

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри
_____ Олег ЛЕВЧЕНКО

“ ____ ” _____ 2024 р.

Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Автоматизовані та роботизовані
механічні системи»
спеціальності 131 Прикладна механіка

на тему: Керування інерційними потоками рідини в резервуарах рухомого
об'єкта _____

Виконав (-ла): студент (-ка) 4 курсу, групи МА-02

Корюкаєв Євгеній Миколайович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник к.т.н. доц. Ковальов В.А. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант з охорони праці _____ к.т.н., доц. Ковальов В.А. _____
(назва розділу) (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Консультант з технології машинобудування к.т.н., доц. Кореньков В.М. _____
(назва розділу) (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2024 рік

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

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 131 Прикладна механіка

Освітньо-професійна програма «Автоматизовані та роботизовані механічні системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

Олег ЛЕВЧЕНКО

(підпис)

“ _____ ” _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту

Корюкаєв Євгеній Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту__ Керування інерційними потоками рідини в резервуарах рухомого об'єкта

керівник проєкту__ к.т.н. доц. Ковальов В.А.

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

затверджена наказом по університету від “ _____ ” _____ 2024 року № _____

2. Термін подання студентом проєкту _____

3. Вихідні дані до проєкту

Турбулентна енергія з перегородкою 0.2 Дж, без перегородки 0.5 Дж

Тиск з перегородкою 350 Па, без перегородки 490 Па

Швидкість потоку з перегородкою 0.04 м/с, без перегородки 0.005 м/с

4.Зміст пояснювальної записки: Вступ, Розділ 1 - Огляд існуючих конструкцій резервуарів в космічних об'єктах, Розділ 2 – Проектування баку з паливом, Розділ 3 - Розробка математичної моделі резервуара з перегородками, Розділ 4 - Розрахунки нелінійних рівнянь руху рідини в резервуарах, Розділ 5 – Охоронв праці, Висновок, Використані джерела

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів, презентацій тощо)

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Охорона праці	к.т.н.,доц. Ковальов В.А.		
2. Технологія машинобудування	доц. Кореньков В.М.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
	Отримання завдання дипломного проєкту	06.02.2024	
	Огляд існуючих конструкцій	20.02.2024	
	Проектування 3D моделі резервуарів	15.03.2024	
	Робота над кресленнями	27.03.2024	
	Проходження преддипломної практики	16.04.2024 – 19.05.2024	
	Охорона праці	23.05.2024	

Студент

(підпис)

Корюкаєв Євгеній

(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник проєкту

(підпис)

Ковальов Василь

(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Анотація

Дипломний проєкт присвячений дослідженню ефективного керування інерційними потоками в резервуарах та складається з чотирьох розділів. Пояснювальна записка має XX сторінки друкованого тексту, а також в ній представлено XX рисунків, XX таблиць та XX листи формату А1.

Метою даного проєкту є розробка баку з різними видами внутрішніх демпфуючих перегородок. При написанні бакалаврської роботи проведено аналіз існуючих конструкцій баків, які використовуються у космічній галузі. Розроблено 3 вида перегородок, проведено тестування в програмному забезпеченні Ansys, та проведені розрахунки

У першому розділі розглянуто основні види конструкцій паливних баків космічної галузі, проаналізовано їх переваги та проблематику.

У другому розділі проведена розробка баків з внутрішніми перегородками різних форм.

У розділі «Охорона праці» зазначено вимоги до робочого місця, а саме до електричної та пожежної безпеки.

Ключові слова: бак, космічні ракети, демпфуючі пристрої, інерційні потоки

					ДП.МА0206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Annotation.

The diploma project is devoted to the study of effective control of inertial flows in tanks and consists of four chapters. The explanatory note has XX pages of printed text, and it also contains XX figures, XX tables, and XX sheets of A1 format.

The purpose of this project is to develop a tank with different types of internal damping partitions. In writing the bachelor's thesis, an analysis of existing tank designs used in the space industry was conducted. Three types of partitions were developed, tested in Ansys software, and calculations were performed.

The first section discusses the main types of fuel tank designs for the space industry, analyzes their advantages and problems.

The second section describes the development of tanks with internal partitions of various shapes.

The section “Labor Protection” describes the requirements for the workplace, namely electrical and fire safety.

Keywords: tank, space rockets, damping devices, inertial flows

					ДП.МАО206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**Пояснювальна записка до
дипломного проєкту**

на тему: Ефективне керування інерційними течіями рідини в резервуарах

Київ – 2024 рік

					ДП.МА0206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

Вступ

Розділ 1: Огляд існуючих конструкцій резервуарів в космічних об'єктах

1.1 Форми баків

1.2 Види течій рідини

1.3 Основні результати досліджень рідини в баках

Розділ 2: Проектування баку з пальним

2.1 Параметри баків

2.2 Конструкція перегородок

Розділ 3: Розробка математичної моделі резервуара з перегородками

3.1 Сили діючі в потоці

3.2 Складання рівнянь руху рідини в сфері та циліндрі

3.3 Граничні умови для розв'язання рівнянь

3.4 Тест математичної моделі

Розділ 4: Розрахунки нелінійних рівнянь руху рідини в резервуарах

4.1 Розрахунок полів швидкості в резервуарі

4.2 Аналіз отриманих результатів

4.3 Практичні рекомендації по впливу на інерційні течії в резервуарах

Розділ 5: ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Аналіз умов праці

5.2. Пожежна безпека

5.3. Електробезпека

5.4. Розрахунок освітлення приміщення де буде знаходитись кран

5.5. Захист від шуму

5.6. Мікроклімат

5.7. Висновок

					ДП.МАО206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Актуальність теми. Актуальним і важливим залишається питання ефективного контролю інерційних потоків рідини в резервуарах. Незалежно від сфери застосування, в якій використовуються резервуари, напр. Такі, як аерокосмічна техніка, нафтова та хімічна промисловість, енергетичний сектор та інші, ефективний контроль руху рідини є ключовим фактором у забезпеченні безпеки, ефективності та стабільності системи.

Об'єктом дослідження є резервуари, які містять рідину, такі як паливні баки на космічних об'єктах, резервуари для зберігання рідинних речовин у промислових комплексах та інші системи, де виникають інерційні течії рідини.

Наукова новизна дослідження полягає в розробці ефективних методів керування потоками інерційної рідини в резервуарах. Проводячи комплексний аналіз фізичних процесів і розробляючи математичні моделі та розрахунки, можна отримати нові ідеї та практичні рекомендації для покращення роботи систем.

Теоретичне значення дослідження полягатиме в розширенні наукових знань про інерційні течії рідин у резервуарах та розробці математичних моделей для їх опису. Результати досліджень можуть бути використані для вдосконалення конструкції та експлуатації резервуарів у різних галузях промисловості.

Практичне значення дослідження полягатиме у розробці практичних рекомендацій щодо ефективного керування інерційними потоками рідини в резервуарах. Це знижує негативний вплив цих потоків на роботу систем і підвищує ефективність і безпеку роботи резервуарів в різних галузях промисловості.

Ціль роботи та задачі дослідження

Метою дослідження конструкцій резервуарів в космічних об'єктах є розробка та вдосконалення ефективних технологій та конструкцій для

					ДП.МА0206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечення безперервного та безпечного зберігання рідин у космічних апаратах. Головною метою є забезпечення надійності та функціональності резервуарів в умовах космічного середовища. Дослідження відноситься до навчальної дисципліни Механіка рідин і газів

Головною задачею дипломного проекту є розробка 3D моделі резервуару з перегородками і дослідження ефективності використання баку з перегородками в порівнянні з резервуаром без них. В ході роботи буде використовуватись пакет програмного забезпечення Solidworks з модулем Flow Simulation.

Розділ 1. Огляд існуючих конструкцій резервуарів в космічних об'єктах

Існує багато різновидів резервуарів для космічних апаратів. Я зацентрував свою увагу на огляді трьох форм баків. Це баки сферичної форми, циліндричної, та баки в формі тору. Я провів детальний огляд особливостей їх конструкцій та виділив їх сильні та слабкі сторони.

1.1 Форми баків

Сферичний бак

DIAPHRAGM PROPELLANT TANK DT180

DIAPHRAGM Propellant Tank DT180	
Net Volume Range:	180 Litres
Propellants	MON, MMH, hydrazine
Geometrical Shape	Sphere with cylindrical section
Maximum Expected Operating Pressure (MEOP)	35.6 bar
Proof Pressure (1.25 x MEOP)	44.5 bar
Burst Pressure (1.5 x MEOP)	53.4 bar
Interface Fixation	Equatorial flange with 24 fixation bolts M8
Materials	
- Ports	Ti6AL4V (3.7164.1)
- Shell	AA2219-T8
- Diaphragm	PTFE basis
- C-Ring	Inconel 718
Tank Mass	21.0kg
Project Involvement	AVUM+ LPS



Рис. 1.1. Зовнішній вигляд сфероїдного баку

					ДП.МА0206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

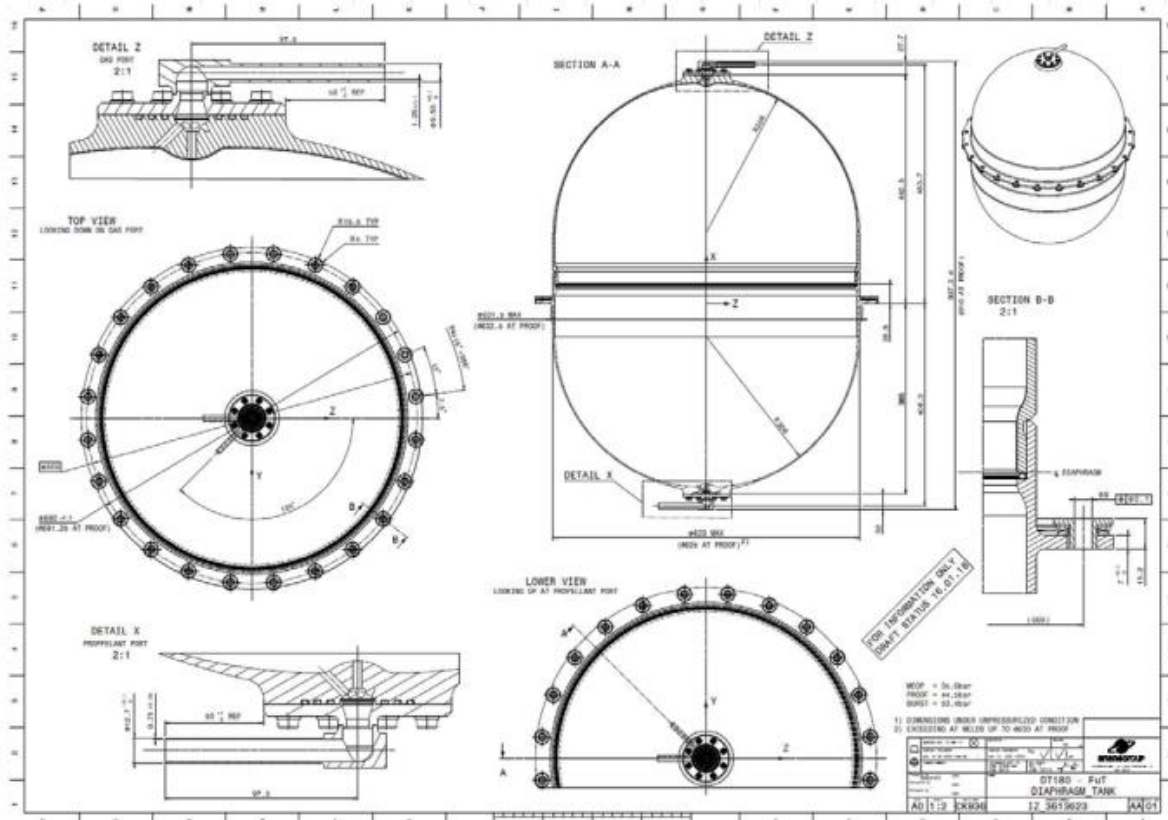


Рис. 1.2. Креслення сфероїдного баку

DIAPHRAGM PROPELLANT TANK DT180 є значним удосконаленням у керуванні інерційними потоками рідини порівняно з традиційними баками. Його конструкція, заснована на використанні діафрагми або мембрани, дозволяє забезпечити точне і ефективне керування рідинними потоками палива.

Однією з ключових переваг DT180 є його здатність уникати небажаного змішування рідинних компонентів до моменту використання. Діафрагма відокремлює паливо від окисника в моменти неробочого стану, що дозволяє зберігати їх у чистому та безпечному стані до моменту потреби. Це дуже важливо для безпеки та надійності ракетних систем.

Крім того, діафрагма дозволяє точно керувати подачею палива та окисника до ракетного двигуна. Це забезпечує стабільну та прогнозовану роботу двигуна, підвищуючи його ефективність та знижуючи споживання палива. Точне дозування рідинних компонентів також допомагає зменшити втрати та підвищити дальність польоту ракети.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.МА0206.00.00.00.00ПЗ

Арк.

Загалом, DIAPHRAGM PROPELLANT TANK DT180 вирізняється високою ефективністю в керуванні інерційними потоками рідини завдяки своїй інноваційній конструкції та здатності забезпечувати безпечне та ефективне функціонування ракетних систем. [1]

Тороїдальний бак



Рис. 1.3. Зовнішній вигляд тороїдального баку

Тороїдальний бак для літальних апаратів є особливим типом резервуара, який використовується для зберігання палива або інших рідин у літальних апаратах, таких як літаки або дрони. Він отримав свою назву через свою форму, яка нагадує тороїдальне кільце.

Основна перевага тороїдального баку полягає в його конструкції, яка дозволяє ефективно використовувати простір всередині літального апарата. Це особливо важливо для невеликих апаратів, де кожен додатковий простір має значення. [5]

					ДП.МАО206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тороїдальні баки можуть мати різні розміри та об'єми, залежно від потреб конкретного літального апарата. Вони зазвичай виготовляються з легких та міцних матеріалів, таких як алюміній або композитні матеріали, щоб забезпечити оптимальну міцність та мінімальну вагу.

Тороїдальні баки можуть бути використані для зберігання палива для двигунів літального апарата, а також для інших рідин, таких як охолоджуючі рідини або системи гідравліки. Вони можуть бути розташовані в різних частинах апарата, залежно від його конструкції та вимог.

Загалом, тороїдальні баки є важливим елементом конструкції літальних апаратів, які дозволяють ефективно використовувати простір та забезпечувати необхідні запаси палива або рідин для їх роботи.

Циліндричний бак

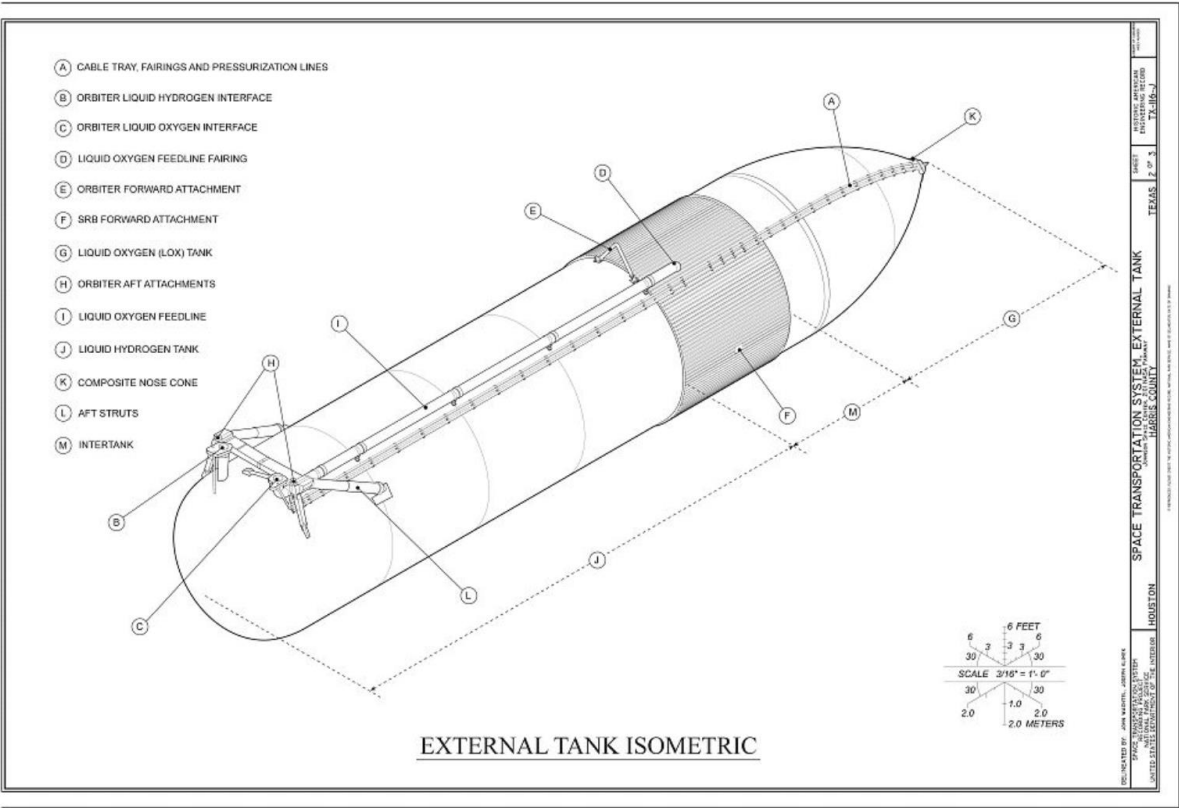


Рис.1.4. Циліндричний бак

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП.МА0206.00.00.00.00ПЗ	Арк.

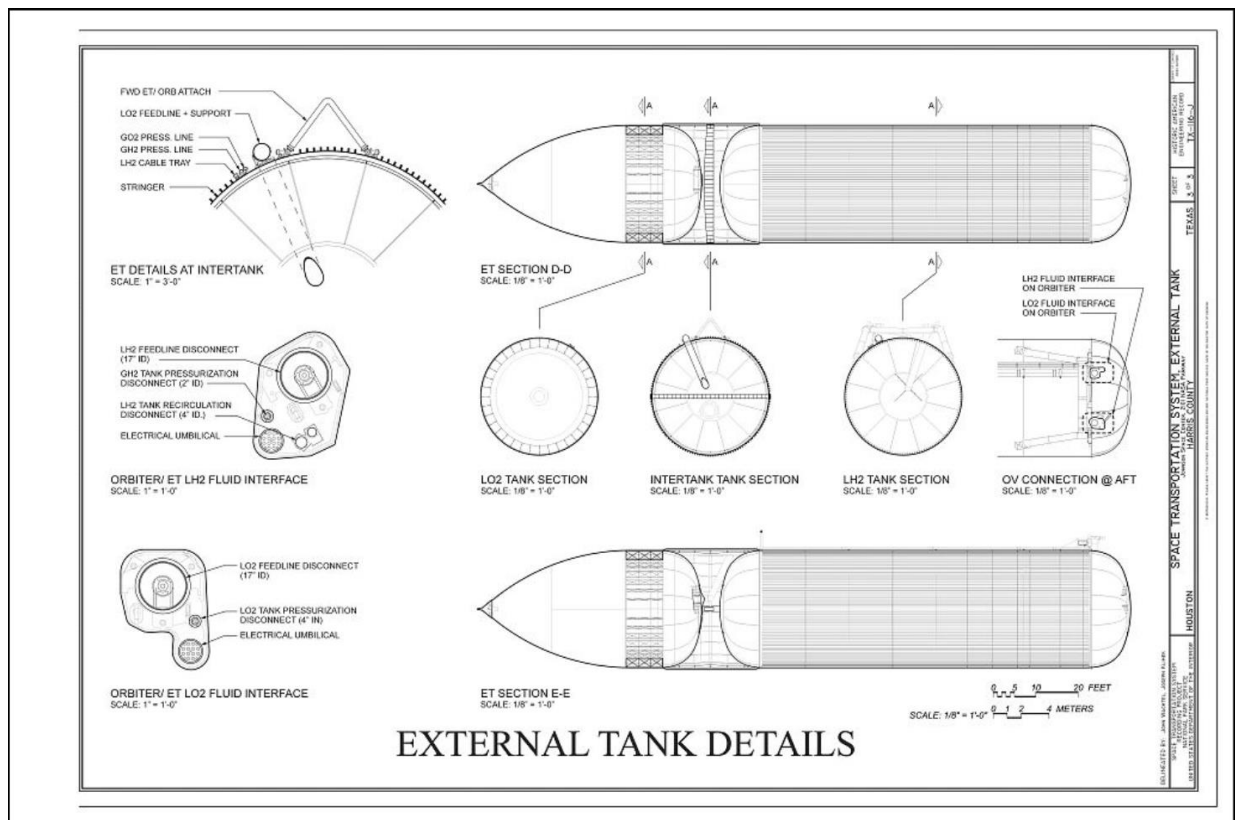


Рис.1.5. Креслення циліндричного баку

Space Shuttle External Tank - це ключовий компонент американського космічного корабля "Space Shuttle", відомий також як "орбітальний вантажний корабель". Цей великий циліндричний резервуар призначений для забезпечення паливом двигуни ракети під час старту і початкового виходу на орбіту.

Space Shuttle External Tank має циліндричну форму, яка оптимально використовує простір і забезпечує необхідний об'єм палива для двигунів ракети. Зазвичай його довжина становить близько 46 метрів, а діаметр - близько 8,4 метра.[4]

Він має внутрішню конструкцію, яка включає різні перегородки або внутрішні структури, щоб забезпечити стабільність та ефективне управління паливом під час запуску та польоту. Є 4 види внутрішніх перегородок:

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.МАО206.00.00.00.00ПЗ

Арк.

Головна перегородка: Це основна перегородка, яка розділяє бак на дві основні секції - великий центральний відсік для рідинного палива (наприклад, паливо на основі кисню та водню) і дві бічні секції для газу (гелія або азоту), які використовуються для тискування палива.

