

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)

“ ____ ” _____ 2022 року

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

_____ Магістр

на тему: «Підвищення ефективності роботи обладнання для розділення дисперсних систем»

Виконав: магістр 2-го курсу, групи ТПМм-21
спеціальності 133 Галузеве машинобудування, спеціалізації «Техніка переробки сировинних матеріалів»

_____ Олександр ТЕРЕЩЕНКО
(прізвище та ініціали) (підпис)

Керівник доц., к.т.н. Андрій ТОПОРОВ
(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 - 2022

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)

“ ”

2022

року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Олександр ТЕРЕЩЕНКО

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: «Підвищення ефективності роботи обладнання для розділення дисперсних систем»

керівник роботи Андрій ТОПОРОВ, доц., к.т.н.

затверджені наказом по університету від „23” вересня 2022 р. № 437

1. Строк подання студентом роботи
13.12.2022

2. Вихідні дані до роботи

Сировина – картопляна кашиця

Технічні характеристики барабанно-струменевого сита БСС-100

3. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Аналіз сировини, аналіз обладнання, 3D-модель обладнання, результати гідродинамічних досліджень та досліджень напружено-деформованого стану

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

Презентація в PowerPoint

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Андрій ТОПОРОВ, доц., к.т.н	26.09.2022	
2	Андрій ТОПОРОВ, доц., к.т.н	10.10.2022	
3	Андрій ТОПОРОВ, доц., к.т.н	24.10.2022	
4	Андрій ТОПОРОВ, доц., к.т.н	14.11.2022	
5	Андрій ТОПОРОВ, доц., к.т.н.	30.11.2022	
6	Валерій КУЦЕРУБОВ, доц., к.т.н		

6. Дата видачі завдання 26.09.2022

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Теоретичної частини (Розділ 1)	26.09.2022	
2	Огляд обладнання, створення 3D-моделі (Розділ 2)	10.10.2022	
3	Моделювання технологічного процесу роботи обладнання (Розділ 3)	24.10.2022	
4	Числений експеримент (Розділ 4)	14.11.2022	
5	Технологічні параметри змін (Розділ 5)	30.11.2022	
6	Підготовка презентації	19.12.2022	
7	Оформлення пояснювальної записки	13.12.2022	

Студент _____ Олександр ТЕРЕЩЕНКО
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Андрій Топоров
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота магістра: 119 сторінок, 101 рисуноків, 5 таблиць, 19 посилання, 2 додатки.

Актуальність теми полягає в покращення вузла обладнання для розділення дисперсних систем шляхом використання можливостей моделювання роботи обладнання в CAE-системах.

Об'єкт дослідження: процес розділення дисперсних систем.

Предмет дослідження: барабанно-струменеве сито.

Мета роботи: розробка заходів із збільшення ефективності розділення дисперсної системи.

Методи дослідження – 3D-моделювання конструкції барабанно-струменевого сита, моделювання гідродинамічних процесів з використанням CFD аналізу, аналіз напружено-деформованого стану елементів сита з використанням кінцево-елементного аналізу.

Робота виконана за період навчання в магістратурі з 1 вересня 2021 р. по 31 грудня 2022 р. на кафедрі «Хімічних технологій та хімічного машинобудування» Донецького національного технічного університету.

Тема роботи затверджена наказом по університету від 23.09.2022, №437

ДИСПЕРСНА СИСТЕМА, ЦЕНТРИФУГУВАННЯ, КАРТОПЛЯНИЙ КРОХМАЛЮ, СИТО, НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН

Список публікацій:

1. Терещенко О.О., Топоров А.А. Дослідження фільтрації часток дисперсної системи в центрифугах за допомогою САЕ систем // Проблеми техніки і технології переробних виробництв: зб. тез доп. VIII Міжнародної науково–практичної конференції (Луцьк, 25-26 жовт. 2022 р.) / Донецький національний технічний університет. – Луцьк : ДВНЗ «ДонНТУ», 2022. – с. 40-43
2. Терещенко О.О., Болграбський Д.І., Трет'яков П.В. Моделювання напружено-деформованого стану ролика упорного // Проблеми техніки і технології переробних виробництв: зб. тез доп. VII Міжнародної науково–практичної конференції (Покровськ, 18–19 трав. 2021 р.) / Донецький національний технічний університет. – Покровськ : ДВНЗ «ДонНТУ», 2021. – с. 17 - 21
3. Терещенко О.О., Болграбський Д.І., Алексєєва О.Є. Дослідження напружено-деформованого стану закладних елементів кріплення пірамідального бункера // Проблеми техніки і технології переробних виробництв: зб. тез доп. VII Міжнародної науково–практичної конференції (Покровськ, 18–19 трав. 2021 р.) / Донецький національний технічний університет. – Покровськ : ДВНЗ «ДонНТУ», 2021. – с. 32 – 35
4. Терещенко О.О., Карпенко Д.В., Стовбуров С.Д., Топоров А.А. Застосування комплексного параметричного 3D моделювання при проектуванні штампової остастки та розробці конструкторської документації // Проблеми техніки і технології переробних виробництв: зб. тез доп. VII Міжнародної науково–практичної конференції (Покровськ, 18–19 трав. 2021 р.) / Донецький національний технічний університет. – Покровськ : ДВНЗ «ДонНТУ», 2021. – с. 36 – 39

ANNOTATION

Master's qualification work: 119 pages, 101 figures, 5 tables, 19 references, 2 appendices.

The relevance of the topic is to improve the separation of dispersed systems by using the capabilities of modeling the operation of equipment in CAE-systems.

Object of research: separation of disperse systems.

Subject of research: drum-jet sieve.

Purpose of work: to increase the efficiency of separation of disperse systems.

Methods of research - based on the analysis of technological equipment and the process of its work the corresponding model in CAD with the possibility of its calculation was created.

The work was performed during the period of master's studies from September 1, 2021 to December 31, 2022 at the Department of Chemical Technology and Chemical Engineering, Donetsk National Technical University.

The topic of the work is approved by the order of the university from 23.09.2022, №437

DISPERSION SYSTEM, CENTRIFUGATION, POTATO STARCH
PRODUCTION, SIEVE, STRESS-STRAIN STATE

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	10
1 АКТУАЛЬНІСТЬ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ РОЗДІЛЕННЯ ДИСПЕРСНИХ СИСТЕМ	11
1.1 Актуальність використання обладнання для розділення дисперсних систем	11
1.2 Аналіз використаної сировини	13
1.4 Аналіз проблеми розділення дисперсної системи	22
1.5 Постановка завдання.....	23
2 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ	24
2.1 Аналіз обладнання для розділення дисперсних систем	24
2.2 Визначення основних параметрів обладнання.....	28
2.3 Створення 3D-моделі барабанно-струменевого сита	29
2.4 Висновок розділу.....	31
3 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РОЗДІЛЕННЯ ДИСПЕРСНОГО СЕРЕДОВИЩА	32
3.1 Гідродинамічний розрахунок в CFD системі	32
3.2 Аналіз результатів гідродинамічного розрахунку	46
3.3 Аналіз напружено-деформованого стану ділянки ротора	53
3.4 Аналіз результатів дослідження напружено-деформованого стану	62
3.5 Висновок розділу.....	68
4 ЧИСЕЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ З ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ СИТА	70
4.1 Вхідні параметри моделі	70

	8
4.2 Аналіз отриманих результатів чисельного експерименту	74
4.3 Висновок розділу.....	84
5 РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ.....	86
5.1 Визначення раціональних параметрів отворів перфорації	86
5.2 Заходи впровадження змін	105
5.3 Висновок розділу.....	106
6 ОХОРОНА ПРАЦІ	107
6.1 Загальні положення з охорони праці, що до роботи з центрифугами	107
6.2 Перелік правил техніки безпеки під час експлуатації барабанних сит	108
ВИСНОВКИ.....	114
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	116
Додаток А Перелік зауважень нормоконтролера до кваліфікаційної роботи	118
Додаток Б Основні властивості фільтруючих тканин згідно ГОСТ 4403-91.....	119

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

Розділ 1

z – коефіцієнт подрібнення картоплі, %;

K_1 – кількість вільного крохмалю, г;

K_2 – кількість зв'язаного крохмалю, г;

Дб – доброякісність крохмальної суспензії, %;

m_k – кількість чистого крохмалю у суспензії, г;

$m_{з.с.}$ – кількість сухих речовин у суспензії, г;

САПР – система автоматизованого проектування;

CAE – (Computer-aided engineering) система призначена для розрахунків, аналізу та симуляції фізичних процесів.

Розділ 2

Fr – фактор розділення;

ω – кутова швидкість барабану, рад/с;

r_{RT} – радіус барабана;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

n – частота обертання барабана, об/хв;

M – маса завантаження барабану;

$V_{рот}$ – об'єм барабану, м³;

$\rho_{суз}$ – густина суспензій, кг/м³;

ψ – коефіцієнт заповнення барабану.

p_m – тиск на стінку конічного барабану, Па;

ρ_m – густина суспензії, кг/м³;

S_R – внутрішня площа барабану, м²;

R – найбільший радіус конічного барабану, м;

α – кут нахилу конусу, град.

ВСТУП

Для виробництва продуктів харчової промисловості використовують досить широкий спектр технологічного обладнання. Обладнання виконує різноманітні процеси виробництва, наприклад - очищення, подрібнення, сушку, фільтрування, сортування. Одним з таких процесів є процес розділення дисперсних систем, тобто виділення з рідкої суміші твердої або рідкої компоненти без зміни температури.

Одним з видів розділення дисперсних систем є процес фільтрації шляхом центрифугування в центрифугах або барабанних ситах. Це важливий етап у виробництві крохмалю. Наприклад сирий крохмаль отримують шляхом розділення картопляної кашиці в барабанному ситі. Від ефективності розділення вхідної сировини залежить якість отриманого крохмалю та час, витрачений на його виробництво. Тому важливим завданням є підвищення ефективності роботи подібного обладнання.

Для сучасного обладнання для розділення дисперсних систем можливо підвищити ефективність його роботи шляхом дослідження процесів, що протікають в ньому, з використанням сучасного програмного забезпечення – САПР, CAE а саме CFD систем. Такий підхід дозволяє в значній мірі скоротити затрати часу та ресурсів.

Магістерська робота присвячена аналізу розділення дисперсних систем методом 3D-моделювання конструкції обладнання, моделювання гідродинамічних процесів з використанням CFD аналізу, аналіз напружено-деформованого стану елементів обладнання з використанням кінцево-елементного аналізу та розробки заходів з підвищення ефективності роботи обладнання.

1 АКТУАЛЬНІСТЬ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ РОЗДІЛЕННЯ ДИСПЕРСНИХ СИСТЕМ

1.1 Актуальність використання обладнання для розділення дисперсних систем

У різних галузях промисловості в виробничому циклі продукції постає проблема, під час переробки сировини, виділення з суспензій певних часток або фракцій. Цю проблему вирішують використовуючи в технологічному циклі виробництва спеціалізованого обладнання, що відповідає за цей процес. Таке обладнання, для своєї роботи, використовує різні фізичні принципи, зокрема основні з них:

- Фільтрація – відділення часток з суміші за допомогою проходження її через відповідний фільтруючий матеріал, котрий не пропускатиме відповідні частинки, [1];
- Відстоювання – відділення твердих часток з суспензії шляхом тривалого впливу гравітації, що спричиняє осідання на дні ємності частинок, [2];
- Електрокоагуляція – осідання колоїдних систем внаслідок дії на них електричного струму, [3];
- Центрифугування – відділення з суспензій твердих часток шляхом впливу на суспензію відцентрових сил, що спричиняє відділення та осідання цих часток на стінках ротора в котрому відбувається цей процес, [2].

У сучасному обладнанні, як правило, поєднується декілька технологічних операцій та різнотипних технологічних процесів, зокрема як приклад такого обладнання – барабанне сито. Зокрема таким прикладом можуть слугувати фільтруючі центрифуги або барабанні сита, в них поєднано принцип фільтрації та центрифугування, що значно збільшує ефективність їх роботи.

Прикладом застосування такого обладнання є харчова промисловість, в ній використовують величезну кількість різноманітної сировини котра потребує розділення для подальшої переробки. Наприклад виробництво картопляного крохмалю потребує досить ємкого циклу переробки сировини в котрому основним впливом на неї є її розділення та подрібнення.

На разі виробництво картопляного крохмалю є перспективним напрямком виробництва в Україні, адже в нашій державі виробляється в середньому за рік 21,2 млн тон картоплі, що є головною сировиною для нього. На разі є тенденції збільшення виробництва крохмалю, що вказано на рис.1.1 та 1.2.

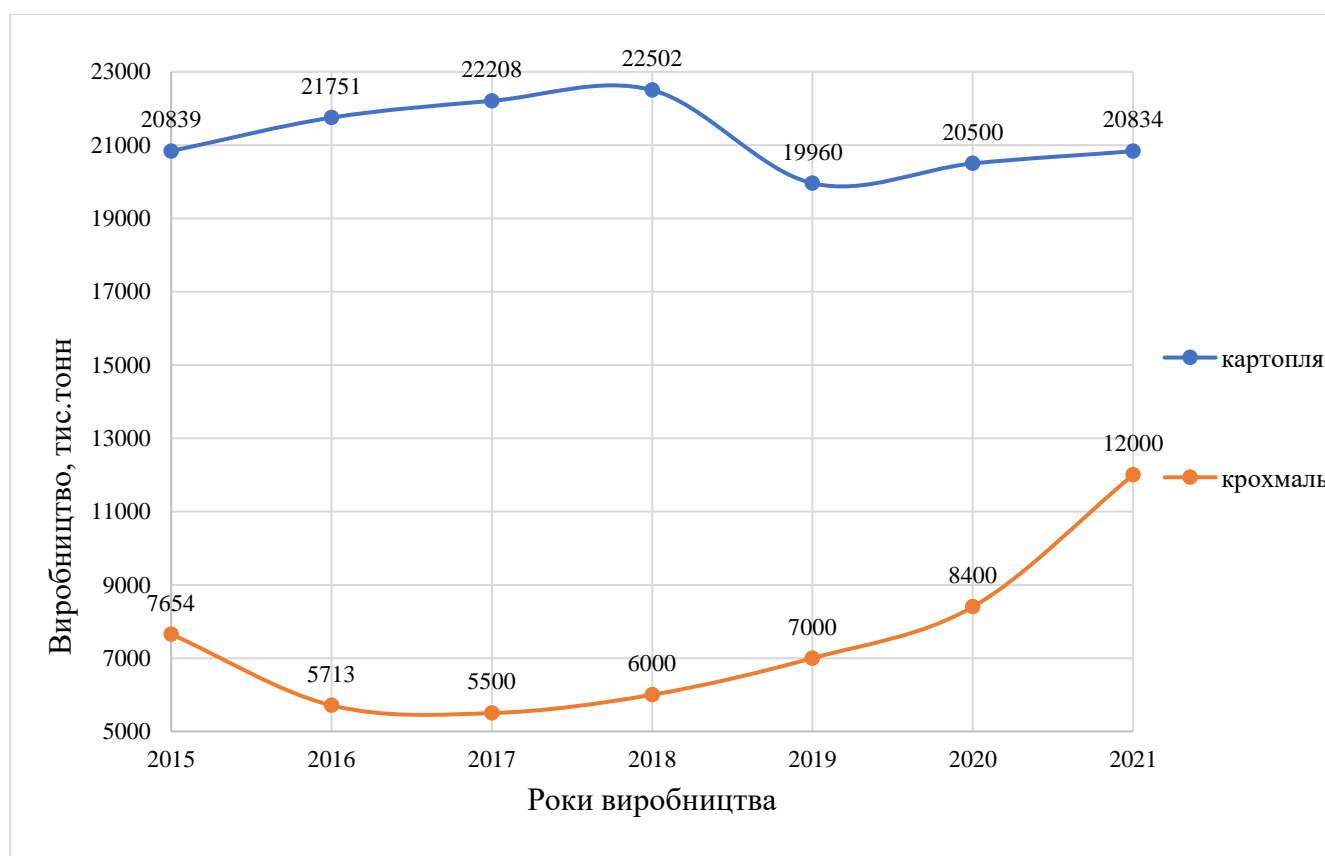


Рисунок 1.1 - Динаміка виробництва картоплі та крохмалю в Україні

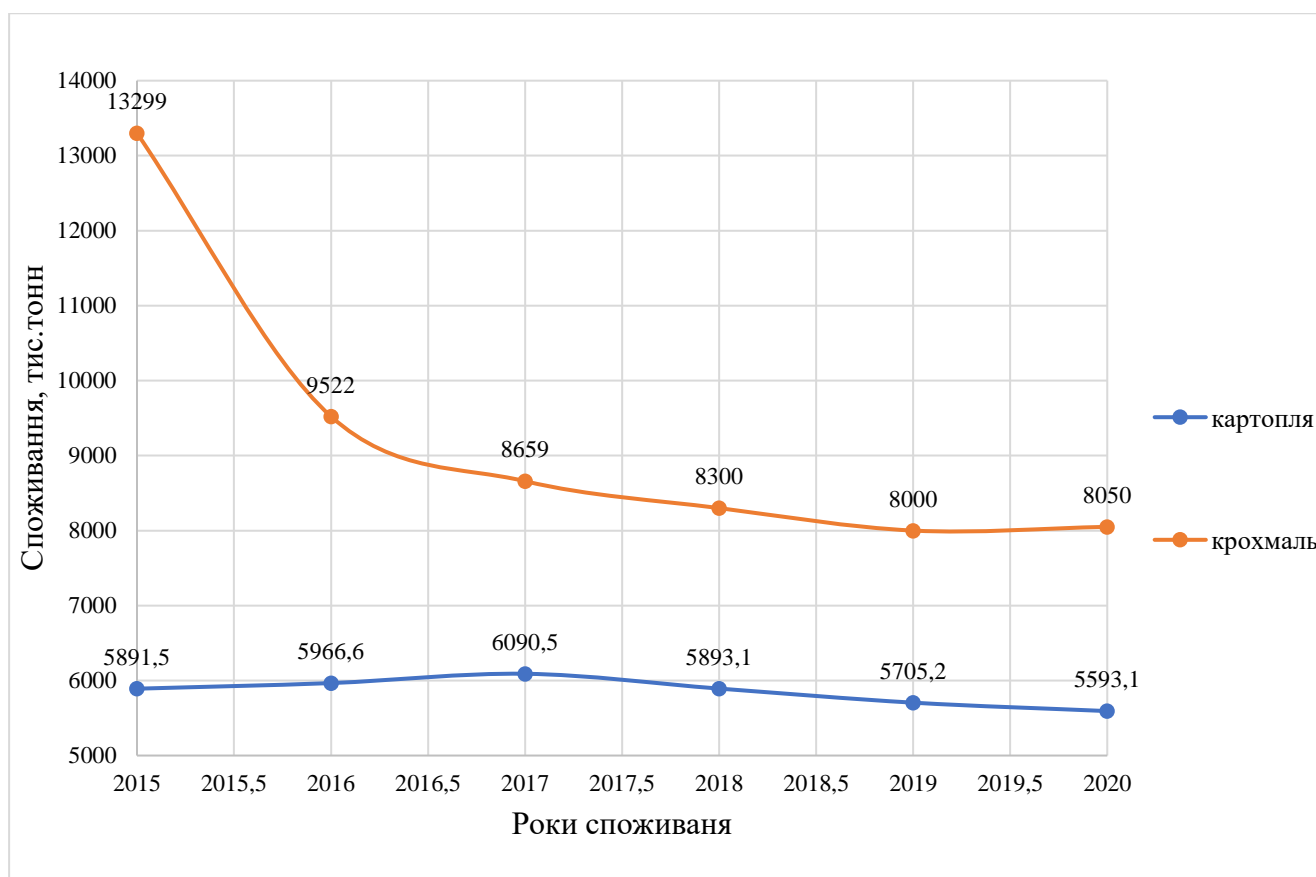


Рисунок 1.2 - Динаміка споживання картоплі та крохмалю в Україні

Аналізуючи ці данні можна зробити висновок, що споживання цього продукту в Україні є відносно сталим за декілька минулих років, а показники виробництва мають тенденцію росту на проміжку в 4 роки, та за прогнозами будуть збільшуватися тому що кількість підприємств виробників цього продукту поступово збільшилося. Споживання картоплі за останні 10 років в середині країни зменшилося, хоча його виробництво суттєво не зменшувалося, тобто картопля експортувалася в інші країни, [13].

1.2 Аналіз використаної сировини

Сировиною для картопляного крохмалю слугує картопля з певним його вмістом. В країнах Європи використовують спеціально виведений сорт картоплі з високим вмістом в собі крохмалю (18%), що дає змогу значно покращувати кількісні показники цього продукту. В Україні в якості сировини використовують

картоплю не такої якості, вміст крохмалю в ній коливається в діапазоні від 14 до 17%, що дає значно менші показники готового продукту. Причиною цього є те, що впродовж досить великого проміжку часу на потребу крохмального виробництва віддавали відносно неякісну картоплю. Зараз же є тенденція, в першу чергу від самих виробників, до залучання до виробництва саме спеціально виведених сортів картоплі, але навіть зараз частка картоплі з відносно малим вмістом крохмалю залишається досить суттєвою, [4].

Картопля за своїм хімічним змістом має наступний склад, %:

Вода	74,93
Без азотні екстрактивні речовини	20,86
Азотовмісні речовини	1,99
Жир	0,15
Клітковина	0,98
Зола	1,09

Безазотні екстрактивні речовини в картоплі є у вигляді крохмалю, цукру та деякою кількістю пентозану – не крохмальний і нецелюлозний полісахарид, що широко поширений в рослинах, [5]. В залежності від умов зберігання картоплі вміст цукру у ньому значно змінюється, в деяких випадках може перевищувати 5%.

Азотовмісні речовини картоплі складаються в більшості з розчинних білків та амінокислот, на долю котрих відводиться до 80% загальної кількості білкових речовин.

Згідно умов технології виробництва крохмалю розчинні речовини, за звичай, втрачаються з промивними водами.

Відходом виробництва на підприємствах з вироблення крохмалю є мезга – тверді залишки сировини, котру після часткового зневоднення (вологість 86-87%) використовують у якості корму для худоби. Вміст крохмалю в меззі залежить від ступеню подрібнення картоплі.

На великих підприємствах коефіцієнт вилучення крохмалю з сировини досягає 83-86%, на підприємствах малої потужності – близько 75%. Підвищення

відсотка пов'язано з значним збільшенням потужності підприємства, і відповідних витрат. Наразі сучасні виробництва досягають близько 90% вилучення крохмалю з сировини. Можливості вилучення картопляного крохмалю з сировини зазначено на рис. 1.3, [4].

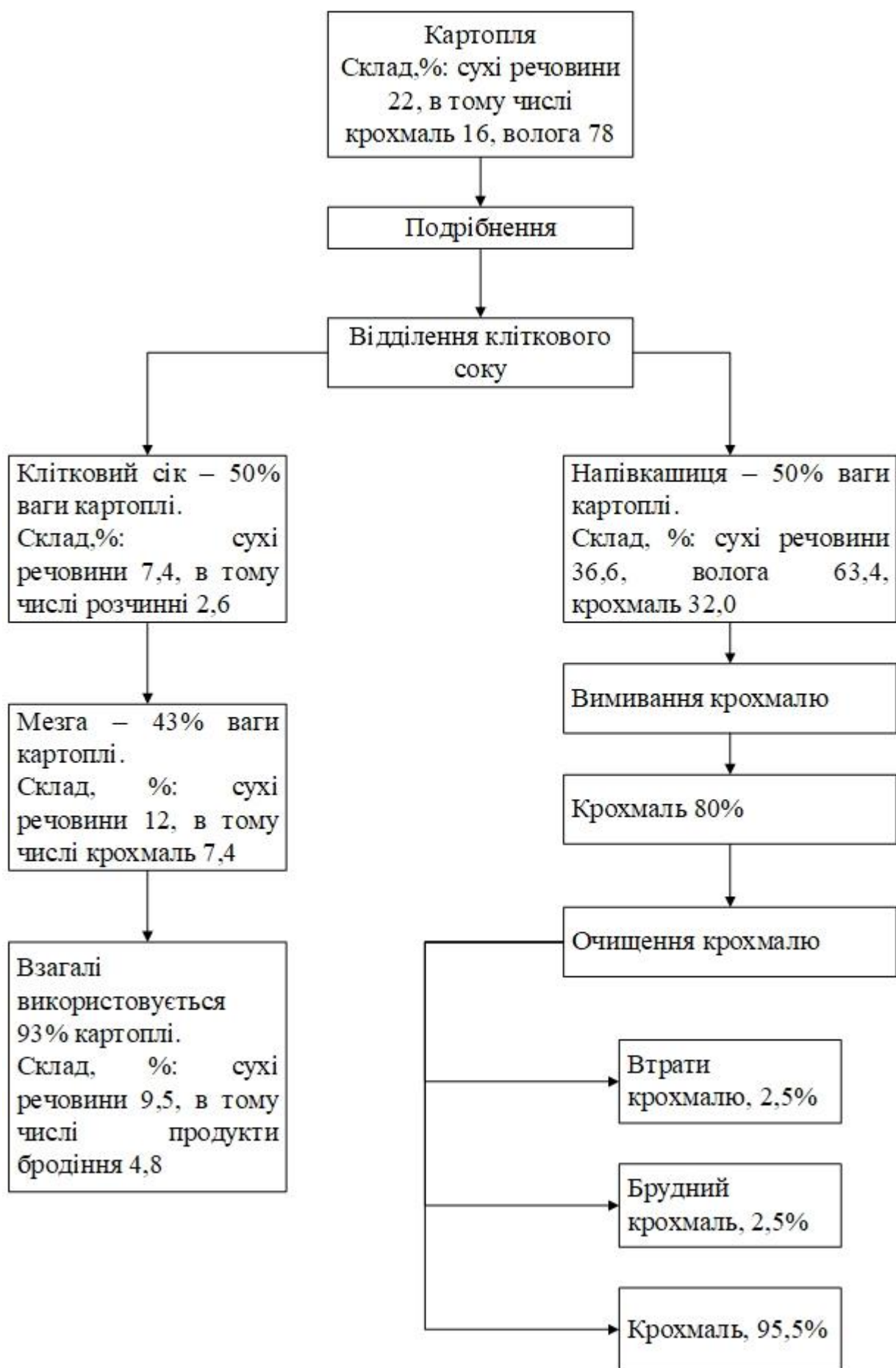


Рисунок 1.3 - Схема переробки картоплі на крохмаль

Розмір крохмальних зерен коливається від 2 до 150 мкм. Характерна особливість картопляного крохмалю – розбіжність зерен за розміром. Наприклад зерна кукурудзяного та рисового крохмалю мають майже однаковий розмір.

Крупні зерна картопляного крохмалю мають овальну форму та нагадують зовнішнім виглядом раковини, рис.1.4. Розмір зерен коливається від 15 до 100 мкм. Малі зерна мають круглу форму, борозни на них майже не помітні.

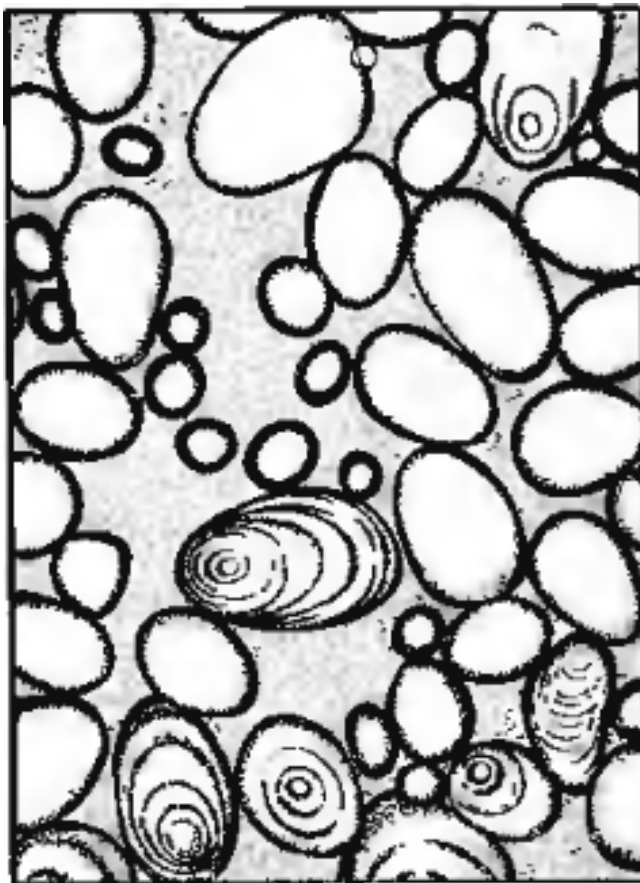


Рисунок 1.4 – Зерна картопляного крохмалю

Для виробництва найціннішими є зерна великого розміру: вони легко піддаються обробці та дають крохмаль більш високої якості.

1.3 Аналіз виробництва картопляного крохмалю

Принципова схема виробництва картопляного крохмалю зазначена на рис.1.5.

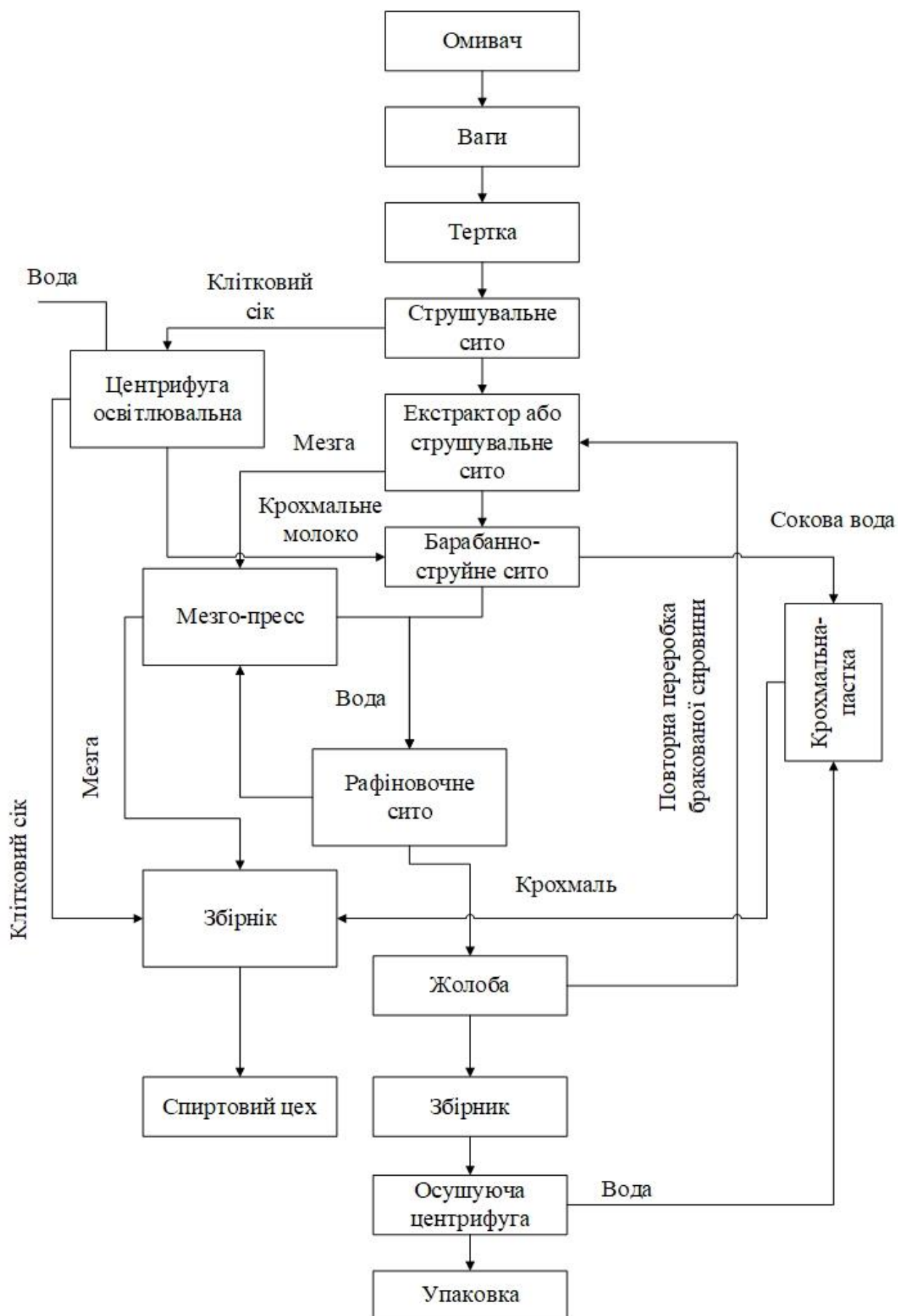


Рисунок 1.5. - Принципова схема комбінованого виробництва крохмалю та спирту з картоплі

Варто зазначити, що саме виробництво цього продукту може буди як самодостатнім, так і у тісній співпраці з іншими підприємствами харчової промисловості, адже утворювана вторинна сировина, котра є відходом такого виробництва, може бути залучена до виробництва продукції наприклад на спиртових підприємствах, або використовуватися у якості корму для худоби.

Виробництво картопляного крохмалю розпочинається за такою послідовністю:

Потрапляння сировини на виробництво. Картоплю спочатку очищують механічним впливом від налиплого бруду, промивають та зважують для розуміння масових показників очищеної сировини.

Подрібнення сировини. Цю операцію здійснюють на спеціалізованому обладнанні для подрібнення. Якість подрібнення сировини – картопляної кашиці – характеризується коефіцієнтом подрібнення. У цьому процесі повинно бути якомога більше порушено клітинну структуру, тому що завдяки цьому вивільнюється максимальна кількість крохмалю.

Крохмаль, що залишився в клітинах, називається зв'язаним, а вивільнений – вільним.

Коефіцієнт подрібнення у % визначають за формулою:

$$Z = \frac{K_1 \times 100}{K_1 + K_2} \quad (1.1)$$

де K_1 та K_2 – відповідна кількість вільного та зв'язаного крохмалю, г.

Відділення кліткового соку. Відділення кліткового соку з кашиці відбувається у освітлювальних шнекових центрифугах. Саме обладнання такого типу має високий фактор розділення, що дозволяє отримати згущену кашицю концентрацією до 40% з мінімальним вибуттям крохмалю клітковим соком 0,1%. Вторинне подрібнення. Одноразове подрібнення картоплі не завжди забезпечує постійний коефіцієнт подрібнення у діапазоні 90-92%. Поміж цим під час одноразового подрібнення картоплі з високим коефіцієнтом подрібнення виходить велика кількість мілкої мезги, з котрої значно складніше, ніж з крупної вимивається вільний крохмаль. Через це на крохмальних підприємствах проводять вторинне

подрібнення так званої напівкашиці. В технологічній схемі ці операція здійснюється після другого миття кашиці на ситових апаратах.

Вимивання вільного крохмалю з кашиці. Згідно технологічної схеми, наведеної на рис.1.6, вимивання вільного крохмалю з кашиці повинно відбуватися в чотири етапи на барабанно-струменевих ситах (БСС) та центробіжно-лопатевих ситах (ЦЛС) рис. 1.7, з такою послідовністю: кашка → I ступінь (БСС) → II ступінь (ЦЛС) → перетин → III ступінь (БСС) → IV ступінь (ЦЛС).

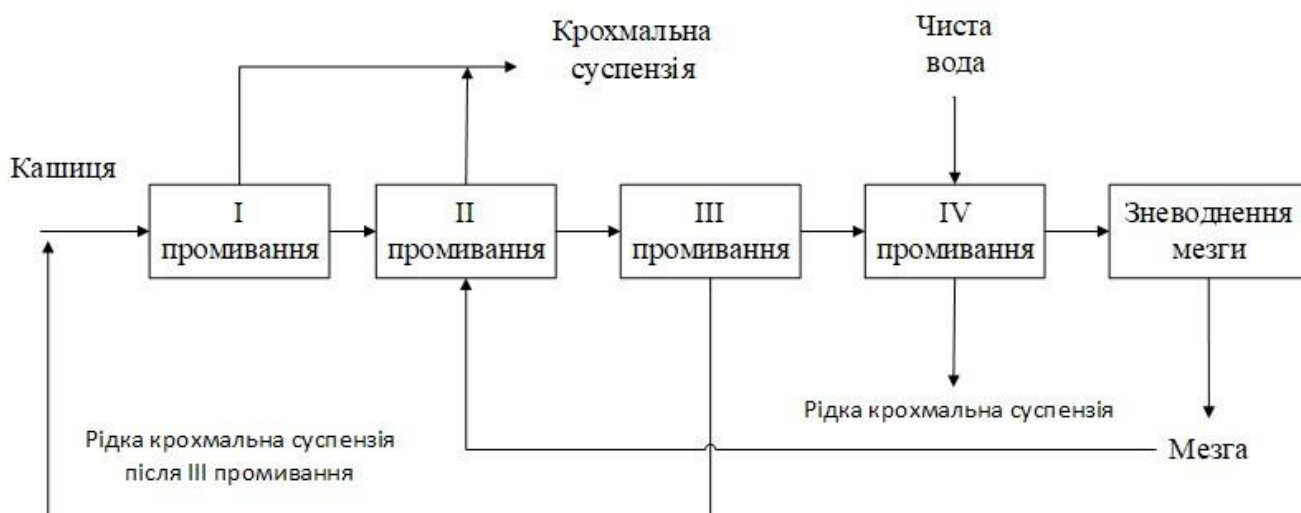


Рисунок 1.6 – Технологічна схема вимивання вільного крохмалю

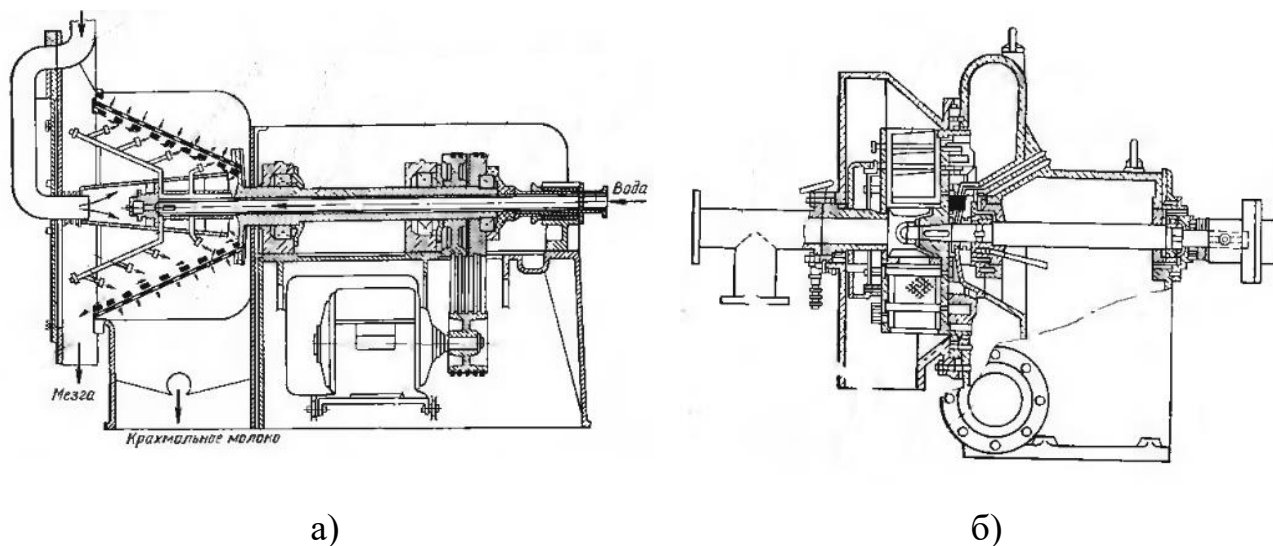


Рисунок 1.7 – Обладнання для вимивання вільного крохмалю: а - барабанно-струйне сито, б - центробіжно-лопатєва центрифуга

На станціях вимивання вільного крохмалю намагаються досягнути максимального виділення його кількості. Робота станції характеризується

коефіцієнтом вимивання, що визначається як відношення кількості вимитого вільного крохмалю до вільного крохмалю, котрий надійшов разом з кашкою на вимивання. За умови нормальної роботи станції цей коефіцієнт повинен бути 98-99%. На практиці роботу станції характеризують вмістом вільного крохмалю в промитій мезгі. За умови нормальної роботи ситової станції вміст вільного крохмалю в мезгі не повинен перевищувати 4%.

На I та III етапі вимивання рекомендуються рекомендовано використовувати барабанно-струменеві сита, вони забезпечують досить високу ступінь вимивання вільного крохмалю із кашки, а на II та IV – центробіжно-лопатеві сита, вони дозволяють отримати напівкашицю після II етапу або мезгу після IV етапу зі зниженою вологістю, що забезпечує ефективність вторинного подрібнення напівкашиці та зниження кількості товарної мезги щонайменше у 1,5 рази.

