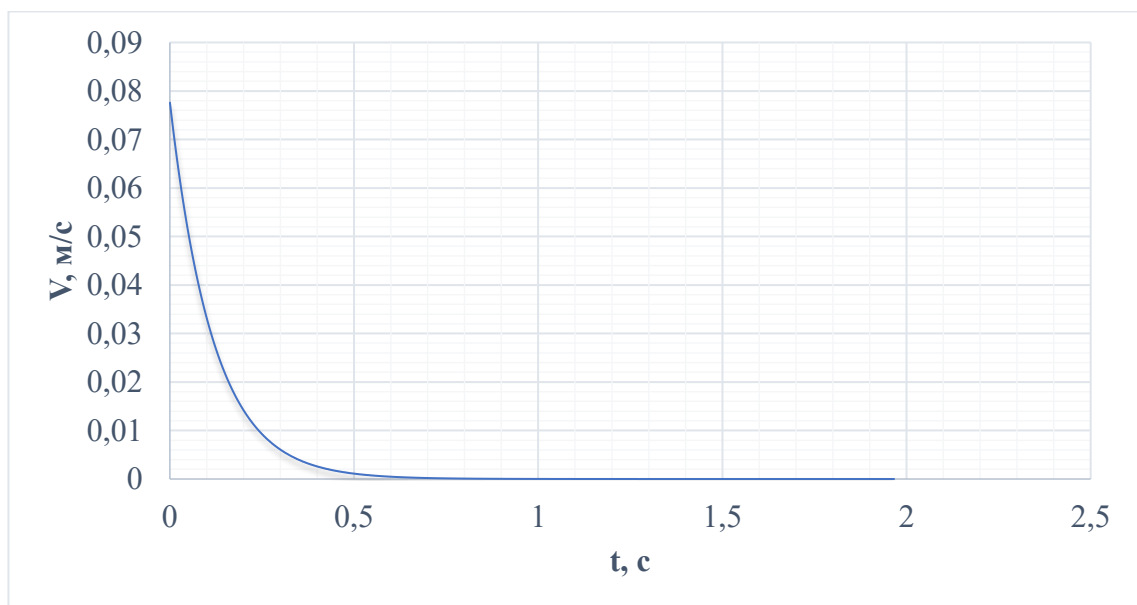


Рисунок 2.11.10 – Графік залежності швидкості наповнення штокової порожнини основного гідроциліндра від часу

Аналогічно до зміни швидкості, під час дослідження прискорення руху рідини з нагнітальної лінії в порожнини гідроциліндрів, можна побачити, що як і швидкість руху рідини, на початку, при великих перепадах тиску між порожниною гідроциліндра та лінією нагнітання прискорення є найбільшим та поступово спадає при їх зменшенні (рис. 2.11.11-2.11.15).

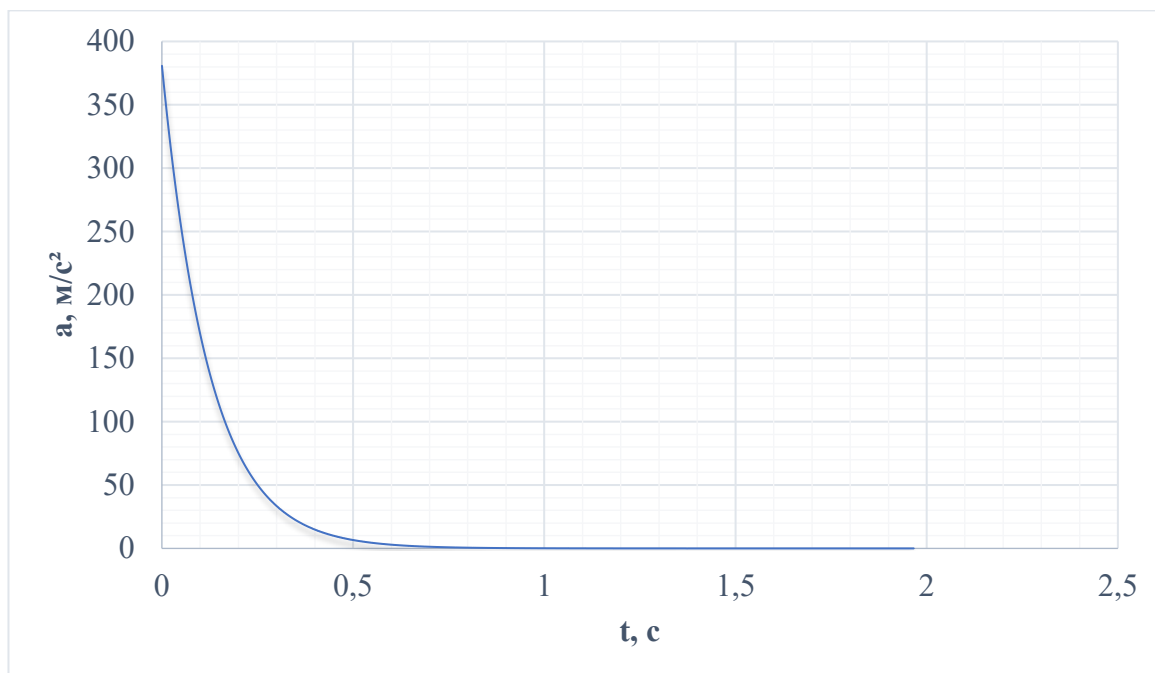


Рисунок 2.11.11 – Графік залежності прискорення руху робочої рідини до поршневої порожнини допоміжного гідроциліндра від часу

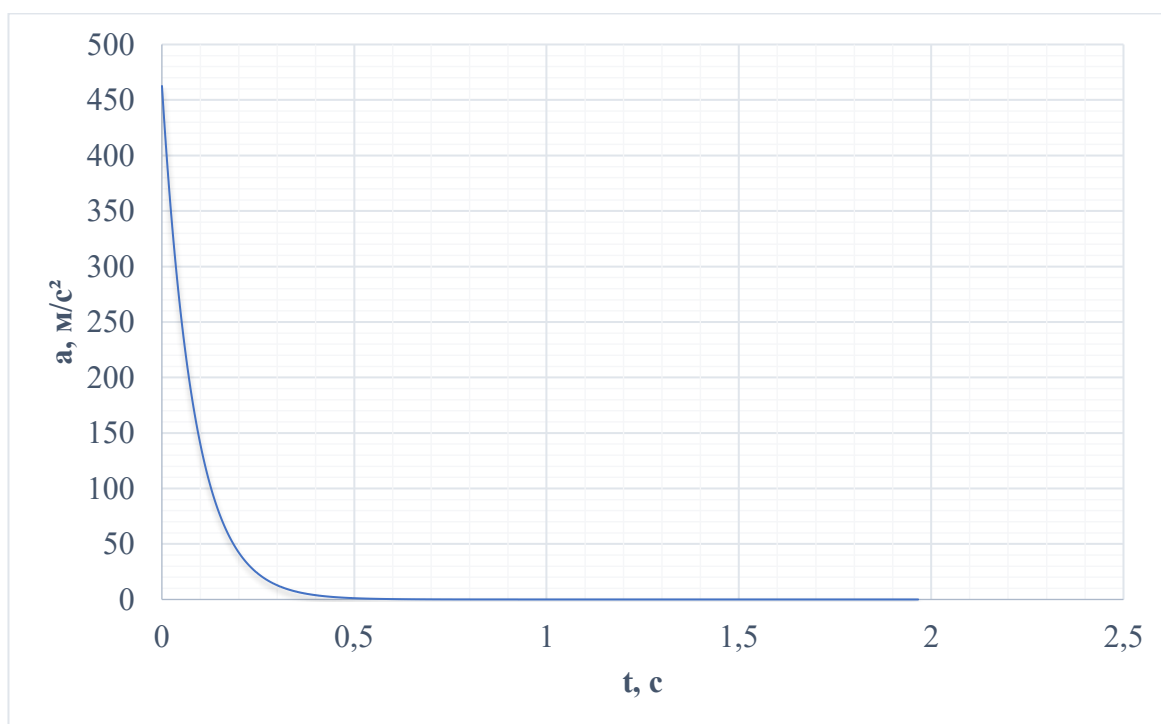


Рисунок 2.11.12 – Графік залежності прискорення руху робочої рідини до поршневої порожнини основного гідроциліндра від час

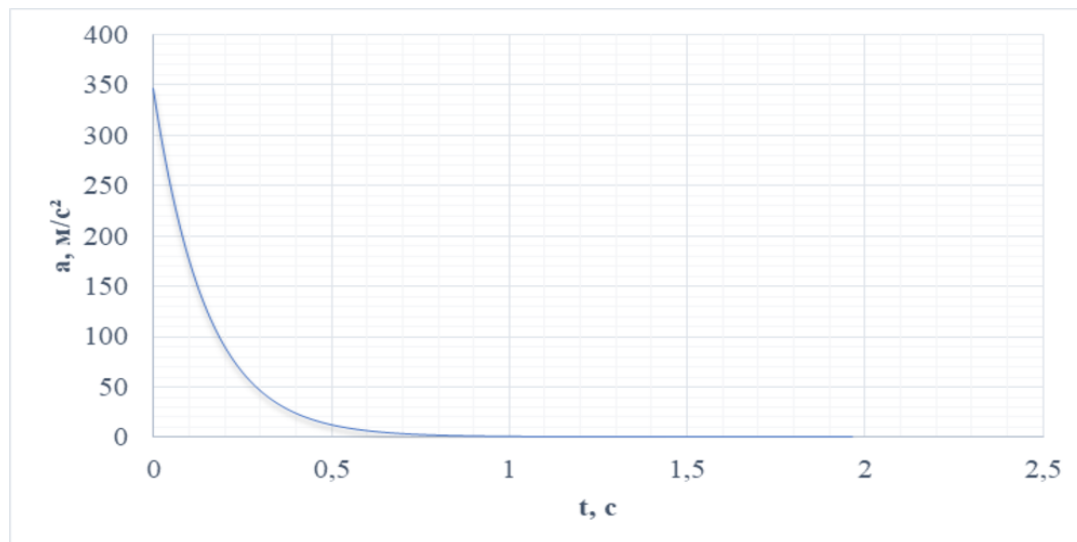


Рисунок 2.11.13 – Графік залежності прискорення руху робочої рідини до штокової порожнини допоміжного гідроциліндра від часу

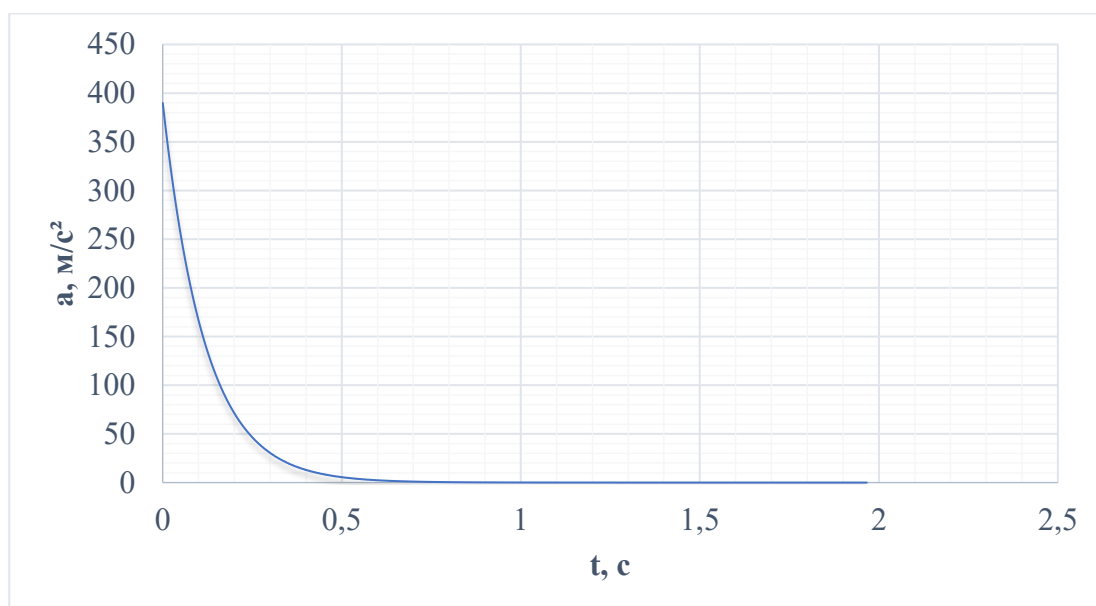


Рисунок 2.11.14 – Графік залежності прискорення руху робочої рідини до штокової порожнини основного гідроциліндра від часу

Згідно отриманих даних можна побачити, що на початку при перепідключенні порожнин гідроциліндрів з зливної лінії в напірну спочатку відбувається різке зростання тиску в порожнинах гідроциліндрів, що з часом стабілізується. Також можна помітити, що час спрацювання допоміжного гідроциліндра довше ніж основного, що відповідає розрахунковим даним. При цьому швидкість та прискорення руху рідини відповідно зменшуються, що відповідає основним законам гідромеханіки про потік рідини, та властивостям

робочих рідин. Отже, ми можемо стверджувати що математична модель відповідає дійсності.

2.9. Розробка конструктивних особливостей дозатора сипучих матеріалів

При розробці конструкції системи дозування, було розглянуто основні властивості, що має мати дана система, а саме:

- точне дозування сипучого матеріалу за заданою вагою;
- точне зважування дозуючого матеріалу;
- робота системи в двох режимах – швидкої подачі та більш повільної;
- врахування об'ємів тари для насипання;
- розрізняння тари за кольором;
- точне позиціонування ємності під насипання;
- переміщення ємності під насипання.

1) Спочатку було побудовано раму дозатора, яка являється каркасом для бункера накопичувача, що містить в собі сипучий матеріал направляючої для засипання сипучого матеріалу, ковша та гідравлічної системи.

Після чого, було побудовано бункер накопичувач, що вміщує сипучий матеріал для дозування. Було вирішено сконструювати верхню частину бункера – циліндричної форми, що дозволяє вміщувати необхідну кількість матеріалу, а середню частину – форми зрізаного конуса, що дозволяє вільно ковзати сипучому матеріалу по стінкам накопичувача, а нижню частину – циліндричної форми для можливості легкого встановлення сітки, що виконує функцію контролю зсипання сипучого матеріалу та недопущення потрапляння в ємність під дозування часток більших за сипучий матеріал. Таким чином, рівномірне зменшення площі поперечного перерізу бункера, зумавлює недопущення застрягання сипучого матеріалу, а також більш рівномірне зсипання по станкам накопичувача (рис. 2.12.1 лівий). Також, було встановлено сітку, з діаметрами отворів 10 мм в нижній частині бункера. Попередньо, було вирішено, що кріплення сітки буде болтовим, що зумовлює

можливість її зміни в залежності від необхідності, а саме: при її пошкодженні, внаслідок довготривалого використання, або при зміні розміру дозуючого матеріалу (рис. 2.12.1 правий) [13].