1. **Спрямовуючі перегородки:** Ці перегородки можуть бути розташовані всередині центрального відсіку, щоб керувати потоком палива під час старту та польоту. Вони допомагають забезпечити рівномірний розподіл палива по всій довжині бака та уникнути виникнення небажаних вібрацій або перепливу.
2. **Додаткові перегородки:** У деяких випадках у баку можуть бути додаткові перегородки або розподільники, які допомагають підтримувати стійкість палива під час старту та польоту, особливо під впливом гравітації та інерційних сил.
3. **Теплоізоляційні перегородки:** В деяких випадках можуть бути встановлені перегородки або матеріали для теплоізоляції, щоб запобігти перегріву палива в умовах високої температури під час польоту або під час повторного входження в атмосферу Землі під час повернення на Землю. [3]

1.2 Види течій рідини

Плескання:

Плескання — це феномен, який спостерігається в ряді промислових об'єктів: в контейнерах для зберігання зрідженого газу, нафти, паливних баках, в резервуарах вантажних танків. Відомо, що саме частково заповнені резервуари піддаються дії особливо інтенсивних плескань. Це може привести до високого тиску на стінки резервуара, руйнування конструкції або до втрати стійкості і може викликати вплив екологічно небезпечного вмісту в навколишнє середовище та привести до серйозних наслідків.[2]

					ДП.МА0206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

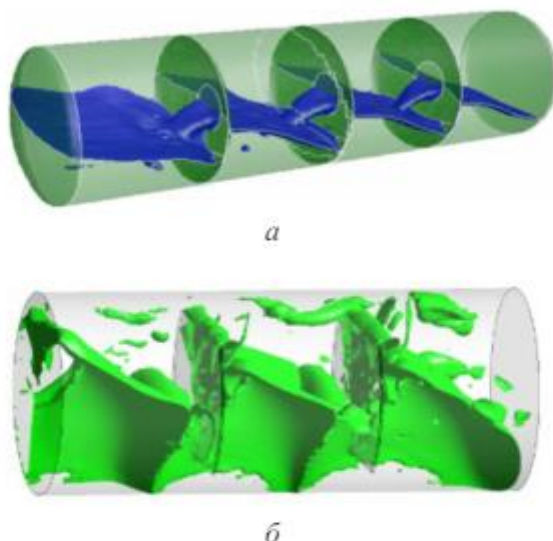


Рис. 2. Результати чисельного моделювання процесів плескання рідкого палива у циліндричній залізничній цистерні [1]: *а* – розташування рідини у резервуарі, *б* – розподіл ударних тисків на вертикальних стінках резервуару.

Рис.1.6. Результати чисельного моделювання рідкого палива [2]

На рисунку у трьохмірному вигляді показано

процеси перетікання та плескання в'язкої рідини у циліндричній цистерні.

Коливання:

Існує декілька типів коливань

Вільні коливання: Це коливання, які відбуваються без зовнішнього впливу і мають власну частоту. Вони можуть бути спричинені різними факторами, такими як рух рідини, зміна температури, тиску тощо.

Параметричні коливання: Це коливання, які виникають внаслідок зміни параметрів системи, таких як частота, амплітуда, фаза тощо. Наприклад, зміна рівня рідини в резервуарі може призвести до зміни параметрів коливань.

Резонансні коливання: Це коливання, які виникають, коли частота зовнішнього впливу збігається з власною частотою системи. Це може призвести до посилення коливань і навіть до руйнування резервуара.

					ДП.МАО206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Гідродинамічна вібрація: Це коливання, які є результатом гідродинамічних процесів, таких як турбулентний потік рідини, вихори, хвилі тощо. Ці коливання можуть бути небезпечними і призвести до пошкодження резервуара.

Акустичні коливання: Це коливання, які виникають внаслідок поширення звукових хвиль у рідині. Вони можуть бути спричинені зовнішніми джерелами звуку або внутрішніми процесами, такими як турбулентні потоки.

Обертання:

Обертання рідини в резервуарах - це явище, при якому рідина, що знаходиться в обертовому резервуарі, сама починає обертатися внаслідок сил, що виникають між рідиною та стінками резервуара. Це явище має низку особливостей:

1. Обертання рідини. Під дією сил тертя між рідиною та стінками резервуара, рідина починає обертатися навколо осі. Швидкість обертання рідини залежить від кутової швидкості обертання самого резервуара
2. Виникнення вихрових течій. Обертання рідини в резервуарі призводить до виникнення складних вихрових течій всередині неї. Ці течії можуть викликати неоднорідний розподіл швидкостей і тисків в об'ємі рідини.
3. Поява ефекту "мертвих зон". У деяких місцях резервуара можуть утворюватися застійні зони, де рідина практично не рухається. Це впливає на перемішування та теплообмін.
4. Формування параболічної поверхні рідини. Під дією відцентрових сил, поверхня рідини в резервуарі деформується, набуваючи параболічної форми.

					ДП.МА0206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Основні результати досліджень рідини в баках

Дослідження течії рідини в обмежених об'ємах широко використовуються в ракетно-космічній техніці, оскільки такі рухомі об'єкти можуть містити значну кількість рідкого палива. Коли така рідина рухається в паливних баках космічного корабля, можуть виникати нестабільності через динамічний вплив потоків на стінки. Точне визначення характеристик і напрямку таких збурень дозволить підвищити надійність керування космічним апаратом, зменшити витрату палива, яке є обмеженим ресурсом, і уникнути аварійних ситуацій, викликаних резонансним впливом рідини на конструкцію об'єкта.

У зв'язку з цим дуже актуальним є дослідження гідродинамічних полів в обмежених об'ємах, заповнених в'язкою нестисливою рідиною, а також визначення оптимальних методів і засобів впливу на внутрішні інерційні течії. Більшість теоретичних і експериментальних досліджень в цій області гідромеханіки відноситься до вивчення течій в посудинах різної форми, таких як кулі або циліндри, частково заповнені ідеальною рідиною [18].

Досліджено резонансні коливання в широкому діапазоні частот та досліджено силовий вплив на стінки, а також внутрішні гідродинамічні параметри течій. Однак течії в посудинах, повністю заповнених в'язкою нестисливою рідиною, не приділяють достатньої уваги, оскільки вони можуть створювати лише обертальні рухи рідини, які відносно слабкі порівняно з попереднім випадком сил, що діють на стінки. Навіть якщо ці гідродинамічні завдання здаються незначними, тривалість польоту КА, великі обсяги транспортованих рідких вантажів і високі вимоги до надійності керування такими об'єктами роблять дослідження в цій області все більш актуальними. Визначення властивостей та спрямованого силово-інерційного впливу рідкого палива на стінки бака дозволить оптимізувати роботу системи автоматичної стабілізації, зменшити витрати палива та підвищити надійність керування такими об'єктами [16, с.79-91]

Підхід до моделювання течії в замкнених об'ємах з криволінійними стінками за допомогою обчислювальних засобів включає кілька етапів. Спочатку будується геометрія посудини, в даному випадку циліндричної, і вводиться система координат для розрахунку. Потім за допомогою чисельних методів і стандартних програм простір посудини розбивається на сітки з трикутними елементами кінцевого розміру.

					ДП.МА0206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

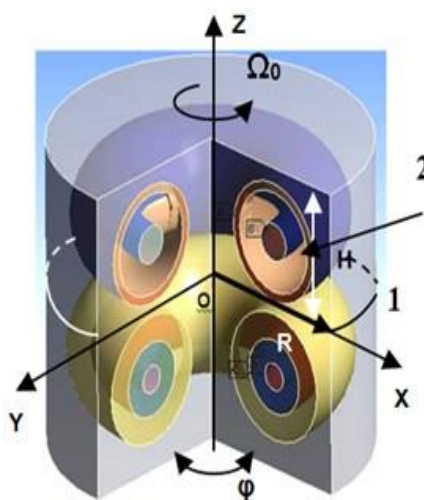
Залежно від результатів експериментальних вимірювань швидкостей у посудині, особливо в області стінок, крок сітки можна змінювати для забезпечення стабільності розрахунків і врахування особливостей розподілу швидкостей біля стінок.

Геометрія циліндричної посудини, яка описується повними рівняннями Нав'є-Стокса в циліндричних координатах, часто використовується для моделювання замкнутих осесиметричних потоків.

Розглянута задача пов'язана з обертанням в'язкої нестисливої рідини, яка повністю заповнює посудину. Хоча насправді симетрія відносно поздовжньої осі може бути порушена внаслідок різних випадкових факторів, вирішення проблеми в осьовій симетрії є виправданим.

У дослідженнях також широко використовується умова симетрії відносно горизонтальної площини, яка ділить циліндр на дві рівні частини. Це дозволяє представити задачу у вигляді серії двовимірних рішень у масштабі чверті поздовжнього перерізу циліндра, що значно скорочує обчислювальні зусилля та час[16,с.79-91]

Для моделювання потоків в обмежених обсягах використовуються добре відомі методи апроксимації кінцевих різниць, кінцевих елементів і кінцевого об'єму. Для циліндричного контейнера радіусом R і висотою $2H$, заповненого нестисливою рідиною з коефіцієнтом в'язкості ν , застосовуються рівняння Нав'є-Стокса для нестационарної течії в'язкої нестисливої рідини з урахуванням умов осьової симетрії. і нехтуючи силами тяжіння, врівноважують архімедову силу.



					ДП.МА0206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рис. 1.6 Умови симетрії задачі про обертання рідини в циліндрі: 1 – центральна площина циліндра; 2 - Область численних обчислень

Для приведення рівнянь до безрозмірного вигляду були використані такі формули зв'язку: початкова кутова швидкість посудини Ω_0 , радіус стінок циліндра R_0 і тиск на стінки посудини p_0 .

а) Для лінійного параметра: $r = \hat{r} \cdot R_0$, $z = \hat{z} \cdot R_0$, де $\hat{r}$ і $\hat{z}$ безрозмірні координати.

б) Для компонентів швидкості рідини: $u = \hat{u} / \Omega_0 \cdot R_0$, $v = \hat{v} / \Omega_0 \cdot R_0$, $w = \hat{w} / \Omega_0 \cdot R_0$, де $\hat{u}$, $\hat{v}$ і $\hat{w}$ безрозмірні компоненти швидкості.

с) Для часу потоку: $t = \hat{t} / \Omega_0$, де $\hat{t}$ є безрозмірним часом.

д) Для тиску: $p = \hat{p} \cdot \rho \cdot \Omega_0^2 \cdot R_0^2$, де $\hat{p}$ — безрозмірний тиск, а ρ — густина рідини.

Щоб розв'язати рівняння Нав'є-Стокса руху рідини, для швидкості та тиску використовується метод спрямованої змінної, а для рівнянь функції потоку та завихреності — метод послідовної релаксації. У цих методах градієнти потоку у вертикальному напрямку апроксимуються та коригуються після ітерацій часу.

Часовий ітераційний підхід у численних розрахунках дозволяє уникнути взаємного впливу вузлів розрахункової сітки в поперечному напрямку, що зменшує площу розрахунку та скорочує час розрахунку. Центральні різниці використовуються для всіх просторових змінних у внутрішній області, а часові похідні апроксимуються одnobічними різницями другого порядку на трьох рівнях[16,с.79-91]

Чисельно моделюючи інерційну течію в циліндрі та аналізуючи спад швидкості з часом, можна отримати нестационарну картину течії з урахуванням нелінійного розподілу швидкостей. Для цього необхідно правильно задати граничні та початкові умови для задачі про інерційну течію рідини після раптової зупинки обертання сорочки циліндра.

					ДП.МАО206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, для чисельного розв'язку системи чотирьох рівнянь (1) і (2) є чотири невідомі змінні: азимутальна складова швидкості (u), радіальна складова швидкості (v), меридіональна складова швидкості (w) і тиск (p). При визначенні граничних і початкових умов для задачі про інерційну течію в'язкої нестисливої рідини в циліндрі слід враховувати таке. До моменту $t \leq 0$ циліндр, повністю заповнений нестисливою рідиною, обертається як суцільне тіло навколо своєї вертикальної осі з постійною кутовою швидкістю Ω_0 . При розгляді течії в системі координат огинаючої всі складові швидкості (u , v , w) і градієнт тиску дорівнюють нулю. Таким чином, початкові умови задачі можна записати так: при $t \leq 0$: $v = w = 0$, $u = \Omega_0 R$.

Через час $t > 0$ оболонка посудини різко зупиняється, але рідина всередині продовжує рухатися під дією сил інерції. Це призводить до тимчасового азимутального течії всередині посудини, що супроводжується створенням і розвитком меридіональних кровообігів. У той же час за умовою прилипання рідини до стінок посудини всі складові швидкості на стінках радіуса $R = R_0$ дорівнюють нулю і при осьовій симетрії потоку всі швидкості на осі посудини також дорівнюють нулю: при $R = 0$ $u = v = w = 0$.

З аналізу експериментальних даних [17, с.23-34] випливає, що циркуляція в меридіональних площинах залежить від кутової швидкості обертання Ω_0 та в'язкості модельної рідини ν . Проте пропорційне збільшення параметрів Ω_0 і ν , які визначають відцентрове число Рейнольдса $Re_0 = \Omega_0 R^2 / \nu$, не завжди є достатнім для адекватного представлення фізичних властивостей течії.

Аналіз результатів досліджень показав, що розрахункова сітка для розглянутої циліндричної поверхні складалася з 140 тис. елементів, що забезпечувало стабільність розрахункової схеми за рахунок малого кроку як за радіальною координатою R , так і за висотою поверхні H . Результати розрахунку для значень $Re = 880$, порівняно з даними K.Kitchens для потоку з прискоренням (spin-up) при $Re = 9761$ [15, с.123-134] і S.Xinjun для потоку з уповільненням (spin-down) при $Re = 4000$, зображене на рисунку 2. На малюнку показано приклад існування циркуляції в меридіанній площині циліндра.

					ДП.МАО206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

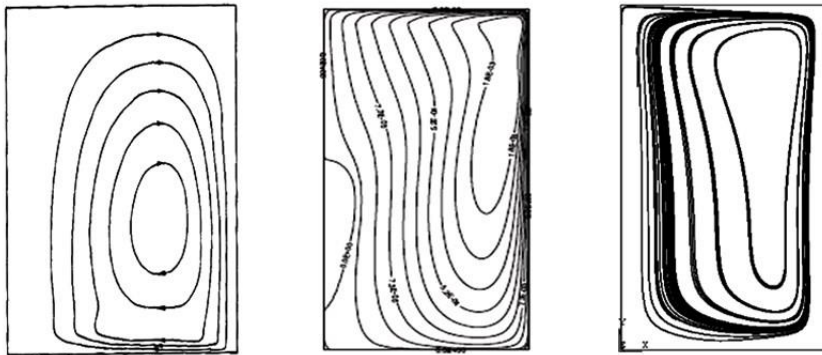


Рис.1.8. Приклади виникнення циркуляції вциліндрі

На рис.1.8. наведено приклади виникнення циркуляції в циліндрі. Під пунктом «а» показані дані К.Kitchens для потоку з прискоренням (spin-up) при $Re = 9761$, під пунктом «б» – дані Xinjun Cui для потоку з уповільненням (spin-down) при $Re = 4000$, а під пунктом «в» подано авторські дані для течії з гальмуванням при $Re = 880$.

На малюнку 2 показано, що під час формування циркуляції найбільш динамічною є верхня область циліндра вздовж осі, де спочатку відбувається радіальний потік від осі до периферії під дією відцентрової інерції, відомий як потік Екмана. Навіть в осьовій області циліндра під дією градієнта тиску, спрямованого в зону розрідження, відбувається висхідний потік вздовж осі зі швидкістю до 3 мм/с[16,с.79-91]

При цьому на вертикальних стінках циліндра спостерігається слабка течія до 0,3 мм/с за рахунок в'язкої дифузії в області стінки. Збільшення початкової кутової швидкості Ω_0 призводить до збільшення складових вектора швидкості. При $Re 970$ в меридіональних площинах циліндра можуть відбуватися дво- та триконтурні течії, як показано на малюнку 3.

На малюнку 3б показано, що друга стаціонарна циркуляція відбувається у верхній окружній області циліндра, де радіальний потік Екмана, спрямований до осі обертання, і стінковий потік зустрічаються на вертикальних стінках циліндра. При збільшенні числа Рейнольдса Re_0 до 1030 (рис. 3, в) друга циркуляція може займати верхню частину потоку навколо кришки (до 43% простору) і зберігатися тривалий час. Швидкість w всередині становить до 0,09 u_i , де u_i — безрозмірна периферійна швидкість, а базова циркуляція зміщується до центральної частини циліндра.

					ДП.МАО206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Подальше збільшення числа Рейнольдса Re_0 до 1150 призводить до збільшення меридіанної швидкості в центральній області перерізу циліндра та виникнення третього оберту (рис. 3, г). Ця структура може виникати як в середній області поперечного перерізу, так і в області стінки і мігрувати вгору по стінках циліндра. При подальшому збільшенні параметра Re_0 до 2500 і вище радіальна і меридіональна швидкості зростають і циркуляція розпадається на більш дрібні структури в масштабі 0,15-0,2 секції. Однак їх істотний вплив на поле периферійних швидкостей не доведено.

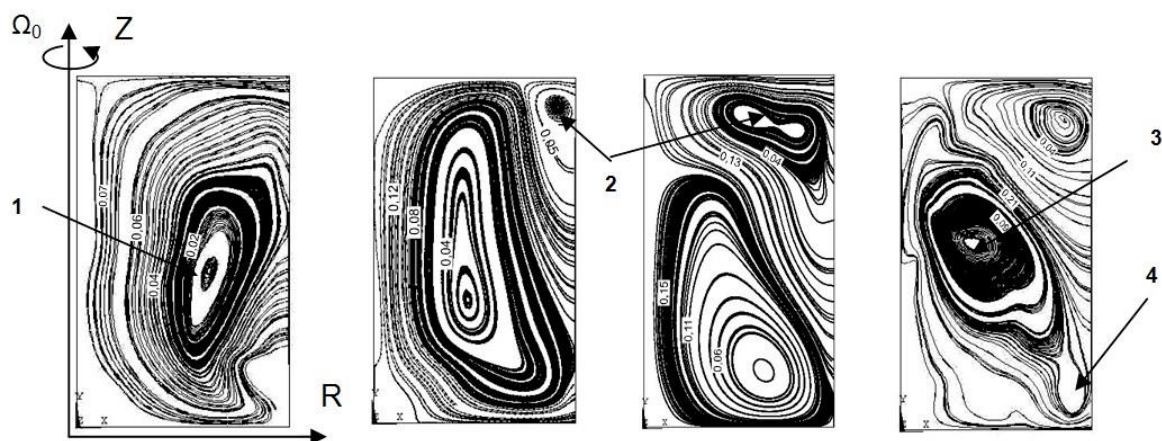


Рис.1.9. розвиток циркуляційних потоків в циліндрі

На рисунку 1.9 показано, як розвиваються циркуляційні потоки в циліндрі зі збільшенням кутової швидкості Ω_0 . Різні значення числа Рейнольдса (Re_0) відображені в підграфах а, б, в і г: а - $Re_0 = 920$; б - $Re_0 = 970$; в - $Re_0 = 1030$; д - $Re_0 = 1150$. На графіку позначені чотири фази процесу: 1 - основна циркуляція; 2 - утворення другого контуру; 3 - поділ другого кругообігу; 4 - Утворення третього контуру.

Течія рідини в обмеженому об'ємі, яка має осесиметричну структуру і змінюється з часом, істотно визначається полем тиску. Розподіл тиску, наприклад розташування мінімального тиску в поперечному перерізі циліндра, вказує на координати областей низького тиску, які є центрами поперечної циркуляції. На рисунку 4, де показано контурний розподіл тиску в поперечному перерізі циліндра при демпфованій швидкості, можна побачити розподіл тиску у випадку, коли відбуваються дві циркуляції. Темні ділянки вказують на розташування областей низького тиску та утворення стійких циркуляційних структур.

					ДП.МА0206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За результатами розрахунків полів тиску в циліндрі в діапазоні чисел Рейнольдса $Re=700-5700$ досліджено явище міграції зон низького тиску і, як наслідок, переміщення циркуляційних центрів від було виявлено периферію до осі обертання циліндра. Подібне явище було продемонстровано численними розрахунками C у роботі [15,с.123-134] і дозволяє регулювати перерозподіл кругової швидкості.

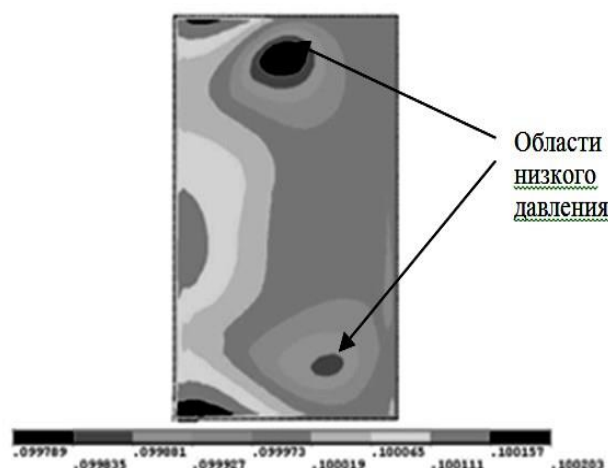


Рис1.10. Розподіл тиску у поперечній площині

На рисунку 1.10 показано, як розподіляється тиск у поперечній площині циліндра при значенні числа Рейнольдса $Re_0 = 1030$.

Важливо відзначити, що розташування областей з низьким тиском, тобто центрів циркуляції, досить стабільно в діапазоні числа Рейнольдса $Re_0 = 970-2500$. Як правило, вони містять основну циркуляцію, приклад якої показано на малюнку 3b, яка займає центральну та середню область судини, а також менші та повільніші структури, розташовані навколо них на периферії. Однак істотного впливу на формування сил, що діють на стінки судин, вони не мають.