Виділення сокової води. На станціях виділення кліткового соку з кашки виділяється 60-70% розчинних речовин, що є в складі кліткового соку картоплі. Виділення сокової води з крохмальної суспензії виконується за допомогою осадових шнекових центрифуг.

Рафінування крохмальної суспензії. Рафінування крохмальних суспензій та вимивання мілкої мезги є однією з важливих технологічних операцій, котра впливає на як на вихід так і на якість крохмалю.

На станції рафінування має бути видалено 90-95% мілкої мезги і остаточний вміст її в крохмальній суспензії не повинен перевищувати 0,5% від маси сухих речовин. Для рафінування суспензій використовують барабанно-струменеві сита.

Розмиття крохмальної суспензії. Рафінована крохмальна суспензія має якість 97-98%, тобто в сухій речовині міститься 2-3% некрохмалю, в більшості це розчинні речовини й тонкі волокна мезги. Під час розмивання з суспензії повинні бути видалені повністю й мезга, й розчинні речовини. Якість крохмалю після розмиття повинна складати 99,4-99,6%. Розмиття крохмальних суспензій здійснюють на гідроциклонах, відстійно-промивочних центрифугах або жолобах,[4].

1.4 Аналіз проблеми розділення дисперсної системи

Центробіжні сита типу БСС та ЦЛС повинні мати спеціальну шліцьову сітку. Застосування на них штампованих та саржевих сіток можливе але впливає на їх продуктивність. Для вторинного вимивання використовують шовкову або капронову тканину, котра регламентована відповідним стандартом (Додаток Б).

В залежності від технологічних операцій використовують відповідний номер сит. Тканинні сита мають свою відповідну нумерацію, котра не співпадає між ситами з різних матеріалів, тому на виробництві використовують відповідні таблиці відповідності.

Для вимивання вільного крохмалю з сировини застосовують шовкові сита з номером № 46 або 55 а капронові в діапазоні поміж номерами № 58-64.

Після вимивання вільного крохмалю рідка крохмальна суспензія складається переважно з води, крохмальних зерен, частини розчинних речовин, кліткового соку та дуже мілкої мезги.

Якість крохмального молока характеризують його доброякісністю – відношенням маси чистого сухого крохмалю до маси сухих речовин в цьому продукті включно з крохмалем, та визначається за формулою:

$$Дб = \frac{m_k}{m_{з.с.}} \times 100 \quad (1.2)$$

де Дб – доброякісність крохмальної суспензії, %;

m_k – кількість чистого крохмалю у суспензії, г;

$m_{з.с.}$ – кількість сухих речовин у суспензії, г.

Доброякісність крохмальної суспензії після першого промивання складає 73-79%, після повторного – 95-98%.

Вона залежить від якості роботи ситового обладнання, від підбору ситової тканини, рівня обслуговування сит та вмісту розчинних речовин у сировині.

В подальшому розчинні речовини видаляють з крохмалю вимиванням, нерозчинні (залишки мезги) відділити з крохмалю дуже важко, тому на ситових станціях необхідно добиватися максимального відділення мезги та інших домішок від крохмального молока.

Барабани сит не рідше одного разу за зміну замінюють на чисті та сухі. Зняті сита промивають водою або слабким 0,1-0,2% розчином соди, після чого ретельно промивають водою та сушать.

За станом ситової поверхні ретельно слідкують, не допускаючи потрапляння мезги поміж рамок сит. Рамки з розірваними ситами негайно замінюють й суворо дотримуються графіку заміни сит для промивання, заміни, ремонту та просушування. Особливого контролю й догляду потребують сита, котрі використовують на завершальному етапі вимивання, [4].

1.5 Постановка завдання

Вище наведено детальну схему з детальним оглядом певних етапів виробництва сирого крохмалю, що стосуються тематики магістерської роботи.

Для досягнення мети роботи, а саме підвищення ефективності обладнання, є пошук заходів задля підвищення довготривалої роботи ситових тканин, а також їх обґрунтування.

Відповідно до теми магістерської роботи, встановлено наступні задачі:

1. Опис обраного обладнання та створення його 3D-моделі за допомогою системи автоматизованого проектування (САПР) з урахуванням спрощень для подальшого розрахунку в САЕ системах;
2. Попередній розрахунок у CFD-системі, для визначення тиску оброблюваної сировини на стінку барабану, а також супутніх параметрів;
3. Проведення дослідження напружено-деформованого стану локальної області ротору, для симуляції процесів котрі протікають під час роботи обраного вузла обладнання;
4. Проведення чисельного експерименту з визначення раціональних параметрів сита, а саме розмірів отворів перфорації;
5. Узагальнення та аналіз отриманих результатів експериментів;
6. Розробка рекомендацій щодо покращення ефективності обладнання.

2 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

2.1 Аналіз обладнання для розділення дисперсних систем

Для пришвидшення відмивання крохмалю з кашиці зараз використовують центробіжні сита замість струшуючих та щіткових сит раніше. Зазвичай це барабанно-струменеві та центробіжно-лопатеві сита.

Барабанно-струменеве сито показано на рис.2.1.

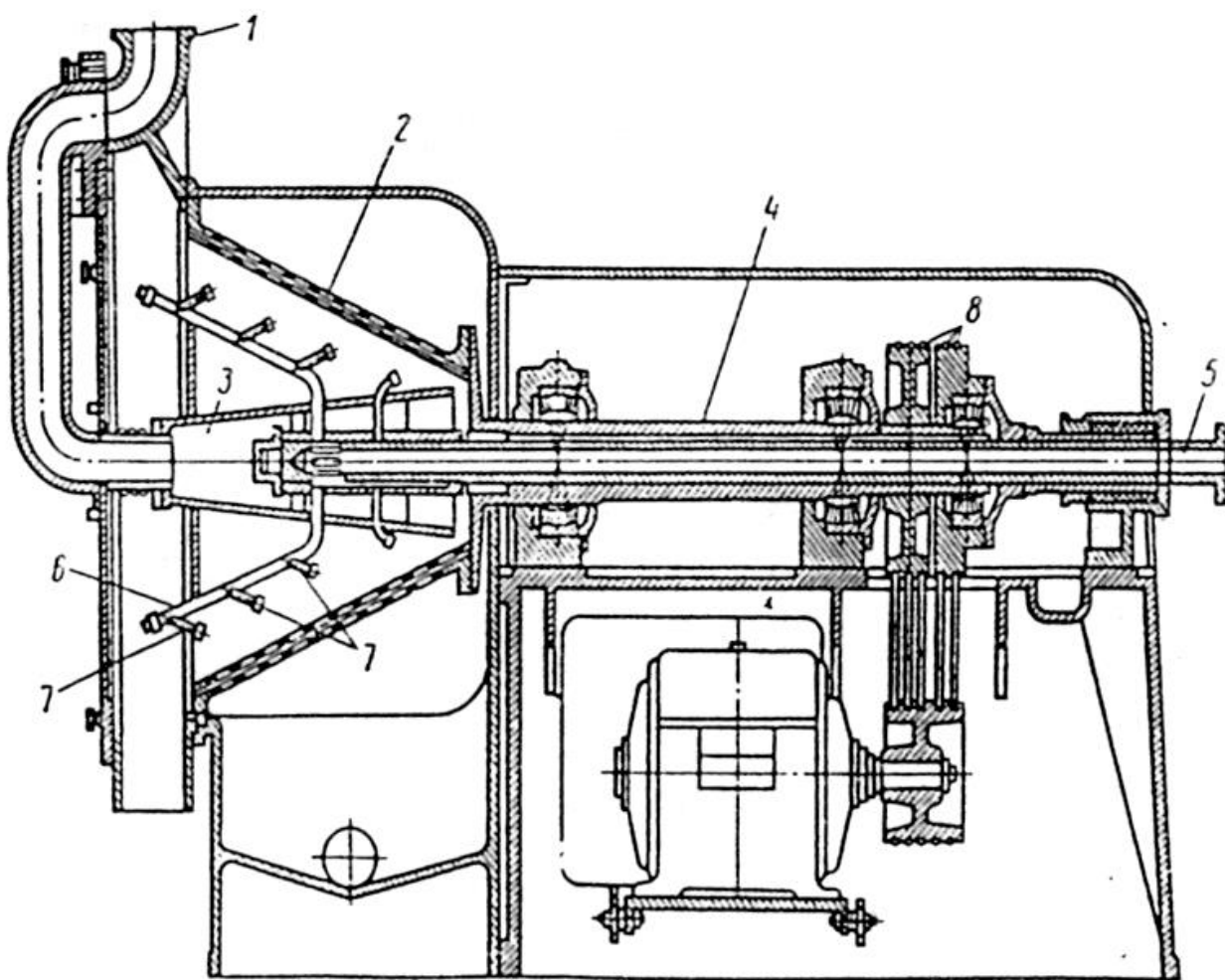


Рисунок 2.1 – загальний вигляд барабанно-струменевого сита

Барабанно-струменеве сито є центробіжним апаратом, робочим органом котрого є перфорований конічний стальний барабан, що обертається – ротор 2. На внутрішній поверхні ротора закріплюються рами або конус обтягнутий однією або двома фільтруючими сітками. Кашиця потрапляє в живильну трубу 1 та через

живильник 3 потрапляє в вершину ситового конуса. З частотою обертання барабану близько 900 об/хв кашиця під дією центробіжного прискорення рівномірно розподіляється по внутрішній поверхні барабану та поступово сповзає до більшої основи, тим часом крохмальне молоко підиться через сито.

Назустріч руху кашиці подається вода через спеціальний прилад – струменевий ротор-зрошувач. Вода до нього потрапляє через вал 5, котрий обертається всередині основного валу 4, та потрапляє в трубчатий колектор 6, де розташовані сопла 7. Привід 8 забезпечує випередження обертання ротора зрошувача відносно ситового барабану на 50 об/хв, а вода під тиском 0,2-0,25 МПа створює проти ходу речовини в роторі так званий водяний шнек, він затримує сировину на ситі та відмиває від нього вільний крохмаль.

Витрати води на ситових станціях складають близько 400% від маси переробленої картоплі.

Барабанно-струменеві сита є обладнанням безперервної роботи, тому мають відносно велику продуктивність на добу, вона може досягати декількох сотень тон сировини на добу. Роботу такого обладнання зупиняють виключно для обслуговування основних його вузлів, зокрема сит так як вони напряму впливають на ефективність роботи обладнання, [7].

Основні технічні характеристики обраного для моделювання обладнання наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Технічні характеристики барабанно-струменевого сита БСС-100

Характеристика	Значення
Продуктивність по картоплі, т/добу	100
Площа ситової поверхні, м ²	0,8
Діаметр ситового барабану, мм	
найбільший	741
найменший	350
Внутрішня висота барабану, мм	500

Продовження таблиці 2.1

Частота обертання барабану, об/хв	900
Частота обертання зрошувача, об/хв	950
Потужність привода, КВт	10
Габаритні розміри, мм	
довжина	2440
ширина	1120
висота	1706
Маса, кг	1950

Як зазначено вище використовують для фільтрації або натуральну тканину, наприклад бавовну рис.2.2, або синтетичну, капронову рис.2.3. Фільтруючі тканини з різних матеріалів ниток мають різну поверхневу щільність та завдяки різним типам плетіння, рис.2.4, мають різне розривне навантаження.



Рисунок 2.2 – Приклад бавовняної тканини з її структурою



Рисунок 2.3 – Приклад синтетичної тканини з її структурою

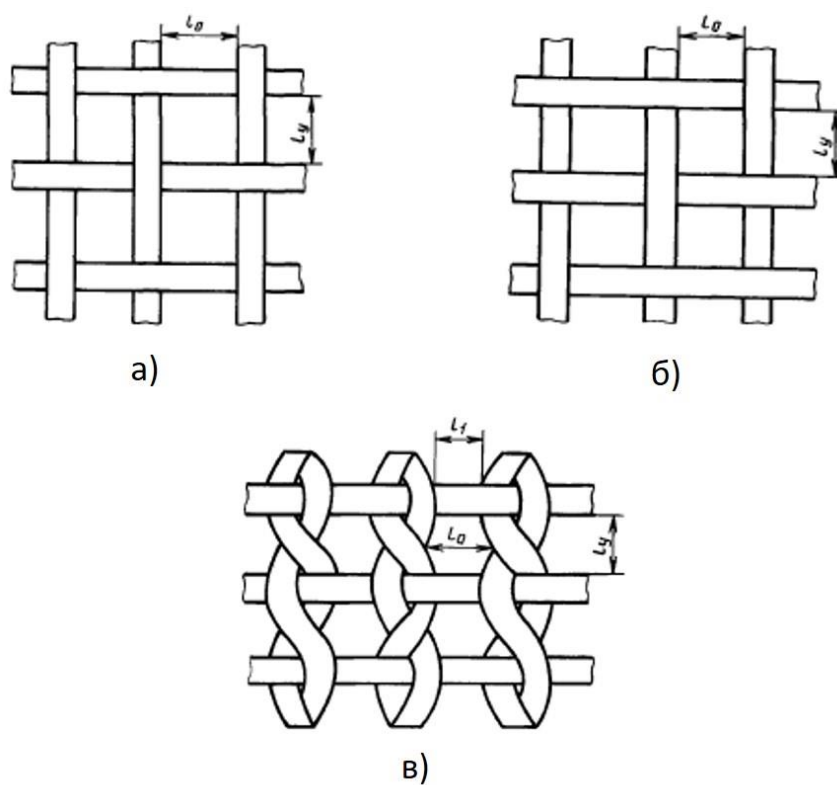


Рисунок 2.4 – Основні типи плетіння: а – полотняне; б – саржеве; в - ажурне

2.2 Визначення основних параметрів обладнання

Основними параметрами барабанних сит є: фактор розділення, маса завантаження барабану та тиск середовища.

Фактор розділення – безрозмірний параметр, визначаючий в скільки разів пришвидшення центробіжного поля, утворюючого центрифугою, більше прискорення вільного падіння. Визначається за рівнянням:

$$F_r = \frac{\omega^2 r_{PT}}{g} \quad (2.1)$$

де ω – кутова швидкість барабана, рад/с;
 r_{PT} – радіус барабана;
 g – прискорення вільного падіння, м/с².

$$\omega = \frac{n\pi}{30} \quad (2.2)$$

де n – частота обертання барабану, об/хв.

Маса завантаження барабану визначається як добуток густини суспензії на об'єм конусу барабану та коефіцієнт заповнення барабану, та має наступний вигляд:

$$M = V_{\text{рот}} \rho_{\text{суз}} \psi \quad (2.3)$$

де $V_{\text{рот}}$ – об'єм барабану, м³;
 $\rho_{\text{суз}}$ – густина суспензій, кг/м³;
 ψ – коефіцієнт заповнення барабану.

Тиск середовища на внутрішню стінку конічного барабану під час обертання визначається за формулою:

$$p_m = \rho_m \times s_R \times \omega^2 \times R \times \cos \alpha \quad (2.4)$$

де ρ_m – густина суспензії, кг/м³;
 s_R – внутрішня площа барабану, м²;
 R – найбільший радіус конічного барабану, м;
 α – кут нахилу конусу, град.

2.3 Створення 3D-моделі барабанно-струменевого сита

Для розрахунку обладнання використовують системи автоматизованого проектування. Вони дають змогу створити відповідну реальному обладнанню 3D-модель, що буде з певною точністю відтворювати масо-габаритні та конструкційні характеристики обладнання.

Для спрощення створення збірки, котра буде представляти вже готове обладнання, використаємо принцип моделювання «знизу-вверх». Такий підхід обумовлює створення спочатку основних деталей, підзбірок та збірок.

Так як для подальшого розрахунку спрощено «геометрію» тож деякі деталі об'єднані в одну. В результаті спрощення кількість деталей в збірці складає 8 замість 29. Так для збірки використовуємо основні деталі: корпус, вал, конічний ротор, живильник та колектор.

Одним з шляхів спрощення 3D-моделі для розрахунку було створення геометрії сита. В обладнанні в якості сита використовують металеве плетене полотно, на котре зсередини встановлюють сито з тканини. Така конфігурація сит значно ускладнила б за часом та потужністю розрахунків тому одних із головних елементів спрощення стало саме сито.

З огляду на головну мету цього розрахунку можна замінити тканинне сито на його аналог, адже процес фільтрації для цього розрахунку не розраховуємо. Також відтворення геометрії плетеної сітки сита відняло би значну кількість потужності комп'ютера для такого розрахунку, через це була використана інша геометрія отворів у ситі. Її геометричні розміри зазначено на рис. 2.5, а схема перфорації на рис. 2.6 та 2.7.

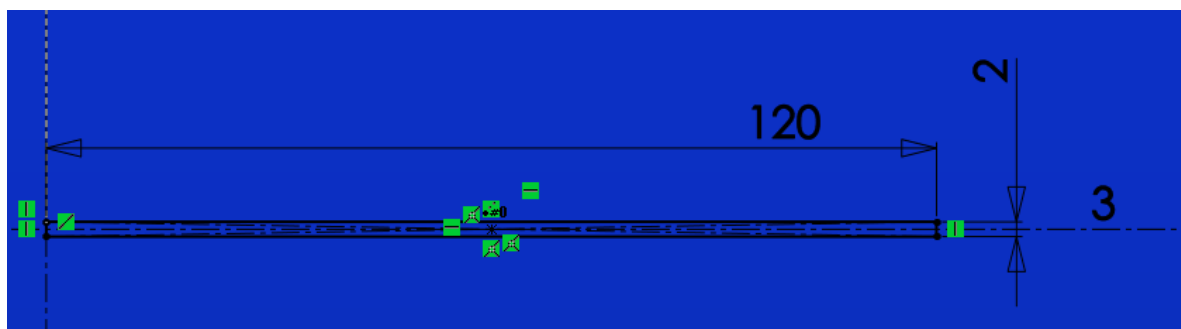


Рисунок 2.5 –Геометричні розміри отвору в сітці

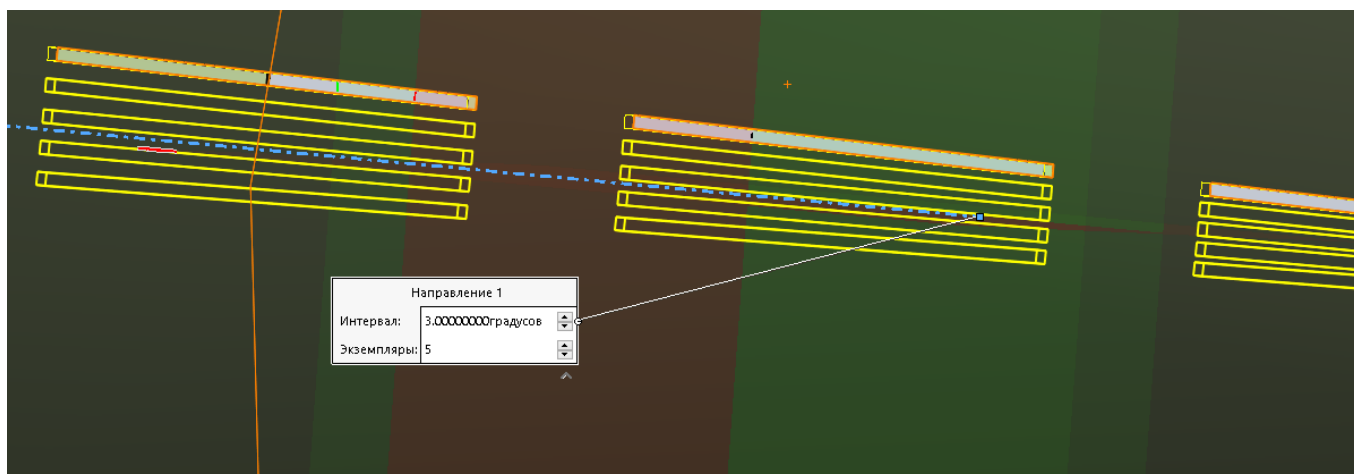


Рисунок 2.6 – Блок отворів перфорації

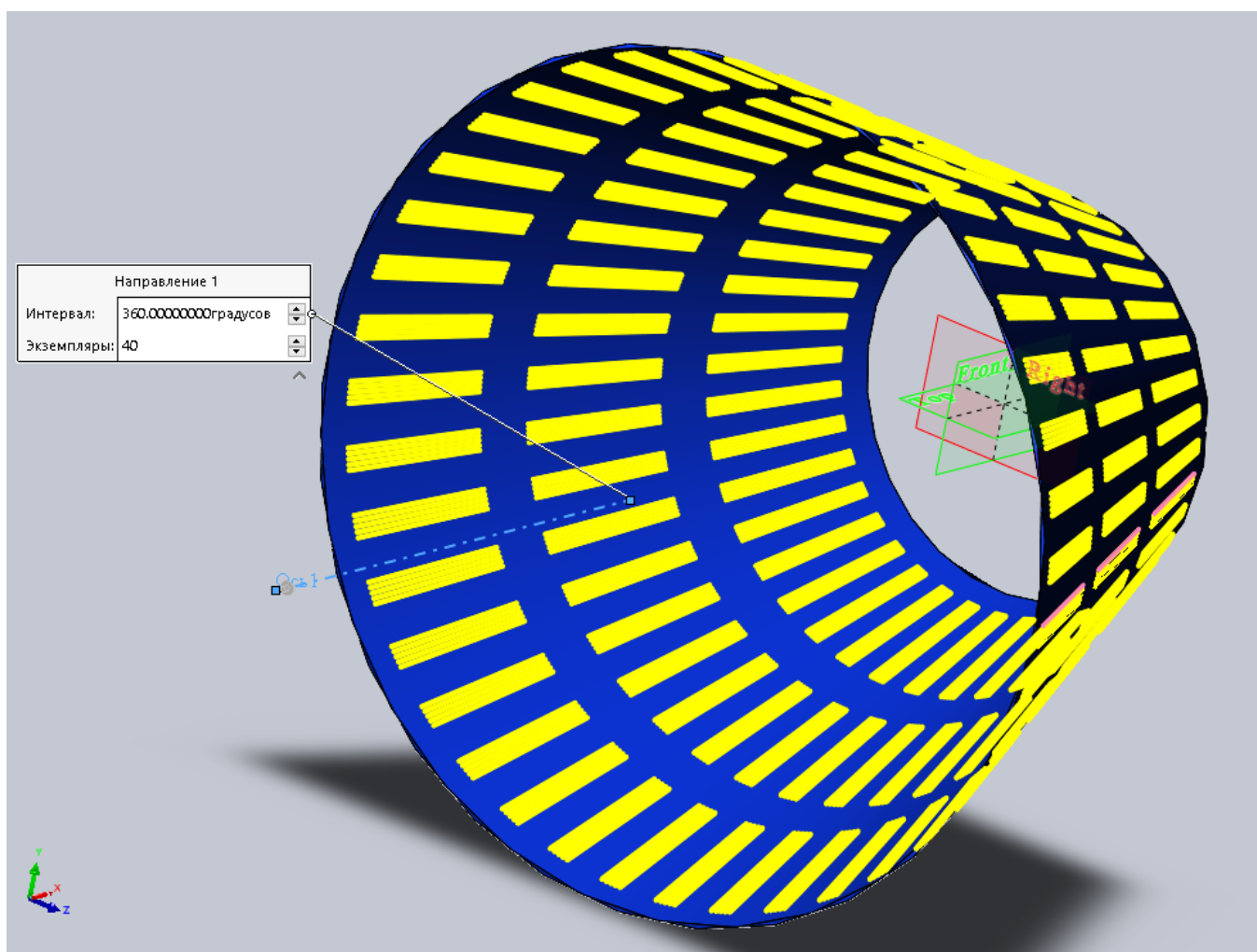


Рисунок 2.7 – Загальна схема перфорації барабану

Вже готову модель обладнання отримуємо на рис.2.8.

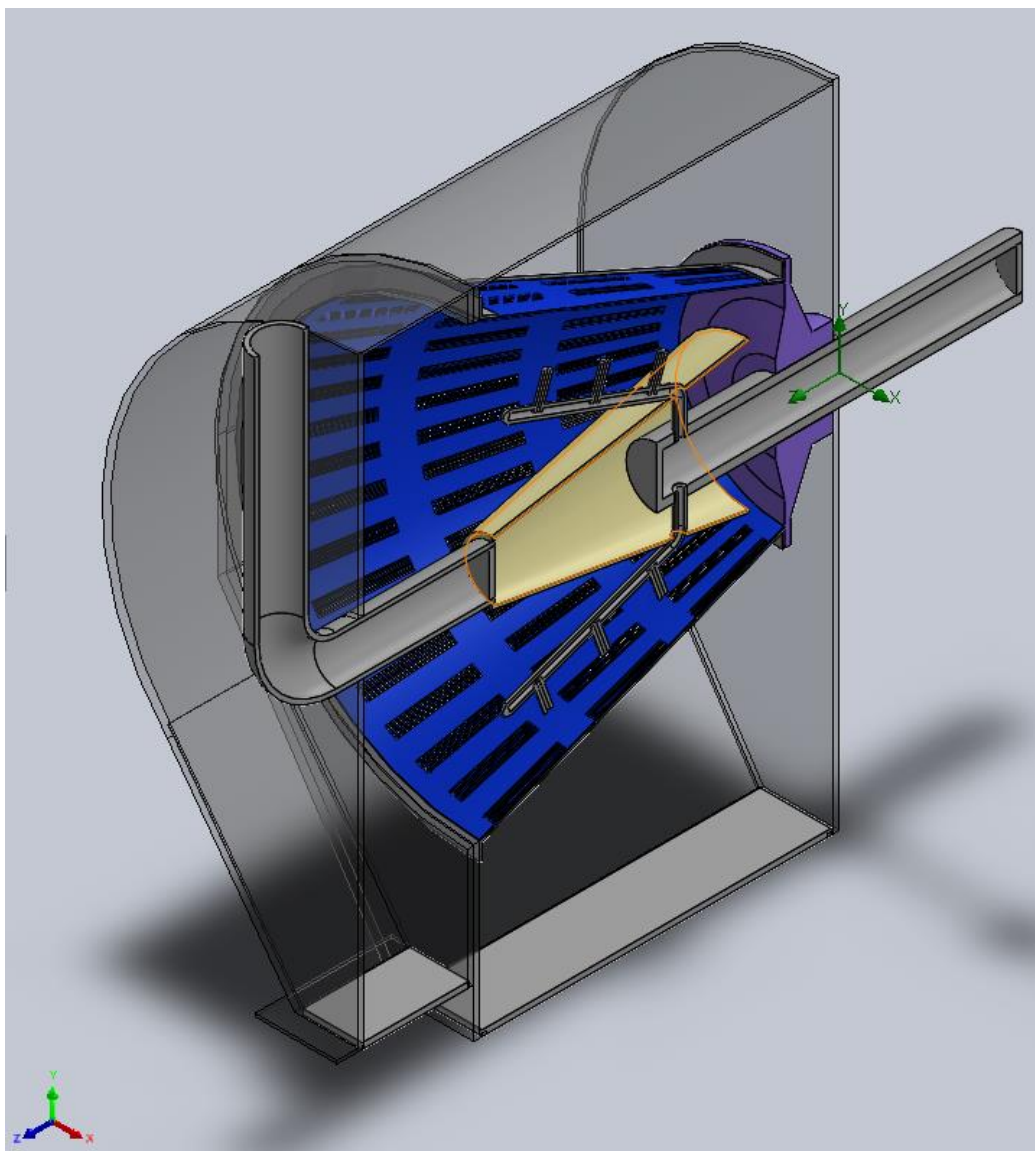


Рисунок 2.8 – Модель барабанно--струменевого сита БСС-100 у розрізі

2.4 Висновок розділу

В розділі наведено принцип роботи обраного обладнання та його технічні характеристики з детальним розглядом фільтруючого елемента сита.

Наведені основні параметри, за якими відбувається розрахунок подібного обладнання.

Створено, з урахуванням спрощень задля подальшого розрахунку, 3D-модель обладнання. Виконано спрощення деталей збірки, що зменшило їх кількість. Окремі вузли, котрі прийматимуть участь у розрахунку, відтворено згідно їх реальних розмірів.

3 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РОЗДІЛЕННЯ ДИСПЕРСНОГО СЕРЕДОВИЩА

3.1 Гідродинамічний розрахунок в CFD системі

Для аналізу напружено-деформованого стану потрібно встановити навантаження, з якими діє сировина на стінку ротора барабанного сита.

Для гідродинамічного розрахунку використаємо вбудований модуль в систему моделювання, його інтерфейс наведено на рис.3.1.

На першому етапі розрахунку вказуємо початкові дані, систем одиниць виміру, параметри та умови розрахунку. Тому серед елементів інтерфейсу нам знадобиться майстер проекту, позиція 1 на рис.3.1, задля задання попередніх умов розрахунку; дерево проектів, позиція 2 на рис.3.1, де можна дублювати проект розрахунку зі зміненими початковими умовами для порівняння отриманих результатів; дерево початкових даних, позиція 3 на рис.3.1, де ми вказуємо умови та параметри пов'язані безпосередньо з геометрією 3D-моделі.

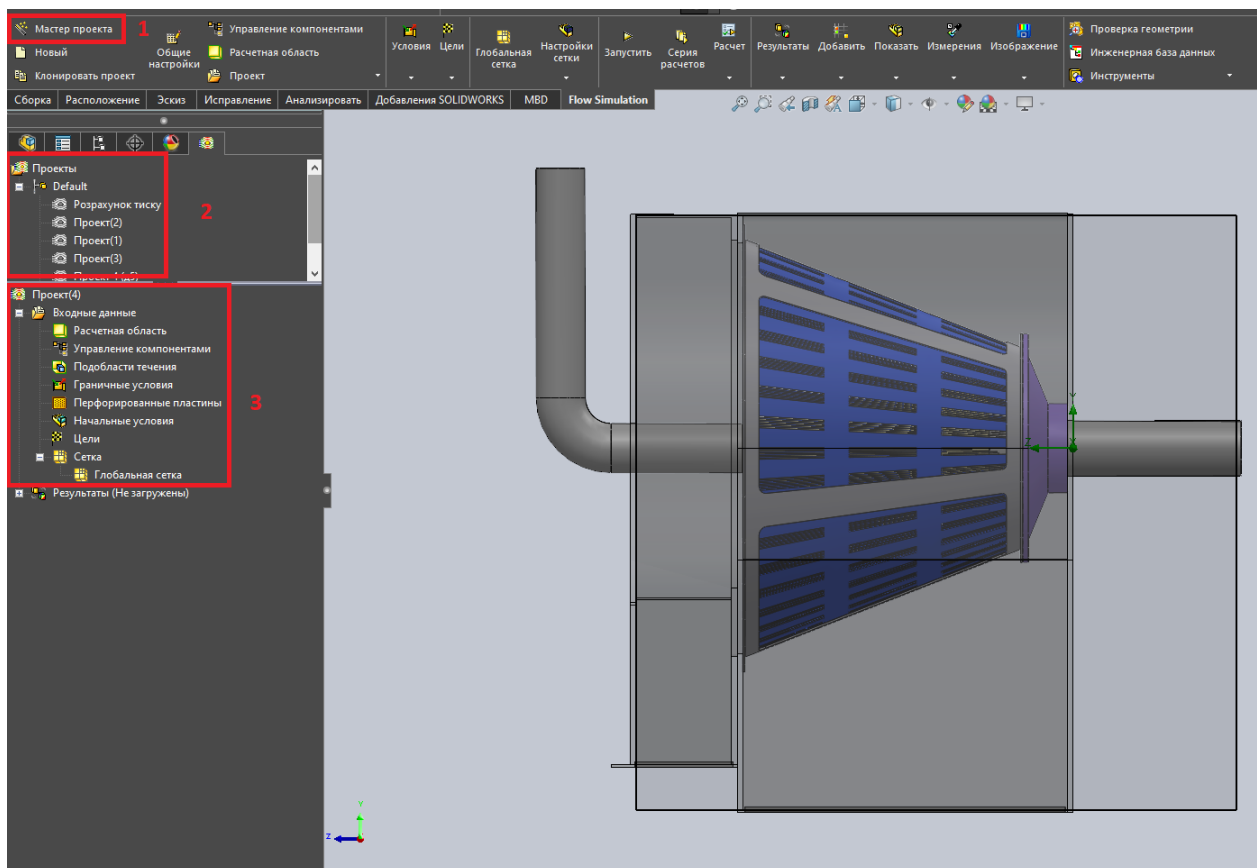


Рисунок 3.1 – Схема робочого інтерфейсу

Розпочинаємо розрахунок з майстра проекту, рис.3.2. Вказуємо ім'я проекту та конфігурацію 3D-моделі. Далі, рис.3.3, вказуємо систему одиниць вимірювання - СИ.

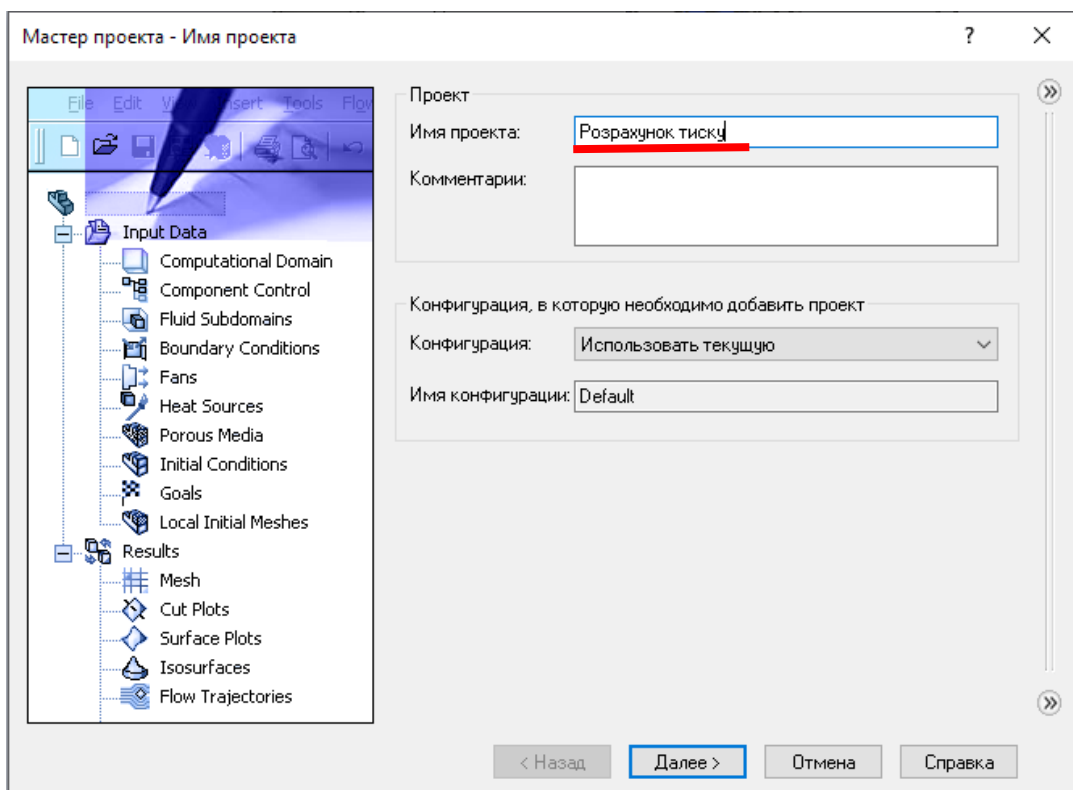


Рисунок 3.2 – Початкове вікно майстра проекту

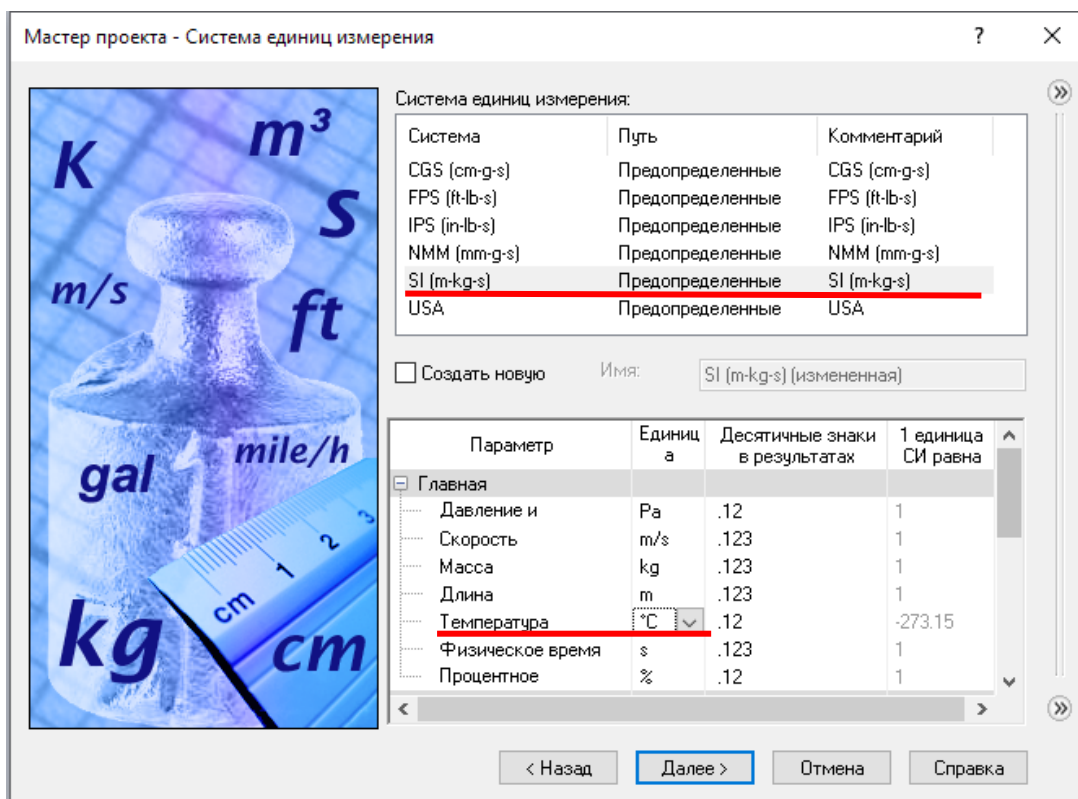


Рисунок 3.3 – Вікно вибору системи одиниць вимірювання

У вікні вибору типу задачі, рис.3.4, вказуємо, що це внутрішня задача та обираємо параметри її фізичної моделі. Зокрема вказуємо, що в моделі є елемент обертання, тобто вмикаємо «обертання» та вказуємо параметр обертання Sliding. Автоматично з цим вмикається «нестационарність». Також вказуємо на вплив гравітації на розрахункову область. Важливим в цьому є вказати за якою віссю буде вплив гравітації, адже встановлене значення за-умовчуванням може відрізнятись від потрібного.