Рис.2.12.1 – Зовнішній вигляд конструкції рами дозатора, бункера накопичувача та сітки на виході з бункера.

2) Оскільки попередньо було зазначено, що в системі будуть використовуватися ємності двох об'ємів, було встановлено рухому заслінку, рейкового типу, що виконуватиме функції контролю швидкості та точності зсипання сипучого матеріалу з бункера накопичувача до кінцевої ємності. Принцип роботи якої полягає в тому що, в залежності від ступеня відкриття заслінки регулюється кількість відкритих отворів у сітці тим самим контролюючи швидкість зсипання зерна. Переміщення заслінки та ступінь її відкриття здійснюється за допомогою двох аналогічних синхронно працюючих гідроциліндрів з трьома датчиками контролю положення поршня (рис. 2.12.2) [13].

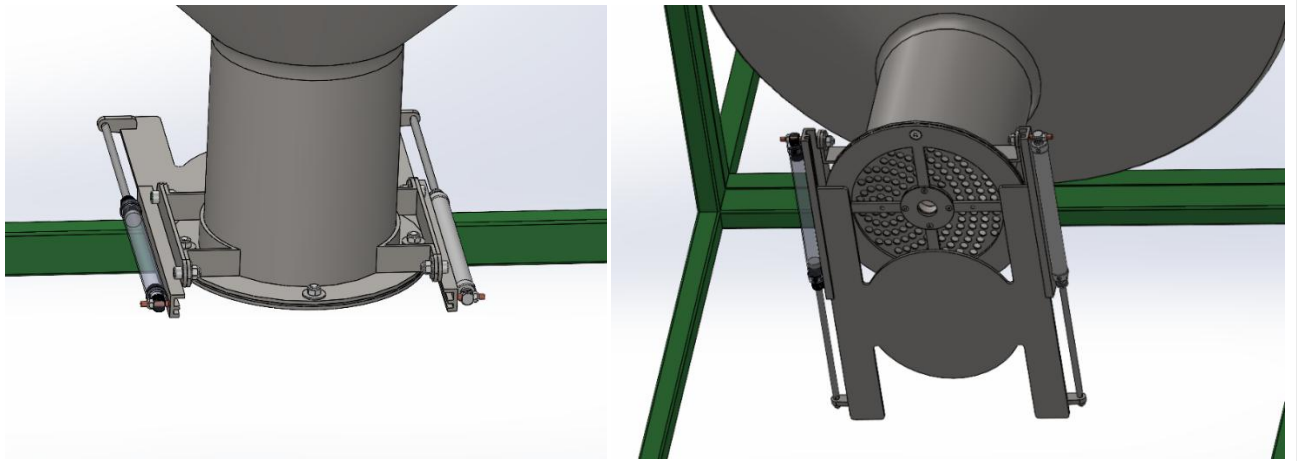


Рис.2.12.2 – Зовнішній вигляд сітки на виході з бункера та рухомої заслінки з двома гідроциліндрами.

3) Під час дозування сипучий матеріал, зсипаючись через сітку, може застрягати в отворах, оскільки, навіть при підборі відповідних до матеріалу отворів, завжди існує ймовірність надходження, деякої частини матеріалу більшої фракції, не залежно від внутрішнього контролю матеріалу на виробництві, що перешкоджає частині матеріалу вільно зсипатися. Також, у випадку, довгого перебування матеріалу в бункері при закритій заслінці, він може ущільнитися, що призведе до того, що при відкритті заслінки, матеріал не зсипатиметься. Отже, було вирішено додати шнек в найвужчу частину бункера накопичувача, що веде до сітки. Таким чином, відбуватиметься більш вільне переміщення матеріалу по бункеру, зникне ймовірність ущільнення матеріалу та відбудеться рівномірний розподіл матеріалу по сітці, що збільшить ефективність просіювання матеріалу крізь сітку. Також, завдяки розробленій формі витка шнека, під час його обертання, частки зерна, що зайняли неправильне положення по відношенню до отворів у сітці, та не рухаються крізь них, будуть зміщені та зможуть легко просипатися, оскільки шнек при обертанні дещо підніме сипучий матеріал, що застряє на сітці. За розрахунками, для обертання шнека необхідно використовувати електродвигун потужністю не менше 2,5 кВт (рис. 2.12.3) [13].

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

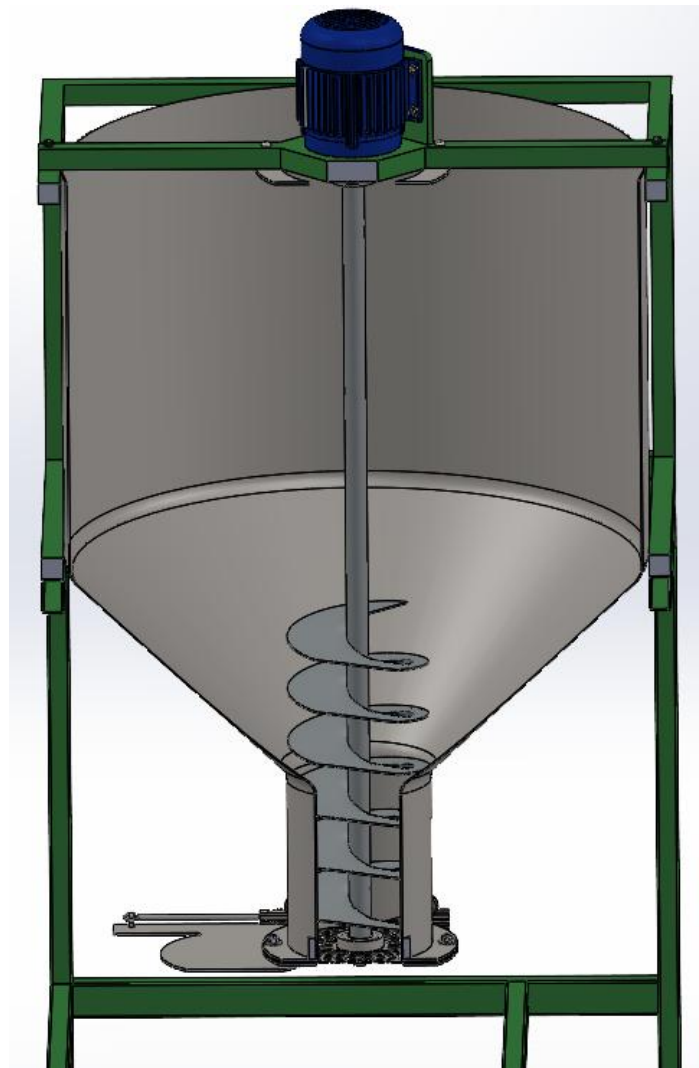


Рисунок 2.12.3 – Зовнішній вигляд бункера накопичувача з встановленим шнеком та електродвигуном для його обертання.

При підборі способу з'єднання валу двигуна зі шнеком, розглядалося кілька варіантів з'єднань, а саме: фланцеві, шпоночні, шліцьові та штифтові. Серед усіх, найкраще, під задані умови підійшло шпоночне з'єднання (рис. 2.12.4), оскільки на відміну від фланцевого воно менш масивне та відповідно полегшує конструкцію, на відміну від шліцьового з'єднання дешевше у виготовленні, оскільки не потребує протягування, яке збільшує вартість продукції та на відміну від штифтового з'єднання витримує більше навантаження.

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МА41МД.01.00.00 ПЗ

Арк.

77

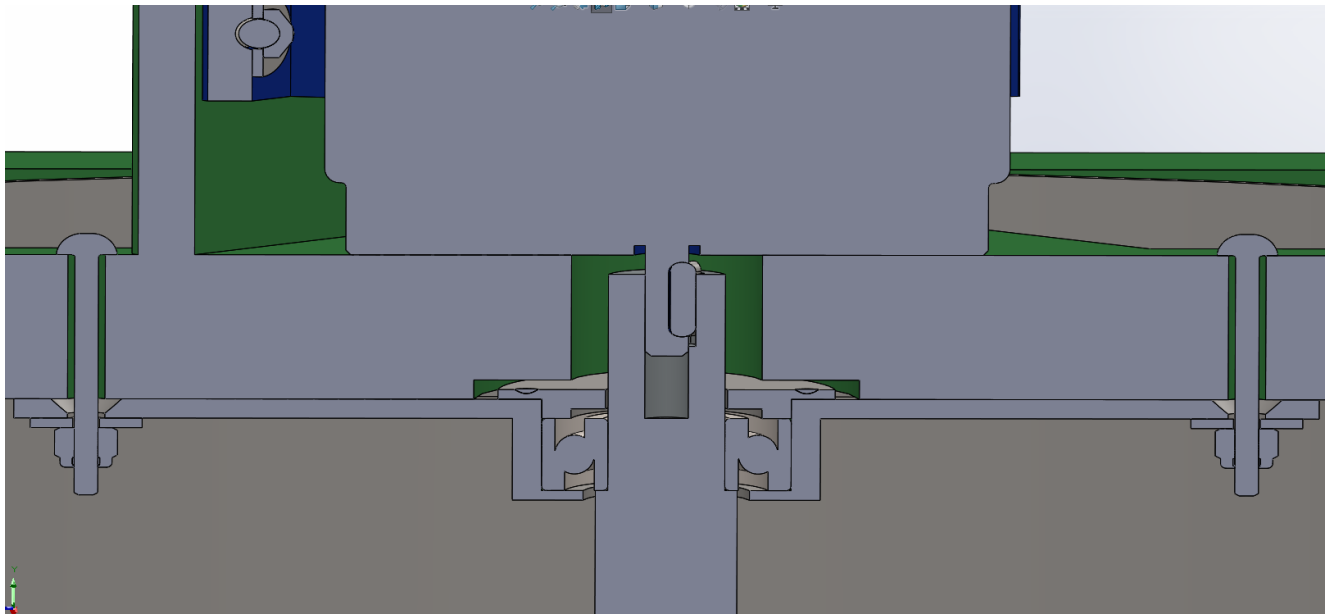


Рисунок 2.12.4 – Зовнішній вигляд шпонкового з'єднання вала двигуна зі шнеком.

Оскільки сипучий матеріал в бункері може бути спресованим, було вирішено, що для сприйняття та передачі утворюваних, в такому випадку, навантажень використовувати підшипники, що також, в даному випадку, гратимуть роль направляючої для шнеку. Кріплення верхнього підшипника (рис. 2.12.5) відбувається за допомогою двох деталей, а саме: фланця, що з однієї сторони опирається в спеціальний виріз, що розташований в центральній частині кришки бункера, а з іншої – в торцеву сторону, закріплюваного радіально упорного підшипника та захисній пластині, форма якої розроблена з врахуванням необхідності встановлення та фіксації підшипникового вузла і таким чином, вона слугує упором для іншої торцевої сторони. Дана пластина, також завдяки болтовим з'єднанням прикріплюється до кришки бункера та одночасно фіксує підшипник вздовж валу шнека, уникаючи можливості його зміщення, що також надає легкий доступ до підшипникового вузла шнека бункера для проведення регламентних робіт з обслуговування підшипника [13].

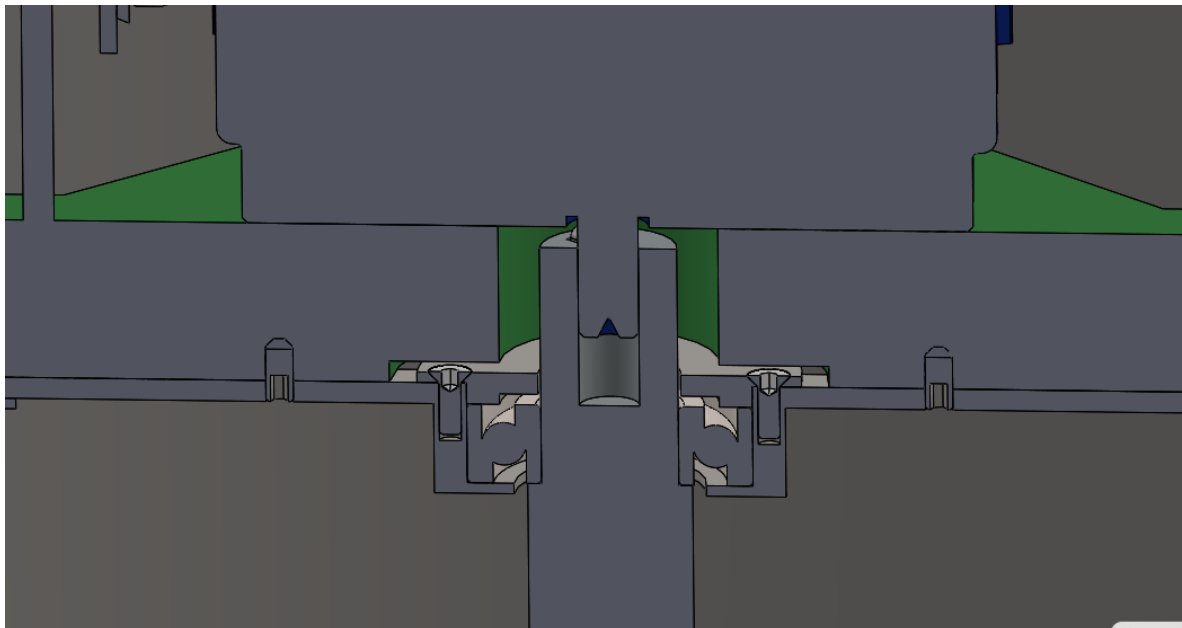


Рисунок 2.12.5 – Зовнішній вигляд радіально упорного підшипника та захисної пластини, розташованого біля шпонкового з'єднання вала двигуна зі шнеком.

Кріплення нижнього підшипника (рис. 2.12.6) відбувається схожим чином, відрізняються лише розміри та конфігурація відповідних деталей, також, для додаткової міцності додано гвинтове з'єднання [13].

