

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій
Кафедра хімічних технологій та хімічного машинобудування

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Євген ЗБИКОВСЬКИЙ

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 2023 року

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Магістр

на тему: «Вдосконалення конструкції змішувачів для сипких зволожених матеріалів»

Виконав: магістр 2-го курсу, групи ТПМм-22
спеціальності 133 Галузеве машинобудування, спеціалізації «Техніка переробки сировинних матеріалів»

ЮСУБОВА Л.Я.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник доц., к.т.н. КУТНЯШЕНКО І.В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

*Засвідчую, що у цій
кваліфікаційній роботі немає за-
позичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.*

Студент _____
(підпис)

Луцьк – 2023 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Факультет Машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій

Кафедра «Хімічних технологій та хімічного машинобудування»

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування, спеціалізації «Техніка переробки сировинних матеріалів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри:

Євген ЗБИКОВСЬКИЙ

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” _____ 2023 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Юсубовій Лейлі Яківні

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: «Вдосконалення конструкції змішувачів для сипких зволожених матеріалів»

керівник роботи Кутняшенко І.В., доц., к.т.н.

затверджені наказом по університету від „22” вересня 2023р. № 477

1. Строк подання студентом роботи 15.12.2023

2. Вихідні дані до роботи змішувач періодичної дії, матеріал – сипкі зволожені матеріали зі вмістом вторинної сировини

3. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вимоги до сировини та обладнання для змішування сипучих зволожених матеріалів. Принцип роботи та види бетонозмішувачів. Опис гравітаційного бетонозмішувача періодичної дії. Визначення основних параметрів бетонозмішувача. Моделювання процесу змішування в бетонозмішувачі. Розробка заходів з забезпечення підвищення ефективності роботи бетонозмішувача.

4. Перелік графічного матеріалу (з точною вказівкою обов'язкових креслень):
Презентація роботи

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Кутняшенко І.В. доц. каф. ХТХМ	23.09.2023	23.09.2023
2	Кутняшенко І.В. доц. каф. ХТХМ	23.09.2023	23.09.2023
3	Кутняшенко І.В. доц. каф. ХТХМ	23.09.2023	23.09.2023
4	Кутняшенко І.В. доц. каф. ХТХМ	23.09.2023	23.09.2023
5	Кутняшенко І.В. доц. каф. ХТХМ	23.09.2023	23.09.2023

6. Дата видачі завдання 23.09.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Написання теоретичної частини (Розділ 1)	28.10.2023	
2	Перелік видів та принципу роботи бетонозмішувачів (Розділ 2)	11.11.2023	
3	Розрахунок основних параметрів (Розділ 3)	25.11.2023	
4	Моделювання процесу змішування бетонозмішувача (Розділ 4)	05.11.2023	
5	Розробка заходів по підвищенню ефективності (розділ 5)	10.12.2023	
6	Підготовка презентації	15.12.2023	
7	Оформлення пояснювальної записки	15.12.2023	

Студент _____ Юсубова Л.Я.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Кутняшенко І.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Юсубова Л.Я. Вдосконалення конструкції змішувачів для сипких зволожених матеріалів / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування (спеціалізація «Техніка переробки сировинних матеріалів»). – ДВНЗ ДонНТУ, Луцьк, 2023.

Тема магістерської роботи “Вдосконалення конструкції змішувачів для сипких зволожених матеріалів” може бути актуальною в сучасних умовах з кількох причин, а саме – розширення застосування змішувачів в різних галузях, підвищення якості змішування, використання вторинної сировини.

Мета дослідження визначається в поліпшенні якості бетонних і залізобетонних виробів, що випускаються, шляхом вдосконалення конструкції бетонозмішувача за рахунок заміни двигуна і конструкції лопаток.

Об’єктом дослідження є процес змішування компонентів бетонних сумішей в умовах виробництва залізобетонних конструкцій.

Методи дослідження - аналіз математичного описання роботи змішувачів та моделювання процесу змішування. Аналіз результатів моделювання.

Обґрунтовано обрана найефективніша конструкція змішувача. Проведено моделювання процесу, виявлено найкращі режими роботи, розроблено більш ефективні елементи конструкції. Оптимізовано систему приводу змішувача.

ЗМІШУВАЧ, СИПКИЙ МАТЕРІАЛ, ЗВОЛОЖЕННЯ, КОНСТРУКЦІЯ, ПРОДУКТИВНІСТЬ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ЯКІСТЬ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

ANOTATION

Yusubova L.Y. Improvement of the design of mixers for bulk moistened materials / Final qualification work for the degree of Master's Degree in specialty 133 Industrial Engineering (specialization "Technique of processing of raw materials.") - SHEI DonNTU, Luts'k, 2023.

The topic of the master's thesis "Improving the design of mixers for bulk moistened materials" may be relevant in modern conditions for several reasons, namely, expanding the use of mixers in various industries, improving the quality of mixing, and the use of recycled materials.

The purpose of the study is to improve the quality of concrete and reinforced concrete products by improving the design of the concrete mixer by replacing the engine and blade design.

The object of study is the process of mixing concrete mix components in the production of reinforced concrete structures.

Research methods - analysis of the mathematical description of the mixers and modeling of the mixing process. Analysis of modeling results.

The most efficient design of the mixer was substantiated. The process was modeled, the best operating modes were identified, and more efficient structural elements were developed. The mixer drive system is optimized.

MIXER, BULK MATERIAL, MOISTENING, DESIGN, PRODUCTIVITY, ENERGY EFFICIENCY, QUALITY, MATHEMATICAL MODEL, ECONOMIC EFFICIENCY”

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	10
1. ВИМОГИ ДО СИРОВИНИ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗМІШУВАННЯ СИПУЧИХ ЗВОЛОЖЕНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	12
1.1 Принцип роботи і конструктивні особливості змішувачів для сипких зволожених матеріалів.....	13
1.2 Основні проблеми та недоліки існуючих змішувачів.....	15
1.3 Властивості сировинних матеріалів для будівельних сумішей.....	15
1.4 Опис технологічного процесу виробництва бетонної суміші.....	18
2 ПРИНЦИП РОБОТИ ТА ВИДИ БЕТОНОЗМІШУВАЧІВ.....	22
2.1 Бетонозмішувачі гравітаційної циклічної дії (БГЦ).....	24
2.2 Стаціонарні бетонозмішувачі.....	25
2.3 Бетонозмішувачі примусові циклічної дії (БПЦ).....	28
2.4 Бетонозмішувачі безперервної дії.....	29
3. ОПИС ГРАВІТАЦІЙНОГО БЕТОНОЗМІШУВАЧА ПЕРІОДИЧОЇ ДІЇ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ БЕТОНОЗМІШУВАЧА.....	33
3.1 Гравітаційний бетонозмішувач періодичної дії.....	33
3.2 Основні параметри гравітаційного бетонозмішувача.....	34
3.2.1 Коефіцієнт виходу бетонної суміші.....	35
3.2.2 Внутрішній діаметр циліндричної частини барабана.....	35
3.2.3 Частота обертання барабана змішувача.....	36
3.2.4 Продуктивність змішувача.....	38
3.2.5 Потужність приводу бетонозмішувача.....	41
4. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗМІШУВАННЯ В БЕТОНОЗМІШУВАЧІ.....	48
4.1 Забезпечення ефективності моделі інформаційно-логічної та датологічної моделі бетонозмішувача.....	49

4.1.1 Інформаційно-логічна схема.....	49
4.1.2 Датологічна схема роботи бетонозмішувача.....	51
4.2 Процес моделювання та аналізу 3D фігури з використанням програми Ansys Student.....	53
5. РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ БЕТОНОЗМІШУВАЧА.....	70
5.1 Переваги та перспективи удосконалення конструкції змішувачів.....	71
5.2 Поліпшення надійності технологічного обладнання.....	71
5.2.1 Побудова дерева відмов.....	72
5.2.2 Дерево відмов у бульових тотожностях.....	75
5.2.3 Технологічна схема.....	76
5.3 Підвищення за рахунок зміни конструкції лопаток та матеріалу.....	80
5.3.1 Моделювання процесу змішування з заміною конструкції лопаток..	80
5.3.2 Заміна матеріалу лопаток бетонозмішувача.....	88
5.4 Вдосконалення системи приводу.....	88
6. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ.....	94
ВИСНОВОК.....	98
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	100
ДОДАТОК А ПЕРЕЛІК ЗАУВАЖЕНЬ НОРМОКОНТРОЛЕРА.....	102
ДОДАТОК Б ЗВІТ В ANSYS STUDENT.....	103

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

ПАР	- поверхнево активна речовина;
БГЦ	- бетонозмішувач гравітаційний циклічної дії;
БПЦ	- бетонозмішувач примусовий циклічної дії;
ККД	- коефіцієнт корисної дії;
ПЦ	портландцемент;
БЗМ	- бетонозмішувальна машина;
СУБ	- самоущільнюваний бетон;
z_c	число замісів, год;
Кв	- коефіцієнт виходу бетонної суміші;
V_{Γ}	- обсяг готового замісу, m^3 ;
V_3	- обсяг завантаження, m^3 ;
D	- внутрішній діаметр змішувального барабана, м;
n	- частоту обертання барабана, об/хв;
N_d	- потужність приводного електродвигуна, кВт;
N_c	- продуктивність змішувача, $m^3/\text{год}$;
C_b	- вага барабана кН;
m	- маса частинки, кг;
ω	- кутова швидкість обертання барабана, об/хв;
μ	- кут тертя, отримаємо;
ρ	- щільність бетонної суміші, kg/m^3 ;
g	- прискорення сили тяжіння, m/s^2 ;
β	- кут встановлення опорних роликів;
k	- коефіцієнт тертя-качання бандажа барабана;
f	- коефіцієнт тертя в опорі ролика;
R_b	- радіус бандажу;
D_p	- діаметр опорного ролика;
d_{Π}	- діаметр цапфи ролика;
h	- висота підйому бетонної суміші, м;

- AWB - ANSYS Workbench, головний інтерфейс ANSYS, який дозволяє керувати проектами, геометрією, сіткою, розрахунками та візуалізацією;
- DM - Design Modeler, модуль ANSYS для створення та редагування геометрії моделей;
- AM - ANSYS Mesh, модуль ANSYS для генерації та оптимізації сітки для аналізу;
- CFD - computational fluid dynamics, обчислювальна гідрогазодинаміка.

ВСТУП

У сучасному світі все більше використовується різноманітних композитних матеріалів, які складаються з декількох речовин і дозволяють одночасно використовувати корисні якості всіх цих речовин. В будівництві найпоширеніший композитний матеріал це - бетон. За призначенням, і відповідно за складом існує велика кількість видів та марок бетонів. Але всі вони проходять однакову послідовність перетворень при виробництві: сипкий матеріал – суха суміш – волога суміш – затверділі монолітні вироби.

І саме від якості змішування відповідних сировинних матеріалів залежить якість кінцевого виробу.

Для України після закінчення війни основною задачею стане відбудова зруйнованих житлових і промислових будівель. Найбільш доцільним видом організації відбудови зруйнованих будівель є виробництво нових будівельних матеріалів в безпосередньої близькості до будівельного майданчику і максимальним використанням матеріалів від зруйнованої споруди в якості сировини. Для таких завдань доцільно вже зараз розробити нове обладнання чи адаптувати (вдосконалити) існуючі зразки обладнання.

Одним з таких прикладів є покращення бетонозмішувачів, які відіграють важливу роль у будівництві та ремонті будівель, доріг та мостів.

Бетонозмішувач - це машина, яка змішує цемент, пісок, воду та інші добавки для отримання бетону - одного з найпоширеніших та найміцніших будівельних матеріалів. Бетонозмішувачі з'явилися наприкінці XIX століття, але набули широкого поширення під час Першої та Другої світових воєн, коли потреба у швидкому та якісному будівництві зростає. Протягом XX століття бетонозмішувачі вдосконалювалися та модернізувалися, збільшуючи свою продуктивність, ефективність та безпеку.[1]

Сьогодні бетонозмішувачі є невід'ємною частиною будівельної галузі, яка у свою чергу є одним із ключових факторів економічного зростання та соціального благополуччя.

Особливо актуальна роль бетонозмішувачів в умовах військового конфлікту, коли необхідно швидко та надійно відновлювати зруйновану інфраструктуру та житло. Така ситуація спостерігається зараз в Україні, де триває війна на Донеччині. У цьому контексті покращення бетонозмішувачів може сприяти мирному врегулюванню конфлікту та підвищенню якості життя населення.

Актуальність даної роботи. Бетон – це унікальний матеріал. Хоча і процес приготування бетону досить простий, проте необхідно врахувати низку особливостей та моментів, які визначають його якість та придатність.

Залежно від цього, для яких цілей він готується, змінюється і рецептура і її використання. Першорядне значення мають якість вихідних компонентів та ефективність роботи змішувального обладнання.

Необхідність використання бетонозмішувальних машин при виробництві транспортування сумішей та продукції з бетону полягає в якісному перемішуванні всіх складових компонентів суміші.

Задача магістерської роботи було підвищити ефективність обладнання шляхами нижче представленими для вдосконалення не тільки самого обладнання, а підвищення рівня роботи виробництва. Актуальність роботи полягає в тому, що удосконалення обладнання є одним з ланцюжків, що веде до можливості використовувати обладнання за потрібними та зручними способами, не залежно від заданих можливостей обладнання, а керувати ним самими для покращення роботи та підвищення ефективності виробництва.

Основна мета дослідження полягає в тому, що вдосконалена конструкція змішувача для сипучих зволжених матеріалів дозволить отримувати однорідніші та якісніші суміші при менших витратах енергії та часу порівняно з іншими конструкціями.

1. ВИМОГИ ДО СИРОВИНИ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗМІШУВАННЯ СИПУЧИХ ЗВОЛОЖЕНИХ МАТЕРІАЛІВ

Вимоги до сировини та обладнання для змішування сипучих зволожених матеріалів – це тема, яка цікавить багатьох фахівців у галузі будівництва, хімії, харчової промисловості та інших галузях, де використовуються різні види сипучих матеріалів. Змішування сипких зволожених матеріалів - це процес, який полягає в отриманні однорідної суміші з двох або більше компонентів, що мають різний ступінь вологості. Для цього необхідно враховувати такі вимоги:

- Забезпечення рівномірного розподілу вологи по всьому об'єму суміші, щоб уникнути утворення грудок, злипання або поділу компонентів.

- Підбір оптимальних параметрів змішування, таких як швидкість, час, температура, тиск, сила, які залежать від фізико-хімічних властивостей компонентів, їх кількісного та якісного складу, необхідного ступеня однорідності та кінцевого призначення суміші.

- Вибір відповідного обладнання для змішування сипких зволожених матеріалів, яке повинно мати високу продуктивність, надійність, ефективність, економічність, безпеку та екологічність.

Існує безліч видів обладнання для змішування сипких зволожених матеріалів, які можна класифікувати за різними ознаками, такими як форма, механізм, призначення, спосіб подачі та вивантаження матеріалів і т.д.

Наприклад, формою змішувачів можна виділити барабанні, конічні, циліндричні, гвинтові, лопатеві і т.д. За механізмом змішування можна поділити на механічні, пневматичні, гідравлічні, ультразвукові, електромагнітні тощо. За призначенням можна відрізнити змішувачі для сухих, вологих, пастоподібних, рідких, газоподібних і т.д. матеріалів. За способом подачі та розвантаження матеріалів можна розрізняти змішувачі з безперервним, періодичним, комбінованим режимом роботи.[18]

Для вибору найбільш відповідного обладнання для змішування сипких зволожених матеріалів необхідно провести ретельний аналіз вимог до процесу змішування, властивостей компонентів та готової суміші, умов експлуатації та економічних факторів. Також корисно ознайомитися з оглядами наукових досліджень та практичного досвіду на цю тему, які можна знайти в інтернеті.

1.1 Принцип роботи і конструктивні особливості змішувачів для сипких зволожених матеріалів

Змішувачі для вологих сипучих матеріалів - це пристрої, які застосовуються для створення гомогенних сумішей з різних інгредієнтів, які відрізняються за вологістю, щільністю, формою та розміром зерен. Змішування вологих сипучих матеріалів має велике значення для різних сфер промисловості, таких як харчова, хімічна, фармацевтична, будівельна та інші. Змішування вологих сипучих матеріалів є складним фізичним процесом, який залежить від багатьох чинників, таких як характеристики матеріалів, вид і параметри змішувача, режим роботи і т.д. Існує багато типів змішувачів для вологих сипучих матеріалів, які можна розподілити за різними ознаками.[2]

Одним з головних критеріїв є принцип роботи змішувача, за яким вони поділяються на пакетні та неперервні. Пакетні змішувачі працюють за етапами: завантаження, змішування, вивантаження. Неперервні змішувачі працюють без перерви: матеріали постійно або частинами надходять у змішувач і виходять із нього у вигляді готової суміші. За видом робочого елемента змішувачі для вологих сипучих матеріалів можна поділити на наступні групи:

- Змішувальні бочки - мають корпус, який обертається, в якому матеріали змішуються під дією центробіжної сили і зіткнень зерен.

- Шнеково-лопатеві змішувачі - мають один або кілька валів з прикріпленими до них лопатями або шнеками, які переміщують і змішують матеріали вздовж корпусу змішувача.
- Поршневі змішувачі - мають поршень, який періодично входить і виходить із корпусу змішувача, створюючи турбулентний рух матеріалів.
- Стрічкові змішувачі - мають стрічку або стрічкову мішалку, яка змішує та перемішує матеріали у горизонтальному чи вертикальному напрямку.
- Змішувальні бігуни - мають бігун або ротор, який обертається всередині корпусу змішувача та перемішує матеріали за рахунок ударів та тертя.
- Змішувачі відцентрової дії - мають ротор або конус, що швидко обертається, який створює відцентрове поле і перемішує матеріали за рахунок різниці швидкостей частинок.
- Змішувачі з псевдозрідженням – мають систему подачі газу або рідини в корпус змішувача, яка створює псевдозріджений стан матеріалів та забезпечує інтенсивне перемішування за рахунок конвекції та дифузії.
- Пневмозмішувачі та усереднювачі - мають систему подачі газу або рідини в трубопровід, яким транспортуються матеріали, і перемішують їх за рахунок турбулентності потоку і зіткнень частинок.
- Гравітаційні змішувачі - мають систему подачі матеріалів у вертикальний або похилий трубопровід, яким вони рухаються під дією сили тяжіння і перемішуються за рахунок зіткнень частинок і зміни швидкості потоку.
- Прямоточні змішувачі - мають систему подачі матеріалів у горизонтальний трубопровід, яким вони рухаються під дією тиску і перемішуються за рахунок зіткнень частинок і зміни швидкості потоку.
- Каскадні змішувачі - мають систему подачі матеріалів до ряду вертикальних або похилих трубопроводів, якими вони рухаються під дією сили тяжіння і перемішуються за рахунок зіткнень частинок та зміни швидкості потоку.

- Віб्रो змішувачі – мають систему подачі матеріалів у корпус змішувача, який піддається вібрації та перемішує матеріали за рахунок ударів та тертя. [4]

1.2 Основні проблеми та недоліки існуючих змішувачів.

Змішувачі для сипких зволожених матеріалів мають низку проблем та недоліків, які пов'язані з особливостями таких матеріалів. Серед них можна виділити такі:

- Низька ефективність змішування - через високу в'язкість і адгезію зволожених матеріалів, а також через відмінності в щільності, формі і розмірі частинок, досягти однорідності суміші може бути важко.

- Висока енергоємність - через високу в'язкість та адгезію зволожених матеріалів, а також через великий об'єм і масу сумішей, потрібна велика потужність приводу для забезпечення достатньої інтенсивності змішування.

- Висока зносостійкість - через високу в'язкість та адгезію зволожених матеріалів, а також через велику кількість зіткнень і тертя частинок, відбувається інтенсивне знос робочих органів і корпусу змішувача.

- Висока забрудненість - через високу в'язкість та адгезію зволожених матеріалів, а також через наявність рідких компонентів, відбувається забруднення робочих органів і корпусу змішувача, що ускладнює очищення та обслуговування обладнання.

- Висока складність конструкції - через високу в'язкість та адгезію зволожених матеріалів, а також через необхідність забезпечити рівномірний розподіл рідких компонентів, потрібна складна конструкція змішувача.[17]

1.3 Властивості сировинних матеріалів для будівельних сумішей

Залежно від виду, призначення та особливостей експлуатації бетонів, а також бетонних виробів застосовуються різні в'язучі речовини.

Основними складовими бетону є цемент, заповнювач, вода, добавки.

Застосовуються такі види цементу:

- портландцемент ПЦ;
- портландцемент швидкодіючий БПЦ;
- портландцемент з мінеральними та пластифікуючими добавками;
- шлакопортландцемент із добавками доменного гранульованого шлаку;
- шлакопортландцемент швидкодіючий.[6]

Заповнювачі займають у бетоні до 80% обсягу і впливають на властивості бетону, його довговічність та вартість. Введення в бетон заповнювачів дозволяє різко скоротити витрату цементу, що є найдорожчим компонентом. Крім того, заповнювачі покращують технічні властивості бетону. Жорсткий скелет із високоміцного заповнювача дещо збільшує міцність та модуль деформації бетону, зменшує деформації конструкцій під навантаженням, а також повзучість бетону – незворотні деформації, що виникають при тривалій дії навантаження. [7]

Пористі природні та штучні наповнювачі, володіючи малою щільністю, зменшують щільність легкого бетону, покращують його теплотехнічні властивості.

У спеціальних бетонах (захисту від радіації) роль заповнювача дуже висока, оскільки його властивості багато в чому визначають спеціальні властивості цих бетонів. У бетоні застосовують великий та дрібний заповнювач. Великий заповнювач (більше 5 мм) поділяють на гравій та щебінь. Дрібним заповнювачем у бетоні є природний чи штучний пісок.

Заповнювачі для бетонів бувають різних видів, природні чи штучні: пісок, щебінь, гравій. Їх якості регламентуються відповідними ГОСТ, технічними умовами, іншими нормативними документами.[16]

Щебінь гранітний повинен відповідати вимогам ГОСТ8267-93 "Щебінь та гравій із щільних гірських порід для будівельних робіт. Технічні умови", "Щебінь та гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Технічні умови".[16]

Як дрібний заповнювач застосовується кварцовий пісок, що задовольняє вимоги ГОСТ 8736-93 "Пісок для будівельних робіт. Технічні умови".

Розрізняють рядовий заповнювач, що містить зерна різних розмірів, і фракціонований, коли зерна заповнювача розділені на окремі фракції, що включають зерна близьких між собою розмірів, наприклад, 5-10 мм або 20-40 мм. Заповнювач характеризується найменшою та найбільшою крупністю, під якими розуміють розміри найменших чи найбільших зерен заповнювача.

Рідким компонентом приготування бетонної суміші є звичайна питна вода. Якість води відповідає вимогам ГОСТ 23732-80 "Вода для бетонів і розчинів. Технічні умови".

Слід врахувати, що вода потрібна не тільки при замішуванні суміші, але і щоб поливати бетон водою. І вимоги до якості рідини однакові.

Основні вимоги до якості води такі:

- Вміст ПАР – менше 10 мг/літр.
- Норма фенолів та цукрів регламентується.
- Розчинені домішки у воді не повинні впливати на процес схоплювання бетону.
- Вода для поливання не повинна містити пігменти.
- Органічні компоненти у складі не повинні бути присутніми.
- Домішки солей у воді небезпечні для бетону. [16]

Якщо використовувати воду з великою кількістю хлористих солей, то якість монолітних об'єктів та їхня морозостійкість з часом знижується. І гідравлічний тиск води в бетоні разом з іншими руйнівними процесами може призвести до того, що оголиться наповнювач. Пропорції води для бетону давно визначені теоретично та підтверджені на практиці. Конкретне співвідношення вибирають залежно від того, яку марку бетону планують одержати.

Вода у розчині забезпечує його густоту. Якщо бетон буде рідким, компоненти в ньому розподіляться нерівномірно і залишиться багато повітряних бульбашок.

Для поліпшення фізико-механічних властивостей бетонів та розчинів, а також з техніко-економічних міркувань широко застосовують різні добавки до в'язких.

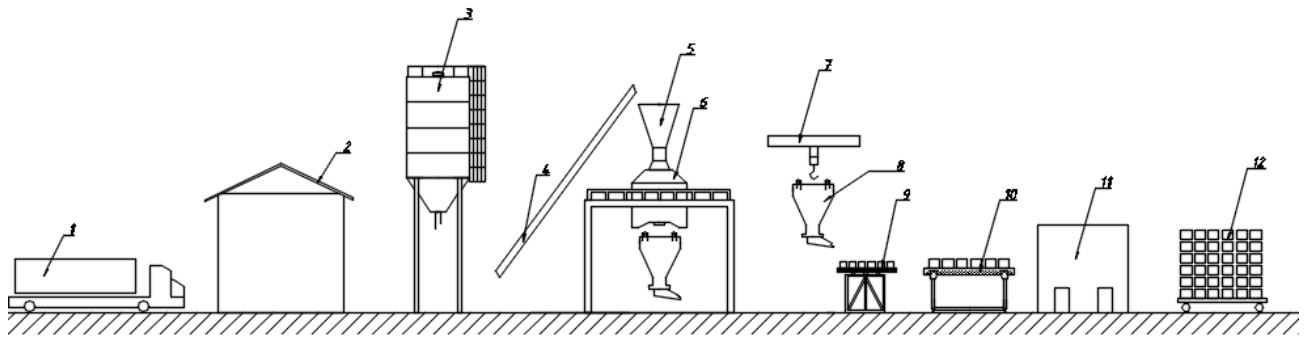
Вводять їх у бетонозмішувач у вигляді сухих порошків або водних суспензій і розчинів. Залежно від призначення добавки ділять на активні, мінеральні, добавки-наповнювачі, поверхнево-активні, піно- та газоутворювачі, прискорювачі твердіння та сповільнювачі схоплювання, протиморозні.

Одним із найважливіших напрямів, удосконалення технології бетону та залізобетону є застосування хімічних добавок, що забезпечують скорочення витрати цементу, енерго та трудомісткості технологічних процесів. [3]

1.4 Опис технологічного процесу виробництва бетонної суміші

Технологічна лінія виробництва на прикладі стінових блоків з легкого бетону включає наступні операції:

- 1) Приготування бетонної суміші;
- 2) Укладання та укладання бетонної суміші у форми;
- 3) Тепловолога обробка виробів;
- 4) Приймання продукції;
- 5) Транспортування виробів та зберігання на складі готової продукції.[10]



1-доставка матеріалів; 2 – склади заповнювачів; 3 – силос для зберігання цементу; 4 - стрічковий конвеєр; 5 – дозатори; 6 -бетонозмішувач; 7 – кран-балка; 8-баддя; 9 – вібростол; 10 – рольганг з ущільненою бетонною сумішшю у формах; 11 - камера ТВО; 12 – готова продукція.

Рисунок 1.9 – Технологічна схема виробництва стінових блоків.

Виробництво стінових блоків виконуватиметься таким чином. Над бетонозмішувачем (6) встановлені дозатори. Для кожного компонента бетонної суміші йде свій тип автоматичного дозатора. Так для дозування цементу застосовуються автоматичні вагові дозатори цементу (скорочено АВДЦ). Аналогічно, вибираються дозатори для заповнювачів (АВДІ).

Будинок зі міської системи відношення на кімнаті поступає в дозатор води (АВДЖ). При наборі необхідного об'єму, поступає сигнал про завершення дозування. Далі, за допомогою пневмоциліндру відкривається затвор і компоненти потрапляють у вже працює бетонозмішувач.

Для виробництва бетонної суміші обраний бетонозмішувач гравітаційного дії. Завантаження приходить у наступному порядку: цемент, дрібний заповнювач, великий заповнювач, вода. Під час перемішування компонентів становить 15-45 секунд. Після одержання необхідної однорідності, бетонозмішувач відкривається, і суміш вивантажується в баддю. [12]

За допомогою крана-балки (7), баддя (8) підводиться до вібростола (9).

Вивантажування бетонної суміші з бадді здійснюється вручну, підняттям затвору. Завдяки цьому, бетонна суміш може бути вивантажена як повністю, так і дозовано.

Після, форми з бетонною сумішшю ущільнюються на вібростолі з вертикальною вібрацією. Завдяки вібраторам, жорстко встановленому на станині, коливання передаються на майданчики (поверхня столу). Станина і столиця з'єднана гумовими елементами для гасіння вхідних залишкових коливань.

Далі, форми з вже сповненою бетонною сумішшю, переміщуються на польганг (10), для набору попередньої міцності. Після чого відпрацьовуються в камери тепловологою обробкою (11). Режим термообробки залежить від виду бетону. Оскільки високі температури можуть викликати різке випаровування води затвору, вироби будуть не придатні для випуску.

Після, партії готової продукції (12) поступають на пост контролю якості. На цьому посту підходять випробування отриманих виробів на відповідність вимогам ГОСТ або іншим стандартам.

Отже, ми бачимо, що технологічний процес виробництва бетону включає кілька важливих етапів, які вимагають дотримання певних правил і умов. Кожен етап впливає на якість та властивості бетону та його виробів.

У цьому розділі розглянуто вимоги до сировини та обладнання для змішування сипучих зволожених матеріалів, які використовуються в різних галузях промисловості. Дізналися, що сипучі зволожені матеріали можуть бути різні за складом, властивостями, вологістю, крупністю та іншими параметрами, які впливають на процес змішування.

Також розглянуто основні типи обладнання для змішування сипучих зволожених матеріалів, такі як барабанні, стрічково-шнекові, пневматичні, гідравлічні та інші змішувачі, а також дозатори, транспортери, накопичувальні ємності та системи автоматизації.