Під час чисельного моделювання нестационарної течії до повного затухання за безрозмірний час $T = 27,3$ ($t \leq 0$) спостерігався розвиток двох циркуляцій в одну при значенні числа Рейнольдса $Re_0 = 1000$ за період $T = 1,57$. -11,3, як показано на малюнку 5. З траєкторій руху частинок рідини видно, що центри циркуляції зміщуються від радіальної координати $R = 0,83$ при $T = 1,57$ до $R = 0,67$ при $T = 11,3$ до осі обертання. що підтверджено експериментальними вимірюваннями кругової швидкості поля

					ДП.МА0206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, заблокований пристінний потік впливає на формування циркуляції та сприяє злиттю малих структур у більші та повільніші вторинні потоки. Спостережувані закономірності ослаблення вторинного потоку після раптової зупинки обертання підтверджують припущення про переважний вплив в'язкої дифузії на кінцевій стадії потоку та тенденцію до злиття циркуляції в більші низькошвидкісні структури.

При подальшому збільшенні початкових чисел Рейнольдса $Re_0 = 1700-5700$ відбувається 3 і більше циркуляції і збільшення швидкостей, що призводить до збільшення сил в'язкого тертя рідини об стінки. Проте якісних змін у розподілі швидкостей не спостерігається. Зміна таких параметрів, як кінематичний коефіцієнт в'язкості ν та початкова кутова швидкість циліндра Ω_0 , які визначають початкове число Рейнольдса Re_0 , не має істотного впливу на результати розв'язування системи рівнянь. Загалом розподіл компонент вектора швидкості як окружної u , так і радіальної v і меридіанної w відповідає результатам експериментальних вимірювань[14,с.56-68]

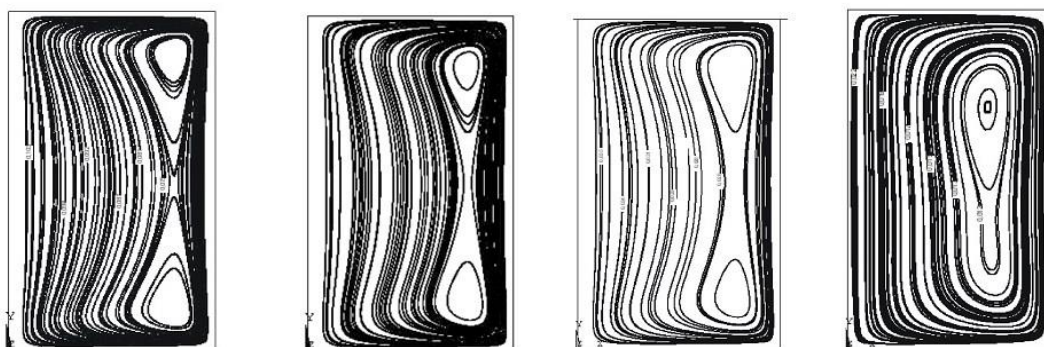


Рис.1.11. Злиття двох циркуляцій в одну в меридіанній площині циліндра

На рис.1.11 наведено приклад злиття двох циркуляцій в одну в меридіанній площині циліндра зі збільшенням часу протікання T і значенням числа Рейнольдса $Re_0 = 1000$. У наведеному прикладі значення часу протікання T дорівнюють: а - 1, 57; б - 3,44; в - 7,52; г - 11,3.

Розглядаючи зміни нестационарного розподілу орбітальних швидкостей, можна помітити, що вони мають майже однакову динаміку в часі. У міру збільшення безрозмірного часу T малі циркуляції об'єднуються, утворюючи більші структури з більш рівномірними градієнтами швидкості. В результаті при досягненні значних значень T (від 17,2 до 25,5) формується низькошвидкісна єдина циркуляційна структура з меридіанною швидкістю близько 0,2-0,5 мм/с.

					ДП.МА0206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Аналізуючи результати чисельного моделювання замкнутих течій рідини в циліндричному резервуарі при різних значеннях числа Рейнольдса, можна зробити наступні висновки. Внаслідок особливостей криволінійної геометрії течії в меридіональних площинах водою виникають нестационарні циркуляції, які впливають на формування азимутальної швидкості. Зі збільшенням часу швидкість потоку зменшується, оскільки вплив в'язкості призводить до злиття малих кровообігів у великі структури[14,с.56-68]

Найбільші відхилення швидкостей від рівномірного розподілу відбуваються в екваторіальній області резервуара, де добре помітна різниця між відцентровими силами інерції та радіальними градієнтами тиску. Результати чисельного моделювання підтверджують структуру циркуляції в розглянутому діапазоні параметрів і дозволяють оцінити вплив течій на стінки резервуара.

Змінюючи початкову кутову швидкість, в'язкість рідини та інші параметри, можна визначати значення кругових моментів в'язкого тертя рідини об стінки бака і прогнозувати компенсаційні ефекти рідкого палива на космічному кораблі. Це дає змогу зменшити витрати палива при маневруванні, збільшити тривалість польоту та підвищити надійність керування в нормальних умовах експлуатації. Цікавими напрямками подальших досліджень є побудова імітаційних моделей тривимірних течій з урахуванням таких критеріальних параметрів, як числа Ейлера, Струхала та Россбі.

РОЗДІЛ 2: ПРОЕКТУВАННЯ БАКУ З ПАЛЬНИМ

2.1 Параметри баків

В даній роботі було спроектовано 2 типи баків. Сферичний та циліндричний. Для розробки 3D моделі використовувався пакет програмного забезпечення SolidWorks 2023.

Спочатку надамо загальну інформацію про пропорції циліндричних резервуарів

					ДП.МА0206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Співвідношення	Опис
Довжина циліндра / Діаметр циліндра	2:1 - 5:1
Товщина стінки / Діаметр циліндра	10% - 20%
Площа отвору / Площа поверхні циліндра	0.1 - 0.2
Відстань між отворами / Довжина циліндра	0.2 - 0.5
Радіус закруглення країв отвору / Діаметр отвору	0.1 - 0.2

Табл.2.1 Рекомендації до пропорцій циліндричного резервуара

Циліндричний бак з вертикальними суцільними перегородками.

У всіх наступних тестуваннях будемо використовувати саме його

Бак складається з двох частин, які являють собою його стінки

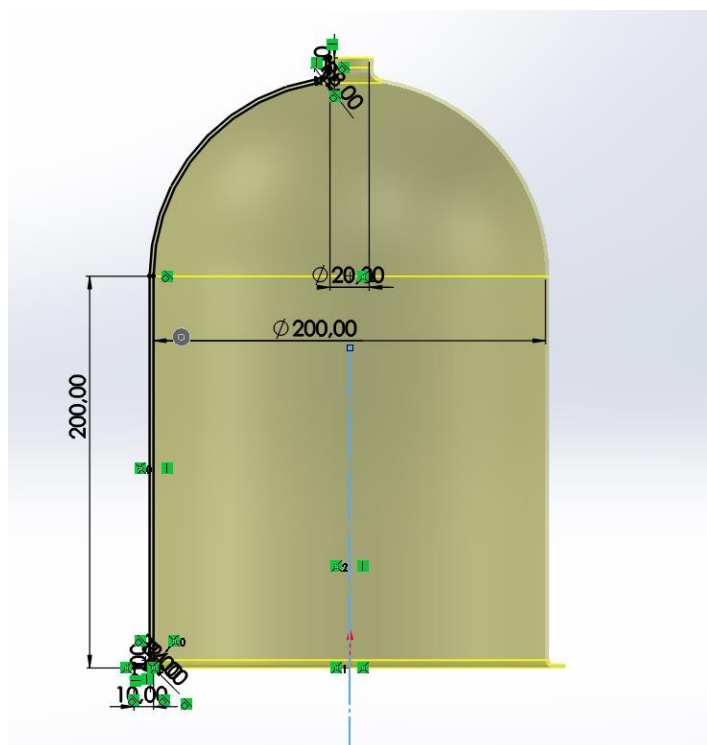


Рис 2.1.Основа баку

Потім ми додаємо дві такі основи у збірку і отримуємо циліндричний резервуар

					ДП.МА0206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

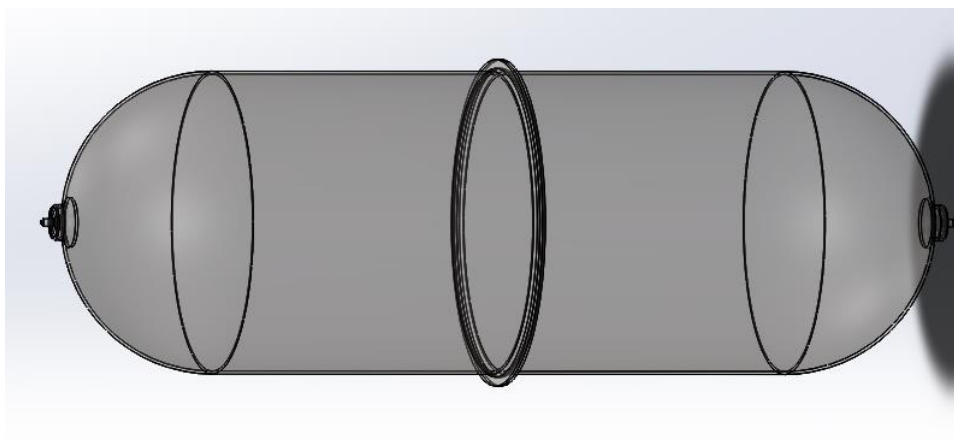


Рис.2.2. Циліндричний резервуар

Маємо готову конструкцію з якою надалі будемо проводити тестування

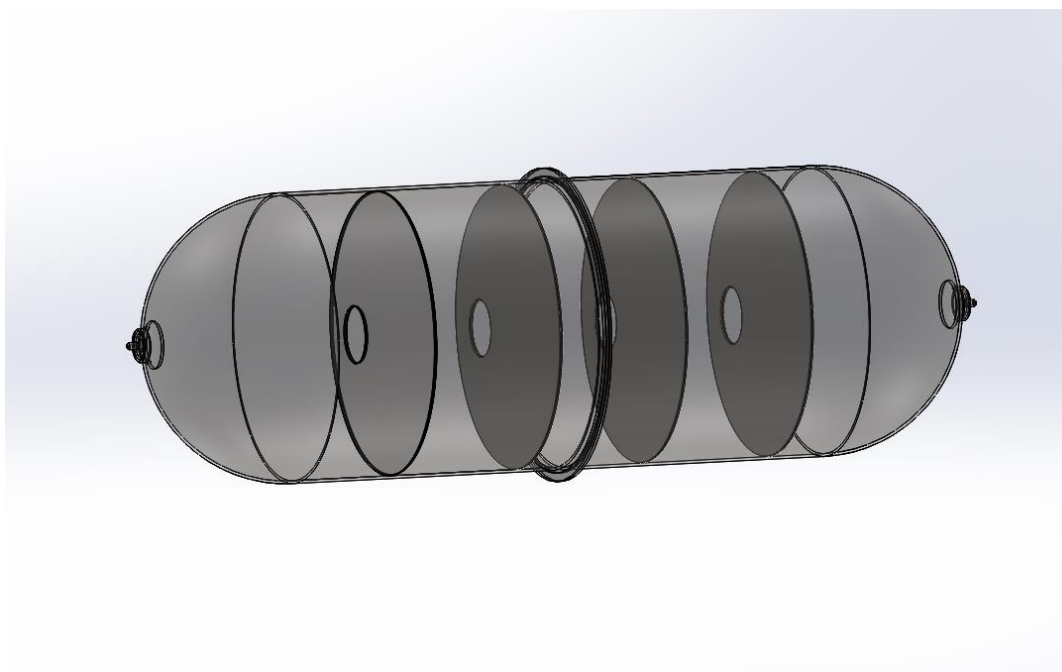


Рис.2.3. Циліндричний бак з 4 перегородками

Так виглядає циліндричний резервуар з доданими перегородками

Перейдемо до проектування сферичного баку

Спочатку заповнимо таблицю з загальними рекомендаціями до пропорцій баку

					ДП.МА0206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Діаметр сфери / Товщина стінки	20:1
Висота сфери / Діаметр сфери	1:1
Площа отвору / Площа поверхні сфери	0.1 - 0.2
Радіус закруглення країв отвору / Діаметр отвору	0.1 - 0.2

Табл.2.1 Пропорції сферичного баку

Сферичний бак в 3 варіаціях: з суцільними, перфорованими та перегородками, які відстають від стінок

За основу взятий бак DIAPHRAGM PROPELLANT TANK DT180

Бак складається з двох півсфер, які приварені одна до одної

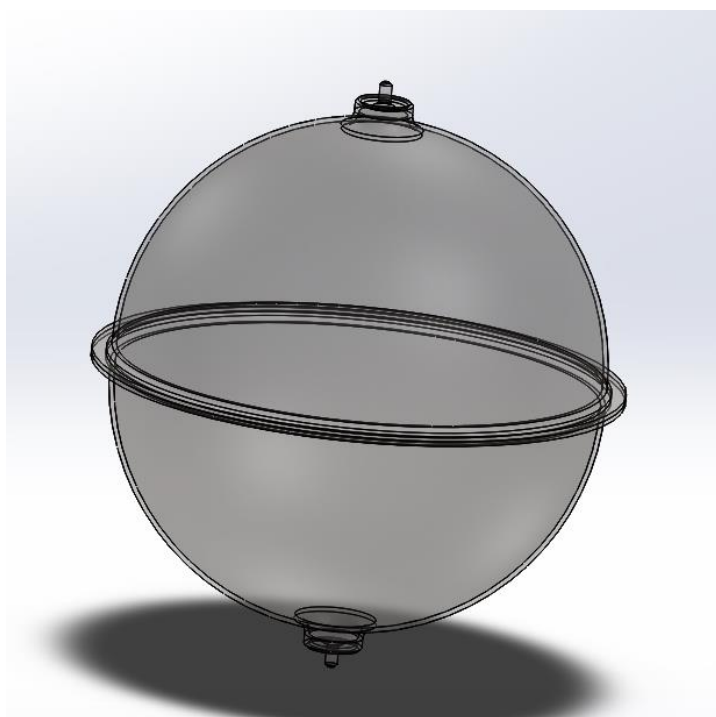


Рис.2.4. Сферичний бак загальний вигляд

					ДП.МА0206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

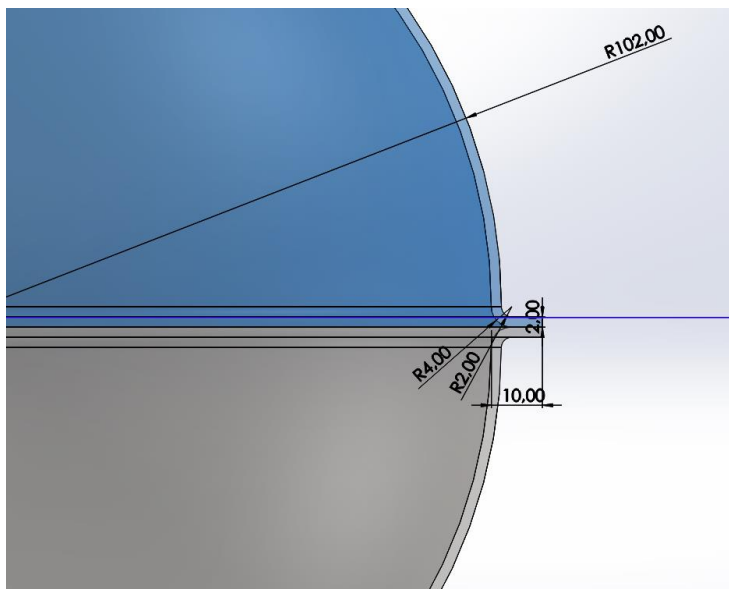


Рис.2.5. Купний план сполучення двох півсфер сферичного баку

Параметри баків:

- Циліндричний:
 1. Діаметр 0.5м
 2. Висота 1.5 м
 3. Товщина стінок 1 см
 4. Матеріал: алюмінієвий сплав

- Сферичний:
 1. Діаметр 0.5 м
 2. Товщина стінок 1 см
 3. Матеріал: алюмінієвий сплав

2.2 Конструкція перегородок

В даному розділі я спроектував 4 види перегородок з метою дослідження їх Характеристик та методів кріплення в резервуарах. Також в наступних розділах я проведу тестування баків з перегородками та без них.

Суцільна перегородка

					ДП.МА0206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

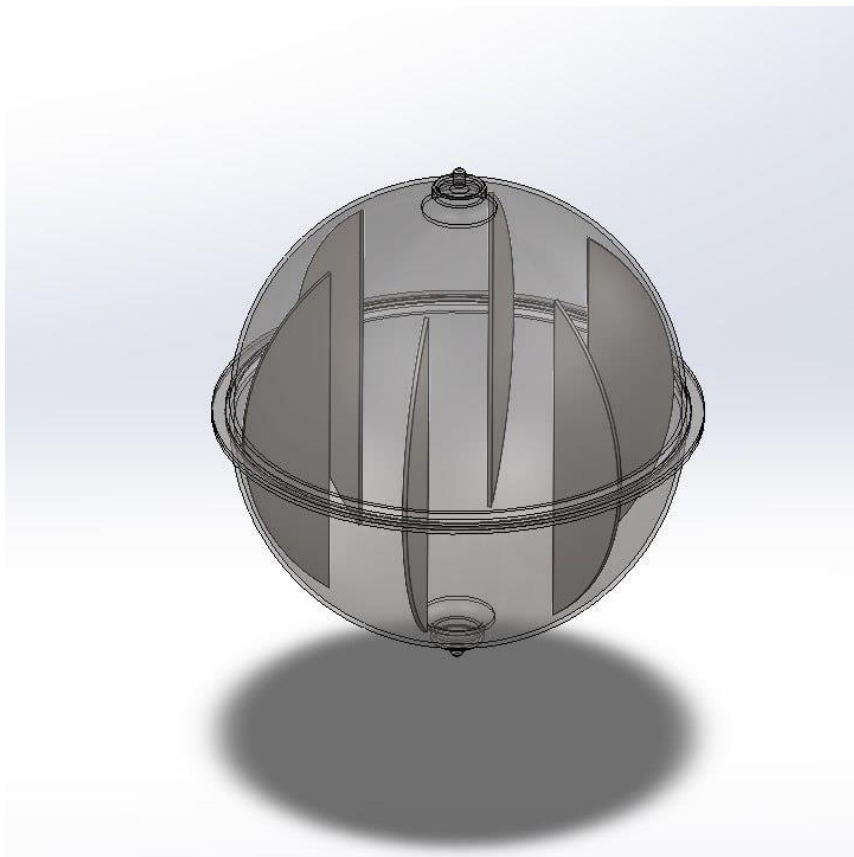


Рис.2.6. Сферичний бак з перегородками

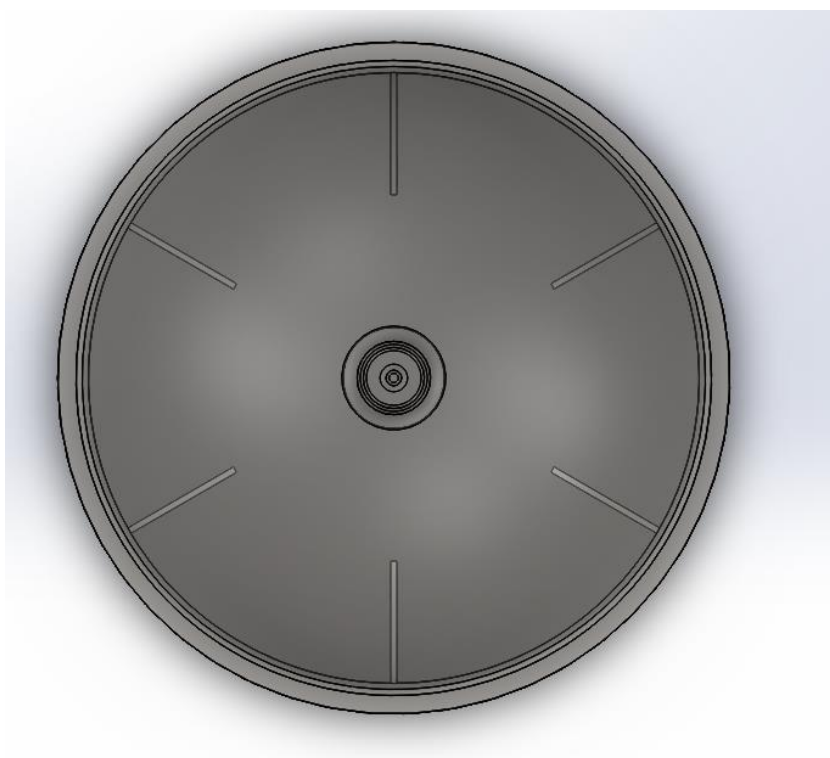


Рис.2.7. Сферичний бак з перегородками вид зверху

					ДП.МАО206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Суцільні перегородки в даному баку виконані з того ж матеріалу, що і сам бак. Тобто з алюмінію. Метод кріплення перегородок – зварювання.