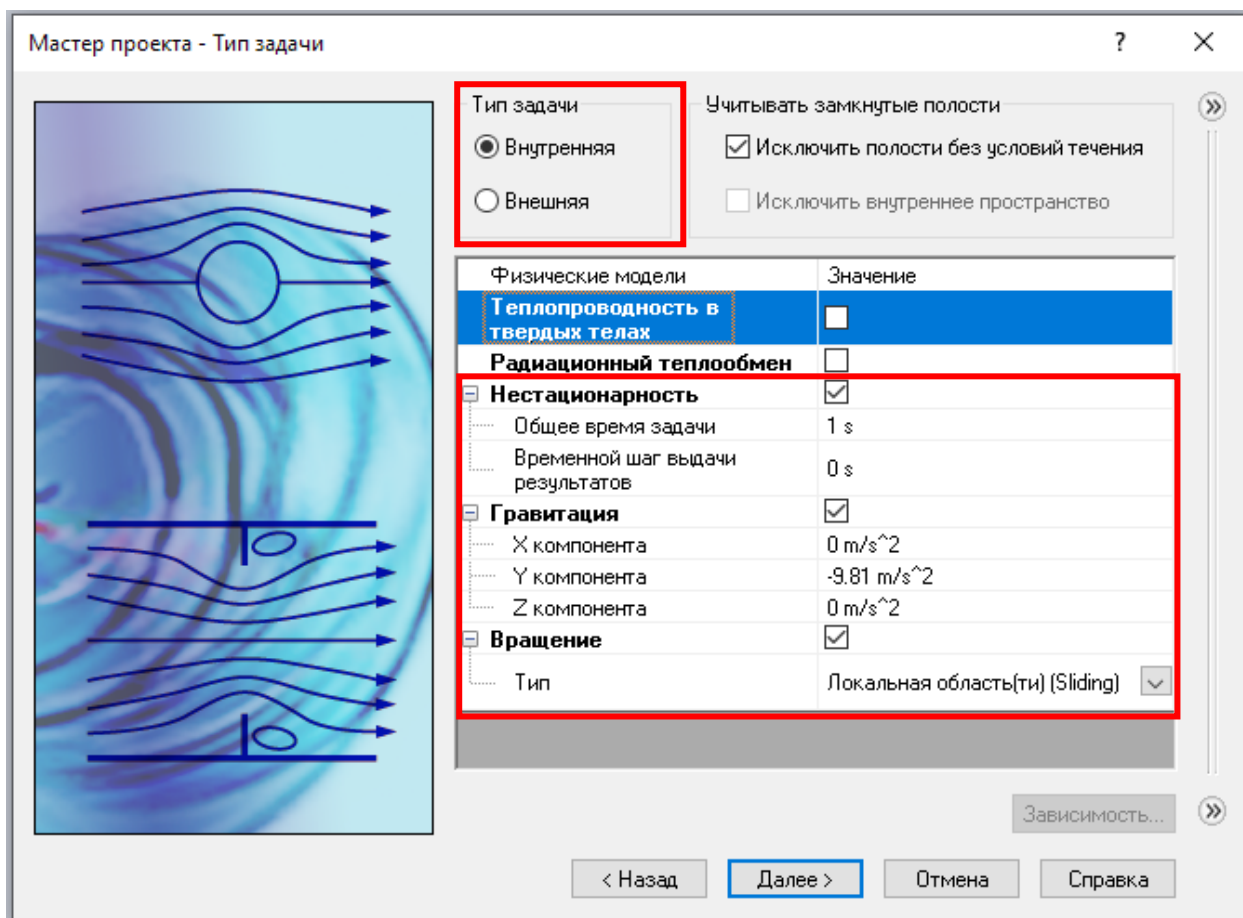


Рисунок 3.4 – Вікно вибору типу задачі

Обираємо текуче середовище для гідродинамічного розрахунку, рис.3.5. Так як крохмальна суспензія за своїми фізичними властивостями близька до води, то можна не створювати новий матеріал текучого середовища, а обрати з стандартного ряду воду.

Тип потоку залишаємо без змін – ламінарний та турбулентний.

Залишаємо без змін умови на стінках моделі, рис.3.6.

Завершальним етапом задання умов у майстрі проекту є перевірка початкових умов, рис.3.7.

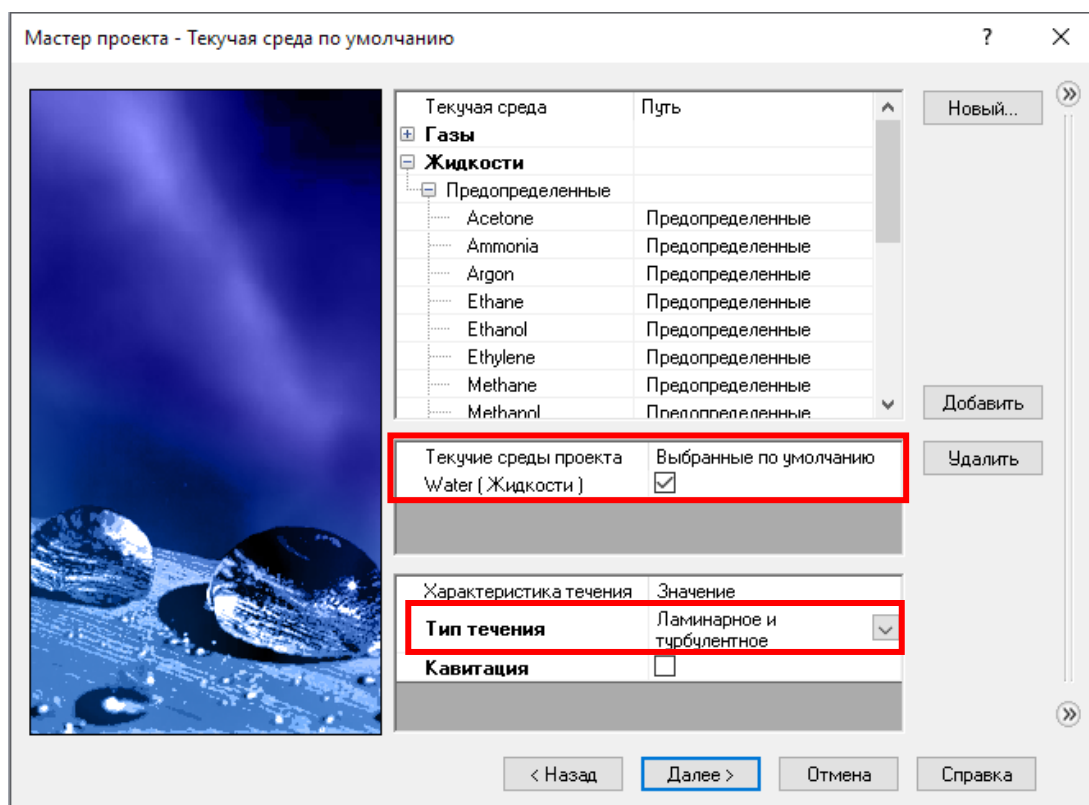


Рисунок 3.5 – Вікно вибору текучого середовища

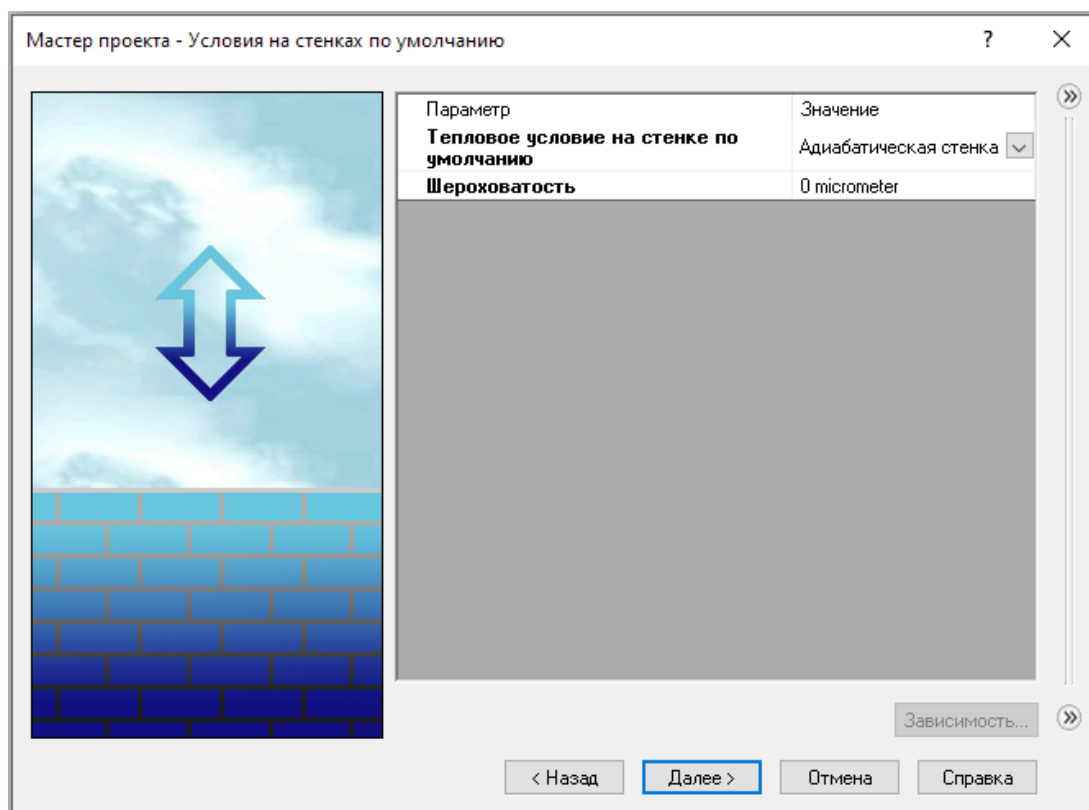


Рисунок 3.6 – Вікно вибору умов на стінках

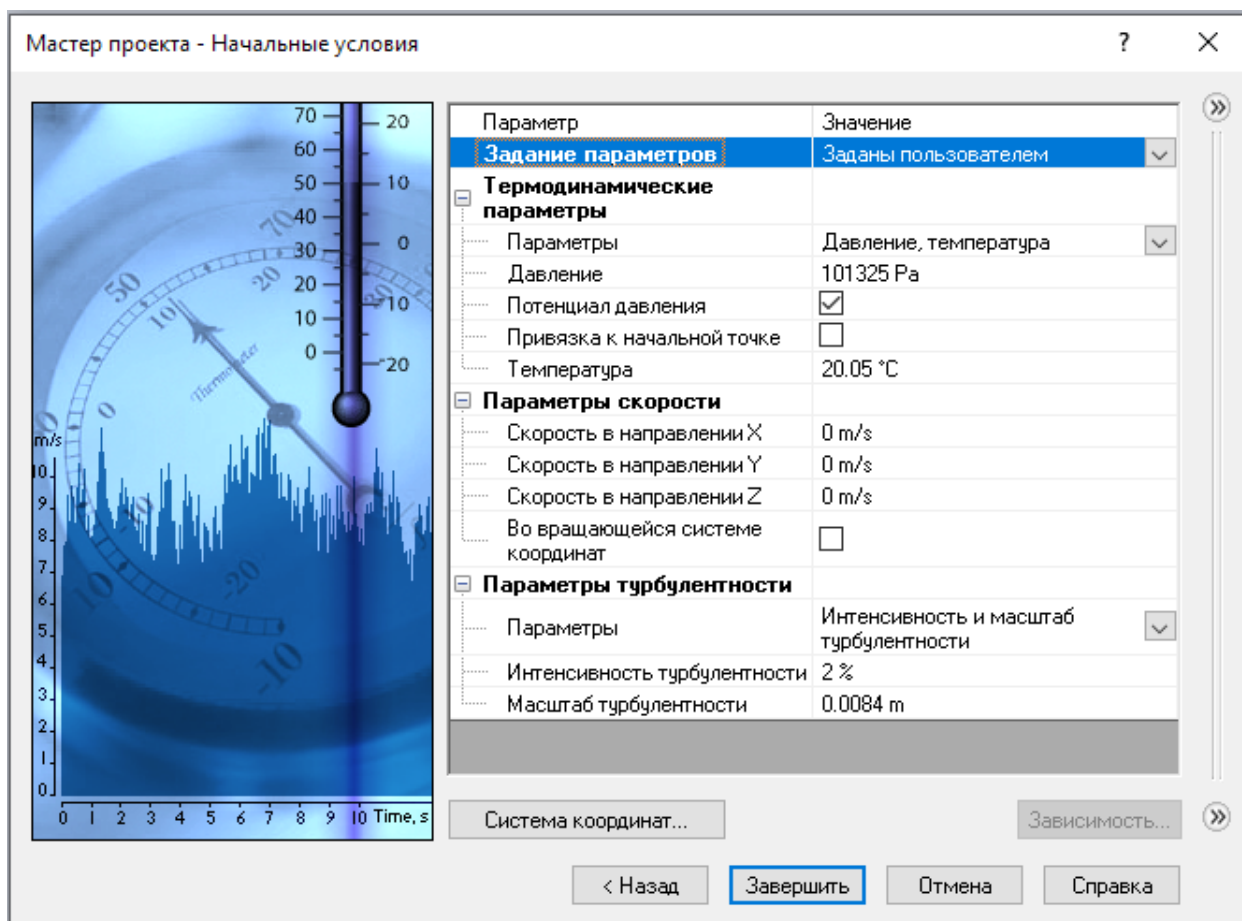


Рисунок 3.7 – Вікно початкових умов

Другим етапом задання початкових параметрів є забезпечення умов відповідності 3D-моделі. Задля цього використаємо елементи інтерфейсу виділені на рис.3.8. Зокрема це розділи «Інструменти», рис.3.8 позиція 1, «Налаштування сітки», рис.3.8 позиція 2, «перевірка геометрії», рис.3.8 позиція 3.

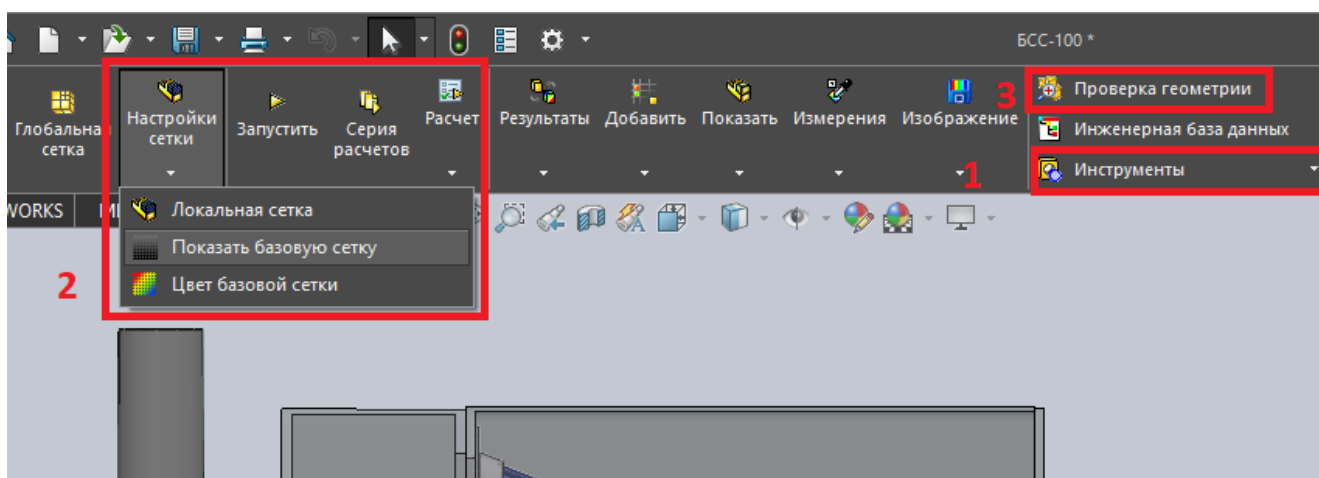


Рисунок 3.8 – Інструменти для забезпечення відповідності розрахунку 3D-моделі

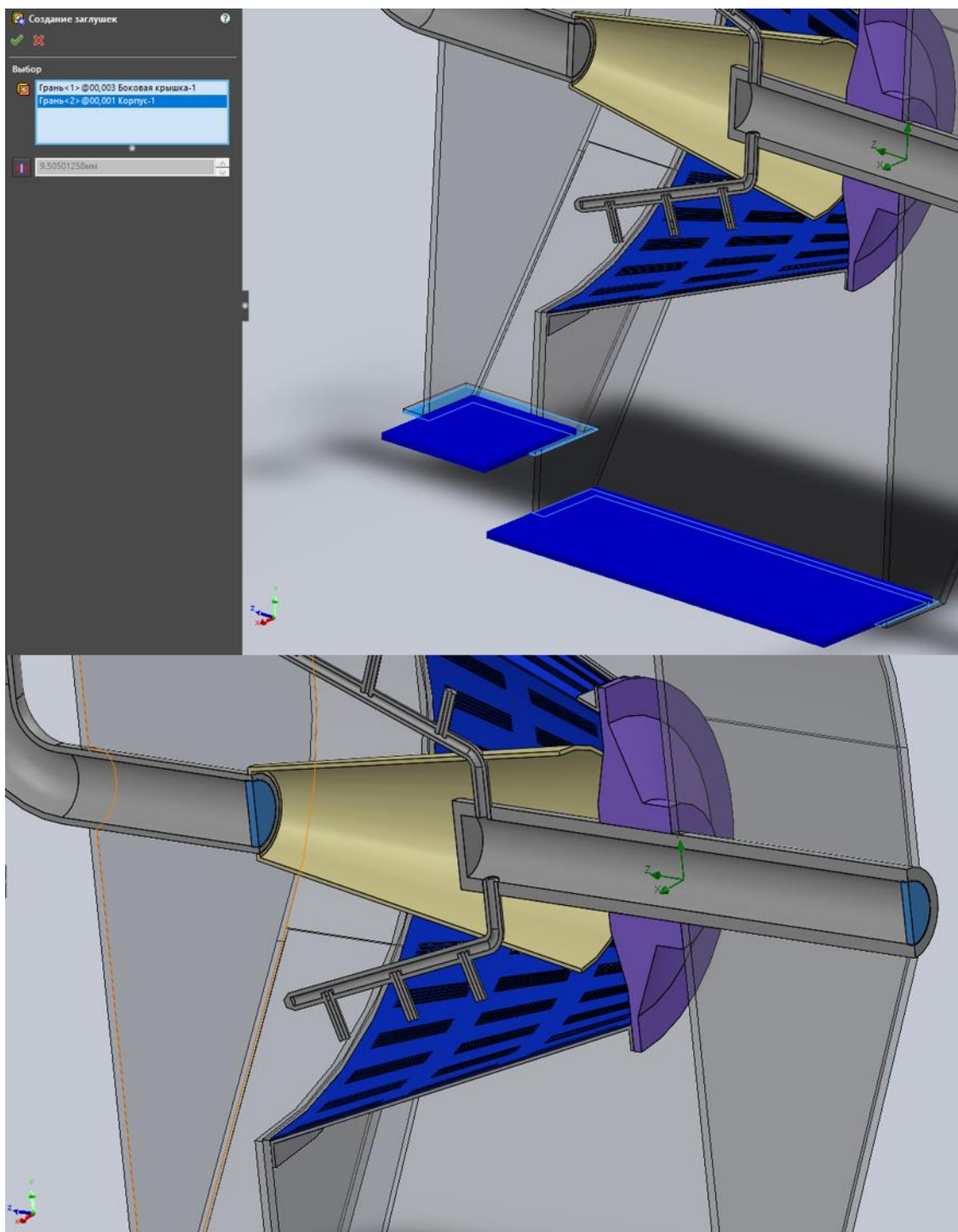


Рисунок 3.9 – Створення заглушок

Так як тип задачі – внутрішня, тому потрібно замкнути внутрішній об’єм обладнання. Для цього використовуємо розділ «Інструменти» та пункт заглушки. Завдяки ним замикаємо внутрішній об’єм обладнання як це наведено на рис.3.9.

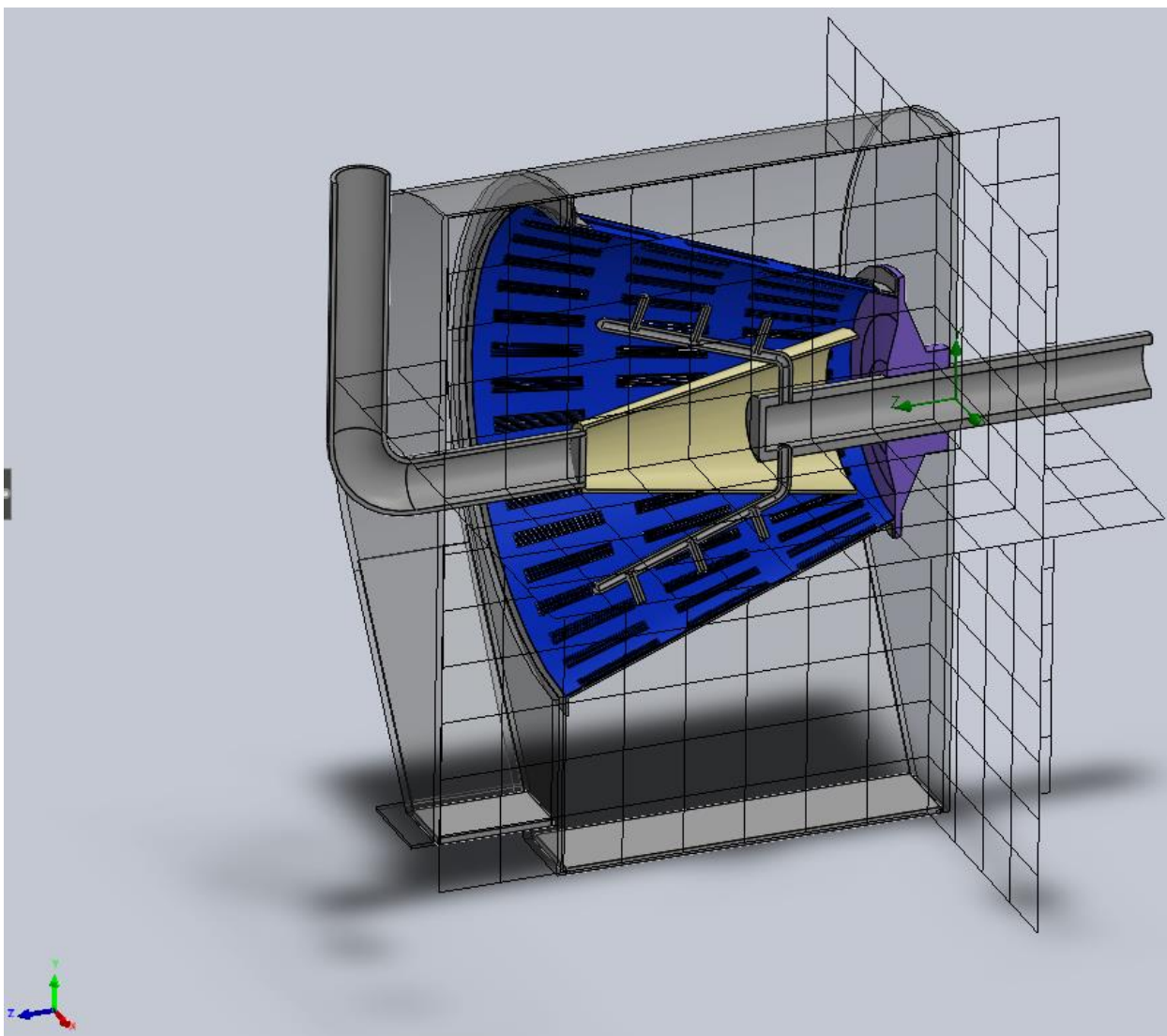


Рисунок 3.10 – Базова сітка 3D-моделі

Створення заглушок було останнім етапом внесення геометричних змін у моделі. Після нього можливий процес створення сітки. В базовому варіанті вона виглядає так як зображено на рис.3.10. Така сітка створена в автоматичному режимі.

Для покращення результатів задаємо параметри сітки у ручному режимі, рис.3.11.

Вирівнюємо відношення базової сітки до значень 10-12-10. Вмикаємо додаткові параметри дроблення. Виставляємо значення дроблення 1. Вмикаємо відображення рівня дроблення та вказуємо деталі збірки, котрі нас цікавлять.

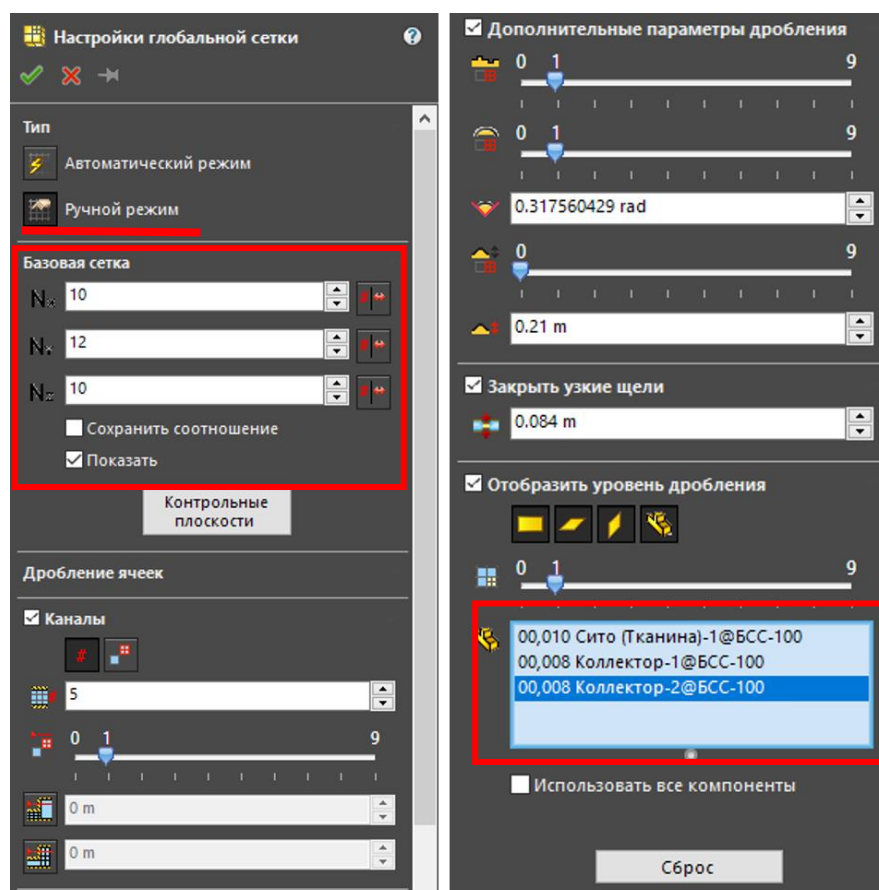


Рисунок 3.11 – Параметры кінцево-елементної сітки

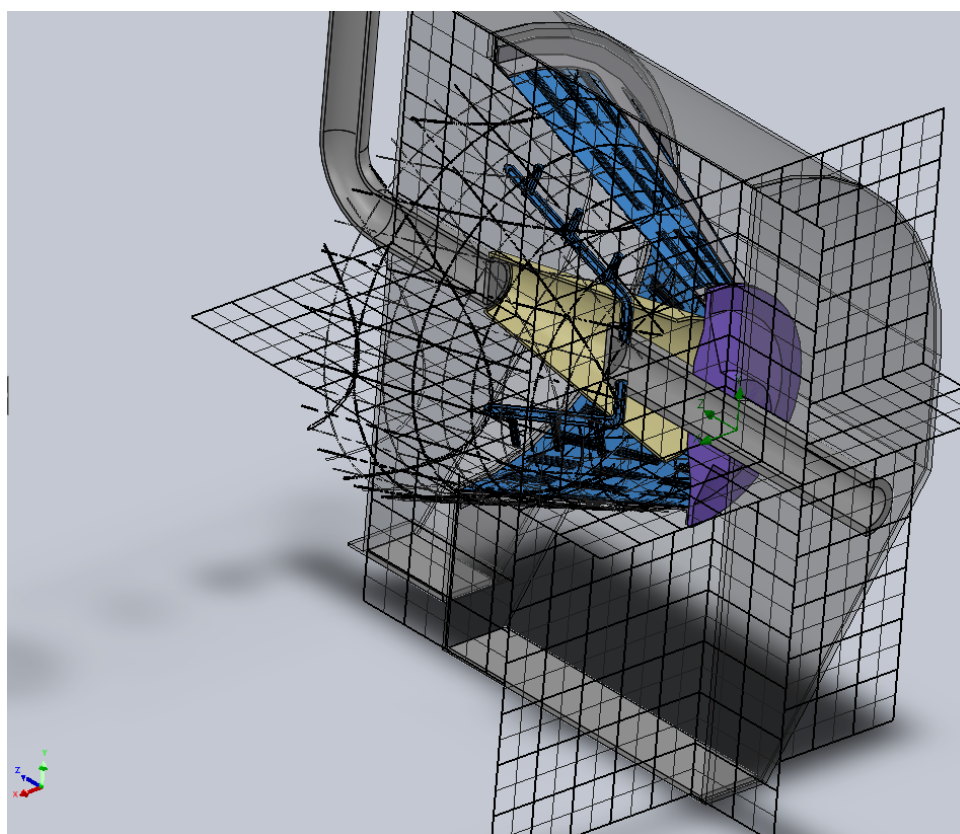


Рисунок 3.12 – Покращена сітка 3D-моделі

Зміни в сітці, відносно базової, можна побачити на рис.3.12. Вона стала більш рівномірною та детальною на обраних елементах збірки.

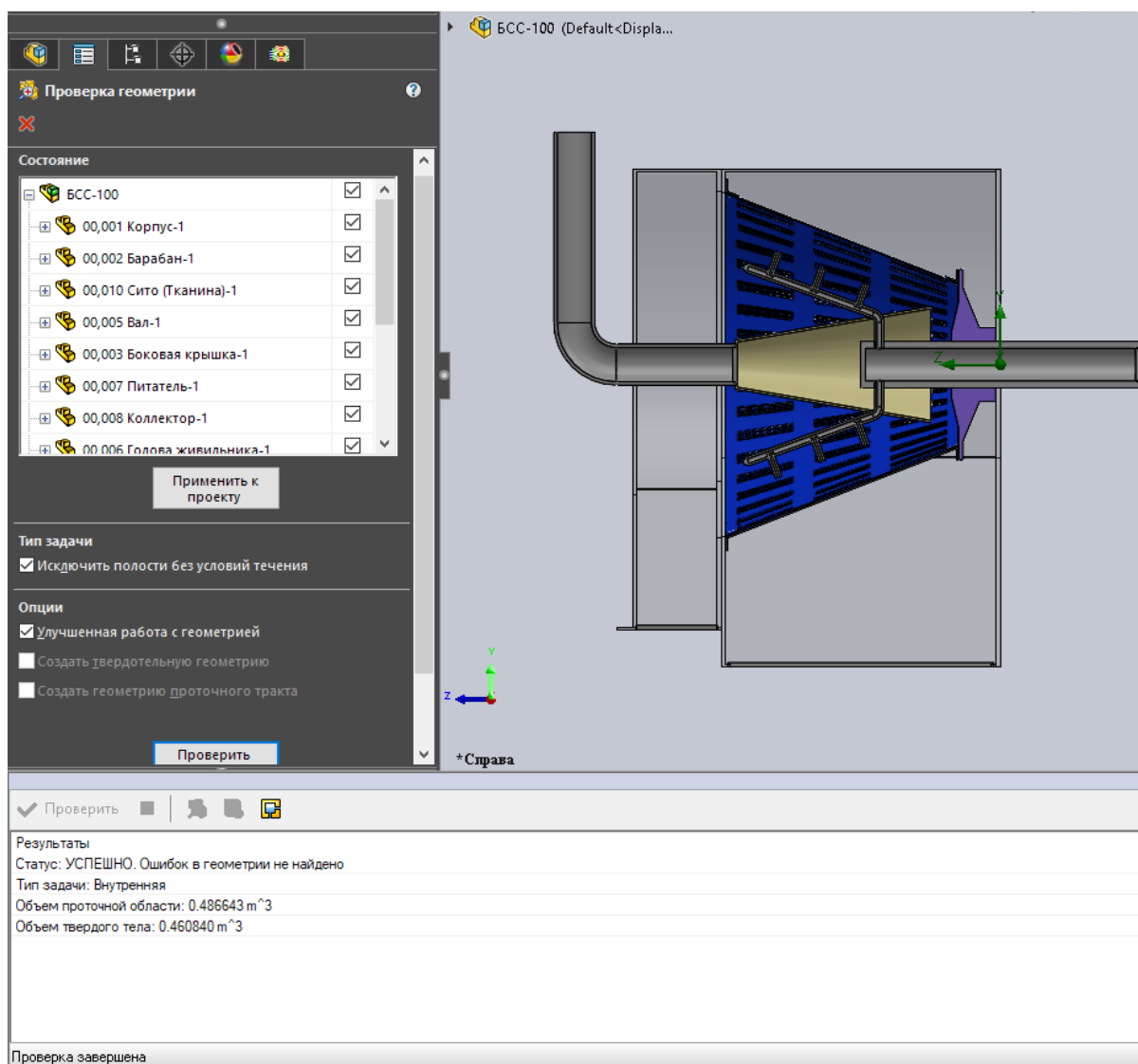


Рисунок 3.13 – Інструмент перевірки геометрії

Для перевірки коректності геометрії 3D-моделі використаємо інструмент – «Перевірка геометрії», рис.3.13. Для нього вказуємо всі деталі збірки та вмикаємо опцію поліпшеної роботи з геометрією моделі.

Після перевірки отримуємо позитивний результат з деякими даними моделі.

Третій та останній етап задання початкових параметрів це робота з деревом початкових параметрів, рис.3.14. на другому етапі вже було задано параметри глобальної сітки, тому не повертаємося до цього пункту.

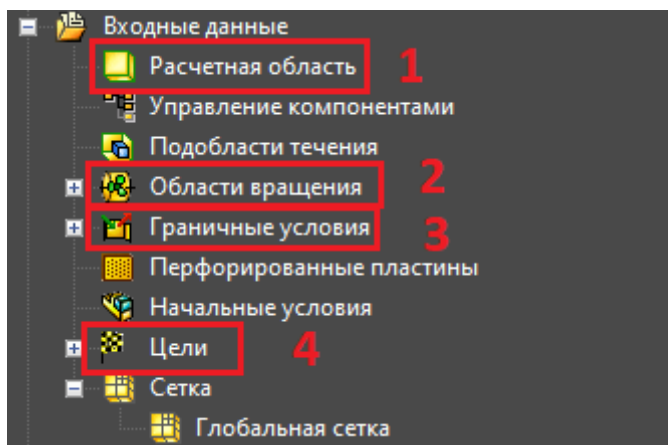


Рисунок 3.14 – Дерево входных данных

Спочатку вказуємо: розрахункову область, рис.3.14 пункт 1; за умови обертання потрібно вказати область обертання, рис.3.14 пункт 2; граничні умови рис.3.14 пункт 3; цілі розрахунку, рис.3.14 пункт 4.

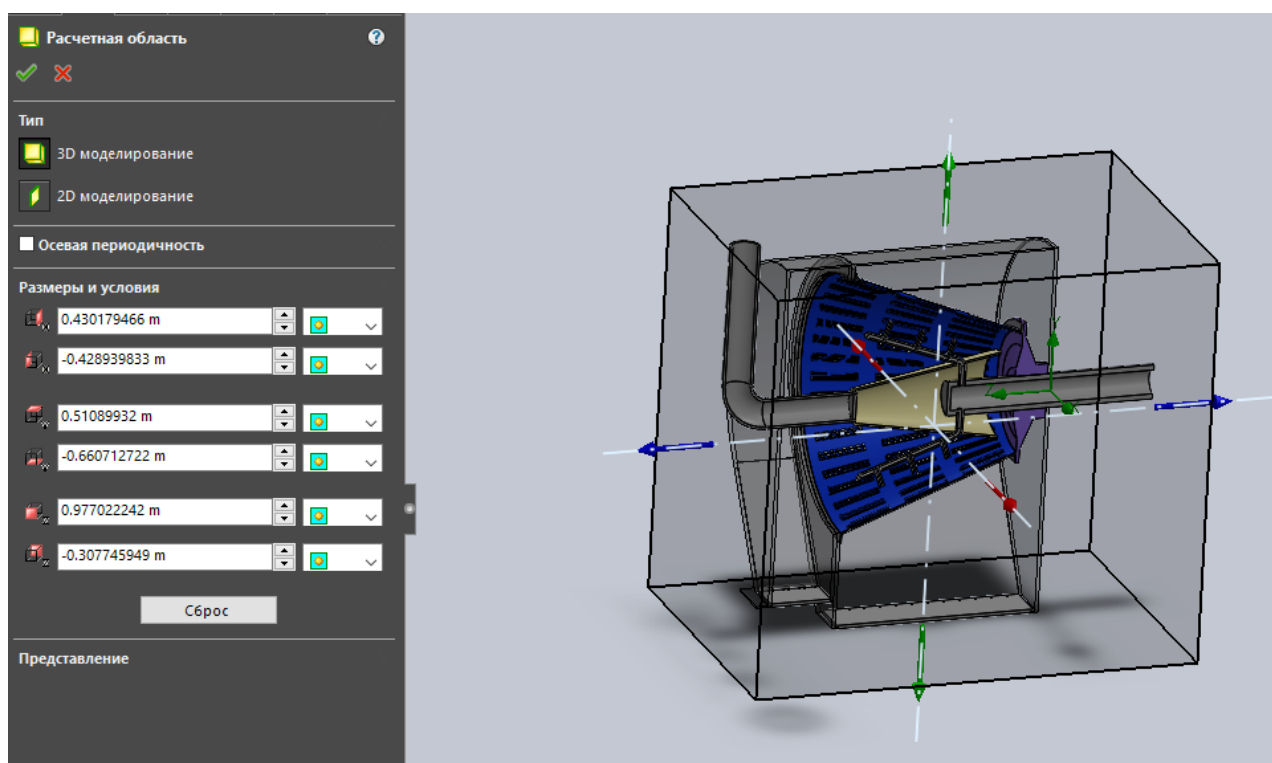


Рисунок 3.15 – Розрахункова область

Вказуємо розрахункову область всередині котрої знаходиться 3D-модель, рис.3.15. Зазвичай для внутрішньої задачі розміри розрахункової області задаються автоматично але потребують коригувань.

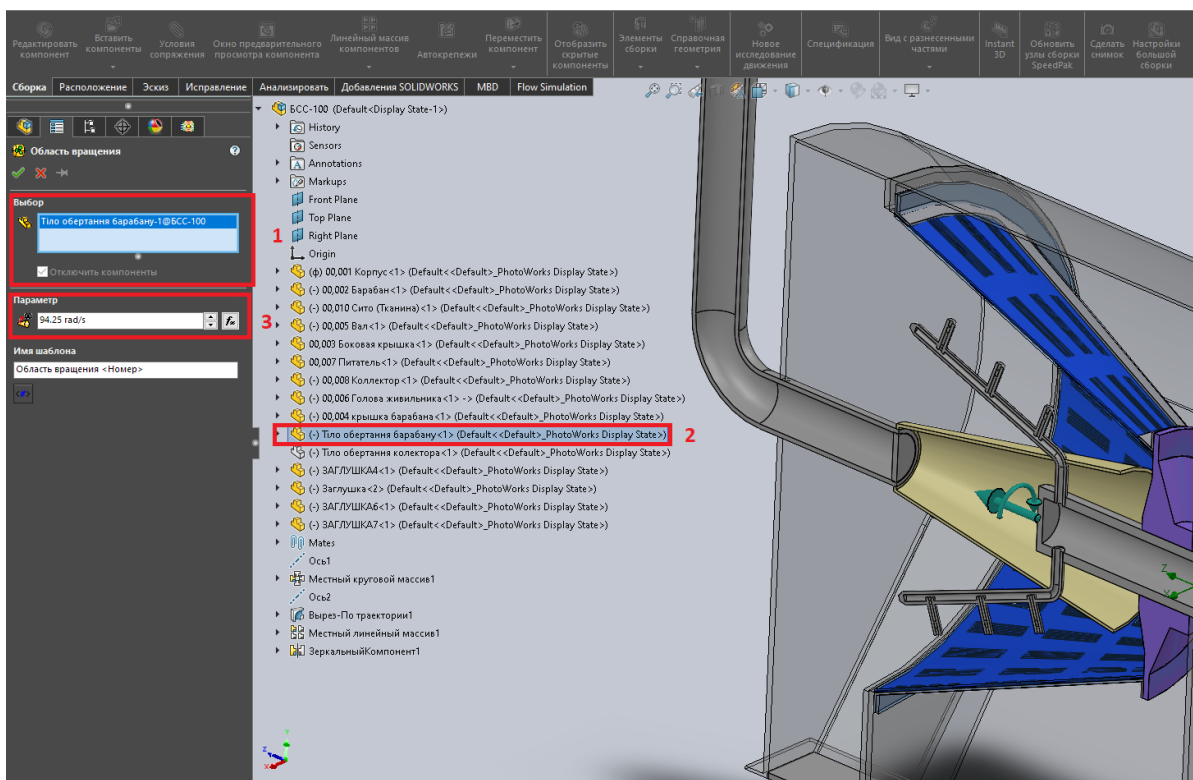


Рисунок 3.16 – Область обертання

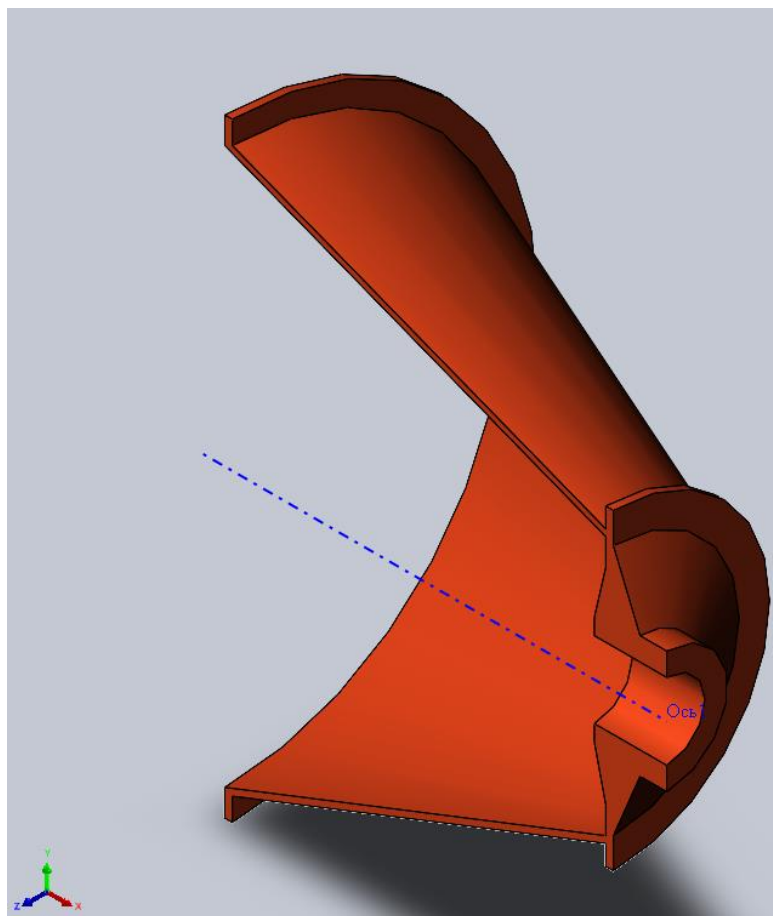


Рисунок 3.17 – Тіло обертання

Вказуємо область обертання барабану разом з ситом, рис.3.16 позиція 1, з динамічного дерева збірки, рис.3.16 позиція 2, задаємо швидкість обертання, рис.3.16 позиція 3. Для області обертання обираємо з дерева моделі тіло обертання, рис.3.17. Воно створено окремою деталлю, котра повторює геометричні розміри барабану разом з ситом. Така деталь лише вказує область обертання і більше не використовується в розрахунку.