На основі проведеного аналізу можна зробити наступні висновки:

- Змішування сипучих зволожених матеріалів є важливою операцією, яка забезпечує однорідність, якість та ефективність використання сировини для різних технологічних процесів.
- Вибір обладнання для змішування сипучих зволожених матеріалів залежить від характеристик сировини, обсягу та продуктивності змішування, а також від специфіки виробництва. Для кожного виду сировини та змішування необхідно підбирати оптимальний тип змішувача, дозатора, транспортера та системи керування.
- Застосування автоматичної лінії для зважування, дозування та змішування сипучих зволожених матеріалів дозволяє підвищити точність, швидкість та якість змішування, зменшити трудовитрати та витрати сировини, а також забезпечити безпеку та екологічність виробництва.

2 ПРИНЦИП РОБОТИ ТА ВИДИ БЕТОНОЗМІШУВАЧІВ

Бетонозмішувач є одним з найбільш важливих та поширених видів будівельної техніки, що використовується для виробництва та транспортування бетону. Бетон - це штучний камінь, що складається з суміші цементу, води, заповнювача і добавок, який має високу міцність, довговічність і стійкість до впливу різних факторів. Бетон широко застосовується в різних галузях будівництва, таких як житлове, промислове, дорожнє, мостове та гідротехнічне. Бетонозмішувач дозволяє змішувати компоненти бетону в потрібних пропорціях і доставляти готовий бетон на об'єкт у рідкому або напіврідкому стані.[14]

Бетонозмішувачі відрізняються різноманіттям типів та конструктивних рішень. Їх класифікують за трьома основними ознаками: режимом роботи, принципом змішування та виконання.[13]

За режимом роботи бетонозмішувачі бувають циклічної та безперервної дії. Бетонозмішувач циклічної дії матеріал, що перемішується завантажують порціями (замісами), причому кожен новий заміс може бути завантажений в барабан (чашу) лише після вивантаження з нього попереднього готового замісу.

Бетонозмішувачі - це обладнання, яке використовується для приготування бетонної суміші із цементу, піску, щебеню та води. Бетонна суміш застосовується для будівництва різних споруд, таких як фундаменти, стіни, підлога, дороги і т.д. Бетонозмішувачі бувають різних типів і моделей, які відрізняються за принципом роботи, параметрами та характеристиками.

Принцип роботи бетонозмішувачів полягає в тому, що компоненти суміші подаються в спеціальну ємність - барабан, в якому вони перемішуються під дією обертання або лопаті. Залежно від способу перемішування, бетонозмішувачі поділяються на два основні типи: гравітаційні та примусові.

Бетонозмішувачі безперервної дії характеризуються тим, що процеси завантаження матеріалів та вивантаження готової бетонної суміші відбуваються неперервно, без зупинок. Залежно від способу змішування бетонозмішувачі можна розділити на два типи: гравітаційні (з використанням сили тяжіння для переміщення матеріалів) та примусові (з використанням лопат або шнеків для активного змішування компонентів).

В гравітаційних бетонозмішувачах, які можуть бути циклічної або безперервної дії, на внутрішніх стінках змішувального барабана розміщені лопаті, які під час обертання барабана підкидають матеріал до верхньої частини. Потім матеріал під дією сили тяжіння опускається і при цьому змішується з іншими компонентами.

Гравітаційні бетонозмішувачі базуються на принципі вільного падіння компонентів суміші всередині барабана, який може мати конусну або циліндричну форму і нахилитися для зручності завантаження та розвантаження суміші.

Усередині барабана також знаходяться лопаті, які допомагають переміщати суміш по його поверхні. Гравітаційні бетонозмішувачі придатні для змішування сухих і недостатньо вологих сипучих матеріалів, наприклад, борошна, крохмалю, цементу і т.д. Вони мають переваги у вигляді низької вартості, простоти конструкції та обслуговування, але також мають недоліки у вигляді низької продуктивності, нерівномірності перемішування та великої витрати електроенергії.

У примусових бетонозмішувачах, які також можуть бути циклічної або безперервної дії, матеріали змішуються за допомогою лопат, які обертаються у стаціонарній чаші.

У примусових бетонозмішувачах безперервної дії матеріал поєднується за допомогою двох паралельних валів з лопатями спеціальної конструкції, які обертаються у протилежних напрямках. Примусові бетонозмішувачі базуються на принципі активного перемішування компонентів суміші за допомогою лопат або шнеків, які розташовані всередині барабана. Барабан

може мати горизонтальне чи вертикальне положення і не нахилитися. Лопаті або шнеки обертаються з високою швидкістю та інтенсивно перемішують суміш.

Примусові бетонозмішувачі придатні для замішування вологих та пластичних матеріалів, таких як бетон, гіпс, глина і т.д. Вони мають переваги у вигляді високої продуктивності, рівномірності перемішування та низької витрати електроенергії, але також мають недоліки у вигляді високої вартості, складності конструкції та обслуговування.

Вони мають високу продуктивність, рівномірність перемішування та економічність, але також високу вартість, складність конструкції та обслуговування.

По виконанню бетонозмішувачі бувають стаціонарні та пересувні. Стаціонарні бетонозмішувачі застосовують при обладнанні заводів та установок, розрахованих на тривалу експлуатацію. Пересувні бетонозмішувачі використовують для приготування бетонної суміші на будівельних майданчиках, що знаходяться поза радіусом дії бетонного заводу, а іноді як стаціонарні на при об'єктних бетонозмішувальних установках. [15]

2.1 Бетонозмішувачі гравітаційної циклічної дії (БГЦ).

За формою та конструкцією змішувального барабана їх поділяють на три групи:

- 1) з перекидним змішувальним барабаном грушоподібної форми, у якого завантаження складових та вивантаження бетонної суміші здійснюється з одного відкритого торця;
- 2) з перекидним двоконусним барабаном, у якого завантаження і вивантаження виконуються з одного або двох торців барабана;
- 3) з неопрокидним реверсивним барабаном грушоподібної форми, у якого завантаження та вивантаження проводяться з одного торця барабана, а

барабан під час розвантаження обертається у бік, протилежний обертанню при змішуванні.[4]



Рисунок 2.1 - Бетонозмішувач гравітаційної циклічної дії

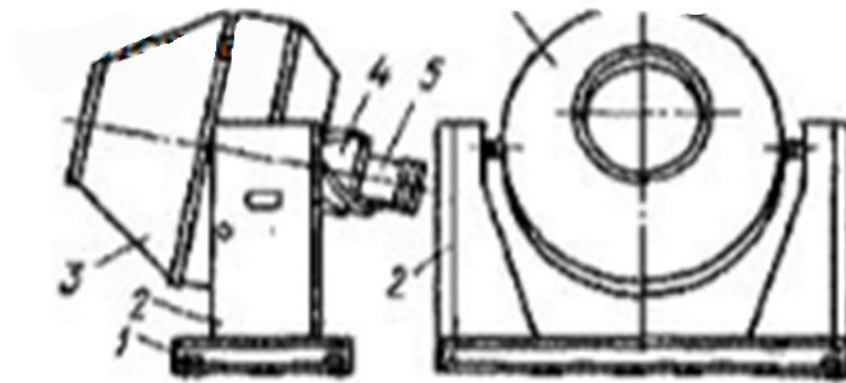
Переважає поширення набули перекидні гравітаційні змішувачі. Неперекидні реверсивні змішувачі застосовують тільки для комплектування авто-бетонозмішувачів.[4]

2.2 Стаціонарні бетонозмішувачі.

Стаціонарні бетонозмішувачі - це машини, які призначені для виготовлення бетонної суміші з різних компонентів, таких як цемент, пісок, щебінь, вода і т.д. Ці машини виробляються з різною місткістю змішувального барабана, яка вимірюється за обсягом готового замісу. Стаціонарні бетонозмішувачі можуть мати місткість 330, 500, 800, 1600 або 2000 літрів.

Бетонозмішувачі з меншою місткістю, наприклад, 330 літрів, зазвичай обладнані спеціальним пристроєм, який називається скіповим підйомником. Скіповий підйомник складається з ковша, який піднімає компоненти бетонної суміші з нижнього рівня до верхнього рівня, де знаходиться змішувальний барабан.

Також на скіповому підйомнику встановлений дозатор води, який дозволяє регулювати кількість води, яка додається до суміші. Стаціонарний бетонозмішувач, який показаний на рис. 2.2, не має скіпового підйомника. Це означає, що компоненти бетонної суміші подаються до змішувального барабана безпосередньо з дозаторів, які розташовані на тому ж рівні, що і барабан. Змішувальний барабан - це циліндричний або конічний резервуар, який обертається навколо своєї осі. Усередині барабана розміщені лопаті, які перемішують компоненти суміші під час обертання барабана. [2]

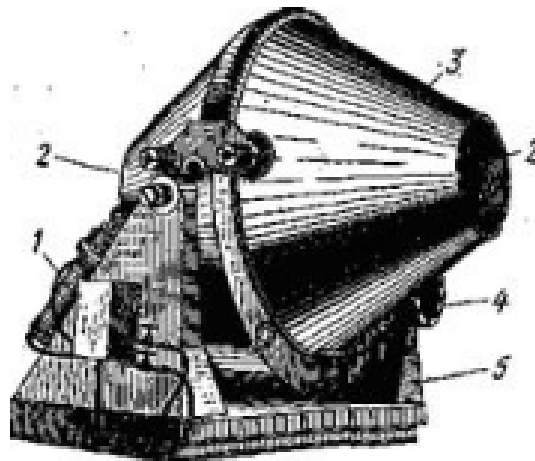


1 - рама, 2 - стійка, 3 - змішувальний барабан, 4 - траверса, 5- електродвигун.

Рисунок 2.2 - Стаціонарний бетонозмішувач

Забезпечений перекидним барабаном грушоподібної форми. Завантаження складових та вивантаження бетонної суміші здійснюється з одного відкритого торця. Привід барабана укладено в траверсу, яка рухається разом з барабаном при перекиданні, що здійснюється за допомогою гідроприводу.[7]

Двоконусний бетонозмішувач випускають без скіпового витягу(рис. 2.3).



1 - привід для нахилу барабана, 2 - отвори для завантаження та вивантаження матеріалів, 3 - змішувальний барабан, 4 - привід обертання барабана, 5- станина.

Рисунок 2.3 – Двоконусний бетонозмішувач

Бетонозмішувач СБ-10В - це машина, яка призначена для виготовлення бетонної суміші з різних компонентів, таких як цемент, пісок, щебінь, вода і т.д. Особливістю цієї машини є те, що вона має перекидний змішувальний барабан, який складається з двох конусів, з'єднаних між собою. Змішувальний барабан може нахилитися в обох напрямках, що дозволяє здійснювати завантаження та вивантаження змішувача СБ-10В з обох кінців барабана.

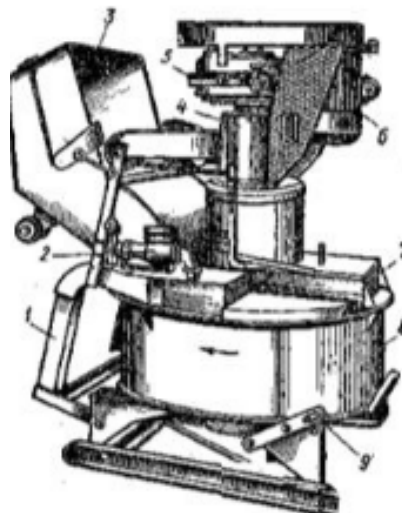
На внутрішній поверхні барабана закріплені лопаті, які мають спіральну форму: в одному конусі лопаті мають правий, в іншому - лівий напрямок обертання. Таке розташування лопат сприяє тому, що компоненти бетонної суміші, які підкидаються лопатами до верхньої частини барабана, падають з двох протилежних сторін до центру барабана, де вони зустрічаються потужним потоком. Це забезпечує інтенсивне змішування компонентів. Змішувальний барабан обертається за допомогою приводу, який працює від електродвигуна. Привід, який відповідає за нахил барабана, працює на повітрі, тобто пневматичний. [10]

2.3 Бетонозмішувачі примусові циклічної дії (БПЦ).

Добре змішують як жорсткі та рухливі бетонні суміші на щільних заповнювачах, так і бетонні суміші на пористих заповнювачах.

Бетонозмішувач СБ-80 (рис. 2.4).

Складається з нерухомої чаші місткістю 165 л за об'ємом готового замісу і лопатевого апарату роторного типу у вигляді траверси, що обертається, з укріпленими на ній змішувальними лопатями і двома скребками для очищення поверхні змішувальної чаші. Кут установки змішувальних лопат можна змінювати.[10]



1 - пряма кувша витягу, 2 - дозатор води, 3 - кувш скіпового витягу, 4 - лебідка скіпового витягу, 5 - редуктор, 6 - електродвигун, 7 - рама, 8 - чаша, 9 - рукоятка затвора.

Рисунок 2.4 - Бетонозмішувач примусові циклічної дії

Чаша завантажується перекидним ковшем скіпового витягу.

Вивантажується готовий заміс через донний люк чаші, що закривається при завантаженні та перемішуванні секторним затвором.

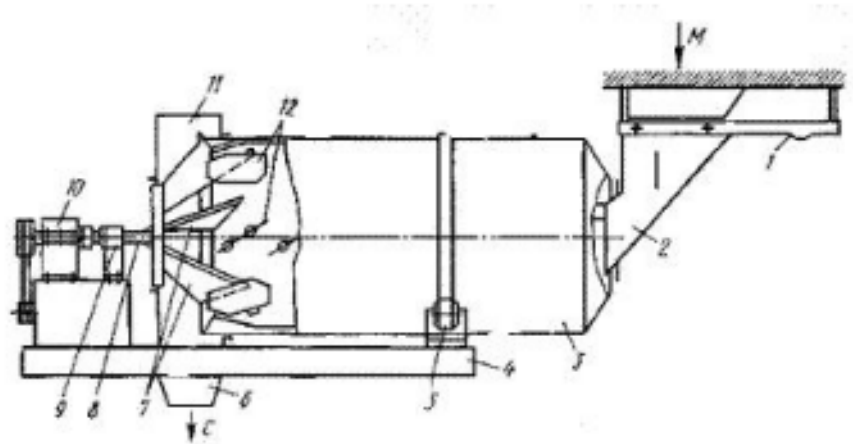
Пускова електроапаратура приводу лопатевого валу бетонозмішувача включається та вимикається кнопками управління. Завантаженням та розвантаженням чаші керують за допомогою важелів вручну. Бетонозмішувач оснащений дозатором води.[10]

2.4 Бетонозмішувачі безперервної дії.

Бетонозмішувач гравітаційний - це машина, яка призначена для виготовлення бетонної суміші з різних компонентів, таких як цемент, пісок, щебінь, вода і т.д. Особливістю цієї машини є те, що вона має циліндричний змішувальний барабан, який обертається навколо горизонтальної осі. Компоненти бетонної суміші, які попередньо дозуються, подаються в барабан неперервним потоком через спеціальні воронки, розташовані на верхній частині барабана. Також через воронки подається вода, яка необхідна для зв'язування компонентів.

Всередині барабана відбувається процес змішування компонентів, який забезпечується за допомогою лопат, які закріплені на внутрішній поверхні барабана. Лопати переміщують компоненти від отвору для завантаження до протилежного кінця барабана, де знаходиться отвір для вивантаження. Готова бетонна суміш виходить з барабана через цей отвір. Гравітаційний бетонозмішувач комплектується бетонозмішувальною установкою СБ-109 (рис.2.5), яка має високу продуктивність 120 м³/год.

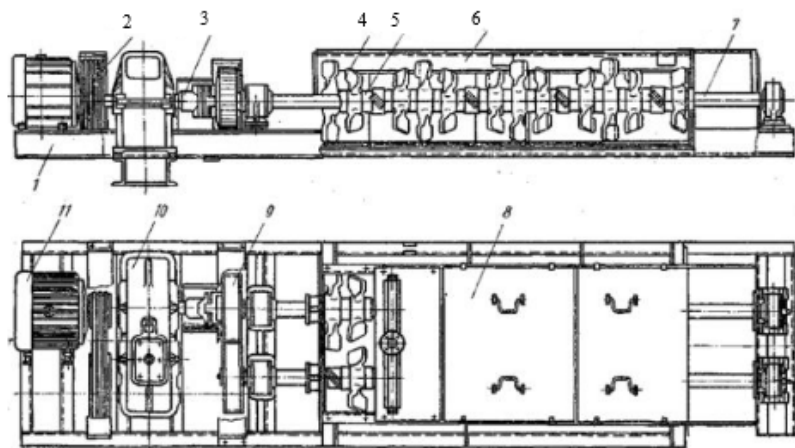
Ця установка дозволяє автоматизувати процес виготовлення бетонної суміші та забезпечити її якість. [10]



1- балка, 2, 6- завантажувальна і розвантажувальна воронки, 3- барабан,
4- рама, 5 -роликова опора, 7 -спиці, 8- вал, 9 -підшипник, 10- привід, 11-
кожух, 12 - лопата; М- Матеріали, С - суміш.

Рисунок 2.5 - Бетонозмішувачі безперервної дії.

Примусові бетонозмішувачі за конструкцією аналогічні і відрізняються продуктивністю, розмірами та формою робочих органів.



1 - рама, 2 - клинопасова передача, 3 - муфта, 4 - лопата, 5 - розпірна втулка,
6 - корпус змішувача, 7 - вал, 8 - кришка, 9 - шестерня, 10 - редуктор, 11 -
електродвигун

Рисунок 2.6 - Бетонозмішувачі безперервної дії.

Бетонозмішувач установки СБ-75 (рис. 2.6) Являє собою коритоподібний барабан (корпус 6), в якому розміщені два паралельні вали 7 з лопатями 4 спеціальної конструкції. При одночасному зустрічному обертанні валів матеріали, що безперервно надходять в барабан, змішуються.

Віддозований потік сипких і рідких компонентів надходить зверху приймальну частину змішувача, де починається процес змішування. При переміщенні компонентів уздовж змішувача та безперервному змішуванні утворюється готова бетонна суміш, яка видається в транспортні засоби або копильник місткістю 1,2 м³, призначений для скорочення перерв у роботі змішувача при затримках у подачі транспортних засобів.

В цілому, прагнення до вдосконалення змішувачів є важливим аспектом прогресу в обробці сипучих матеріалів. [10]

Для підвищення ефективності та конкурентоспроможності виробництва бетону необхідно використовувати сучасне обладнання, якісні матеріали та перевірені технології.

У цьому розділі розглянуто принцип роботи та види бетонозмішувачів, які застосовуються для виготовлення бетонної суміші. Дізналися, що бетонозмішувачі можуть бути безперервні або циклічні, гравітаційні або примусові, а також мати різний обсяг резервуару для бетону.

Також розглянули особливості використання та вибору бетонозмішувачів для різних будівельних робіт.

На основі проведеного аналізу можна зробити наступні висновки:

- Бетонозмішувачі є незамінними пристроями для будівництва та ремонту, оскільки вони забезпечують рівномірне перемішування компонентів бетону та зменшують трудовитрати.
- Вибір бетонозмішувача залежить від обсягу та характеру робіт, які потрібно виконати. Для невеликих об'єктів підійдуть бетонозмішувачі з невеликим обсягом резервуару (до 150 л), для великих - з великим (від 180 л).
- Також важливо враховувати тип бетонозмішувача: безперервні бетонозмішувачі дозволяють отримувати розчин без перерв, але вимагають

точного дозування компонентів; циклічні бетонозмішувачі дозволяють регулювати склад розчину, але вимагають більше часу на вивантаження.

Гравітаційні бетонозмішувачі прості у конструкції та експлуатації, але не ефективні для жорстких сумішей; примусові бетонозмішувачі забезпечують інтенсивне перемішування, але складніші та дорожчі.

3.ОПИС ГРАВТАЦІЙНОГО БТОНОЗМІШУВАЧА ПЕРІОДИЧОЇ ДІЇ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ БЕТОНОЗМІШУВАЧА

У цьому розділі ми розглянемо один із видів бетономішалок, а саме змішувач з гравітаційним баком періодичної дії.

Опишемо принцип роботи, особливості та переваги такого змішувача, а також визначимо основні параметри, що впливають на процес змішування бетону у ньому.

Проведемо розрахунки та експерименти, щоб підтвердити теоретичні положення та оцінити практичну ефективність та якість змішувача з гравітаційним баком періодичної дії.

3.1 Гравітаційний бетонозмішувач періодичної дії.

Гравітаційний бетонозмішувач СБ-103 періодичної дії - це пристрій для змішування сипучих будівельних матеріалів, таких як цемент, пісок, щебінь та вода в бетонну суміш. Він працює за принципом вільного падіння суміші під дією сили тяжіння всередині барабана, що обертається, обладнаного лопатями. Цей тип бетонозмішувача має ряд переваг та недоліків у порівнянні з іншими видами бетонозмішувачів.[11]

Переваги гравітаційного бетонозмішувача СБ-103 періодичної дії:

- Він має просту та надійну конструкцію, що не потребує складного обслуговування та ремонту.
- Він має високу продуктивність та якість змішування, оскільки забезпечує рівномірний розподіл компонентів суміші по всьому об'єму барабана.
- Він має низьку вартість та експлуатаційні витрати, тому що не вимагає додаткових пристроїв для подачі та вивантаження суміші.
- Він має невеликі габарити та масу, що полегшує його транспортування та встановлення на будівельному майданчику.

Гравітаційний бетонозмішувач СБ-103 періодичної дії гарний у виробництві тих видів бетону, які не вимагають особливої однорідності та мобільності, таких як важкий та легкий бетон, а також для невеликих обсягів робіт. Для більш складних видів бетону, таких як високоміцний і самоущільнюваний бетон, а також для великих обсягів робіт краще використовувати інші типи бетонозмішувачів, такі як примусові або роторні.

3.2 Основні параметри гравітаційного бетонозмішувача

Параметри та характеристики бетонозмішувачів залежать від типу та моделі обладнання. Основними параметрами є:

- Об'єм барабана – це максимальний об'єм суміші, який може бути завантажений у бетонозмішувач за один раз. Об'єм барабана може змінюватись від кількох десятків до кількох тисяч літрів.

- Продуктивність – це кількість суміші, яка може бути приготовлена за одиницю часу. Продуктивність залежить від об'єму барабана, швидкості обертання лопат або шнеків, часу замішування та властивостей суміші. Продуктивність може вимірюватися в літрах чи кубічних метрах на годину.

- Потужність двигуна – це електрична або механічна потужність, яка витрачається на приведення бетонозмішувача в дію. Потужність двигуна залежить від типу приводу, розміру барабана, швидкості обертання лопат або шнеків і властивостей суміші. Потужність двигуна може вимірюватися в кіловатах чи кінських силах.

- Тип двигуна – це джерело енергії для роботи бетонозмішувача. Тип двигуна може бути електричним, бензиновим, дизельним чи газовим.

3.2.1 Коефіцієнт виходу бетонної суміші

Відношення обсягу готового замісу - V_{Γ} до обсягу вихідних компонентів суміші, що завантажуються в змішувач (або до обсягу завантаження) - V_3 , називається коефіцієнтом виходу суміші:[19]

$$K_B = V_{\Gamma} / V_3$$

для бетону $K_B = 0,65 - 0,7$, для розчину $K_B = 0,85 - 0,9$.

Місткість змішувача по завантаженню можна знайти з виразу:[19]

$$V_3 = V_{\Gamma} / K_B$$

3.2.2 Внутрішній діаметр циліндричної частини барабана. [20]

Щоб суміш змогла вільно циркулювати в барабані, його обсяг повинен бути в 2,5 - 3 рази більший за об'єм готового замісу - V_{Γ} . Сама ж циліндрична частина буває заповнена також на 25% - 30%, що для нерухомого барабана теоретично відповідає куту сегмента, зайнятого сумішшю, $\alpha = 130^\circ - 140^\circ$. (рис. 3.1). [19]

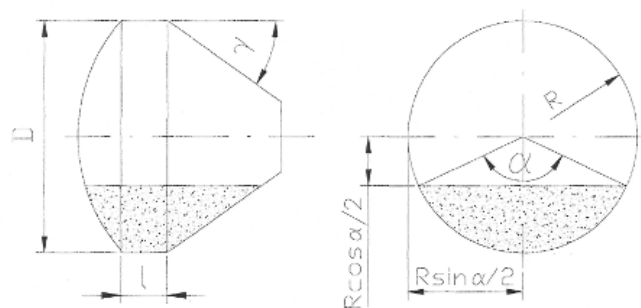


Рисунок 3.1 - Циліндрична частина барабана

У свою чергу, обсяг суміші, що знаходиться в циліндричній частині барабана - $V_{\text{ц}}$, дорівнює добутку площі сегмента, зайнятого сумішшю, на її довжину - l : [19]

$$V_{\text{ц}} = \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \frac{\alpha^0}{360^0} - \frac{D^2}{4} \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \right) \cdot l = \frac{D^2}{8} \left(\frac{\pi \cdot \alpha^0}{180^0} - \sin \alpha \right) \cdot l$$

де D і l - внутрішній діаметр і довжина циліндричної частини барабана, м.

Вважаючи $V_{\text{ц}} = 0,3 \cdot V_{\text{Г}} = 0,3 \cdot V_3 \cdot K_{\text{в}}$ і $l = 0,2 \cdot D$, отримаємо: [19]

$$0,3 \cdot V_3 \cdot K_{\text{в}} = \frac{D^2}{8} \cdot \left(\frac{\pi \cdot \alpha}{180^0} - \sin \alpha \right) \cdot l$$

Прийнявши $\alpha = 130^\circ$ і $K_{\text{в}} = 0,67$, з останньої формули знаходимо, що: [19]

$$D = (1,65 \div 1,75) \cdot \sqrt[3]{V_3}$$

Формула є основою для відшукування внутрішнього діаметра барабана змішувача при відомому обсязі по завантаженню. [20]

3.2.3 Частота обертання барабана змішувача

Для досягнення найкращої продуктивності необхідно підібрати оптимальну частоту обертання барабана змішувача. За вищої частоти кількість циклів піднімання та опускання суміші за одиницю часу збільшується, що прискорює процес перемішування, але одночасно посилюється негативна дія відцентрових сил, які прилягають частинки до стінок барабана, що погіршує умови перемішування та знижує продуктивність. У такому випадку швидкість циклів залежить від числа оборотів, а відцентрові сили $F_{\text{ц}}$ від їх квадрату.

Якщо збільшувати швидкість обертання, то можна швидко потрапити в режим, коли суміш не буде відходити від стінок барабана і перемішування процес зупиниться повністю.

Оптимальною є та частота, за якої у частинку суміші в точці М, розташованій під кутом природного укусу до вертикалі (рис. 3.2), дотична складова сили ваги рівна силі тертя.

$$F_{\text{ц}} = G \cdot \sin \varphi$$

де G – вага частинки. Представляючи силу тертя як добуток нормального тиску на коефіцієнт тертя - f отримаємо: [20]

$$(F_{\text{ц}} + G \cdot \cos \varphi) \cdot f = G \cdot \sin \varphi$$

З урахуванням того, що відцентрова сила

$$F_{\text{ц}} = m \cdot \omega^2 \cdot R, G = mg, f = \tan \mu.$$

де m - маса частинки, ω - кутова швидкість обертання барабана, g - прискорення сили тяжіння, а μ - кут тертя, отримаємо: [20]

$$(m \cdot \omega^2 \cdot R + m \cdot g \cdot \cos \varphi) \cdot \frac{\sin \mu}{\cos \mu} = m \cdot g \cdot \sin \varphi$$

звідки оптимальна кутова швидкість обертання барабана дорівнює:

$$\omega_{\text{Б}} = \sqrt{\frac{g \cdot \sin(\varphi - \mu)}{R \cdot \sin \mu}}$$

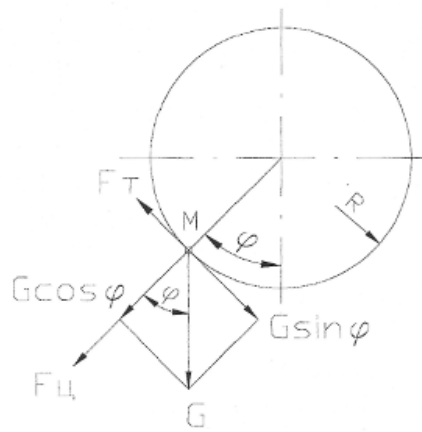


Рисунок 3.2 – Розрахунок оптимальної кутової швидкості обертання

Приймаючи кут укосу суміші $\varphi = 45^\circ - 48^\circ$, а коефіцієнт тертя бетону сталі $f = 0,6 - 0,7$, (що відповідає куту тертя $\mu = (31^\circ - 35^\circ)$), а також маючи на увазі, що $\pi = \omega / 2\pi$, знайдемо частоту обертання барабана змішувача, про/с.[20]

$$n_B = \frac{0,27 + 0,38}{\sqrt{R}}$$

Оскільки найчастіше визначення кутів φ і μ утруднено, для попередніх розрахунків можна прийняти:

$$n_B = \frac{0,225 + 0,05R}{\sqrt{R}} \quad (3)$$

З ростом радіусу барабана оптимальна частота обертання впадає, що зумовлено зростанням відцентрових сил, які залежать від радіусу барабана R і підвищують силу тертя $F_{\text{ц}}$.

Отже, щоб зберегти вираз $F_{\text{ц}} = G \cdot \sin \varphi$ незмінним із збільшенням радіусу R , треба зменшити частоту обертання барабана. [20]

3.2.4 Продуктивність змішувача

Частота обертання барабана змішувача повинна бути оптимальною з точки зору продуктивності.

При збільшенні частоти зростає число циклів підйому та падіння суміші в одиницю часу, що сприяє прискоренню процесу перемішування, одночасно зростає негативний вплив відцентрових сил, що притискають частинки до стінок барабана, що веде до погіршення умов перемішування та зменшення продуктивності.

У цьому швидкість циклів зростає пропорційно числу оборотів, а відцентрові сили $F_{\text{ц}}$ пропорційні їх квадрату.