Вони приварені вздовж внутрішньої стінки бака. Перегородки розташовуються всередині бака і ділять його на окремі сектори, тим самим це запобігає змішуванню палива і рівномірно розподіляє вагу по всьому баку. Товщина перегородки 1 см

Перфоровані перегородки:

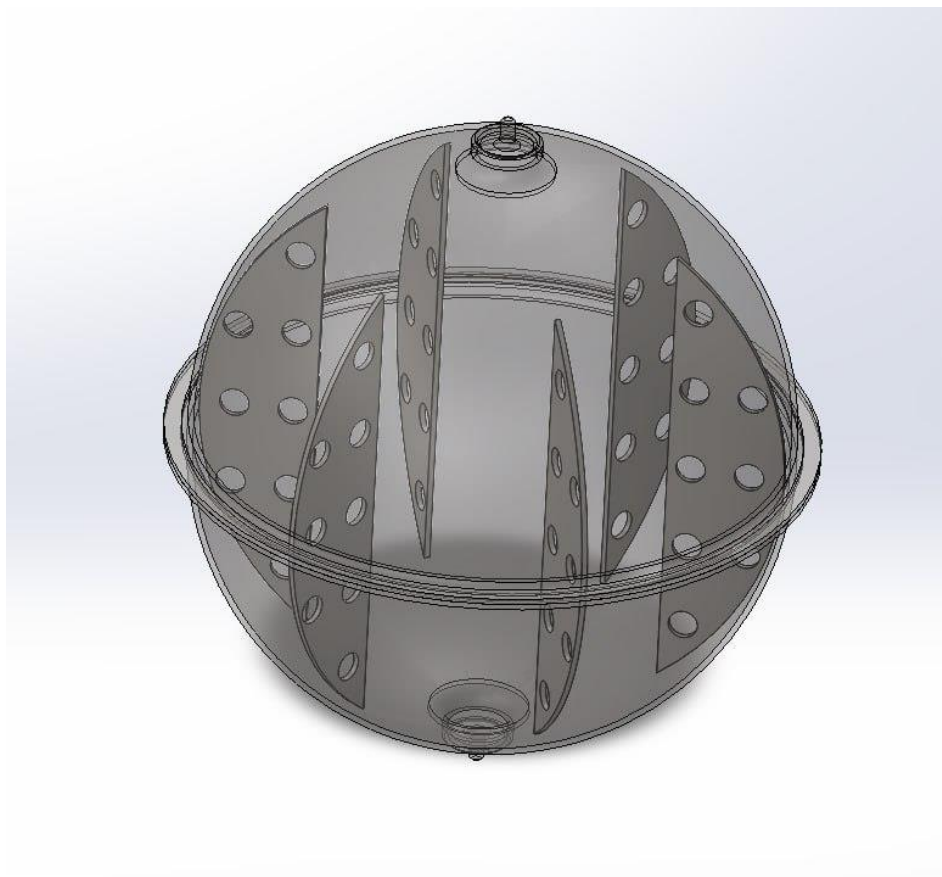


Рис.2.8. Сферичний бак з перфорованими перегородками

					ДП.МАО206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

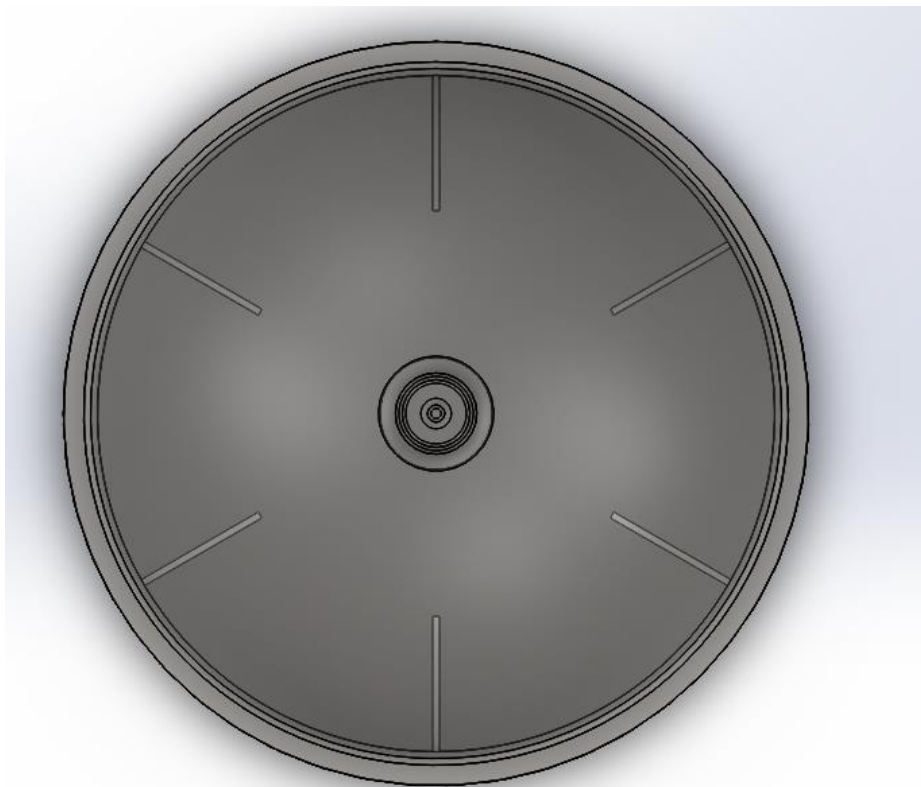


Рис.2.9. Сферичний бак з перфорованими перегородками вид зверху

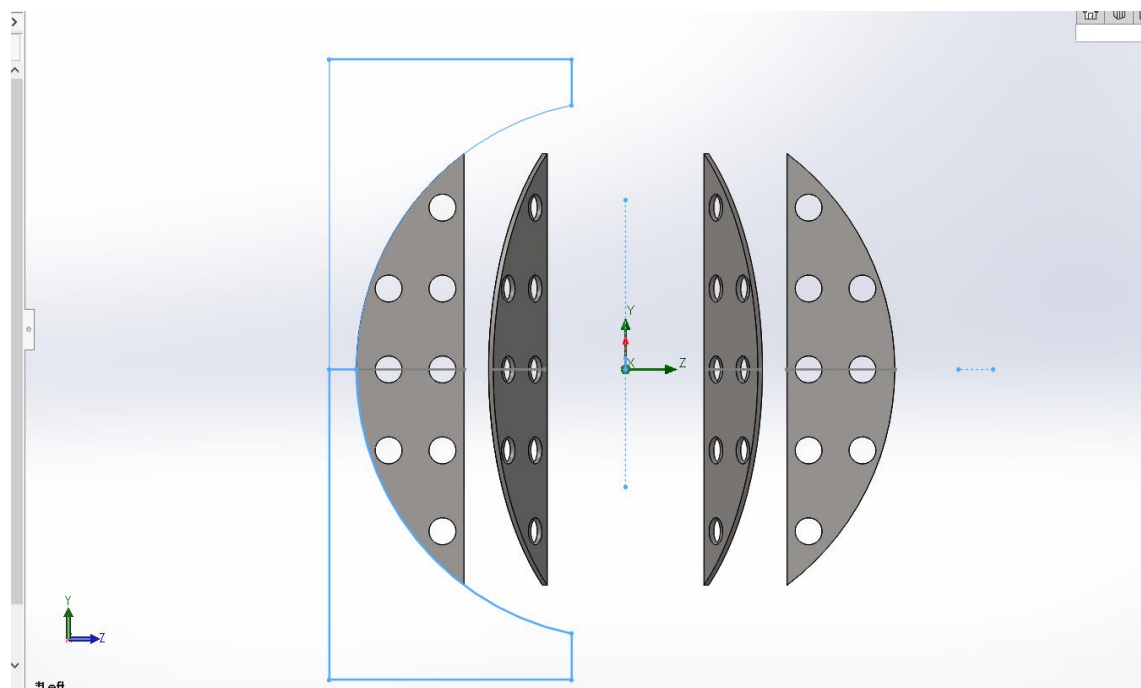


Рис.2.10. Загальний вид перфорованих перегородок

Перфоровані перегородки є важливим конструктивним елементом в різних інженерних системах, де необхідно контролювати рух рідких і твердих частинок. Ці перегородки мають здатність пропускати через себе рідину, оскільки на їх поверхні є отвори різного розміру. Такий розподіл отворів

					ДП.МА0206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

робить їх ефективними в процесах фільтрації, де вони пропускають рідину, утримуючи тверді частки або забруднення.

Завдяки своїй конструкції перфоровані перегородки знайшли широке застосування в різних галузях промисловості. Вони використовуються, наприклад, у системах фільтрації палива, де важливо відокремити тверді забруднення або інші небажані речовини від рідини. Ці розділювачі також використовуються в резервуарах і контейнерах, де вони забезпечують рівномірний розподіл тиску, контролюючи потік рідини.

Дослідження будівельних матеріалів та інженерії продовжують удосконалювати конструкцію перфорованих перегородок, щоб зробити їх більш ефективними та універсальними у використанні.

Вивчення властивостей матеріалу та оптимізація форми та розміру отворів сприяють збільшенню їх продуктивності та терміну служби. Таким чином, перфоровані перегородки залишаються актуальним елементом сучасної

техніки та промисловості, допомагаючи підвищити ефективність і якість технологічних процесів[7,с.88-99]

За конструкцією майже нічим не відрізняються від суцільних
Перегородки зроблені з алюмінію. Метод кріплення перегородок – зварювання. Вони приварені вздовж внутрішньої стінки бака. Перегородки розташовуються всередині бака і ділять його на окремі сектори, тим самим це запобігає змішуванню палива і рівномірно розподіляє вагу по всьому баку. По всій площині перегородки зроблена перфорація.

Використовується технологія лазерної перфорації металу

Перегородки, які відстають від стінок:

					ДП.МА0206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

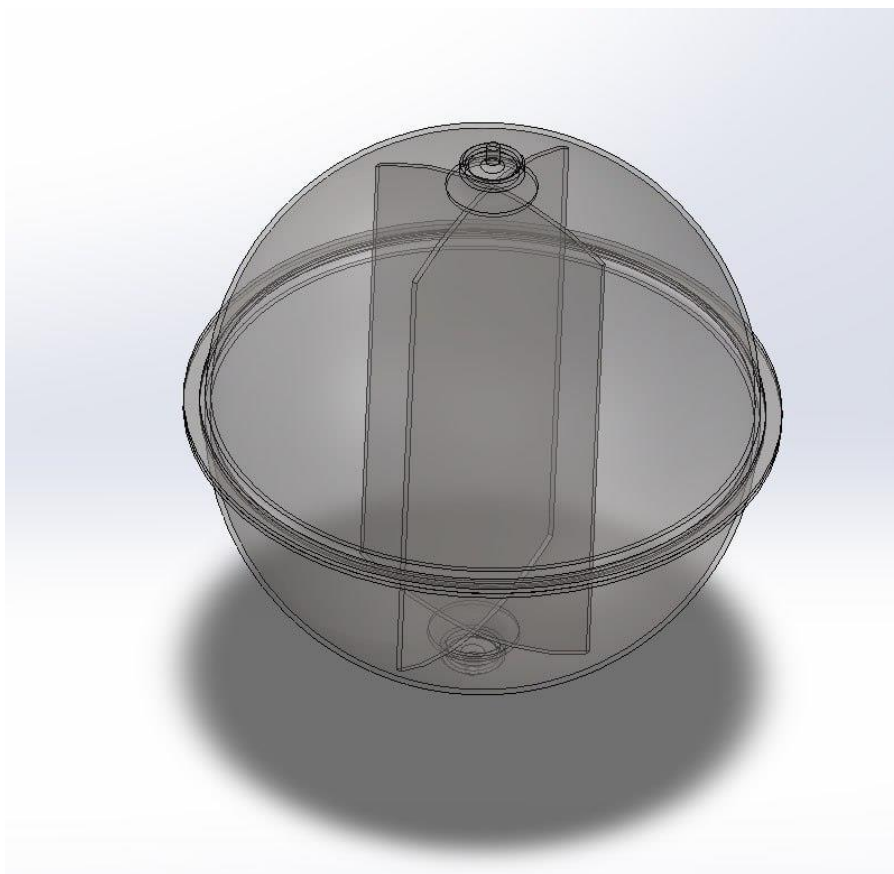


Рис.2.8. Сферичний бак з перегородками, які відстають від стінок



Рис.2.9. Вид зверху

					ДП.МА0206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

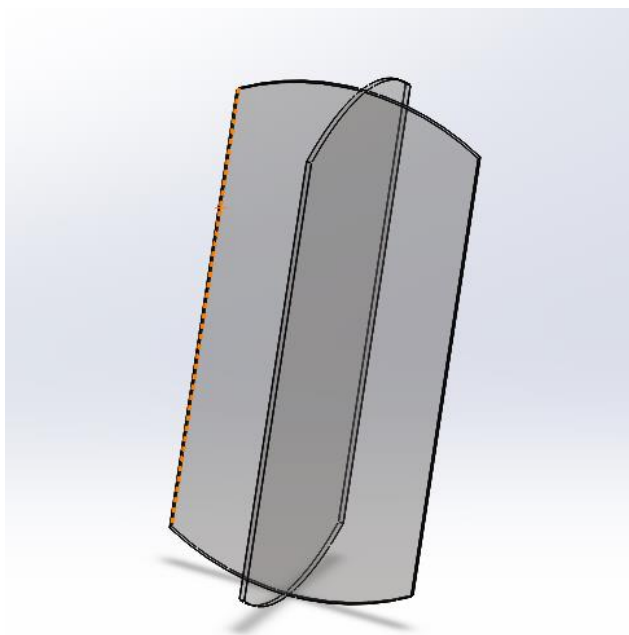


Рис.2.10. Загальний вигляд перегородок, які відстають від стінок резервуару

Також було спроектовано третій вид перегородок. Це перегородки, які відстають від стінок. Ось коротка характеристика конструкції:

1. Матеріал – алюміній
2. Товщина 1 см

Метод кріплення - зварювання

РОЗДІЛ 3: Розробка математичної моделі резервуара з перегородками

3.1 Сили діючі в потоці

Використовуємо модуль Fluid Flow у SolidWorks для того щоб провести тестування нашого бака на внутрішнє плескання.

					ДП.МАО206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

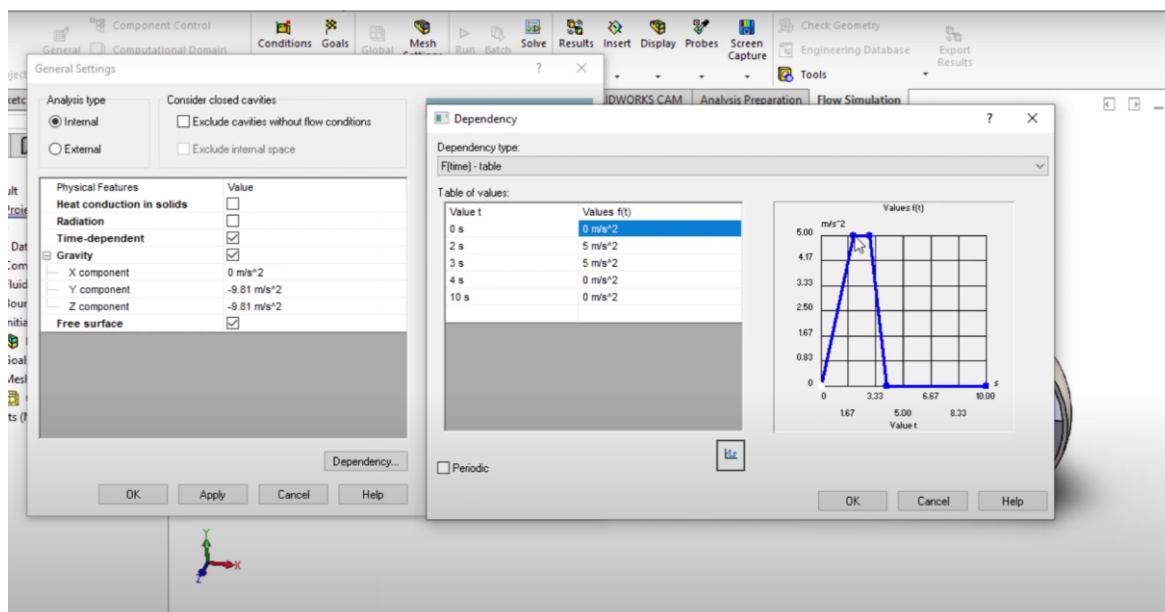


Рис. 3.1 Налаштування залежностей

В налаштуваннях обираємо Internal Analys (Внутрішній аналіз).

Та задаємо в налаштуваннях залежність між часом та прискоренням нашого бака. Маємо 5 часових відрізків: 0, 2, 3, 4, 10 секунд. На відрізку 2-3 секунд ставимо прискорення 5м/с² для досягнення ефекту так званого сплеску.

Розглянемо момент, який діє в резервуарі

Червоним позначено резервуар з перегородками, синім – без.

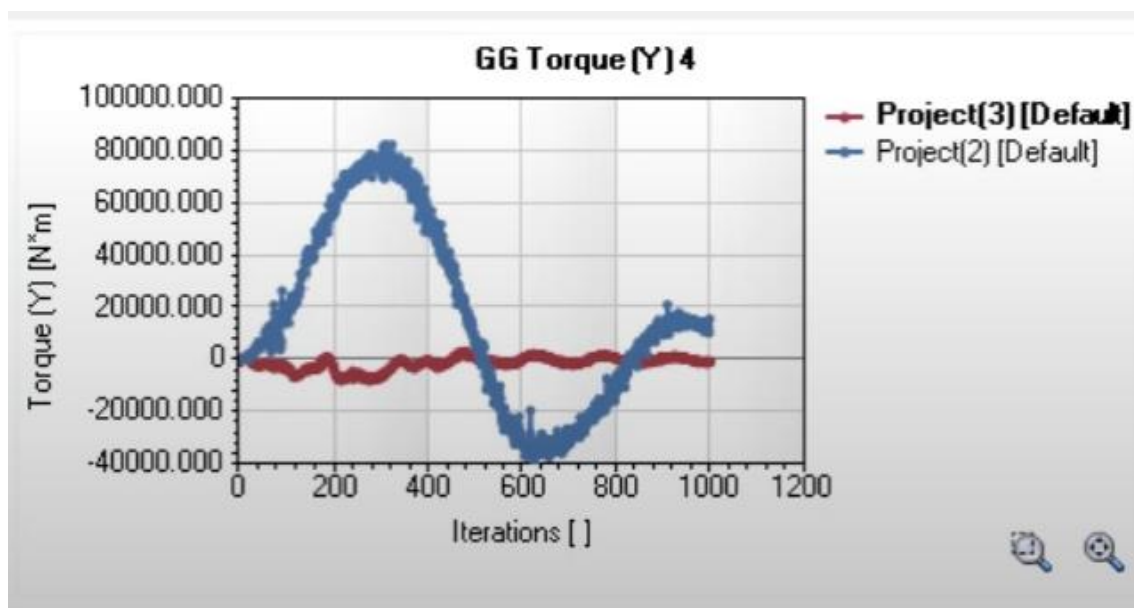


Рис 3.2 Порівняння моменту в баках

Як висновок можна сказати що наявність перегородок суттєво впливає на

внутрішні коливання в рухомому резервуарі. Рух рідини стає значно стабільнішим.