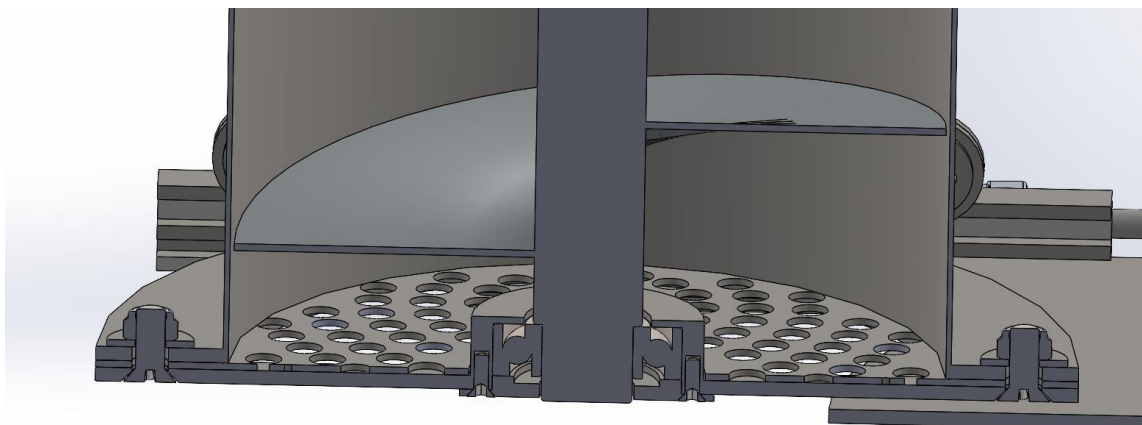


Рисунок 2.12.6 – Зовнішній вигляд радіально упорного підшипника та захисної пластини розташованого на сітці.

Оскільки кріплення обох підшипників відбувається завдяки різьбовим з'єднанням, їх обслуговування та заміна не викликає проблем.

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

4) Оскільки при прямому висипанні сипучих матеріалів з бункера в ємності існує ймовірність розсипання, було вирішено додати направляючу по якій матеріал буде зсипатися для дозування після зсипання через сітку (рис. 2.12.7). Задяки своїй формі, він має змогу вловити, частинки, що під час зсипання змістилися зі своєї траєкторії та не дати розсипатися під час його подальшого руху. Кріплення направляючої є болтовим, що полегшує монтаж та заміну елемента, у випадку необхідності. Також, при проєктуванні даного кріплення, одразу було передбачено місце кріплення гідроциліндрів, що виконуватимуть роль відкриття та закриття заслінки, тому, при проєктуванні також враховувалися їх відповідні розміри. Враховуючи попередні зауваження також підбиралися розміри болтових з'єднань кріплення направляючої, оскільки вони матимуть витримувати також додаткове навантаження, що створиться при кріпленні та роботі гідроциліндрів [13].

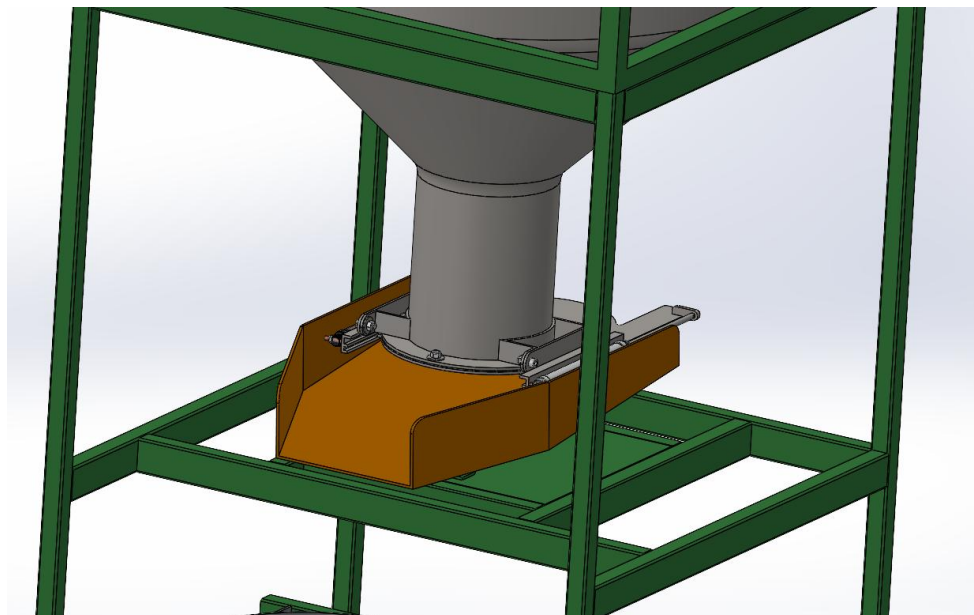


Рисунок 2.12.7 – Зовнішній вигляд направляючої для зсипання

Також для кращого зсипання по заслінці було використано електричні зтрушувачі, що завдяки створюваним вібраціям, сприятимуть кращому зсипанню матеріалу. Для їх розташування до конструкції рами було додано елементи, що матимуть місця для їх кріплення. У даному випадку, було обрано використати набір п'єзокерамічних пластин, що здійснюють вібрації в осьовому напрямку при зміні різниці потенціалу на них (рис. 2.12.8) [13].

					МА41МД.01.00.00 ПЗ	Арк.
						80
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

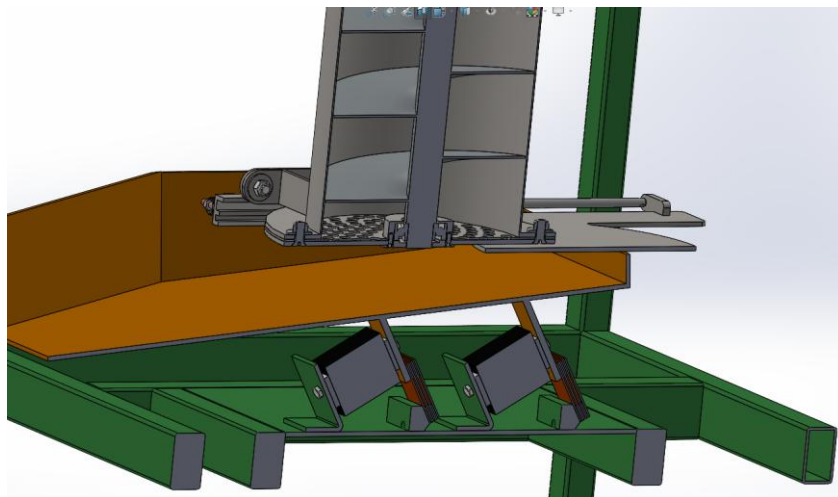


Рисунок 2.12.8 – Зовнішній вигляд направляючої для зсипання зі зтрушувачами

5) Наступним етапом проєктування було розроблення ковша, в який будуть зсипатися залишки матеріалу після спрацювання тензометричних вагових датчиків під ємністю. Даний елемент є необхідним, оскільки він не допускає потрапляння зайвої порції матеріалу в ємність, оскільки, за час, який необхідний, для закриття заслінки, після отримання сигналу від ємнісного датчика, матеріал все ще буде висипатися з заслінки. Таким чином, залишковий матеріал буде використано для наповнення наступної ємності.

Також при проєктуванні враховувалося кріплення двох гідроциліндрів, що виконуватимуть відкриття та закриття ковша (рис.2.12.9) [13].

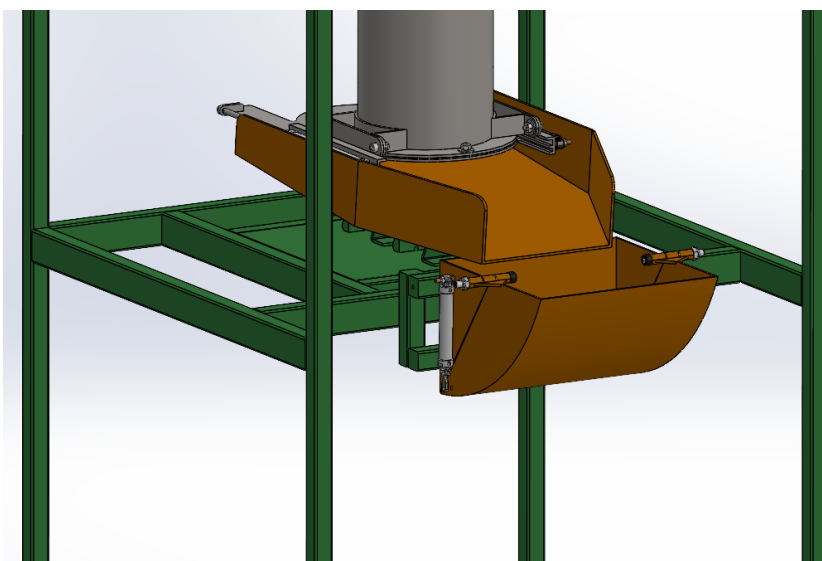


Рисунок 2.12.9 – Зовнішній вигляд ковша в якому формується порція для наступного циклу

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МА41МД.01.00.00 ПЗ

Арк.

81

6) Потім до нашої системи було додано рухомий конвеєр для підведення пустих під наповнення ємностей та їх відведення після наповнення (рис.2.12.10).

Рух конвеєра здійснюється поворотним двигуном що здійснює обертання через черв'ячний редуктор. При позиціонуванні коробок під ковшем для зсипання двигун вимикається і конвеєр буде заблокований за рахунок черв'ячного редуктора. Під рухомою стрічкою знаходяться два тензочувствові, один з них розрахований на вагу 50 кг, тобто вагу заповнення меншої коробки, та зупинятиме роботу системи за циклом наповнення меншої ємності, інший на 100 кг – вагу заповненої більшої коробки, що зупинятиме роботу системи за циклом наповнення більшої ємності.

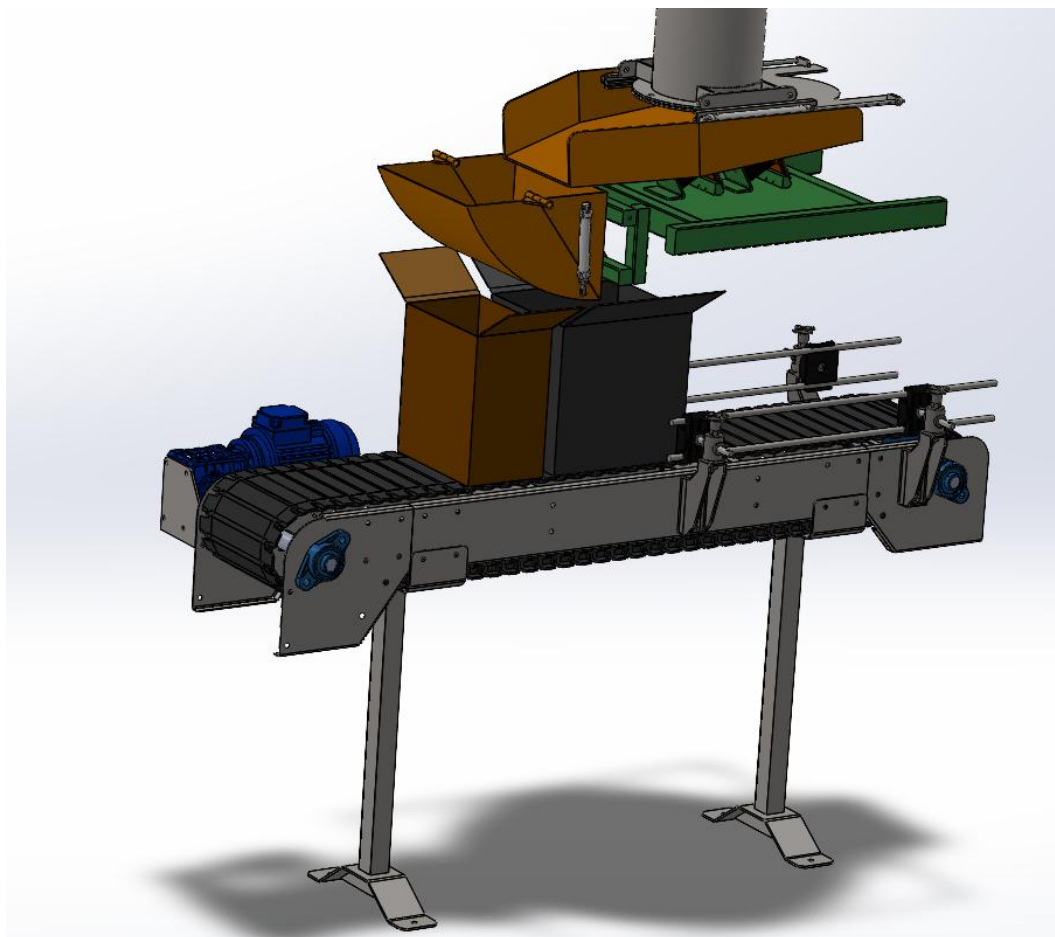


Рисунок 2.12.10 – Зовнішній вигляд рухомого конвеєра та ємностей – коробок під наповнення.

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МА41МД.01.00.00 ПЗ

Арк.

82

7) Останнім етапом проєктування нашої системи є додавання пульта керування та датчиків, що необхідні для роботи гідравлічної системи, а саме: оптичного та ємнісного (рис.2.12.11). Оптичний датчик використовується для визначення типу ємності, якщо він спрацює, тоді ємність коричнева (менша), якщо ні – чорна (більша). А, отже, і цикл, за яким буде відбуватися дозування визначатися саме за їх спрацюванням. Ємнісний датчик – визначає позицію для ємності під ковшем для наповнення, щоб під час його відкриття матеріал потрапляв точно в ємність і не розсипався на конвеєр. Спрацювавши, ємнісний датчик дає команду на зупинку двигуна, що обертає конвеєр через черв'ячний редуктор і конвеєр зупиняється доки ємність не наповниться та не спрацює тензометричний датчик, що визначає її вагу.

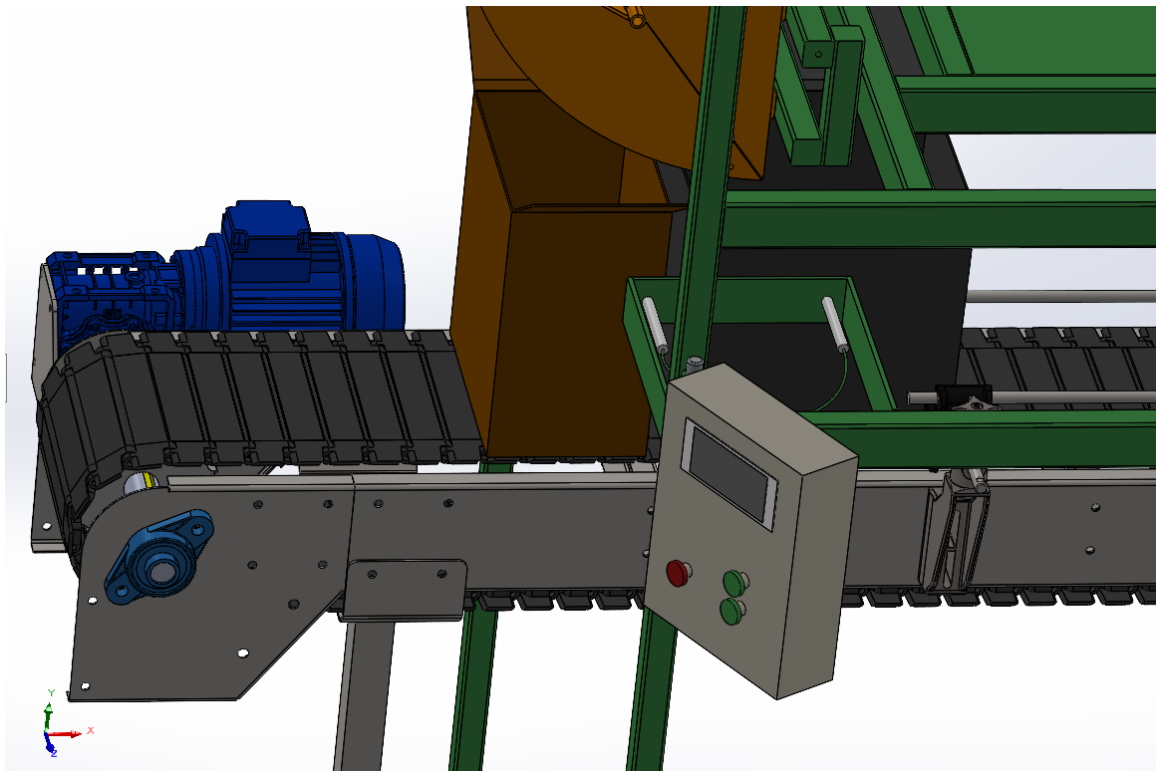


Рисунок 2.12.11 – Зовнішній вигляд ємнісного та оптичного датчика, а також пульта керування функціями дозатора.