Окремо треба зазначити, що швидкість обертання вказується в рад/с, тому необхідно переводити значення з об/хв. Для 900 об/хв така швидкість дорівнює 94,25 рад/с.

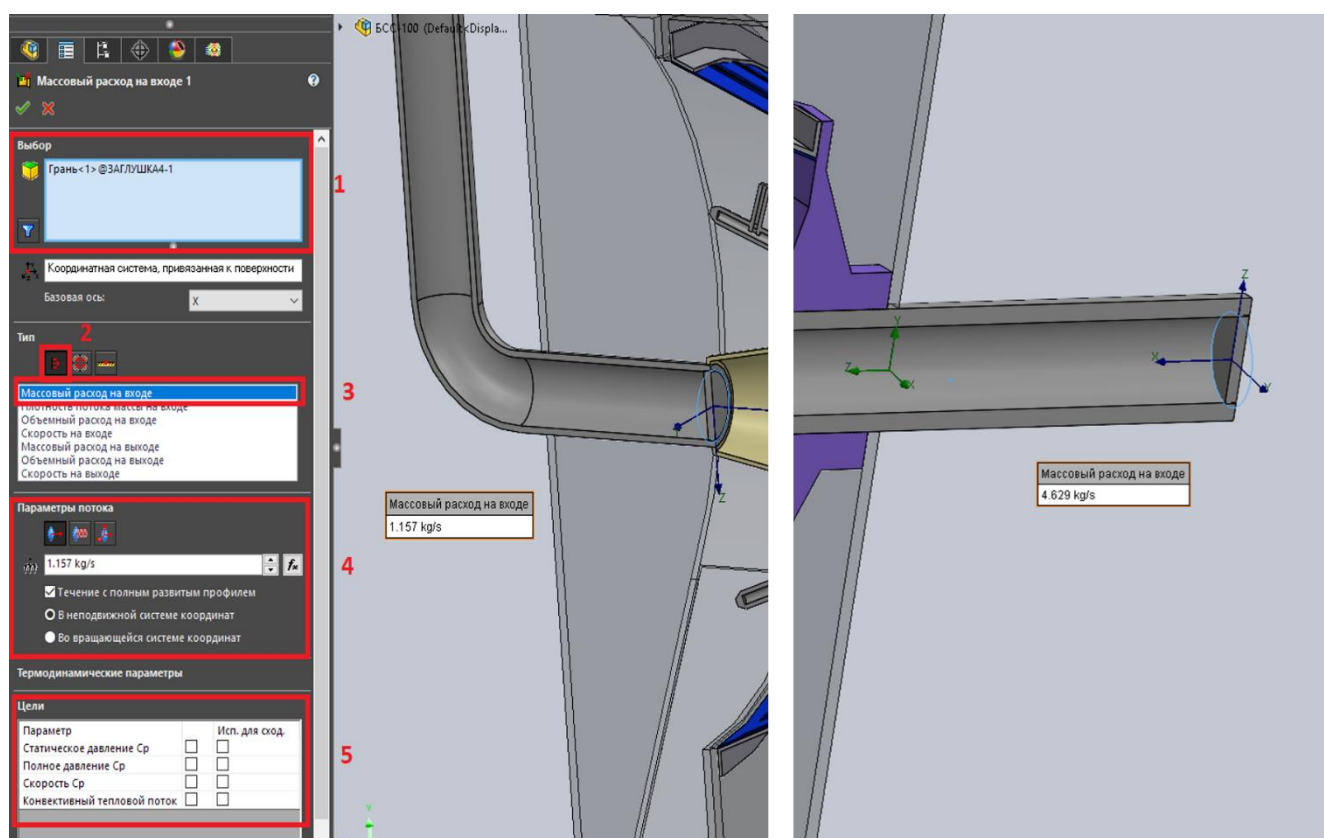


Рисунок 3.18 – Задання граничних умов

Встановлюємо граничні умови на поверхнях моделі. Вказуємо поверхні заглушок, рис. 3.18 позиція 1. Обираємо тип умови – «витрата/швидкість», рис. 3.18 позиція 2, та встановлюємо значення «масова витрата на вході», рис. 3.18 позиція 3. У рис. 3.8 позиція 4 вписуємо чисельний показник витрати ϵ можливість задати локальну ціль розрахунку у рис. 3.18 позиція 5, але наразі це недоцільно.

На рис.3.19 вказані значення масової витрати на виході. Вони задаються аналогічно граничним умовам на вході. Також, для прикладу, на них ввімкнена візуалізація граничної умови у вигляді векторів.

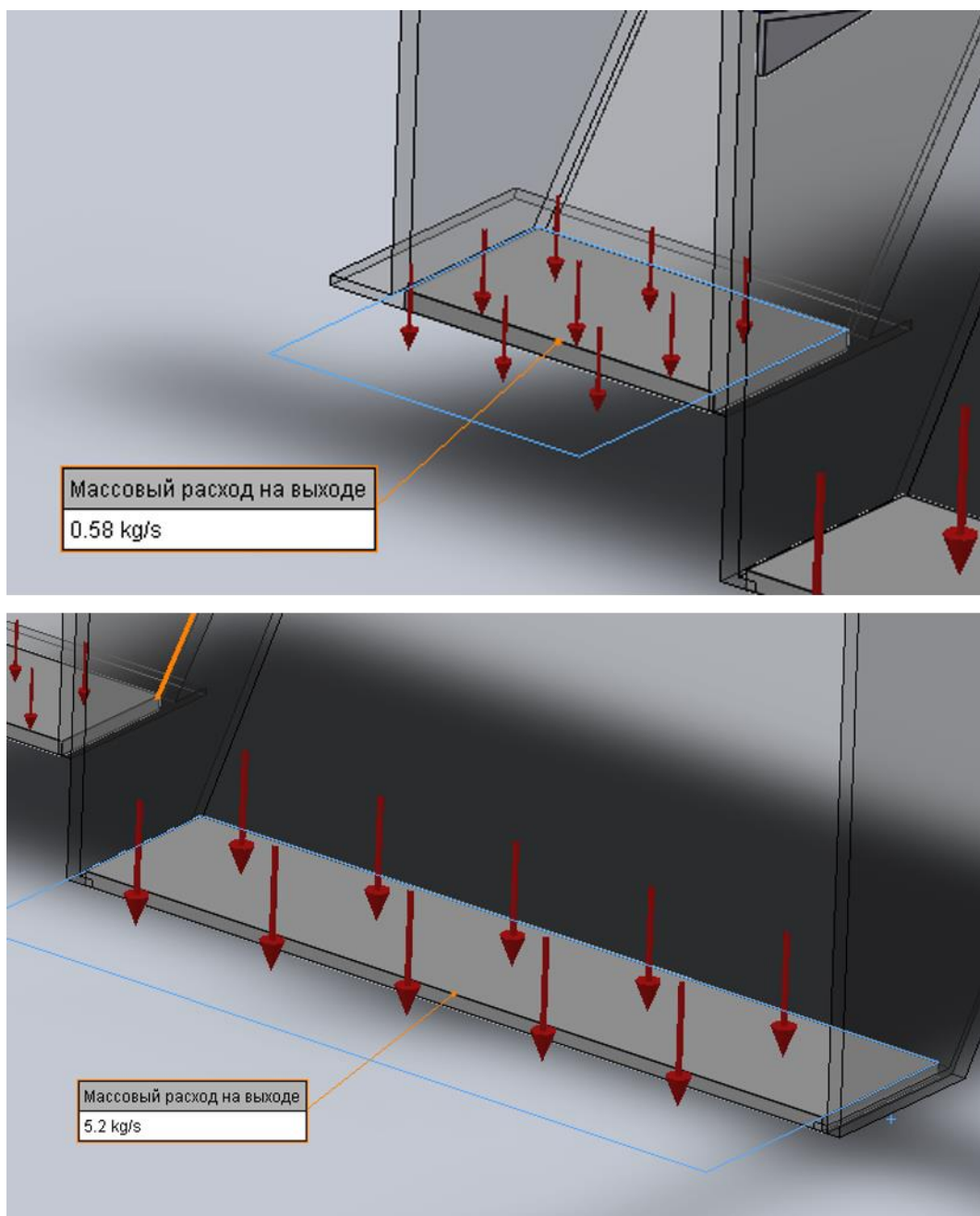


Рисунок 3.19 – Візуалізація граничних умов

Для завершення цього етапу вказуємо глобальні цілі розрахунку, рис.3.20. Зазвичай для розуміння протікання процесу використовують параметр тиску та швидкості, цього буде достатньо.

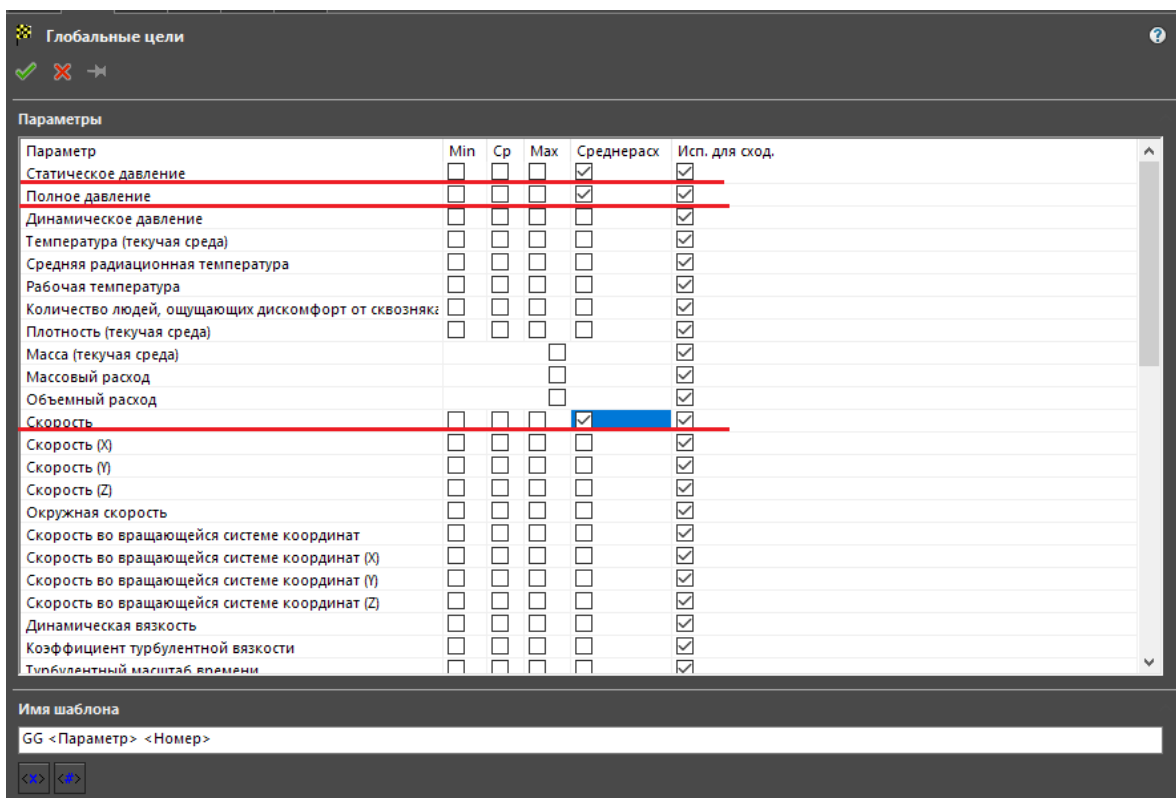


Рисунок 3.20 – Вікно глобальних цілей розрахунку

Отже всі початкові дані задані і дерево вхідних умов матиме наступний вигляд рис.3.21.

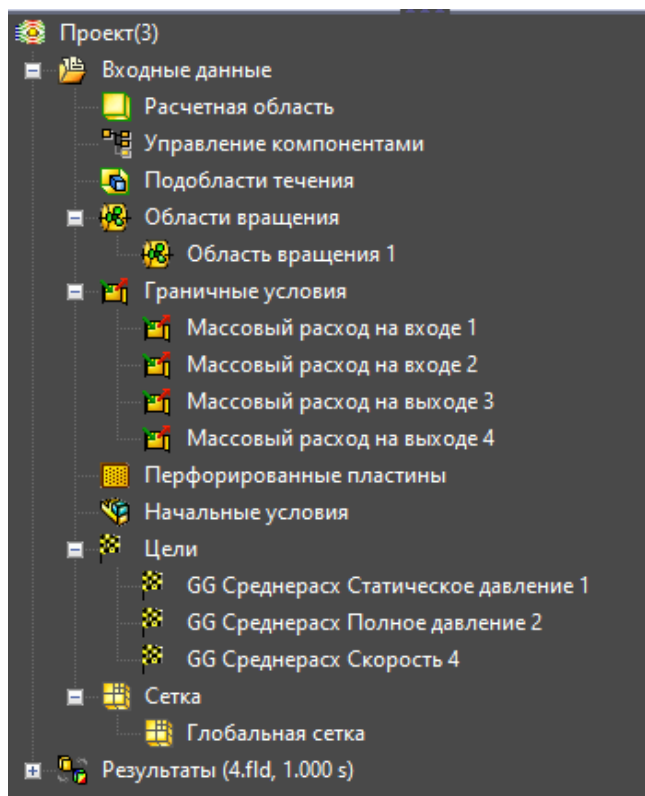


Рисунок 3.21 – Фінальний вигляд дерева вхідних даних

3.2 Аналіз результатів гідродинамічного розрахунку

Ввівши всі вхідні дані розпочинаємо розрахунок. Одразу відкривається вікно програми котра проводить розрахунок, рис.3.23. У середині цього вікна відкриті малі вікна котрі відображують поточну інформацію та проміжні результати розрахунку. У вікні поточної інформації відображується стан розрахунку, час, номер поточної ітерації розрахунку, час від початку розрахунку та до його завершення, задіяна потужність обладнання на якому безпосередньо здійснюється розрахунок. Відображується графік збіжності заданих цілей.

Під час розрахунку доступна можливість попереднього відображення результатів розрахунку у перерізі моделі, рис.3.24. Ці результати відображають динамічні зміни результатів кожної ітерації.

Далі для відображення результатів працюємо з деревом результатів, рис.3.22. Зокрема використаємо: «Картини перетину» рис.3.22 позиція 1, «Траєкторії потоку» рис.3.22 позиція 2, «Поверхневі параметри» рис.3.22 позиція 3.

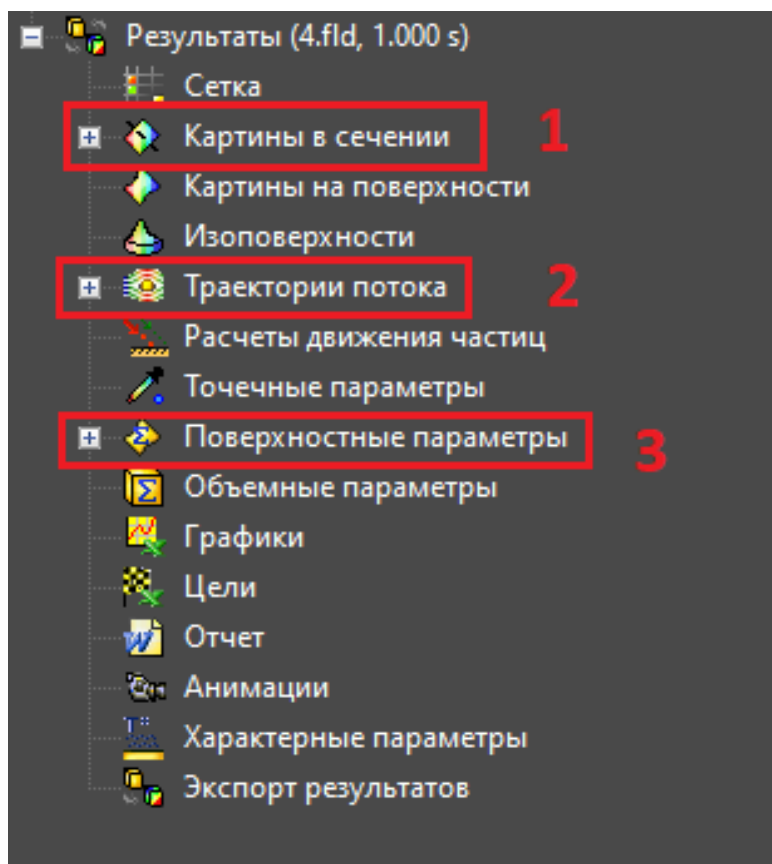


Рисунок 3.22 – Дерево результатів

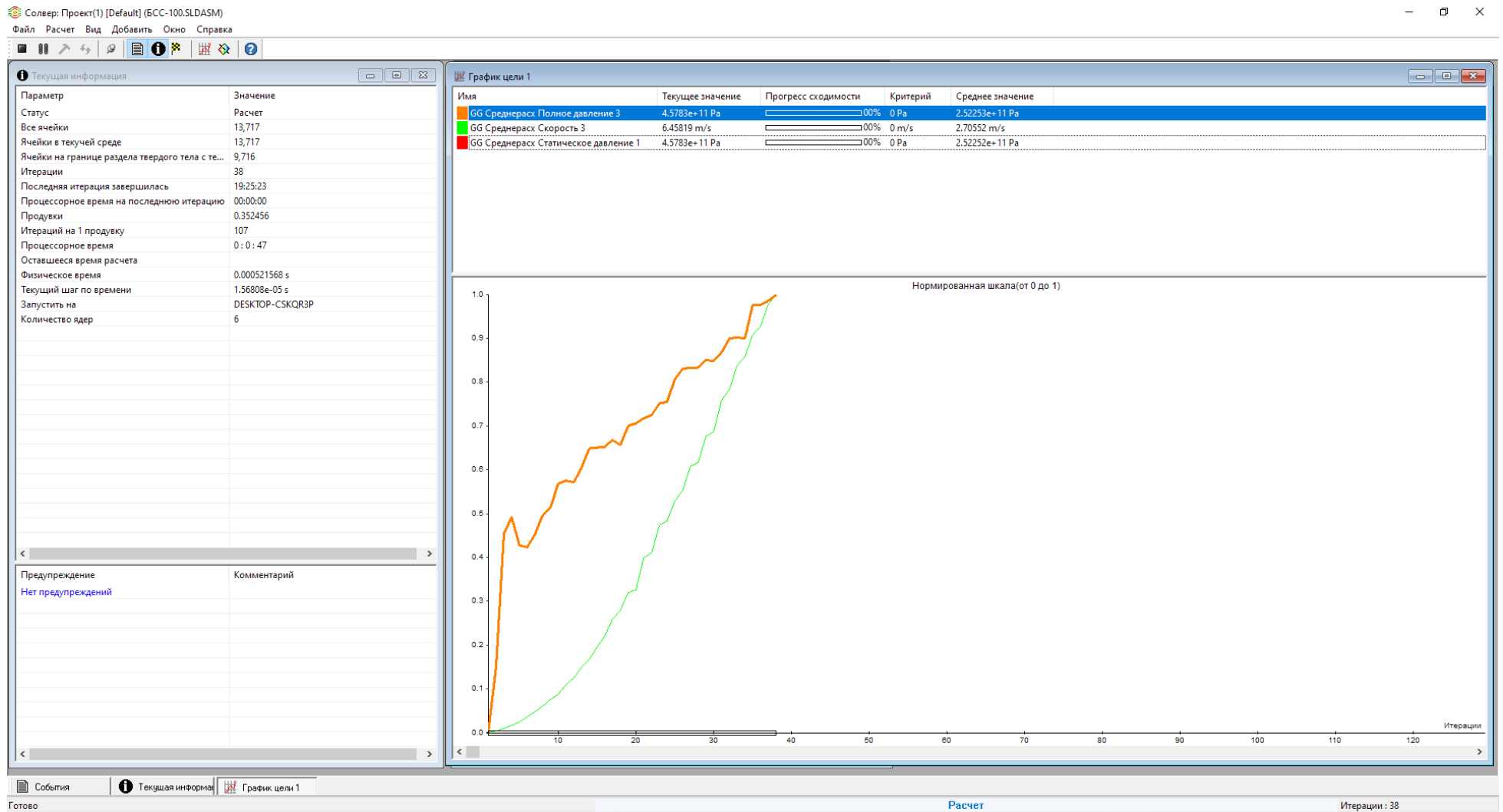


Рисунок 3.23 – Вікно графіку збіжності рішення та основні параметри розрахунку

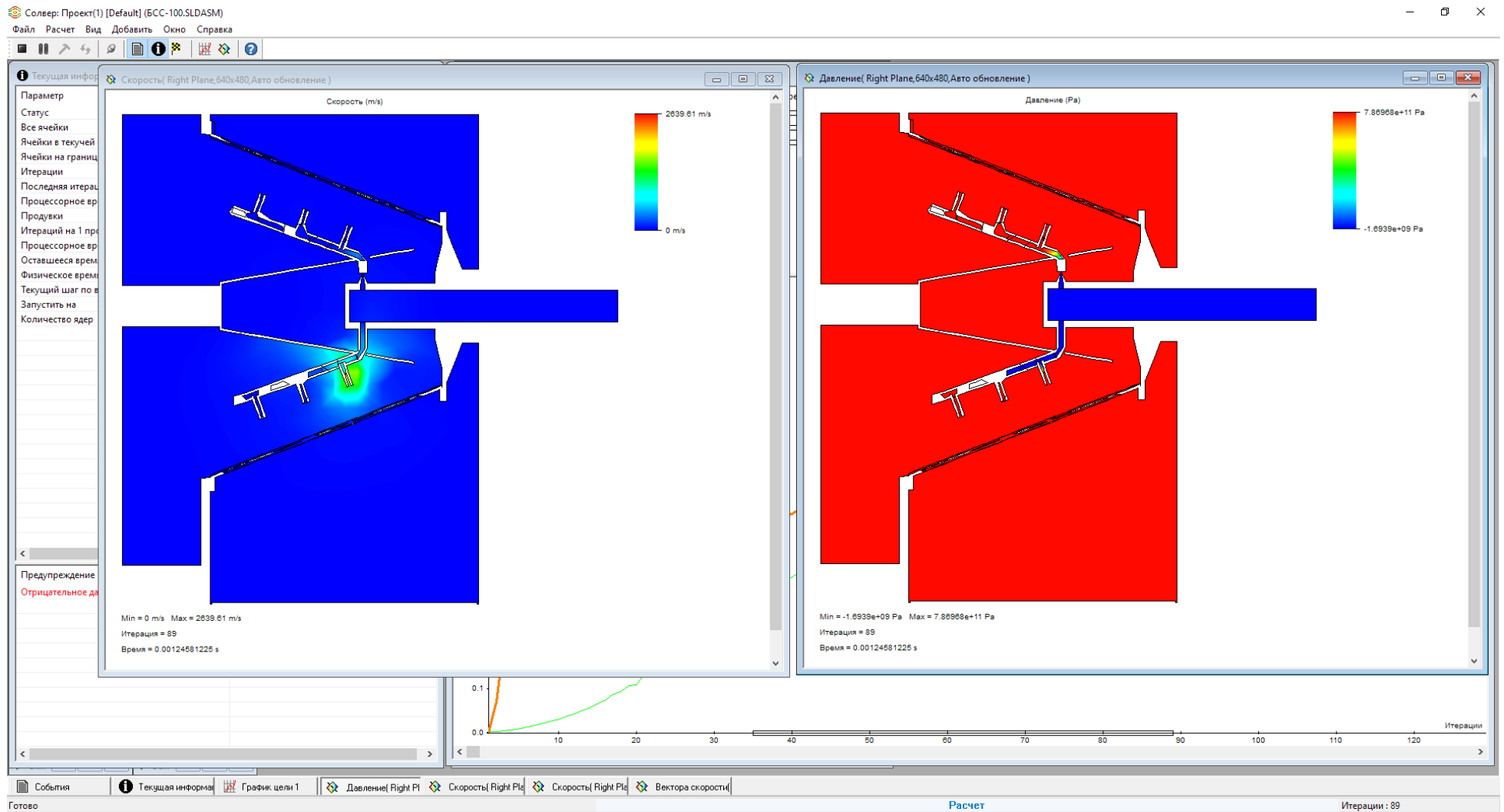


Рисунок 3.24 – Вікна попереднього огляду результатів ітерацій: швидкість часток (ліворуч), тиск середовища (праворуч)

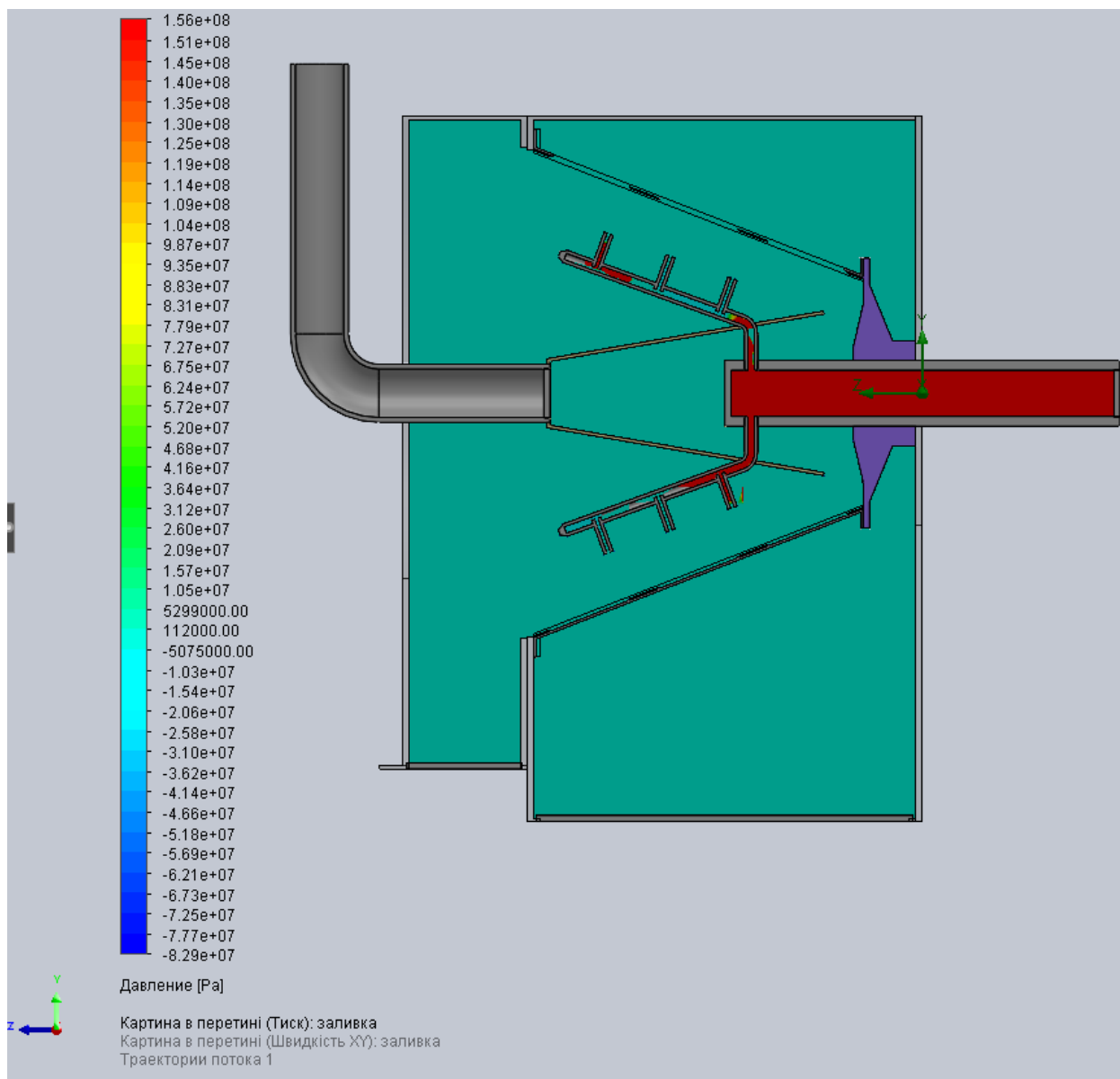


Рисунок 3.25 – Розподілення тиску

Створюємо перетин моделі та відображуємо картину в перетині. Спочатку відображуємо результати розподілення тиску у внутрішньому об'ємі, рис.3.25. Другим перетином відображуємо розподілення швидкості речовини з векторами направленості, рис.3.26.

Для кращого розуміння розподілу речовини всередині обладнання відображуємо траєкторію потоку речовини за допомогою відповідного інструменту, рис.3.27.

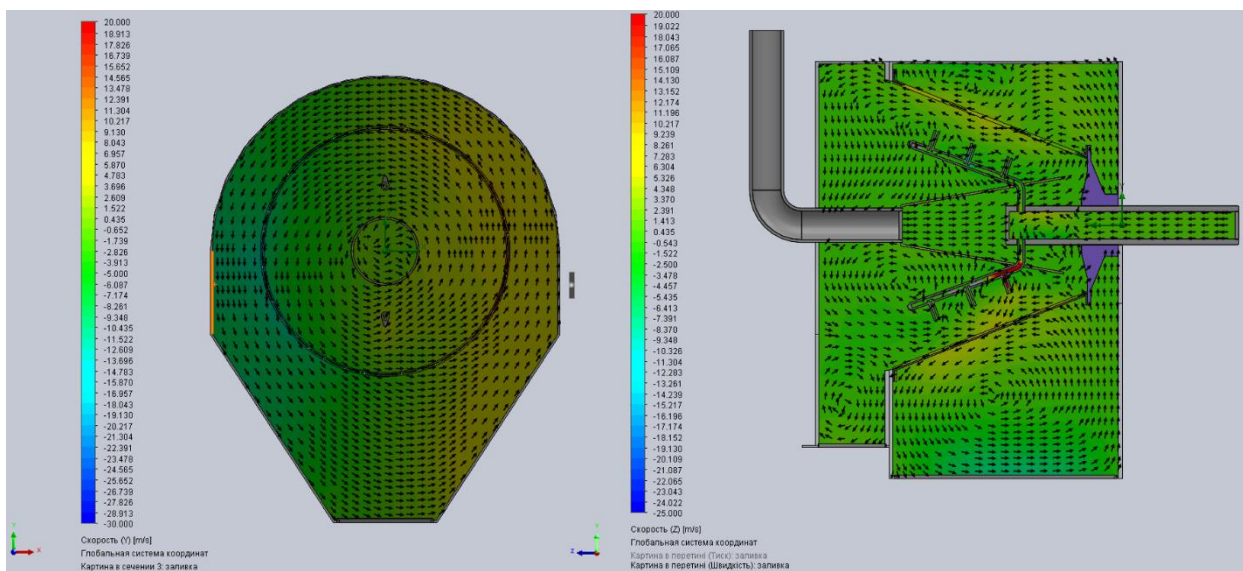


Рисунок 3.26 – Розподілення за векторами швидкості сировини

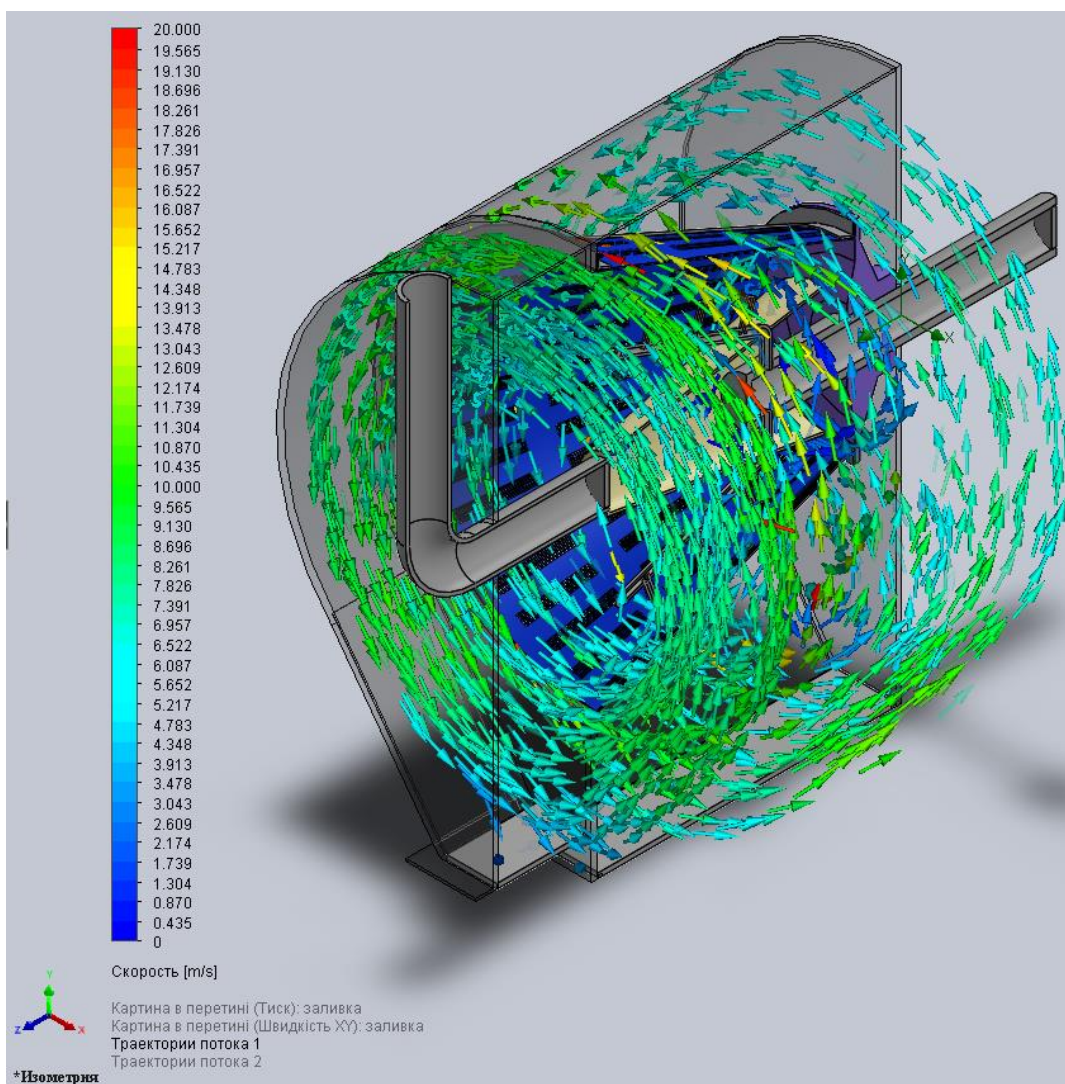


Рисунок 3.27 – Траєкторія потоку частинок за швидкістю

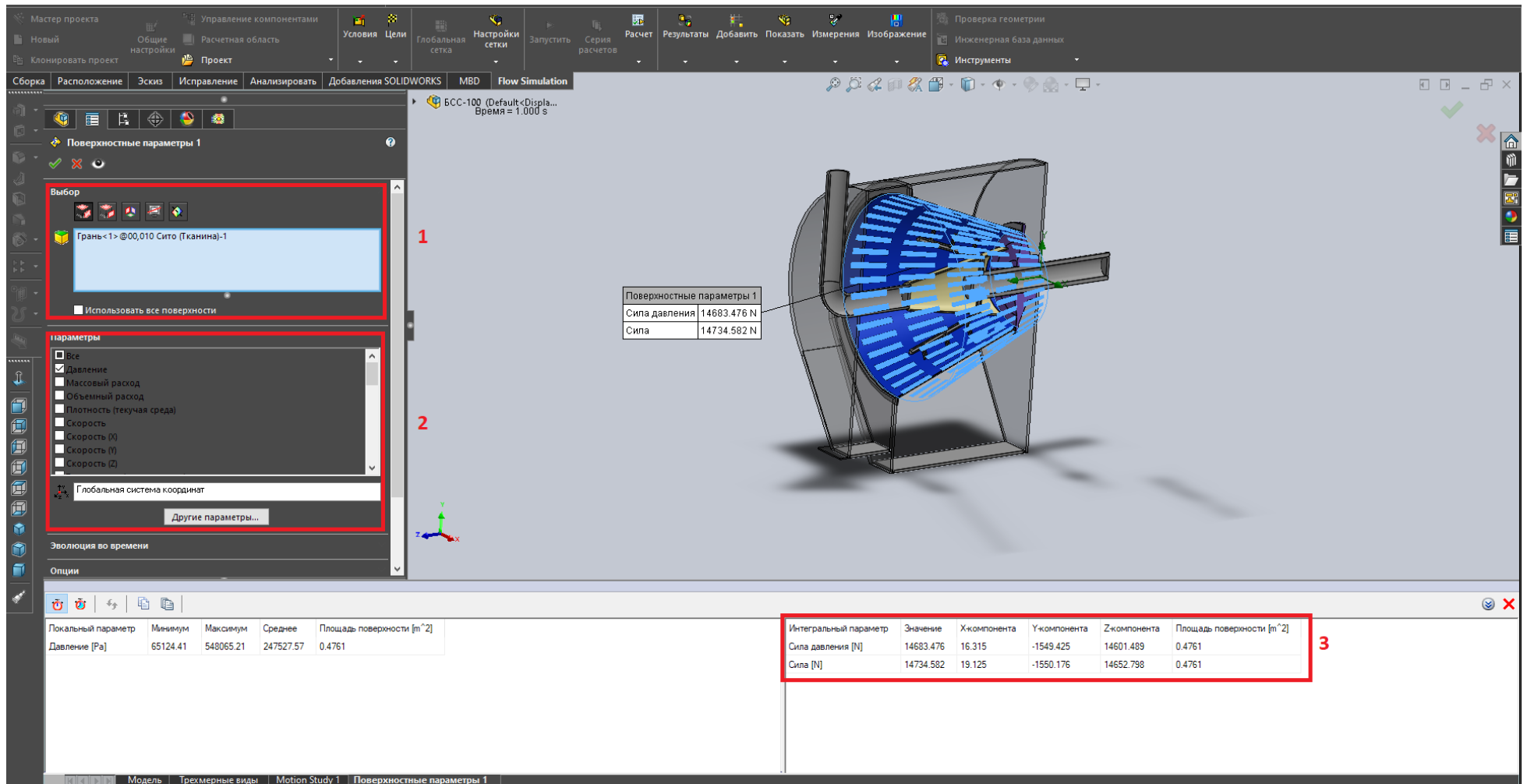


Рисунок 3.28 – Визначення поверхневих параметрів

Завдяки інструменту «Поверхневі параметри» встановлюємо головну мету цього розрахунку – силу з якою сировина діє на стінку барабану, рис.3.28. Обираємо внутрішню поверхню барабану, рис.3.28 позиція 1. Вказуємо необхідні параметри – сила та сила тиску, рис.3.28 позиція 2. У таблиці результатів отримуємо значення сили та сили тиску сировини, рис.3.28 позиція 3.

Проведемо ряд експериментів для встановлення залежності тиску та сили, котра діє на стінку барабану, від режимів роботи, а саме від частоти обертання барабану. Результати занесемо до таблиці 3.2 та збудуємо відповідні графіки залежності, рис.3.29-3.30.