Розглянемо показники турбулентності

Червоним кольором позначений резервуар з перегородками, синім – без перегородок

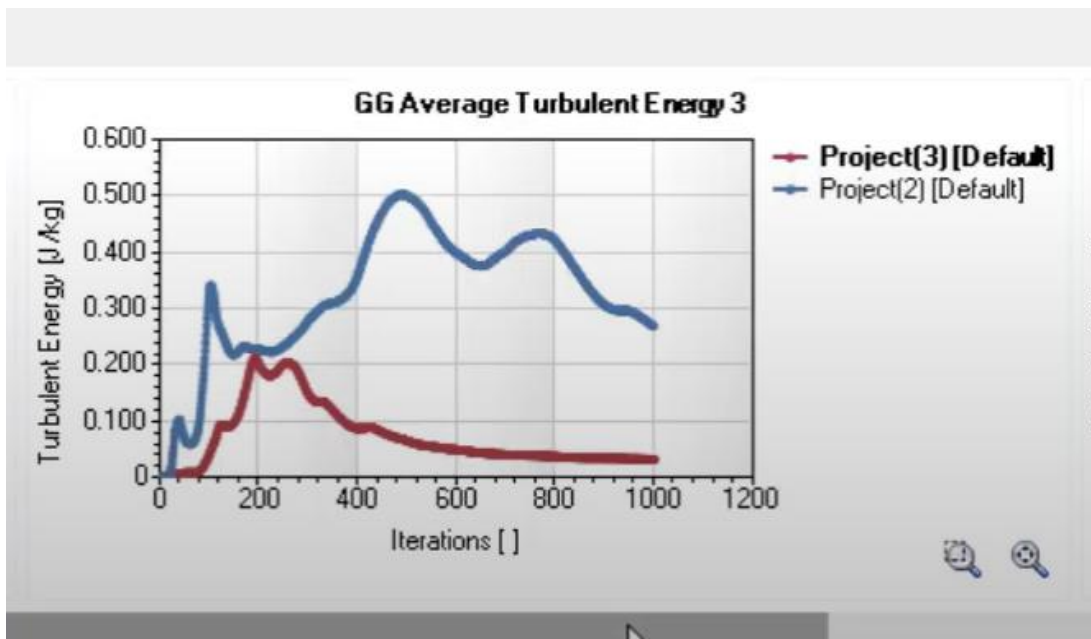


Рис. 3.3. Порівняння турбулентної енергії

Бачимо, що резервуар з перегородками має кращі показники турбулентності, що каже нам про ефективність використання демпфуючих пристроїв в баках

Показники динамічного тиску

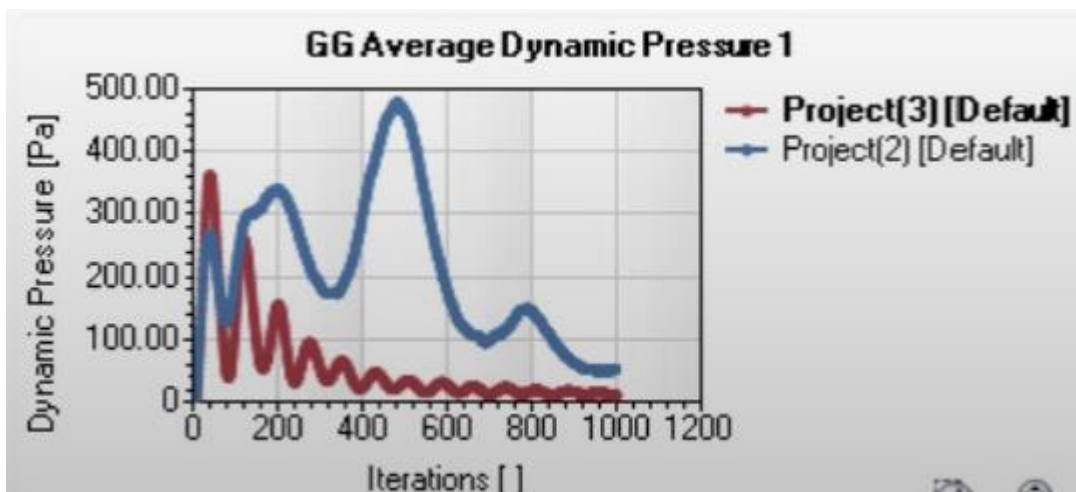


Рис 3.4 Порівняння динамічного тиску

					ДП.МА0206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Як ми бачимо перегородки допомагають розвантажити тиск рівномірно по всій площині бака і зменшити вплив на стінки бака

Цей тест в черговий раз показує нам доцільність використання демпферних перегород у виконанні подібних задач

3.2 Складання рівнянь руху рідини в сфері та циліндрі

Рівняння руху рідини у циліндрі: (r, φ, z)

Використання перетворень

$$\begin{cases} r = \sqrt{x^2 + y^2} \\ \varphi = \arctan \frac{y}{x} \end{cases}$$

Та зворотні перетворення

$$\begin{cases} x = r \cos \varphi \\ y = r \sin \varphi \end{cases}$$

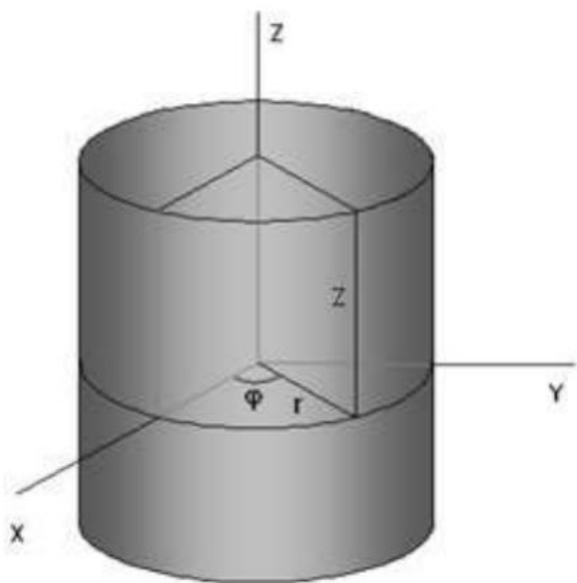


Рис.3.5. Циліндричні координати

Базуючись на Ландау та Ліфшиці, для в'язкої нестисливої рідини ми маємо для трьох компонентів нову формулу[6]

					ДП.МА0206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\frac{\partial p}{\partial r} + \frac{\partial u_r}{\partial t} + (u^L \cdot \nabla)u_r - \frac{u_\varphi^L u_\varphi}{r} = \nu \left(\nabla^2 u_r - \frac{2}{r^2} \frac{\partial u_\varphi}{\partial \varphi} - \frac{u_r}{r^2} \right) + f_r,$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \varphi} + \frac{\partial u_\varphi}{\partial t} + (u^L \cdot \nabla)u_\varphi + \frac{u_\varphi^L u_r}{r} = \nu \left(\nabla^2 u_\varphi + \frac{2}{r^2} \frac{\partial u_r}{\partial \varphi} - \frac{u_\varphi}{r^2} \right) + f_\varphi,$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial t} + (u^L \cdot \nabla)u_z = \nu \nabla^2 u_z + f_z,$$

Де Лагранжева швидкість:

$$u^L = (u_r^L, u_\varphi^L, u_z^L),$$

Швидкість Ейлера:

$$u^E = u = (u_r, u_\varphi, u_z),$$

І для $v: \mathbb{R}^3 \times [0, \infty) \rightarrow \mathbb{R}$ скалярна функція

$$(u^L \cdot \nabla)v = u_r^L \frac{\partial v}{\partial r} + \frac{u_\varphi^L}{r} \frac{\partial v}{\partial \varphi} + u_z^L \frac{\partial v}{\partial z},$$

$$\nabla^2 v = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial v}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2}.$$

Рівняння непереривності має вигляд:

$$\nabla \cdot u = \frac{1}{r} \frac{\partial(r u_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0.$$

Робимо заміну

$$\begin{cases} x_1, x \mapsto r \\ x_2, y \mapsto \varphi \\ x_3, z \mapsto z \end{cases}$$

І отримуємо

$$\begin{cases} u_1, \alpha_1, A_1, B_1, A_{1j} \mapsto u_r, \alpha_r, A_r, B_r, A_{rj} \\ u_2, \alpha_2, A_2, B_2, A_{2j} \mapsto u_\varphi, \alpha_\varphi, A_\varphi, B_\varphi, A_{\varphi j} \\ u_3, \alpha_3, A_3, B_3, A_{3j} \mapsto u_z, \alpha_z, A_z, B_z, A_{zj} \end{cases}$$

					ДП.МАО206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\begin{cases} r = A_r(t) r_0 + B_r(t) \\ \varphi = A_\varphi(t) \varphi_0 + B_\varphi(t) \\ z = A_z(t) z_0 + B_z(t) \end{cases}$$

$$\begin{cases} A_r(0) = A_\varphi(0) = A_z(0) = 1 \\ B_r(0) = B_\varphi(0) = B_z(0) = 0 \end{cases}$$

Диференціюючи за часом, ми маємо компоненти швидкості у лагранжевому описі

$$\begin{cases} \dot{r} = \frac{d}{dt} r = u_r^L = \alpha_r = \dot{A}_r(t) r_0 + \dot{B}_r(t) \\ \dot{\varphi} = \frac{d}{dt} \varphi = u_\varphi^L = \alpha_\varphi = \dot{A}_\varphi(t) \varphi_0 + \dot{B}_\varphi(t) \\ \dot{z} = \frac{d}{dt} z = u_z^L = \alpha_z = \dot{A}_z(t) z_0 + \dot{B}_z(t) \end{cases}$$

Ейлерові компоненти швидкості

$$\begin{cases} u_r = u_r^E = u_r^L|_E = \frac{\dot{A}_r(t)}{A_r(t)} r - \frac{\dot{A}_r(t) B_r(t)}{A_r(t)} + \dot{B}_r(t) \\ u_\varphi = u_\varphi^E = u_\varphi^L|_E = \frac{\dot{A}_\varphi(t)}{A_\varphi(t)} \varphi - \frac{\dot{A}_\varphi(t) B_\varphi(t)}{A_\varphi(t)} + \dot{B}_\varphi(t) \\ u_z = u_z^E = u_z^L|_E = \frac{\dot{A}_z(t)}{A_z(t)} z - \frac{\dot{A}_z(t) B_z(t)}{A_z(t)} + \dot{B}_z(t) \end{cases}$$

Лагранжеві компоненти прискорення

$$\begin{cases} \ddot{r} = \frac{d}{dt} \dot{r} = \frac{D}{Dt} u_r^L = \frac{D}{Dt} \alpha_r = \ddot{A}_r(t) r_0 + \ddot{B}_r(t) \\ \ddot{\varphi} = \frac{d}{dt} \dot{\varphi} = \frac{D}{Dt} u_\varphi^L = \frac{D}{Dt} \alpha_\varphi = \ddot{A}_\varphi(t) \varphi_0 + \ddot{B}_\varphi(t) \\ \ddot{z} = \frac{d}{dt} \dot{z} = \frac{D}{Dt} u_z^L = \frac{D}{Dt} \alpha_z = \ddot{A}_z(t) z_0 + \ddot{B}_z(t) \end{cases}$$

І знову використовуючи параметри початкових умов, отримуємо Ейлерові компоненти прискорення

$$\begin{cases} \frac{Du_r^E}{Dt} = \frac{Du_r^L}{Dt}|_E = \frac{\ddot{A}_r(t)}{A_r(t)} r - \frac{\ddot{A}_r(t) B_r(t)}{A_r(t)} + \ddot{B}_r(t) \\ \frac{Du_\varphi^E}{Dt} = \frac{Du_\varphi^L}{Dt}|_E = \frac{\ddot{A}_\varphi(t)}{A_\varphi(t)} \varphi - \frac{\ddot{A}_\varphi(t) B_\varphi(t)}{A_\varphi(t)} + \ddot{B}_\varphi(t) \\ \frac{Du_z^E}{Dt} = \frac{Du_z^L}{Dt}|_E = \frac{\ddot{A}_z(t)}{A_z(t)} z - \frac{\ddot{A}_z(t) B_z(t)}{A_z(t)} + \ddot{B}_z(t) \end{cases}$$

Правда, чисельно ми маємо

					ДП.МАО206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\begin{cases} \frac{Du_r}{Dt} = \frac{\partial u_r}{\partial t} + (u^L \cdot \nabla)u_r - \frac{u_\varphi^L u_\varphi}{r} \\ \frac{Du_\varphi}{Dt} = \frac{\partial u_\varphi}{\partial t} + (u^L \cdot \nabla)u_\varphi + \frac{u_\varphi^L u_r}{r} \\ \frac{Du_z}{Dt} = \frac{\partial u_z}{\partial t} + (u^L \cdot \nabla)u_z \end{cases}$$

коли всі функції перетворюються на функції часу, де

$$\begin{cases} (u^L \cdot \nabla)u_r = u_r^L \frac{\partial u_r}{\partial r} \\ (u^L \cdot \nabla)u_\varphi = \frac{u_\varphi^L}{r} \frac{\partial u_\varphi}{\partial \varphi} \\ (u^L \cdot \nabla)u_z = u_z^L \frac{\partial u_z}{\partial z} \end{cases}$$

Для $\frac{\partial u_r}{\partial \varphi} = \frac{\partial u_r}{\partial z} = \frac{\partial u_\varphi}{\partial r} = \frac{\partial u_\varphi}{\partial z} = \frac{\partial u_z}{\partial r} = \frac{\partial u_z}{\partial \varphi} = 0$,

Таким чином ми маємо рівняння Нав'є-Стокса в циліндричних координатах

$$\begin{cases} \frac{\partial p}{\partial r} + \frac{Du_r}{Dt} = \nu \left(\nabla^2 u_r - \frac{2}{r^2} \frac{\partial u_\varphi}{\partial \varphi} - \frac{u_r}{r^2} \right) + f_r \\ \frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \varphi} + \frac{Du_\varphi}{Dt} = \nu \left(\nabla^2 u_\varphi - \frac{u_\varphi}{r^2} \right) + f_\varphi \\ \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{Du_z}{Dt} = \nu \nabla^2 u_z + f_z \end{cases}$$

$$\begin{cases} \nabla^2 u_r = \frac{A_r'(t)}{A_r(t)} \frac{1}{r} \\ \nabla^2 u_\varphi = \nabla^2 u_z = 0 \end{cases}$$

і тоді в цьому випадку рівняння Нав'є-Стокса виглядає

$$\begin{cases} \frac{\partial p}{\partial r} + \frac{Du_r}{Dt} = \nu \left(\frac{A_r'(t)}{A_r(t)} \frac{1}{r} - \frac{2}{r^2} \frac{A_\varphi'(t)}{A_\varphi(t)} - \frac{u_r}{r^2} \right) + f_r \\ \frac{\partial p}{\partial \varphi} + r \frac{Du_\varphi}{Dt} = -\nu \frac{u_\varphi}{r} + r f_\varphi \\ \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{Du_z}{Dt} = f_z \end{cases}$$

Визначаємо

					ДП.МАО206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\begin{cases} S_r = -\frac{Du_r}{Dt} + v \left(\frac{A'_r(t)}{A_r(t)} \frac{1}{r} - \frac{2}{r^2} \frac{A'_\varphi(t)}{A_\varphi(t)} - \frac{u_r}{r^2} \right) + f_r \\ S_\varphi = -r \frac{Du_\varphi}{Dt} - v \frac{u_\varphi}{r} + r f_\varphi \\ S_z = -\frac{Du_z}{Dt} + f_z \end{cases}$$

Щоб мати рішення рівняння необхідно щоб:

$$\begin{cases} \frac{\partial S_r}{\partial \varphi} = \frac{\partial S_\varphi}{\partial r} \Rightarrow \frac{\partial f_r}{\partial \varphi} = -\frac{Du_\varphi}{Dt} + v \frac{u_\varphi}{r^2} + f_\varphi + r \frac{\partial f_\varphi}{\partial r} \\ \frac{\partial S_r}{\partial z} = \frac{\partial S_z}{\partial r} \Rightarrow \frac{\partial f_r}{\partial z} = \frac{\partial f_z}{\partial r} \\ \frac{\partial S_\varphi}{\partial z} = \frac{\partial S_z}{\partial \varphi} \Rightarrow r \frac{\partial f_\varphi}{\partial z} = \frac{\partial f_z}{\partial \varphi} \end{cases}$$

Рівняння руху рідини у сфері: (r, θ, φ)

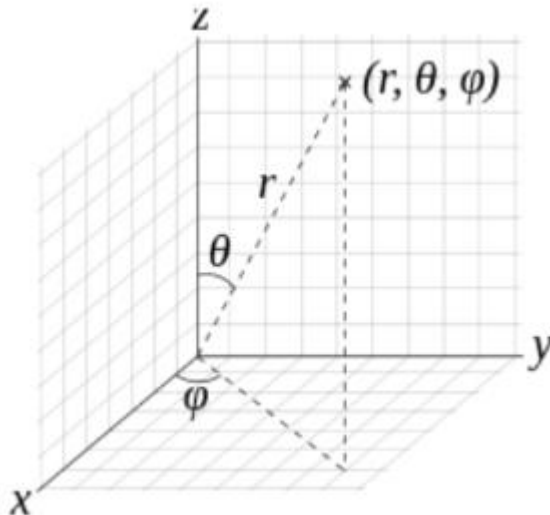


Рис.3.6. Сферичні координати

Кінцеве рівняння руху в сферичних координатах буде мати вигляд:

$$\begin{cases} S_r = -\frac{Du_r}{Dt} + v \left(\frac{2}{r} \frac{A'_r(t)}{A_r(t)} - \frac{2}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial(u_\theta \sin \theta)}{\partial \theta} - \frac{2}{r^2 \sin \theta} \frac{A'_\varphi(t)}{A_\varphi(t)} - \frac{2u_r}{r^2} \right) + f_r \\ S_\theta = -r \frac{Du_\theta}{Dt} - v \frac{1}{r} \left(\frac{A'_\theta(t)}{A_\theta(t)} \cot \theta - \frac{2 \cos \theta}{\sin^2 \theta} \frac{A'_\varphi(t)}{A_\varphi(t)} - \frac{u_\theta}{\sin^2 \theta} \right) + r f_\theta \\ S_\varphi = -r \sin \theta \frac{Du_\varphi}{Dt} - v \frac{u_\varphi}{r \sin \theta} + r \sin \theta f_\varphi \end{cases}$$

Для отримання розв'язання, необхідно щоб

					ДП.МА0206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial S_r}{\partial \theta} = \frac{\partial S_\theta}{\partial r} \Rightarrow -\nu \frac{2}{r^2} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{1}{\sin^2 \theta} \frac{\partial (u_\theta \sin \theta)}{\partial \theta} + \frac{1}{\sin \theta} \frac{A'_\varphi(t)}{A_\varphi(t)} \right) + \frac{\partial f_r}{\partial \theta} = -\frac{Du_\theta}{Dt} + \nu \frac{1}{r^2} \sigma + f_\theta + r \frac{\partial f_\theta}{\partial r} \\ \frac{\partial S_r}{\partial \varphi} = \frac{\partial S_\varphi}{\partial r} \Rightarrow \frac{\partial f_r}{\partial \varphi} = -\sin \theta \frac{Du_\varphi}{Dt} + \nu \frac{u_\varphi}{r^2 \sin \theta} + \sin \theta \left(f_\varphi + r \frac{\partial f_\varphi}{\partial r} \right) \\ \frac{\partial S_\theta}{\partial \varphi} = \frac{\partial S_\varphi}{\partial \theta} \Rightarrow r \frac{\partial f_\theta}{\partial \varphi} = -r \cos \theta \frac{Du_\varphi}{Dt} + \nu \frac{u_\varphi \cos \theta}{r \sin^2 \theta} + r \left(\cos \theta f_\varphi + \sin \theta \frac{\partial f_\varphi}{\partial \theta} \right) \end{array} \right.$$

Де

$$\sigma = \left(\frac{A'_\theta(t)}{A_\theta(t)} \cot \theta - \frac{2 \cos \theta}{\sin^2 \theta} \frac{A'_\varphi(t)}{A_\varphi(t)} - \frac{u_\theta}{\sin^2 \theta} \right),$$

тому не завжди є розв'язок рівнянь Ейлера і Нав'є-Стокса в сферичному координат, згідно з наведеною системою, також має місце у випадках прямокутної і циліндричні координати. [6]

3.3 Граничні умови для розв'язання рівнянь

Типи граничних умов:

- Для нерухомих стінок

$$v_r = 0, \quad v_\theta = 0, \quad v_z = 0$$

- Для рухомих стінок

$$v_r = V_{wall,r}, \quad v_\theta = V_{wall,\theta}, \quad v_z = V_{wall,z}$$

- Граничні умови на вхідних та вихідних отворах

- На вході (задана швидкість):

$$v_r = v_{inlet,r}(r, \theta, z, t), \quad v_\theta = v_{inlet,\theta}(r, \theta, z, t), \quad v_z = v_{inlet,z}(r, \theta, z, t)$$

- На виході (наприклад, заданий тиск або профіль швидкості):

$$p = p_{outlet}(r, \theta, z, t)$$

або

$$v_z = v_{outlet}(r, \theta, z, t)$$

- Граничні умови на симетрії (Якщо є осьова симетрія)

$$\frac{\partial v_r}{\partial \theta} = 0, \quad v_\theta = 0, \quad \frac{\partial v_z}{\partial \theta} = 0$$

- Граничні умови на поверхні вільної рідини

На поверхні рідини може бути заданий поверхневий натяг або умова

					ДП.МАО206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рівноваги:

$$\sigma (\nabla \cdot \mathbf{n}) = p_{ext} - p$$

де σ - поверхневий натяг, $\mathbf{n}$ - нормаль до поверхні, p_{ext} - зовнішній тиск.

3.4 Тест математичної моделі

В даному пункті ми проведемо аналіз даних, отриманих в результаті моделювання та симуляції коливань рідини в резервуарі за допомогою програми SolidWorks в модулі Flow Simulation.

Це робиться для того щоб виявити наскільки ефективними є перегородки. Аналіз отриманих даних дозволить визначити такі важливі моменти:

- Розподіл коливань у резервуарі;
- Вплив на функціонування системи.
- Ефективність перегородок;
- Вплив перегородок на характер коливань;

Загальний аналіз даних допоможе зрозуміти, як перегородки впливають на коливання рідини в резервуарі, що є важливим для оцінки необхідності їх встановлення.

Проведемо перше тестування резервуару циліндричної форми без перегородок на предмет плескання та дослідимо характер коливань

Тест без перегородок:

Резервуар на 50% заповнений рідиною. В налаштуваннях симуляції в розділі initial conditions в якості рідини обрано пропан.

					ДП.МА0206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

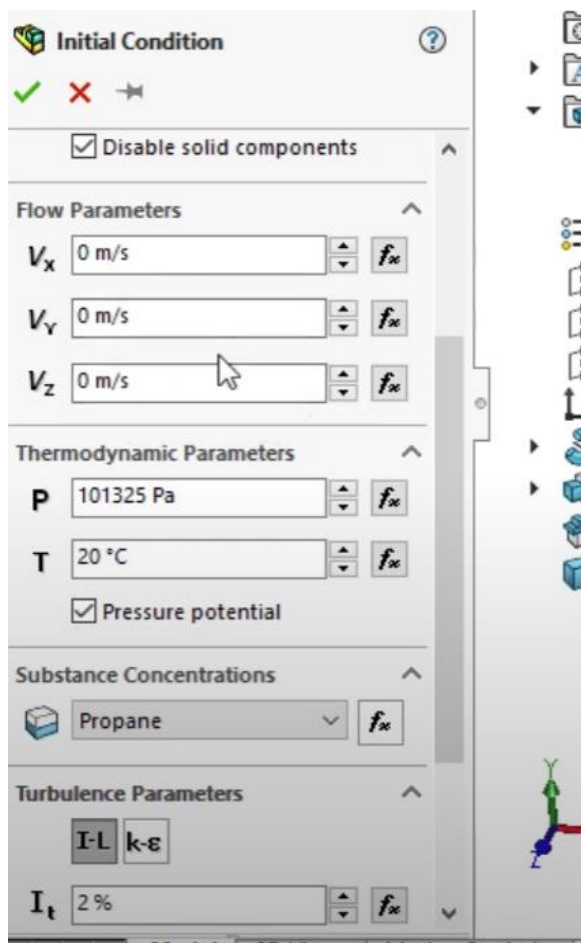


Рис 3.6

Далі задамо залежність прискорення від часу

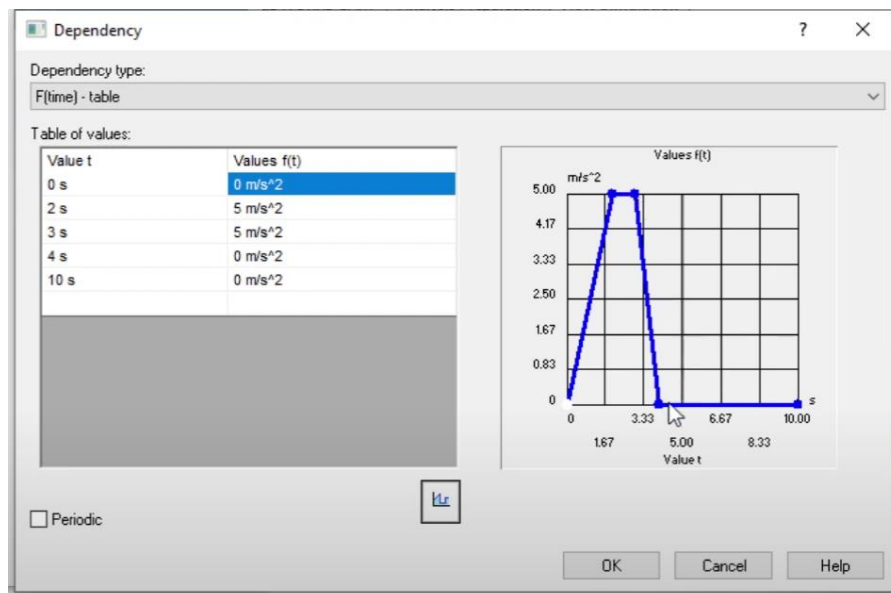


Рис 3.7

Подивимось на результати симуляції

Рис 3.8 1с.