Таким чином було спроектовано дозатор сипучих матеріалів зовнішній вигляд якого зображено на рис.2.12.12.

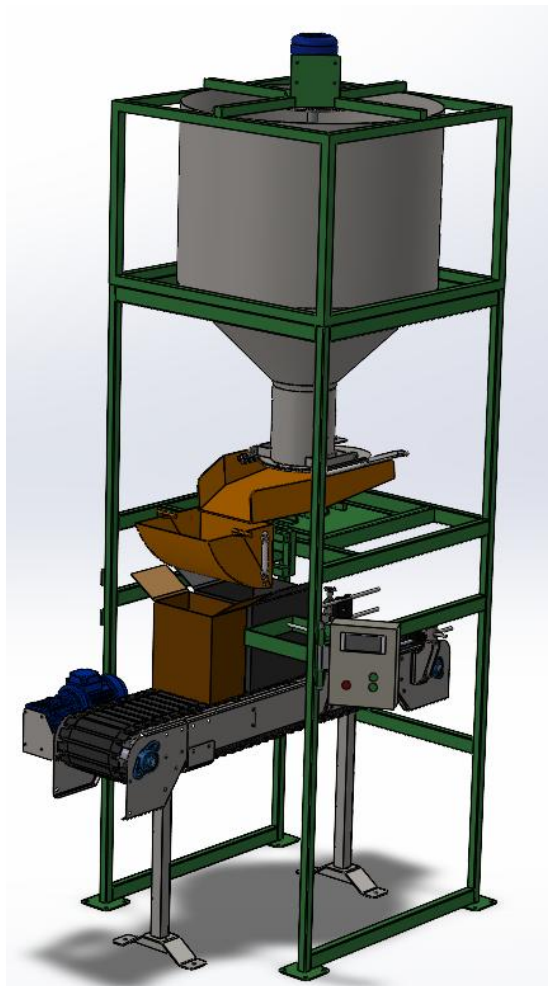


Рисунок 2.12.12 – Зовнішній вигляд збірки дозатора сипучих матеріалів

У результаті розробки системи дозування було досягнуто:

- 1) Підвищення точності дозування сипучого матеріалу на задану вагу, що стало можливим завдяки впровадженню сітки на бункері накопичувачі, шнеку, рухомої заслінки, тензометричних датчиків під рухомою стрічкою конвеєра та ковша для формування порцій матеріалу.
- 2) Точне зважування дозуючого матеріалу, що стало можливим завдяки впровадженню: тензометричних датчиків, що розраховані на різну вагу спрацювання.
- 3) Системи з двома режимами роботи – швидкої та більш повільної, це стало можливим завдяки впровадженню ємнісного та оптичного датчиків, що визначили тип ємності, тим самим визначаючи її об'єм та обраючи для цього відповідний цикл наповнення основний – швидкий для більшої під більшу ємність та альтернативний – повільніший для меншої ємності.

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МА41МД.01.00.00 ПЗ

Арк.

84

Отже, в результаті розробки системи дозування сипучих матеріалів вдалося значно покращити дозуючі характеристики, забезпечивши високу точність для дозування, можливість роботи в двох режимах в залежності від ємності для дозування, можливість визначення тари для дозування, забезпечити точне зважування, перемішування матеріалу, переміщення ємностей під наповнення та вивантаження. Конструкція дозатора сипучих матеріалів є універсальною та дозволяє дозувати матеріал майже будь якої дискретності в залежності від підібраної сітки, а також налаштувань вагів під кожен матеріал окремо.

2.10. Розрахунок основних параметрів гільзи гідроциліндра та розрахунок її на міцність методом кінцевих елементів.

2.10.1. Початкові дані

Початкові дані, що необхідні, для розрахунку гідроциліндру на міцність, та розрахунку параметрів гільзи, наведено в таблиці 2.12.1.

Таблиця 2.12.1 – Початкові дані

Вхідні дані		
Корисне зусилля, Н	P	3000
Робочий тиск, Па	p ₁	1600000
Довжина ходу, мм	L	250
Коефіцієнт відношення площ	ψ	1,33
Механічний ККД	η	0,97
Тиск в напірній лінії, Па	p ₁	1600000
Тиск в зливній лінії, Па	p ₂	100000
Витрата рідини через прохідний отвір, м ³ /с	Q	0,00025975
Швидкість потоку, м/с	v	5
Допустиме навантаження сталі 35, Па	[σ]	150000000

2.10.2. Розрахунок основних параметрів допоміжного гідроциліндра

Згідно отриманих даних з гідравлічного розрахунку допоміжного гідроциліндра було знайдено розміри гільзи передньої та задньої кришок [10].

Було визначено, що внутрішній діаметр гільзи допоміжного циліндра:

$$D_d = 63 \text{ мм} = 0.063 \text{ м}$$

Діаметр штока допоміжного циліндра:

$$d_d = 16 \text{ мм} = 0.016 \text{ м}$$

Довжина ходу допоміжного циліндра:

$$l_d = 250 \text{ мм} = 0.25 \text{ м}$$

Діаметр підвідних отворів допоміжного циліндра:

$$d_{2,n} = 10 \text{ мм} = 0.01 \text{ м}$$

Згідно попередніх розрахунків, було розраховано товщину стінки гільзи:

$$\delta_{\text{гільзи}} = \frac{p_1 * D}{2 * [\sigma]} = \frac{1600000 * 63}{2 * 150000000} * 100 = 3,36$$

Було прийнято:

$$\delta_{\text{гільзи}} = 4 \text{ мм}$$

Було розраховано зовнішній діаметр гільзи:

$$D_{\text{гільзи}} = D + 2\delta_{\text{гільзи}} = 63 + 2 * 4 = 71 \text{ мм}$$

Автоматизований розрахунок основних параметрів допоміжного гідроциліндру, було проведено в середовищі Excel. Для зручності використання, результати розрахунку, було сформовано у вигляді таблиць. Значення результатів даних розрахунків в подальшому було використано при твердотільному моделюванні. На рис. 2.13.1 зображено параметризований розрахунок параметрів допоміжного гідроциліндра в табличному вигляді в середовищі Excel.

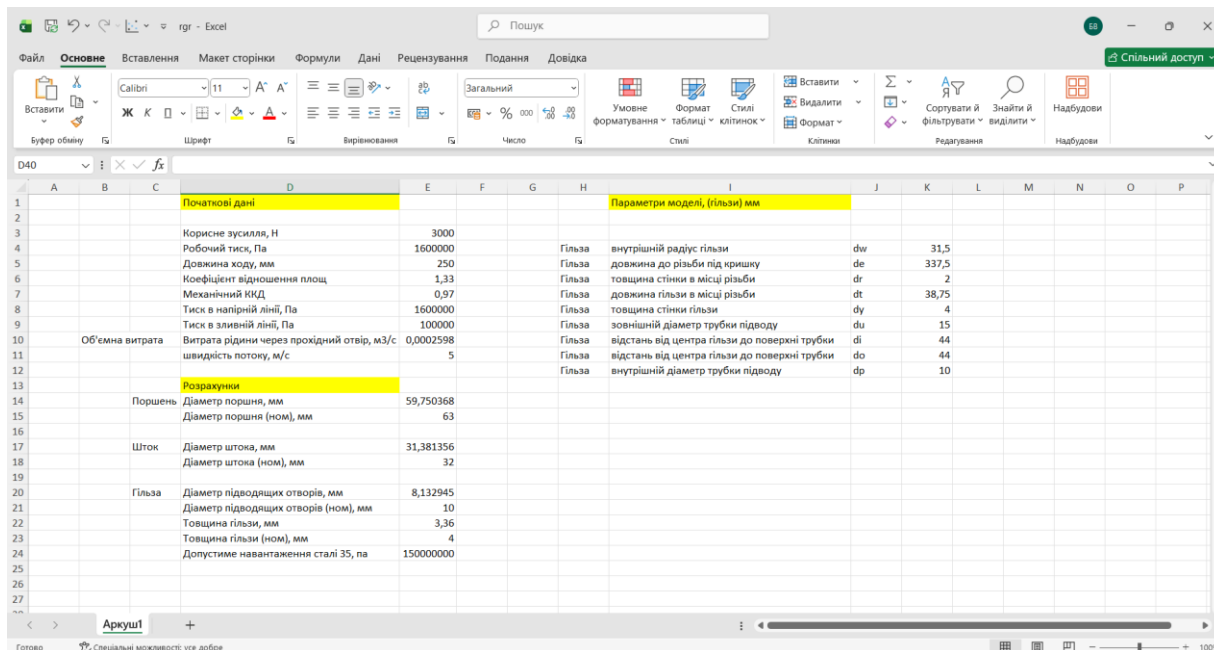


Рисунок 2.13.1 – Розрахунок у середовищі Excel

Основні результати розрахунку наведені в таблиці 2.13.2.

Таблиця 2.13.2 – Таблиця розрахункових даних

Розрахункові дані		
Поршень	Діаметр поршня, мм	59,765
	Діаметр поршня (ном), мм	63
Шток	Діаметр штока, мм	31.38136
	Діаметр штока (ном), мм	32
Гільза	Діаметр підвідних отворів, мм	8.11
	Діаметр підвідних отворів (ном), мм	10
	Товщина гільзи, мм	3,36
	Товщина гільзи (ном), мм	4

Під час створення параметризованої твердотільної моделі допоміжного гідроциліндру, а саме гільзи, були використані результати попередніх розрахунків. Також усі необхідні розміри отримали значення своїх операндів, що забезпечує у подальшому, можливість легкої зміни розрахункових значень при необхідності.

Значення введених даних, для моделювання гільзи допоміжного гідроциліндру наведено у таблиці 2.13.3.

Таблиця 2.13.3 – Таблиця параметрів твердотільних моделей.

Назва параметру	Операнд параметру	Значення параметру
Внутрішній радіус гільзи	dw	31,5
Довжина до різьби під кришку	de	337,5
Товщина стінки в місці різьби	dr	2
Довжина гільзи в місці різьби	dt	38,75
Товщина стінки гільзи	dy	4
Зовнішній діаметр трубки підводу	du	15
Відстань від центра гільзи до поверхні трубки	di	44
Відстань від центра гільзи до поверхні трубки	do	44
Внутрішній діаметр трубки підводу	dp	10

У результаті було отримано параметризовану 3D модель гільзи гідроциліндру, що має зовнішню базу даних. Зазначена база даних забезпечує зв'язок між основними проєктними розмірами, геометричними параметрами та конструктивними елементами виду, що дозволяє уніфікувати процес перебудови та суттєво зменшити вірогідність допущення помилок при внесенні змін.

Шляхом зміни значень введених параметрів, було експериментально підтверджено вірність виконаного процесу параметризації 3D моделі гільзи гідроциліндру (рис. 2.13.2). Цей метод дозволяє швидко адаптувати конструкцію до різних експлуатаційних вимог і типорозмірів.

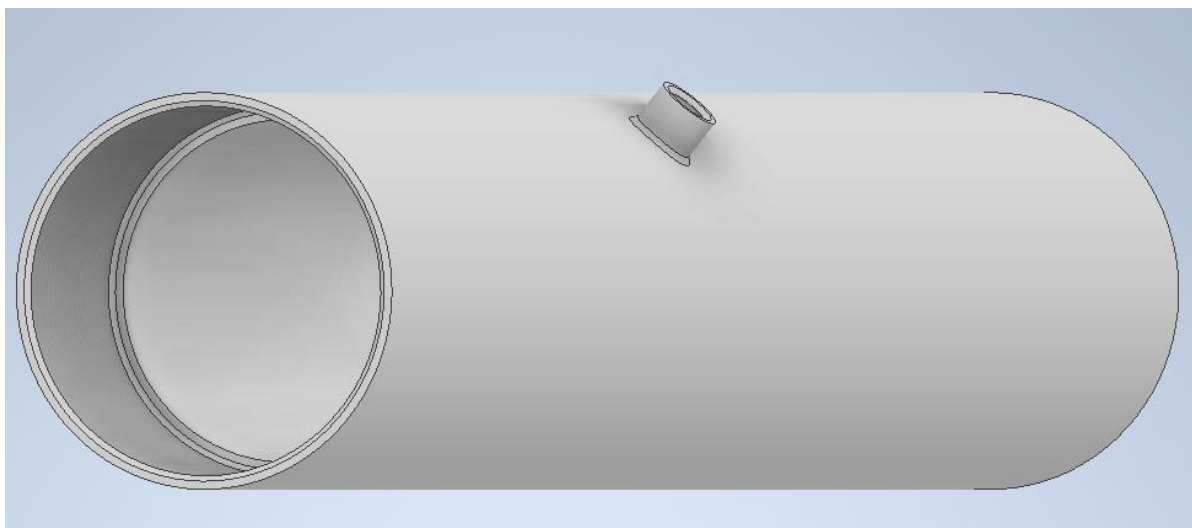
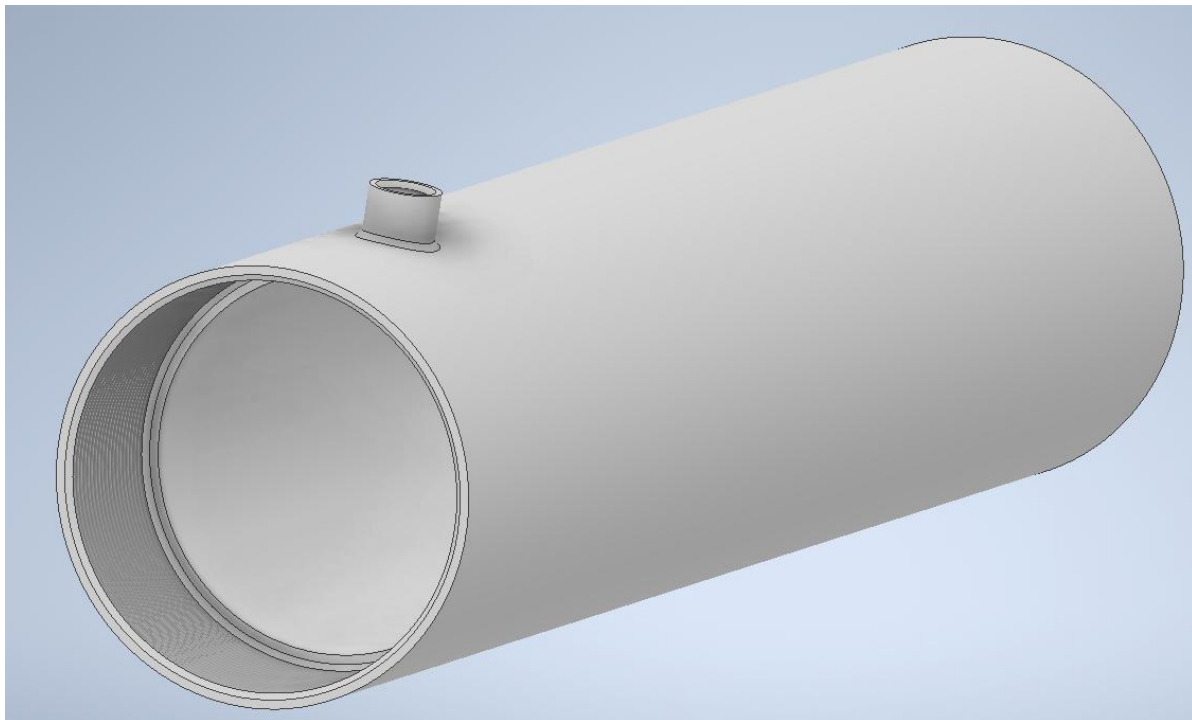