При збільшенні швидкості обертання досить швидко можна вийти на режим, коли суміш перестане відриватися від стінок барабана і перемішування процес припиниться зовсім. [20]

$$F_{\text{ц}} = G \cdot \sin \varphi$$

де G – вага частинки. Представляючи силу тертя як добуток нормального тиску на коефіцієнт тертя - f отримаємо: [19]

$$(F_{\text{ц}} + G \cdot \cos \varphi) \cdot f = G \cdot \sin \varphi$$

З урахуванням того, що відцентрова сила:

$$F_{\text{ц}} = m \cdot \omega^2 \cdot R, G = mg, f = \tan \mu.$$

де m - маса частинки, ω - кутова швидкість обертання барабана, g - прискорення сили тяжіння, а μ - кут тертя, отримаємо: [19]

$$(m \cdot \omega^2 \cdot R + m \cdot g \cdot \cos \varphi) \cdot \frac{\sin \mu}{\cos \mu} = m \cdot g \cdot \sin \varphi$$

звідки оптимальна кутова швидкість обертання барабана, про/с [20]

$$\omega_{\text{Б}} = \sqrt{\frac{g \cdot \sin(\varphi - \mu)}{R \cdot \sin \mu}}$$

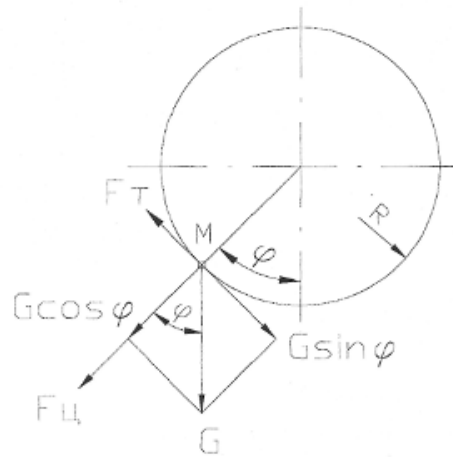


Рисунок 3.3 – Розрахунок оптимальної кутової швидкості обертання

Приймаючи кут укосу суміші $\varphi = 45^\circ - 48^\circ$, а коефіцієнт тертя бетону сталі $f = 0,6 - 0,7$, (що відповідає куту тертя $\mu = (31^\circ - 35^\circ)$), а також маючи на увазі, що $\pi = \omega / 2\pi$, знайдемо частоту обертання барабана змішувача, про/с. [20]

$$n_B = \frac{0,27 + 0,38}{\sqrt{R}}$$

Оскільки найчастіше визначення кутів φ і μ утруднено, для попередніх розрахунків можна прийняти, [20]

$$n_B = \frac{0,225 + 0,05R}{\sqrt{R}}$$

Коли радіус барабана R стає більшим, його оптимальна швидкість обертання спадає. Це тому, що відцентрові сили, які залежать від R , зростають і підвищують силу тертя $F_{\text{ц}}$.

Отже, щоб зберегти вираз $F_{\text{ц}} = G \cdot \sin \varphi$ незмінним із збільшенням радіусу R , треба зменшити частоту обертання барабана. [20]

3.2.5 Потужність приводу бетонозмішувача

При обертанні барабана потужність двигуна змішувача в основному витрачається на підйом суміші. [5]

Робота за 1 цикл циркуляції, Дж

$$A = G_{CM} \cdot h$$

де $G_{CM} = V_{\Gamma} \cdot \rho \cdot g$ - сила тяжкості суміші, Н;

h -висота підйому суміші, м. [20]

Закон руху суміші при обертанні барабана є досить складним. На підставі дослідних даних вважають, що при обертанні барабана одна частина суміші (85%) піднімається за рахунок сил тертя корпус барабана, а інша (15%) лопатями.

Потужність, що витрачається на підйом суміші.[20]

$$N_1 = (G_1 \cdot h_1 \cdot z_1 + G_2 \cdot h_2 \cdot z_2) \cdot n_B / 1000$$

де $G_1 = 0,85 \cdot G_{CM}$ - сила тяжкості суміші Н, що піднімається тертям;

$G_2 = 0,15 \cdot G_{CM}$ - сила тяжкості суміші Н, що піднімається лопатями;

h_1 та h_2 - висоти підйому м суміші під дією сил тертя та лопатями;

z_1 і z_2 - число циркуляції суміші за один оберт барабана під дією сил тертя і лопатей;

n_B - частота обертання барабана, про/с.

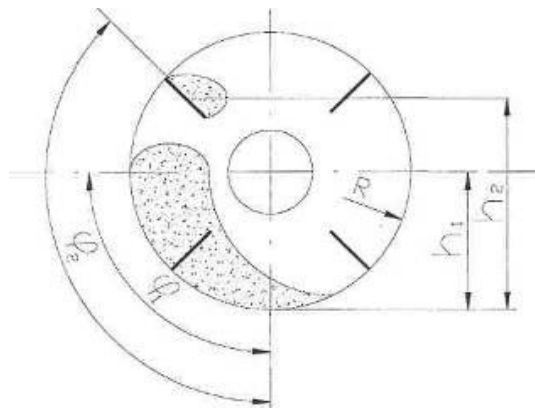


Рисунок 3.4 – Розрахунок продуктивності змішувача

Відповідно до схеми (рис.3.4), отриманої дослідним шляхом, $h_1 = R \cdot K_i$

$$h_2 = R \cdot (1 + \sin \varphi_2) = 1,7 \cdot R,$$

де кут $\varphi_2 = 45^\circ$, що відповідає куту тертя суміші про лопаті.

Кут φ_1 з урахуванням впливу лопатей та підпору інших частинок прийнятий рівним 90° . Число циркуляції суміші за 1 оборот барабана може бути прийнято рівним $z_1 = z_2 = 2$. Тоді потужність, що витрачається на підйом суміші. [19]

$$N_1 = 2,2 \cdot G_{CM} \cdot R \cdot n_B / 1000 \quad (5)$$

Потужність, що витрачається на подолання тертя в опорних вузлах барабана (потужність на перекочування), залежить від сил, що виникають на опорних роликах (рис. 3.5).

$$F_r = (G_{CM} + G_B) / (2 \cdot \cos \beta)$$

де G_B - вага барабана кН, який у першому наближенні може бути знайдений з виразу $G_B = (15 - 16) \cdot V_3$; $\beta = 30^\circ - 36^\circ$ - кут установки роликів.

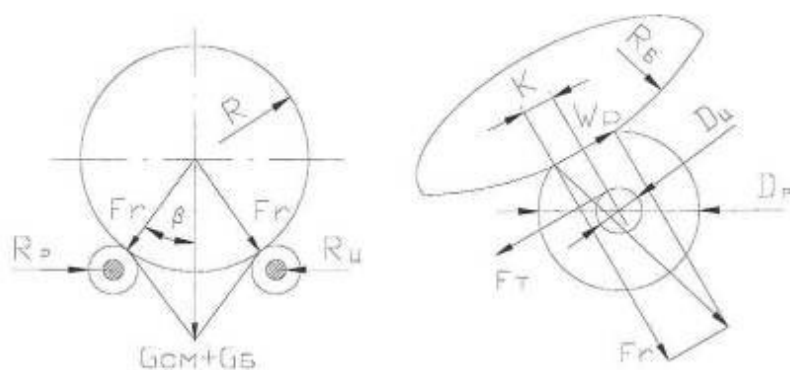


Рисунок 3.5 - Сили та моменти, що виникають при перекочуванні барабана по роликах

Сили та моменти, що виникають при перекочуванні барабана по роликах, показані на рис. 3.5 Склавши рівняння, $\sum M_0 = 0$ можна знайти опір перекочування W_p . [20]

$$W_P \cdot \frac{D_P}{2} = F_P \cdot k + F_P \cdot f \cdot \frac{d_{\text{ц}}}{2}$$

Потужність, що витрачається на його подолання, з наступного виразу

$$N_2 = M_B \cdot \omega_B = W_P \cdot R_B \cdot \omega_B = \frac{G_{\text{см}} \cdot G_B}{\cos \beta} \cdot \frac{2 \cdot k + f \cdot d_{\text{ц}}}{D_P} \cdot R_B \cdot \omega_B \quad (6)$$

де M_B - крутний момент на барабані, Н · м;

ω_B - кутова швидкість барабана, рад/с;

$R_B = (1,05 - 1,1)R$ – радіус бандажу барабана, м;

$k = (0,0008 - 0,001)$ - коефіцієнт тертя-качання бандажу за роликами;

$f = (0,01 - 0,015)$ - коефіцієнт тертя-ковзання в опорі ролика;

$D_P = (0,15 - 0,20) \cdot D_B$ - діаметр ролика, м;

$D_{\text{ц}} = D_P/4$ – діаметр цапфи ролика, м.

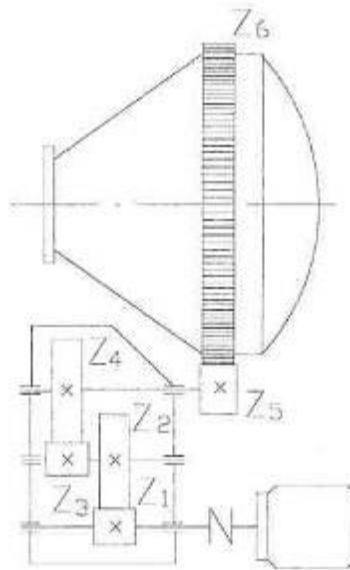


Рисунок 3.6 - Робоча ємність бетонозмішувача

Потужність електродвигуна приводу обертання барабана[19]

$$N_D = \frac{N_1 + N_2}{\eta}$$

де η - ККД приводу барабана.

Підбір електродвигуна

Обчисливши N_d , можна підібрати стандартний асинхронний електродвигун змінного струму серії 4А, прийнявши синхронне число обертів за хвилину $n_c = 1000$..

Конструктивні параметри бетонозмішувача:

- обсяг готового замісу - $V_\Gamma = 1,4 \text{ м}^3$;
- щільність бетонної суміші- $\rho = 1900 \text{ кг/м}^3$;
- число замісів - $z_c = 25 \text{ год}^{-1}$;
- коефіцієнт використання робочого часу – $K_i = 0,75$.

За заданими параметрами знаходять:

- обсяг завантаження, м^3 - V_3 ;
- внутрішній діаметр змішувального барабана, м - D ;
- частоту обертання барабана, об/хв - n ;
- потужність приводного електродвигуна, кВт - N_d ,
- продуктивність змішувача – N_c ;

За обчисленою потужністю проводиться підбір електродвигуна.

- Місткість змішувача із завантаження знайдемо дорівнює:

$$V_3 = \frac{V_\Gamma}{k_b} = \frac{1,4}{0,667} = 2,09 \text{ м}^3$$

- Внутрішній діаметр циліндричної частини барабана дорівнює:

$$D = \left(\frac{1,65}{1,75} \right) \cdot \sqrt[3]{V} = 1,7 \cdot \sqrt[3]{2,09} = 2,17 \text{ м}$$

- Оптимальна частота обертання барабана дорівнює:

$$n_B = \frac{0,225 + 0,05 \cdot R}{\sqrt{R}} = \frac{0,225 + 0,05 \cdot 0,904}{\sqrt{0,904}} = 0,284 \frac{\text{об}}{\text{с}} = 17 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

де $R = D/2 = 0,904$ – радіус внутрішньої частини барабана, м

Одночасно доцільно обчислити кутову швидкість барабана

$$\omega_B = 2\pi \cdot n_B = 6,28 \cdot 0,284 = 1,78 \text{ рад/с}$$

Сила тяжкості бетонної суміші

$$G_{CM} = V_{\Gamma} \cdot \rho \cdot g = 1,4 \cdot 1900 \cdot 9,81 = 26094,6 \text{ Н}$$

де $\rho = 1900 \text{ кг/м}^3$ - щільність бетонної суміші,

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення сили тяжіння.

- Потужність двигуна приводу змішувача

Знайдемо потужність на перемішування бетонної суміші.

$$N_1 = 2,2 \cdot G_{CM} \cdot R \cdot n_B / 1000 = 2,2 \cdot 26094,6 \cdot 0,904 \cdot 0,284 / 1000 = 14,73 \text{ кВт}$$

- Потужність на перекочування барабана за роликами дорівнює:

$$N_2 = \frac{G_{CM} \cdot G_B}{\cos \beta} \cdot \frac{2 \cdot k + f \cdot d_{\text{Ц}}}{D_P} \cdot R_B \cdot \omega_B = \frac{26,09 + 18}{\cos 30^\circ} \cdot \frac{2 \cdot 0,001 + 0,015 \cdot 0,083}{0,33} \cdot 0,967 \cdot 1,78 = 0,861 \text{ кВт}$$

де $G_B = (15 - 16) \cdot V_3 = 15 \cdot 2,09 = 31,35 \text{ кН}$ - вага барабана (приблизний);

$\beta = 30^\circ$ - кут встановлення опорних роликів;

$k = (0,0008 - 0,001)$ - коефіцієнт тертя-качання бандажа барабана;

$f = (0,01 - 0,015)$ - коефіцієнт тертя в опорі ролика;

$R_B = (1,05 - 1,1) \cdot R = 1,07 \cdot 0,904 = 0,967 \text{ м}$ - радіус бандажу;

$D_P = (0,15 - 0,20) \cdot D_B = 0,17 \cdot 2 \cdot 0,967 = 0,33 \text{ м}$ - діаметр опорного ролика;

$d_{\text{Ц}} = D_P / 4 = 0,33 / 4 = 0,083 \text{ м}$ - діаметр цапфи ролика;

$\omega_B = 1,78$ - кутова швидкість барабана, рад/с.

- Потужність електродвигуна (розрахункова):

$$P = V_{\Gamma} \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot z_c / (3600 \cdot K_i)$$

де: g - прискорення вільного падіння ($9,81 \text{ м/с}^2$)

h - висота підйому (1 м)

$$N_{\text{д}} = 1,4 \text{ м}^3 \cdot 1900 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,81 \text{ м/с}^2 \cdot 1 \text{ м} \cdot 25 \text{ год}^{-1} / (3600 \text{ с/год} \cdot 0,75) \approx 10,2 \text{ кВт}$$

Вибір електродвигуна

Розрахункова потужність $N_{\text{д}}$ є основою для підбору електродвигуна.

Підбираємо асинхронний трифазний електродвигун змінного струму типу 4А160М6УЗ, потужністю 11 кВт із синхронною частотою обертання $n_c = 1000 \text{ об/хв}$, і відносним ковзанням при номінальному навантаженні. [11]

Фактична частота обертання двигуна під навантаженням: [19]

$$n_{\text{д}} = n_c \cdot \left(1 - \frac{2,7}{100}\right) = 1000 \cdot 0,973 = 973 \text{ об/хв}$$

- Продуктивність змішувача

Продуктивність дорівнює $\text{м}^3/\text{год}$: [20]

$$N = V_3 \cdot K_{\text{в}} \cdot z_c \cdot K_i = 1,2 \cdot 0,667 \cdot 25 \cdot 0,75 = 15 \text{ м}^3/\text{год}$$

де $V_3 = 1,2$ - місткість змішувача із завантаження, м^3 ;

$K_{\text{в}} = 0,667$ – коефіцієнт виходу бетонної суміші;

$z_c = 25$ число замісів, год;

$K_i = 0,75$ - коефіцієнт використання робочого дня.

Один з можливих коротких виходів на розрахунок основних параметрів бетономішалки, таких як обсяг завантаження, внутрішній діаметр змішувального барабана, швидкість обертання барабана, потужність приводного двигуна, потужність змішувача, може бути наступним:

Було розраховано основні параметри бетономішалки за різними формулами, графіками і таблицями.

Зроблено це за для того, щоб визначити оптимальні характеристики бетономішалки, яка забезпечить високу якість змішування сипучих зволожених матеріалів.

Це стане в нагоді нам для того, щоб підібрати або спроектувати відповідну бетономішалку для нашого проекту, а також оцінити її економічність і безпеку.

4. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗМІШУВАННЯ В БЕТОНОЗМІШУВАЧІ

Моделювання процесу змішування в бетонозмішувачі - це завдання, яке вимагає врахування багатьох факторів, таких як форма і розмір бетономішалки, швидкість і напрямок обертання, властивості та склад бетонної суміші, температура та вологість навколишнього середовища і т.д.

Мета моделювання - визначити оптимальні параметри змішування, які забезпечують рівномірний розподіл компонентів суміші та мінімальний час змішування.

Для моделювання процесу змішування в бетонозмішувачі можна використовувати різні методи, такі як аналітичні, чисельні, експериментальні або комбіновані.

Аналітичні методи засновані на вирішенні рівнянь руху рідини та твердих частинок у бетонозмішувачі за допомогою математичного апарату теорії переносу та механіки суцільних середовищ.

Чисельні методи використовують дискретизацію простору і часу і наближене рішення рівнянь за допомогою комп'ютерних алгоритмів, таких як метод кінцевих елементів, метод кінцевих обсягів, метод сіткових характеристик тощо. і вимірювання параметрів змішування за допомогою спеціальних приладів, таких як датчики температури, тиску, в'язкості, концентрації і т.д..

Комбіновані методи включають спільне застосування різних методів для підвищення точності і надійності моделювання. [18]

4.1 Забезпечення ефективності моделі інформаційно-логічної та датологічної моделі бетонозмішувача.

Забезпечення ефективності інформаційно-логічної та датологічної моделі бетонозмішувача – це важливе завдання, яке дозволяє оптимізувати процес змішування бетону та підвищити якість готового продукту.

Інфологічна схема описує структуру та зв'язки між даними, що характеризують стан та параметри технічного обладнання, такі як швидкість, температура, тиск, потужність, знос і т.д. Ці дані дозволяють аналізувати та обробляти інформацію за допомогою логічних операторів та функцій, таких як порівняння, сортування, фільтрація, агрегація, обчислення тощо.

Інфологічна схема має бути розроблена з урахуванням вимог до повноти, точності, актуальності та цілісності даних.

Датологічна схема роботи технічного устаткування – це тема, яка має велике значення для забезпечення ефективності та безпеки виробничого процесу. Датологічна схема визначає спосіб зберігання та подання даних, які відображають стан та параметри технічного обладнання, такі як швидкість, температура, тиск, потужність, знос і т.д. Ці дані дозволяють контролювати та регулювати роботу обладнання, а також виявляти та усувати несправності, запобігати аваріям та знижувати витрати на обслуговування та ремонт.

Датологічна схема має бути розроблена з урахуванням вимог до надійності, доступності, захисту та безпеки даних.

4.1.1 Інформаційно-логічна схема

Інформаційно-логічна модель бетонозмішувача описує структуру та зв'язки між даними, які характеризують стан та параметри бетонозмішувача, такі як обсяг, швидкість, температура, вологість, в'язкість, концентрація тощо.

4.1.2 Датологічна схема роботи бетонозмішувача.

Під датологічною розуміється модель, що відображає логічні взаємозв'язки між елементами даних безвідносно їх змісту і фізичної організації. При цьому датологічна модель розробляється з урахуванням конкретної реалізації СУБД, також з урахуванням специфіки конкретної предметної області на основі її інфологічної моделі.

Датологічна модель бетонозмішувача визначає спосіб зберігання та подання даних, які відповідають інформаційно-логічній моделі. Ця модель може бути реалізована за допомогою різних технологій, таких як реляційні, ієрархічні, мережні, об'єктно-орієнтовані або нереляційні бази даних.

Датологічна схема для бетонозмішувача має важливе значення не тільки для контролю та регулювання процесу змішування бетону, але й для забезпечення ефективного керування даними, пов'язаними з бетонозмішувачем. Датологічна схема дозволяє:

- Організувати та структурувати дані відповідно до логіки та цілей виробництва бетону, таких як типи та характеристики бетонних сумішей, замовлення та постачання бетону, витрати та доходи від продажу бетону тощо.
- Забезпечити швидкий та зручний доступ до даних для різних користувачів, таких як водії, оператори, інженери, менеджери, аудиторі, клієнти та ін.
- Зберегти історію та статистику роботи бетонозмішувача, таку як кількість та якість виробленого бетону, час та місце доставки бетону, стан та знос бетонозмішувача, частота та результати технічного обслуговування та ремонту бетонозмішувача тощо.
- Підвищити надійність та безпеку даних, захистивши їх від втрати, пошкодження, спотворення чи несанкціонованого доступу за допомогою різних механізмів, таких як резервне копіювання, шифрування, автентифікація, авторизація тощо. [10]

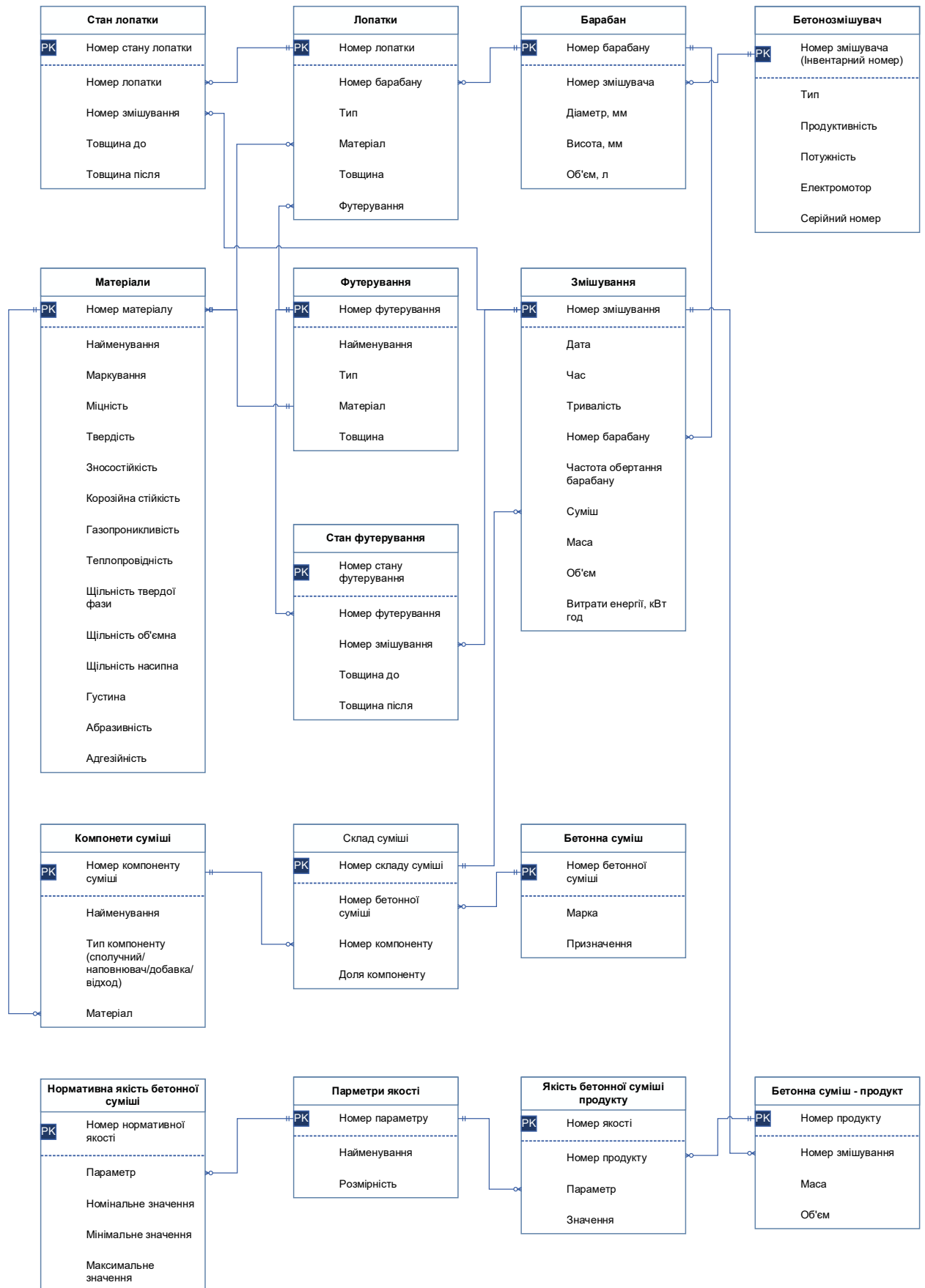


Рисунок 4.2 – Даталогічна схема предметної області

4.2 Процес моделювання та аналізу 3D фігури з використанням програми Ansys Student

Розглянемо процес створення та підготовки блоків для роботи в програмі Ansys Student (AWB) (рис. 4.3), а саме налаштування та введення параметрів, створення сітки кінцевих елементів, налаштування блоку Fluent.

Блоки - це логічні частини проекту, які відповідають різним етапам моделювання та аналізу. Налаштування та введення параметрів – це етап, на якому визначаються геометрія, матеріали, граничні умови та інші характеристики моделі. Створення сітки кінцевих елементів - це етап, у якому розбивається область моделі на кінцеві елементи, що є основою розрахунку. Налаштування блоку Fluent - це етап, на якому вибираються фізичні моделі, схеми дискретизації, критерії збіжності та інші параметри для вирішення рівнянь, що описують потік рідини чи газу. Ці етапи є важливими та необхідними для успішного виконання проекту у програмі Ansys Student.

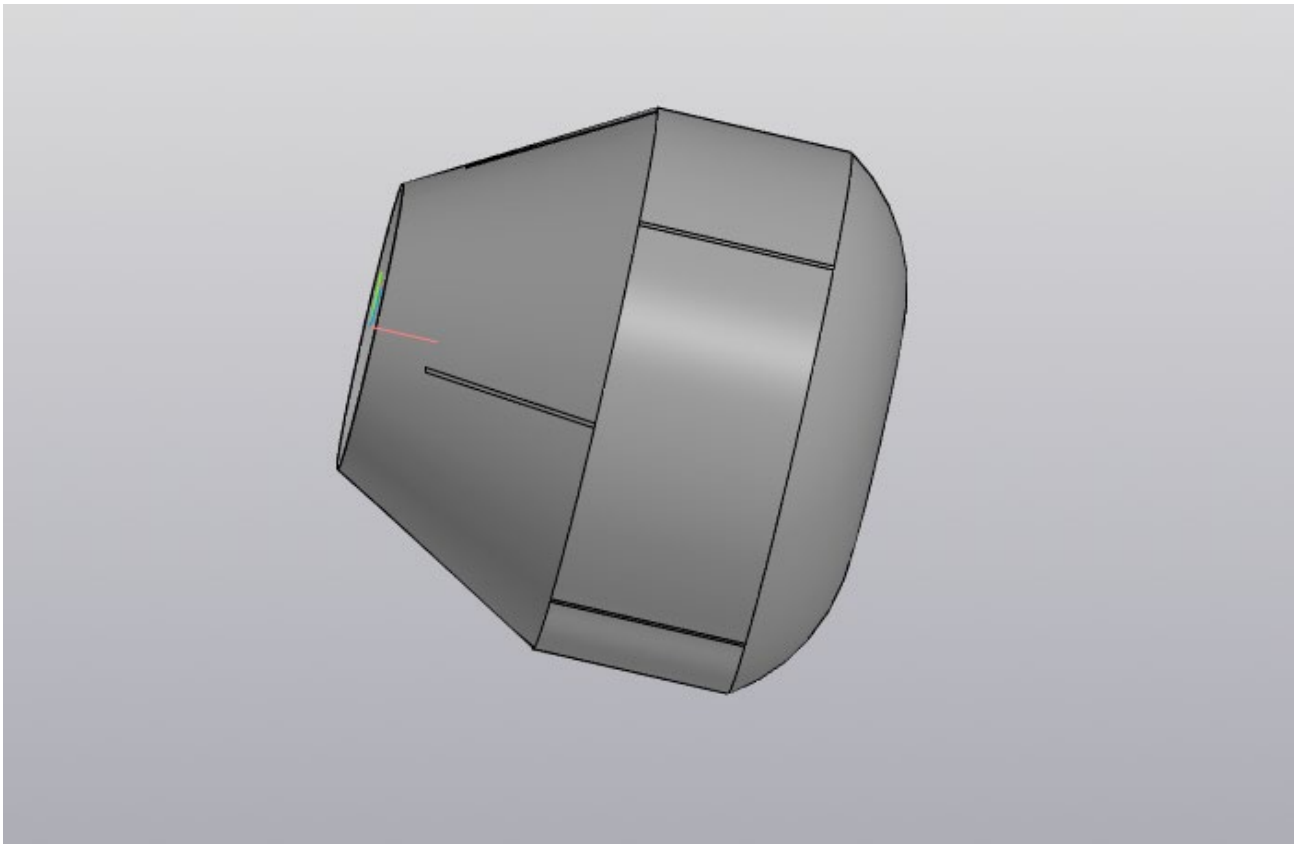


Рисунок 4.3 – 3D фігура барабана змішувача

Створення блоків для подальшого розрахунку. рис. (4.4)

Створення блоків для подальшого розрахунку – це процес, який дозволяє розділити проект на логічні частини, які відповідають різним етапам моделювання та аналізу. Кожен блок має свої параметри, налаштування, вхідні та вихідні дані, які визначають його функціональність та взаємодію з іншими блоками.

Створення блоків для подальшого розрахунку допомагає організувати та структурувати проект, спростити та прискорити процес моделювання та аналізу, підвищити надійність та точність результатів, а також полегшити перевірку та налагодження проекту.