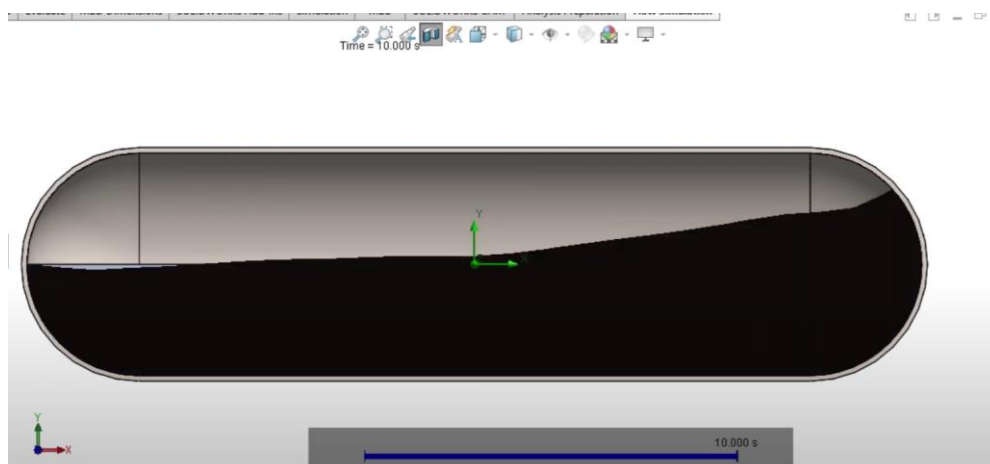


Рис 3.9 2с

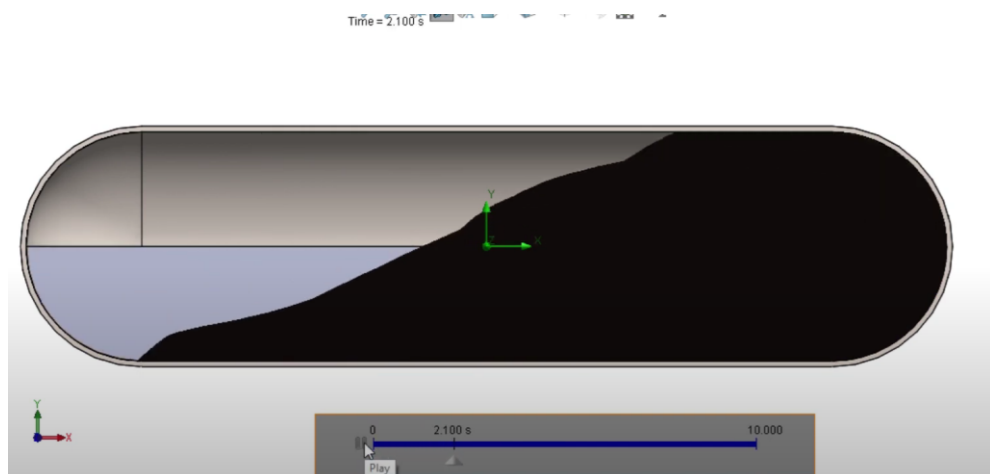
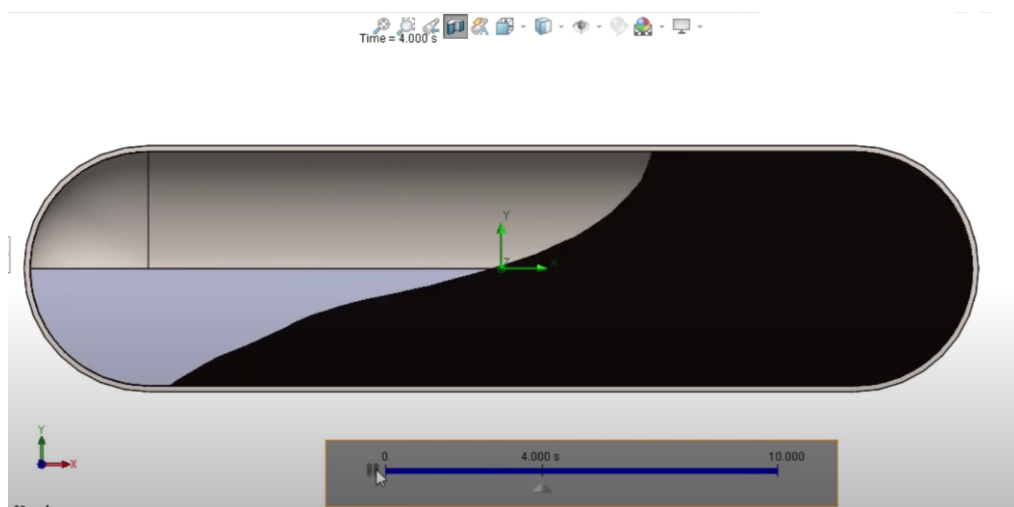


Рис 3.10 4с



					ДП.МА0206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рис 3.11 8с

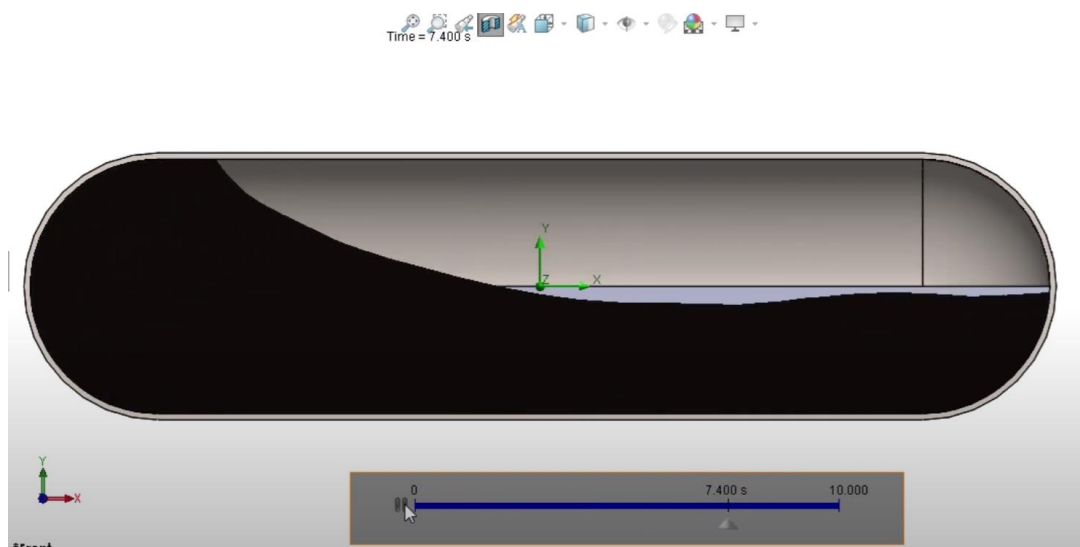
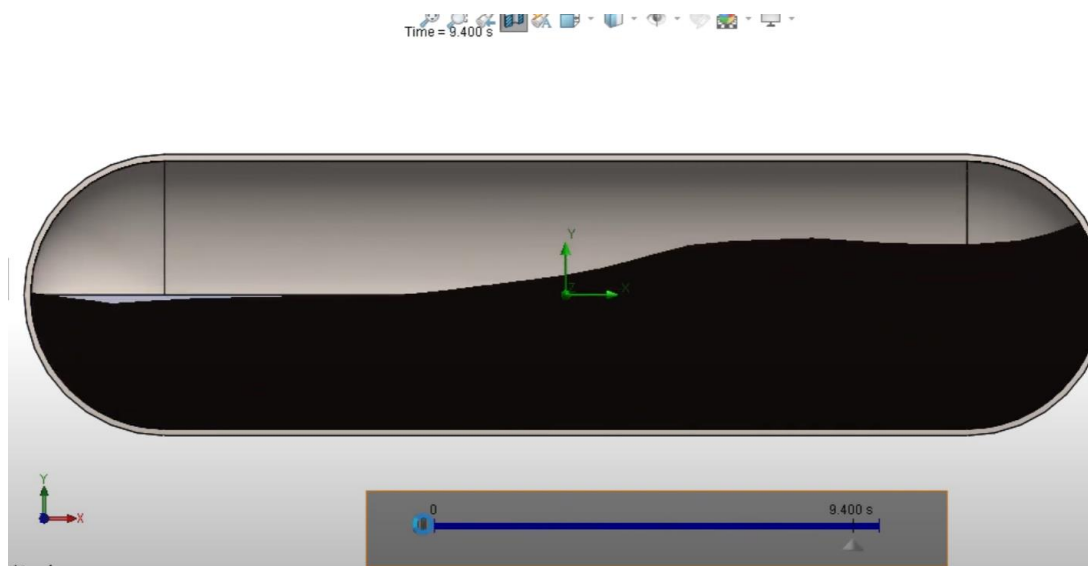


Рис 3.12 10с



Тепер перглянемо результат тесту за допомогою функції Cut Plot модуля Flow Simulation. Ми побачимо як в ході коливання зміщується пропан (червоний сектор) і кисень (синій сектор)

Рис 3.13 1с

					ДП.МА0206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

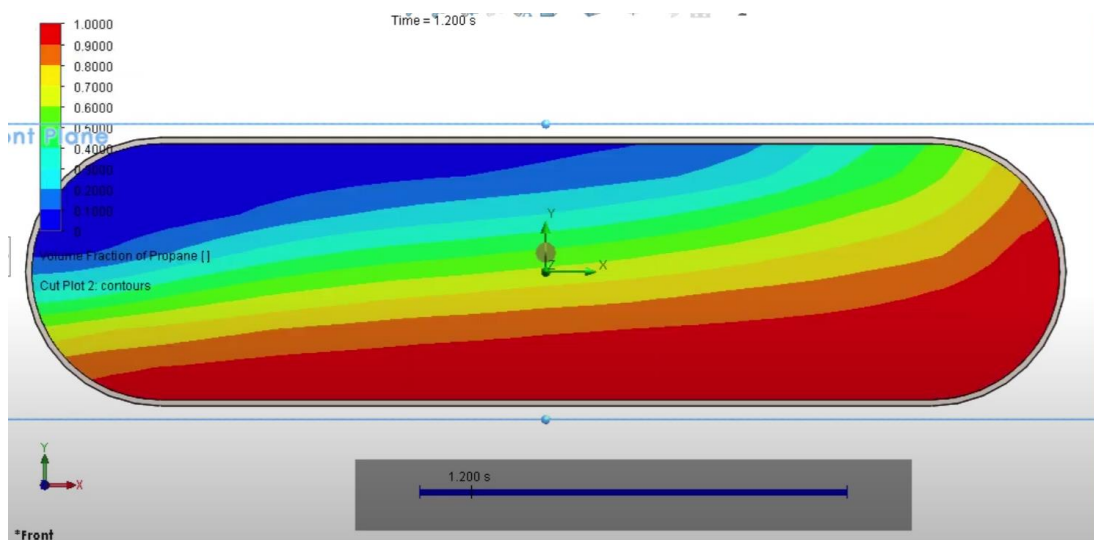


Рис 3.14 4с

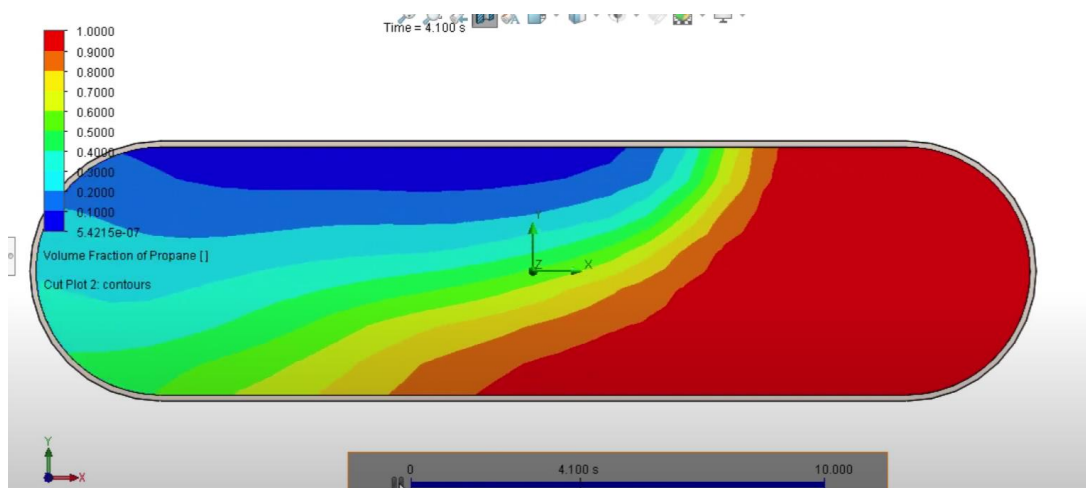
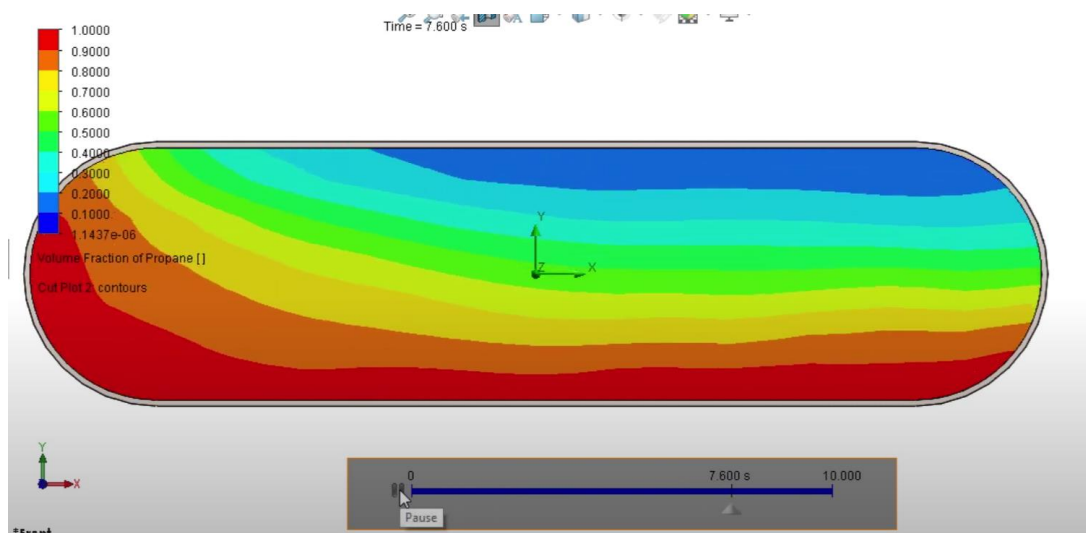


Рис 3.15 8с



					ДП.МАО206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тепер проведемо тест з перегородками і підсумуємо результати

Тест з перегородками:

Рис 3.16 1с

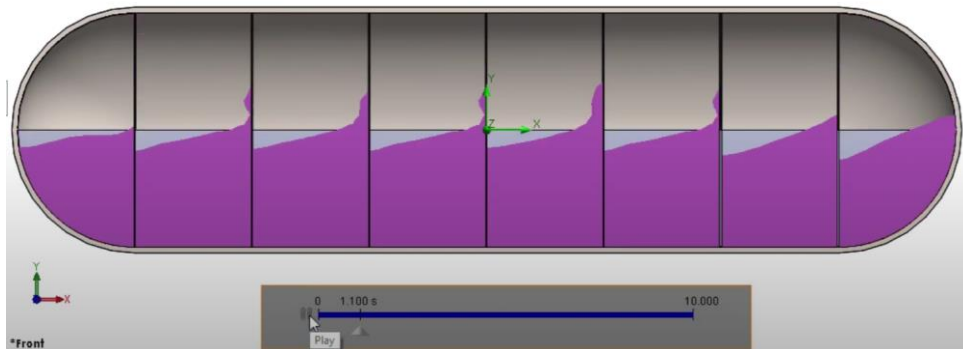


Рис 3.17 2с

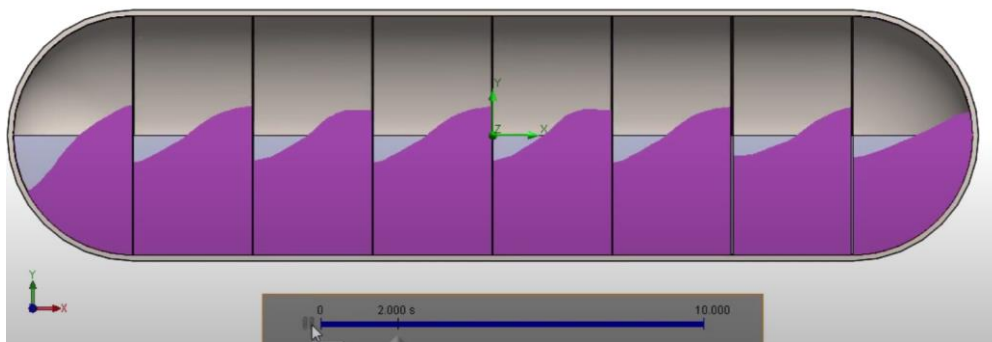
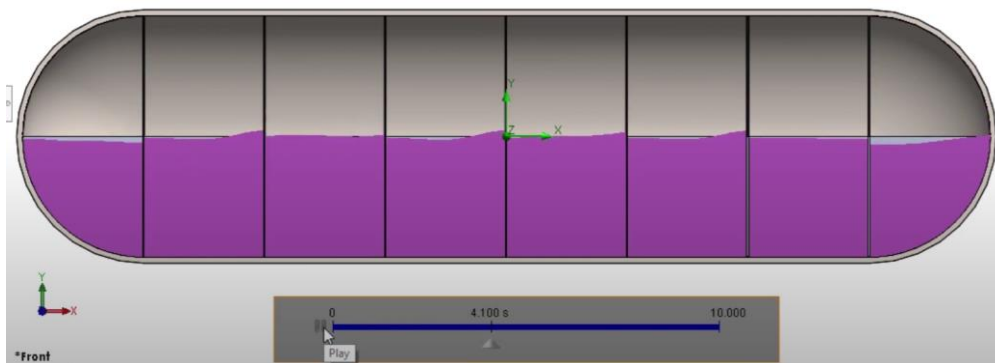


Рис 3.18 4с



					ДП.МА0206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рис 3.19 1 с

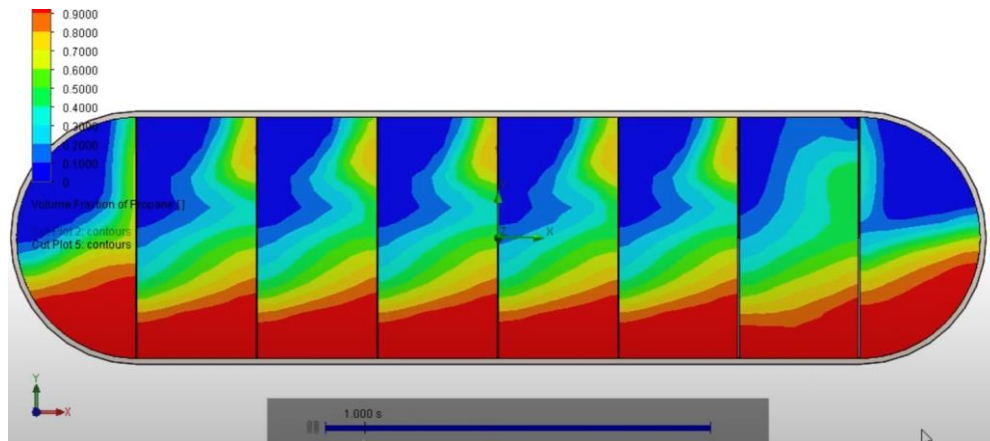


Рис 3.20 2 с

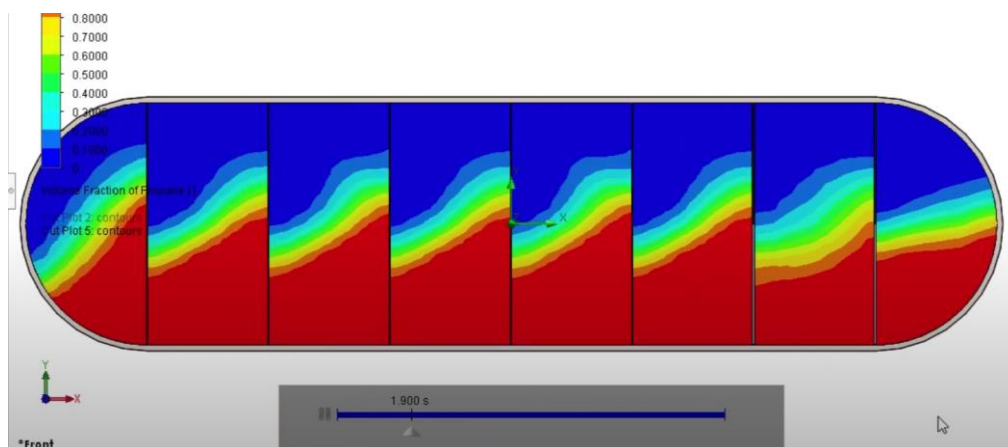
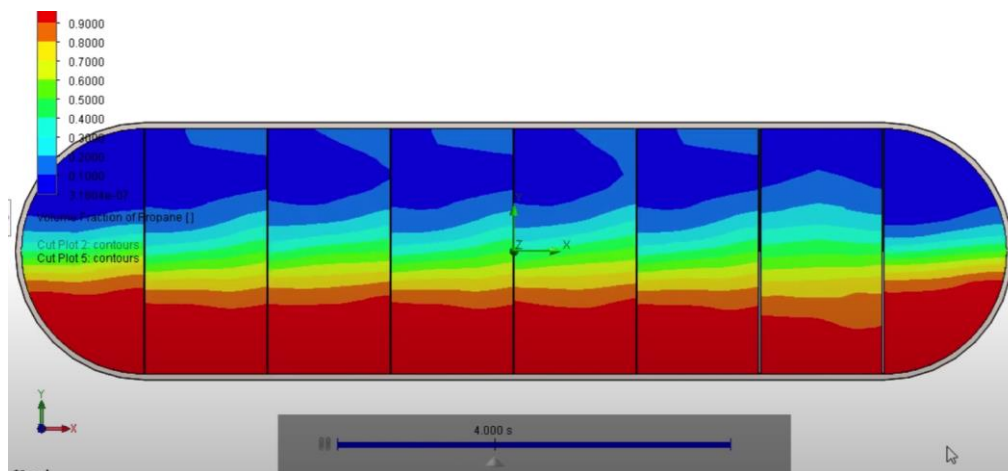