Рисунок 2.13.2 – Параметризована модель гільзи до та після редагування

2.10.3. Розрахунок гільзи гідроциліндру на міцність

Перевірочний розрахунок гільзи гідроциліндру на міцність було проведено з використанням методу кінцевих елементів у середовищі Autodesk Inventor.

Для цього було використано створену 3D модель гільзи гідроциліндру. Для розрахунку на міцність у середовищі Autodesk Inventor, спочатку було обрано матеріал, з якого виконується гільза, а саме– вуглецева сталь 35, та задано її характеристики, а саме: модуль Юнга, коефіцієнт Пуансона,

					МА41МД.01.00.00 ПЗ	Арк.
						89
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

границя текучості та границя міцності при розтягуванні (рис. 2.13.3). Після чого, було задано необхідні для розрахунку параметри, а саме: допустимі напруження матеріалу гільзи та діюче розриваюче навантаження, що обумовлюється наявним тиском рідини, що діють на внутрішні стінки гільзи гідроциліндру, під час його роботи.

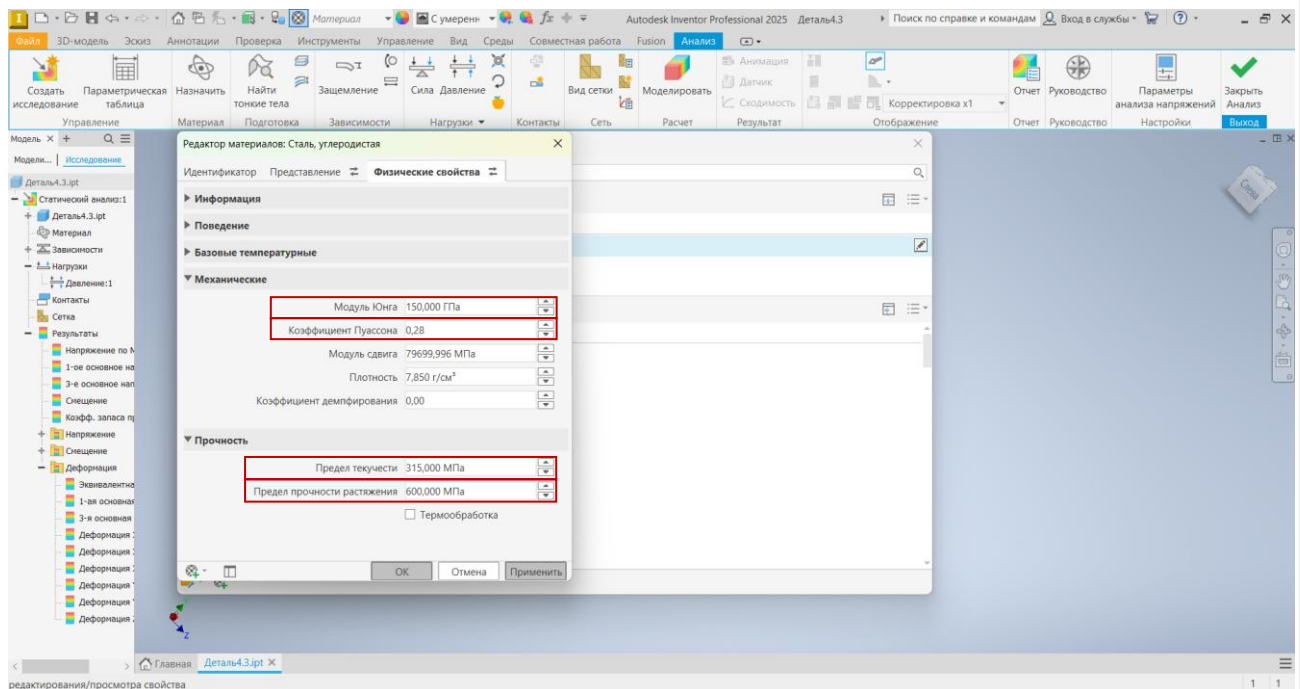


Рисунок 2.13. 3. Налаштування фізичних характеристик матеріалу

Під час розрахунку на міцність, у середовищі Autodesk Inventor, було задано місця кріплення гільзи, а саме – її торцеві поверхні, для відповідності реальному способу кріплення, а саме – нерухоме приєднання до передньої та задньої кришок гідроциліндра, що фіксуються на спроектованій моделі дозатора сипучих матеріалів. Також, було задано та розміщено зовнішнє навантаження, а саме розподілена сила, що відповідає дії сили тиску на всю внутрішню поверхню гільзи гідроциліндра, значення сили тиску, було взято з попередніх розрахунків, для відповідності створеної моделі до розрахованого гідроциліндру (рис. 2.13.4).

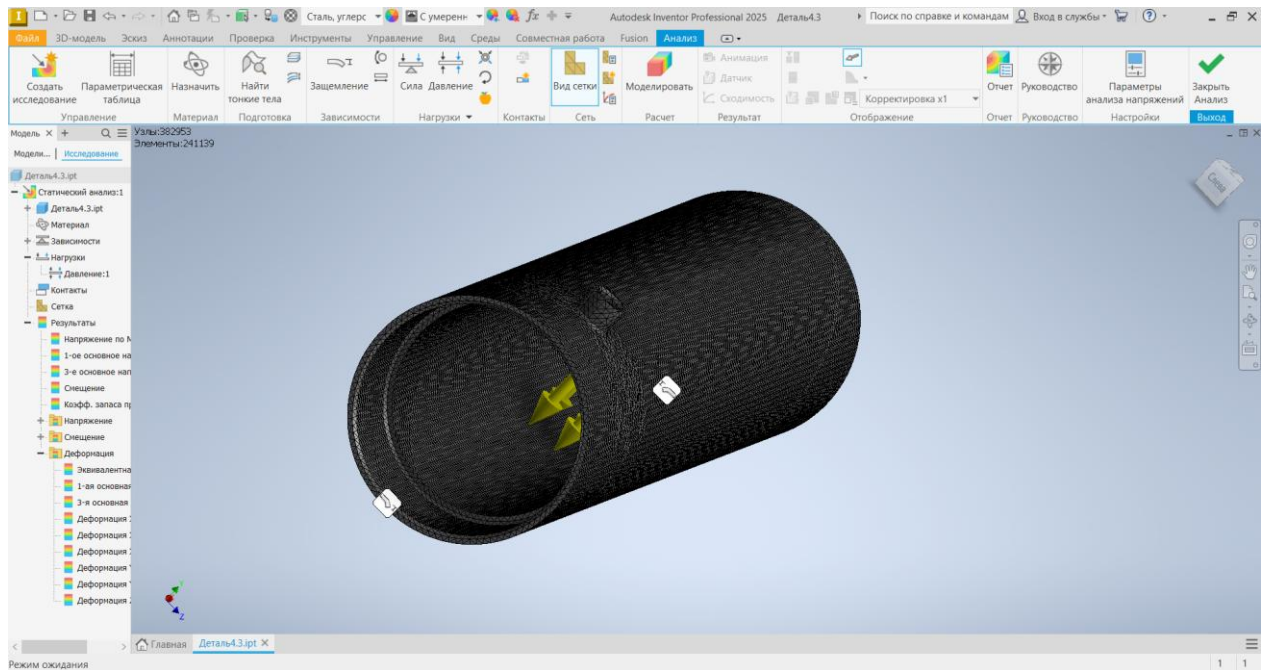


Рисунок 2.13.4. Защемлення торцевих частин гільзи та прикладання тиску з середини

У результаті моделювання було проведено розрахунок гільзи на міцність, що представлений на рис. 2.13.5– 2.13.7

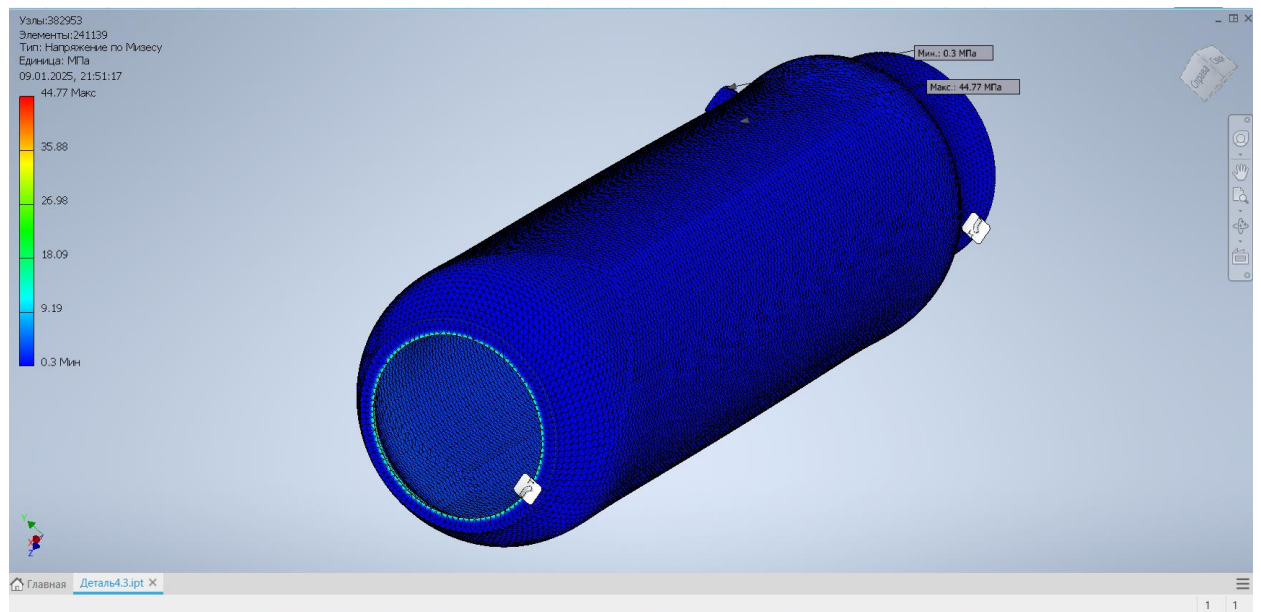


Рисунок 2.13.5 – Розрахунок гільзи на міцність у середовищі Autodesk Inventor, що показує напруження

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МА41МД.01.00.00 ПЗ

Арк.

91

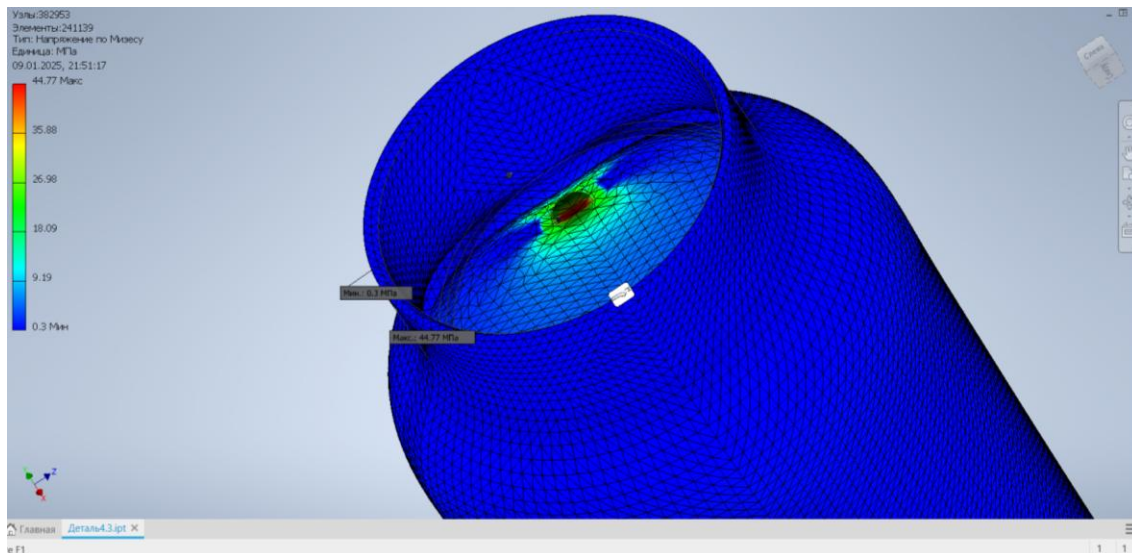


Рисунок 2.13.5 – Розрахунок гільзи на міцність у середовищі Autodesk Inventor, що показує напруження