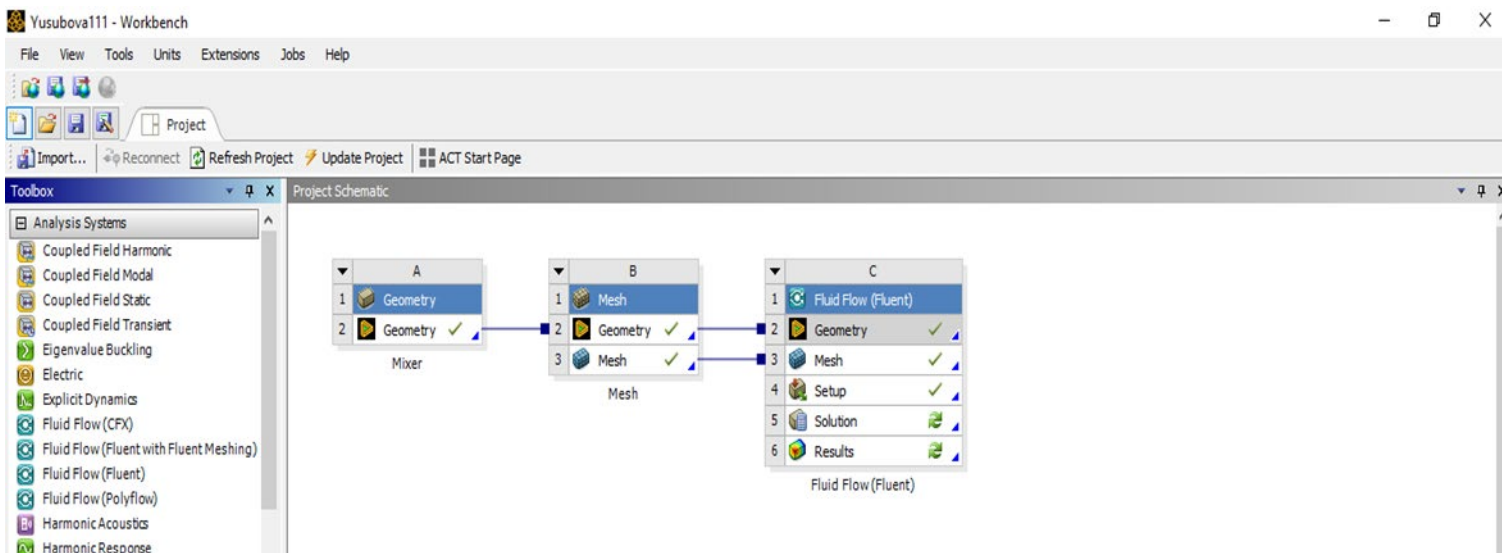


Рисунок 4.4 – Програма Ansys Student

Заходимо до розділу Concept (Концепція) функцією Surfaces From Edges) (Поверхні країв) робимо площину. (рис.4.5)

Функція дозволяє створити площину ребер, які утворюють замкнутий контур. Це може бути корисним, якщо ви хочете змодельовати тонку поверхню, таку як крило або лопату, або якщо ви хочете розділити об'єм на частини. Програма створить площину, яка проходить через вибрані ребра та заповнить простір усередині контуру.

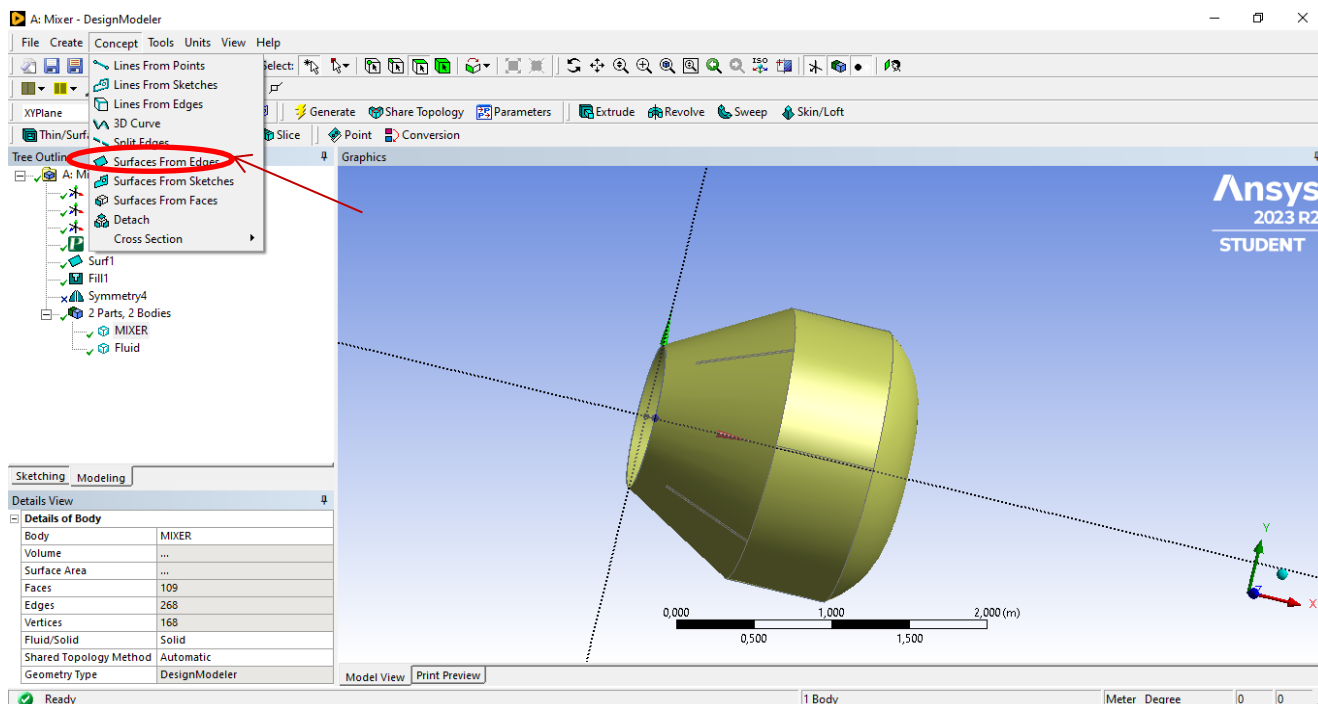


Рисунок 4.5 – Функція Surfaces From Edges

Знаходимо в розділ Tools (Інструменти) функцію Fill (Заповнити) і створюємо тіло (Fluid) (DM). [рис. 4.6]

Функція дозволяє створити тіло з ребер, які утворюють замкнутий контур. Це може бути корисним, якщо ви хочете змодельовати тонку поверхню, таку як крило або лопату, або якщо ви хочете розділити об'єм на частини.

Програма створить тіло, яке проходить через вибрані ребра та заповнить простір усередині контуру.

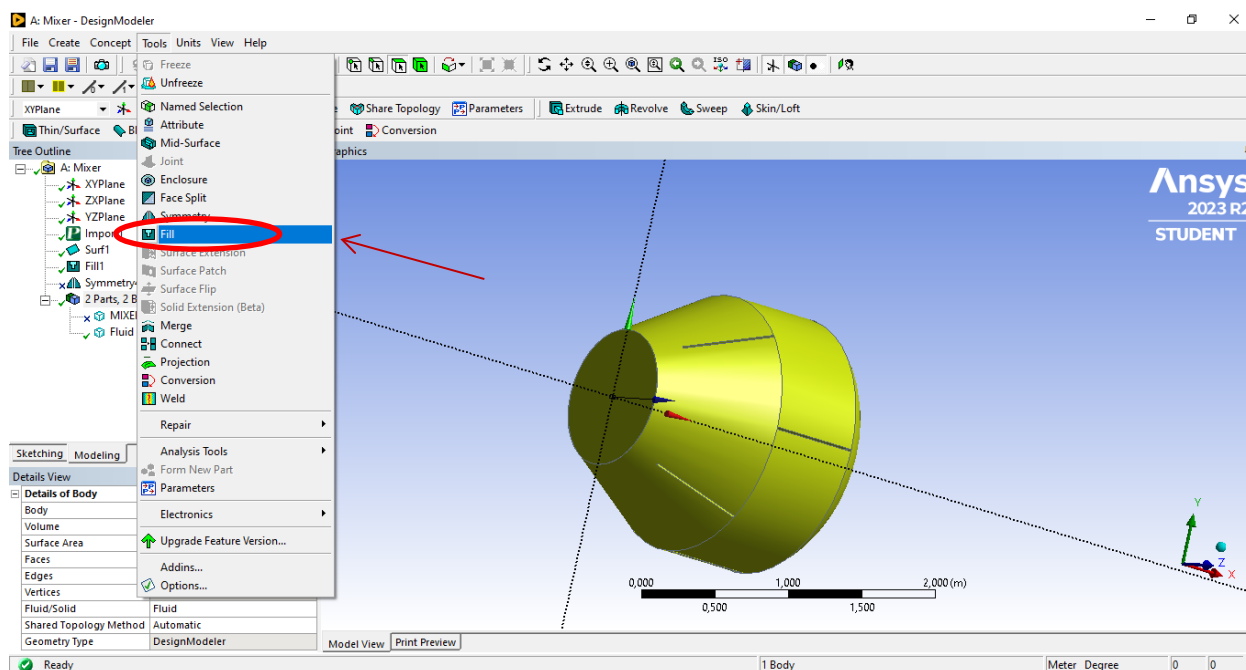


Рисунок 4.6 – Функція Fill

Функцією Symmetry (Симетрія) залишаємо для зручності розрахунку частину тіла.(рис. 4.7)

Функція Symmetry (Симетрія) дозволяє залишити частину тіла для зручності розрахунку, якщо тіло має площину симетрії. Це означає, що тіло можна розділити на дві або більше частин, які є дзеркальними відображеннями один одного щодо площини симетрії. Таким чином, можна змодельовати лише одну частину тіла, а решту частин отримати шляхом відображення. Це дозволяє скоротити обсяг та час розрахунку, а також спростити геометрію моделі.

Програма видалить частину тіла, яка знаходиться по одну сторону від площини симетрії, і залишить частину тіла, що знаходиться по інший бік.

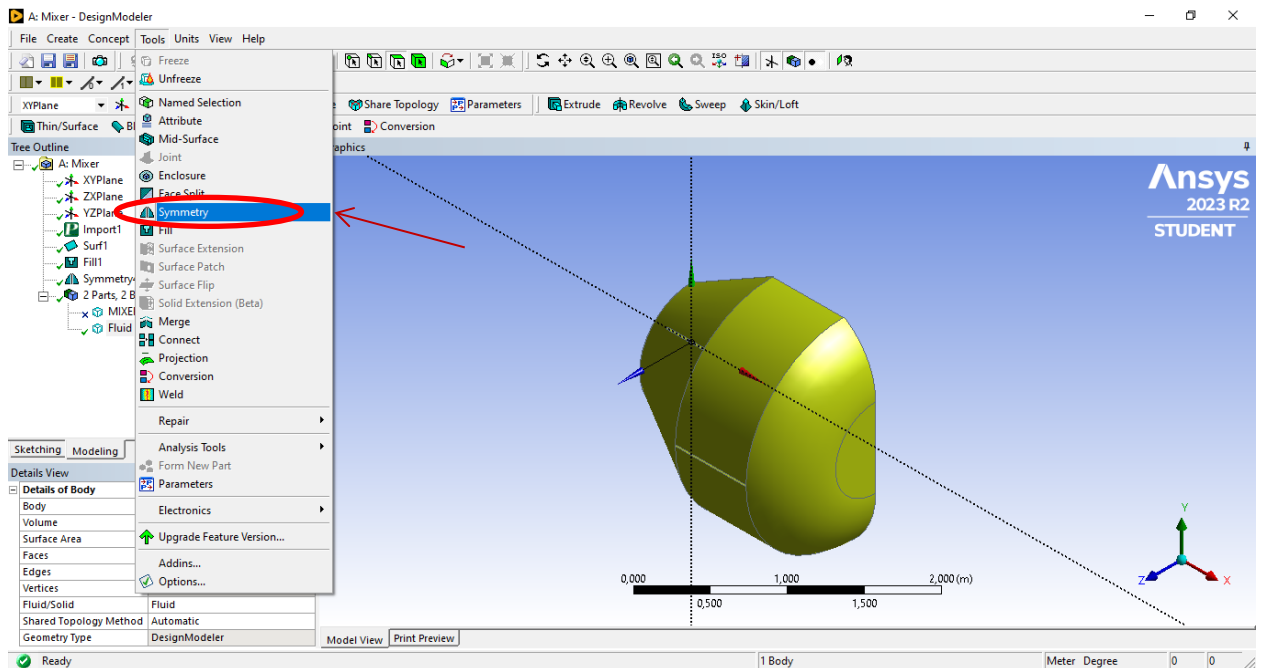


Рисунок 4.7 – Функція Symmetry

Переходимо до блоку Mesh (Сітка). У блоці Mesh створюємо сітку для тіла (АМ). (рис. 4.8)

У блоці Сітка створюємо сітку для тіла, яка використовуватиметься для розрахунку у блоці Solution (Рішення). Сітка – це розбиття тіла на кінцеві елементи, які є основою для вирішення рівнянь, що описують фізичні процеси у тілі.

Ви можете переглянути та перевірити якість сітки, використовуючи різні інструменти, такі як статистика сітки, гістограма якості, ізолінії якості, колірна карта якості тощо.

1. Physics Preference (Перевага фізики) - CFD;
2. Solver Preference (Перевага розв'язувача) - Fluent;
3. Element Order (Порядок елементів) – Element Size (Розмір елемента) = 50.

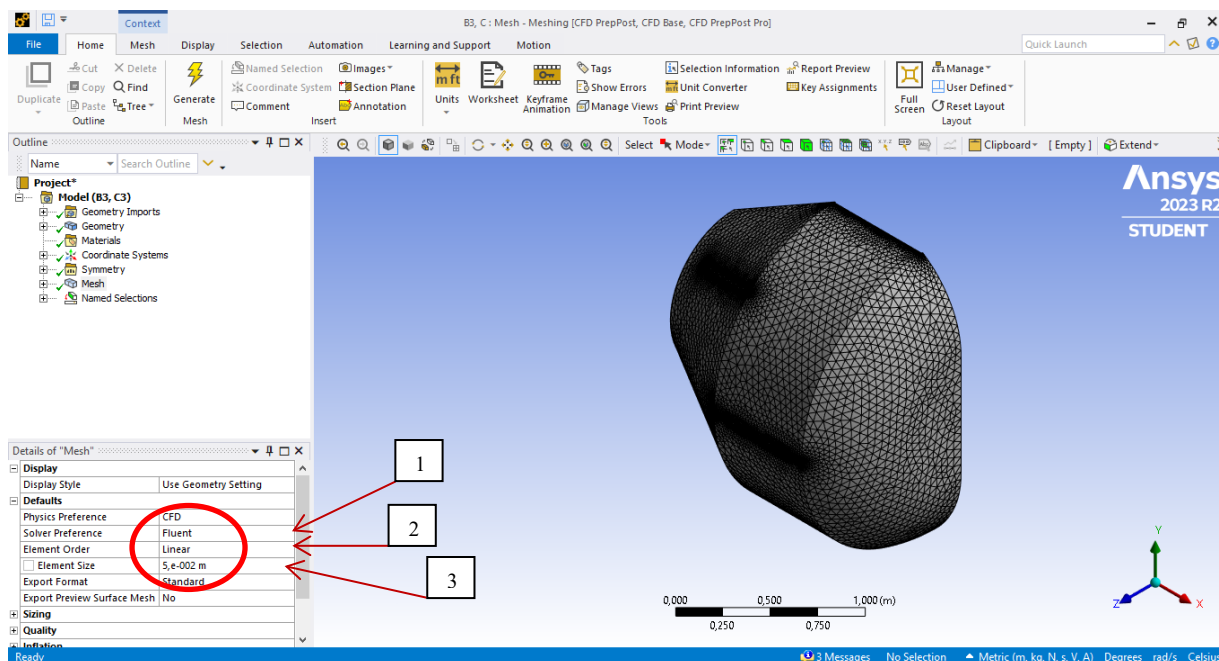


Рисунок 4.8 – Створення сітки (Mesh)

Даємо імена поверхонь як барабана, так і поверхонь лопаток для змішування. (рис. 4.9)

Давати імена поверхням лопаток та барабана - це процес, який дозволяє ідентифікувати та розрізняти різні частини моделі, що мають різну геометрію, властивості та функції.

Це потрібно для того, щоб:

- Спростити та структурувати проект, використовуючи логічну ієрархію іменування.
- Полегшити вибір та редагування поверхонь, використовуючи їхні імена замість координат чи номерів.
- Встановити граничні умови, навантаження, матеріали та інші параметри для поверхонь, використовуючи їхні імена як посилання.
- Аналізувати та візуалізувати результати розрахунку, використовуючи імена поверхонь для фільтрації, сортування, групування та кольорового кодування даних.

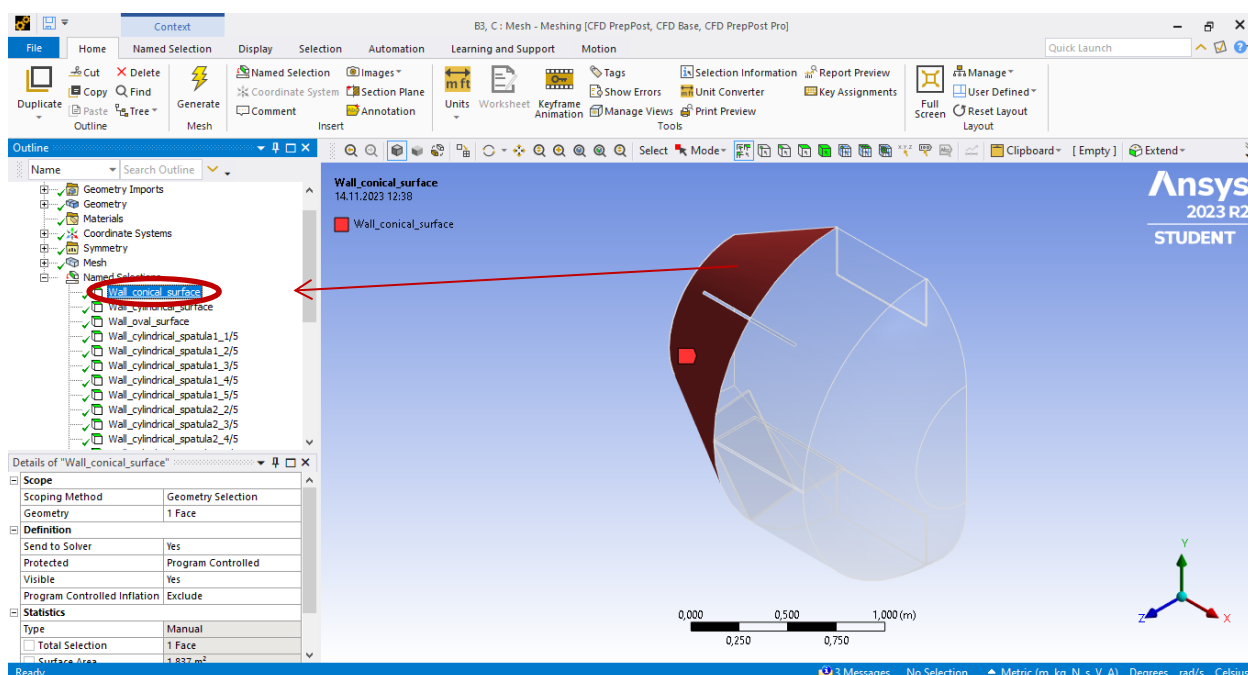


Рисунок 4.9 – Найменування поверхонь барабана

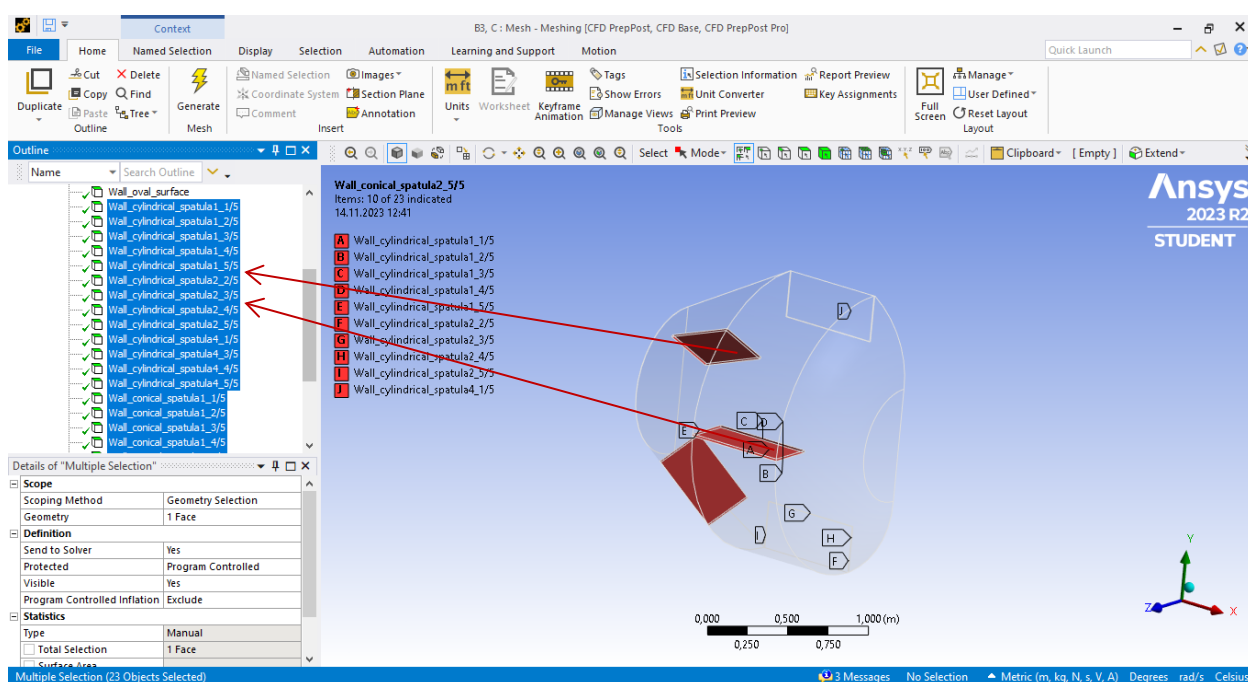


Рисунок 4.10 – Найменування поверхонь лопаток

Застосовуємо функцію Edge Sizing для більш щільної сітки в місцях лопаток, її поверхонь і граней для кращого розрахунку та видимості наступного результату. (рис. 4.11)

Функція Edge Sizing дозволяє створити щільнішу сітку в місцях лопатей, їх поверхонь і граней для кращого розрахунку та видимості наступного результату. Це потрібно для того, щоб:

- Збільшити точність і збіжність рішення, враховуючи детальніше геометрію та фізику лопатей, які піддаються складним потокам рідини чи газу.
- Поліпшити якість сітки, уникаючи надто великих чи надто маленьких елементів, які можуть призвести до спотворення чи нестійкості рішення.
- Підвищити візуальну привабливість та наочність результату, показуючи чіткіше контури, ізолінії, колірні карти та інші графічні елементи, пов'язані з лопатями.

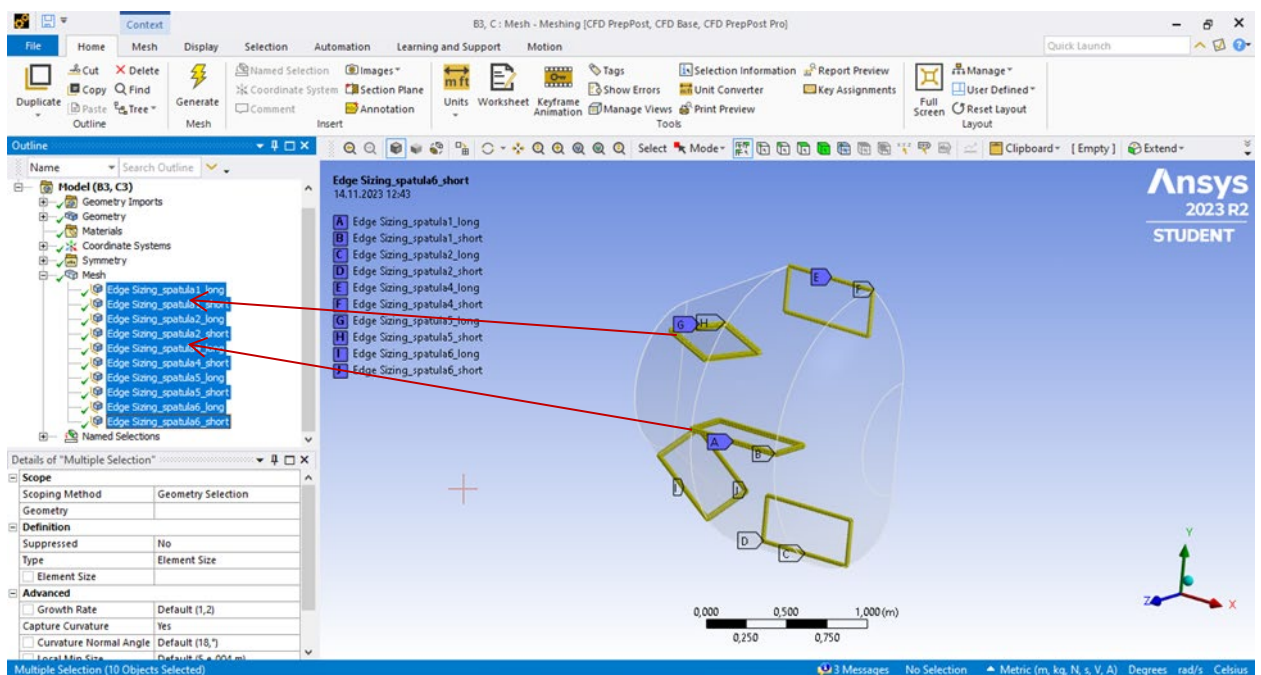


Рисунок 4.11 – Функція Edge Sizing

Загальна кількість елементів у кінцевій сітці – це показник, який характеризує кількість кінцевих елементів, на які розбито область моделювання. Кінцеві елементи – це прості геометричні фігури, такі як трикутники, чотирикутники, тетраедри, гексаедри тощо, які використовуються для апроксимації складної форми тіла та розрахунку фізичних величин у кожному елементі.

Загальна кількість елементів у кінцевій сітці впливає на точність, швидкість та витрати на розрахунок. Чим більше елементів у сітці, тим детальніше описується геометрія та фізика тіла, але тим більше часу та ресурсів потрібно для вирішення рівнянь. Тому необхідно вибирати оптимальну кількість елементів у кінцевій сітці, яка забезпечує достатню точність та ефективність розрахунку.

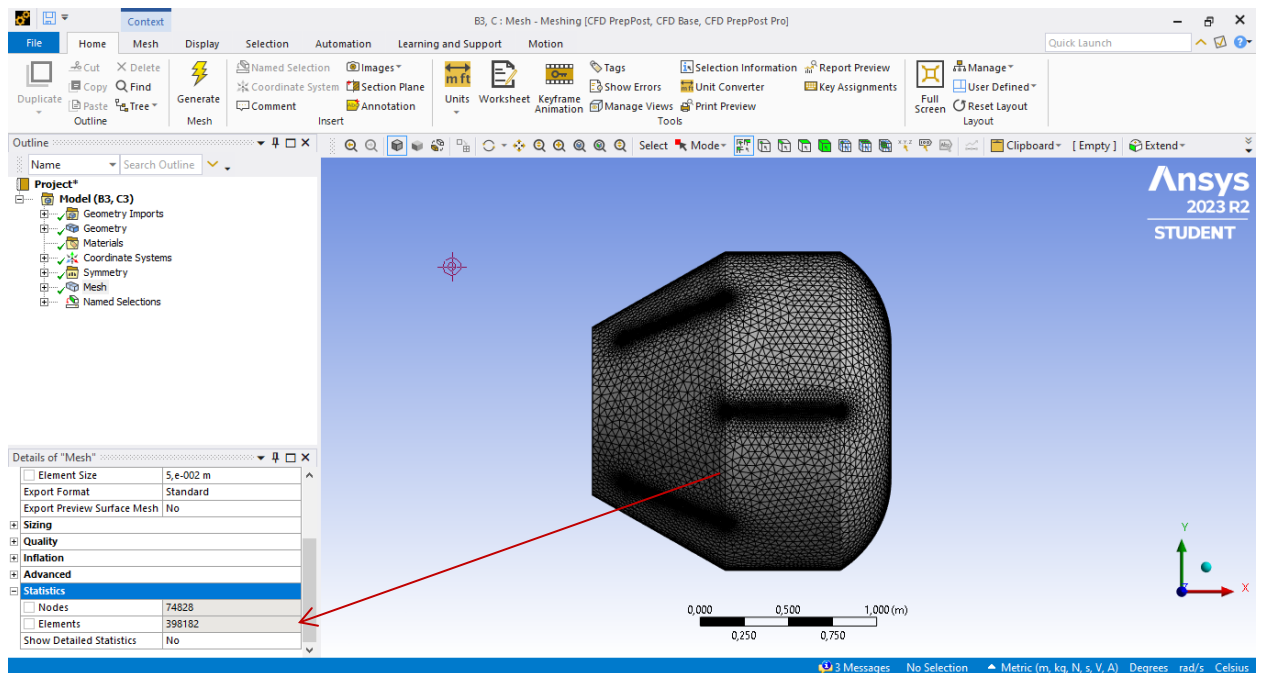


Рисунок 4.12 – Загальна кількість елементів (398 182 шт.)