Таблиця 3.1 – Вхідні дані та результати розрахунку

№	№_файлу	n, об/хв	ω , рад/с	Q _{вхідне} , кг/с		Q _{вихідне} , кг/с		P, кПа	F, Н
				1	2	1	2		
1	8	800	83,78	1,15	0,07	0,075	1,15	330	3643
2	9	850	89,01	1,15	0,07	0,075	1,15	347,8	31009
3	7	900	94,24	1,15	0,07	0,075	1,15	651,2	15960
4	10	950	99,48	1,15	0,07	0,075	1,15	317,3	14772
5	11	1000	104,7	1,15	0,07	0,075	1,15	361,8	8013

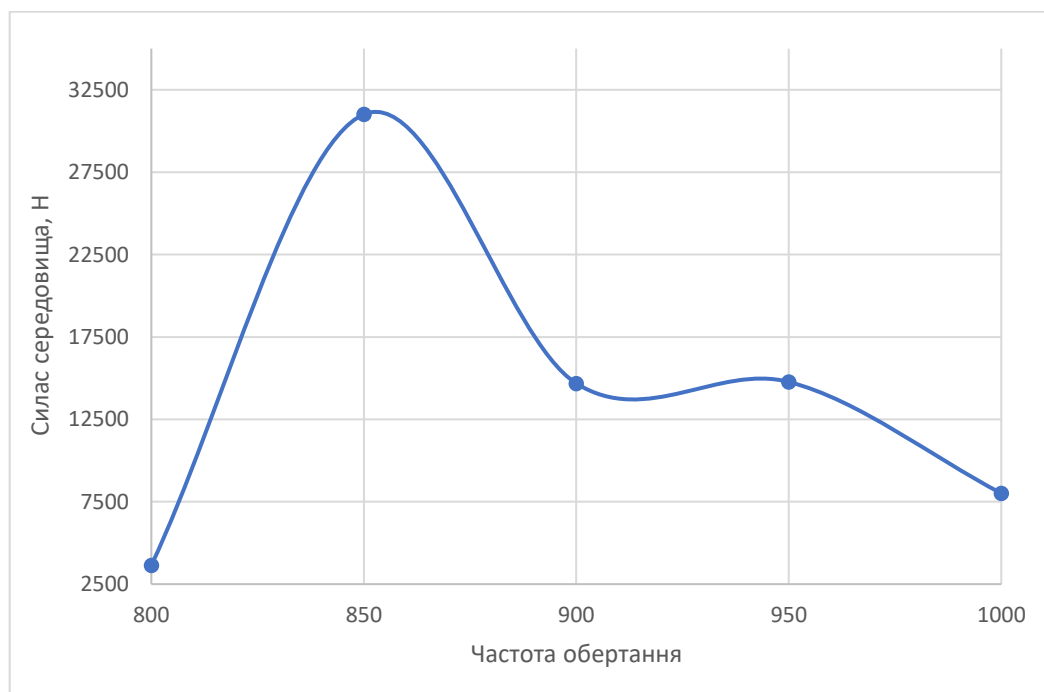


Рисунок 3.28 – Графік залежності сили сировини, діючої на барабан, від швидкості обертання барабану

На рис.3.29 зображений графік залежності сили, з якою діє сировина всередині барабану на його стінку, від обертів барабану. Максимальне значення сили досягається, коли оберти барабану досягають 850 об/хв, хоча робочі – 900 об/хв.

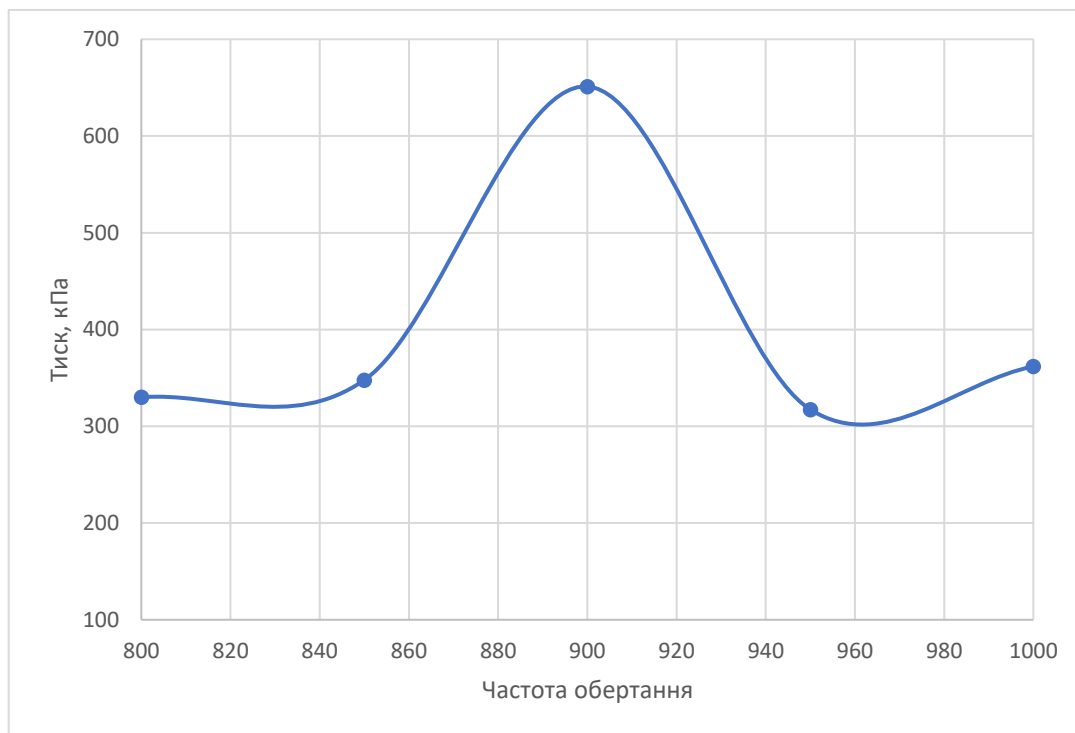


Рисунок 3.30 – Графік залежності тиску від швидкості обертання барабану

На рис.3.30 зображений графік залежності тиску всередині барабану в залежності від швидкості його обертів. З отриманого графіку бачимо що максимальний тиск всередині барабану досягається саме за робочих 900 об/хв.

3.3 Аналіз напружено-деформованого стану ділянки ротора

Для визначення епюр розподілення напружень в середині матеріалу сита оберемо локальну область стінки барабану, рис.3.31. Оберемо розмір області 50×50 мм.

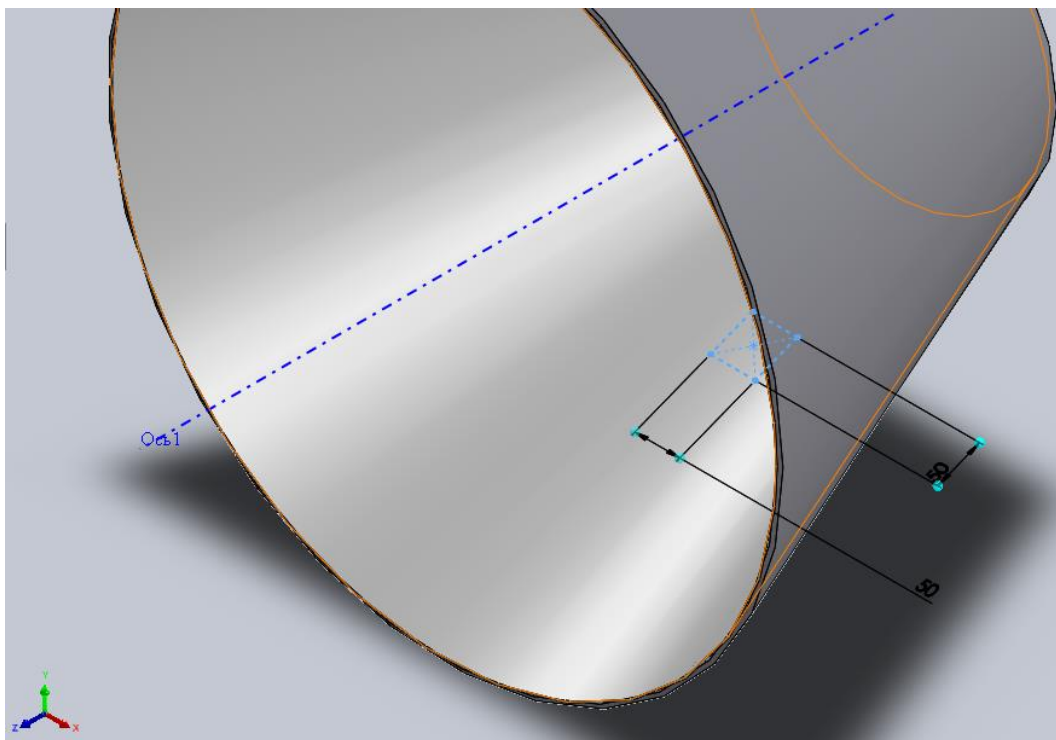


Рисунок 3.31 – Виділена локальна область на барабані

Обираємо невелику область для спрощення розрахунку, адже цього разу потрібно враховувати перфорацію барабану. Перфорація всього барабану значно ускладнить розрахунок та суттєво збільшить його час.

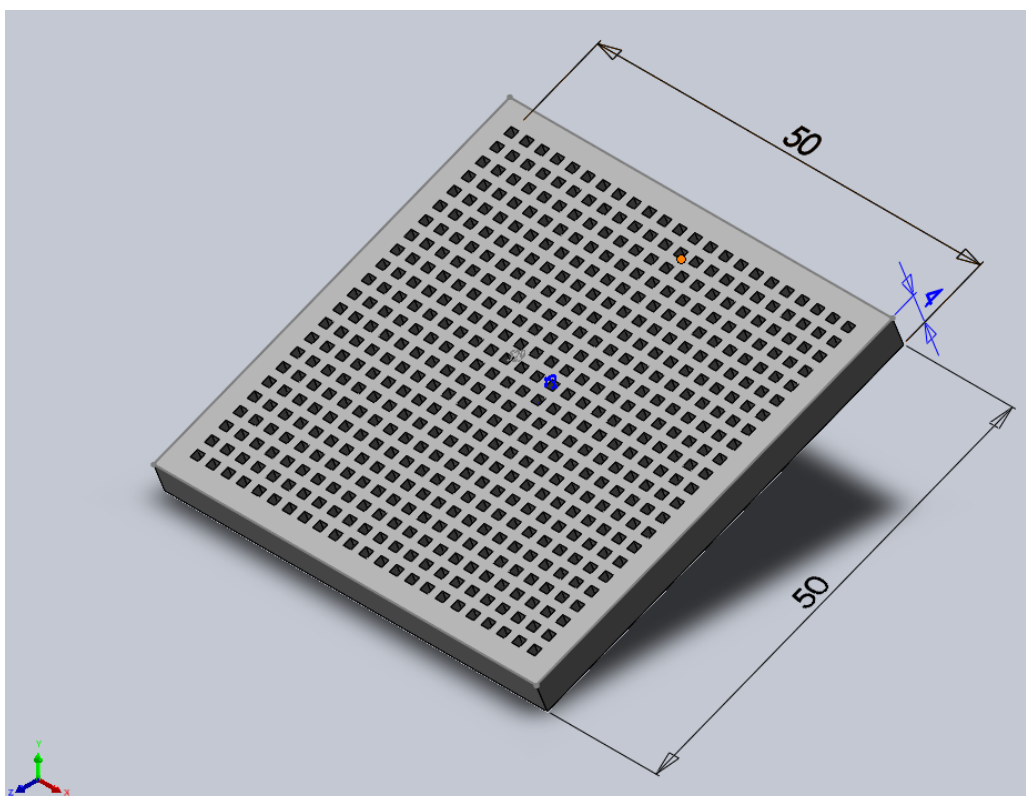


Рисунок 3.32 – 3D-модель області стінки барабану

Створимо відповідну 3D-модель цієї області, її геометричні розміри та схема перфорації зазначені на рис.3.32-3.33. Модель має кут нахилу відносно базових площин, котрий відповідає куту нахилу конусної стінки барабану. Перфорацію змодельюємо масивом за зразком заповнення. Для цього оберемо створений на поверхні ескіз, котрий повторює габаритні розміри моделі, рис.3.33 позиція 1. Обираємо схему заповнення та дистанцію між елементами перфорації, рис.3.33 позиція 2. Вказуємо сам елемент котрий дублюємо – виріз відповідної форми, що був зроблений перед цим, рис.3.33 позиція 3.

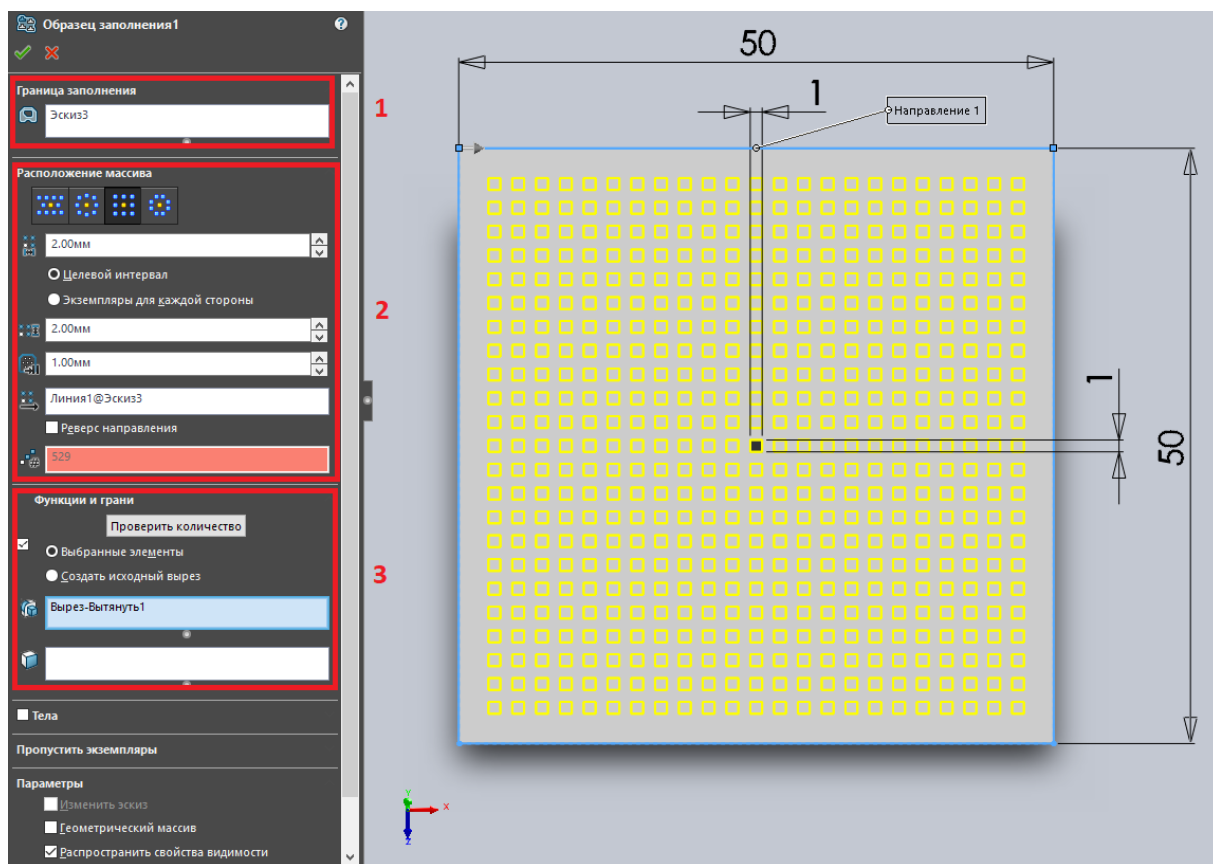


Рисунок 3.33 – Схема та розміри перфорації стінки

Через відсутність у бібліотеці стандартних матеріалів шовку замінимо його матеріалом-аналогом – органічне волокно, рис 3.34. У вікні вибору матеріалу зліва знаходиться поле для швидкого пошуку та дерево бібліотек матеріалів, рис 3.34 позиція 1. Праворуч вказана таблиця властивостей матеріалу, рис 3.34 позиція 2.

Матеріал барабану вказуємо сталь 12X8H10T.

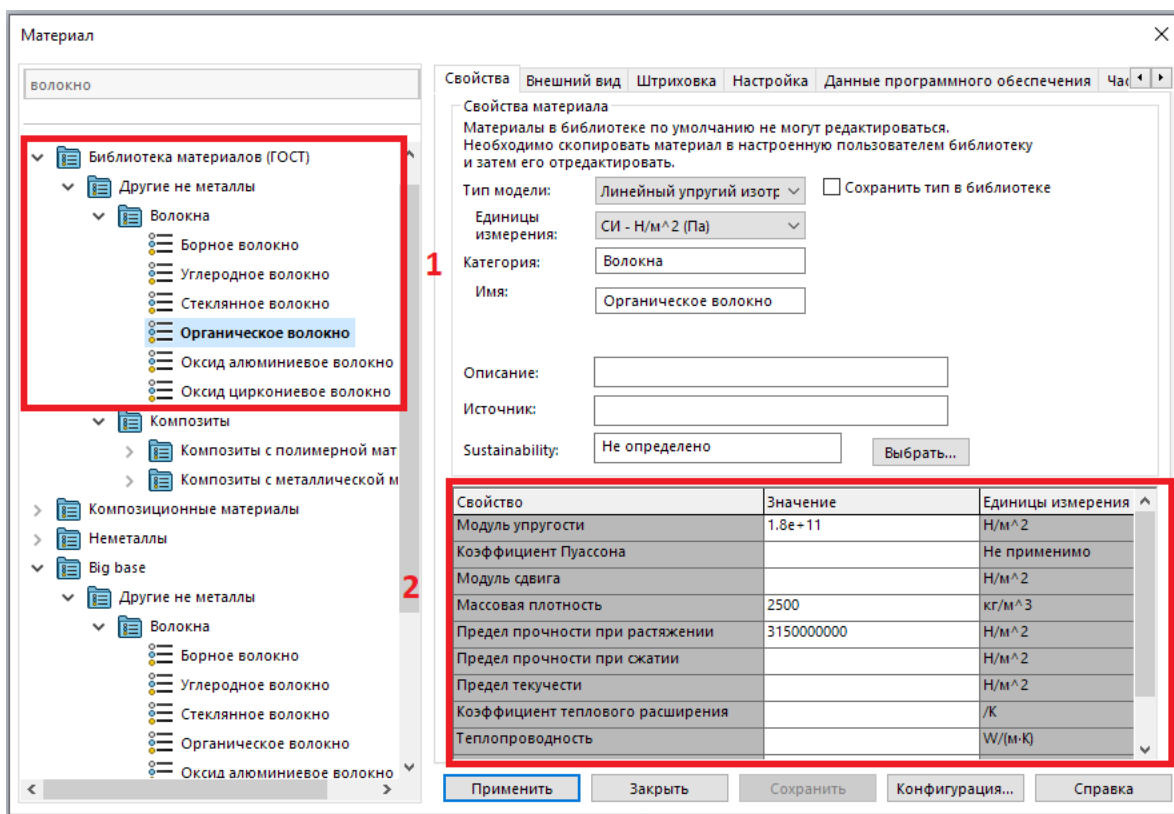


Рисунок 3.34 – Вікно вибору матеріалу

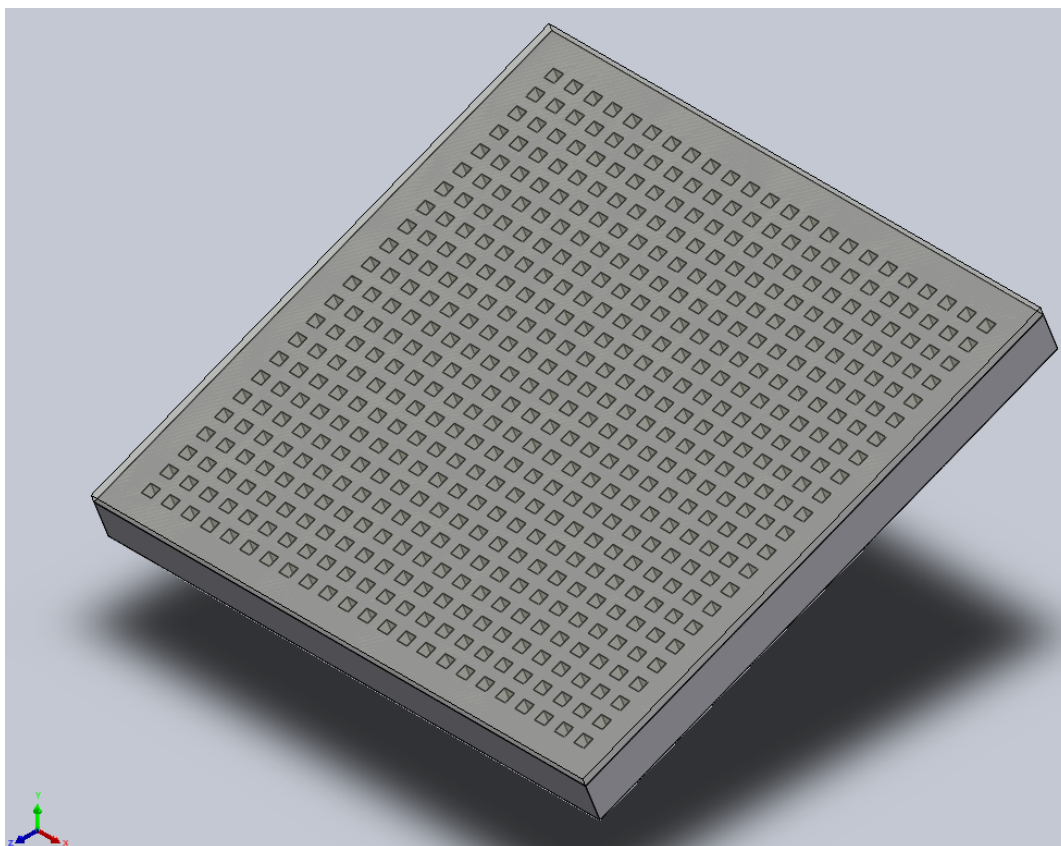


Рисунок 3.35 – Збірка локальної області барабану (Полотну сита змінено прозорість)

Після закінчення створення деталей, створюємо збірку для проведення нелінійного статичного розрахунку, рис.3.35. Властивості розрахункового модулю для подібного розрахунку наведені на рис.3.36. Варто зазначити, що хоч розрахунок і статичний але він проводиться за допомогою поступового навантаження моделі за невеликий проміжок часу.

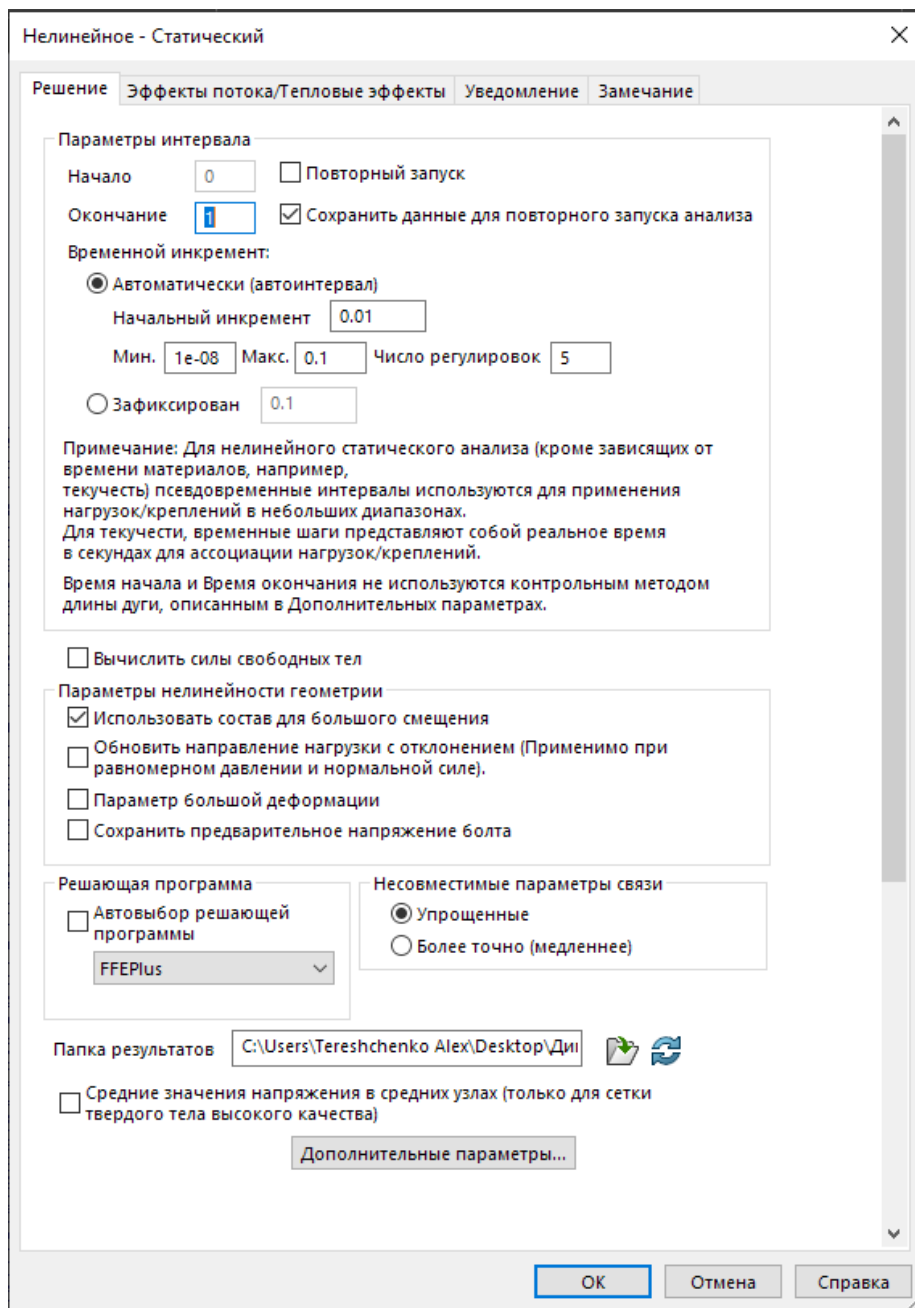


Рисунок 3.36 – Вікно властивостей розрахунку

Розпочинаємо розрахунок з «нового дослідження», рис.3.37 позиція 1, далі обираємо його тип – нелінійний, рис. 3.37 позиція 2.

Після вибору типу розрахунку маємо дерево з розділами початкових параметрів котрі поступово вказуємо, рис.3.38. Першим в цьому дереві вказуємо кріплення збірки – обираємо грані по периметру моделі та вказуємо, що це зафіксована геометрія, рис.3.39.

Вказуємо діючі навантаження на модель, рис.3.40. Першочергово вказуємо тип навантажень - тиск. Спочатку вказуємо грань на котру діє навантаження та його направленість адже модель знаходиться під визначеним нахилом, рис.3.40 позиція 1. Після чого вказуємо числове значення тиску, рис.3.40 позиція 2.

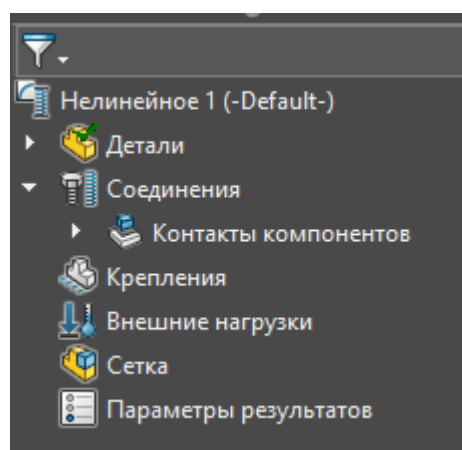
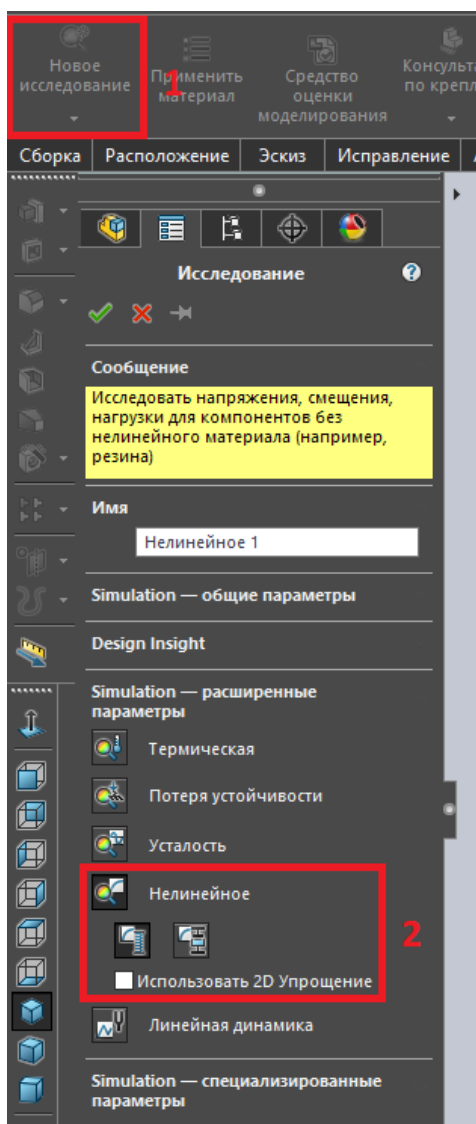


Рисунок 3.37 — Интерфейс выбора
расчета

Рисунок 3.38 — Дерево разделов
начальных параметров

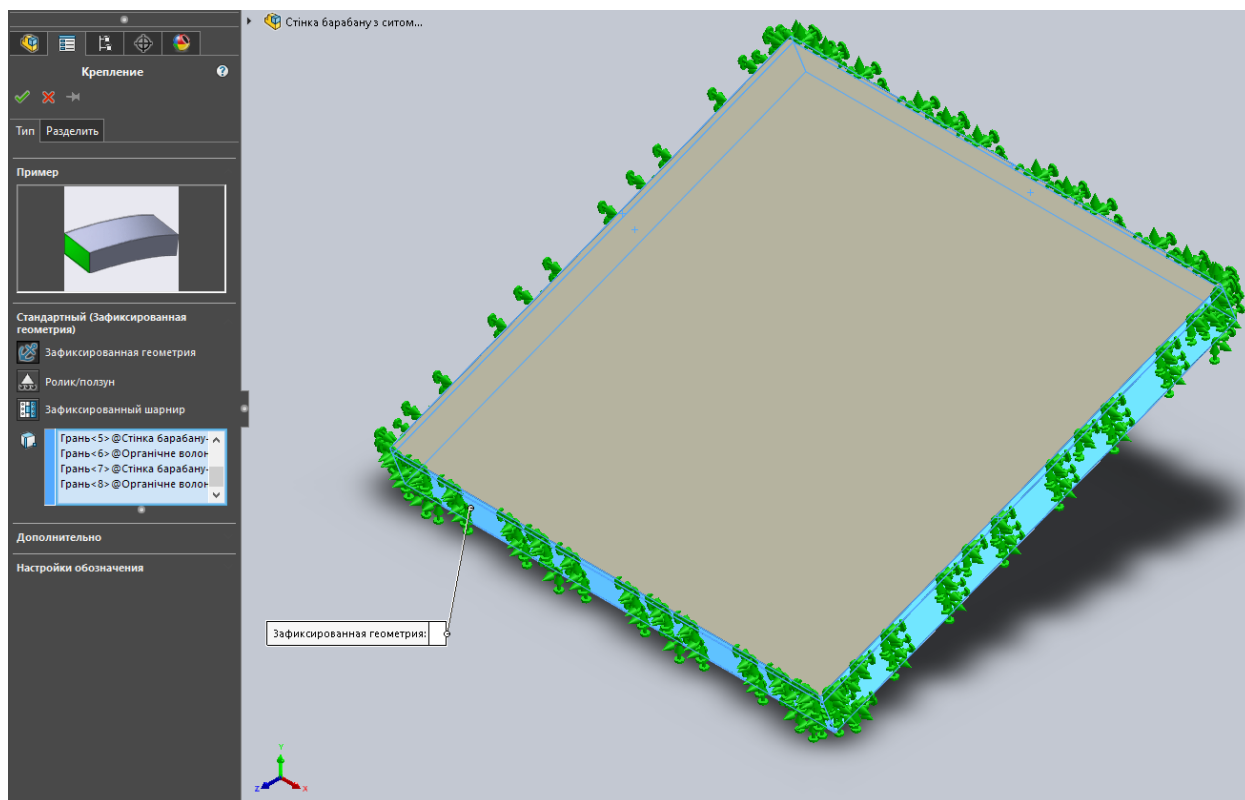


Рисунок 3.39 – Кріплення моделі

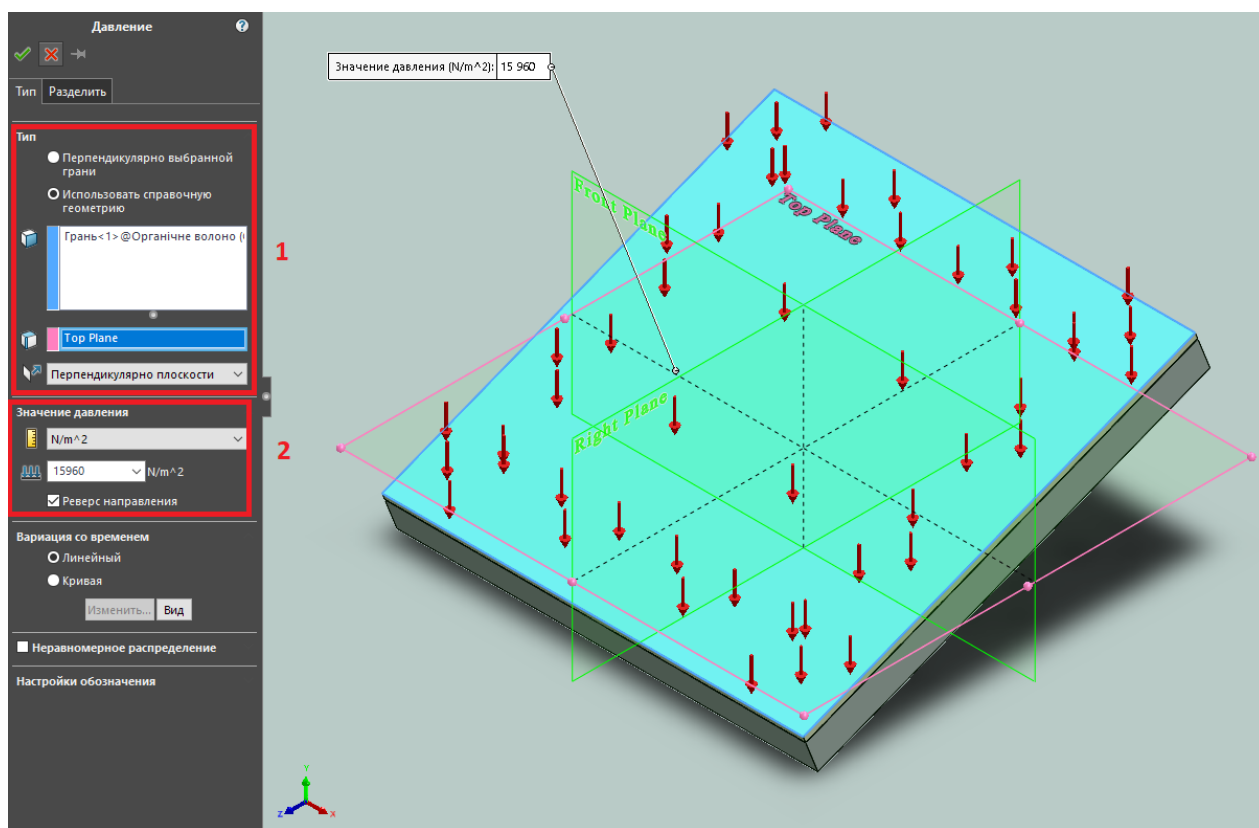


Рисунок 3.40 – Діючі навантаження на модель

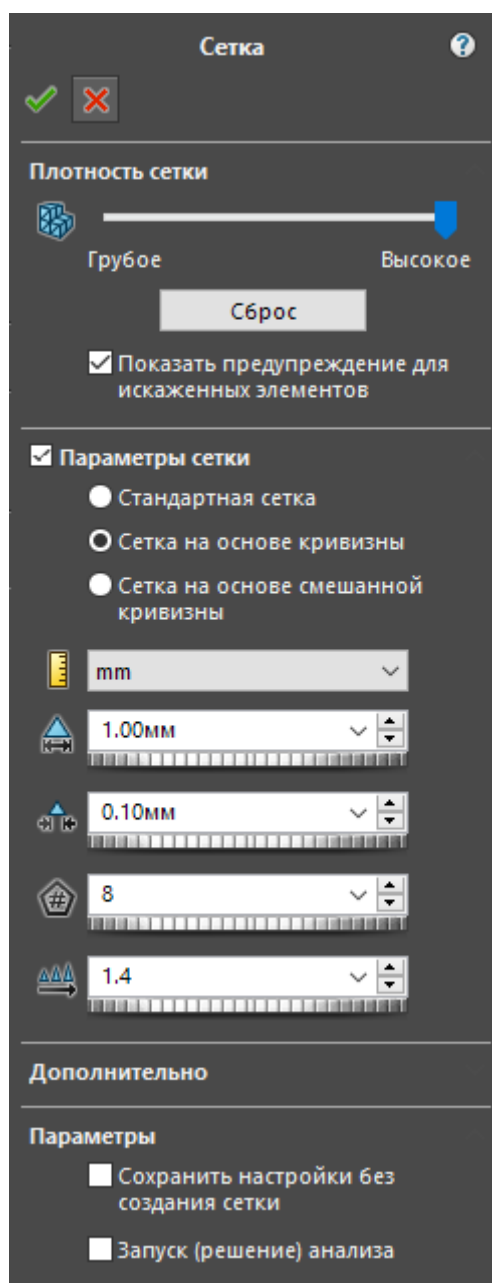


Рисунок 3.41 – Параметры сітки

Останнім на етапі задання вхідних параметрів є створення сітки, рис.3.41. В параметрах сітки обираємо «Сітка на основі кривизни» та задаємо розміри її елементів. Сітка створена за такою схемою збільшує свою густину в зонах де змінюється геометрія моделі, тому вказуємо розмір звичайних елементів та мінімально можливих. Користуючись правилом, що розмір найменшого елемента сітки повинен бути в десять разів меншим найменшого розміру моделі, вказуємо мінімальний розмір 0,1 мм. Побудовану сітку бачимо на рис.3.42.

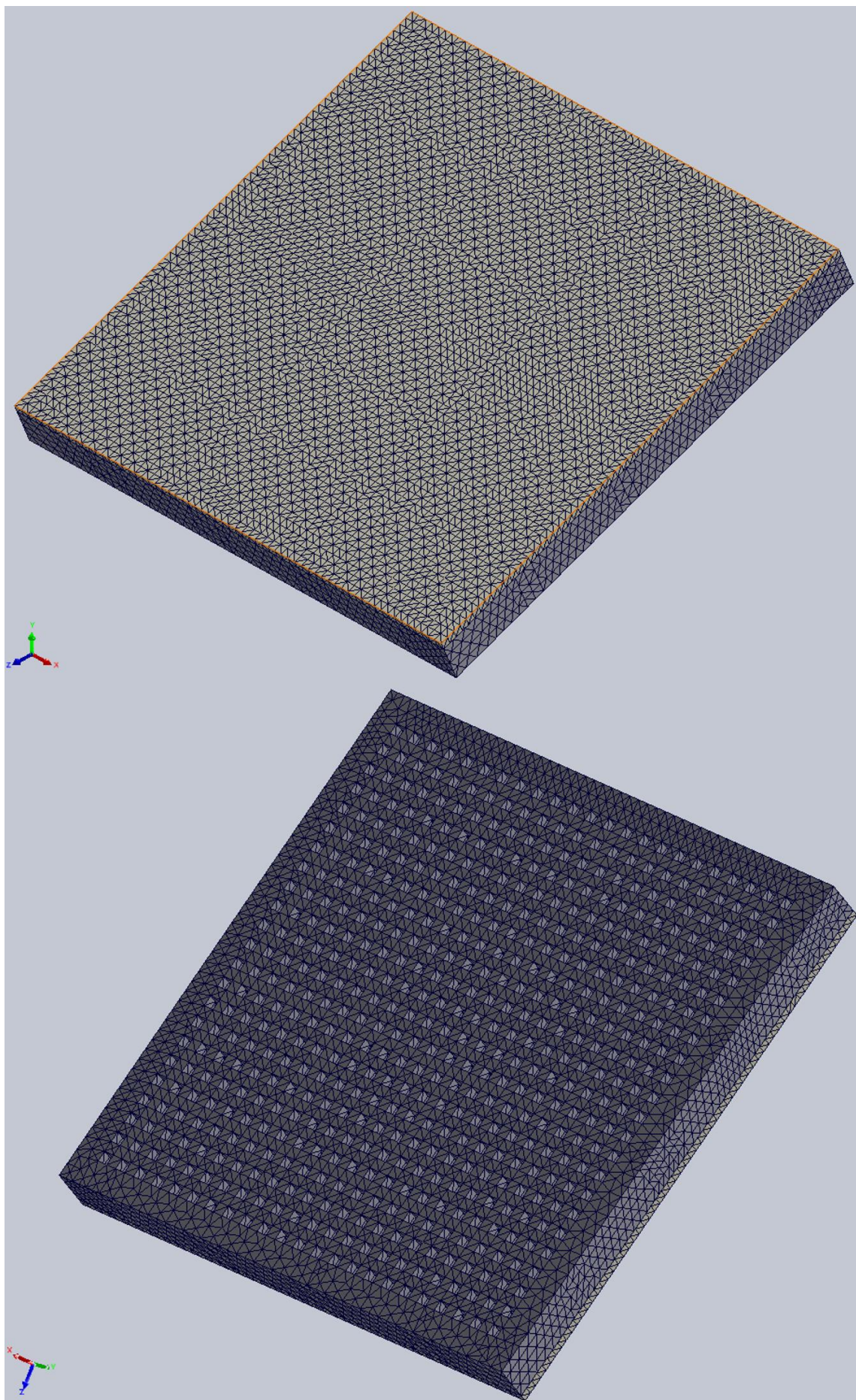


Рисунок 3.42 – Створена сітка

3.4 Аналіз результатів дослідження напружено-деформованого стану

Запускаємо дослідження заданими початковими параметрами, рис.3.43.