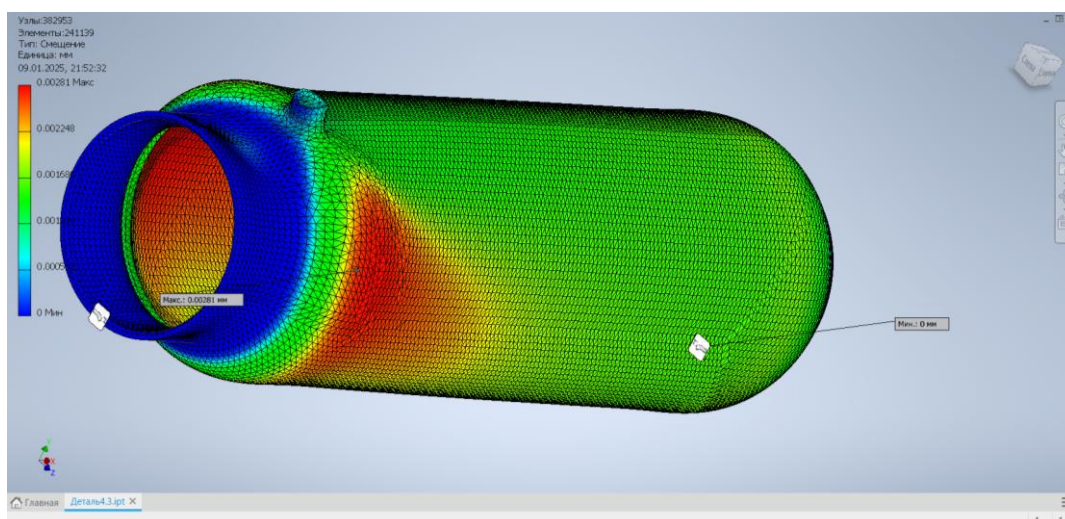
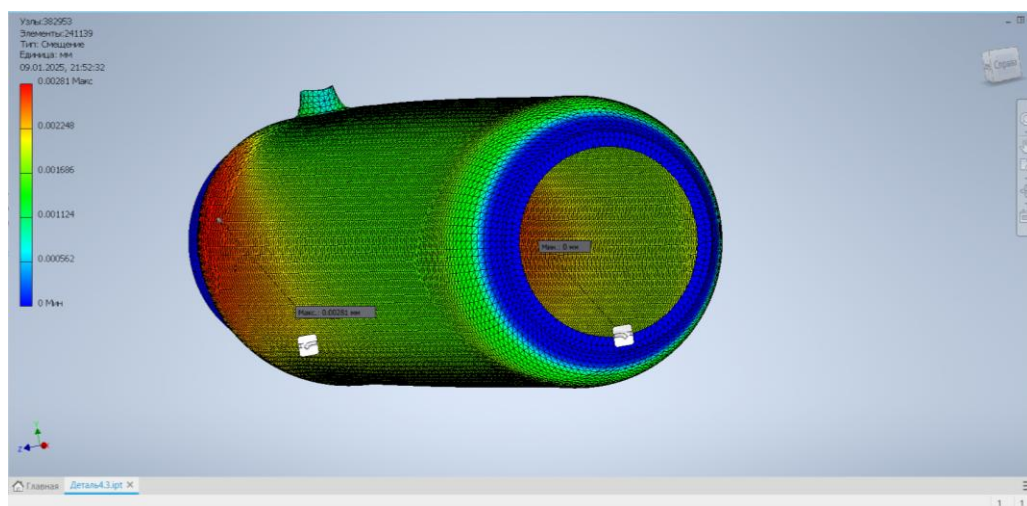


Рисунок 2.13.6 – Розрахунок гільзи на міцність у середовищі Autodesk Inventor, що показує зміщення

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МА41МД.01.00.00 ПЗ

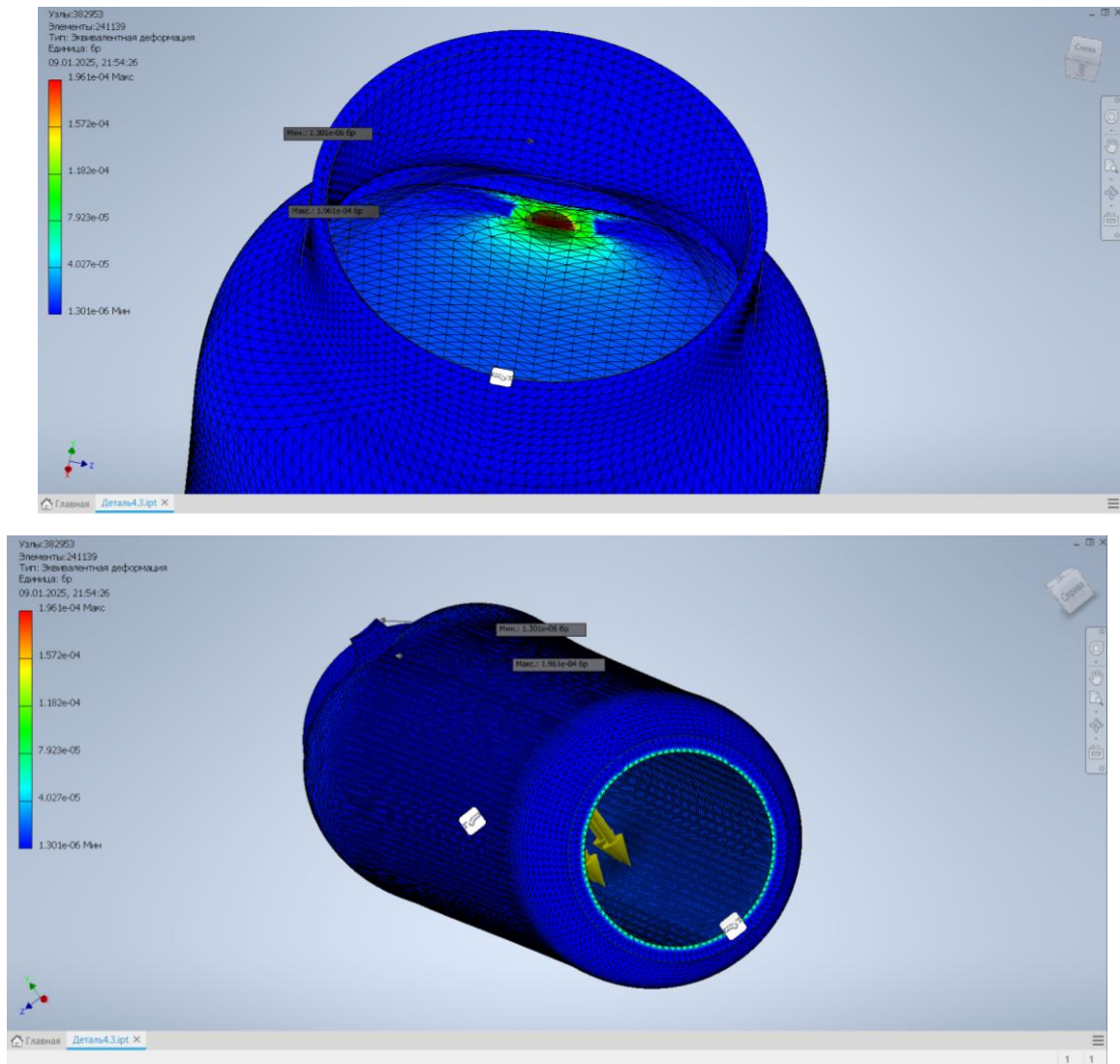


Рисунок 2.13.7 – Розрахунок гільзи на міцність у середовищі Autodesk Inventor, що показує деформацію

Внаслідок проведених розрахунків, було встановлено значення напружень, деформацій та зміщень, що будуть виникати на внутрішній стінці гідроциліндра при його роботі. Згідно отриманих результатів, було визначено, що діючі напруження, не перевищують задані значення матеріалу. Деформації, які виникають на поверхні не перевищують 0,05 мм, що не призводить до недопустимих значень зазору між гільзою та поршнем, відповідно не викликаючи втрати герметичності між двома порожнинами гідроциліндру.

Отже, спроектована гільза, відповідає всім необхідним параметрам та може використовуватися при проектуванні гідроциліндра.

Висновок до розділу 2

Розроблено систему для дозування сипучих матеріалів, функціональний граф роботи системи, що забезпечує дозування, складено команди керування виконавчими пристроями до даної системи, запропоновано різні схемні рішення для реалізації системи дозування сипучих матеріалів, розроблено код керування для контролера.

Проведено гідравлічний розрахунок запропонованої системи, де визначено основні параметри гідроциліндрів що використовуються в процесі дозування сипучих матеріалів, також було проведено підбір обладнання у випадку використання гідравлічної або електрорелейної схем. Розроблено математичну модель процесу стабілізації тиску в порожнинах гідроциліндрів, а також задано математичну модель за допомогою системи в MATLAB Simulink після чого було проведено дослідження на розробленій математичній моделі, яка довела роботоспроможність розроблюваної системи. Після чого було розроблено конструктивні особливості системи дозування які реалізовані на основі отриманих даних, проведених розрахунків параметрів гільзи гідроциліндра та розрахунку її на міцність методом кінцевих елементів, що також підтвердило ефективність застосування запропонованого рішення.

					МА41МД.01.00.00 ПЗ	Арк.
						94
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ. 3. СТАРТАП-ПРОЄКТ СИСТЕМИ ДОЗУВАННЯ СИПУЧИХ МАТЕРІАЛІВ

Було проведено маркетинговий аналіз стартап-проєкту для того, щоб визначити принципові можливості ринкового впровадження та можливих напрямів реалізації впровадження для розроблюваної системи дозування сипучих матеріалів [7].

3.1. Опис ідеї проєкту

У таблиці 3.1 надано інформацію про зміст ідеї, можливі напрямки застосування, основні вигоди, що може отримати користувач товару [7].

Таблиця 3.1 – Опис ідеї стартап-проєкту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Спосіб дозування сипучих матеріалів. Позиціонування здійснюється за оптичного та ємнісного датчиків, а закінчення процесу наповнення за допомогою тензометричних датчиків, що налаштовуються на вагу кінцевого продукту.	1. Виробництво мінеральних добрив	Збереження точності вимірюваної продукції зі зменшенням витрат на обладнання.
	2. Виробництво будівельних матеріалів	
	3. Виробництво мінеральних добрив	
	4. Виробництво сухих кормів та кормових добавок для тварин	

У таблиці 3.2. зроблено аналіз техніко – економічних переваг системи дозування сипучих матеріалів порівняно із пропозиціями конкурентів [7].

Аналіз слабких, нейтральних та сильних сторін техніко-економічних характеристик ідеї дозволяє зробити висновок, що дана ідея може бути конкурентоспроможною.

Таблиця 3.2. – Визначення характеристик ідеї проєкту

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	(Потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проєкт	Бункерні дозатори	Стрічкові дозатори	Шнекові дозатори			
1	Точність позиціонування, %	90	98	99	99	немає	є	немає
2	Вартість, тис. грн	15	22	30	16	немає	немає	є
3	Точність дозування	6	6	6	6	немає	немає	є

3.2. Технологічний аудит ідеї проєкту

Визначення технологічної здійсненності ідеї проєкту, передбачав аналіз ряду складових, що зображено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. – Технологічна здійсненність ідеї проєкту

№ п/п	Ідея проєкту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Створення нового способу дозування сипучих матеріалів	Використання стандартної лінійки обладнання.	Наявна	Доступна
2		Створення нового, спеціалізованого, блоку із стандартних матеріалів власноруч.	Наявна	Доступна
3		Створення нового, спеціалізованого, блоку з композиційних матеріалів власноруч.	Потребує розробки	Не доступна

Відповідно до проведеного аналізу, можна зробити висновок, що даний проєкт, можна реалізувати трьома способами. Однак, економічно доцільніше, використовувати стандартну лінійку обладнання, оскільки, можна підбирати перевірене обладнання в залежності від необхідних характеристик системи. Також, при використанні стандартної лінійки обладнання, система не потребуватиме доробки та є доступною для використання.

3.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту

Було визначено ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проєкту, а також ринкові загрози, які можуть перешкодити реалізації проєкту, що дозволяє спланувати напрями розвитку проєкту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проєктів-конкурентів [7, 6].

Спочатку, було проведено аналіз попиту, а саме: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 3.4.).

Таблиця 3.4. – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проєкту

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	6 млн. дол.
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Відсутні
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	EN ISO 4413: 2010 «Гідравлічні приводи Загальні правила і вимоги безпеки для систем і їх компонентів»; Стандарт NSF H1
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	8%

З таблиці 3.4. видно, що за попереднім оцінюванням ринок є привабливим для входження.

Надалі визначаються потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формується орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (таблиця 5.5.) [7].

Таблиця 3.5. – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проєкту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Спосіб дозування сипучих матеріалів зі зменшенням витрат на обладнання	1) Будівельна промисловість; 2) Харчова промисловість; 3) Хімічна промисловість; 4) Кормова промисловість; 5) Видобувна промисловість.	1) Стандарт NSF H1; 2) Різний тип обладнання; 3) Різні потужності виробництва	1) Легке встановлення системи; 2) Ремонтна-придатність; 3) Окупність в найкоротші строки; 4) Надійність; 5) Низька вартість; 6) Точність дозування

Після визначення потенційних груп клієнтів було проведено аналіз ринкового середовища, а саме: складено таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проєкту та факторів, що йому перешкоджають (таблиці 3.6. - 3.7.). Фактори в таблицях подані в порядку зменшення значущості [7].

Таблиця 3.6. – Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Вартість	Вартість виготовлення вища у порівнянні з іншими типами	Відмова від становлення
2	Строк служби	Строк служби системи має бути більшим ніж строк її окупності компанією-замовником	Заміна на нову систему іншого постачальника. Відмова від подальшої співпраці.

Таблиця 3.7. – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Підвищення точності позиціонування	Скорочуються витрати на коригування та налаштування системи	Перехід на систему даного типу для всіх етапів виробництва, де необхідне точне позиціонування
2	Зменшення витрат на систему	Зменшення собівартості продукту, що випускається	Зниження вартості вихідного продукту
3	Підвищення точності дозування	Скорочуються витрати на коригування та налаштування системи	Перехід на систему даного типу для всіх етапів виробництва, де необхідне точне дозування

Надалі проводився аналіз пропозиції: визначалися загальні риси конкуренції на ринку (таблиця 3.8.).

Таблиця 3.8. – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
1. Тип конкуренції	Монополістична	Нові продавці часто відчують труднощі з новими для покупців торговельними марками і послугами.
2. За рівнем конкурентної боротьби	Національна	Сприяє вливанню капіталів державою та інвесторами, створює конкурентну боротьбу.
3. За галузевою ознакою	Міжгалузева	Сприяє зниженню витрат виробництва, впровадженню НТП та підвищенню ефективності виробництва.
4. Конкуренція за видами товарів	Товарно-родова	Конкуренція між різними видами товарів, які можуть виконувати подібні функції.
5. За характером конкурентних переваг	Нецінова	Головною конкурентною перевагою є точність дозування.
6. За інтенсивністю	Марочна	Ситуація на ринку, де компанія розглядає як своїх конкурентів компанії, що пропонують подібний продукт.