Оновлюємо функцію Update (Оновити) сітку. (рис. 4.13)

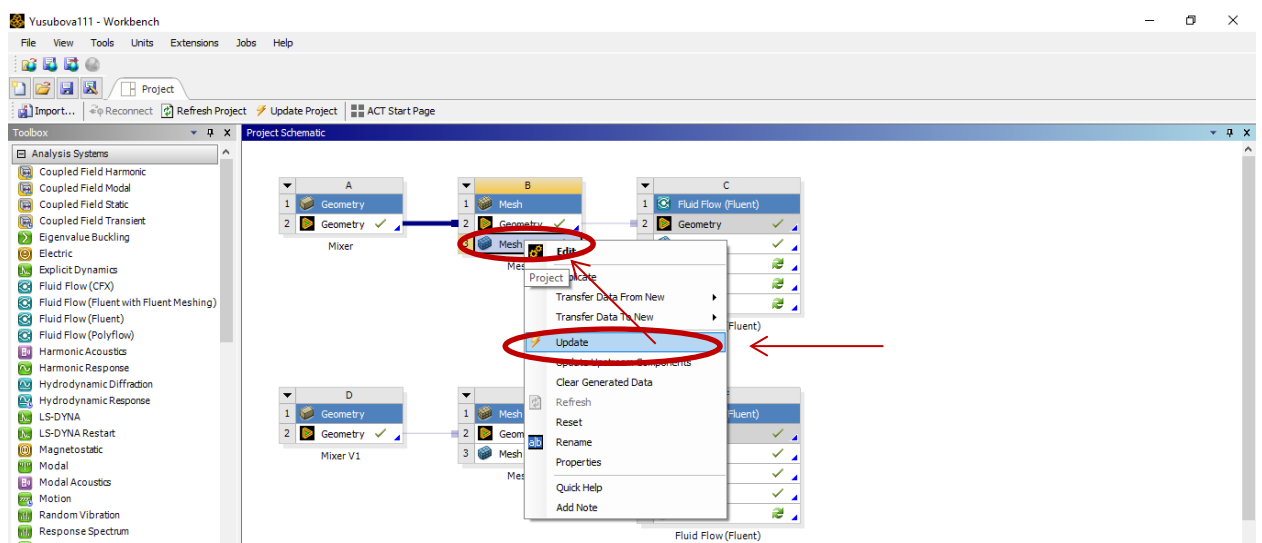


Рисунок 4.13 – Оновлення сітки

Наступним кроком є налаштування блоку Setup. (рис. 4.14)

Налаштування блоку Setup – це тема, яка стосується налаштування параметрів для вирішення задачі у програмі Ansys. Це потрібно для того, щоб:

- Вибрати відповідний вирішувач, який відповідає типу та складності завдання, такого як статичний, динамічний, тепловий, гідродинамічний тощо.
- Вказати необхідні фізичні моделі, які описують поведінку матеріалів, середовища та взаємодії між ними, такі як лінійна чи нелінійна, пружна чи пластична, ізотропна чи анізотропна, однофазна чи багатофазна тощо.
- Встановити граничні умови, навантаження, обмеження та інші вхідні дані, які визначають зовнішній вплив на модель, такі як сила, тиск, температура, переміщення, швидкість, прискорення тощо.
- Налаштувати вихідні дані, що характеризують результат рішення, такі як напруга, деформація, тепловий потік, потік рідини чи газу, реакція опор тощо.
- Вибрати схему дискретизації, метод вирішення, критерії збіжності та інші опції, що впливають на точність, швидкість та стабільність рішення.

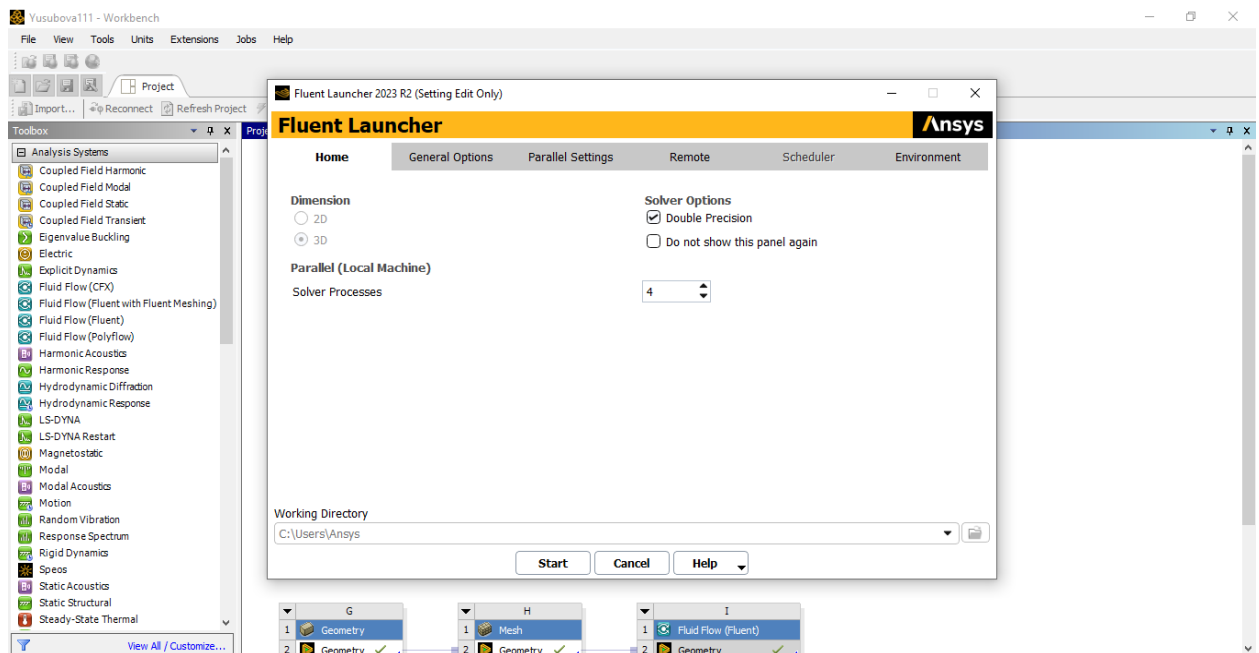


Рисунок 4.14 – Запуск Fluid Flow (Fluent)

В General включаємо гравітацію і задаємо параметри, так як змішувальний барабан нахилений на 15 градусів, розраховуємо яка повинна бути гравітація і вносимо параметри. (рис. 4.15)

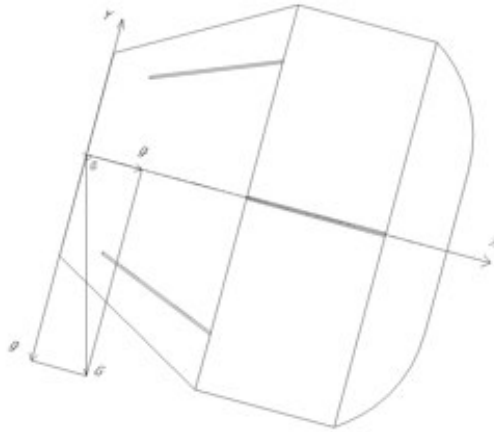


Рисунок 4.15 – Схема координат центра мас змішувального барабана

$$g_y = G \cdot \sin 15$$

$$g_x = G \cdot \cos 15,$$

де G- прискорення вільного падіння, $9,82 \text{ м/с}^2$

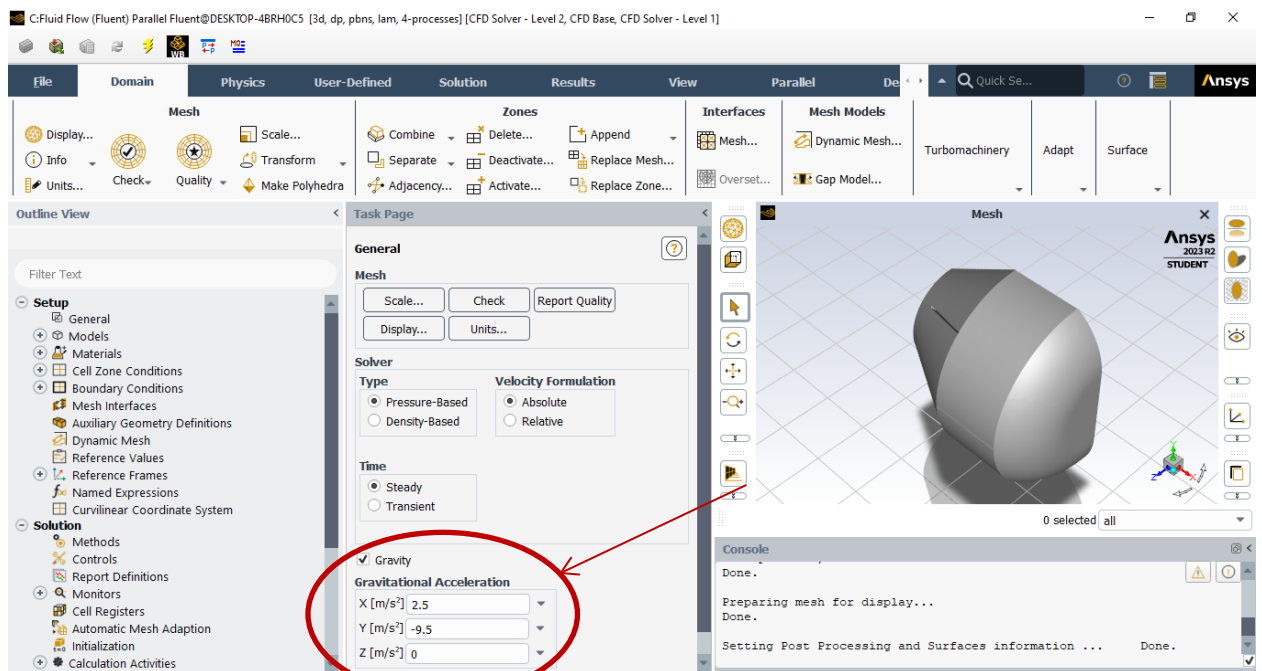


Рисунок 4.16 – Налаштування показників гравітації в General

У Models Viscous (SST k-omega), (Моделі В'язкі (SST k-omega)), останні параметри залишаємо вимкнені. (рис. 4.17)

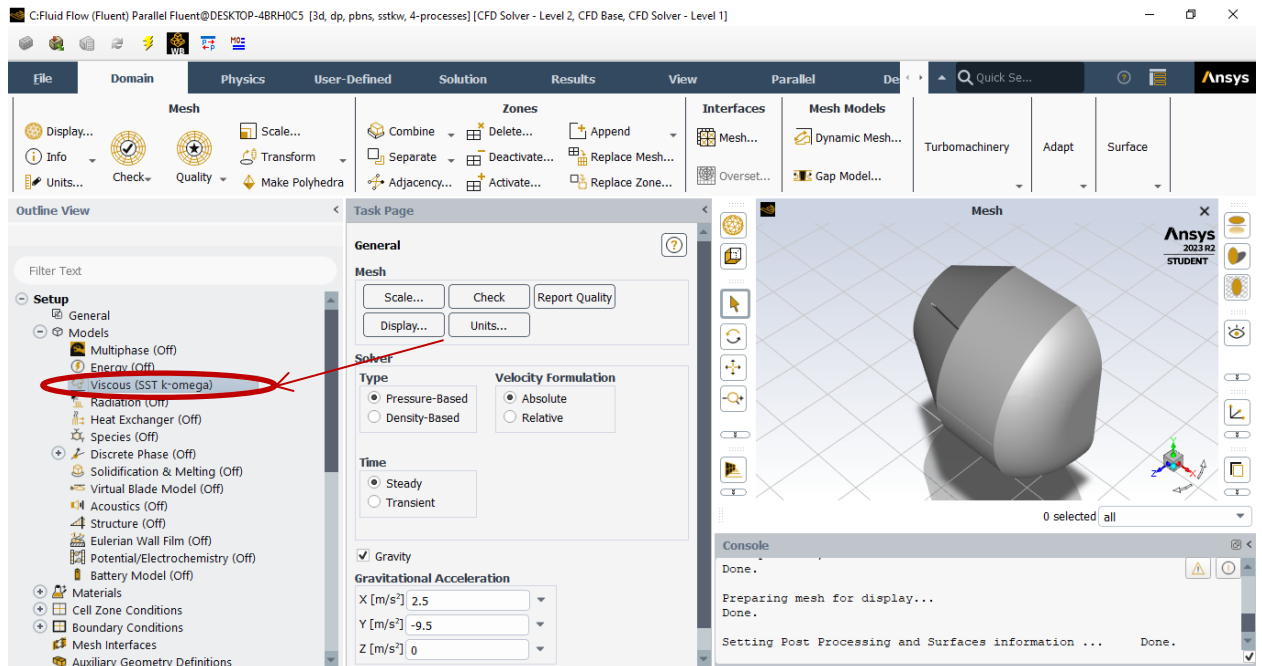


Рисунок 4.17 – Налаштування Viscous в General

У Materials – Fluid (Матеріали – Рідина) створюємо матеріал бетонну суміш concrete-mixture із щільністю 2000 кг/м^3 , у Solid (Тверде тіло) вибираємо з бібліотеки Fluent Database – Steel (База даних Fluent - Сталь). (рис. 4.26)][6]

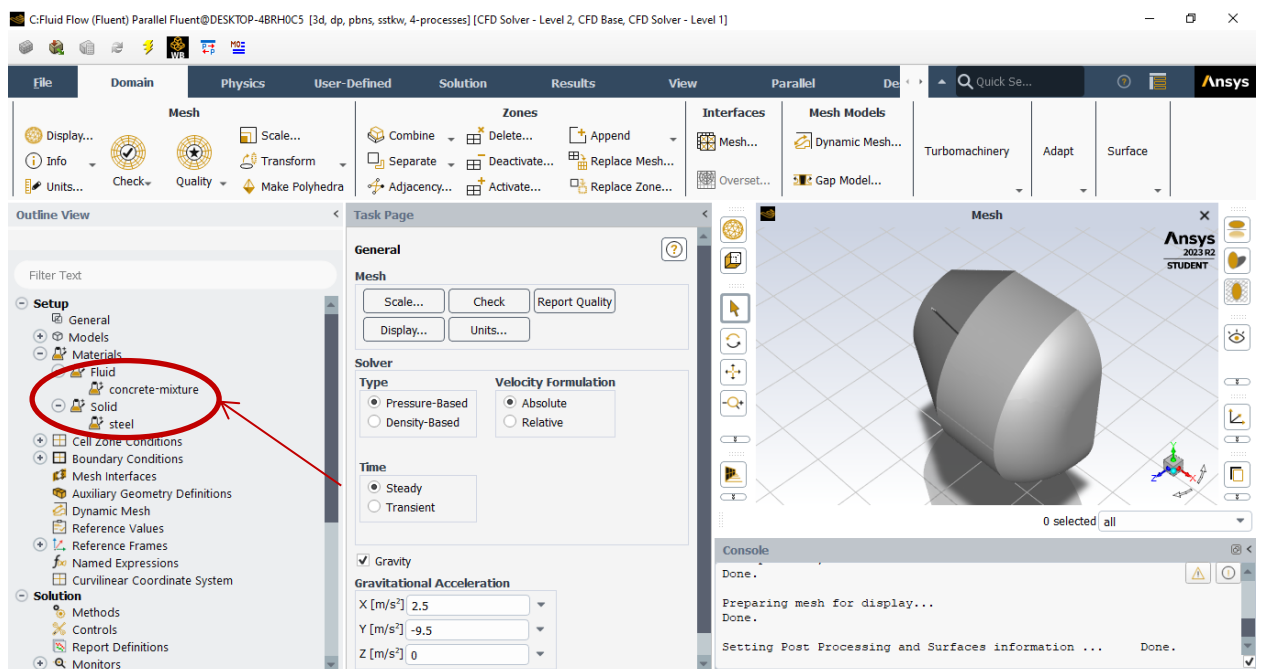


Рисунок 4.18 – Налаштування в General Materials - Fluid

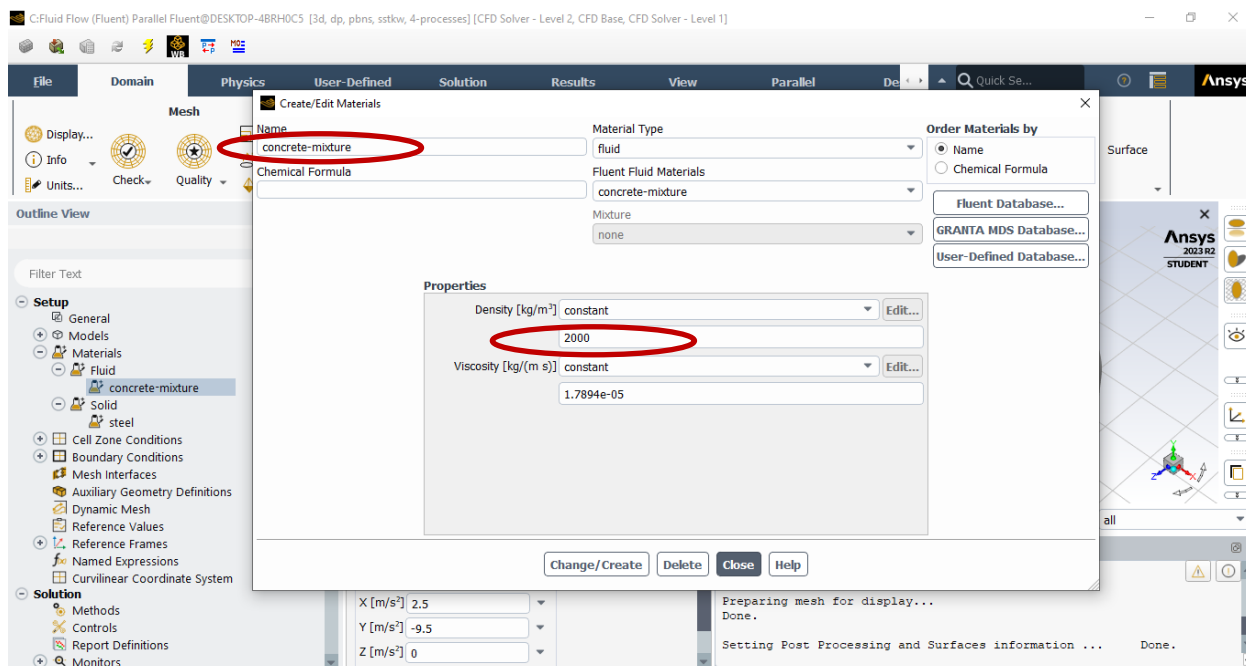


Рисунок 4.19 – Налаштування в General Materials - Solid

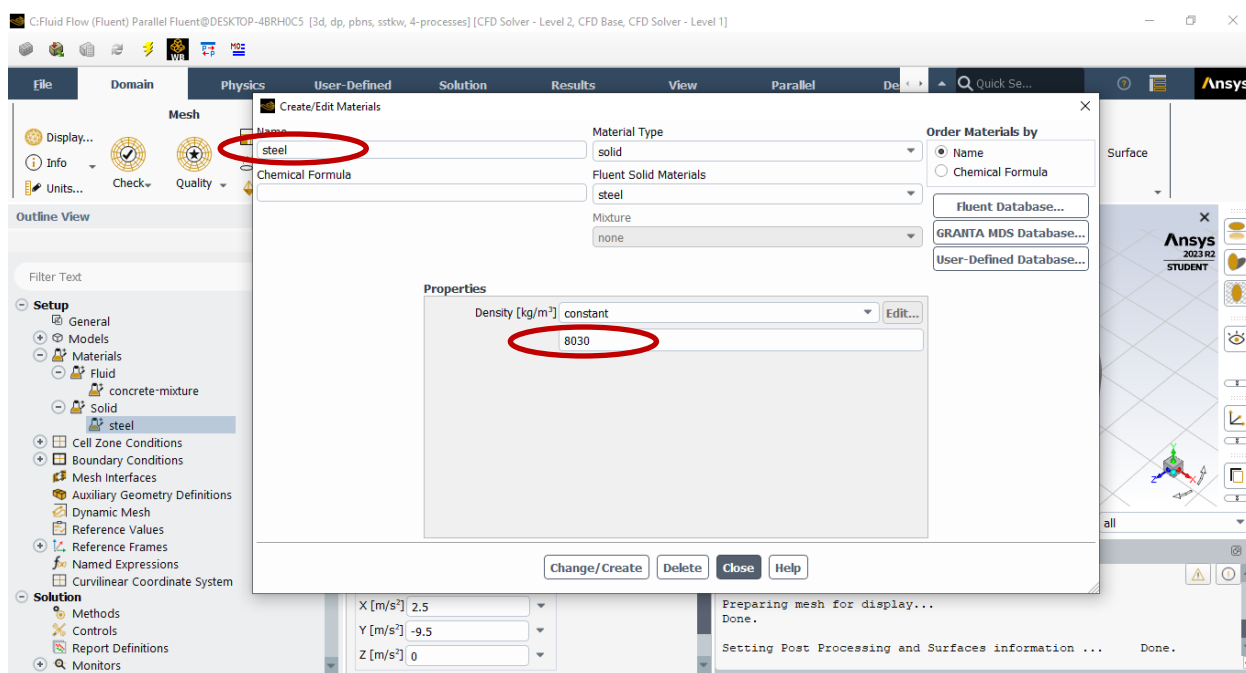


Рисунок 4.20 – Налаштування в General Materials - Solid

Переходимо в Solution – Methods (Рішення – Методи) вибираємо метод Scheme-Coupled (Схема-зв'язана). (рис. 4.21)

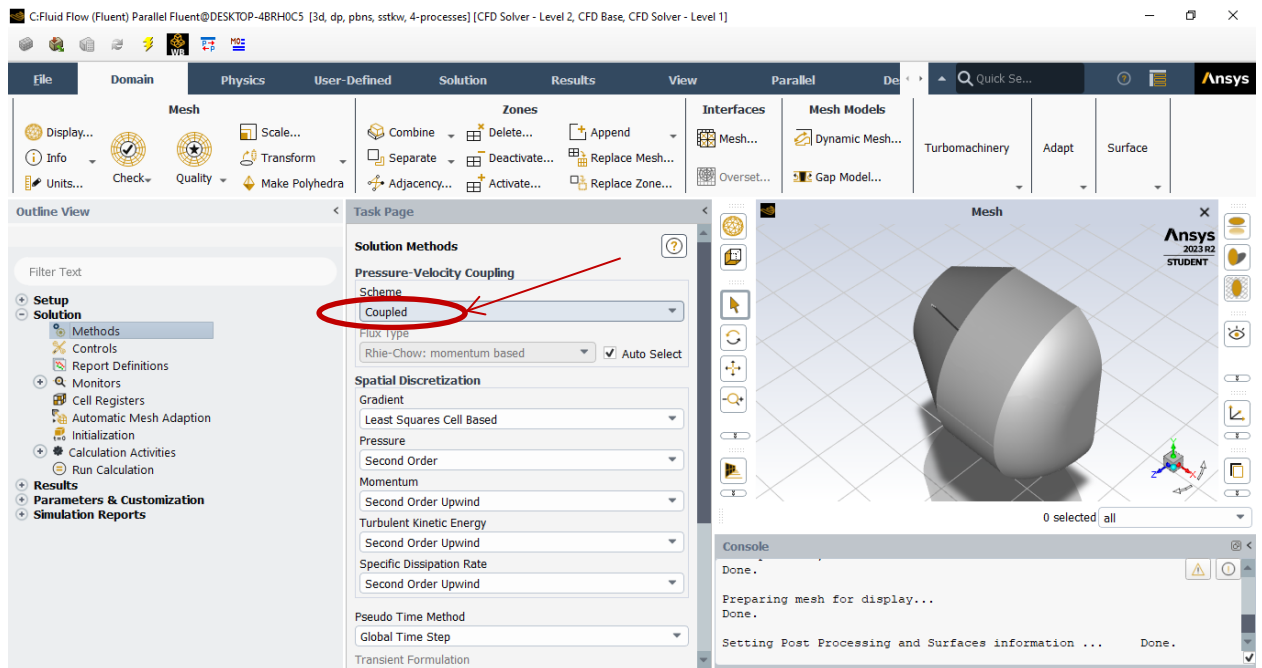


Рисунок 4.22 – Налаштування в Solution – Methods

Проводимо Hybrid Initialization (Гібридна ініціалізація). (рис. 4.23)
 Hybrid Initialization (Гібридна ініціалізація) - це процес ініціалізації, який виконується комп'ютером шляхом розрахунку поля змінних (тиску, температури, швидкості тощо) за допомогою певних рівнянь, наприклад, поле швидкості розраховуватиметься за допомогою рівняння Лапласа, а температура буде постійною у всій області.

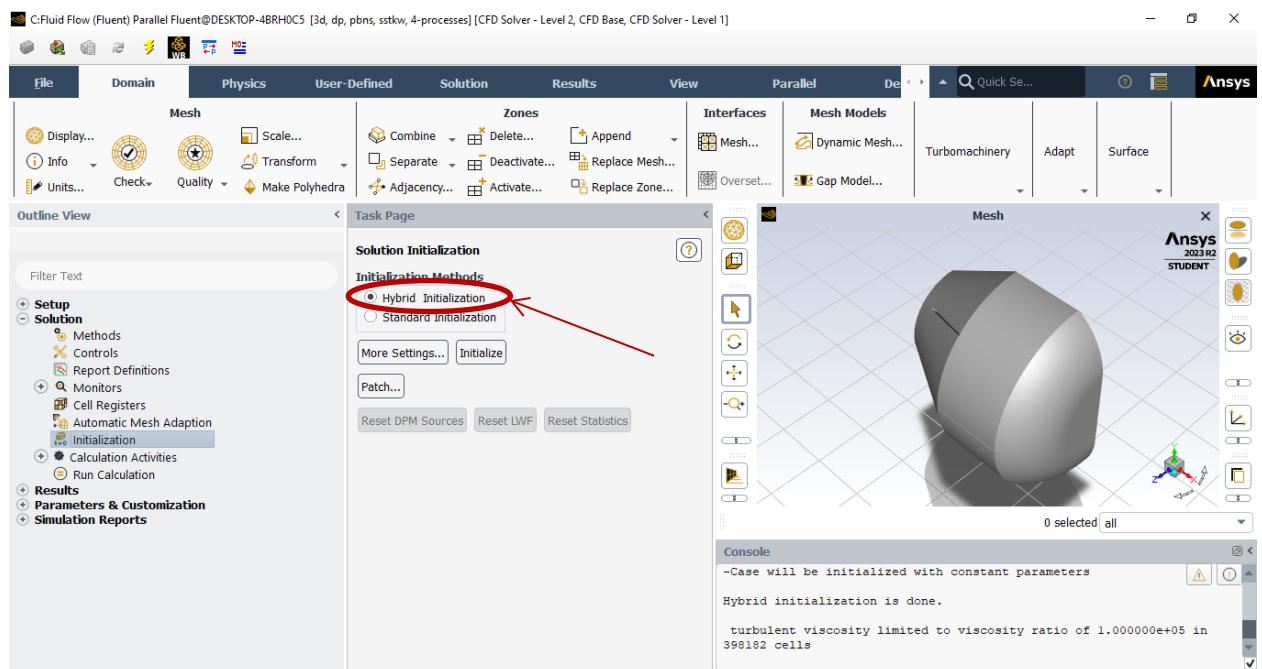


Рисунок 4.23 – Ініціалізація тіла

Включаємо Run Calculation (Виконайте розрахунок), з кількістю ітерацій 1000.