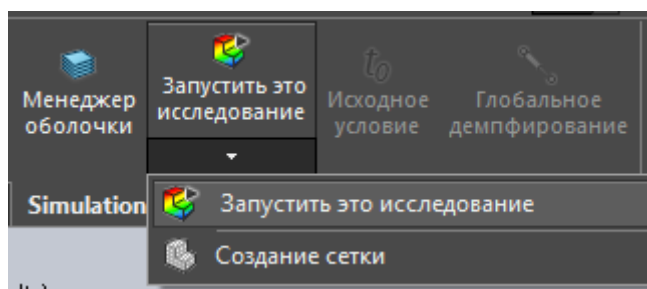


Рисунок 3.43 – Запуск дослідження

Під час розрахунку доступна можливість візуалізації попередніх результатів дослідження, рис.3.44. Нелінійне дослідження відбувається у 13 ітерацій. Під час попереднього огляду виводяться загальні дані розрахунку, рис.3.44 позиція 1, вікно програми розрахунку, рис.3.44 позиція 2, та шкала напружень з відповідною картиною їх розподілень на 3D-моделі, рис.3.44 позиція 3.

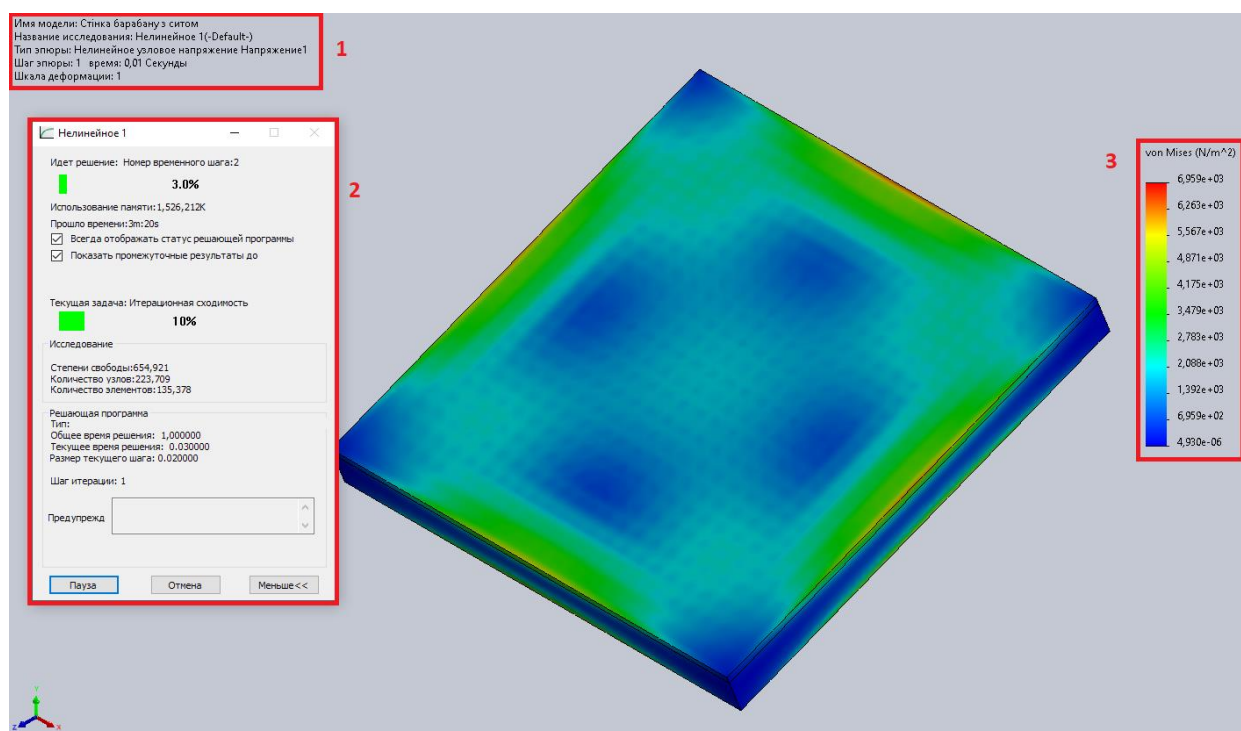


Рисунок 3.44 – Попередні результати розрахунку

Після закінчення розрахунку маємо результати розподілення напружень за Мезісом, переміщення та відносні деформації, рис.3.45-3.47.

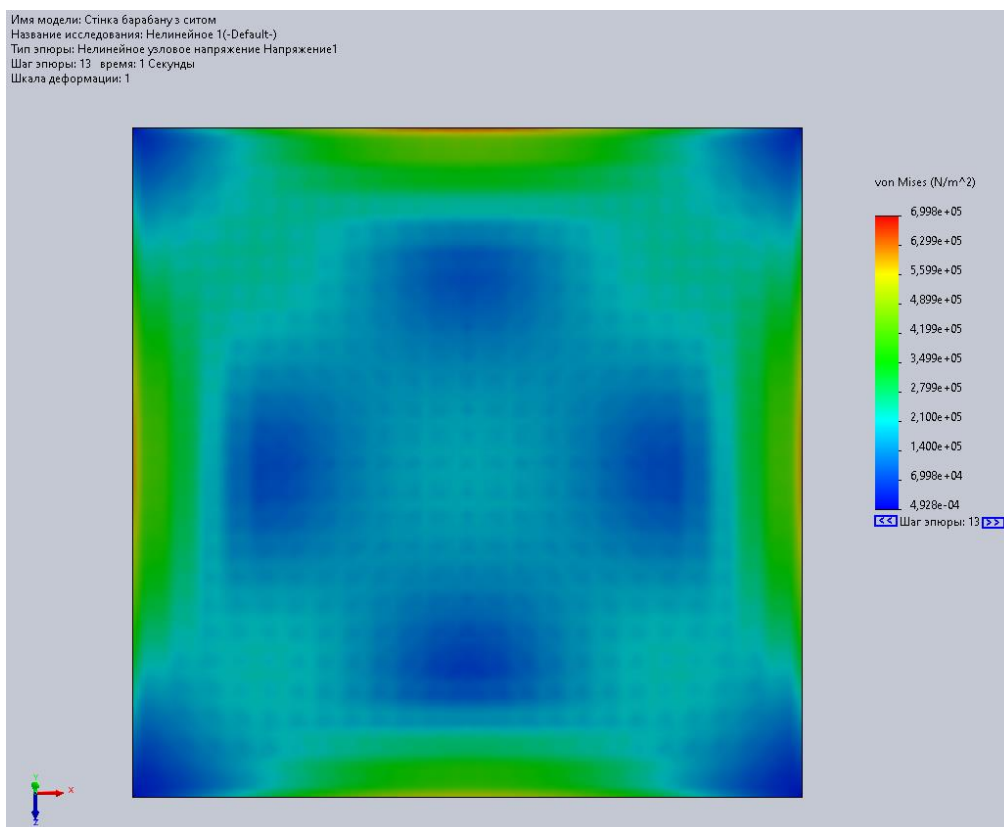


Рисунок 3.45 – Епюра розподілення напружень за Мезісом у ситі розташованому на стінці барабану

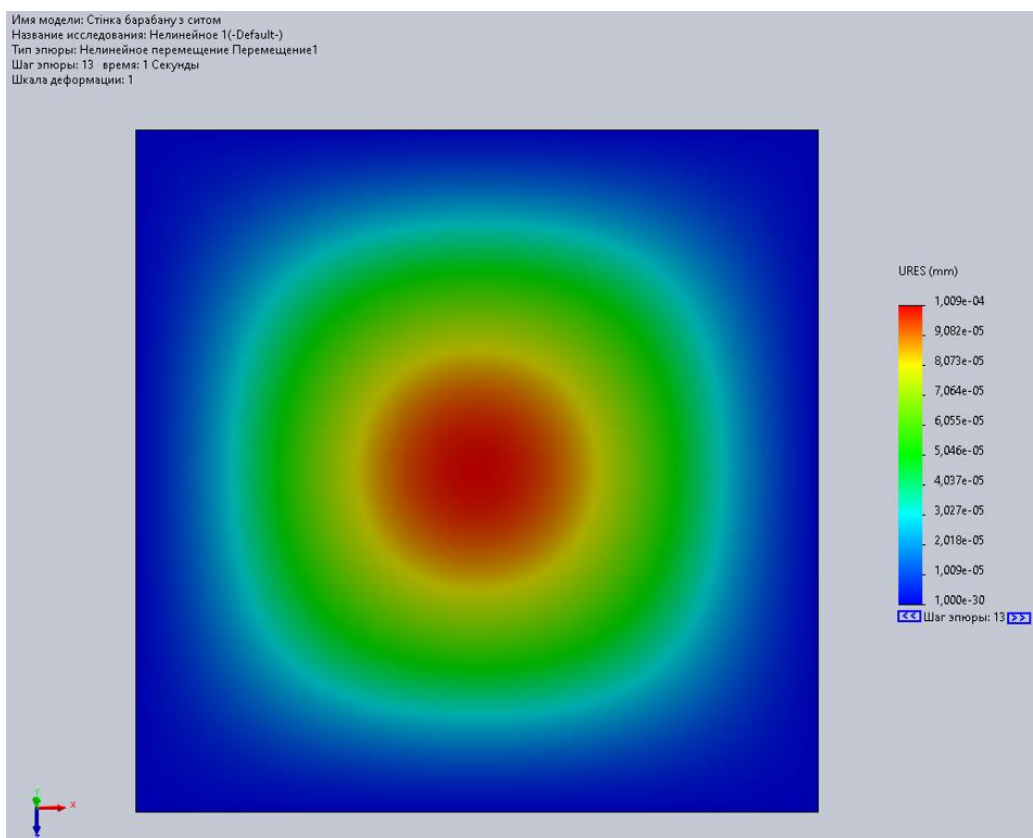


Рисунок 3.46 – Епюра деформацій у ситі розташованому на стінці барабану

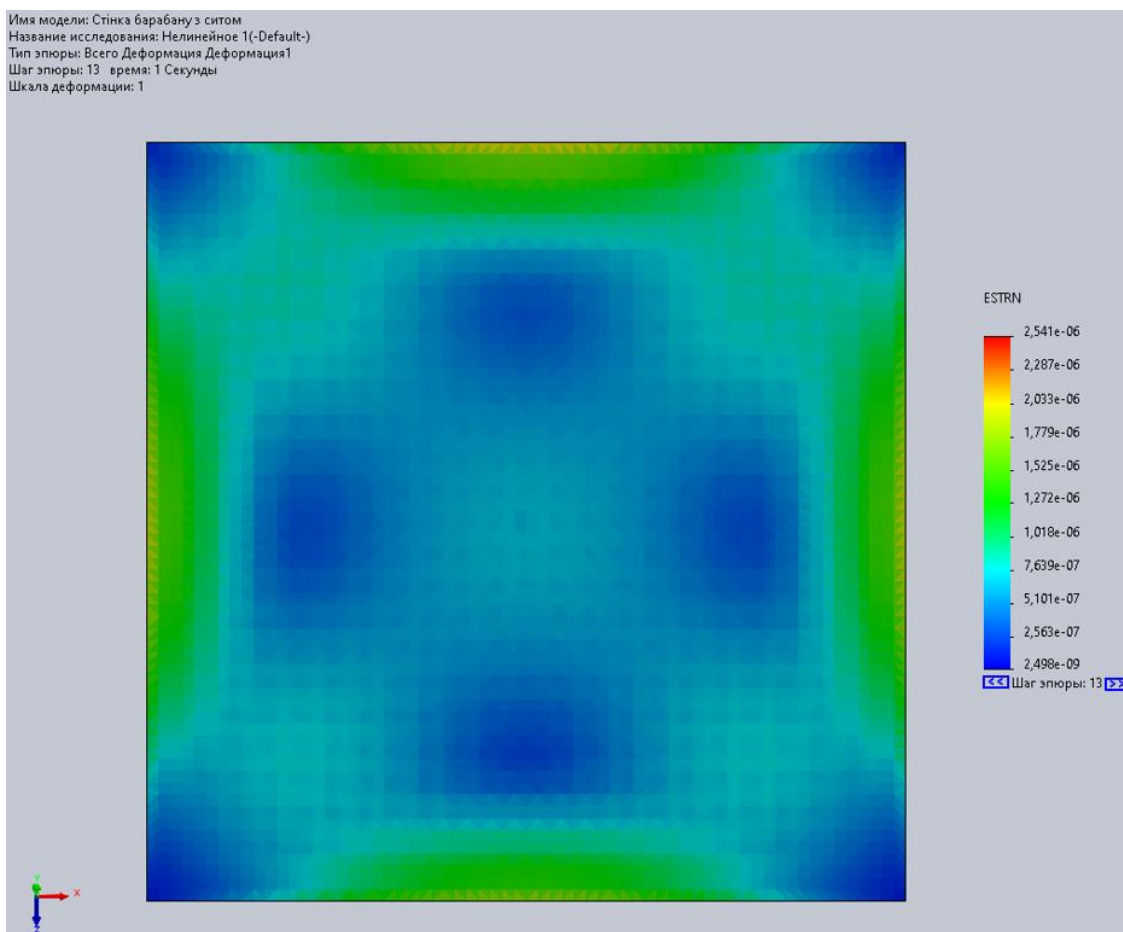


Рисунок 3.47 – Епюра відносної деформації у ситі розташованому на стінці барабану

Проведемо аналіз розподілення напружень на локальну область. Можна чітко охарактеризувати 3 характерні області, рис 3.48. Перша область має найбільші значення напружень та розташована вздовж бічних граней моделі. Це обумовлюється зміною геометрії, що утворює концентрацію напружень. В кінчному барабані такі зони будуть відсутніми. Друга зона має відносно незначні напруження та саме ці значення нам цікаві, через те що вони знаходяться в робочій області деталі тому будуть аналогічними з напруженнями у кінчній стінці барабану. Цю зону назвемо робочою. Третя характерна зона напружень знаходиться у вигляді вкраплень всередині другої зони. Їй характерні одні з найменших напружень на цій епюрі. Це обумовлено безпосередньою близькістю з зоною концентратором напружень.

Епюра деформацій рис.3.46 є доволі характерною для такої навантаженої області. Варто зазначити, що перфорація не змінила форму зони деформації.

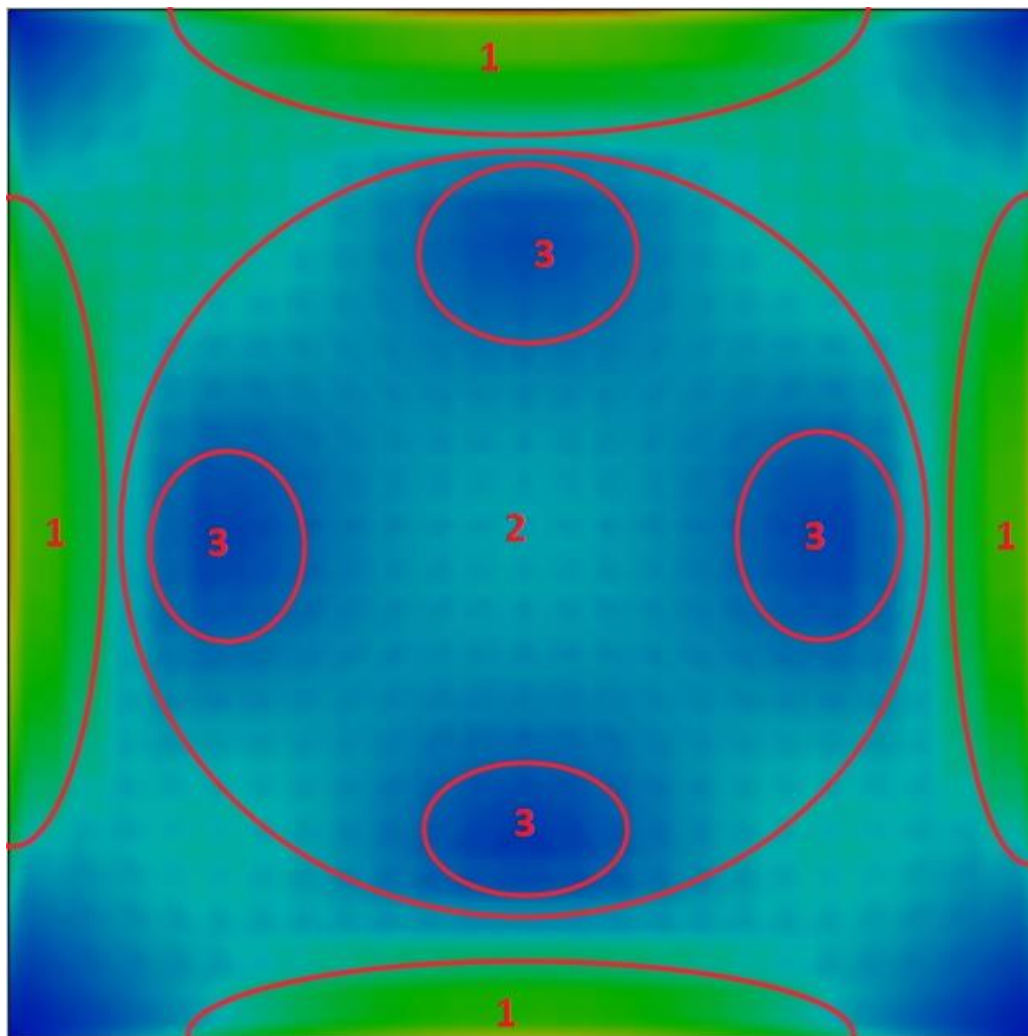


Рисунок 3.48 – Зони розподілення деформацій у ситі розташованому на стінці барабану

Результати всіх ітерацій зведемо в одну таблицю 3.2, на їх основі створимо графіки залежності.

Аналізуючи отримані значення розрахунку бачимо, що з кожною наступною ітерацією відбувається поступове навантаження моделі. Розрахунковий комплекс, опираючись на попередні результати розрахунку, здійснює подальше збільшення або зменшення навантаження на модель, в нашому випадку відбувається поступове збільшення.



Рисунок 3.49 – Графік залежності напружень в робочій зоні за ітераціями

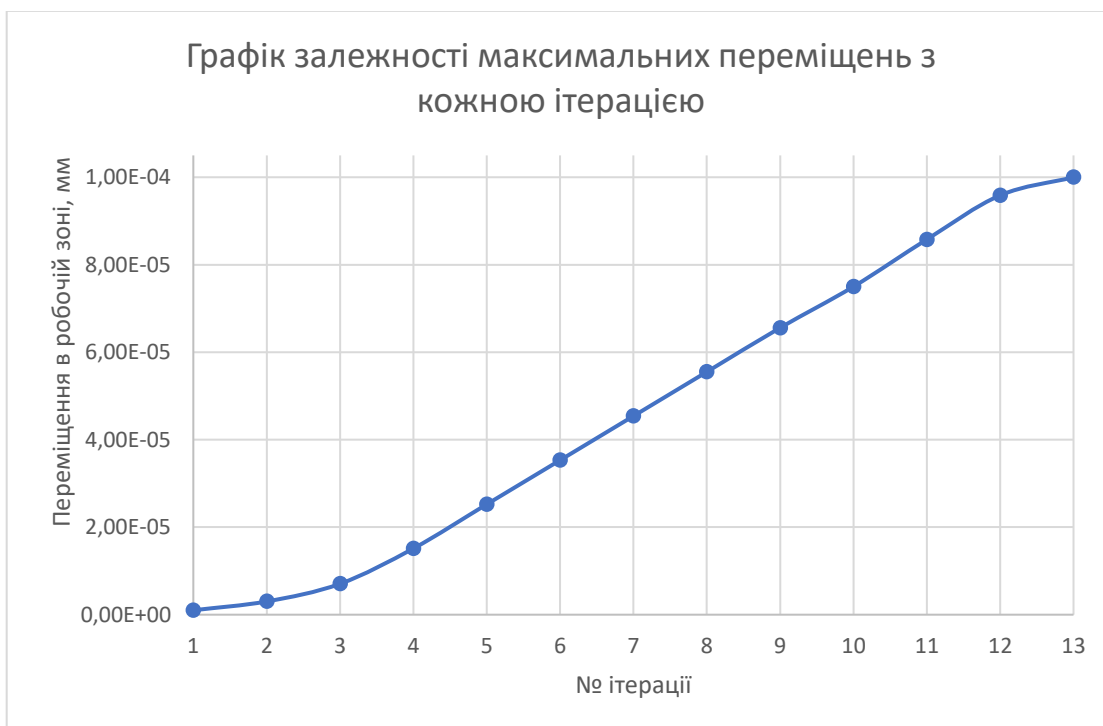


Рисунок 3.50 – Графік залежності переміщень за ітераціями

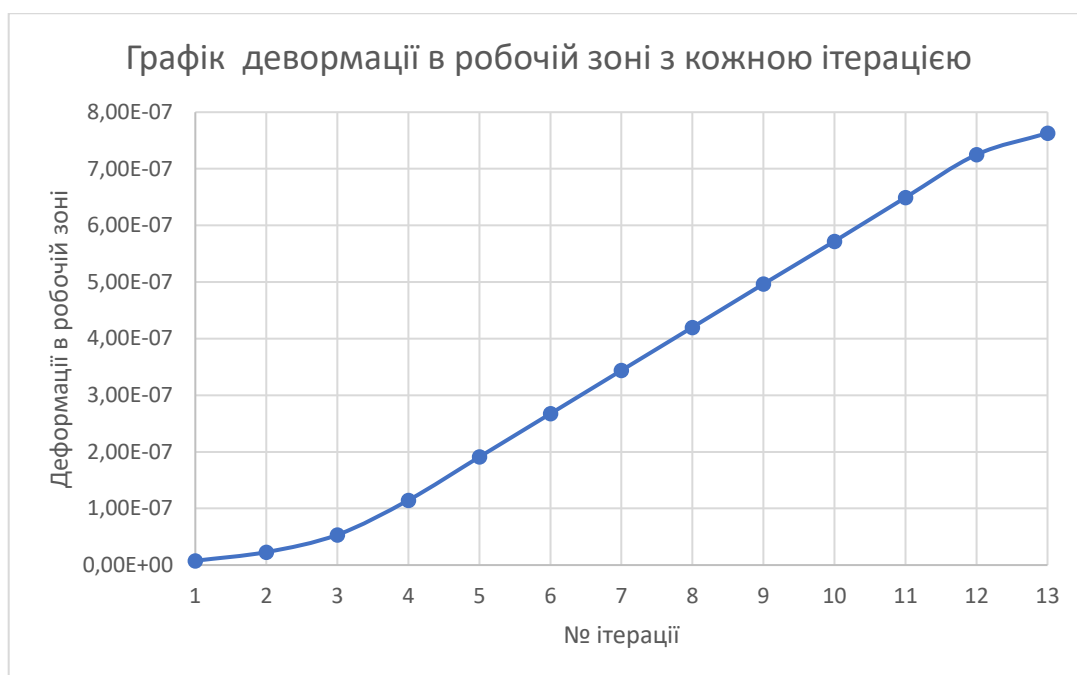


Рисунок 3.51 – Графік залежності відносних деформацій в робочій зоні за ітераціями

Зображено графік залежності на основі табличних значень отриманих результатів. На рис.3.49 зображений графік залежності напружень у робочій області відносно ітерацій розрахунку. На рис.3.50 наведено графік залежності максимальних переміщень в розрахунковій моделі в залежності від ітерацій. На рис.3.51 бачимо графік залежності відносних деформацій у робочій області. Спорідненим у цих трьох графіках є їх характерна нелінійність на початку та в кінці, центральна їх частина має дещо лінійних характер, що в результаті дає не лінійних характер залежності напружень, переміщень та деформацій відносно поступового навантаження.

3.5 Висновок розділу

Проведено два дослідження: гідродинамічне дослідження та дослідження напружено-деформованого стану. Вони були взаємопов'язаними адже значення сили з якою діє сировина стінку ротору біло отримано в результаті

гідродинамічного розрахунку і використовується для дослідження напружено деформованого стану локальної ділянки барабану.

Оброблені результати досліджень та встановлені основні залежності: сили дії сировини, на стінку барабану, від швидкості обертання барабану; тиску, в середині барабану, від швидкості обертання; напружено-деформованого стану в матеріалі сита, а саме залежності навантаження на сито від швидкості обертання барабану.

В результаті гідродинамічного дослідження встановлено, що найбільша сила сировини на стінку барабану 15,9 кН. Проведено ряд гідродинамічних досліджень з різною швидкістю обертання ротора та встановлено: найбільший тиск в барабані 651 кПа досягається за частоти обертання 900 об/хв; найбільша сила сировини на стінку барабану 15,9 кН досягається за частоти його обертання 850 об/хв. На основі цих даних побудовано графіки залежності.

Проведено дослідження напружено деформованого тану локальної області ротора встановлено, що напруження у робочій зоні барабану досягають 210 кПа; деформації робочої області досягають 1×10^{-4} мм.

4 ЧИСЕЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ З ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ СИТА

4.1 Вхідні параметри моделі

Під час дослідження напружено-деформованого стану локальної області стінки барабану було встановлені епюри напруження, деформації та відносної деформації полотна сита на перфорованій стінці барабану. Перфорація стінки барабану біла здійснена фігурою – квадрат з розміром 1×1 мм.

Проведемо аналогічне дослідження зі зміною форми перфорації цієї області для визначення найбільш рівномірного розподілення навантаження. Для порівняння оберемо три профіля перфорації: круг, трикутник, шестикутник.

Заради того щоб кожного разу не створювати однотипну деталь з різною перфорацією, скористаємося можливістю створювати конфігурації деталі. Для цього відкриваємо деталь стінки барабани, котру ми використовували для першого розрахунку рис.3.34, та створимо додаткові конфігурації у дереві конфігурацій, рис.4.1.

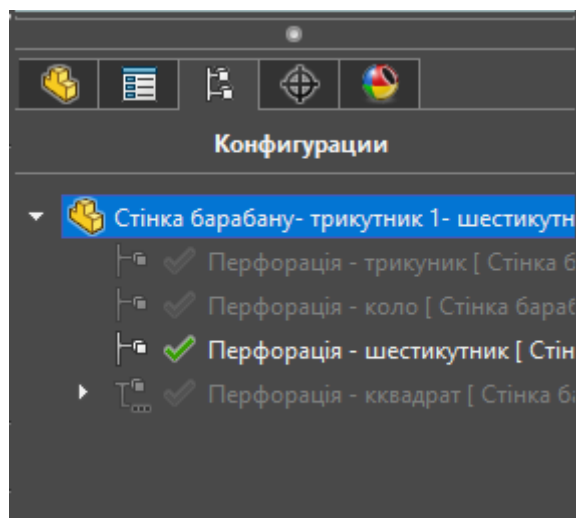


Рисунок 4.1 – Дерево конфігурацій моделі

Після створення необхідного числа конфігурацій та відвідного їх іменування, повертаємося до дерева моделі. Треба погасити ті елементи моделі котрі не повинні

потрапити до певної конфігурації. Готове дерево побудови моделі зображено на рис.4.2.

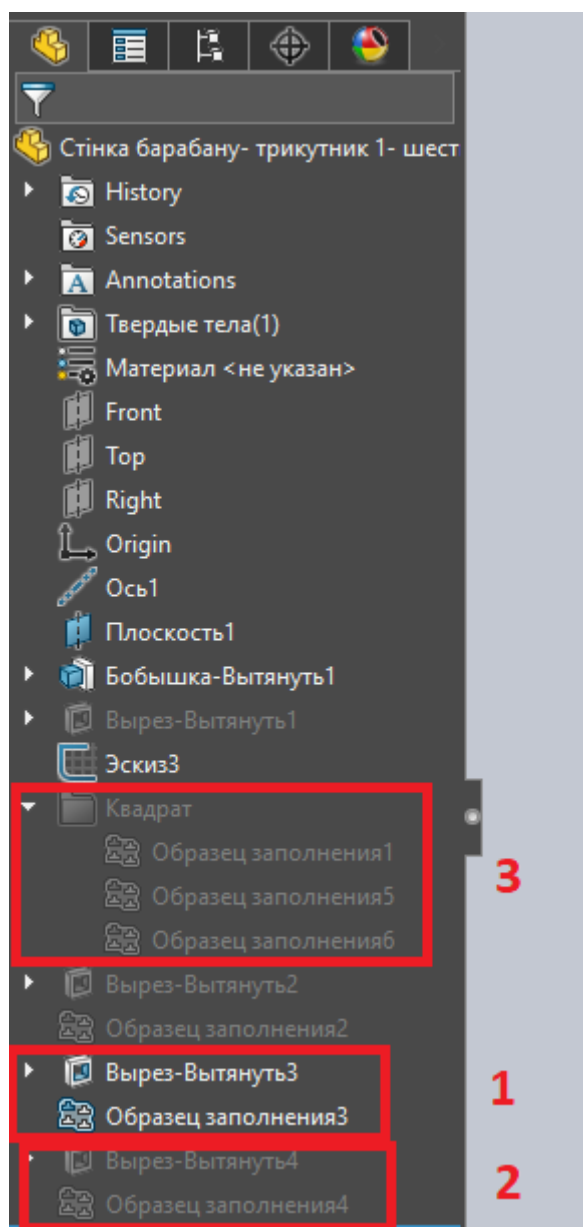


Рисунок 4.2 – Дерево побудови моделі з урахуванням конфігурацій

Тож в дереві побудови деталі наведено: рис.4.2 позиція 1 – активні елементи редагування моделі; рис.4.2 позиція 2 – елементи іншої конфігурації погашені; рис.4.2 позиція 3 – елементи іншої однотипної конфігурації що відрізняються за розміром зведені в одну папку та погашені.

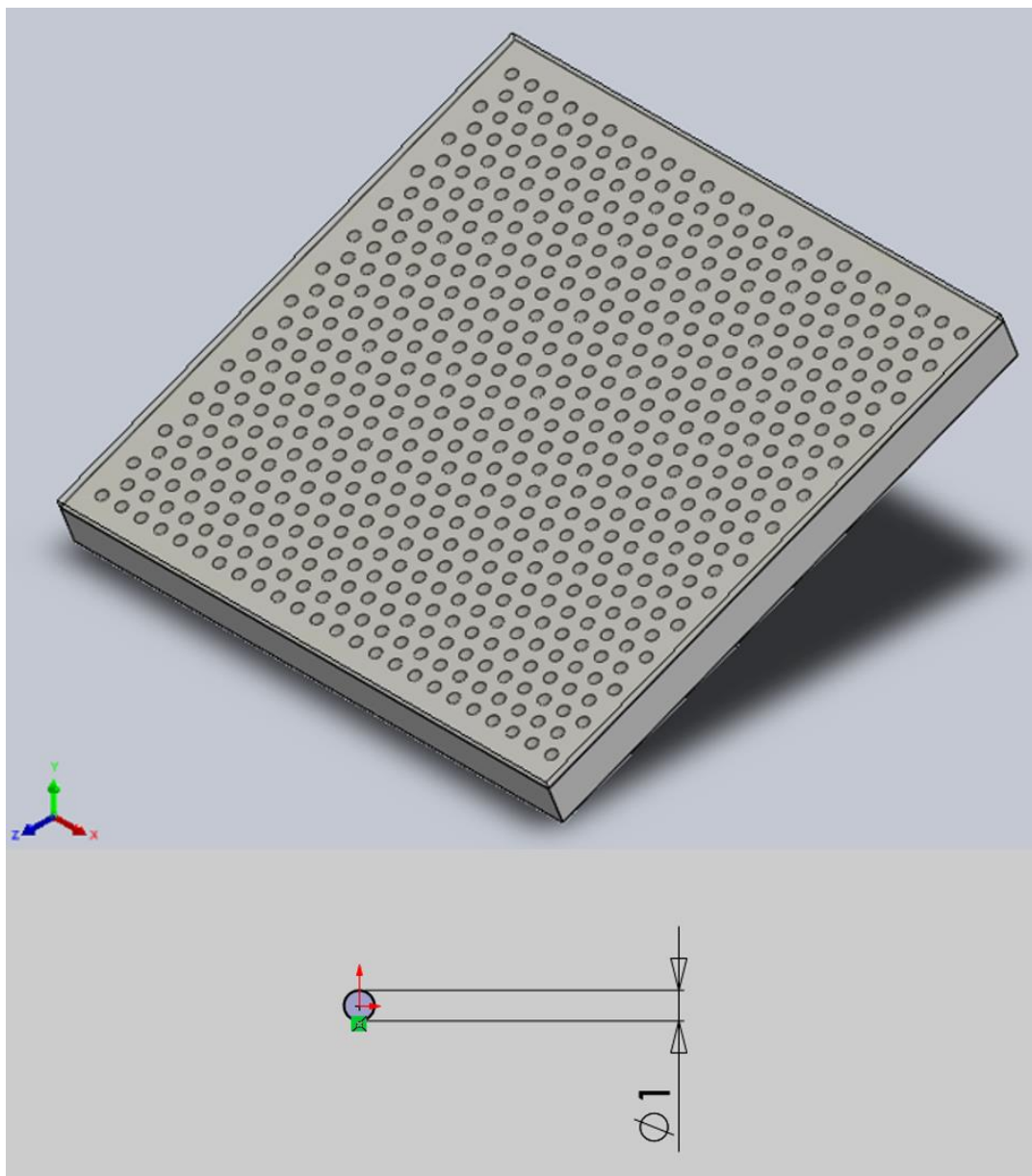


Рисунок 4.3 – Схема перфорації фігурою коло

На рис.4.3 зображена схема перфорації профілем кола з діаметром 1 мм. Перфорація здійснюється у шаховому порядку. Інтервал поміж екземплярами у масиві 2 мм.

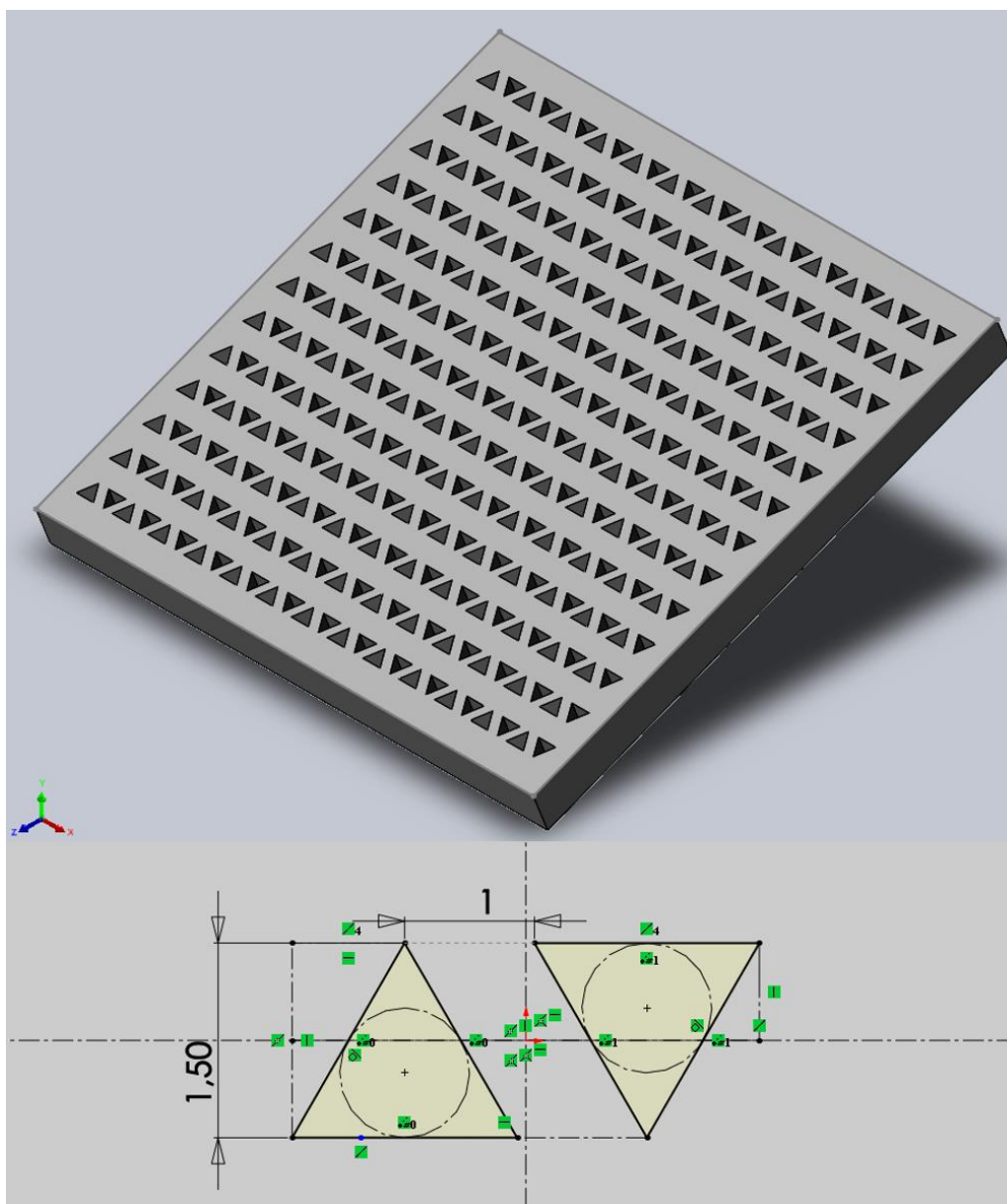


Рисунок 4.4 – Схема перфорації трикутником

На рис.4.4 зображена схема перфорації трикутним профілем. За основу обрано рівносторонній трикутник з висотою 1,5 мм та аналогічний трикутник повернутий на 180° . Інтервал між екземплярами 3,6 мм. Схема перфорації аналогічна схемі з квадратним профілем.

На рис.4.5 зображена схема перфорації шестикутним профілем. За основу обрано шестикутник з вписаним колом діаметром 1 мм. Схема перфорації аналогічна схемі з круговим профілем. Інтервал між екземплярами 1,5 мм.

Схема закріплення, навантаження та тип сітки для цих трьох досліджень аналогічні першому розрахунку.