Рис 3.21 4с



Для наглядності я додав до баку 7 перегородок і як показують результати тестування, вдалося зменшити ефект плескання

Після аналізу даних можна зробити висновок, що демпферні перегородки однозначно покращують та стабілізують роботу резервуара та системи в цілому. Перегородки подавлюють велику кількість надлишкових

					ДП.МАО206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

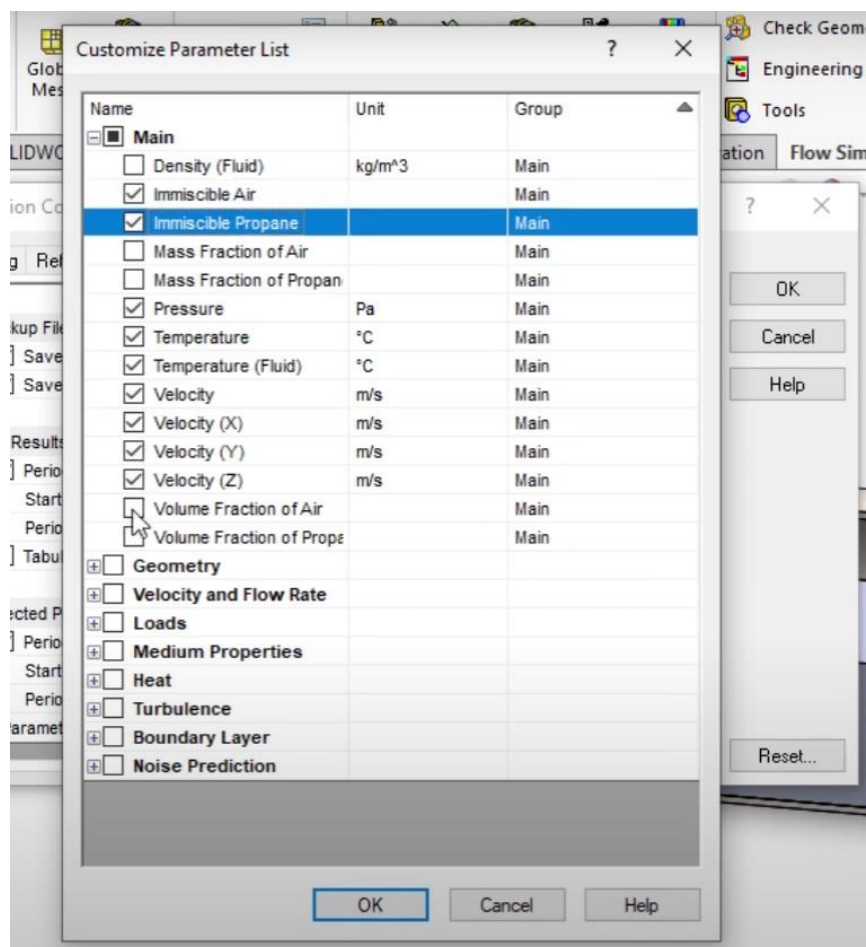
інерційних сил, що діють всередині резервуара. Таких як коливання, плескання, Ефект "удару". Та зменшують негативний вплив на стінки резервуара.

РОЗДІЛ 4: Розрахунки нелінійних рівнянь руху рідини в резервуарах

Суть цього розділу полягає в тому, що ми проведемо ще один тест резервуарів з перегородками та без та порівняємо такі показники як поля тиску та швидкості. Та оцінимо доцільність використання перегородок. Проведемо ще один тест на дослідження полів швидкості у сферичному та циліндричному резервуарі.

Спочатку для обох типів резервуару в налаштуваннях цілі дослідження оберемо параметри які нас цікавлять. Це Velocity та pressure (поля швидкості та тиску)

Рис 4.1

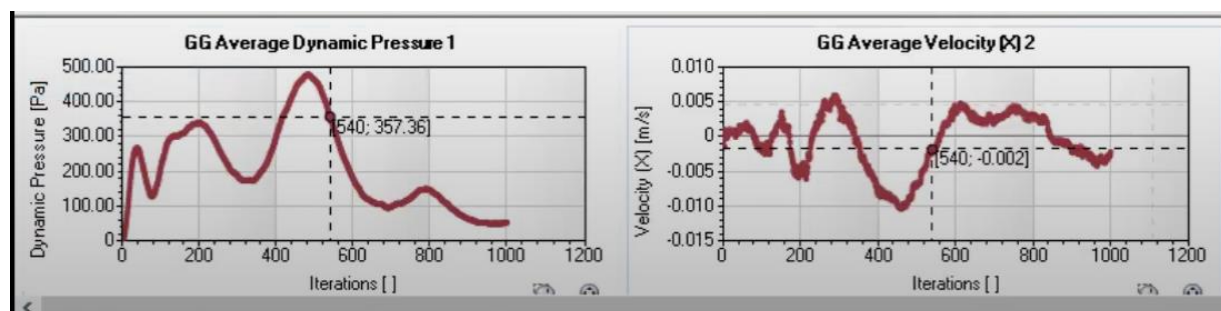


4.1 Розрахунок полів швидкості та тиску в баці з перегородками та без

Спочатку запускаємо симуляцію циліндричного резервуара без

перегородок та отримуємо наступні значення тиску та швидкості, які показані на графіках залежностей

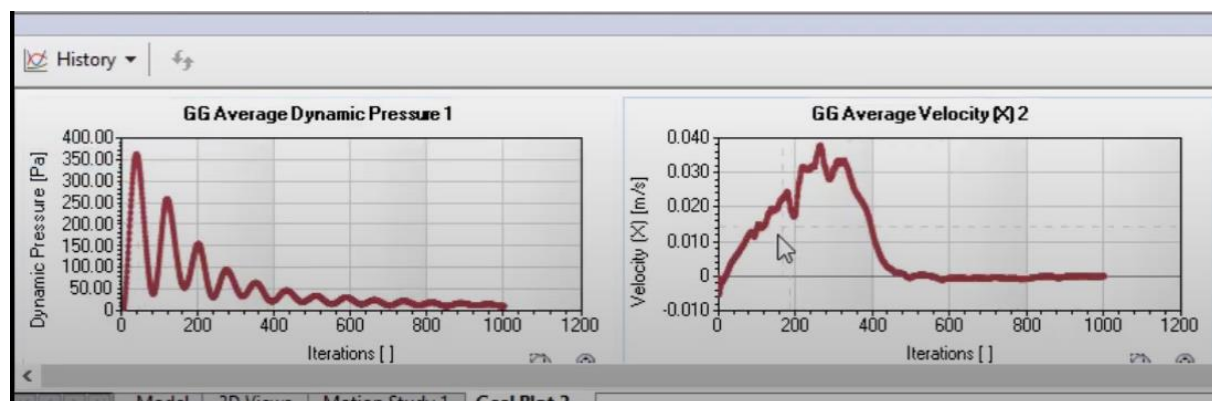
Рис. 4.2



На графіках видно, що система поводить себе не стабільно, можна спостерігати періодичні коливання рідини в резервуарі, що може спричинити нестабільність системи

Далі проведемо тест резервуара з перегородками і порівняємо результати.

Рис.4.3



Як результат бачимо на, що в резервуарі з перегородками тиск и швидкість зменшується з часом. Що каже нам про те, що система стала стабільною і показала ефективність роботи демпферів.

4.2 Аналіз отриманих результатів

Проаналізувавши сферичний і циліндричний резервуари з перегородками

					ДП.МАО206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та без можна зробити наступні висновки. В резервуарах без перегородок простежуються періодичні коливання приблизно однакової сили. Тобто ніщо не впливає на інерційний потік всередині резервуара.

Натомість в резервуарах з демпферними перегородками всередині ми спостерігаємо, що інерційний потік з часом заспокоюється, що додає стабільності системі, в якій встановлений резервуар. Таким чином можна

зробити беззаперечний висновок, що завдяки внутрішнім перегородкам поля тиску і швидкості зменшуються.

4.3 Практичні рекомендації по впливу на інерційні течії в резервуарах

Інерційні потоки в резервуарах є важливим аспектом для різноманітних інженерних і наукових застосувань, включаючи гідротехніку, гідроенергетику, транспорт рідини та інші сфери. Вони виникають у результаті взаємодії різних фізичних факторів, таких як сила тяжіння, в'язкість та інерція, і можуть мати значний вплив на рух і процеси змішування рідини в резервуарі.

У багатьох випадках динаміку рідини в колекторах можна описати системою нелінійних рівнянь руху, яка враховує нелінійні ефекти, такі як турбулентність, зміни в'язкості та інші неідеальні умови. Це створює труднощі в аналізі та прогнозуванні динаміки рідини в пластах і вимагає розробки ефективних практичних вказівок для управління цими потоками. Беручи до уваги геометрію резервуара, слід зазначити, що форма і розміри цього об'єкта мають значний вплив на інерційні потоки рідини, які виникають у його внутрішніх частинах. Для отримання більш точних результатів і прогнозування таких потоків необхідно ретельно вивчити геометрію резервуара, орієнтуючись на форму його дна і стінок, а також наявність будь-яких перешкод.

Для аналізу нелінійних рівнянь руху рідини в резервуарах рекомендується використовувати числові методи, такі як метод скінченних елементів (МСЕ) або метод скінченних різниць (МСР). Ці методи є потужними

					ДП.МА0206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інструментами для чисельного моделювання течій рідини в складних геометричних конфігураціях, таких як резервуари.

Метод скінченних елементів базується на розбитті області на скінченну

кількість елементів, на яких рівняння руху рідини апроксимуються.

Кожен елемент характеризується набором вузлів, в яких обчислюються значення величин, що описують рух рідини. За допомогою методу скінченних елементів можна розв'язати нелінійні рівняння руху рідини та отримати числові результати, які відображають поведінку рідини в резервуарі.

Метод скінченних різниць також використовується для чисельного розв'язування нелінійних рівнянь руху рідини. В цьому методі резервуар розбивається на сітку, де значення величин, що описують рух рідини, обчислюються на вузлах сітки. Різницеві апроксимації нелінійних термінів рівнянь руху дозволяють отримувати числові розв'язки.

Якщо рух рідини в резервуарі супроводжується складними явищами, такими як турбулентні течії або взаємодія з перешкодами, можуть бути застосовані розширені числові методи, наприклад, методи скінченного об'єму або методи розріджених сіток.

Використання числових методів дозволяє отримувати детальні числові результати, які допомагають краще розуміти та передбачати інерційні течії рідини в резервуарах. Враховуючи геометрію резервуара та використовуючи ці методи, можна аналізувати різні сценарії течії рідини, розраховувати параметри, такі як швидкість, тиск та концентрація, та оцінювати ефективність резервуара та його конструкції.

При вивченні інерційних течій рідини в резервуарі важливо детально розглянути вплив як внутрішніх, так і зовнішніх сил, оскільки ці сили істотно впливають на характер руху рідини.

Внутрішні сили, зокрема в'язкість і внутрішнє тертя, відіграють важливу

					ДП.МА0206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

роль у визначенні руху рідини. В'язкість як властивість рідини залежить від її внутрішньої будови та взаємодії молекул. Ця сила протидіє зсувному руху рідини і сприяє утворенню внутрішніх напруг тертя. Сили внутрішнього тертя сповільнюють рух рідини та сприяють поглинанню її енергії[13,с.67-78]

Зовнішні сили, такі як сила тяжіння та зовнішні течії, також мають значний вплив на інерційні потоки. Сила тяжіння залежить від маси рідини та геометрії резервуара та змушує рідину рухатися вниз під дією сили тяжіння. Зовнішні струми, які можуть бути викликані зовнішніми джерелами, такими як насоси або витоки рідини, також впливають на рух рідини в баку.

Розглядаючи взаємодію цих внутрішніх і зовнішніх сил, дослідник може краще оцінити інерційні потоки рідини в резервуарі. Врахування в'язкості і сил внутрішнього тертя дозволяє врахувати внутрішні опори, які зменшують швидкість руху рідини і збільшують втрати енергії.

Аналізуючи зовнішні сили, такі як гравітація та зовнішні потоки, ми можемо оцінити їхній вплив на рух рідини та передбачити можливі наслідки.

Розгляд впливу внутрішніх і зовнішніх сил має вирішальне значення при вивченні інерційних потоків у пласті, оскільки це дає змогу зрозуміти та передбачити їхню поведінку та забезпечує основу для раціонального проектування та управління резервуарами, де рух рідини є важливим фактором. Математичні моделі, які враховують ці внутрішні та зовнішні сили, допомагають передбачити та оптимізувати рух рідини в резервуарах, що має практичне значення в таких галузях, як інженерія, гідродинаміка та екологія.

Усвідомлення впливу внутрішніх і зовнішніх сил при вивченні інерційних течій рідин в резервуарі відображає науковий підхід до вивчення і розуміння фізичних процесів. Це дозволяє отримати більш повне розуміння складних систем руху рідини та має практичне значення для

					ДП.МАО206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вирішення конкретних проблем, пов'язаних із проектуванням, управлінням та оптимізацією резервуарів і різних гідродинамічних процесів.

Моделювання стає необхідним інструментом дослідження інерційних течій у водоймах, оскільки дозволяє вивчати та оцінювати вплив різноманітних факторів на ці течії. Використовуючи програмне забезпечення для комп'ютерного моделювання, вчені можуть створювати віртуальні моделі резервуарів і проводити чисельні експерименти, щоб отримати глибше розуміння процесів, що відбуваються в системі.

За допомогою моделювання можна врахувати вплив різних внутрішніх і зовнішніх сил на інерційні потоки рідини. Наприклад, в'язкість рідини можна врахувати в моделі за допомогою відповідних математичних рівнянь, які описують рух в'язкої рідини. Також можна змоделювати вплив гравітації, включивши гравітацію в рівняння руху. Зовнішні потоки можна моделювати шляхом введення в модель відповідних початкових і граничних умов.

Проведення чисельних експериментів з використанням моделювання дає можливість отримати кількісні результати щодо руху рідини в резервуарі. Наприклад, можна вивчати швидкість руху рідини, розподіл тиску, натяг та інші параметри. Такі результати можна використовувати для розуміння поведінки системи, порівняння різних сценаріїв і визначення оптимальних умов.

Використання моделей при дослідженні інерційних течій рідин у резервуарах дає змогу зробити багато корисних висновків і підвищити наукову обґрунтованість досліджень. Це допомагає розглянути вплив внутрішніх і зовнішніх сил на рух рідини та передбачити її властивості. Комп'ютерне моделювання дає можливість проводити віртуальні експерименти економно та з економним часом. На цьому фоні моделювання є незамінним інструментом наукових досліджень інерційних течій у водоймах.

					ДП.МА0206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Проведення експериментів і порівняння отриманих результатів з теоретичними моделями є важливим етапом перевірки та підтвердження точності моделі. Цей процес дозволяє вченим оцінити відповідність моделі реальним явищам і виявити можливі відхилення або помилки в моделі[13,с.67-78]

Для порівняння експериментальних результатів з теоретичними моделями можна використовувати різні показники, такі як швидкість рідини, розподіл тиску, напруга тощо. Порівняння можна проводити як кількісно, так і якісно. Наприклад, можна порівняти значення параметрів, отримані в експерименті, з прогнозованими на основі теоретичної моделі. Якщо результати експерименту та відповідні передбачення теоретичної моделі збігаються, це свідчить про адекватність моделі.

Якщо виявлено розбіжності між експериментальними даними та теоретичними прогнозами, можна проаналізувати причини цих розбіжностей. Серед можливих причин — недостатня точність моделі, неправильне врахування певних фізичних ефектів або неправильні вхідні дані для моделювання. На основі аналізу отриманих даних можна вносити корективи в модель, вдосконалювати її та підвищувати точність.

Важливо відзначити, що моделювання руху рідини в пласті є складним завданням, оскільки воно включає багато фізичних процесів і параметрів. Таким чином, порівняння результатів моделювання з експериментальними даними є ітераційним процесом, який вимагає систематичного аналізу та вдосконалення моделі на кожному новому етапі.

Загалом, експерименти та порівняння результатів з теоретичними моделями є важливими кроками в розробці точних і надійних моделей інерційної течії в водоймах. Цей процес допомагає виявити та виправити можливі неточності та недоліки моделі, що в кінцевому підсумку допомагає підвищити її точність і практичну застосовність.

Важливим аспектом при дослідженні рідин у пластах є врахування режимів руху. Залежно від умов і параметрів системи рідини можуть мати

					ДП.МАО206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

різні режими руху, такі як ламінарний, турбулентний або перехідний.

Ламінарний режим характеризується рівномірним потоком рідини, в якому частинки рухаються паралельно одна одній. Такий режим спостерігається при малій швидкості руху рідини або при невеликих розмірах бака.

Ламінарний режим зазвичай супроводжується невеликими завихреннями і мінімальною турбулентністю. Інерційні потоки в ламінарній області можна легко моделювати та аналізувати за допомогою відповідних математичних моделей[13,с.67-78]

Турбулентний режим руху рідини характеризується хаотичним і непередбачуваним рухом частинок. У такому флюїдному режимі виникають великі вихори і турбулентні структури. Вплив турбулентності на інерційні потоки є складним і може потребувати використання складних математичних методів для їх аналізу.

Перехідний режим руху рідини виникає при зміні параметрів системи або при переході від одного режиму до іншого. У цій області рух рідини може бути частково ламінарним і частково турбулентним, що ускладнює моделювання та аналіз інерційного потоку.

Для дослідження впливу режимів руху рідини на інерційні течії важливо використовувати відповідні математичні моделі та методи. Для ламінарної області можна використовувати, наприклад, моделі Нав'є-Стокса або акустичні аналогові моделі. Для турбулентної області можна використовувати моделі турбулентності, такі як модель k-ε або моделювання великого вихру (LES). Підходи до аналізу перехідного режиму руху можуть відрізнятися залежно від конкретних умов і параметрів дослідження.

Розгляд режимів руху рідини в дослідженні є важливим кроком для отримання більш точних і реалістичних результатів. Зверніть увагу на режими руху: Рідини в резервуарах можуть перебувати в різних режимах руху, наприклад: В. в ламінарному, турбулентному або перехідному режимі. Дослідить вплив цих режимів на інерційні струми та враховуйте їх

					ДП.МАО206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

у своїх дослідженнях. Застосовуйте відповідні моделі та методи для аналізу конкретного режиму потоку рідини.

Тепловий вплив є одним з ключових факторів, який може суттєво впливати на інерційні течії рідини в резервуарах. Під час досліджень слід враховувати теплообмін між рідиною та оточуючим середовищем з метою отримання більш точних та реалістичних результатів.

Теплообмін може відбуватися через різні процеси, такі як конвекція, кондукція та випромінювання. Граничні умови, які визначають теплообмін, можуть включати температуру рідини, температуру поверхні резервуара, коефіцієнти теплообміну та інші параметри.

Для аналізу теплового впливу рекомендується використовувати відповідні теплові моделі та методи. Наприклад, моделі конвекції можуть базуватися на рівняннях Нав'є-Стокса з додатковими рівняннями для теплового потоку. Моделі кондукції можуть використовувати рівняння теплопровідності для визначення розподілу температури у рідині та резервуарі. Для моделювання випромінювання можуть застосовуватися відповідні рівняння теплового випромінювання.

Для більш точного аналізу теплового впливу можуть використовуватися числові методи, такі як обчислювальна гідродинаміка (Computational Fluid Dynamics, CFD) або метод скінчених елементів (Finite Element Method, FEM). Ці методи дозволяють розв'язувати складні рівняння теплового та гідродинамічного переносу з урахуванням граничних умов та фізичних характеристик системи.

Перевірка моделі та порівняння її результатів з експериментальними даними або результатами інших досліджень є важливим кроком у перевірці точності та надійності моделі. Цей процес дозволяє оцінити, наскільки добре модель відтворює та прогнозує явища реального світу.