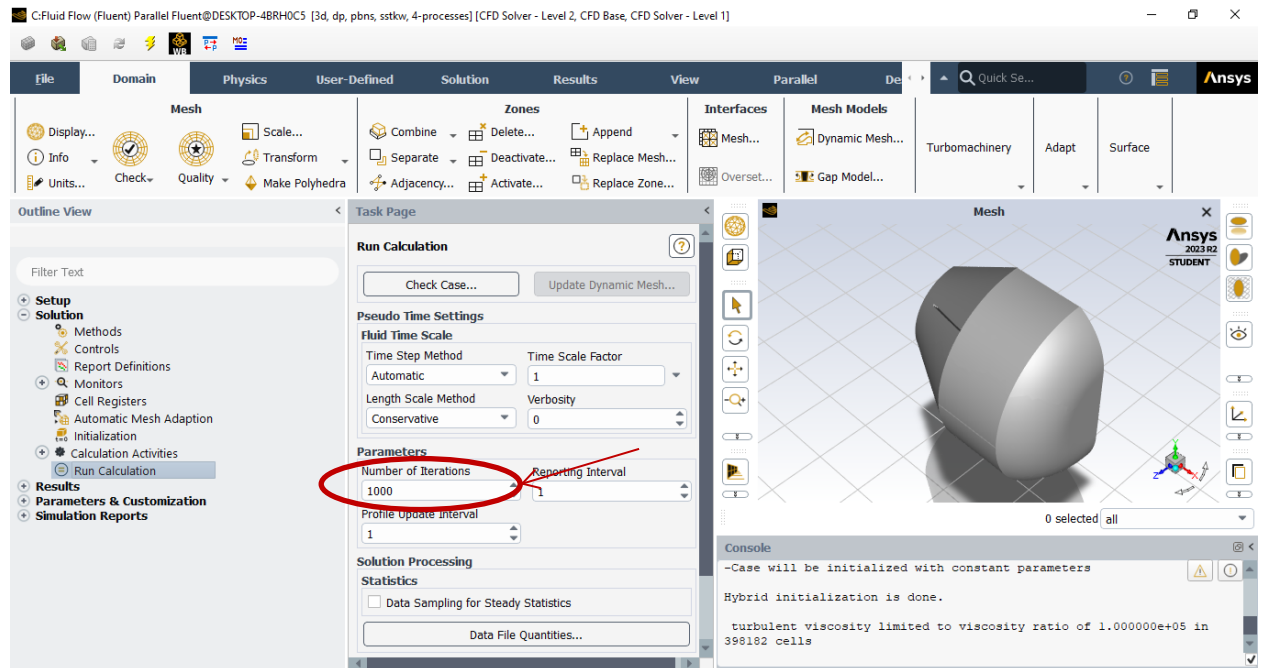


Рисунок 4.24 – Розрахунок в Ansys Student Fluent

Після проведення розрахунків проводимо аналіз результатів. Перейшовши в Results-Surfaces (Результати-поверхні) створимо площин, завдяки яким точніший видно результат. (рис. 4.25)

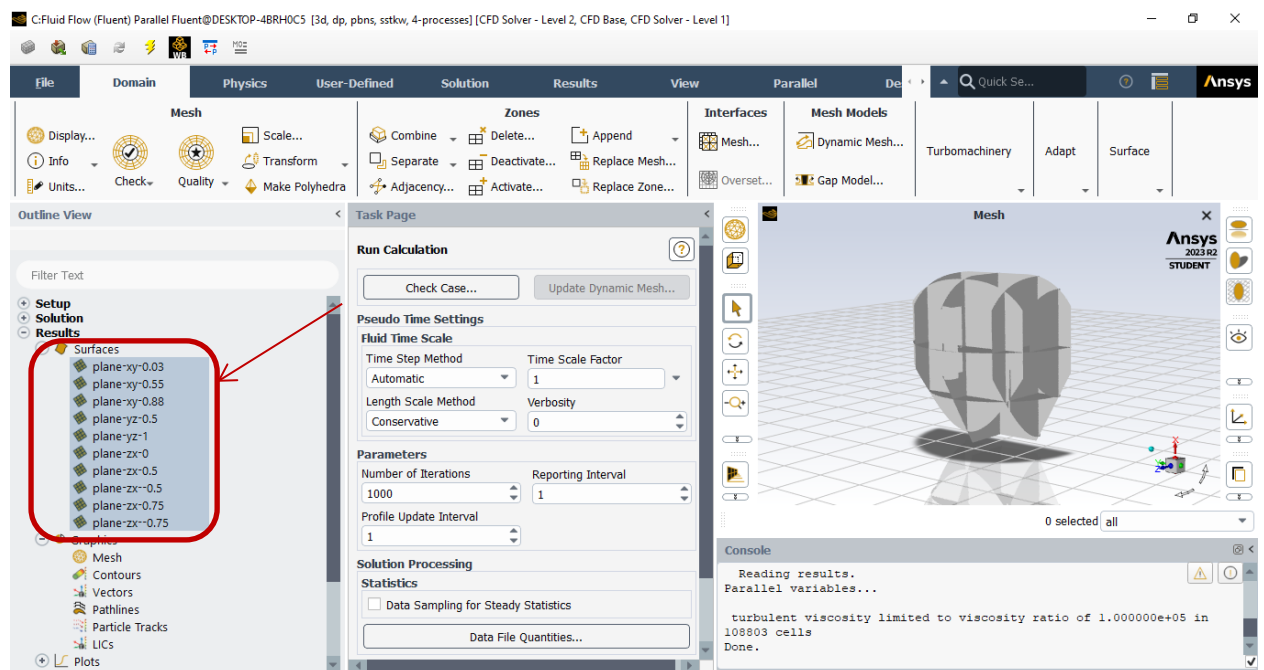


Рисунок 4.25 – Аналіз результатів: створення площин

Створюємо Results-Contours (Результати-контури) і Results-Vectors (Вектори результатів) на яких видно відображення заданих параметрів. (рис. 4.26)

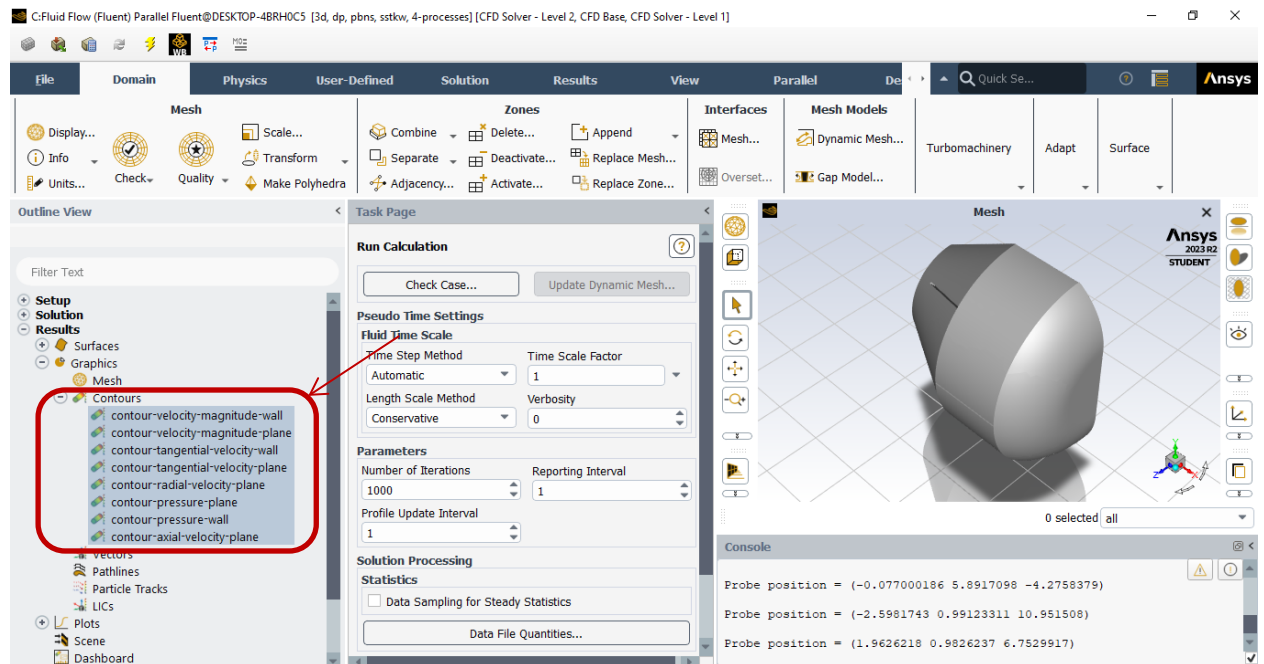


Рисунок 4.26 – Аналіз результатів: створення контурів

Ці розрахунки потрібні для того, щоб моделювати та аналізувати різні фізичні процеси та явища, що відбуваються в бетонозмішувачі та навколо неї. Ці розрахунки допомагають:

- Зрозуміти та оптимізувати процес змішування бетону, враховуючи вплив різних факторів, таких як форма та розмір бетономішалки, швидкість та напрямок обертання, властивості та склад бетонної суміші, температура та вологість навколишнього середовища тощо.
- Перевірити та покращити якість та ефективність бетономішалки, оцінюючи різні параметри, такі як рівномірність та однорідність розподілу компонентів суміші, мінімальний час змішування, продуктивність, надійність, енергоспоживання, знос тощо.
- Розробити та протестувати нові конструкції та технології для бетономішалки, використовуючи віртуальні прототипи та експерименти, які скорочують час та витрати на розробку та випробування реальних зразків.

- Вирішувати різні практичні та наукові завдання, пов'язані з бетономішалкою, такі як вибір оптимальних параметрів змішування, проектування та розрахунок сітки кінцевих елементів, налаштування та вирішення рівнянь, що описують потік рідини чи газу, аналіз та візуалізація результатів розрахунку тощо.

5. РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ БЕТОНОЗМІШУВАЧА

Покращувати технічне обладнання, таке як бетонозмішувач, - це тема, яка має велике значення для розвитку та вдосконалення будівельної галузі. Поліпшення технічного обладнання дозволяє:

- 1) Підвищити якість та ефективність виробництва бетону, який є одним із найважливіших та поширених будівельних матеріалів, що використовуються у різних галузях людської діяльності. Поліпшення технічного обладнання сприяє оптимізації процесу змішування бетону, враховуючи вплив різних факторів, таких як форма та розмір бетономішалки, швидкість та напрямок обертання, властивості та склад бетонної суміші, температура та вологість навколишнього середовища тощо. Також покращення технічного обладнання допомагає підвищити рівномірність та однорідність розподілу компонентів суміші, мінімальний час змішування, максимальну продуктивність та мінімальну витрату енергії.
- 2) Знизити витрати та ризики, пов'язані з виробництвом, транспортуванням та використанням бетону, враховуючи економічні, екологічні та соціальні аспекти. Поліпшення технічного обладнання дозволяє скоротити вартість та час виробництва бетону, а також зменшити втрати та відходи матеріалів. Також покращення технічного обладнання сприяє зниженню енергоспоживання та викидів забруднюючих речовин у навколишнє середовище, а також підвищенню безпеки та здоров'я працівників та споживачів бетону.
- 3) Розробити та протестувати нові конструкції та технології для бетономішалки, використовуючи сучасні наукові та інженерні підходи та інструменти. Поліпшення технічного обладнання дозволяє досліджувати та моделювати різні фізичні процеси та явища, що відбуваються в бетонозмішувачі та навколо неї, за допомогою теоретичних, експериментальних чи чисельних методів.

Також покращення технічного обладнання дозволяє створювати та перевіряти віртуальні прототипи та експерименти, які скорочують час та витрати на розробку та випробування реальних зразків.

5.1 Переваги та перспективи удосконалення конструкції змішувачів.

Удосконалення змішувачів для сипких зволожених матеріалів важливе з кількох причин:

1. Підвищення ефективності процесу: Поліпшення конструкції та технології змішувачів може призвести до більш ефективного процесу змішування, що, у свою чергу, може підвищити продуктивність та якість кінцевого продукту.

2. Зниження витрат: Удосконалені змішувачі можуть бути більш енергоефективними, що може призвести до зниження операційних витрат.

3. Покращення безпеки: Нові конструкції та технології можуть також покращити безпеку процесу змішування, мінімізуючи ризик аварій та пошкоджень обладнання.

4. Розширення можливостей застосування: Удосконалення змішувачів може розширити діапазон матеріалів та умов, за яких вони можуть бути використані, що відкриває нові можливості для промисловості.

5. Стійкість до зносу: Поліпшені конструкції можуть бути більш стійкими до зносу, що збільшує термін служби обладнання та знижує витрати на його обслуговування та ремонт.

5.2 Поліпшення надійності технологічного обладнання.

Технологічна надійність обладнання – це його властивість зберігати в заданих межах та в часі значення показників, що визначають якість здійснення технологічного процесу. До показників якості технологічного обладнання відносяться його геометрична точність, жорсткість, вібростійкість та інші, які визначають точність обробки, якість поверхні та фізичні характеристики матеріалу оброблюваної деталі.[17]

Хоча показники якості виробів залежать не тільки від обладнання, але і від технологічного оснащення, інструменту, режимів обробки, кваліфікації робітника та інших причин, можливості обладнання відіграють, як правило, основну роль. Тому не лише забезпечення високих початкових характеристик технологічного обладнання, а й тривале їх збереження у процесі роботи – необхідна умова надійного здійснення технологічного процесу.

Надійність є комплексним поняттям і включає низку показників. При розгляді конкретного об'єкта застосовується частина цих показників в залежності від характеристики, призначення та якості об'єкта.

5.2.1 Побудова дерева відмов

Ризик є практично у всіх сферах підприємницької діяльності. Його існування пов'язане з прийняттям рішень в умовах неповної інформації та невизначеності.

Ризик – це ймовірність сприятливих і несприятливих наслідків, які можуть настати при реалізації обраного альтернативного рішення.

Дерево відмов (аварій, подій, наслідків, небажаних подій, нещасних випадків тощо) лежить в основі моделі причинно-наслідкових зв'язків відмов системи з відмовами її елементів та іншими подіями (впливами). При аналізі виникнення відмови складається з послідовностей та комбінацій порушень і дефектів, і таким чином воно є багаторівневою графологічною структурою причинних взаємозв'язків, отриманих в результаті простеження небезпечних ситуацій у зворотному порядку, для того щоб відшукати можливі причини їх виникнення.

При аналізі «дерев відмов» виявляються комбінації відмов (неполадок) обладнання, інцидентів, помилок персоналу та нерозрахункових зовнішніх (техногенних, природних) впливів, що призводять до головної події (аварійної ситуації).

Метод використовується для аналізу можливих причин виникнення аварійної ситуації та розрахунку її частоти (на основі знання частот вихідних подій).

При аналізі дерева відмови (аварії) рекомендується визначати мінімальні поєднання подій, що визначають виникнення чи неможливість виникнення аварії.

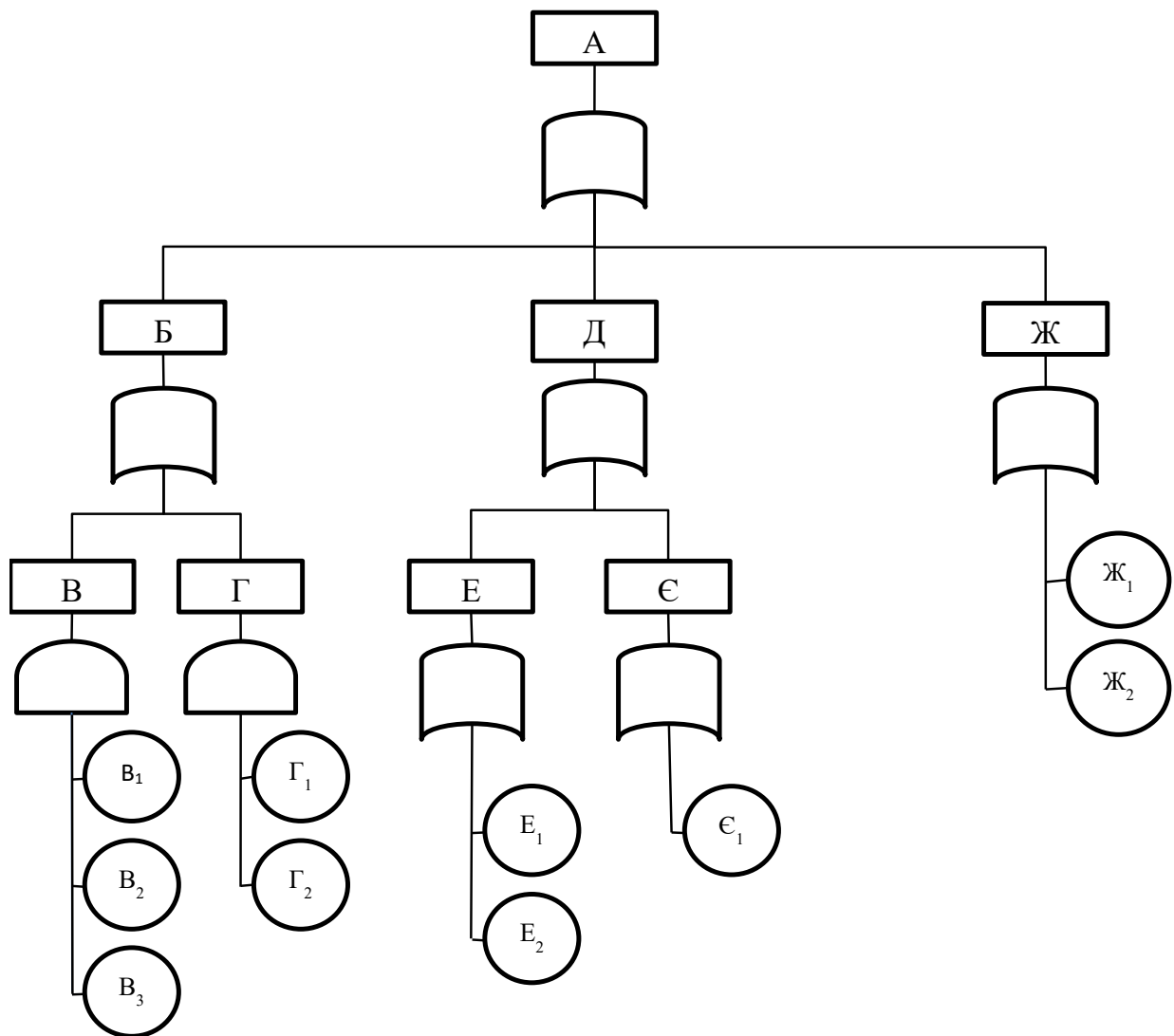


Рисунок 5.1 – Дерево відмов технічного обладнання (бетонозмішувача)

Таблиця 5.1 – Аналіз інтенсивності відмов різних подій дерева відмов протягом 10-річного періоду.

Умовні позначення	Подія	Інтенсивність відмов, міс ⁻¹
А	Припинення роботи бетонозмішувача	0,05
Б	Вихід з ладу приводу	0,01
В	Відсутність електропостачання	0,009
В ₁	Розрив в електромережі	0,05
В ₂	Відмова головного вимикача в електромережі	0,008
В ₃	Коротке замикання	0,08
Г	Перегрів електроприводу	0,009
Г ₁	Перенавантаження електроприводу	0,04
Г ₂	Перегрів обмотки електроприводу	0,02
Д	Відмова штовхача	0,06
Е	Зупинка штовхача при необхідному для роботи тиску	0,03
Е ₁	Розрив болтів на штоці	0,009
Е ₂	Заїло поршень циліндра внаслідок потрапляння бруду в мастило	0,04
Є	Штовхач рухається в одну сторону	0,02
Є ₁	Неправильно встановлені перемикачі в поршні масляного циліндра	0,06
Ж	Знос корпусу	0,03
Ж ₁	Механічне зношення стінок	0,009
Ж ₂	Корозія стінок	0,045

5.2.2 Дерево відмов у бульових тотожностях

Дерево відмов у бульових тотожностях - це спосіб перевірити, чи є даний логічний вираз істинним, хибним або можливим за будь-яких значень змінних, що входять до нього. Цей метод корисний для вирішення задач з математичної логіки, теорії алгоритмів, дискретної математики та інших галузей, де важлива роль відіграють бульові функції та операції.

$$B = B_1 \cap B_2 \cap B_3$$

$$\Gamma = \Gamma_1 \cap \Gamma_2$$

$$B = B \cup \Gamma$$

$$B = (B_1 \cap B_2 \cap B_3) \cup (\Gamma_1 \cap \Gamma_2)$$

$$E = E_1 \cup E_2$$

$$\epsilon = \epsilon_1$$

$$D = \epsilon \cup E$$

$$D = (E_1 \cap E_2) \cup (\epsilon_1)$$

$$J = J_1 \cup J_2$$

$$A = B \cup D \cup J$$

$$A = (B_1 \cap B_2 \cap B_3) \cup (\Gamma_1 \cap \Gamma_2) \cup (E_1 \cap E_2) \cup (\epsilon_1) \cup (J_1 \cup J_2)$$

Таблиця 5.2 – Мінімальні аварійні поєднання для дерева відмов бетонозмішувача

1	$B_1 \cap B_2 \cap B_3$
2	$\Gamma_1 \cap \Gamma_2$
3	E_1
4	E_2
5	ϵ_1
6	J_1
7	J_2

За результатами аналізу інтенсивності відмов різних подій дерева відмов протягом 10-річного періоду було встановлено, що найбільш

впливовими на надійність системи є події, пов'язані з механічними пошкодженнями, електричними збоями та перегрівом.

Ці події мають найвищі значення інтенсивності відмов та найбільшу частоту виникнення.

Для підвищення надійності системи необхідно забезпечити регулярне технічне обслуговування, захист від перенапруги та ефективне охолодження.

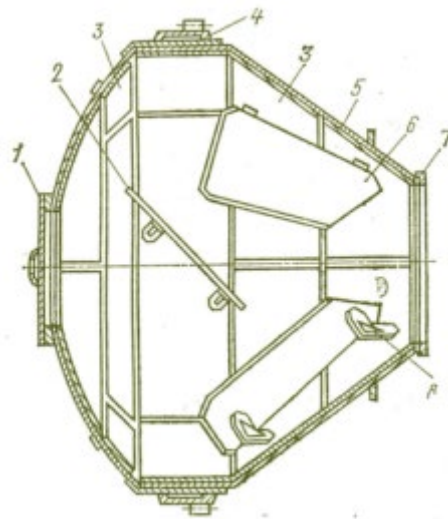
5.2.3 Технологічна схема

Змішувальний барабан (рис. 5.2) являє собою металеву ємність у вигляді двох конусів, з'єднаних циліндричною обичайкою, внутрішня поверхня якої забезпечена футеруванням зі змінних листів зі зносостійкої сталі. У барабані на кронштейнах закріплені три передні та три задні лопаті.

До циліндричної обичайки барабана із зовнішнього боку на прокладках приварений зубчастий вінець і до торця переднього конуса – фланець. Траверса є зварною конструкцією коробчастого перерізу, виконаною у вигляді півкільця з цапфами на кінцях. Цапфи з підшипниками закріплені на стійках і служать повороту змішувального барабана. На траверсі змонтовані опорні та підтримуючі ролики, що забезпечують обертання та утримання барабана під час розвантаження. На зовнішній стінці лівої стійки встановлений пневмопривід. На правій стійці знаходиться вивідна коробка та два кінцеві вимикачі крайніх положень барабана.[18]

Опорний ролик, що обертається в підшипниках, встановлений на осі, що дозволяє регулювати положення роликів для нормального зачеплення шестерні і зубчастого вінця при монтажі і зношуванні роликів. Осі встановлені на двох опорах та кріпляться до стійки траверси болтами.

Підтримувальні ролики також змонтовані в підшипниках на осі ексцентрикових, що дозволяють регулювати зазор між конічними поверхнями зубчастого вінця і ролика. Для зміщення ролика в осьовому напрямку передбачені шайби регулювальні.[18]



1 – кришка; 2,6 – задня та передня лопаті; 3 – футерування;
4 – зубчастий вінець; 5 – корпус; 7 – фланець; 8 – кронштейн.

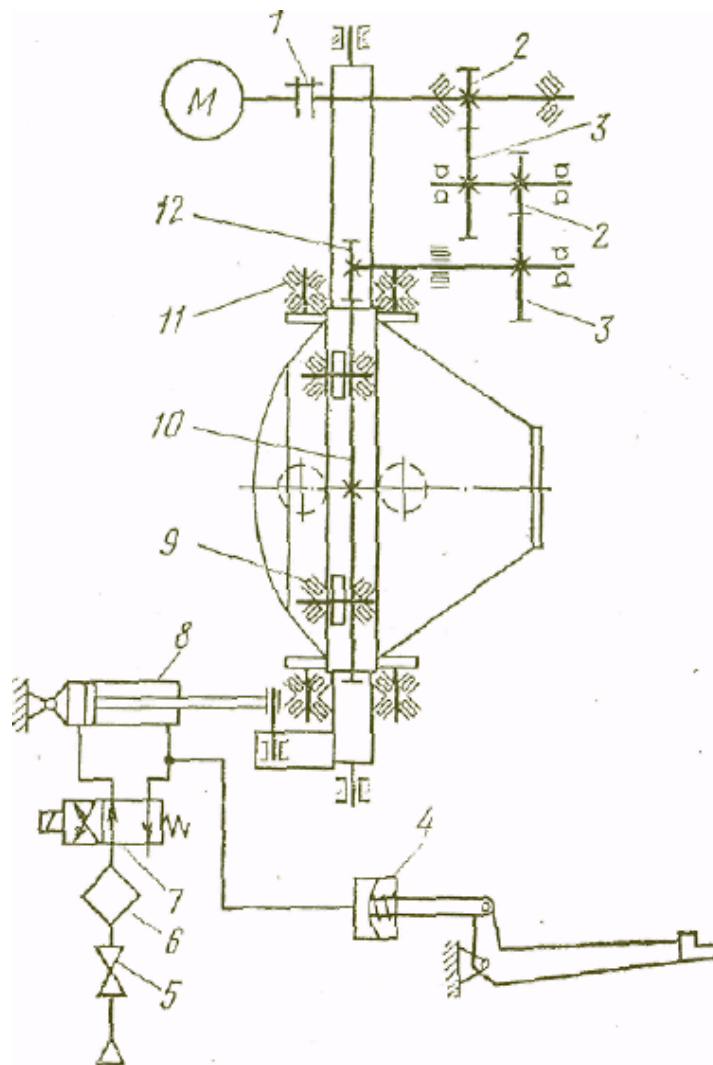
Рисунок 5.2 - Змішувальний барабан

Вивантаження готової суміші проводиться шляхом нахилу барабана, що здійснюється за допомогою пневмоциліндра, шток якого шарнірно з'єднаний з важелем повороту.

Обід барабана має три проточені поверхні - дві торцеві і одну в циліндричній частині для опорних і фіксуючих роликів, встановлених на траверсі. Барабани розглянутої конструкції використовуються для бетономішалок ємністю від 425 до 4500 л. [11]

Пневмокінематична схема бетонозмішувача СБ-103 показана на малюнку 5.3. Двоступінчастий редуктор закріплений на вертикальній стінці траверси. Рух від електродвигуна через муфту та редуктор передається шестірні та зубчастому вінцю барабана. Пневмопривід служить для перекидання барабана при розвантаженні готової суміші, повернення і фіксації його в робочому положенні і включає пневмоциліндр, повітророзподільник, маслорозподільник, запірний вентиль, гумотканинні рукави і труби.[11]

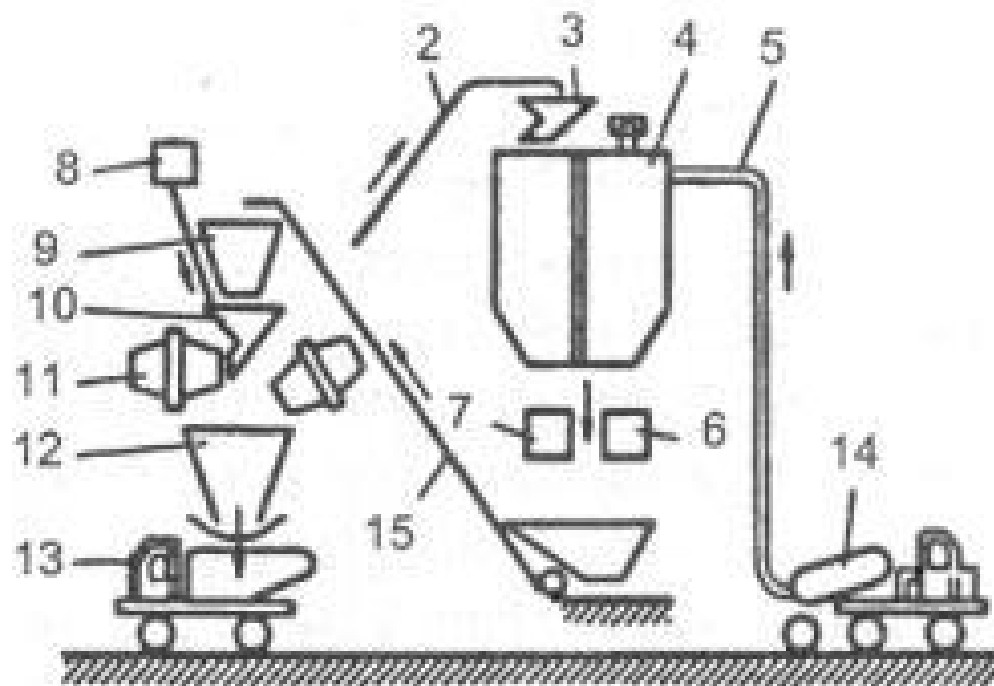
Пневмоциліндр виконаний з гальмівним пристроєм, що дозволяє змінювати швидкість руху поршня в кінці перекидання та підйому барабана.



- 1 - втулко-пальцева муфта; 2 - вали-шестірні; 3 – зубчасті колеса;
 4 - запірний пристрій; 5 – вентиль; 6 - маслорозпилювач;
 7 - розподільник повітря; 8 – пневмоциліндр; 9, 11 - підшипники опорного та
 підтримуючого ролика; 10 - зубчастий вінець; 15 – зубчаста шестерня.

Рисунок 5.3 - Пневмокінематична схема принципу роботи бетонозмішувача
 СБ-103

Підйом складових матеріалів бетонної суміші відбувається двічі, тобто. складові бетонної суміші спочатку піднімають у видаткові бункери, потім вони опускаються самопливом, проходячи через власні дозатори, потрапляють у загальну приймальну лійку і знову піднімаються вгору для завантаження в бетонозмішувач. Перевагою цієї схеми є менша вартість монтажу, а недоліком – більша площа забудови.[11]



2 – конвеєр складу заповнювачів у видаткові бункери; 3, 9, 10 – поворотна напрямна та розподільна; 4 – видаткові бункери; 5 – трубопровід подачі цементу; 6 – дозатор цементу; 7 – дозатор заповнювачів; 8 – дозатор води; 11 – бетонозмішувачі; 12 – роздатковий бункер; 13 – автобетоновоз; 14 – автоцементовоз; 15 – скіповий витяг.

Рисунок 5.4 - Схема компонування бетонозмішувальних заводів та установок.

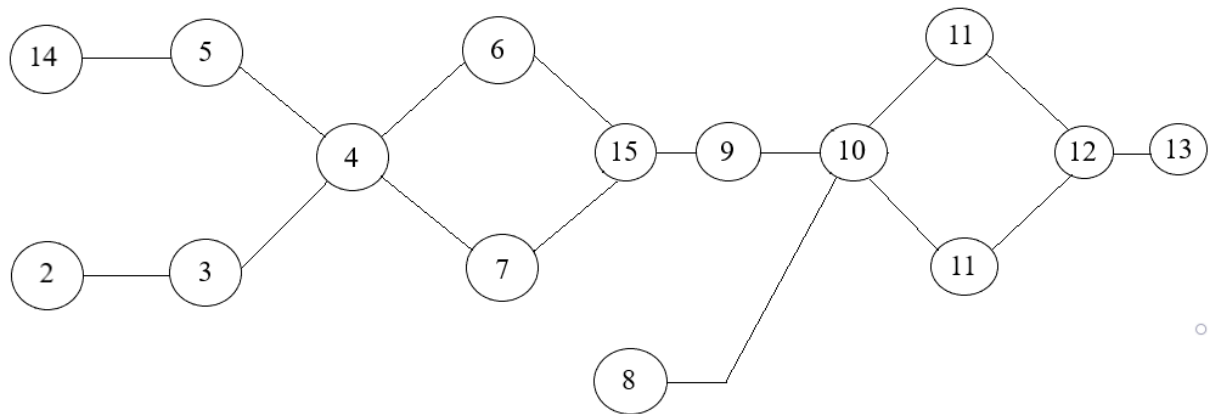


Рисунок 5.5 – Технологічна схема приготування бетонної суміші

Бульове рівняння відмови в цій технологічній схемі матиме наступний вигляд:

$$B_1 = (2 \cap 14) \cup (3 \cap 5);$$

$$B_2 = 6 \cup 7;$$

$$B_3 = 11 \cup 11$$

$$B_{16} = (B_1 \cap B_4 \cap B_2 \cap B_{15} \cap B_9) \cup B_8$$

$$B_0 = B_1 \cap B_4 \cap B_2 \cap B_{15} \cap B_9 \cap B_{10} \cap B_{16} \cap B_{11} \cap B_{12} \cap B_{13}$$

5.3 Підвищення за рахунок зміни конструкції лопаток та матеріалу

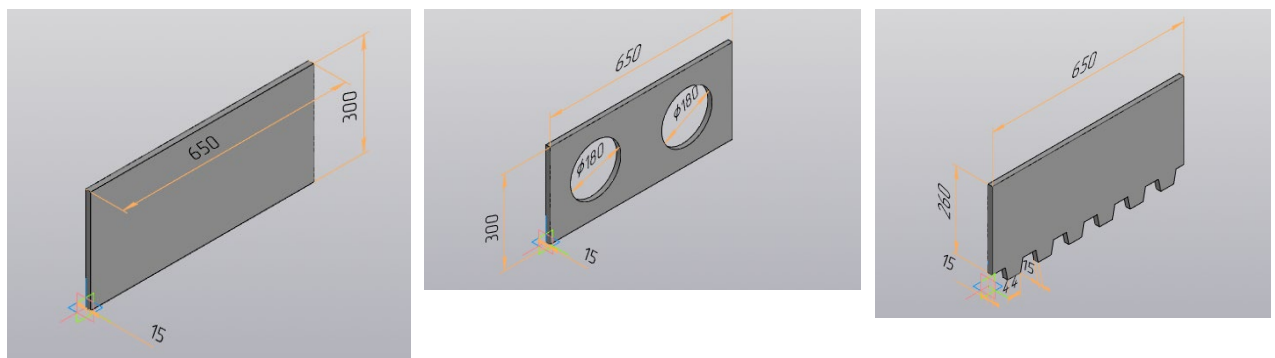
5.3.1 Моделювання процесу змішування з заміною конструкції лопаток.