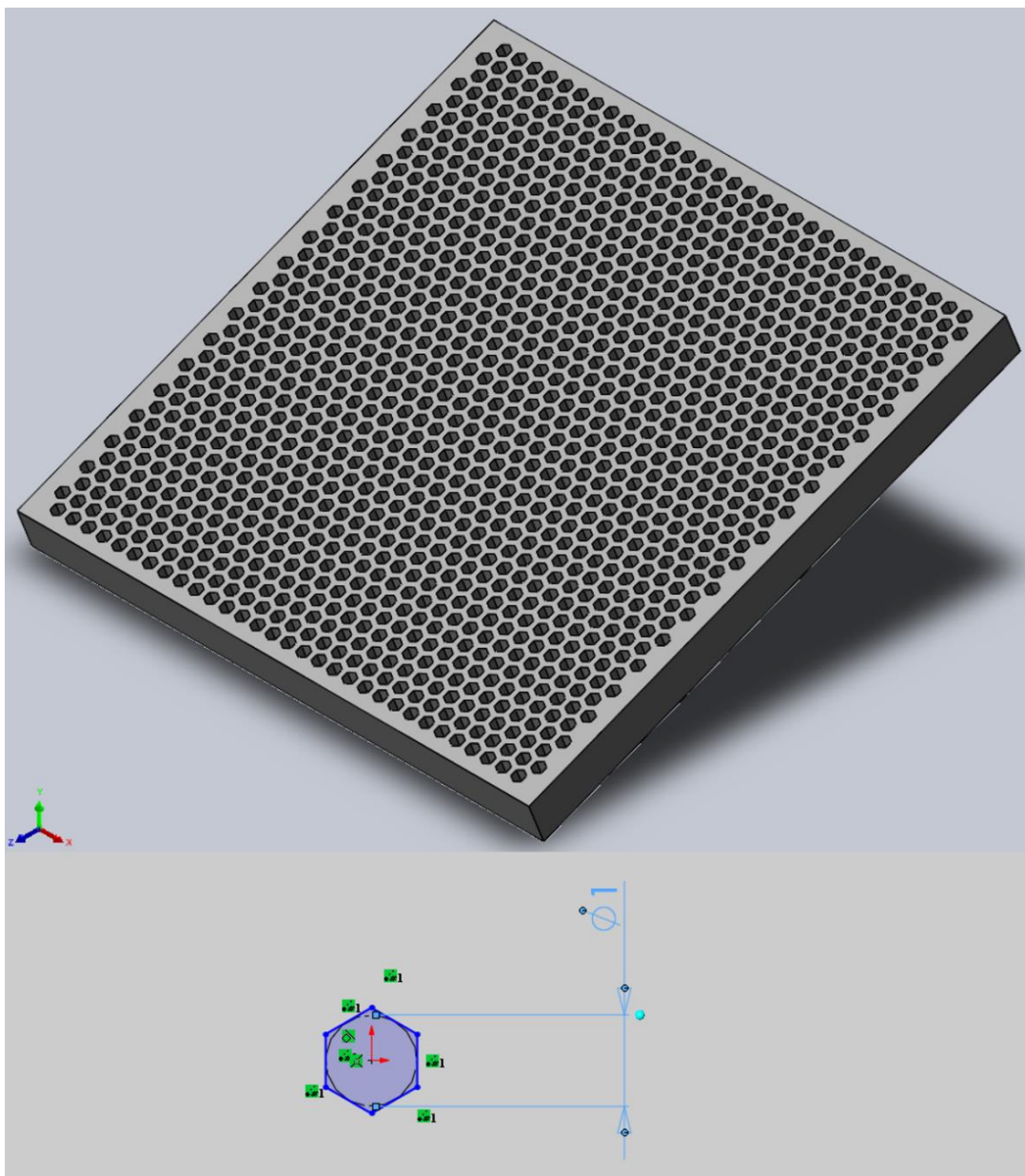


Рисунок 4.5 – Схема перфорації шестикутником

4.2 Аналіз отриманих результатів чисельного експерименту

Закінчивши 3 дослідження з різними профілями перфорації, маємо 9 епюр: 3 епюри розподілення напружень за Мезісом, рис.4.6-4.8; 3 епюри деформацій у стінці барабану, рис.4.9-4.11; 3 епюри відносної деформації в стінці барабану, рис.4.12-4.14.

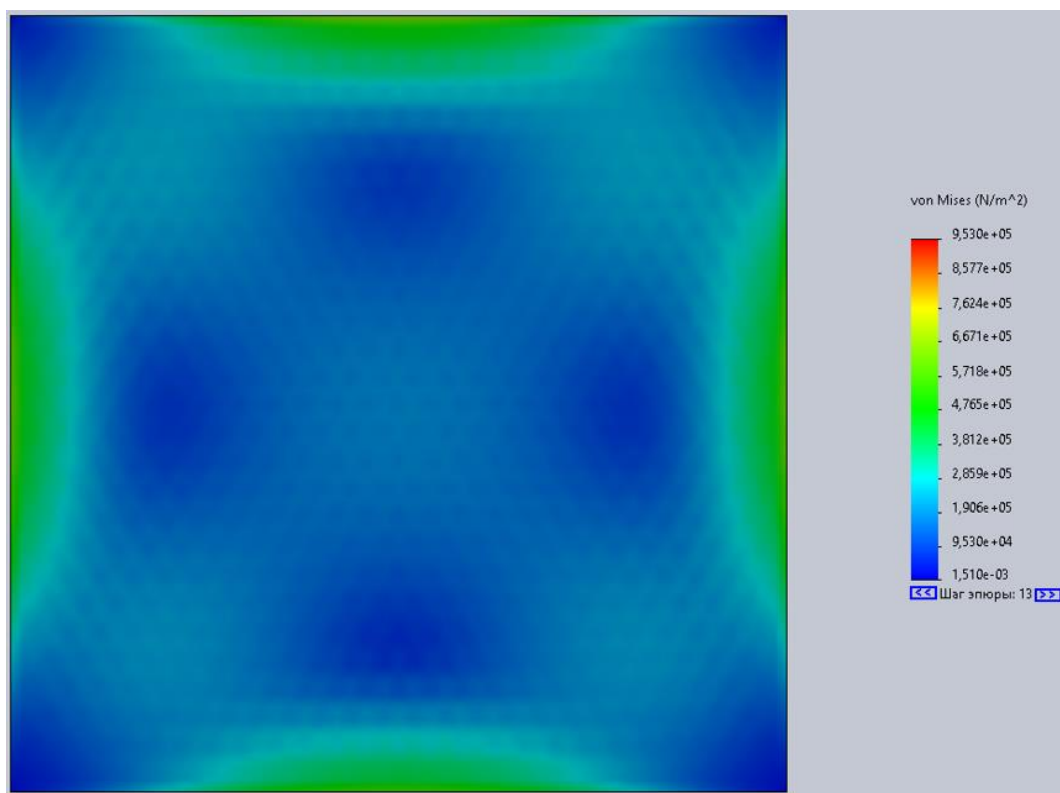


Рисунок 4.6 – Епюра розподілення напружень за Мезісом у ситі розташованому на стінці перфорованій колом

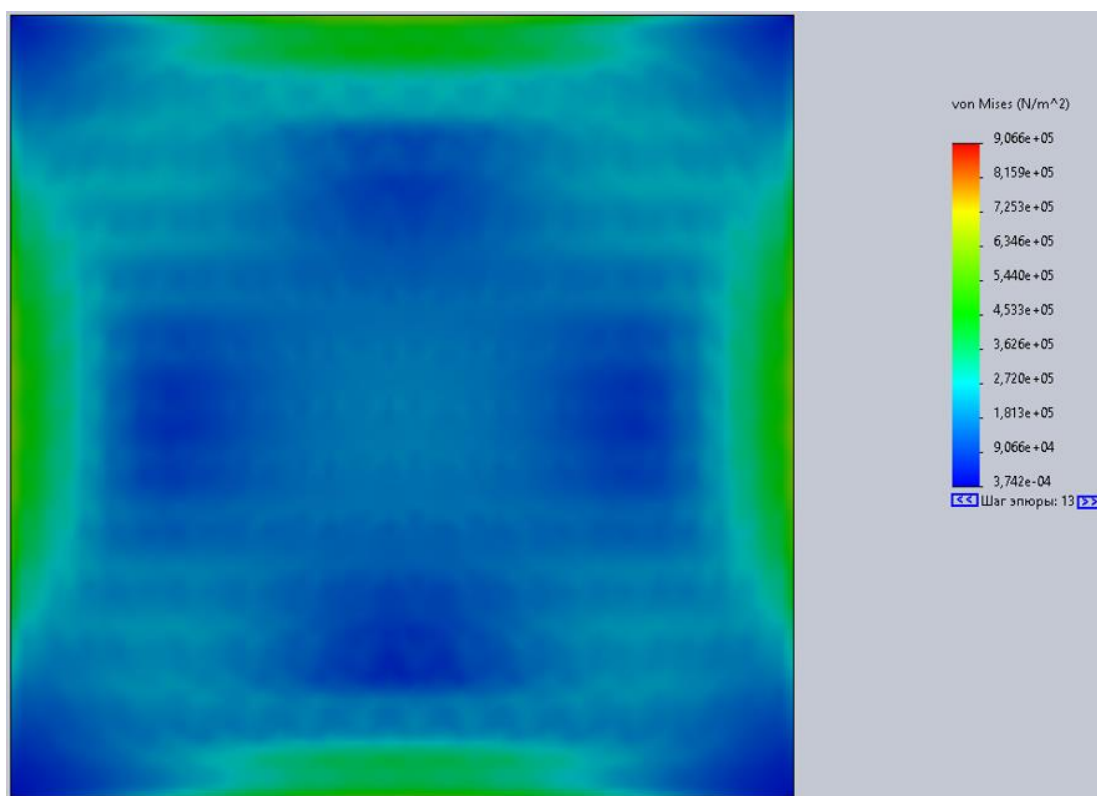


Рисунок 4.7 – Епюра розподілення напружень за Мезісом у ситі розташованому на стінці перфорованій трикутником

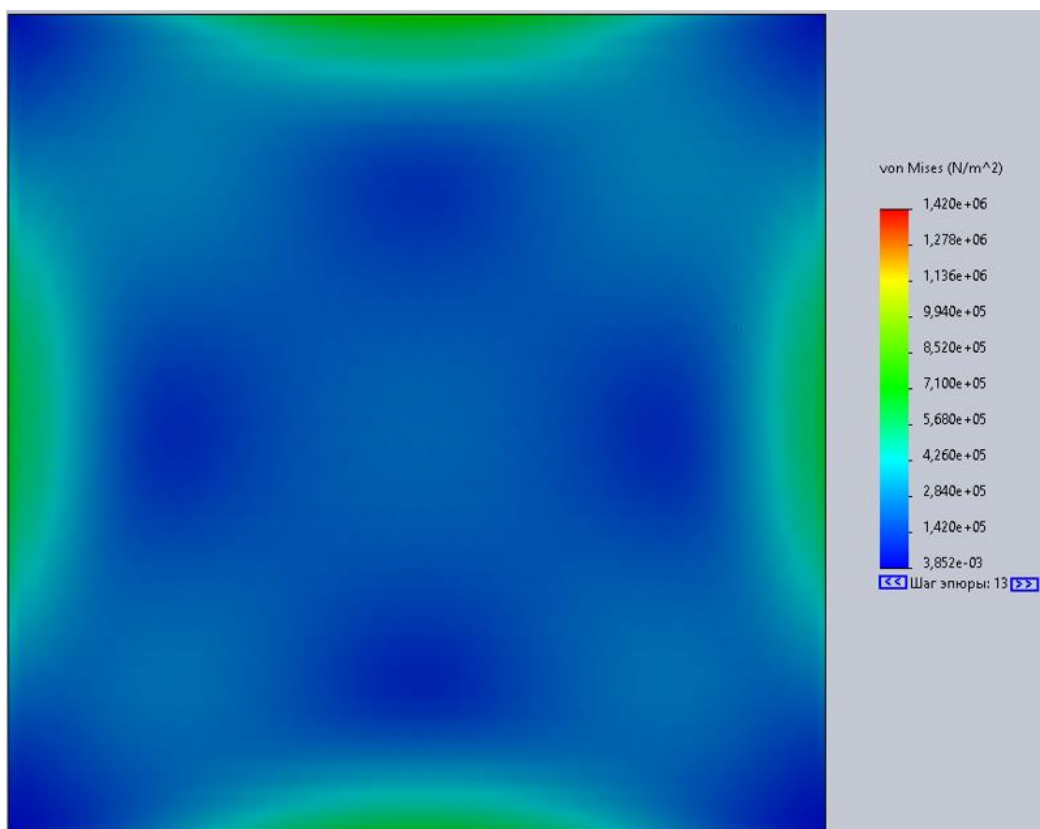


Рисунок 4.8 – Епюра розподілення напружень за Мезісом у ситі розташованому на стінці перфорованій шестикутником

Отримані епюри навантажень різних профілей перфорації мають як схожі та різні властивості. Вони мають однакову структуру розподілення напружень на поверхні сита. Різницею в них є те як відображаються місця розташування отворів під поверхнею сита. Візуально на епюрі найкраще розподілення напружень належить поверхні перфорованій шестикутниками, рис.4.8, адже немає різких переходів зон з різним значенням напружень, хоча ця епюра має найбільші показники напружень у робочій області 426 кПа. Це зумовлено доволі щільним розташуванням отворів перфорації. Найменші показники напруження у робочій зоні вказані на епюрі з трикутним профілем перфорації, рис.4.7, вони сягають близько 272 кПа. У дослідженні з перфорацією колом проміжні значення, вони трішки більші за показники напружень у епюрі напружень для стінки з перфорацією трикутником, та складають 285,9 кПа у робочій області.

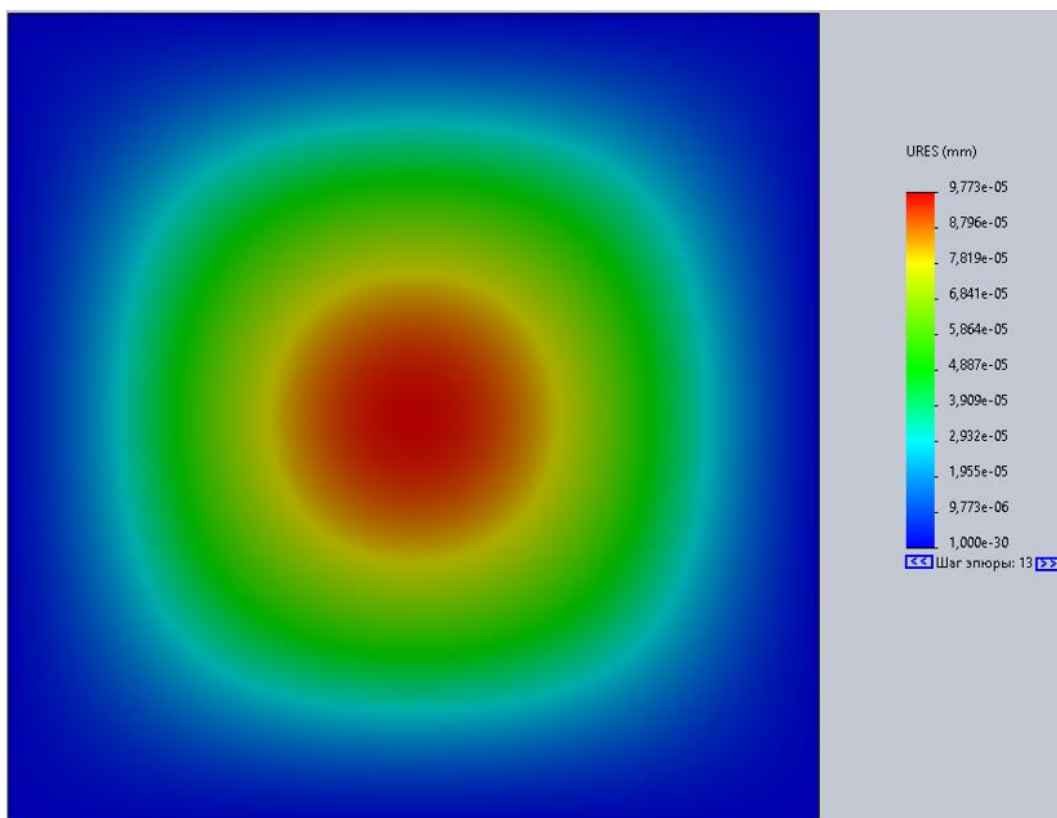


Рисунок 4.9 – Епюра деформацій у ситі розташованому на стінці перфорованій колом

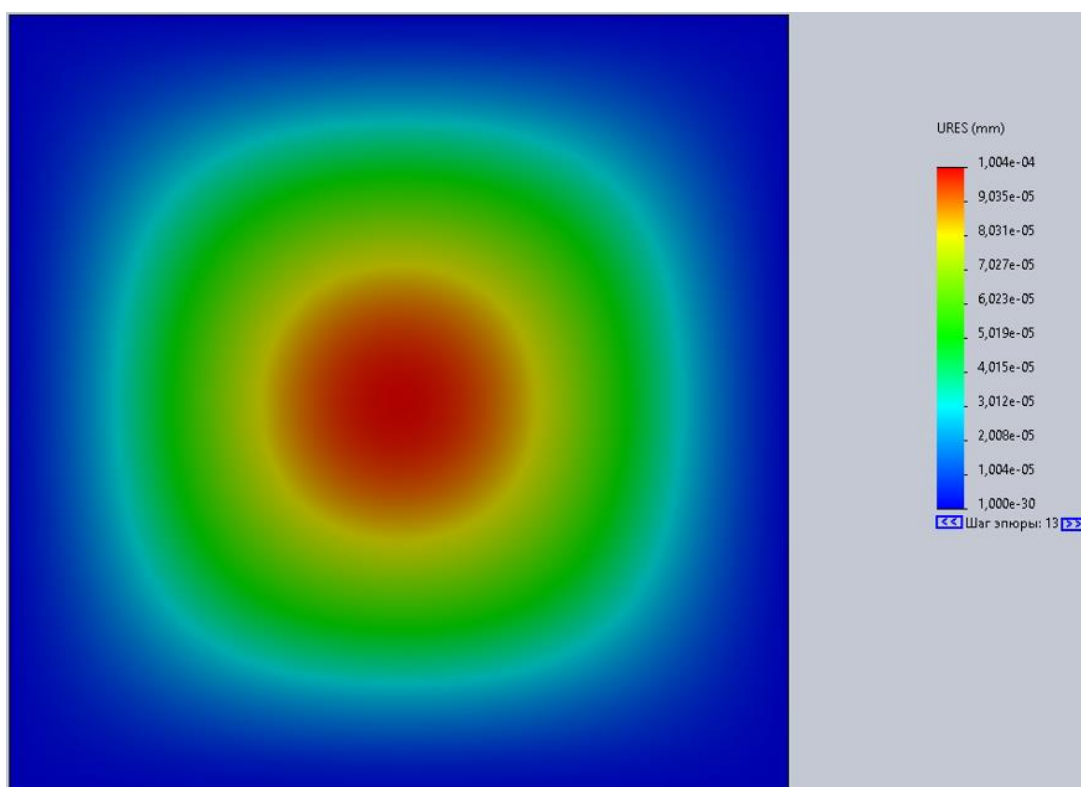


Рисунок 4.10 – Епюра деформацій у ситі розташованому на стінці перфорованій трикутником

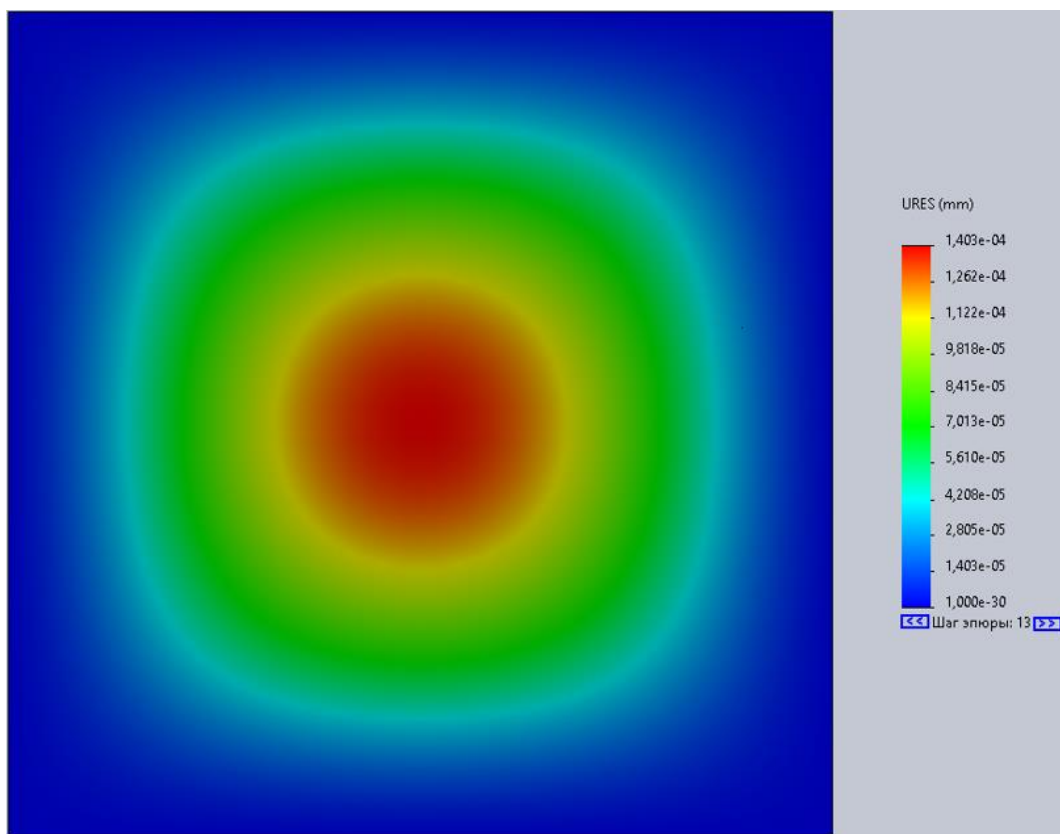


Рисунок 4.11 – Епюра деформацій у ситі розташованому на стінці перфорованій шестикутником

Епюри розподілення деформації для профілів перфорації стінки барабану мають однакову форму області деформації та відрізняються лише за показниками деформації.

Найбільших значень деформації досягає схема перфорації шестикутником, її показники сягають $1,4 \times 10^{-4}$ мм, рис.4.11.

Найкращі показники деформації досягаються під час перфорації колом, вони становлять $9,7 \times 10^{-5}$ мм, рис.4.9.

Показники деформації перфорованої трикутником наближені до результатів перфорації шестикутником, та складають 1×10^{-4} мм, рис.4.10.

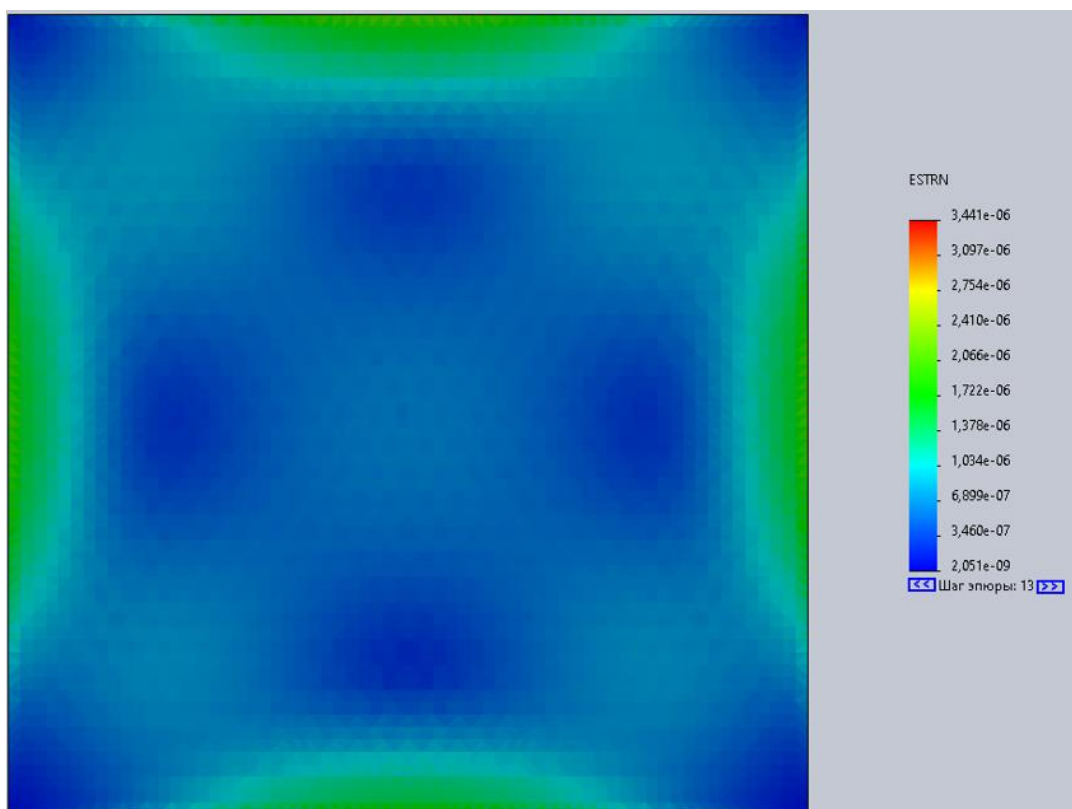


Рисунок 4.12 – Епюра відносної деформації у сітці розташованому на стінці перфорованій колом

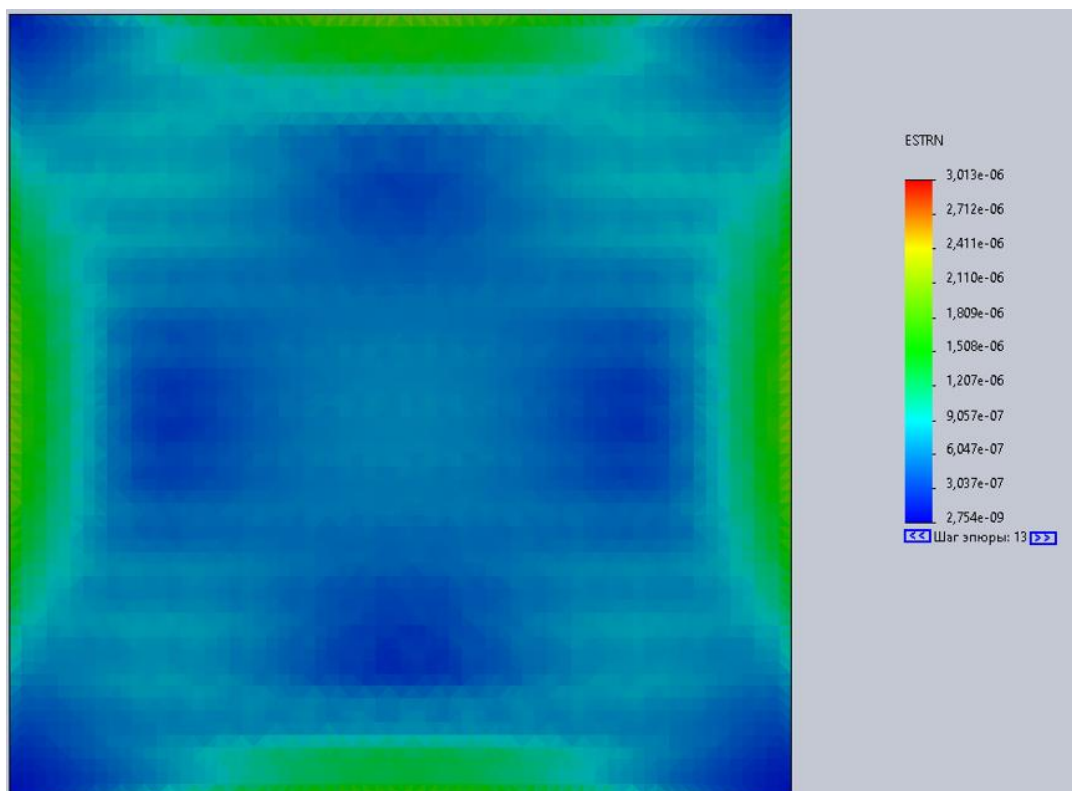


Рисунок 4.13 – Епюра відносної деформації у сітці розташованому на стінці перфорованій трикутником

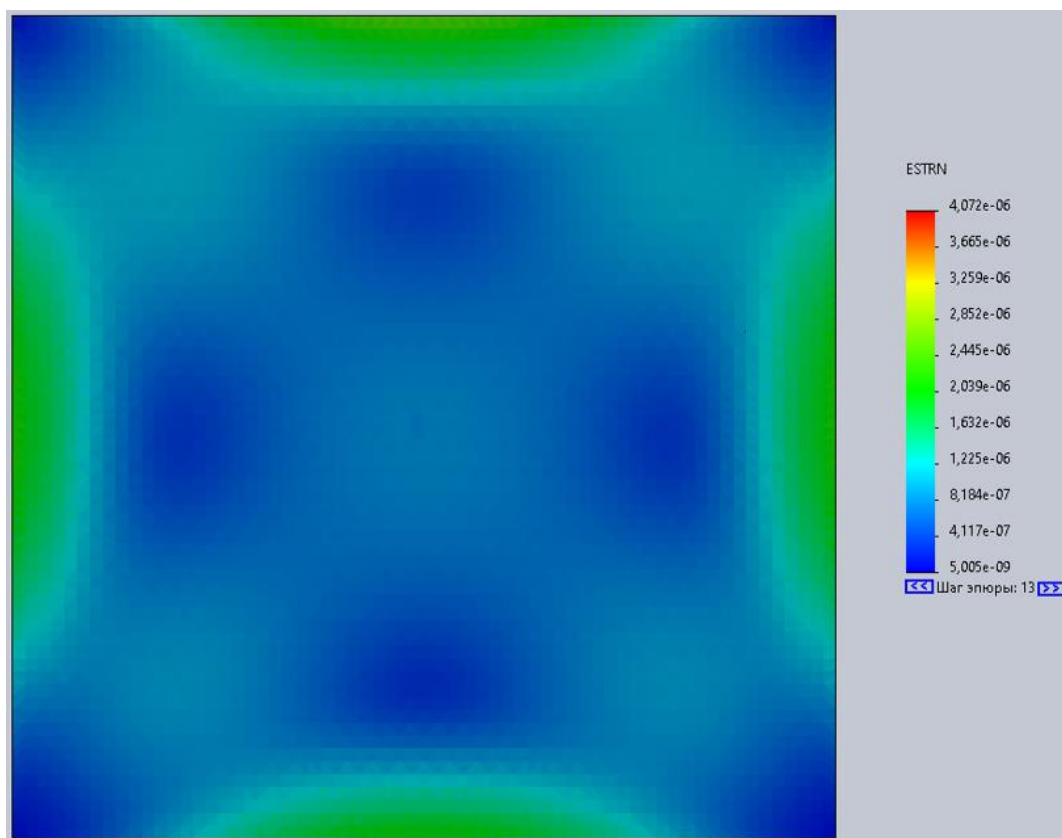


Рисунок 4.14 – Епюра відносної деформації у ситі розташованому на стінці перфорованій шестикутником

Найбільші показники відносної деформації знаходяться на епюрі з перфорацією шестикутником, рис.4.14, вони сягають $1,22 \times 10^{-6}$.

Найменші відносні деформації у робочій області знаходяться на епюрі перфорації трикутником, рис.4.13, та складають 9×10^{-7} .

Значення відносної деформації у робочій області для схеми перфорації колом, рис.4.12, сягає 1×10^{-6} .

Отримані результати для більш зручного порівняння між собою та порівняння з попереднім дослідженням зі стандартною схемою перфорації квадратним профілем зведемо в таблицю 4.1.

На основі отриманих даних створимо гістограми для кожного параметру.

Таблиця 4.1 – Результати експериментів

Значення	Квадрат	Коло	Трикутник	Шестикутник
Максимальні напруження, кПа	699,8	953	906,6	1420
Напруження в робочій зоні, кПа	210	285,9	272	426
Максимальні деформації, мм	1,00E-04	9,77E-03	1,00E-04	1,40E-04
Деформації в робочій зоні, мм	6,00E-05	4,88E-05	5,00E-05	7,00E-05
Максимальні відносні деформації	2,54E-06	3,44E-06	3,00E-06	4,00E-06
Відносні деформації в робочій зоні	7,63E-07	1,00E-06	9,00E-07	1,22E-06

Порівнюючи різні форми перфорації сітки барабану можна встановити що стандартний – квадратний профіль перфорації є найкращим, до нього приближений за отриманими значеннями трикутний профіль перфорації. Він має однакові значення максимальної деформації та відносної деформації стінки барабану. Значення деформації в робочій зоні дещо краще за аналогічне для квадратного профілю.

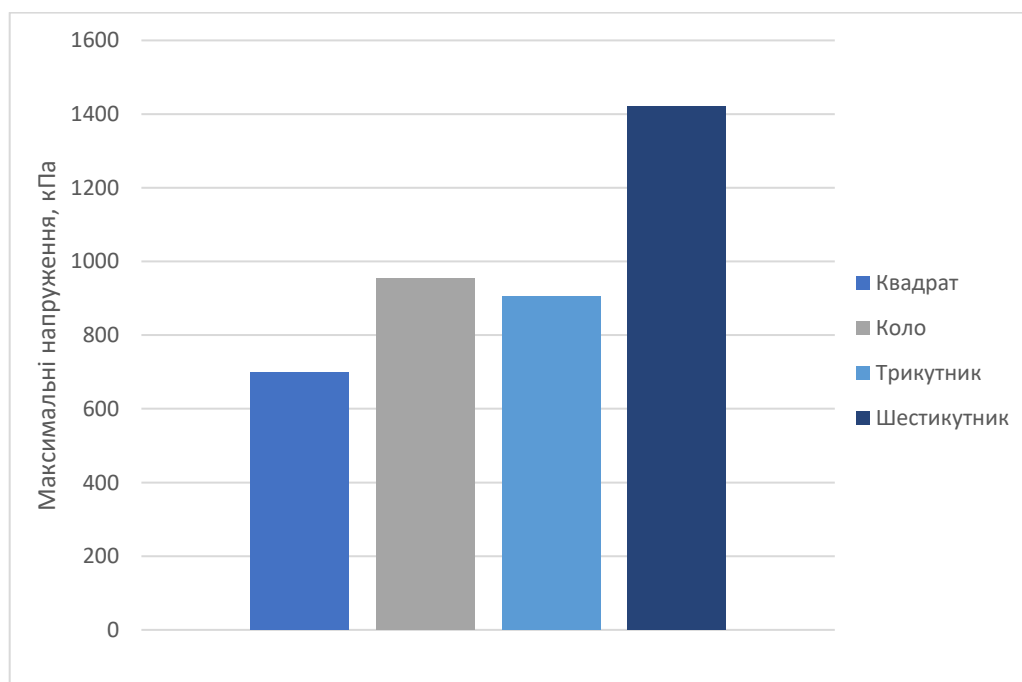


Рисунок 4.15 – Гістограма максимальних напружень на поверхні сита, що знаходиться на стінці з різним профілем перфорації

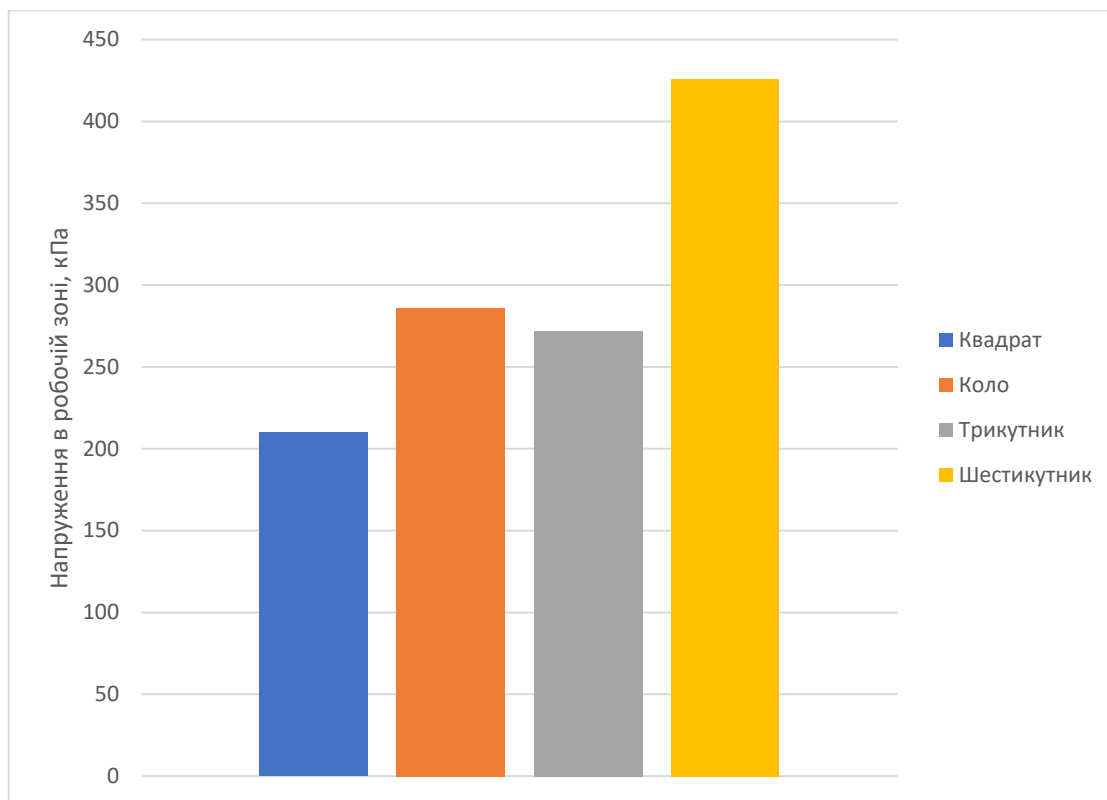


Рисунок 4.16 – Гістограма напружень у робочій зоні на поверхні сита, що знаходиться на стінці з різним профілем перфорації

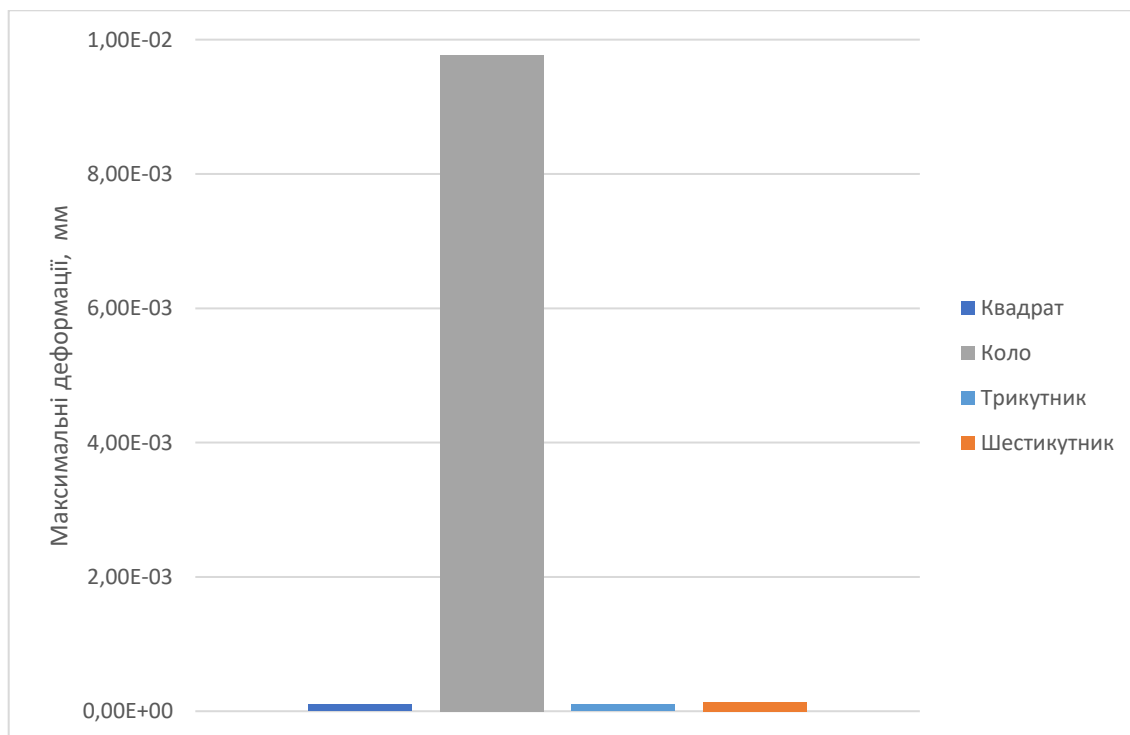


Рисунок 4.17 – Гістограма максимальних деформацій на поверхні сита, що знаходиться на стінці з різним профілем перфорації