Перевірка моделі передбачає порівняння теоретичних прогнозів з експериментальними даними, якщо такі дані доступні. Це може включати порівняння значень змінних, передбачених моделлю, з виміряними

					ДП.МА0206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

значеннями. Якщо результати моделі збігаються з експериментальними даними із задовільною точністю, це може служити підтвердженням правильності моделі[12,с.123-135]

Крім порівняння з експериментальними даними, також можна порівняти результати моделі з результатами інших досліджень або використовувати відомі аналітичні рішення для перевірки моделі. Якщо результати моделі узгоджуються з результатами інших досліджень або аналітичних рішень, це може підтвердити правильність моделі.

У разі виявлення розбіжностей між теоретичними прогнозами та експериментальними даними чи результатами інших досліджень можна проаналізувати причини цих розбіжностей. Це може включати перегляд вхідних даних, розгляд можливих спрощень або припущень, зроблених у моделі, та оцінку точності параметрів моделі.

Загальна рекомендація полягає у використанні комплексного підходу, що поєднує експериментальні дослідження, чисельне моделювання та теоретичний аналіз. Тільки такий комплексний підхід дозволяє отримати чіткі та достовірні результати щодо впливу на інерційні потоки в резервуарах, де рідини описуються нелінійними рівняннями руху.

Розділ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці — це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я та працездатності людини у процесі трудової діяльності. [11]

Тема дипломного проекту «Модернізація мобільного гідравлічного крана», тому у даному розділі я провів аналіз шкідливих та небезпечних факторів які виникають над дипломним проектом.

В цьому розділі було виконано аналіз негативних та потенційно небезпечних чинників, які можуть впливати на робоче місце під час проведення дипломного проектування. З урахуванням складної ситуації в

					ДП.МА0206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

країні, проектування здійснюється у гуртожитку, у кімнаті блоку, на ПК.

У даному розділі розглядаються наступні небезпечні фактори:

- мікроклімат;
- освітлення приміщення;
- пожежна безпека;
- електробезпека.

5.1 Аналіз умов праці

Робота з мобільним гідравлічним краном вантажопідйомністю 750 кг може насамперед пов'язуватися з рядом небезпек та ризиків, зокрема:

1. Травмування працівника: Робота на висоті та з великими вантажами створює ризик падіння і травмування працівника. Неправильна маніпуляція з грузом, недостатня фіксація вантажу або пошкодження обладнання можуть призвести до небезпечної ситуації.
2. Пошкодження майна: Неправильне використання крана або недостатня осторожність увага може призвести до пошкодження самого крана, підйомального механізму, металургійного обладнання або інших предметів, що знаходяться на робочому місці.
3. Неконтрольоване падіння вантажу: Несправність крана або помилки оператора можуть призвести до неконтрольованого падіння вантажу, що може пошкодити майно, спричинити травму або навіть загрожувати життю.
4. Електробезпека: Робота з електричними системами крана вимагає дотримання правил безпеки щодо установки, заземлення та уникнення непередбачених електричних розрядів.
5. Взаємодія з іншими працівниками: Чіткі комунікаційні протоколи та знання правил безпеки є важливими для уникнення нещасних випадків.

5.2. Пожежна безпека

Пожежна безпека – це такий стан об'єкта, при якому можливість виникнення та розвиток пожежі і впливу на людей її факторів виключається, а також забезпечується захист матеріальних цінностей [8].

					ДП.МАО206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Згідно причинам та об'єктам гасіння пожежі, для місця розташування, що проектується буде застосовуватись ручний вуглекислотний вогнегасник ОУ-5 (застосовується для гасіння пожежі, під час загорання різних матеріалів, речовин або електричних установок під напругою. В деяких випадках для гасіння пожежі застосовують волок та пісок. Принцип дії вогнегасника ОУ-5 полягає в наступному: відбувається викидання субстанції вуглекислоти, що робить на поверхні палаючого об'єкта вуглекислотну плівку, це блокує джерело пожежі від проникнення кисню. Дільниця, на якій буде знаходитися даний кран не є вибухонебезпечною. Згідно з класифікацією приміщень і установок за ПУЕ тип виконання електрообладнання – захищене від потрапляння бризків відповідності за класом приміщення та прямого контакту з людьми [8].

Табл. 4.1

Параметри межі стійкості та граничного розповсюдження

Будівельні конструкції	Мінімальна межа стійкості, ч	Мінімальне граничне розповсюдження, см
Несучі стіни	2.5	0.5
Колони	2.5	0.5
Сходові площадки	1	0.5
Ферми та балки	0.5	0.5

Для приміщень категорії „Д” степені вогнестійкості будівлі та відстань від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу (при густині людського потоку 1 люд/м²) не обмежується. Ширина дверей евакуаційного виходу із приміщення залежить від загальної кількості людей на 1 м ширини входу, яка повинна бути не менше 0,8 м. Дана будівля четвертої степені вогнестійкості. Згідно цього, найбільш допустима площа поверху будівлі між протипожежним склом повинна бути рівна 26 м² ; найбільша відстань, що допускається від робочого місця

					ДП.МА0206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

до найближчого евакуаційного виходу дорівнює 100 м [33].

Ті матеріали та речовини, які застосовуються в розробленому технологічному процесі з точки зору пожежної безпеки є пожежонебезпечними, через робочу рідину, яка знаходиться у гідросистемі. Тому біля даного крану обов'язково повинен розташовуватися вогнегасник. Крім того, можливі мінімальні витoki рідини назовні [8].

5.3. Електробезпека

Електробезпека – це система певних технічних та організаційних засобів та заходів, які забезпечують захистом людей від впливу електричного струму [10].

Відповідно до ПУЕ, приміщення за небезпекою отримання електричних травм поділяються на три категорії:

1. з підвищеною небезпекою;
2. без підвищеної небезпеки;
3. особливо небезпечні.

При короткочасному впливі (0,1 - 0,5 с) струм порядку 100 мА не буде викликати фібриляції серця. Але якщо збільшити тривалість впливу до 1 секунди, то це може призвести до смертельного результату. Зі зменшенням тривалості впливу електричного струму значення допустимих для людини збільшується в рази. Наприклад, при зміні часу впливу струму від 1 до 0,1 секунди струм зростає майже в 16 разів [8].

Для захисту від ураження електричним струмом у робочій зоні передбачені такі захисні заходи [8]:

1. ізолювання частини обладнання під напругою;
2. частини обладнання під напругою розмістити на недоступних висотах для людини;
3. виконування вимог техніки безпеки під час ремонту обладнання;
4. не допускати до ремонту не підготовлений персонал;
5. вивішувати попереджувальні таблички під час проведення ремонтних

					ДП.МАО206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

робіт.

Для мережі з напругою до 1000 В використовують заземлення.

Заземлення - це спеціальне електричне з'єднання з додатковим захисним проводом металевих частин обладнання без дії на них струму, що можуть виявитись під напругою, при необхідності. Принцип дії полягає у тому, що відбувається перетворення замикання мережі на корпус електроустановки в однофазне коротке замикання (тобто замикання між фазою та нульовим робочим провідником) для раптового збільшення величини сили струму, що здатна призвести до спрацювання захисного пристрою (під час якого перегорають запобіжники або приводяться в дію автоматичні вимикачі) і відповідне автоматичне відімкнення пошкодженої системи від мережі живлення [8].

Крім заземлення обладнання для захисту від ураження електричним струмом розроблені наступні заходи:

1. безпечна робота електроустановок;
2. освітлювальна проводка відкрита;
3. силова проводка укладена в металевих трубах під підлогою;
4. забезпечення недоступності неізольованих частин під струмом, що досягається застосуванням стаціонарних огорож, розташуванням струмопостачальних частин на висоті, що є недосяжною для людини знаходиться і в неприступних місцях;
5. застосування малих напруг до 36 В;
6. контроль ізоляції більше 220 В;
7. покриття струмопровідних частин та відділення від інших частин спеціальним шаром діелектрика, який забезпечує протікання струму в необхідному напрямі.

5.4. Розрахунок освітлення приміщення де буде знаходитись кран

Значення світла без впливу на здоров'я людини під час роботи. Освітлення займає дуже важливу роль у житті людини, приблизно 85 - 90% інформації

					ДП.МАО206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сприймається через зоровий канал, тому використання освітлення у достатній кількості має важливе значення для правильного виконання всіх видів робіт. Наявність світла є біологічним фактором розвитку людського організму, та умовою при роботі зорового аналізатора [8].

День і ніч визначають біологічний ритм. Тому недостатня освітленість або надмірна кількість світла змінюють рівень збудженості центральної нервової системи, відповідно активність усіх процесів життєдіяльності змінюється. Існує багато відомих випадків, коли через погане освітлення були травми, через що людина може загинути або стати інвалідом.

За походженням світло - видиме випромінювання електромагнітних хвиль. Виробниче освітлення може бути трьох видів залежно від джерела світла [8]:

1. штучне - здійснюється штучними джерелами світла, призначені для освітлення приміщень у темні години доби, або таких, що не мають природного освітлення.
 2. природне - це пряме або відбите світло сонця, що освітлює приміщення через отвори (вікна, двері, і тд) в зовнішніх конструкціях.
 3. сполучене - одночасне поєднання і природного, і штучного освітлення.
- Зазвичай використовується сполучене освітлення.

Проведемо наступний розрахунок.

Вихідні дані:

1. висота освітлювального приміщення – 4,5 м;
2. площа, на яке потрапляє світло у приміщенні – 300 м² ;
3. відношення довжини між висотою розташування та центрами освітлювачів, що діє на робочу поверхню (для люмінесцентних ламп)
 $L/H_p=1,4$;
4. коефіцієнт освітлюваності 1,1.

Відповідно для розрахунку рівномірного освітлення на горизонтальній робочій поверхні основним методом світлового потоку є відбивання від стелі та стін. Потік світла при люмінесцентних лампах розраховується за

					ДП.МАО206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

наступною формулою [10]:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{100 \cdot E_{\text{н}} \cdot S \cdot Z \cdot K_3}{N \cdot \eta} \quad (3.1)$$

де $E_{\text{н}} = 150$ лк – нормативна освітлюваність;

$S = 300 \text{ м}^2$ – площа приміщення, яка освітлюється;

$Z = 1,1$ – коефіцієнт освітлюваності для люмінесцентних ламп;

$K_3 = 1,5$ – коефіцієнт запасу, що враховує запилення приміщення, що призводить до зменшення світлового потоку лампи в процесі експлуатації;

$N = 16$ кількість освітлювачів у приміщенні, яка приймається виходячи з крокового розташування ламп, площі приміщення та довжини між ними;

$\eta = 0,83$ – коефіцієнт використання світлового потоку ламп, який залежить від:

1. ККД та кривої розподілення сили світла освітлювача;
2. коефіцієнта відбиття потоку від стелі $\rho_{\text{п}} = 70\%$;
3. коефіцієнта відбиття потоку від стін $\rho_{\text{с}} = 50\%$;
4. висоти знаходження освітлювачів та показника приміщення i :

$$i = \frac{A \cdot B}{H(A + B)} \quad (3.2)$$

де A і B – розміри приміщення: $A = 10 \text{ м}$; $B = 30 \text{ м}$, $H_{\text{р}} = 4,5 \text{ м}$.

Тоді:

$$i = \frac{10 \cdot 30}{4.5(10 + 30)} = 2.07$$

Тоді:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{100 \cdot 150 \cdot 300 \cdot 1.1 \cdot 1.5}{15 \cdot 83} = 5964 \text{ лм}$$

Підрахувавши світловий потік лампи, підбираємо (5) найближчу

					ДП.МА0206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

стандартну лампу та визначаємо електричну потужність всієї освітлювальної системи (табл.4.2);

Таблиця 4.2.

Характеристика люмінесцентних ламп

Назва лампи	Світловий потік, лм	Світлова віддача, лм/Вт
Люмінесцентна газорозрядна лампа ЛД-80	6020	55.8

Допустиме відхилення потоку вибраної лампи від розрахованої складає від 10% до 20%, в іншому випадку застосовують інакшу кількість освітлювачів [8].

5.5. Захист від шуму

Шум – небажана, неприємна сукупність звуків, що заважає сприйняттю корисних звукових сигналів, основними характеристиками звукових коливань є амплітуда звукового частота (f , Гц) та тиск (p , Па).

Звуковий тиск – різниця між середнім тиском у певному середовищі при відсутності звуку та миттєвим значенням повного тиску у цьому середовищі при наявності звуку. Поширення звукового поля – це перенос енергії, що може бути визначена інтенсивністю звуку J (Вт/м²).

Інтенсивність звуку і звуковий тиск у вільному звуковому полі зв'язані між собою таким співвідношенням [8]:

$$J = p^2 / \rho \cdot c \quad (3.3)$$

де J – інтенсивність звуку, Вт/м² ;

ρ – густина середовища, кг/м³ ;

p – звуковий тиск, Па;

c – швидкість звукової хвилі у певному середовищі, м / с.

					ДП.МА0206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

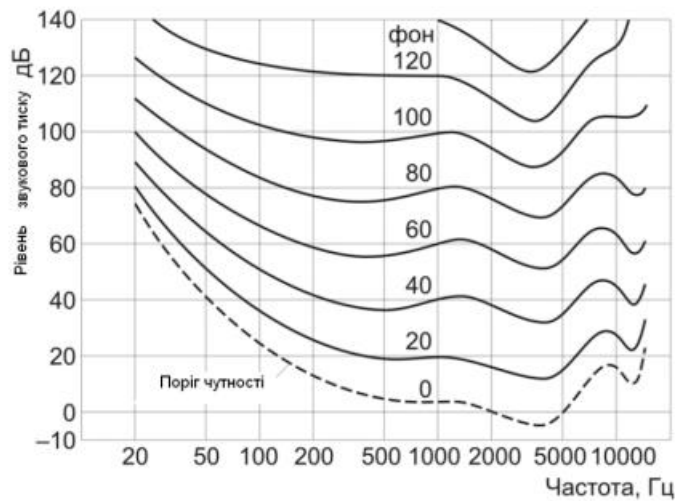


Рис.4.1. Залежність рівня гучності від звукового тиску й частоти у певному середовищі[9]

Звукоізоляція від шуму різного роду у приміщенні забезпечується за допомогою будівельних матеріалів – бетону, цегли, залізобетону, фанери, скла, та деяких інших. У якості звукоізолюючих матеріалів, застосовують у конструкціях будівель плити зі скляного та мінерального волокна, гуму, м'які плити з деревних стружок, тощо [8].

У робочому приміщенні шумовий фон є допустимим, якщо він не впливає на виконання роботи. Навушники складаються з двох півсферичних пластмасових корпусів з спеціальними пристроями для звукопоглинання та з ультратонкого скловолокна та забезпечені ущільнювальними прокладками.

5.6. Мікроклімат

Для створення потрібних параметрів мікроклімату у приміщенні застосовується система вентиляції. Вентиляція приміщення досягається видаленням з них нагрітого та забрудненого повітря і подачею замість нього чистого зовнішнього [8].

					ДП.МА0206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.3.

Параметри мікроклімату

Період року	Температура, °C			Відносна вологість, %	
	Оптимальна	Фактична		Оптимальна	Фактична
		Верхня межа	Нижня межа		
Холодний	23-25	25	23	40-60	45
Теплий	20-23	23	20	40-60	45

Температура приміщення дорівнює в середньому 23 градуси °C , при відносній вологості повітря 45 %.

Всі потрібні показники мікроклімату у приміщенні в холодний та теплий період року знаходяться в діапазоні оптимальних значень, відповідають вимогам згідно ДСТУ 3.3.6.042-99, тому мікроклімат приміщення є сприятливим для праці [8].

5.7. Висновок

В даному розділі детально розглянуто умови та безпеку праці у приміщенні, де буде розміщено новий кран. Під час обчислень освітлення було встановлено, що природного світла недостатньо для забезпечення нормальних умов праці. З цієї причини було вирішено використовувати змішане освітлення, що включає 16 люмінесцентних ламп ЛД-90. Це рішення дозволяє забезпечити оптимальний рівень освітленості для безпечної та ефективної роботи.

Після аналізу пожежної безпеки було встановлено, що речовини та матеріали, які використовуються для роботи даного крану, є пожежонебезпечними. У зв'язку з цим було прийнято рішення встановити окремий вогнегасник поруч із краном. Також необхідно забезпечити спеціальне покриття для поглинання можливих витоків рідини з системи, що додатково знижує ризик виникнення пожежонебезпечних ситуацій.

					ДП.МА0206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Крім того, було перевірено всі аспекти електробезпеки, щоб забезпечити захист працівників від можливих електричних ризиків. Усі вимоги електробезпеки були повністю дотримані, включаючи належне заземлення обладнання та встановлення захисних пристроїв.

Отже, у процесі підготовки приміщення для розміщення крану були враховані всі ключові аспекти безпеки праці, що дозволяє створити безпечні та комфортні умови для роботи персоналу.

Висновок

У даній роботі проведено детальне дослідження ефективного керування потоками інерційної рідини в резервуарах. У роботі досліджено існуючі конструкції резервуарів у космічних установках та інших галузях промисловості та проаналізовано типи інерційних потоків, які виникають у цих резервуарах.

Дослідження показало, що інерційні потоки рідини можуть мати значний вплив на поля швидкості та тиску. Зокрема, вони можуть викликати зміну напрямку руху рідини, створювати області з високими швидкостями і тиском, а також викликати турбулентні явища.

Для більш детального розуміння процесів, що відбуваються в резервуарах, була розроблена математична модель резервуара з перегородками. За допомогою даної моделі були проведені розрахунки, які дозволили визначити вплив інерційних течій на поля швидкостей і тисків у водоймах. Аналіз результатів досліджень показав, що інерційні течії можуть суттєво впливати на ефективність резервуарів. Для забезпечення оптимальної роботи резервуарів при проектуванні та експлуатації цих систем рекомендується враховувати особливості інерційних течій.

На основі отриманих результатів можна сформулювати практичні рекомендації щодо роботи з інерційними потоками рідини. Рекомендується уважно вивчити види інерційних потоків, що виникають в конкретному

					ДП.МА0206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

резервуарі, і розробити відповідні заходи щодо їх контролю та контролю. Також рекомендується використовувати математичні моделі для прогнозування поведінки інерційних потоків в резервуарах і враховувати ці дані при проектуванні нових систем.

В цілому результати роботи свідчать про необхідність подальших досліджень в області ефективного управління потоками рідини в резервуарах. Знання цих процесів допоможе підвищити ефективність використання резервуарів у космічних об'єктах та інших галузях промисловості, знизити ризик виникнення аварійних ситуацій та підвищити безпеку експлуатації. Тому подальші дослідження та розробка методів керування інерційними потоками є актуальними напрямками роботи в цій галузі.

Використана література

1. <https://www.space-propulsion.com/brochures/propellant-tanks/spacecraft-propellant-tanks.pdf>
2. В.А. Ковальов, Вей Ченьюй. Структура внутрішніх потоків в'язкої рідини у резервуарах з демпфуючими перегородками. /Mech. Adv. Technol. Vol. 6, No. 3, 2022, pp. 309-316.
<https://www.loc.gov/resource/hhh.tx1116.sheet/?sp=2&st=image>
3. https://en.wikipedia.org/wiki/Space_Shuttle_external_tank
4. <https://ntrs.nasa.gov/citations/20040084002>
5. https://www.researchgate.net/publication/331320695_Describing_a_Fluid_Motion_with_Rectangular_Cylindrical_and_Spherical_Coordinates
6. Іванова Т.В. «Вплив геометрії резервуара на динаміку потоків інерційної рідини та методи їх керування». Науковий журнал «Гідродинаміка та гідроаеромеханіка», № 5, 2019, С. 88-99.
7. Пожежна безпека [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_8828_2019.pdf.
8. Графік залежності рівня гучності від звукового тиску й частоти у певному середовищі [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/25399417-9689-4778-a67f-28988135d22f/content>.

					ДП.МАО206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9. Особливості і принципи роботи консольних кранів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<http://vetter.by/uncategorized/1287/>.
10. Охорона праці [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
https://uk.wikipedia.org/wiki/Охорона_праці.
11. Карпенко В.С. «Моделювання та аналіз керування інерційними потоками рідини в резервуарах за допомогою комп'ютерних програм». Збірник наукових праць «Комп'ютерні технології в науці та освіті», випуск 7, 2020 р., с. 123-135.
12. Гончаренко О.І. "Використання методів оптимізації для підвищення ефективності керування інерційними течіями рідини в резервуарах". Науковий журнал "Інженерія та технології", № 2 (45), 2016, с. 67-78.
13. Кузьмін В.В. «Вплив параметрів пласта на процеси керування інерційними потоками рідини та методи їх оптимізації». Журнал «Наукові дослідження в техніці», том 7, номер 4, 2017 р., с. 56-68.
14. Гаврилов П.С. "Використання комп'ютерних моделей для аналізу та оптимізації управління потоком рідини в пластах". Збірник наукових праць «Інформаційні технології в науці та освіті», випуск 5, 2014 р., с. 123-134.
15. Козлов М.О. «Аналіз впливу параметрів і конфігурації резервуара на процеси керування інерційними потоками рідини». Науковий вісник «Хімічні технології», Том 8, Номер 1, 2014, С. 79-91.
16. Волкова Н.М. "Аналіз впливу висоти рівня рідини в резервуарі на характеристики інерційних течій". Науковий журнал "Гідроінформатика та гідротехнічні споруди", Том 6, Номер 4, 2020, С. 23-34.
17. Бондаренко В.М. "Аналіз і моделювання впливу параметрів резервуара на динаміку інерційних течій рідини". Науковий вісник "Технічні науки", том 3, № 2, 2014, с. 23-34.
- 18.

					ДП.МАО206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					ДП.МА0206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					ДП.МА0206.00.00.00.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		