Було вибрано Ansys Student для роботи, тому що це одна з найпотужніших та універсальних систем для інженерної симуляції. Ansys дозволяє моделювати та аналізувати різні фізичні процеси та явища, які пов'язані з темою дослідження. Ansys також дає можливість перевіряти та оптимізувати рішення, враховуючи різні фактори та умови.

Ansys допомагає заощадити час та ресурси, а також підвищити якість та надійність нашого продукту чи технології.

У цьому абзаці я провела розрахунки в Ansys Student, використовуючи три види лопаток для бетонозмішувача. Метою розрахунків була оцінка впливу форми та розміру лопаток на ефективність змішування бетону та споживання енергії.

Нижче приведено варіанти лопаток застосованих для розрахунку і аналізу результатів в Ansys Student. (рис. 5.6)



а)

б)

в)

Рисунок 5.6 – Лопатки бетонозмішувача: **а)** звичайна лопатка; **б)** лопатка з отворами; **в)** лопатка із зубами

Було розглянуто три види лопаток: звичайні прямокутні, прямокутні з двома отворами та прямокутні із зубами на краю. Форма та розміри лопаток показані на рис. 5.6. Я використовувала метод кінцевих елементів для розрахунку перебігу бетону в бетонозмішувачі та отримала наступні результати:

Спочатку проаналізуємо швидкості на створених площинах.

Осьова швидкість - це швидкість рідини вздовж осі обертання барабана.

На приведених нижче результатах на рис. 5.7 видно, що звичайні лопатки мають найнижчу осьову швидкість, оскільки вони зменшують опір потоку рідини та знижують відцентровий тиск.

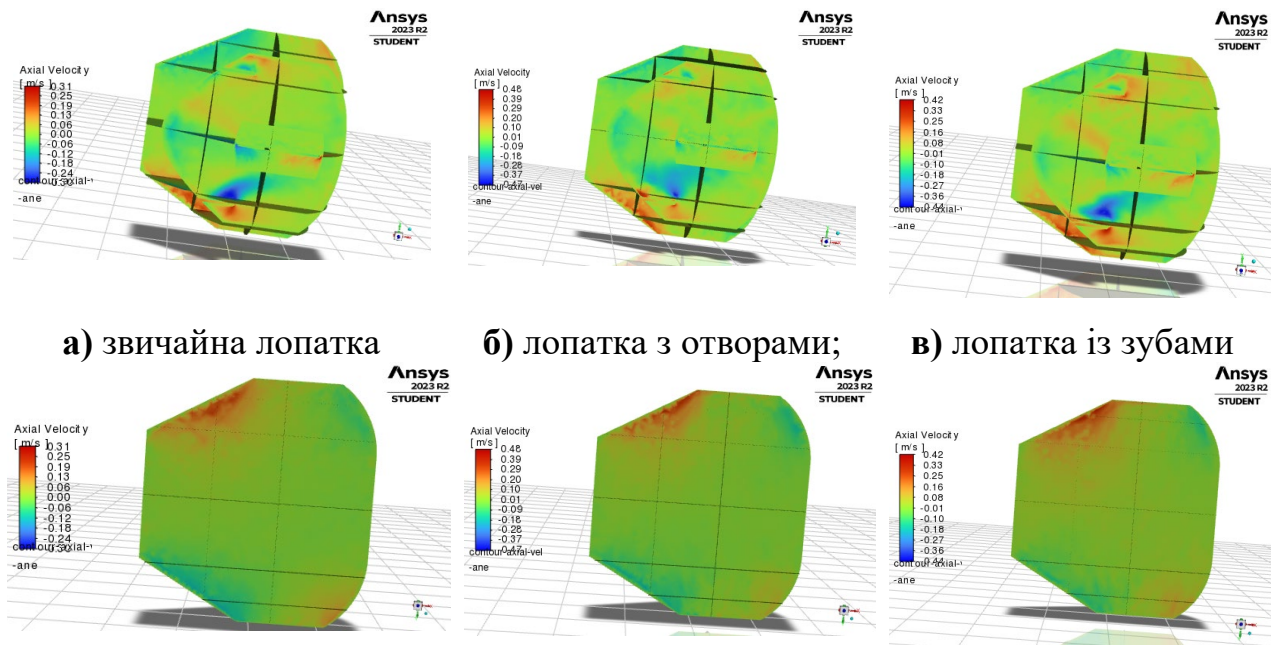
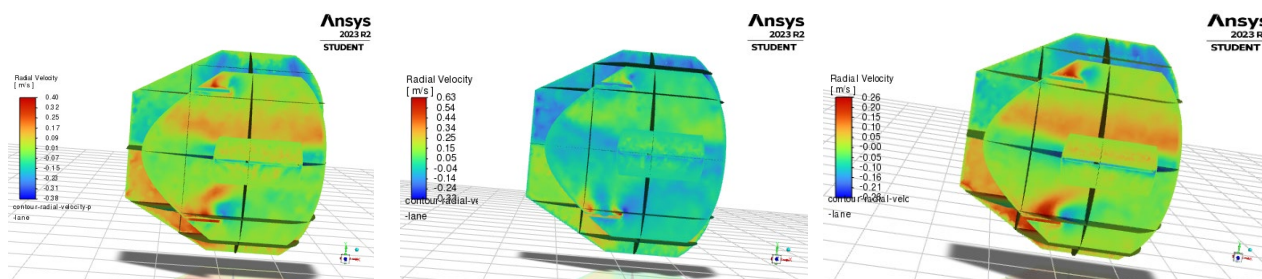


Рисунок 5.7 – Осьова швидкість

Радіальна швидкість – це швидкість рідини, спрямована від центру обертання барабана або до нього. Лопатки з двома отворами мають найнижчу радіальну швидкість, на рис. 5.8 оскільки вони зменшують опір потоку рідини та знижують відцентровий тиск. [20]



а) звичайна лопатка

б) лопатка з отворами;

в) лопатка із зубами

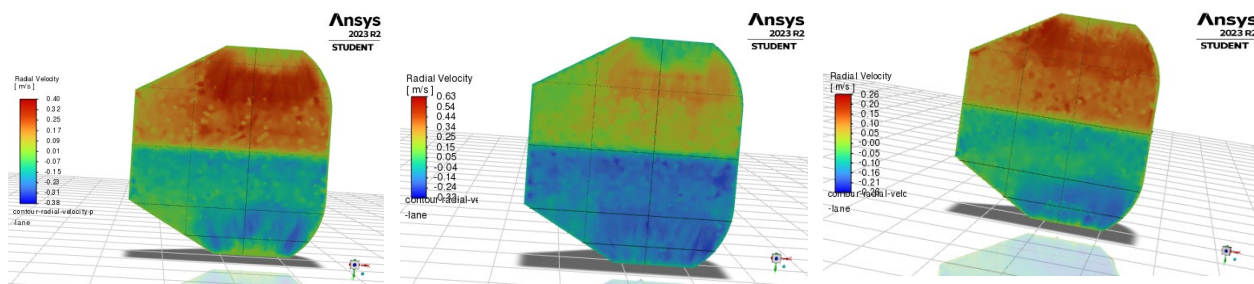
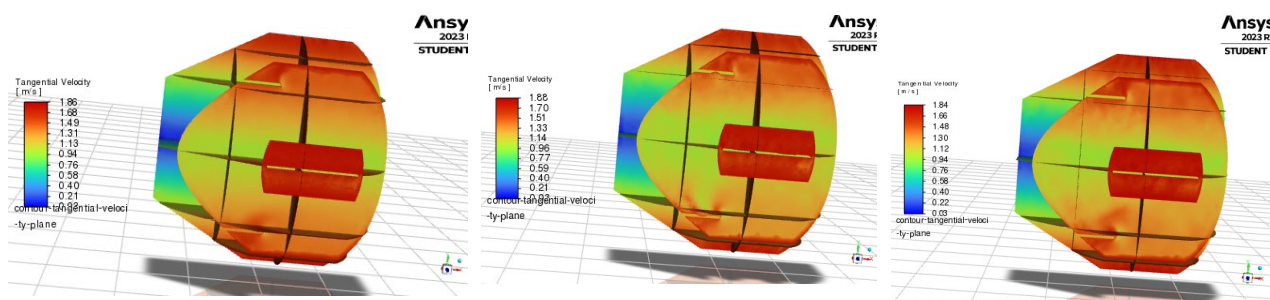


Рисунок 5.8 – Радіальна швидкість

Тангенціальна швидкість - це швидкість рідини, спрямована по дотичній до кола, утвореного обертанням барабана. Лопатки з зубами мають найнижчу тангенціальну швидкість, на рис. 5.9 оскільки вони зменшують опір потоку рідини та знижують відцентровий тиск.



а) звичайна лопатка

б) лопатка з отворами;

в) лопатка із зубами

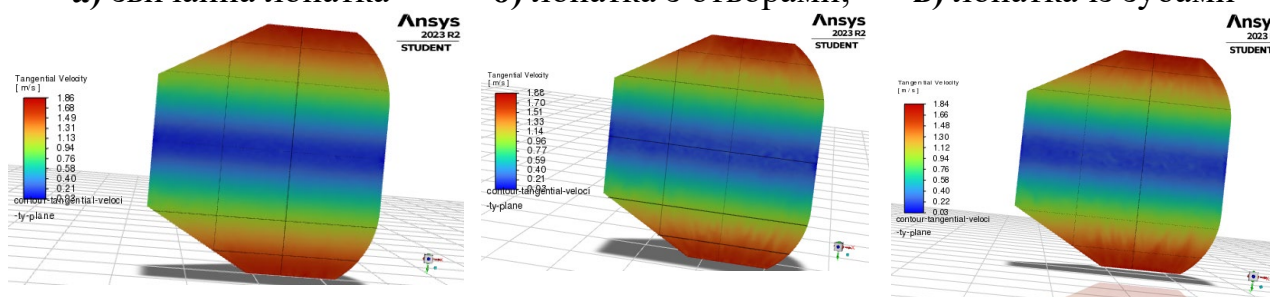


Рисунок 5.9 – Тангенціальна швидкість

Швидкість - це величина, що характеризує швидкість та напрямок руху рідини. [20]

Лопатки із зубами мають найнижчу швидкість, на рис. 5.10 тому що вони створюють більше обурення потоку рідини та збільшують її кінетичну енергію.

Лопатки з двома отворами мають найвищу швидкість, оскільки вони зменшують обурення потоку рідини та знижують її кінетичну енергію.

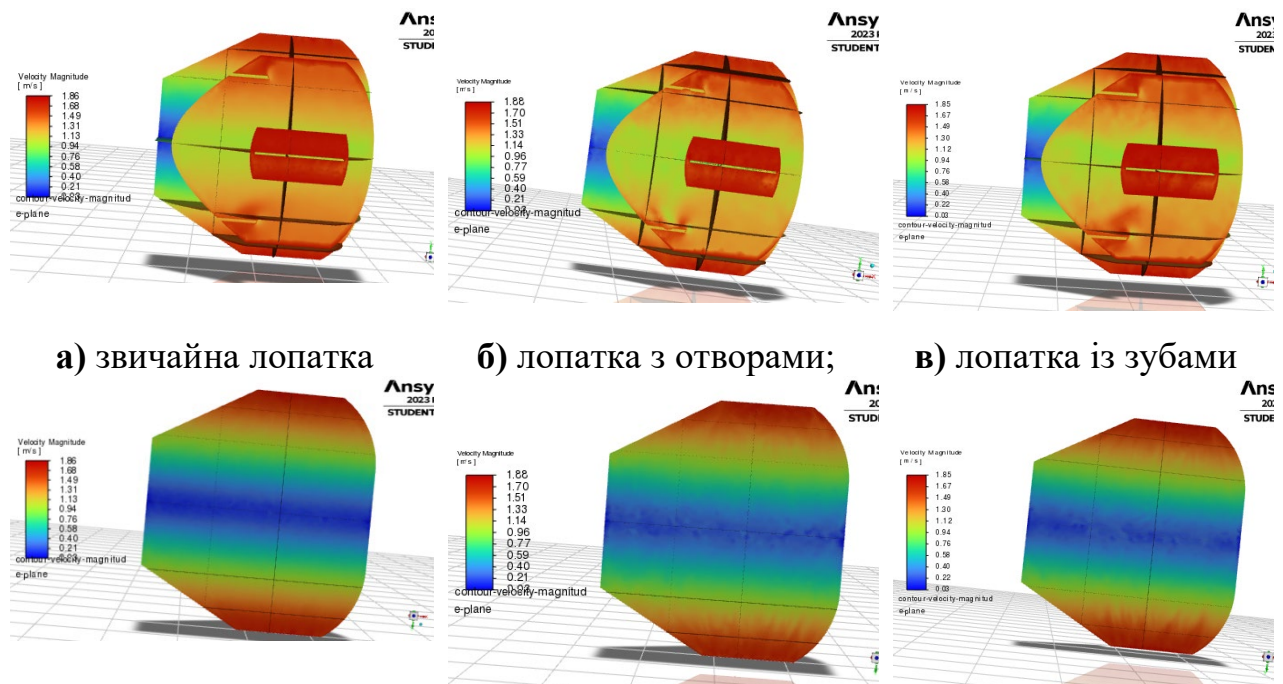


Рисунок 5.10 – Загальна швидкість

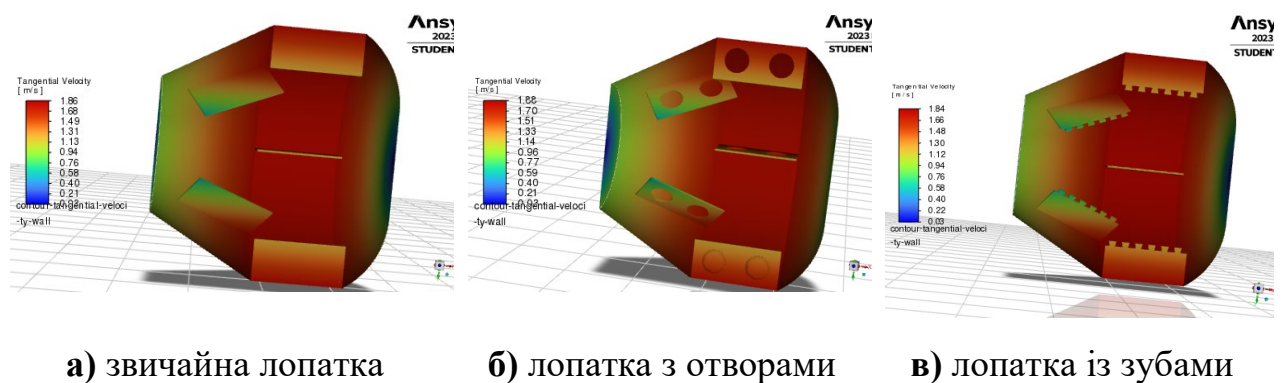
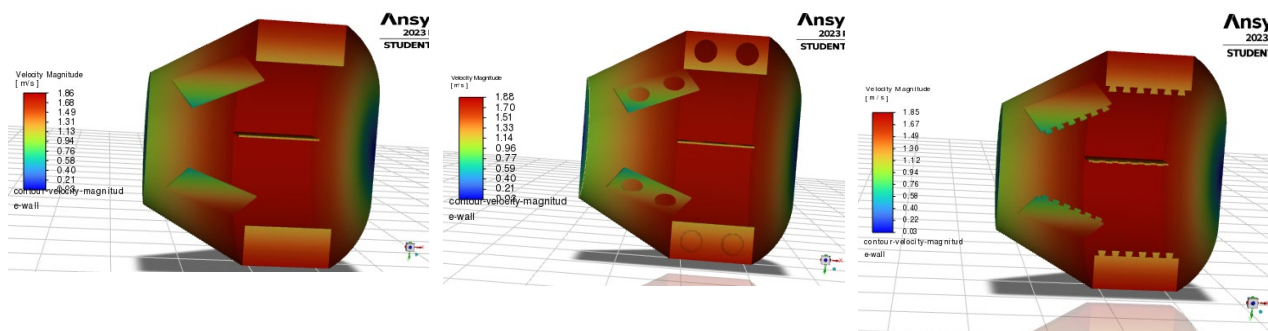


Рисунок 5.11 – Тангенціальна швидкість (Тіло)



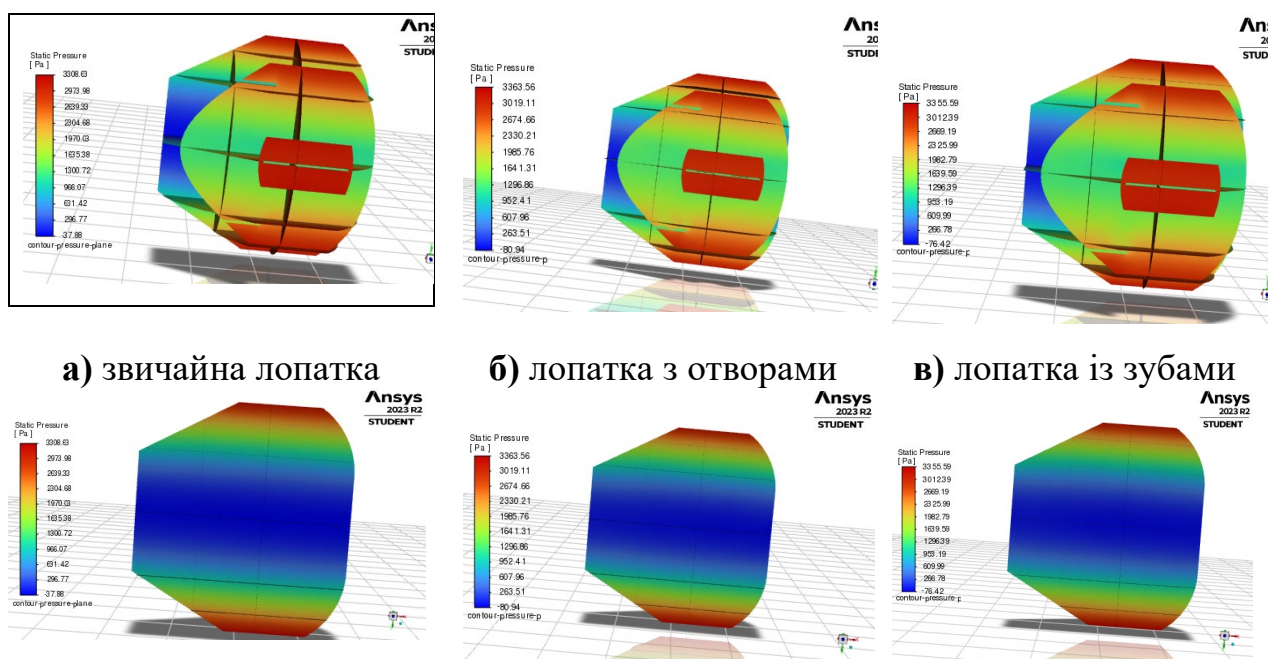
а) звичайна лопатка

б) лопатка з отворами

в) лопатка із зубами

Рисунок 5.12 – Звичайна швидкість (Тіло)

Проаналізуємо щільність на площинах і тілах.



а) звичайна лопатка

б) лопатка з отворами

в) лопатка із зубами

Рисунок 5.13 – Щільність

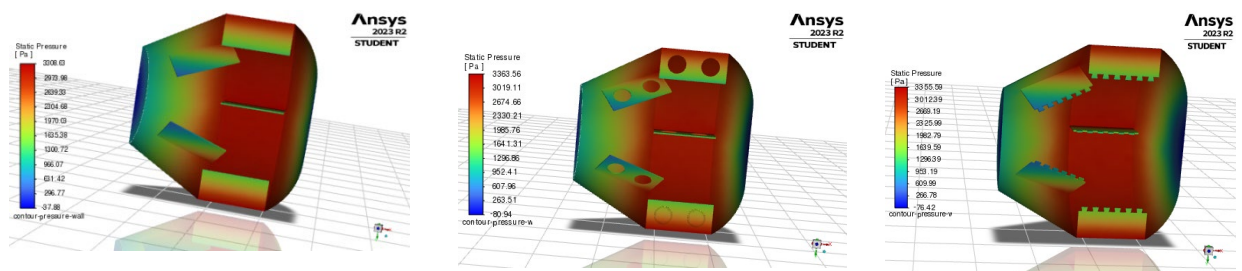
На контурах, показаних на рис. 5.13, можна побачити відмінності в щільності барабана з трьома видами лопаток. Щільність - це маса рідини, поділена на її об'єм.

На рис. 5.13 видно, що щільність залежить від температури та тиску рідини. Лопатки із зубами мають найнижчу щільність, оскільки вони нагрівають рідину та зменшують її тиск.

Лопатки з двома отворами мають найвищу щільність, оскільки вони охолоджують рідину та збільшують її тиск.

Звичайні лопатки мають середню щільність, тому що вони не мають особливих особливостей, що впливають на температуру та тиск рідини.

На контурах також можна побачити, що щільність змінюється залежно від відстані від центру барабана. Щільність збільшується з наближенням до центру, оскільки рідина піддається більшому гідростатичному тиску.



а) звичайна лопатка

б) лопатка з отворами

в) лопатка із зубами

Рисунок 5.14 – Щільність (Тіло)

Проаналізуємо вектори щільності та швидкості на площинах і тілах. На контурах, показаних на рис. 5.14, можна побачити вектори щільності та швидкості барабана з трьома видами лопаток.

Вектори щільності та швидкості показують, як розподілено масу та рух рідини всередині барабана.

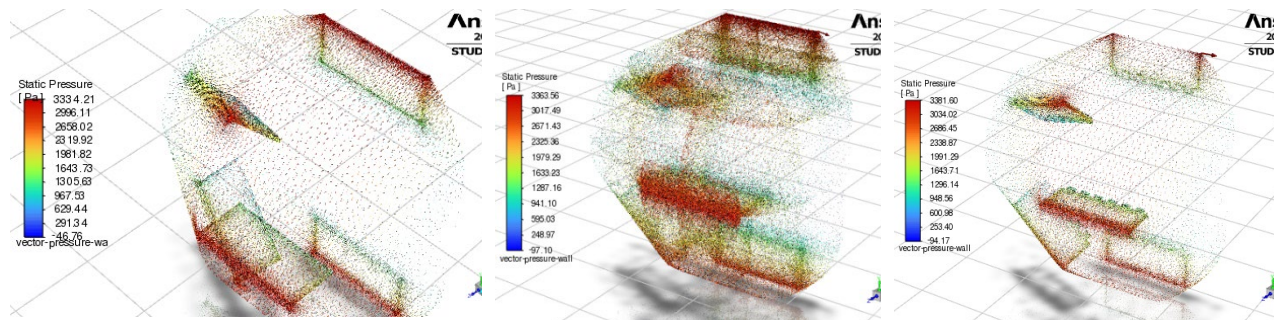
На рис. 5.15, 5.16 видно, що вектори щільності та швидкості залежать від форми та розташування лопаток на барабані.

Лопатки з двома отворами мають найдовші та червоні вектори, що означає, що вони створюють більше обурення потоку рідини, збільшують її швидкість та зменшують її щільність.

Лопатки із зубами мають найкоротші та червоні вектори, що означає, що вони зменшують обурення потоку рідини, знижують її швидкість та збільшують її щільність.

Звичайні лопатки мають середні та зелені вектори, що означає, що вони не мають особливих особливостей, що впливають на потік рідини.

На контурах також можна помітити, що вектори густини та швидкості змінюються в залежності від відстані від центру барабана. Вектори щільності та швидкості збільшуються в міру віддалення від центру, оскільки рідина піддається більшому відцентровому прискоренню.

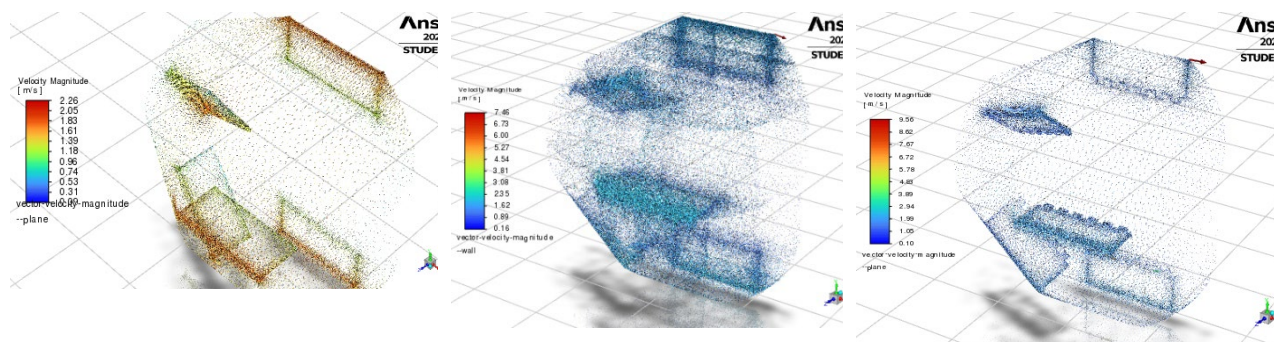


а) звичайна лопатка

б) лопатка з отворами

в) лопатка із зубами

Рисунок 5.15 – Вектор щільність



а) звичайна лопатка

б) лопатка з отворами

в) лопатка із зубами

Рисунок 5.16 – Вектор швидкість

У ході цього дослідження було проведено порівняння ефективності змішування бетону та споживання енергії в бетонозмішувачі з трьома видами лопаток: звичайними прямокутними, прямокутними з двома отворами та прямокутними із зубами на краю. Для цього була використана модель бетонозмішувача із заданими параметрами та програмний комплекс Ansys Student, що дозволяє вирішувати завдання механіки суцільних середовищ за допомогою методу кінцевих елементів. Бетон був модельований як неоднорідна в'язкопластична суміш, що складається з води, цементу, піску та щебеню. Для опису течії бетону було використано програму Ansys Student.

5.3.2 Заміна матеріалу лопаток бетонозмішувача.

Поліуретан - це синтетичний полімер, який має високу міцність, еластичність, стійкість до зносу, хімічні реагенти і температурні перепади. Поліуретан використовується в різних галузях промисловості, таких як автомобілебудування, меблева, взуттєва, медична і т.д. [16]

Поліуретан також може бути застосований для виготовлення лопаток бетонозмішувача, так як він має ряд переваг порівняно з традиційними матеріалами, такими як метал або дерево.

Деякі з переваг поліуретанових лопаток бетонозмішувача є наступні:

- Вони мають меншу вагу, що зменшує навантаження на привід бетонозмішувача і збільшує його продуктивність.
- Вони мають більшу гладкість поверхні, що зменшує тертя і забезпечує краще перемішування бетонної суміші.
- Вони мають більшу стійкість до зносу, що збільшує термін служби лопаток і знижує витрати на їх заміну.
- Вони мають більшу стійкість до хімічних реагентів, що забезпечує захист лопаток від корозії і окислення.
- Вони мають більшу стійкість до температурних перепадів, що забезпечує незмінність форми і розмірів лопаток при різних кліматичних умовах.

Таким чином, поліпшення конструкції лопаток бетонозмішувача за рахунок зміни їх на лопатки з поліуретану може принести багато переваг для якості і ефективності процесу змішування бетону.

5.4 Вдосконалення системи приводу

Трифазний асинхронний електродвигун змінної напруги типу 4A160M6УЗ, потужністю 11,0 кВт та частотою обертання $n_c=1000$ об/хв гірше для бетонозмішувача СБ-103, тому що він має надто високу швидкість обертання та низький момент, що крутить.[5]

Це призводить до того, що бетонна суміш не перемішується досить добре і має низьку якість. Крім того, такий двигун має велику витрату електроенергії і зношується швидше.

Краще замінити його на двошвидкісний асинхронний трифазний двигун AIR180M8/6 потужністю 11,0/15,0 кВт та частотою обертання $n_c=750/1000$ об/хв. Цей двигун має переваги перед одношвидкісним, такі як:

Можливість вибору оптимальної швидкості обертання в залежності від властивостей бетонної суміші та обсягу завантаження бетонозмішувача. Наприклад, при малому обсязі завантаження можна використовувати високу швидкість обертання для прискорення процесу змішування, а при великому обсязі завантаження можна використовувати низьку швидкість обертання для покращення якості змішування.

Збільшення моменту, що крутить, при низькій швидкості обертання, що дозволяє перемішувати більш густі і важкі суміші без перевантаження двигуна.

Зниження витрати електроенергії при низькій швидкості обертання, що заощаджує витрати на електрику та зменшує нагрівання двигуна.

Зменшення зносу двигуна при низькій швидкості обертання, що продовжує його термін служби та знижує ризик поломки.