Після аналізу конкуренції було проведено більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (таблиця 3.9.).

Таблиця 3.9. – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі кон- куренти в галузі	Потенційн і конкуренти	Постачаль ники	Клієнти	Товари-за- мінники
Складові аналізу	На ринку спостерігається тенденція до збільшення кількості підприємств і посилення конкуренції на ринку.	Бар'єри входу на ринок є порівняно незначними. Вартість організації бізнесу сягає 60 тис. дол.	Існує чітка залежність від постачальників якості продукції.	Споживачі мають широку географію	Посилилася конкуренція зі сторони товарів з іншими типами дозування.

Висновки: існує інтенсивна боротьба з боку прямих конкурентів, існує можливість виходу на ринок, а товари замітники пропонують вищу вартість. На основі аналізу конкуренції, приведеного в таблиці 3.9., а також при врахуванні характеристик ідеї проєкту (таблиця 3.2.), вимог споживачів до товару (таблиця 3.5.) та факторів маркетингового середовища (таблиці 3.6.-3.7.) визначався та обґрунтовувався перелік факторів, що впливають на конкурентоспроможність [9]. Даний аналіз оформлено в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10. – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проєктів значущим)
1	Унікальність дозування	В умовах монополістичної конкуренції, важливим є створення та підтримання унікального способу підтримання точності дозування,

		що створює захист від конкурентних зіткнень [7].
2	Ціна	Оскільки спосіб, що забезпечує точність дозування є порівняно не дорогим, то ціна на товар є одним із засобів ведення боротьби. Тому, чим вигіднішою є ціна для споживача, тим імовірніший його вибір [7].
3	Маркетинговий бюджет	Від розміру маркетингового бюджету залежить здатність здійснювати маркетингову стратегію підприємства. Маркетингові заходи мають забезпечувати інші конкурентні переваги такі, як рівень диференціації, лояльності, репутація виробника, дистрибуція та просування [7].

За визначеними факторами конкурентоспроможності (табл. 3.10.) проводився аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл. 3.11.).

Таблиця 3. 11. – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін способу дозування сипучих матеріалів

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з САТ						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Унікальність дозування	20							+3
2	Ціна	18					+1		
3	Маркетинговий бюджет	10			-1				

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МА41МД.01.00.00 ПЗ

Арк.

103

Останнім етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту було складання SWOT-аналізу, матриці аналізу сильних та слабких сторін, загроз та можливостей на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (таблиця 3.12).

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення [8, 9].

Таблиця 3.12. – SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: 1. Унікальне дозування; 2. Покращення техніко-економічних показників установок 3. Нижча ціна порівняно з конкурентами.	Слабкі сторони: 1. Слабке самозабезпечення фінансовими ресурсами; 2. Відсутність чітко вираженої маркетингової стратегії, непослідовність в її реалізації.
Можливості: 1. Можливість збільшення обсягів реалізації системи 2. Можливість збільшення обсягів продаж за рахунок впровадження ще більш точних систем дозування. 3. Можливість збільшення обсягів клієнтської бази за рахунок збільшення лінії продукту, внаслідок можливості регулювати його характеристики.	Загрози: 1. Загроза втрати споживачів внаслідок підвищення тиску зі сторони товарів-субститутів 2. Загроза підвищення цін на продукт унаслідок підвищення цін на сировину та її дефіциту.

3.4. Розроблення ринкової стратегії проекту

Першим кроком розроблення ринкової стратегії проекту є визначення стратегії охоплення ринку продукцією, а саме: опис цільових груп потенційних споживачів їх готовність сприйняти продукт, попит на продукт, конкретність та складність входу у сегмент. Даний опис приведено в таблиці 3.13. [7-9].

Таблиця 3.13. - Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Будівельна промисловість	+	високий	середня	середня
2	Харчова промисловість	+	високий	середня	високий
3	Хімічна промисловість	+	середній	високий	низький
4	Кормова промисловість	+	високий	середня	середня
5	Видобувна промисловість	+	високий	середня	середня
Які цільові групи обрано: обрані всі цільові групи потенційних споживачів					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів була визначена стратегія охоплення ринку: компанія працює із всім ринком, пропонуючи стандартизовану програму, значить використовується диференційований маркетинг [9].

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку (таблиця 3.14.).

Таблиця 3.14. – Визначення базової стратегії розвитку

№	Обрана альтернатива розвитку проєкту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Розвиток ринку	Масовий маркетинг	Низькі витрати створюють бар'єр входу для нових конкурентів і одночасно хороший захист проти товарів-замінників	Стратегія лідерства по витратах
2	Розвиток товару	Диференційований маркетинг	Відмітні властивості товару і завойована прихильність клієнтів захищають фірму від товарів-замінників	Стратегія диференціації
3	Більш глибоке проникнення на ринок	Концентраційний маркетинг	Задоволення потреб вибраного цільового сегменту краще, ніж конкуренти	Стратегія спеціалізації

На основі таблиці 3.14. обрана базова стратегія розвитку – стратегія диференціації.

Наступним кроком був вибір стратегії конкурентної поведінки (таблиця 3.15.). Головним є наявний потенціал, уміння його ефективно використовувати та розвивати. Важливим є розуміння того, що конкурентоспроможність підприємства залежить від його внутрішнього стану, а також зовнішнього положення організації [9].

Таблиця 3.15. – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проєкт «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Так	Так	Ні	Стратегія лідера
2	Ні	Так	Ні	Стратегія виклику лідера
3	Ні	Ні	Так	Стратегія наслідування лідеру
4	Так	Ні	Ні	Стратегія заняття конкурентної ніші

На основі таблиці 3.15. стратегія конкурентної поведінки - стратегія виклику лідера.

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту (див. табл. 3.5), а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку (табл. 3.14) та стратегії конкурентної поведінки (табл. 3.15) розроблялася стратегія позиціонування (табл. 3.16), що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект [9].

Таблиця 3.16. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкуренто-спроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	1. Легке встановлення системи; 2. Ремонтна-придатність; 3. Окупність в найкоротші строки; 4. Надійність; 5. Низька вартість.	Стратегія диференціації	1. Порівняно низька вартість; 2. Надійність; 3. Простота виконання; 4. Легке встановлення.	1. Ефективність; 2. Економія; 3. Технологічність; 4. Ергономічність.

3.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту

Першим кроком було формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 3.17 було підсумовано результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару [6].

Таблиця 3.17. – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Підвищення точності дозування	Підвищення якості роботи	Легкість в обслуговуванні та використанні
2	Зменшення витрат на систему	Зниження собівартості готової продукції	Невелика вартість системи

Важливим моментом було визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар, яке передбачало аналіз ціни на товари-аналоги або товари субституту, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (табл. 3.19.) [6]. Аналіз проводився експертним методом.

Таблиця 3.19. – Визначення меж встановлення ціни

Рівень цін на товари- замінники	Рівень цін на товари- аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
6-9 тис. дол.	20-27 тис. дол.	2 млрд. дол.	12-15 тис. дол. на ступінь

Наступним кроком було визначення оптимальної системи збуту, в межах якої приймалося рішення (табл. 3.20.):

- проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників (власна або залучена система збуту);
- вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту;
- вибір та обґрунтування виду посередників.

Таблиця 3.20. – Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Потребують надійної системи, що має високу ефективність та надійне дозування матеріалів за вагою.	Просування на ринок подібних продуктів в рамках даної системи збуту вимагає широкої реклами.	Канал нульового рівня	Складається з виробника, який продає свій товар безпосередньо споживачам

Останньою складовою маркетингової програми було розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спиралося на попередньо обрану основу для дозування та визначену специфіку поведінки клієнтів (таблиця 3.21.).

Таблиця 3.21. – Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для дозування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення

Потребують надійної системи, що має високу ефективність та надійне дозування матеріалів за вагою.	Продаж в режимі онлайн, замовлення через сайти виробників з наявними каталогами з характеристик ами продукції.	Конкурент не дозування, що базується на демонстрації переваг товарів підприємства над товарами конкурентів.	Збільшити обсяг продажу своїх товарів	Головними елементами структури реклами є тема реклами, про точність системи дозування і девіз рекламної кампанії про якість і надійність продукції.
---	--	---	---------------------------------------	---

Висновок до розділу 3.

Проведено аналіз можливості ринкової комерціалізації проєкту. За результатами аналізу виявлено, що технологічна реалізація проєкту можлива, визначені його сильні та слабкі сторони, конкурентні позиції на ринку систем дозування сипучих матеріалів.

Даний ринок є привабливим для входження через невелику вартість та високу ефективність технології. З огляду на потенційні групи клієнтів, та не дуже великі бар'єри входу на ринок, через покращені можливості точності дозування, у порівнянні з товарами конкурентів, даний проєкт можна вважати перспективним для впровадження.

РОЗДІЛ. 4. БЕЗПЕЧНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ОБСЛУГОВУВАННЯ ОБ'ЄКТА ПРОЄКТУВАННЯ

Невід'ємною частиною при написанні будь-якого дипломного проєкту є розділ з охорони праці, оскільки саме в ній зосереджено частину по забезпеченню безпеки та захисту працівників, створенню сприятливих умов для виконання роботи, а також для запобігання можливих травм, пошкоджень чи захворювань внаслідок діяльності на виробництві. Дотримання працівниками вимог та рекомендацій цього розділу не лише сприятиме підвищенню ефективності та результативності під час роботи, але й значно зменшить негативний вплив на їх здоров'я, форсуючи при цьому стабільне та безпечне робоче середовище.

Тема дипломної роботи «Система дозування сипучих матеріалів з підвищеною точністю дозування». У цій роботі мною було розглянуто принципи роботи сучасний систем дозування, визначено їх основні переваги та недоліки, а також було створено гідравлічну систему, з якої в подальшому було сформовано конструкцію, яка буде відповідати тій меті яка ставилася.

4.1. Умови та впливи, що можуть створити загрозу.

Для того, щоб визначити чинники, які можуть нести небезпеку для життя та здоров'я людини, спочатку було з'ясовано, які саме умови чи впливи можуть створити потенційну загрозу:

1. Пил та мікрочастинки.

При роботі дозатора можливе утворення пилу, особливо при дозуванні таких матеріалів (зерно, комбікорм, добрива, тирса, пісок), який може потрапляти в дихальні шляхи, та як наслідок – призвести до алергічних реакцій, подразнень слизової оболонки, та навіть захворювань органів дихання.

2. Підвищений рівень шуму.

Під час роботи гідравлічні системи створюють певний шум від насосної станції, роботи електродвигуна по обертанню шнеку, відкриття/закриття заслінки та ковша, а також від руху конвеєра. Все це може з часом вплинути на слух та нервову систему.

3. Вібрація.

Довготривала робота з обладнанням, яке має здатність до вібрацій, може викликати передчасну втому, порушити кровообіг, підвищити навантаження на суглоби.

4. Небезпека затягування або травмування.

Частини що обертаються як от шнек, або ж рух конвеєра, або ж відкриття/закриття заслінки та ковша, можуть призвести до травм, у випадку потрапляння працівником у зону дії механізму.

5. Гідравлічний тиск.

Може виникнути різкий викид робочої рідини під тиском, унаслідок прориву трубопроводу або ж внаслідок неспраності гідравлічного обладнання, що є небезпечним для шкіри та очей.

6. Високе фізичне навантаження.

Підйом важких ємностей для дозування матеріалу чи перенесення його, може призвести до перенапружень м'язів або травмувати опорно-руховий апарат.

7. Електрична безпека.

Дозатор містить електродвигуни для шнеку та конвеєра, датчики, клапани з електричним керуванням, все це може становити небезпеку ураження струмом у разі пошкодження кабелів або ж неправильній експлуатації обладнання.

8. Пожежна безпека.

Робота електрообладнання та запиленість у високій концентрації може бути вибухонебезпечною, оскільки є ризик перегріву особливо при несправній вентиляції приміщення.

4.2. Комплекс заходів направлених на зниження небезпечного та шкідливого впливу.

Було розроблено рекомендації щодо комплексу заходів направлених на зниження небезпечного та шкідливого впливу:

1. Зниження пилового впливу.

Це можливо досягти за рахунок ефективної системи аспірації, регулярної чистки обладнання та всього приміщення, а також герметизації місць, у яких може утворюватися найбільше пилу. Також, як додаткова рекомендація - це забезпечення всіх працівників респіраторами та іншими засобами захисту органів дихання, особливо при роботі з матеріалами, які утворюють значну кількість пилу.

2. Зниження шумового впливу.

Це можливо досягти за рахунок використання шумоізованих кожухів та амортизуючих елементів на місцях з найбільшим утворенням віброакустичних навантажень. Ще одна рекомендація для роботи персоналу - це використання захисних навушників або ж берушів.

3. Зниження впливу вібрацій.

Це можливо досягти за рахунок встановлення антивібраційних опор і демпферів а також важливо вчасно здійснювати обслуговування та контроль технічного стану механізмів, оскільки саме надмірне зношення компонентів сприяє збільшенню інтенсивності вібраційних впливів.

4. Зниження небезпеки затягування чи травмування.

Це можливо досягти за рахунок оснащення всіх потенційно небезпечних механізмів кожухами та огороженнями, при цьому з доступом до них лише після повної зупинки роботи всієї системи. Для цього має проводитися регулярно інструктаж техніки безпеки.

5. Зниження небезпеки пов'язаної з високим тиском.

Це можливо досягнути за рахунок надійності усіх з'єднань, шлангів, клапанів, гідроциліндрів, та проведення регулярних технічних оглядів у встановлені терміни. Працівники мають використовувати захисні окуляри та рукавиці під час роботи чи обслуговування гідравлічної системи.

					МА41МД.01.00.00 ПЗ	Арк.
						114
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Зниження високого фізичного навантаження.

Це можливо за рахунок використання механізованих засобів для переміщення вантажу, наприклад, таких як мій рухомий конвеєр, що буде здійснювати переміщення ємностей для дозування у чітко визначену позицію, а також вивантаження вже наповнених.

7. Зниження електричної небезпека.

Це можливо за рахунок виконання регулярного огляду стану електропроводки, перевірки заземлень, контролю справності аварійних вимикачів, а також допуску до електрообладнання лише після проведення інструктажів з техніки безпеки та лише кваліфікованих робітників.

8. Зниження пожежної небезпеки

Це можливо за рахунок регулярної чистки та догляду за всім електрообладнанням, оскільки саме через утворенню пилу при дозуванні та його накопиченні на поверхні, електрообладнання може сильно нагріватися, що є пожежонебезпечним явищем. Обов'язкова рекомендація для таких робіт, це мати завжди справні протипожежні датчики, вогнегасники та контролювати нагрівання вузлів обладнання.