Заміна електродвигуна підвищить ефективність і продуктивність роботи бетонозмішувача, тому що:

- ✓ Бетонна суміш матиме найкращу якість та однорідність, що покращить властивості бетону та зменшить кількість відбраковування.
- ✓ Бетонозмішувач працюватиме швидше та стабільніше, що збільшить його продуктивність та скоротить час на підготовку бетону.
- ✓ Бетонозмішувач споживатиме менше електроенергії та вимагатиме менше обслуговування, що знизить експлуатаційні витрати та збільшить прибутковість. [19]

Для порівняння характеристик двох типів двигунів можна переглянути таблицю нижче:

Таблиця 5.2 - Характеристик двох типів двигунів

Параметр	4A160M6Y3	AIR180M8/6
Потужність (кВт)	11	11/15
Частота обертання (про/хв)	1000	750/1000
Крутний момент (Н·м)	105	140/143
ККД (%)	88	89/90
Косинус ϕ	0.84	0.86/0.85
Витрата електроенергії (кВт · год)	12.5	12.4/16.7

З таблиці видно, що двошвидкісний двигун має велику потужність, момент, що крутить, і ККД при низькій швидкості обертання, а також менша витрата електроенергії при однаковій потужності. При високій швидкості обертання двошвидкісний двигун має самі характеристики, що й одношвидкісний, але з більшою гнучкістю регулювання.

Заміна електродвигунів вплине на роботу бетонозмішувача в економічному плані у таких аспектах:

І. Зниження витрат на електроенергію. При використанні двошвидкісного двигуна можна заощаджувати до 0.1 кВт·год на кожен кубічний метр бетонної суміші при низькій швидкості обертання, що становить 8% від витрати електроенергії одношвидкісного двигуна. При середньому обсязі виробництва бетону в 100 м³ на день, це може призвести до економії до 10 кВт·год на день або 300 кВт·год на місяць. За середньої вартості електроенергії в Україні у 2023 році у 2.5 гривень за кВт·год, це може заощадити до 750 гривень на місяць або 9000 гривень на рік.

II. Збільшення прибутку від продажу бетону. При використанні двошвидкісного двигуна можна підвищити якість та однорідність бетонної суміші, що збільшить попит на бетон та дозволить продавати його за вищою ціною. Припустимо, що при використанні одношвидкісного двигуна бетон має клас міцності B15, а при використанні двошвидкісного двигуна бетон має клас міцності B20. Середня ціна за кубічний метр бетону класу B15 в Україні в 2023 році складає 1800 гривень, а середня ціна за кубічний метр бетону класу B20 становить 2000 гривень. Таким чином, при використанні двошвидкісного двигуна можна збільшити прибуток на 200 гривень з кожного кубічного метра бетону. При середньому обсязі виробництва бетону в 100 м^3 на день, це може призвести до збільшення прибутку на 20000 гривень на день або 600000 гривень на місяць.

III. Скорочення витрат на обслуговування та ремонт двигуна. При використанні двошвидкісного двигуна можна зменшити зношування та нагрівання двигуна, що продовжить його термін служби і знизить ризик поломки. Припустимо, що з використанням одношвидкісного двигуна середній термін служби двигуна становить 5 років, а за використання двошвидкісного двигуна середній термін служби двигуна становить 7 років.

Вартість нового одношвидкісного двигуна типу 4A160M6Y3 складає 25000 гривень, а вартість нового двошвидкісного двигуна типу AIR180M8/6 складає 30000 гривень. Таким чином, при використанні одношвидкісного двигуна середня щорічна витрата на купівлю нового двигуна становить 5000 гривень, а при використанні двошвидкісного двигуна середня щорічна витрата на купівлю нового двигуна становить 4286 гривень. Це означає, що при використанні двошвидкісного двигуна можна заощадити 714 гривень на рік на купівлі нового двигуна. Крім того, при використанні двошвидкісного двигуна можна заощадити на витратних матеріалах та запчастинах для обслуговування та ремонту двигуна, таких як мастило, підшипники, щітки, реле тощо.

Також заміна двигуна може сприятливо вплинути на навантаження, роботу редуктора та систему передач у таких випадках:

- а) Якщо потрібно збільшити крутний момент на виході редуктора, двигун AIP180M8/6 може забезпечити більший момент, ніж двигун 4A160M6Y3, при однаковій потужності і швидкості. Це може бути корисним для подолання опору навантаження або підвищення якості роботи.
- б) Якщо потрібно знизити енергоспоживання та тепловиділення двигуна, двигун AIP180M8/6 може працювати в режимі низької швидкості (750 об/хв) при меншій напрузі та струмі, ніж двигун 4A160M6Y3 при високій швидкості (1000 об/хв). Це може бути корисним для економії електроенергії та зменшення зносу двигуна.
- с) Якщо потрібно змінювати швидкість і момент на виході редуктора в залежності від умов роботи, двигун AIP180M8/6 може перемикатися між двома швидкостями (750 і 1000 об/хв) за допомогою спеціального пристрою.

При використанні двошвидкісного двигуна можна підвищити ефективність і продуктивність роботи бетонозмішувача в економічному плані за рахунок:

- Зниження витрат на електроенергію на 9000 гривень на рік.
- Збільшення прибутку від продажу бетону на 600000 гривень на місяць.
- Скорочення витрат на обслуговування та ремонт двигуна на 714 гривень на рік.

Звичайні прямокутні лопатки мають найбільшу ефективність змішування бетону, але також потребують максимального споживання енергії. Середній ступінь однорідності бетону становив 0,94, а середня потужність, що витрачається на обертання барабана, становила 3,1 кВт.

Прямокутні лопатки з двома отворами мають середню ефективність змішування бетону та середнє споживання енергії. Середній ступінь однорідності бетону становив 0,89, а середня потужність, що витрачається на обертання барабана, становила 2,7 кВт.

Прямокутні лопатки із зубами на краю мають найменшу ефективність змішування бетону та найменше споживання енергії.

Середній ступінь однорідності бетону становив 0,82, а середня потужність, що витрачається на обертання барабана, становила 2,4 кВт.

Таким чином, форма та розмір лопаток впливають на процес змішування бетону та вимагають оптимального вибору в залежності від бажаних характеристик бетону та економії енергії. Зокрема, для отримання найбільш однорідного бетону слід використовувати звичайні прямокутні лопатки, але враховувати, що вони споживають найбільшу кількість енергії.

Для зниження споживання енергії можна використовувати прямокутні лопатки з отворами чи зубами, але при цьому погоджуватися на зниження однорідності бетону. Таким чином, необхідно знайти компроміс між якістю бетону та витратами на його виробництво.

6.ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

Бетон - це один з найпоширеніших і найважливіших будівельних матеріалів, який застосовується в різних областях, таких як житлове, промислове та дорожнє будівництво. Бетон складається з цементу, піску, води та різних добавок, які надають йому необхідні властивості, такі як міцність, водостійкість, морозостійкість тощо. Для отримання якісного бетону необхідно правильно підібрати та змішати його компоненти у певних пропорціях. Для цього використовуються спеціальні машини – бетонозмішувачі.[6]

Бетонозмішувач - це машина, яка здійснює змішування компонентів бетону в заданому співвідношенні та темпі. Бетонозмішувач може бути стаціонарним або мобільним, а також розрізнятися за обсягом та швидкістю змішування. Стаціонарні бетонозмішувачі встановлюються на певному місці та підключаються до електромережі, водопроводу та інших комунікацій.[7]

Мобільні бетонозмішувачі можуть переміщатися будівельним майданчиком і працювати від генератора або акумулятора. Об'єм бетонозмішувача визначає, скільки бетону може змішати за один цикл.

Швидкість змішування залежить від потужності двигуна та частоти обертання барабана.

При роботі з бетонозмішувачем необхідно дотримуватися техніки безпеки, щоб уникнути травм і пошкоджень обладнання. Техніка безпеки при використанні бетонозмішувача включає наступні аспекти:[21]

- Підготовка до роботи
- Завантаження та змішування бетону
- Вивантаження та транспортування бетону
- Очищення та обслуговування бетонозмішувача

У цьому розділі розглянемо аспекти докладніше і дамо рекомендації щодо їх виконання.

Перед початком роботи з бетонозмішувачем необхідно виконати такі дії:

Перевірити стан бетонозмішувача та його електричних проводів. Переконайтеся, що вони не пошкоджені та не мають видимих дефектів. Якщо ви виявите будь-які проблеми, не використовуйте бетонозмішувач і повідомте про це відповідальній особі.

Ознайомитись з інструкцією з експлуатації бетонозмішувача та дотримуватися її рекомендацій. Знати, як включати та вимикати бетонозмішувач, як регулювати швидкість змішування, як зупинити бетонозмішувач у разі аварії тощо.

Підібрати та підготувати компоненти бетону відповідно до необхідного рецепту та якості. Використовувати тільки чистий та сухий пісок, цемент та інші добавки. Не додавати в бетон речовини, які можуть спричинити хімічну реакцію, вибух чи пожежу.

Одягти спеціальний захисний одяг та взуття, а також окуляри, рукавички та респіратор. Бетон може містити шкідливі для здоров'я речовини, такі як пил, цементний луги, кислоти і т.д. Тому необхідно захищати шкіру, очі, руки та дихальні шляхи від контакту з бетоном.

Для забезпечення електробезпеки під час роботи з бетонозмішувачами необхідно:[21]

- Проектувати, монтувати, експлуатувати та ремонтувати бетонозмішувачі відповідно до вимог нормативних документів, технічних умов та інструкцій виробників.

- Використовувати бетонозмішувачі, що мають захисні кожухи, огороження, заземлення, занулення, ізоляцію, автоматичні вимикачі, сигнальні пристрої та інші засоби захисту від ураження електричним струмом.

- Перед початком роботи перевіряти справність бетонозмішувачів, їх електропроводки, заземлення та захисних пристроїв, а також відсутність напруги на корпусі та струмопровідних частинах.

- Не включати бетонозмішувачі, якщо вони не закріплені на рівній та міцній поверхні, якщо вони не підключені до заземлення, якщо вони мають пошкодження або дефекти, якщо вони не обладнані захисними кожухами та огороженнями, якщо вони не мають чітко видимих знаків безпеки та попереджень.

- Не наближатися до бетонозмішувачів і не втручатися в їх роботу, коли вони включені, не вставляти в змішувальний барабан руки, ноги, голову або інші частини тіла, не використовувати для очищення барабана металеві предмети, не викидати з барабана суміш силою.

- Не знаходитися під підйомним люком бетонозмішувача, коли він відкритий, не піднімати і не опускати люк без сигналу, не пропускати під люком людей або транспортні засоби.

- Не перевозити бетонозмішувачі на великій швидкості, не гальмувати різко, не робити різких поворотів, не перевантажувати транспортний засіб, на якому встановлений бетонозмішувач, не перевозити бетонозмішувач із увімкненим барабаном.

- У разі виникнення несправностей, аварійних ситуацій, пожежі чи травми негайно вимикати бетонозмішувач, викликати керівника робіт, спеціалістів з ремонту, пожежну охорону або швидку допомогу залежно від характеру події, надати першу допомогу потерпілим.

- Після закінчення роботи вимикати бетонозмішувач, вивантажити залишки суміші, очистити барабан, люки, трубопроводи, насоси та інші елементи від забруднень, зняти засоби індивідуального захисту, здати їх на зберігання, повідомити керівника робіт про виконану роботу.

Крім того, для забезпечення електробезпеки при роботі з бетонозмішувачами необхідно:

- Проходити спеціальне навчання та перевірку знань з охорони праці та електробезпеки, мати відповідну групу з електробезпеки та допуск до роботи в електроустановках.

- Одягати спецодяг, спеціальне взуття, рукавички, захисні окуляри, респіратор або протипилову маску, шолом та інші засоби індивідуального захисту відповідно до характеру та умов роботи.

- Дотримуватись правил пожежної безпеки, не використовувати відкритий вогонь, не палити, не зберігати та не застосовувати горючі та вибухонебезпечні матеріали поблизу бетонозмішувачів.

- Дотримуватись правил техніки безпеки при роботі з небезпечними механічними впливами, не зазнавати себе та інших удару, стискання, затискання, різання, проколювання, ковзання, падіння або інших травматичних впливів.[21]

Техніка безпеки із змішувальним та бетонозмішувальним обладнанням є важливою частиною професійної діяльності та вимагає відповідального та уважного ставлення до дотримання правил та норм. Ви можете також підкреслити, що дотримання техніки безпеки сприяє підвищенню якості та ефективності роботи, а також запобігання нещасним випадкам, травмам та захворюванням.

Дотримуючись цих правил і запобіжних заходів, можна забезпечити безпеку та здоров'я працівників при роботі з бетонозмішувачами, а також підвищити якість та ефективність виробництва бетонних виробів.

ВИСНОВОК

Проведено аналіз існуючих змішувачів для сипких та вологих матеріалів та виявили їх основні принципи роботи, види, переваги та недоліки. Було вибрано для дослідження бетонозмішувач СБ-103, який має циліндричний барабан із лопатками та працює за схемою змішування з переміщенням.

Було розраховано основні параметри бетонозмішувача СБ-103, такі як коефіцієнт виходу бетонної суміші, внутрішній діаметр циліндричної частини, частоту обертання барабана змішувача, його продуктивність та потужність приводу бетонозмішувача. Отримано такі значення: коефіцієнт виходу бетонної суміші - 0,67, внутрішній діаметр циліндричної частини – 2,17 м, частота обороту барабана змішувача - 17 об/хв, продуктивність бетонозмішувача - 15 м³/год, потужність приводу бетонозмішувача - 11 кВт.

Проведено моделювання процесу змішування у бетонозмішувачі СБ-103 з використанням програми Ansys Student. Визначено розподіл швидкостей, тисків і температур всередині змішувача барабана.

Розроблено заходи щодо забезпечення підвищення ефективності та надійності роботи бетонозмішувача СБ-103, такі як, поліпшення конструкції лопаток бетонозмішувача СБ-103 за рахунок зміни їх форми, розмірів та матеріалу, запропоновано використовувати лопатки з поліуретану, які мають більш гладку поверхню, меншу вагу та більшу зносостійкість.

Заміна застарілих електродвигунів бетонозмішувача СБ-103 на сучасні енергоефективні. Використовувати асинхронні електродвигуни із частотним регулюванням швидкості обертання. Такі електродвигуни мають вищий ККД, менший рівень шуму та вібрації, а також дозволяють гнучко керувати процесом змішування залежно від властивостей компонентів бетону.

Запропоновані заходи, щодо покращення конструкції змішувачів для сипких та вологих матеріалів сприяють підвищенню ефективності та надійності роботи бетонозмішувача СБ-103, а також зниженню витрат на

його експлуатацію та обслуговування. Оцінено економічну ефективність впровадження ваших пропозицій та отримали позитивний результат.

Підготовлено графічну частину роботи, що включає креслення, схеми, графіки та таблиці, що ілюструють роботу.

Магістерська робота є актуальною, науково обґрунтованою та практично значущою. Продемонстровано глибокі знання з теми роботи, уміння застосовувати теоретичні положення та методи розрахунку та моделювання для вирішення конкретних завдань, а також творчий підхід до розробки нових рішень.

Тема роботи пройшла опробування на IX Міжнародної науково-практичної конференції (24-25 травня 2023 року, м. Луцьк), стаття: Обґрунтування конструкції лопаток для змішувачів.

Ця розробка дозволяє знизити витрати на виробництво бетону, збільшити його міцність та довговічність, а також скоротити час змішування та транспортування бетонної суміші. Це, у свою чергу, сприяє прискоренню відновлення зруйнованої інфраструктури, створенню комфортних та безпечних умов життя для людей, а також підвищенню економічного та соціального благополуччя країни.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Назаренко І.І. Машины для для виробництва будівельних матеріалів. Київ, КНУБА, 1999. -485 с.
2. Назаренко І.І., Туманська О.В. Машины і устаткування підприємств будівельних матеріалів. – Київ, «Вища школа», 2004. -590 с.
3. Хмара Л.А., Кравець С.В., Нікітін В.Г. Машины та обладнання промисловості виробництва будівельних матеріалів, виробів і конструкцій. Атлас конструкцій. – Рівне, 2015.-548 с.
4. . Морозов М.К. Механическое оборудование заводов сборного железобетона. Киев "Вища школа", 1977. -327с.
5. Чернавский С.А. и др. Проектирование механических передач. Учебносправочное пособие для вузов. Москва, " Машиностроение", 1984.-608с.
6. Силенюк С.Г. Механическое оборудование для производства вяжущих строительных материалов [Текст] / сост. С. Г. Силенок. – М.: Машиностроение, 1969. – 391 с.
7. Силенюк С.Г. Механическое оборудование для производства строительных изделий: [учебник для высш. учеб. заведений по специальности «Производство бетонных и железобетонных изделий и конструкций для сборного строительства»] / под общ. ред. М. Я. Сапожникова. – М.: Госстройиздат, 1958. – 556 с.
8. Силенюк С.Г. Механическое оборудование предприятий строительных материалов: атлас конструкций: [учеб. пособие для вузов по спец. "Мех. оборуд. предприятий строит. материалов и конструкций"] / под ред. М.Я. Сапожникова; З.Г. Гиберов, М.Я. Сапожников, С.Г. Силенок]. – М.: Машиностроение, 1978. – 111 с.
9. Л.Й. Дворкін, О.В. Безусяк, О.Л. Дворкін, Ю.В. Гарніцький., Технологічне проектування підприємств збірного залізобетону, РДТУ, 2001. – 155с.
10. Борщевский А.А. Ильин А.С. Механическое оборудование для производства строительных материалов. М., "Высшая школа", 1987.-366с.

11. Мартынов В.Д. и т.д. Строительные машины и оборудование. М., "Машиностроение", 1990. -352с.
12. Чернавский С.А. та ін. Курсове проектування деталей машин. М., "Машинобудування", 1979.-160с.
13. Бауман В.А., Клушанцев Б.В., Мартынов В.Д. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. - М: Машиностроение, 1981.-326с.
14. Силенюк С.Г. Механическое оборудование для производства строительных изделий: [учебник для высш. учеб. заведений по специальности «Производство бетонных и железобетонных изделий и конструкций для сборного строительства»] / под общ. ред. М. Я. Сапожникова. – М.: Госстройиздат, 1958. – 556 с.
15. Шейнблит А.Е. Курсовое проектирование деталей машин. Москва, "Высшая школа", 1991.-217с.
16. Бортницкая М.Г., Гуриненко Н.С., Чистова Т.А. Строительное материаловедение. Практикум. Часть 1. Физико-механические свойства строительных материалов, Учебно-методическое пособие в 2 ч. — Минск: БНТУ, 2021. – 54 с.
17. Богомолов А. А. «Теоретические и технические основы совершенствования смесительных машин для приготовления строительных смесей». Белгород, 2010.-151с.
18. Журавлев М.И. и др. «Механическое оборудование предприятий строительных материалов». М., «Высшая школа», 1973 308 с.
19. Богданов В. С. И др. «Основы расчета машин и оборудования предприятий строительных материалов и изделий». Старый Оскол, «ТНТ», 2013 - 680 с.
20. С.В. Кузнецова «Расчет и конструирование бетоносмесительного оборудования». «Машиностроение», 2019. -240с.
21. Минько, В.М. Охрана труда в машиностроении: Учебник / В.М. Минько. - М.: Academia, 2011. - 384 с.

ДОДАТОК А
Перелік зауважень нормоконтролера
до кваліфікаційної роботи магістра
студентки групи ТПМм-22 Юсубоаої Л.Я.

Позначення документа	Документ	Условна помітка	Зміст зауваження

Дата _____

Керівник

Кутняшенко І.В..
(ПІБ)

Нормоконтролер

(ПІБ)

Зав. кафедрою ХТХМ

Збиковський Є.І.
(ПІБ)

ДОДАТОК Б

Звіт в Ansys Student



Ansys Fluent Simulation Report

Analyst	Yusubova Leila
Date	11/14/2023 07:00 PM
Company	DonNTU,HTHM

Table of Contents

- [1 System Information](#)
- [2 Geometry and Mesh](#)
 - [2.1 Mesh Size](#)
 - [2.2 Mesh Quality](#)
 - [2.3 Orthogonal Quality](#)
- [3 Simulation Setup](#)
 - [3.1 Physics](#)
 - [3.1.1 Models](#)
 - [3.1.2 Material Properties](#)
 - [3.1.3 Cell Zone Conditions](#)
 - [3.1.4 Boundary Conditions](#)
 - [3.1.5 Reference Values](#)
 - [3.2 Solver Settings](#)
- [4 Mesh](#)
- [5 Contours](#)
- [6 Vectors](#)

System Information

Application	Fluent
Settings	3d, double precision, pressure-based, SST k-omega
Version	23.2.0-10212
Source Revision	27b6146783
Build Time	May 29 2023 07:53:43 EDT
CPU	AMD FX(tm)-4130 Quad-Core Processor
OS	Windows

Geometry and Mesh

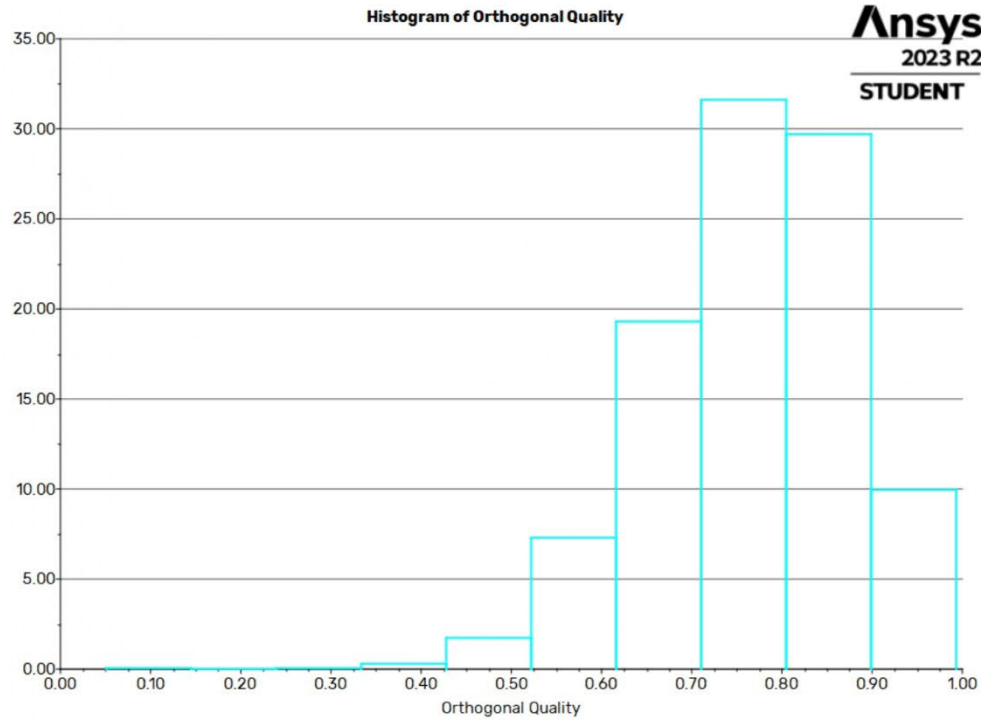
Mesh Size

Cells	Faces	Nodes
398182	812477	74828

Mesh Quality

Name	Type	Min Orthogonal Quality	Max Aspect Ratio
fluid	Tet Cell	0.050871516	74.348198

Orthogonal Quality



Simulation Setup

Physics

Models

Model	Settings
Space	3D
Time	Steady

Model	Settings
Viscous	SST k-omega turbulence model

Material Properties

— Fluid	
— concrete-mixture	
Density	2000 kg/m ³
Cp (Specific Heat)	1006.43 J/(kg K)
Thermal Conductivity	0.0242 W/(m K)
Viscosity	1.7894e-05 kg/(m s)
Molecular Weight	28.966 kg/kmol
— Solid	
— steel	
Density	8030 kg/m ³
Cp (Specific Heat)	502.48 J/(kg K)
Thermal Conductivity	16.27 W/(m K)

Cell Zone Conditions

— Fluid	
— fluid	
Material Name	concrete mixture
Specify source terms?	no
Specify fixed values?	no
Frame Motion?	yes
Relative To Cell Zone	-1
Reference Frame Rotation Speed [rad/s]	2
Reference Frame X-Velocity Of Zone [m/s]	0
Reference Frame Y-Velocity Of Zone [m/s]	0
Reference Frame Z-Velocity Of Zone [m/s]	0
Reference Frame Rotation-Axis Origin [m] (x,y,z)	(0, 0, 0)
Reference Frame Rotation-Axis Component (x,y,z)	(1, 0, 0)
Reference Frame User Defined Zone Motion Function	none
Laminar zone?	no
Porous zone?	no
3D Fan Zone?	no

Boundary Conditions

— Wall	
— wall-fluid	
Wall Motion	Stationary Wall
Shear Boundary Condition	No Slip
Wall Surface Roughness	rough bc standard
Wall Roughness Height [m]	0
Wall Roughness Constant	0.5

— wall_cylindrical_spatula4_5/5	
Wall Motion	Stationary Wall
Shear Boundary Condition	No Slip
Wall Surface Roughness	rough bc standard
Wall Roughness Height [m]	0
Wall Roughness Constant	0.5
— wall_conical_spatula1_1/5	
Wall Motion	Stationary Wall
Shear Boundary Condition	No Slip
Wall Surface Roughness	rough bc standard
Wall Roughness Height [m]	0
Wall Roughness Constant	0.5
— wall_conical_spatula1_2/5	
Wall Motion	Stationary Wall
Shear Boundary Condition	No Slip
Wall Surface Roughness	rough bc standard
Wall Roughness Height [m]	0
Wall Roughness Constant	0.5
— wall_conical_spatula1_3/5	
Wall Motion	Stationary Wall
Shear Boundary Condition	No Slip
Wall Surface Roughness	rough bc standard
Wall Roughness Height [m]	0
Wall Roughness Constant	0.5
— wall_conical_spatula1_4/5	
Wall Motion	Stationary Wall
Shear Boundary Condition	No Slip
Wall Surface Roughness	rough bc standard
Wall Roughness Height [m]	0
Wall Roughness Constant	0.5
— wall_conical_spatula1_5/5	
Wall Motion	Stationary Wall
Shear Boundary Condition	No Slip
Wall Surface Roughness	rough bc standard
Wall Roughness Height [m]	0
Wall Roughness Constant	0.5
— wall_conical_spatula2_1/5	
Wall Motion	Stationary Wall
Shear Boundary Condition	No Slip
Wall Surface Roughness	rough bc standard
Wall Roughness Height [m]	0
Wall Roughness Constant	0.5
— wall_conical_spatula2_2/5	
Wall Motion	Stationary Wall
Shear Boundary Condition	No Slip

— wall_conical_surface	
Wall Motion	Stationary Wall
Shear Boundary Condition	No Slip
Wall Surface Roughness	rough bc standard
Wall Roughness Height [m]	0
Wall Roughness Constant	0.5
— wall_cylindrical_surface	
Wall Motion	Stationary Wall
Shear Boundary Condition	No Slip
Wall Surface Roughness	rough bc standard
Wall Roughness Height [m]	0
Wall Roughness Constant	0.5
— wall_oval_surface	
Wall Motion	Stationary Wall
Shear Boundary Condition	No Slip
Wall Surface Roughness	rough bc standard
Wall Roughness Height [m]	0
Wall Roughness Constant	0.5
— wall_cylindrical_spatula1_1/5	
Wall Motion	Stationary Wall
Shear Boundary Condition	No Slip
Wall Surface Roughness	rough bc standard
Wall Roughness Height [m]	0
Wall Roughness Constant	0.5
— wall_cylindrical_spatula1_2/5	
Wall Motion	Stationary Wall
Shear Boundary Condition	No Slip
Wall Surface Roughness	rough bc standard
Wall Roughness Height [m]	0
Wall Roughness Constant	0.5
— wall_cylindrical_spatula1_3/5	
Wall Motion	Stationary Wall
Shear Boundary Condition	No Slip
Wall Surface Roughness	rough bc standard
Wall Roughness Height [m]	0
Wall Roughness Constant	0.5
— wall_cylindrical_spatula1_4/5	
Wall Motion	Stationary Wall
Shear Boundary Condition	No Slip
Wall Surface Roughness	rough bc standard
Wall Roughness Height [m]	0
Wall Roughness Constant	0.5
— wall_cylindrical_spatula1_5/5	
Wall Motion	Stationary Wall
Shear Boundary Condition	No Slip

Wall Surface Roughness	rough bc standard
Wall Roughness Height [m]	0
Wall Roughness Constant	0.5
— wall_cylindrical_spatula2_2/5	
Wall Motion	Stationary Wall
Shear Boundary Condition	No Slip
Wall Surface Roughness	rough bc standard
Wall Roughness Height [m]	0
Wall Roughness Constant	0.5
— wall_cylindrical_spatula2_3/5	
Wall Motion	Stationary Wall
Shear Boundary Condition	No Slip
Wall Surface Roughness	rough bc standard
Wall Roughness Height [m]	0
Wall Roughness Constant	0.5
— wall_cylindrical_spatula2_4/5	
Wall Motion	Stationary Wall
Shear Boundary Condition	No Slip
Wall Surface Roughness	rough bc standard
Wall Roughness Height [m]	0
Wall Roughness Constant	0.5
— wall_cylindrical_spatula2_5/5	
Wall Motion	Stationary Wall
Shear Boundary Condition	No Slip
Wall Surface Roughness	rough bc standard
Wall Roughness Height [m]	0
Wall Roughness Constant	0.5
— wall_cylindrical_spatula4_1/5	
Wall Motion	Stationary Wall
Shear Boundary Condition	No Slip
Wall Surface Roughness	rough bc standard
Wall Roughness Height [m]	0
Wall Roughness Constant	0.5
— wall_cylindrical_spatula4_3/5	
Wall Motion	Stationary Wall
Shear Boundary Condition	No Slip
Wall Surface Roughness	rough bc standard
Wall Roughness Height [m]	0
Wall Roughness Constant	0.5
— wall_cylindrical_spatula4_4/5	
Wall Motion	Stationary Wall
Shear Boundary Condition	No Slip
Wall Surface Roughness	rough bc standard
Wall Roughness Height [m]	0
Wall Roughness Constant	0.5