Небезпечні та шкідливі виробничі чинники при роботі з гідравлічним дозатором сипучих матеріалів і заходи щодо їх зниження приведено в таблиці 5.15.

Таблиця 5.15. – Ризиків та заходи зниження небезпечного та шкідливого впливу

Небезпечний / шкідливий чинник	Можливі наслідки для працівника	Заходи щодо зниження або усунення впливу
Пил та мікрочастинки	Подразнення дихальних шляхів, алергії, хронічні респіраторні хвороби	Аспірація, вентиляція, очищення поверхонь, респіратори, герметизація вузлів

Підвищений рівень шуму	Зниження слуху, неврози, стрес, зниження концентрації	Звукоізоляція, амортизаційні прокладки, відокремлення шумних зон, захисні навушники
Вібрація	Втома, порушення кровообігу, захворювання опорно-рухового апарату	Антивібраційні опори, демпфери, технічний контроль стану обладнання, перерви в роботі
Небезпека затягування або травмування	Травми, ушкодження кінцівок, затягування одягу	Захисні кожухи та огороження, блокування, інструктаж, зупинка обладнання під час обслуговування
Гідравлічний тиск	Порізи, опіки, травми від розриву шлангів або струменя рідини	Регулярна перевірка шлангів і клапанів, використання сертифікованих деталей, окуляри та рукавички
Високе фізичне навантаження	Перенапруження, травми спини та суглобів	Транспортне обладнання – конвеєр, ергономіка робочого місця
Електрична небезпека	Ураження електричним струмом	Контроль ізоляції, заземлення, аварійні вимикачі, інструктаж, доступ лише кваліфікованих осіб
Пожежна небезпека	Пожежа, вибух, травми, загроза життю	Очищення пилу, пожежні датчики, контроль нагрівання, вогнегасники

4.3. Безпека використання робочої рідини в гідравлічній системі дозатора

У гідравлічній системі розробленого дозатора було обрано як робочу рідину, яка відповідає стандарту NSF, масло Mobil SHC Cibus 32. Даний стандарт дозволяє застосовувати це мастило у гідросистемах в харчових галузях промисловості, де допускається випадковий контакт з продуктами харчування. Обране мастило також має високий рівень безпеки для персоналу, при контакті зі шкірою не викликає шкідливих реакцій та за умови дотримання вимог по експлуатації, не чинить негативного впливу на здоров'я, що дозволяє суттєво знизити ризик виникнення, з часом, професійних захворювань та покращує санітарно-гігієнічний стан на робочому місці. У випадку дозування зерна чи інших сипучих матеріалів харчового призначення, застосування цієї робочої рідини не призведе до виникнення небезпечних факторів, таких як забруднення продукції, та в повній мірі відповідає санітарно-гігієнічним нормам. Окрім використання при дозуванні зерна, ця система дозволяє дозувати і інші харчові продукти: крупи, борошно, комбікорма та інші сипучі матеріали. Конструкція дозатора та використання в її гідравлічній системі цього мастила дозволяє використовувати її як універсальну систему, дозування якої може здійснюватися так і для матеріалів які не належать до харчової галузі, такі як мінеральні добрива, пісок, тирса та інші матеріали, без порушення вимог безпеки.

Отже, вибір масла в гідравлічній системі Mobil SHC Cibus 32 є технічно та санітарно обґрунтованим, а також відповідає вимогам з охорони праці та виробничої безпеки. А універсальність робить її застосування можливим для будь яких сфер у галузях промисловості без зниження рівня безпеки.

4.4. Організація робочого місця оператора дозатора

Рациональне розміщення робочого місця для оператора дозатора сипучих матеріалів є важливою складовою для забезпечення комфортних та

					<i>МА41МД.01.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						117
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

безпечних умов праці, а також ефективного і зручного керування за технологічним процесом.

Робоче місце повинно бути розміщеним таким чином, щоб мінімізувати вплив небезпечних факторів, а також зменшити фізичне навантаження на оператора. Пульт керування дозатором має бути розміщено у безпечному та зручному місці та поза зоною дії рухомих частин. За такого розташування пульта керування оператор матиме можливість оперативного налаштування режимів роботи дозатора, контролювати процес дозування, а також керувати електродвигунами, що здійснюють обертання шнеку та рухомого конвеєра для підведення під фасування чи відведення вже заповненої коробки. Керування пультом здійснюється за чітко визначеною інструкцією, а кнопки на ній промарковані, що зменшує ймовірність допущення помилок під час керування обладнанням. Робоче місце також має надавати можливість зручного та безпечного доступу до основних вузлів дозатора для контролю та проведення огляду за регламентом. Перед проведенням регламентних робіт та обслуговуванням обладнання, обов'язкова повна зупинка та вимкнення всіх пристроїв, а також дотримання техніки безпеки. Наявний простір навколо конструкції дозатора передбачає вільне пересування оператора та безпечне виконання необхідних виробничих операцій без обмежень рухів.

Ще однією важливою характеристикою для забезпечення безпеки під час роботи є достатня освітленість робочого місця. Освітленість має бути достатньою для точного візуального контролю всіх процесів дозування, відображень показників приладів, а також органів керування. При недостатній освітленості передбачається додаткове встановлення освітлювальних пристроїв які б надавали штучне освітлення та при цьому не створювали відблисків від поверхонь, тіней та ефекту засліплення. Саме достатня освітленість сприятиме вчасному виявленню оператором відхилень в роботі обладнання для запобігання аварійної ситуації.

Таким чином вся організація робочого місця для оператора системи дозування спрямована на створення безпечних, ергономічних і комфортних

					<i>МА41МД.01.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						118
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

умов праці, які б задовольняли вимогам охорони праці та сприяли покращенню надійності і ефективності роботи дозувальної системи.

Висновок до розділу 4

У цьому розділі «безпечна експлуатація та обслуговування об'єкта проектування» було визначено умови необхідні для роботи над системою дозування сипучих матеріалів та проаналізовано потенційно небезпечні і шкідливі виробничі чинники. Для кожного з них було запропоновано рішення технічних та організаційних заходів, які б дозволяли суттєво знизити або унеможливили б їхній негативний вплив.

Також було розглянуто безпеку при виборі робочої рідини, організацію робочого місця оператора, яка б відповідала вимогам охорони праці, а також було визначено правила та рекомендації щодо обслуговування, огляду та забезпечення протипожежної безпеки. За таких умов, дотримуючись техніки безпеки та правил експлуатації всіх встановлених систем, робота дозатора є цілком безпечною для персоналу та не становить ніякої загрози їх життю та здоров'ю.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Розглянуто застосування систем дозування на сучасному виробництві та в технологічних процесах багатьох галузей промисловості. Також визначені критерії за якими здійснюється підбір системи дозування в залежності від вимог по точності, умовами експлуатації, конструкції, фізико-механічними властивостями матеріалу та рівнем автоматизації.

Представлено класифікацію систем дозування та проаналізовано найбільш поширені способи дозування сипучого матеріалу в сучасній промисловості з детальним описом принципу роботи - бункерних, стрічкових, шнекових дозаторів, а також дискового поворотного затвору. Для кожного такого типу визначено головні переваги й недоліки, а також сфери, де вони найбільш ефективно застосовуються.

Розроблено систему для дозування сипучих матеріалів, функціональний граф роботи системи, що забезпечує дозування, складено команди керування виконавчими пристроями до даної системи, запропоновано різні схемні рішення для реалізації системи дозування сипучих матеріалів, розроблено код керування для контролера.

Проведено гідравлічний розрахунок запропонованої системи, де визначено основні параметри гідроциліндрів що використовуються в процесі дозування сипучих матеріалів, також було проведено підбір обладнання у випадку використання гідравлічної або електрорелейної схем. Розроблено математичну модель процесу стабілізації тиску в порожнинах гідроциліндрів, а також задано математичну модель за допомогою системи в MATLAB Simulink після чого було проведено дослідження на розробленій математичній моделі, яка довела роботоспроможність розроблюваної системи. Після чого було розроблено конструктивні особливості системи дозування які реалізовані на основі отриманих даних, проведених розрахунків параметрів гільзи гідроциліндра та розрахунку її на міцність методом кінцевих елементів, що також підтвердило ефективність застосування запропонованого рішення.

					<i>МА41МД.01.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						120
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Було проведено аналіз можливості ринкової комерціалізації проєкту. За результатами аналізу було виявлено, що технологічна реалізація проєкту можлива, визначені його сильні та слабкі сторони, конкурентні позиції на ринку систем дозування сипучих матеріалів.

Даний ринок є привабливим для входження через невелику вартість та високу ефективність технології. З огляду на потенційні групи клієнтів та не дуже великі бар'єри входу на ринок, через покращені можливості точності дозування, у порівнянні з товарами конкурентів, даний проєкт можна вважати перспективним для впровадження.

У цьому розділі «Охорона праці» було визначено умови необхідні для роботи над системою дозування сипучих матеріалів та проаналізовано потенційно небезпечні і шкідливі виробничі чинники. Для кожного з них було запропоновано рішення технічних та організаційних заходів, які б дозволяли суттєво знизити або унеможливили б їхній негативний вплив.

Також було розглянуто безпеку при виборі робочої рідини, організацію робочого місця оператора, яка б відповідала вимогам охорони праці, а також було визначено правила та рекомендації щодо обслуговування, огляду та забезпечення протипожежної безпеки. За таких умов, дотримуючись техніки безпеки та правил експлуатації всіх встановлених систем, робота дозатора є цілком безпечною для персоналу та не становить ніякої загрози їх життю та здоров'ю.

Програма мовою STL

STEP 0

```
IF          NOP
THEN RESET  Y1
    RESET   YN1
    RESET   Y2
    RESET   YN2
    RESET   Y3
    RESET   YN3
    RESET   Y4
    RESET   YN4
    RESET   FT0   'X5
    RESET   FT1   'X6
    JMP TO 1
```

STEP 1

```
IF          XN1
    AND      XN2
    AND      XSTART
    AND      XO
    AND  N    FT1   'X6
THEN SET     FT0   'X5
    JMP TO 3
IF          XN1
    AND      XN2
    AND      XSTART
    AND  N    XO
THEN SET     FT1   'X6
    JMP TO 4
```

STEP 3

IF FT0 'X5

AND XC

AND N XC1

AND N XC2

THEN SET Y1

SET Y2

JMP TO 5

STEP 4

IF FT0 'X5

AND FT1 'X6

AND N XN3

AND N XN4

THEN SET Y1

SET Y2

JMP TO 6

STEP 5

IF XC1

AND XC2

AND FT0 'X5

THEN SET Y3

SET Y4

RESET Y1

RESET Y2

JMP TO 7

STEP 6

IF X1
 AND X2
 AND FT1 'X6
THEN SET Y3
 SET Y4
 RESET Y1
 RESET Y2
 JMP TO 8

STEP 7

IF X3
 AND X4
 AND XT1
THEN RESET FT0 'X5
 JMP TO 9

STEP 8

IF X3
 AND X4
 AND XT2
THEN RESET FT1 'X6
 JMP TO 10

STEP 9

```

IF      N   FT0      'X5
    AND      XT1
    OR   N   XC1
    AND      XC2
    AND      FT0      'X5
THEN SET      YN3
    SET      YN4
    JMP TO 11

```

STEP 10

```

IF      N   FT1      'X6
    AND      XT2
    OR   N   X1
    AND   N   X2
THEN SET      YN3
    SET      YN4
    JMP TO 12

```

STEP 11

```

IF      XN3
    AND      XN4
    AND   N   FT0      'X5
    AND      XC
THEN SET      YN1
    SET      YN2
    JMP TO 13

```

STEP 12

IF XN3
 AND XN4
 AND N FT1 'X6
 AND XC
THEN SET YN1
 SET YN2
 JMP TO 14

STEP 13

IF XN1
 AND XN2
 AND N XT1
THEN JMP TO 0

STEP 14

IF XN1
 AND XN2
 AND N XT2
THEN JMP TO 0

Список літератури

1. Класифікація дозаторів сипучих та рідких компонентів [Електронний ресурс]. – Електронна бібліотека ТДАТУ. – Режим доступу: https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/ophv_32/page6.html.
2. Бункерний дозатор [Електронний ресурс]. – Bikoserwis. – Режим доступу: <https://bikoserwis.pl/en/bin-feeders-bkbbd/>.
3. Стрічковий дозатор [Електронний ресурс]. – Bikoserwis. – Режим доступу: <https://bikoserwis.pl/en/belt-feeders-bkbf/>.
4. Шнековий дозатор [Електронний ресурс]. – Bikoserwis. – Режим доступу: <https://bikoserwis.pl/en/screw-feeders-bksd/>.
5. Поворотні клапани та дросельні заслінки [Електронний ресурс]. – Bikoserwis. – Режим доступу: <https://bikoserwis.pl/en/butterfly-valves-dampers-bkbv/>.
6. EN ISO 4413: 2010 Безпека машин Приводи гідравлічні. Загальні правила і вимоги безпеки для систем і їх компонентів.
7. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.
8. <https://geniusmarketing.me/lab/swot-analiz-5-glavnyx-pravil-kotoryx-stoit-priderzhivatsya/>
9. Стратегічне управління Шершньова З. Є. — Підручник. — 2-ге вид., перероб. і доп. — К.: КНЕУ, 2004. — 699 с.
10. Методичні вказівки до курсового проекту за курсом «Проектування об'ємних гідроприводів» для студентів з фаху «Гідравлічні і пневматичні машини» [Електронний ресурс]. – Уклад.: В. К. Буслов. – Відп. ред.: О. М. Яхно; Реценз.: В. С. Лисенко, Ю. В. Єлисеєв; Оформ.: І. С. Ліберяцький. – Київ: НТУУ «КПІ», 2008. – 80 с.
11. Mobil SHC Cibus 46 20 л [Електронний ресурс]. – SKAD. – Режим доступу: <https://skad.in.ua/ua/industrialni-olyvy/food-grade-and->

					<i>МА41МД.01.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						127
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

biodegradable-oils/mobil-shc-cibus-46-20l-ua?srsltid=AfmBOor-eYuRPNoz1Nyjt4H1ecNp092T1FSK516PkVjzAmEjOXarocH8

12. Космина С. Ю., Ганпанцурова О. С., Губарев О. П. Мехатронний модуль з пружно-гідравлічним дозуванням рідини [Електронний ресурс] // Інновації молоді в машинобудуванні (Youth Innovations in Mechanical Engineering). – № 3 (2021). – Режим доступу: <https://imm.kpi.ua/article/view/231095>
13. Система дозування сипучих матеріалів : дипломний проєкт [Електронний ресурс] / Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/7870725d-d766-4ba3-a29c-44018e8fe421/content>