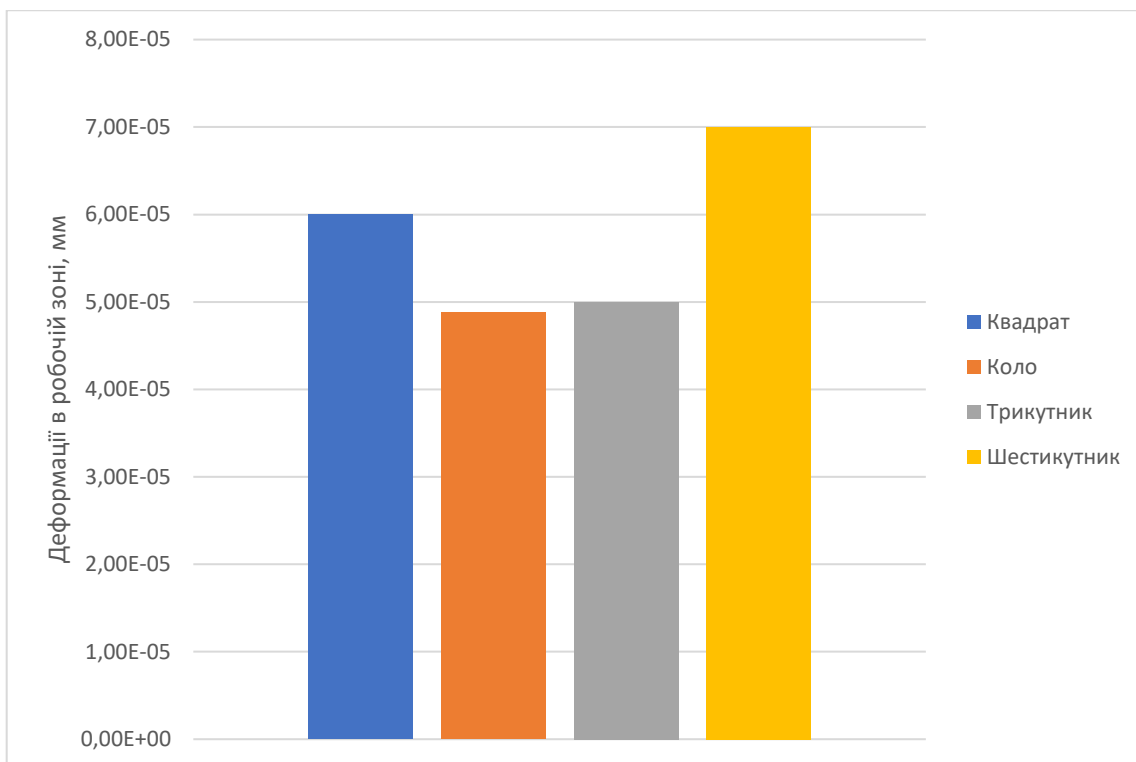


Рисунок 4.18 – Гістограма деформацій у робочій зоні на поверхні сита, що знаходиться на стінці з різним профілем перфорації

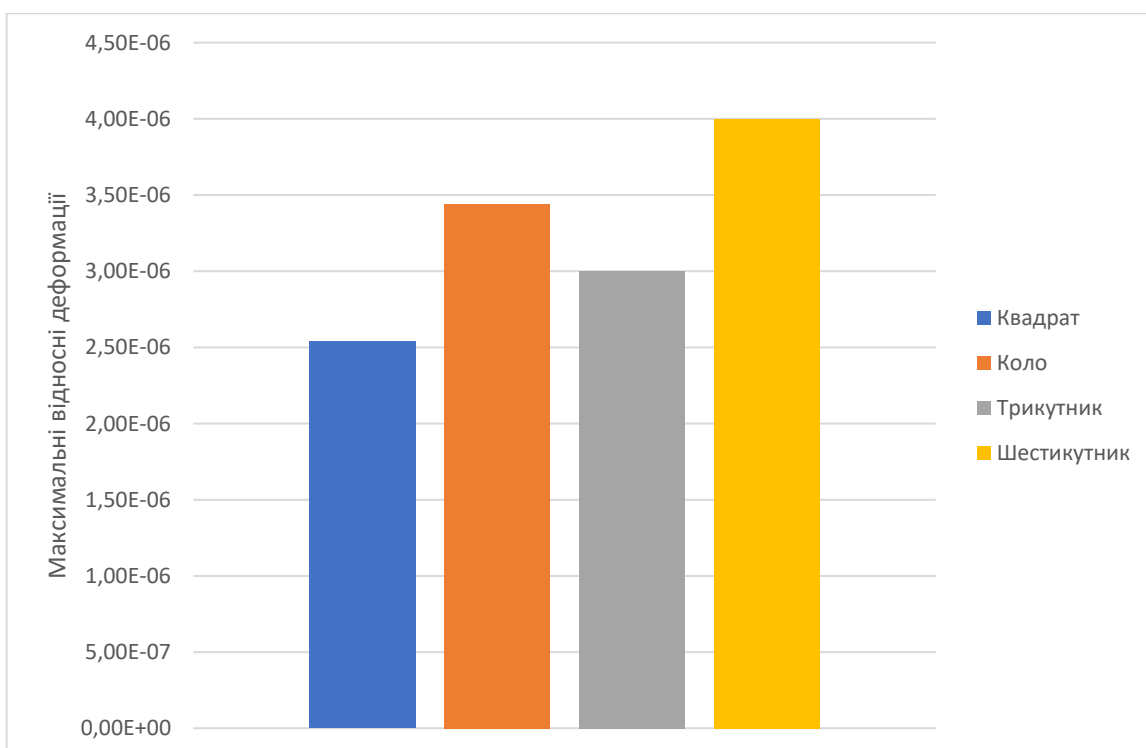


Рисунок 4.19 – Гістограма максимальних відносних деформацій на поверхні сита, що знаходиться на стінці з різним профілем перфорації

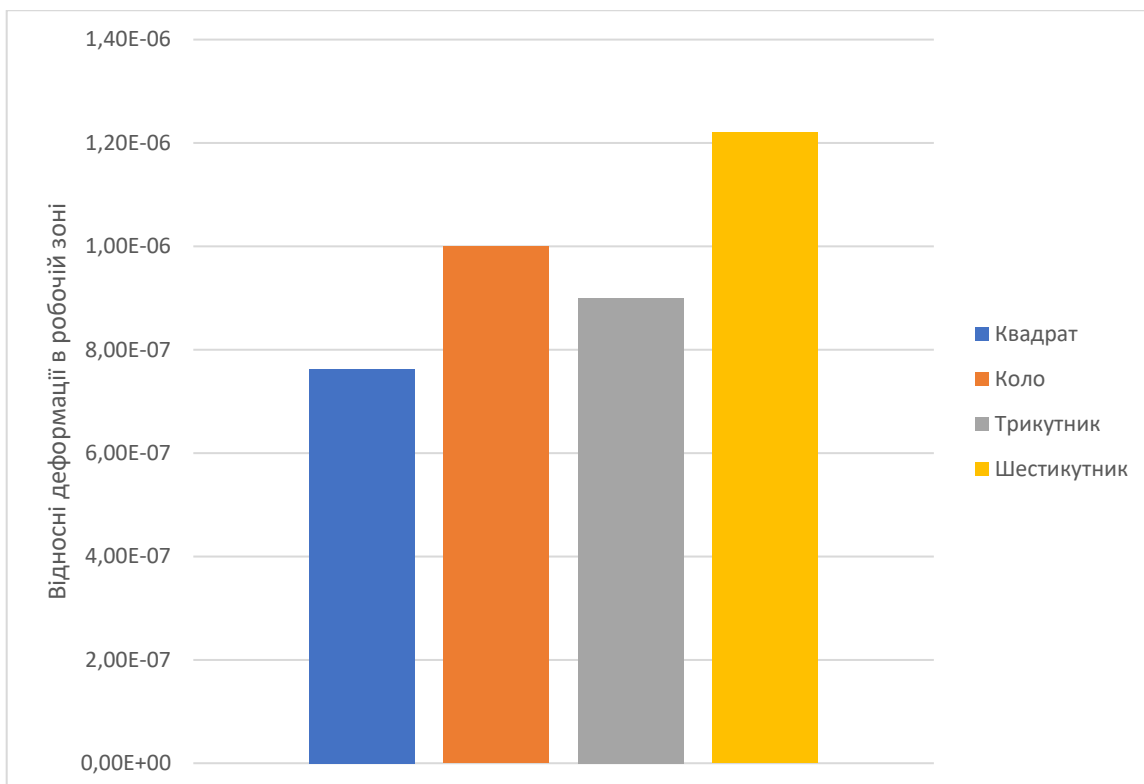


Рисунок 4.20 – Гістограма відносних деформацій у робочій зоні на поверхні сита, що знаходиться на стінці з різним профілем перфорації

Отже, як зазначалося вище, в більшості результатів найкращі значення знаходяться у стінки барабану перфорованої квадратним профілем, також наближені значення у перфорації трикутним профілем.

4.3 Висновок розділу

Проведено ряд досліджень напружено-деформованого стану для стінки барабану барабанно-струменевого сита з різним профілем перфорації.

Виконано порівняння параметрів напружено-деформованого стану (напружень, деформацій та відносних деформацій), для сита з різним профілем отворів – квадрат, коло, трикутник, шестикутник. Встановлено, що найкращі параметри напружено деформованого стану у ротора з стандартною перфорацією квадратним профілем в робочій області моделі: напруження досягають 210 кПА; деформації – 6×10^{-5} мм; відносні деформації – $7,63 \times 10^{-7}$.

Створено гістограми для порівняння отриманих значень максимальних значень та значень в робочій області: напружень, деформацій та відносних деформацій.

З точки зору напружено-деформованого стану найкращі результати квадратний профіль отворів перфорації, хоча наприклад ротор з отворами круглого профілю дешевший у виробництві.

5 РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ

5.1 Визначення раціональних параметрів отворів перфорації

Як встановлено у попередньому розділі найкращим з розглянутих профілів перфорації є квадрат, тож розглянемо детальніше можливості покращення саме його. Розглянемо 6 варіантів типорозмірів перфорації невеликої області стінки з волокном сита. Варіації варіантів з розмірами елементів вказано в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Розміри локальної області стінки з ситом та її перфорації

Варіант №	Розмір квадрату, мм	Відстань між квадратами, мм
1	0,5×0,5	0,5
2	1×1	1
3	1,5×1,5	1
4	1,5×1,5	1,5
5	2×2	1
6	2×2	1,5

Загальний вигляд моделі зображено на рис.5.1, для кращого розуміння геометрії деталі сита змінено прозорість. Матеріали деталей аналогічні попереднім розрахункам.

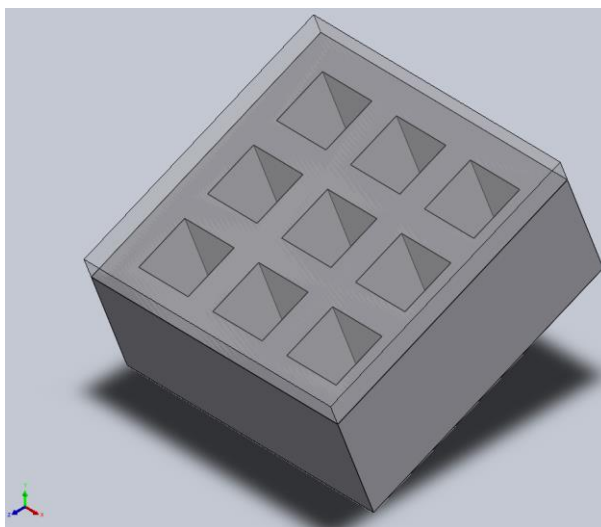
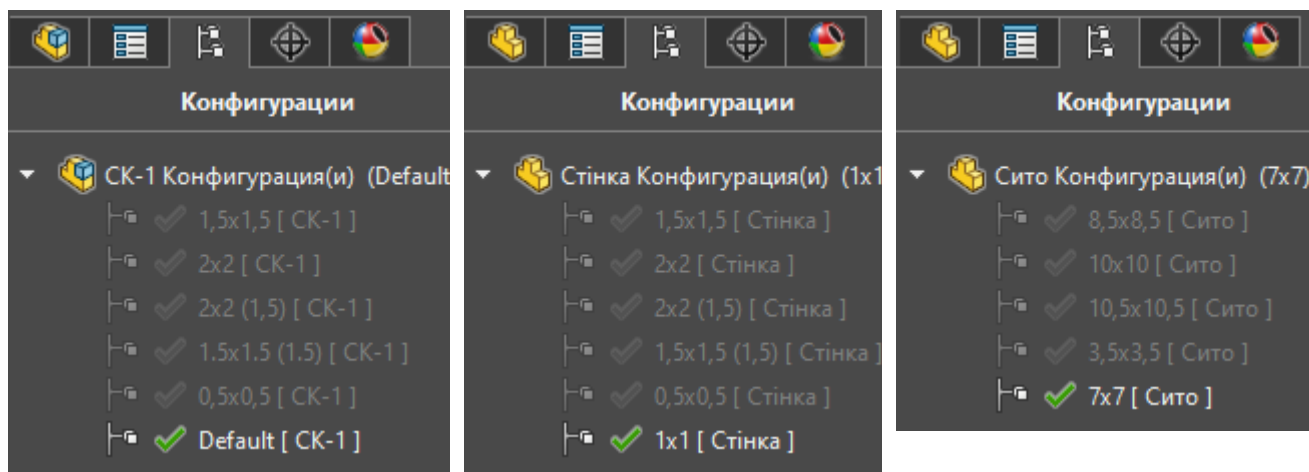


Рисунок 5.1 – Збірка деталі

Для дослідження використовуємо модель локальної області ротора сита з 9 отворами перфорації, для отримання більш детальної епюри розподілення напружень та епюри деформацій.

Для пришвидшення процесу моделювання та роботи в загалом створюємо різні варіації збірки, рис.5.2 а, та деталей, рис.5.2 б та в. Таким чином маємо лише два файли деталей та одну збірку і по 6 варіантів конфігурацій моделей та збірки.



а)

б)

в)

Рисунок 5.2 – Варіації: а – збірки; б- стінки барабану; в – полотна сита

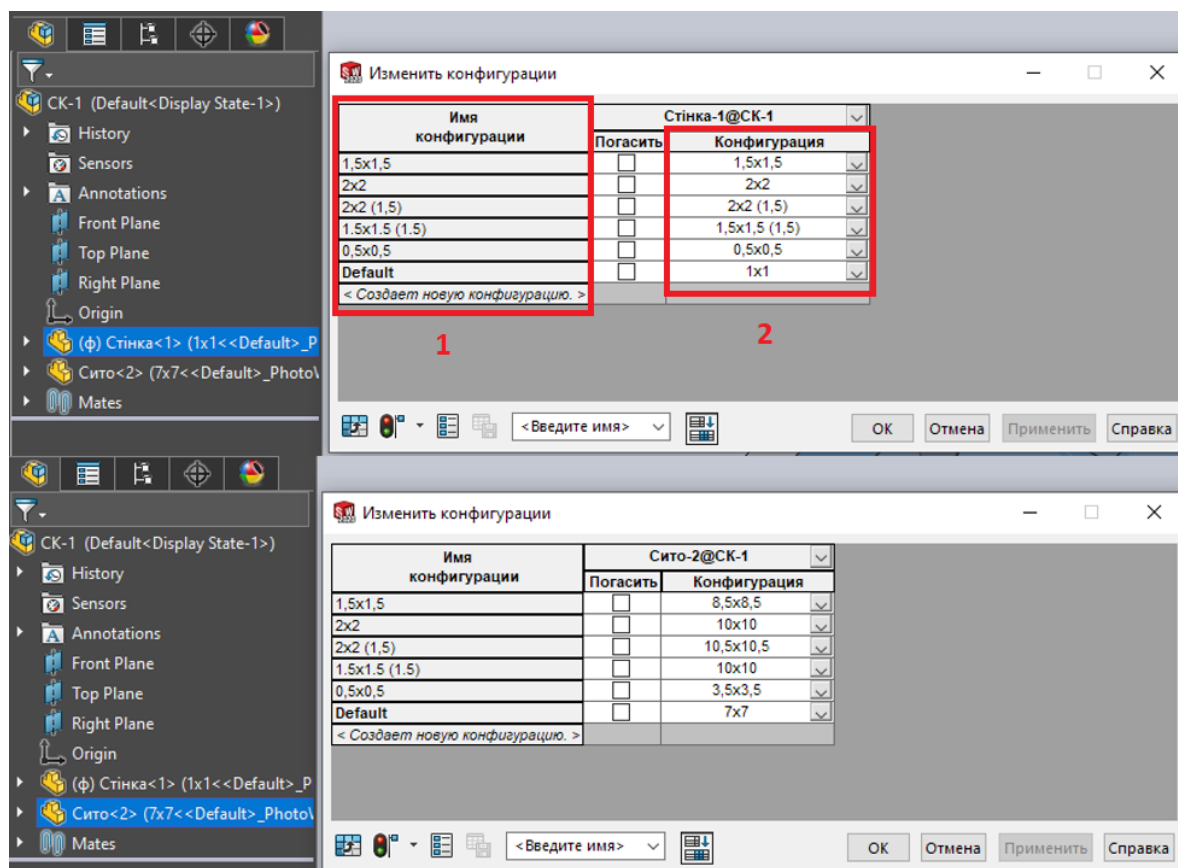


Рисунок 5.3 – Конфігурація деталей в збірці

Під час створення збірки створюємо дерево конфігурацій, рис.5.2 а. Потім для кожної деталі заповнюємо таблицю відповідності конфігурацій в середині збірки, рис.5.3. У відповідному вікні конфігурацій деталі є стовпчик з назвами конфігурацій в середині збірки, рис.5.3 позиція 1, та стовпчик з конфігураціями деталі, рис.5.3 позиція 2, де необхідно обрати конфігурацію котра відповідає такій у збірці. Така процедура виконується для кожної деталі, котра змінюється у конфігураціях збірки.

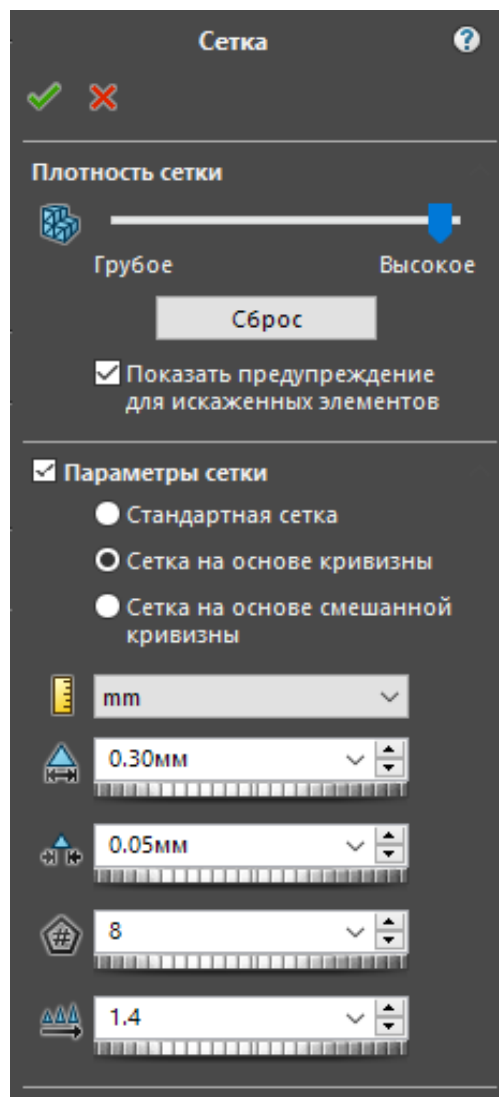


Рисунок 5.4 – Параметры кінцево-елементної сітки

Для цього дослідження обираємо аналогічні параметри сітки як і в розділі 3.3 за виключенням розмірів елементів сітки. Найбільший розмір складатиме 0,3 мм, а найменший, на місцях зламу геометрії, 0,05 мм.

Готова сітка для цього розрахунку зображена на рис.5.5.

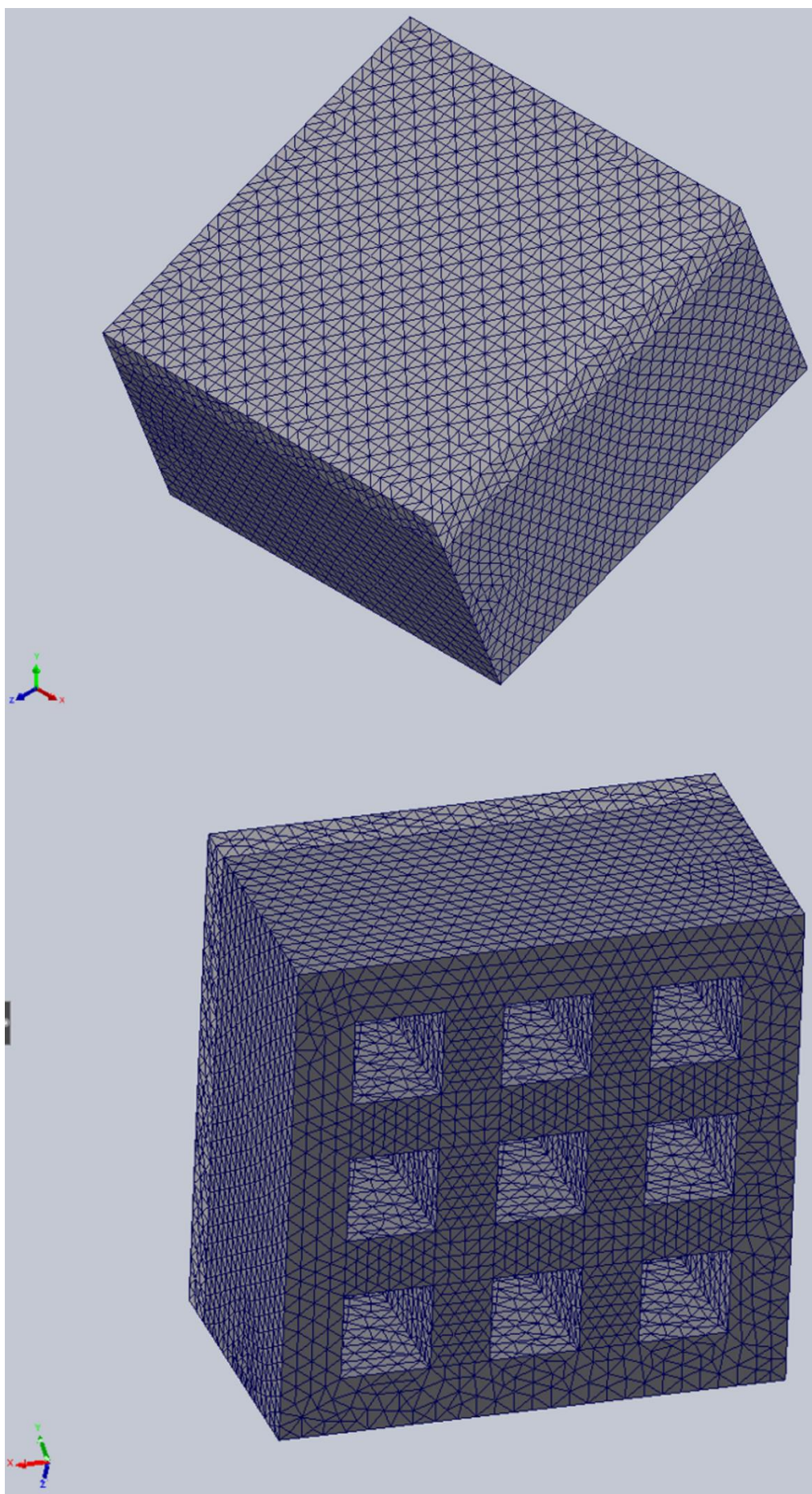
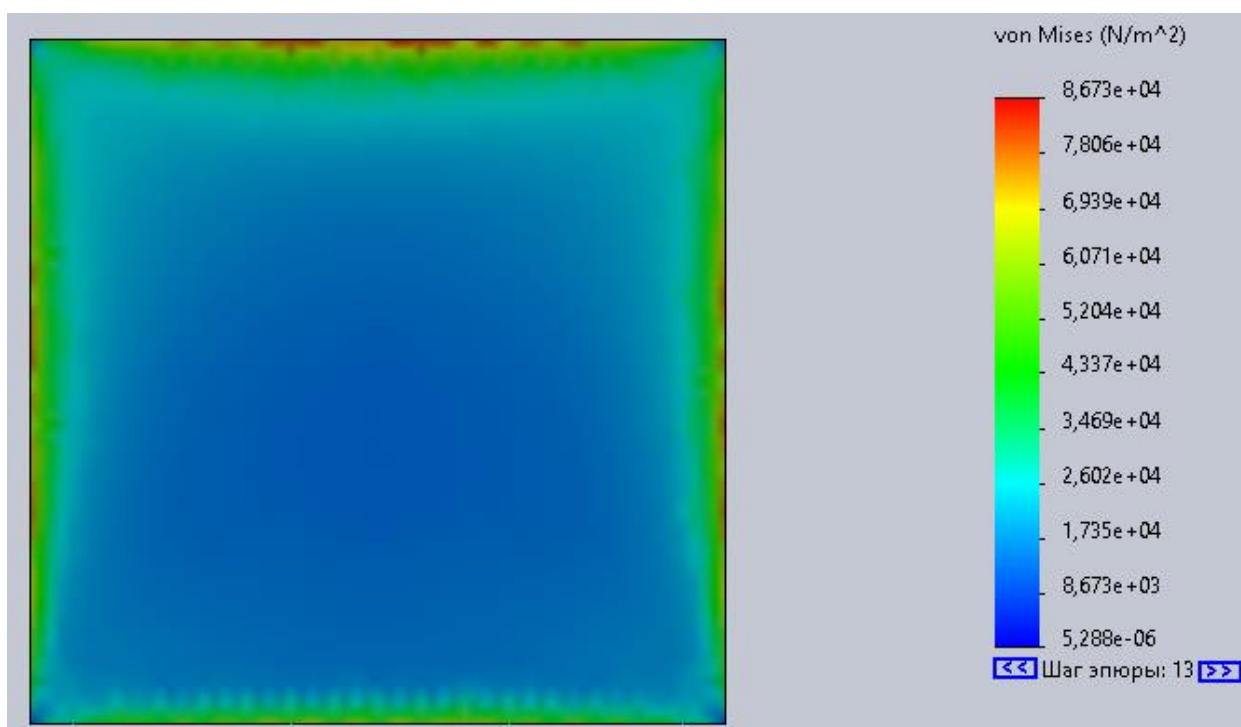
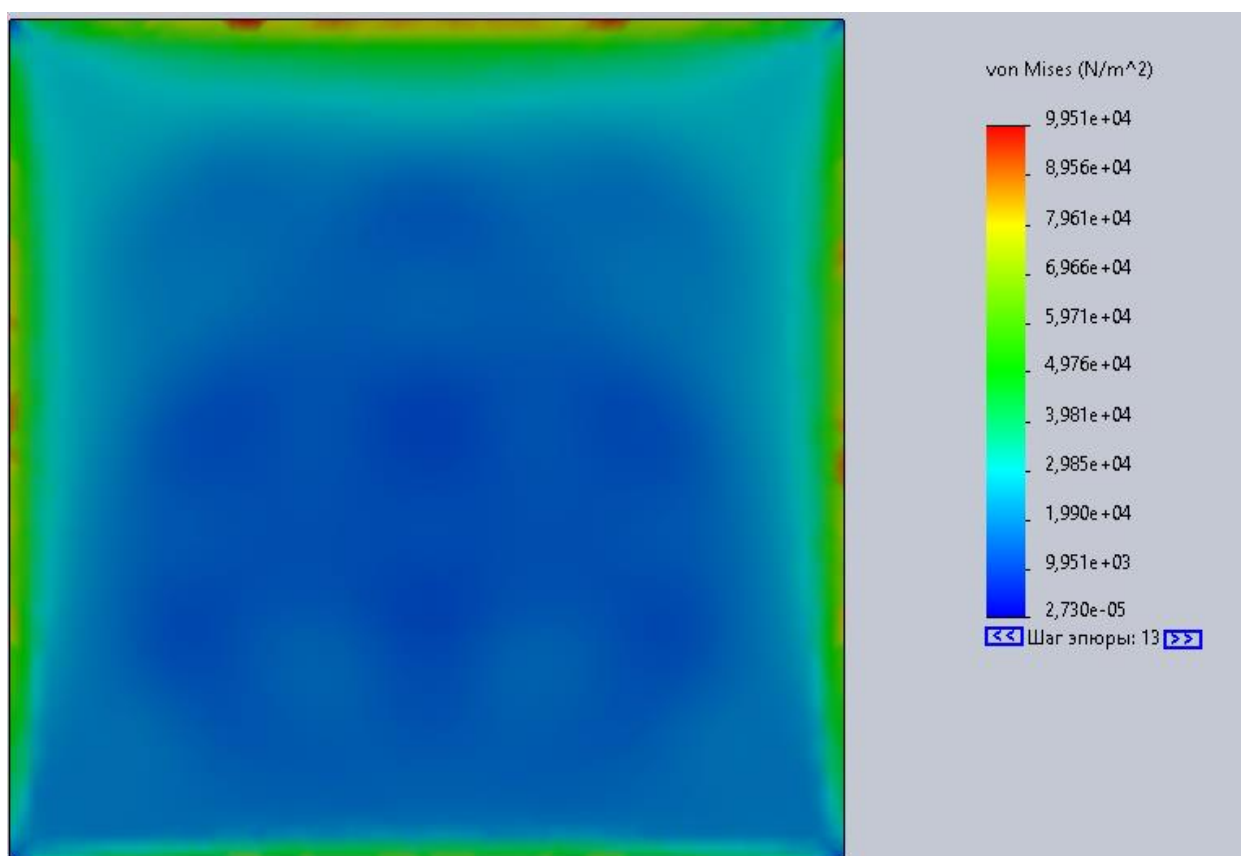


Рисунок 5.5 – Готова сітка моделі

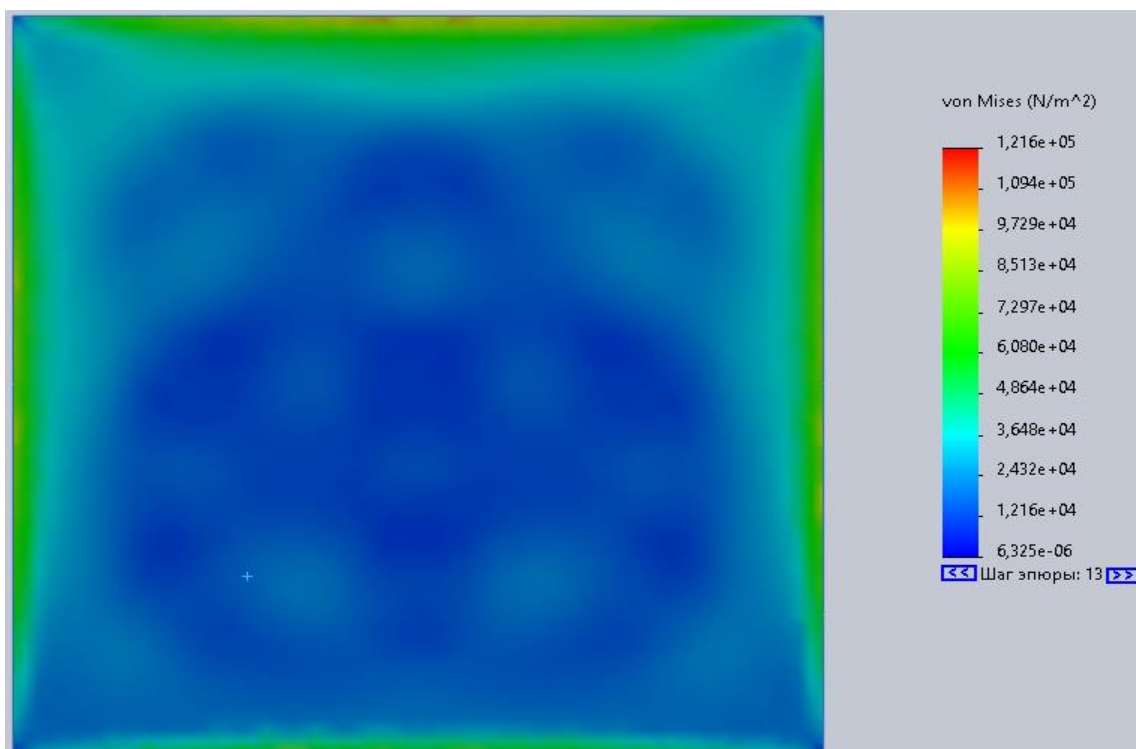


а)

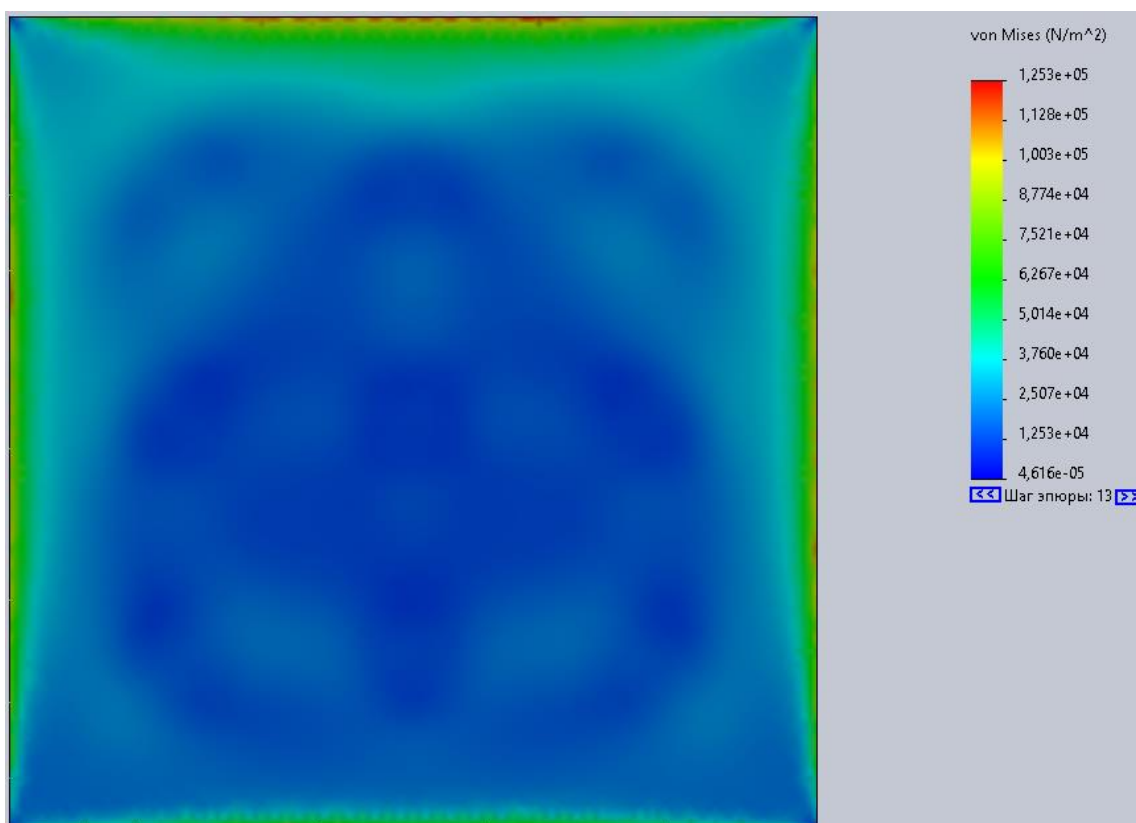


б)

Рисунок 5.6 – Епюри розподілення напружень за Мезісом у ситі розташованому на стінці барабану: а – розмір отворів 0,5 мм; б – розмір отворів 1 мм

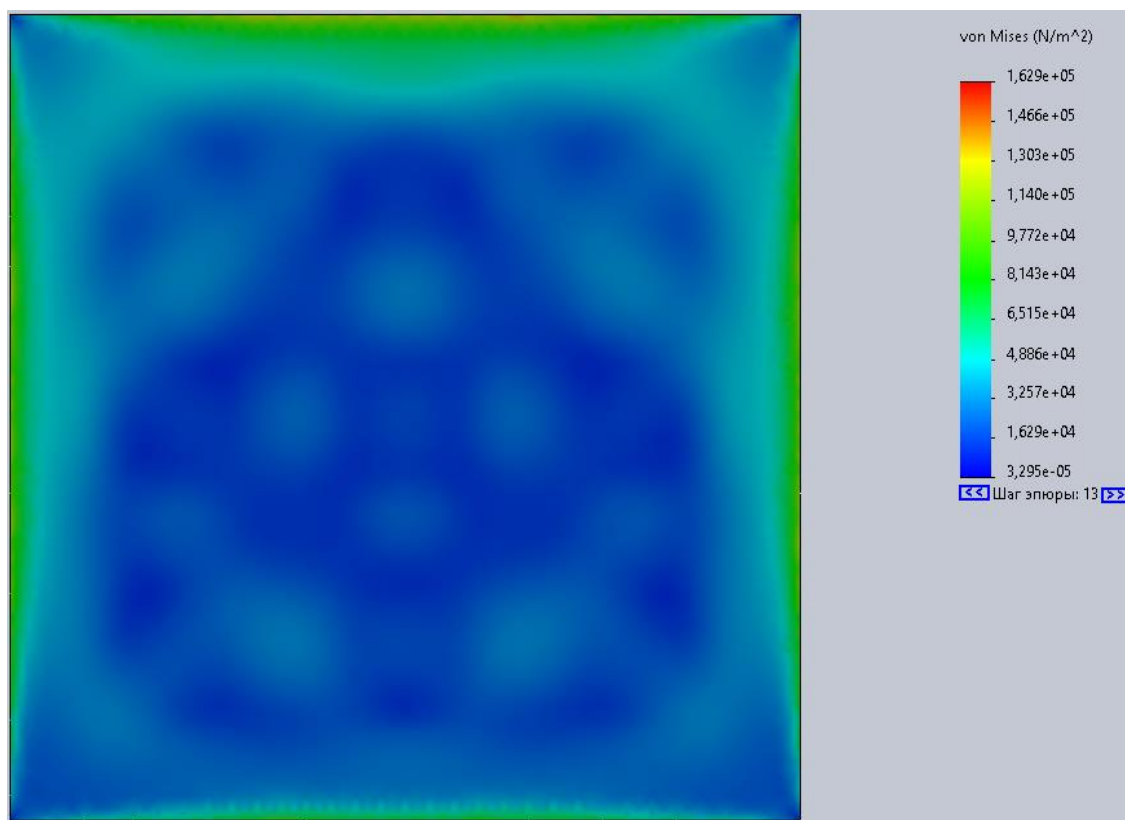


в)

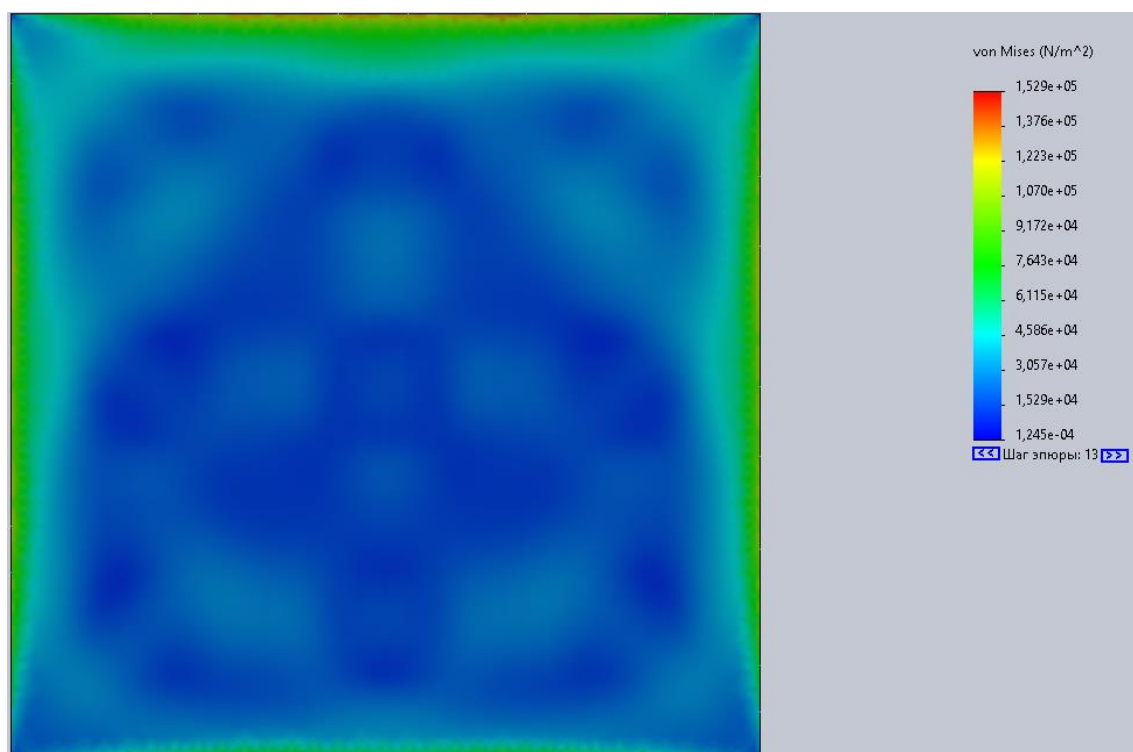


г)

Рисунок 5.6 – Епюри розподілення напружень за Мезісом у ситі розташованому на стінці барабану: б – розмір отворів 1,5 мм; в – розмір отворів 1,5 мм з інтервалом 1,5 мм

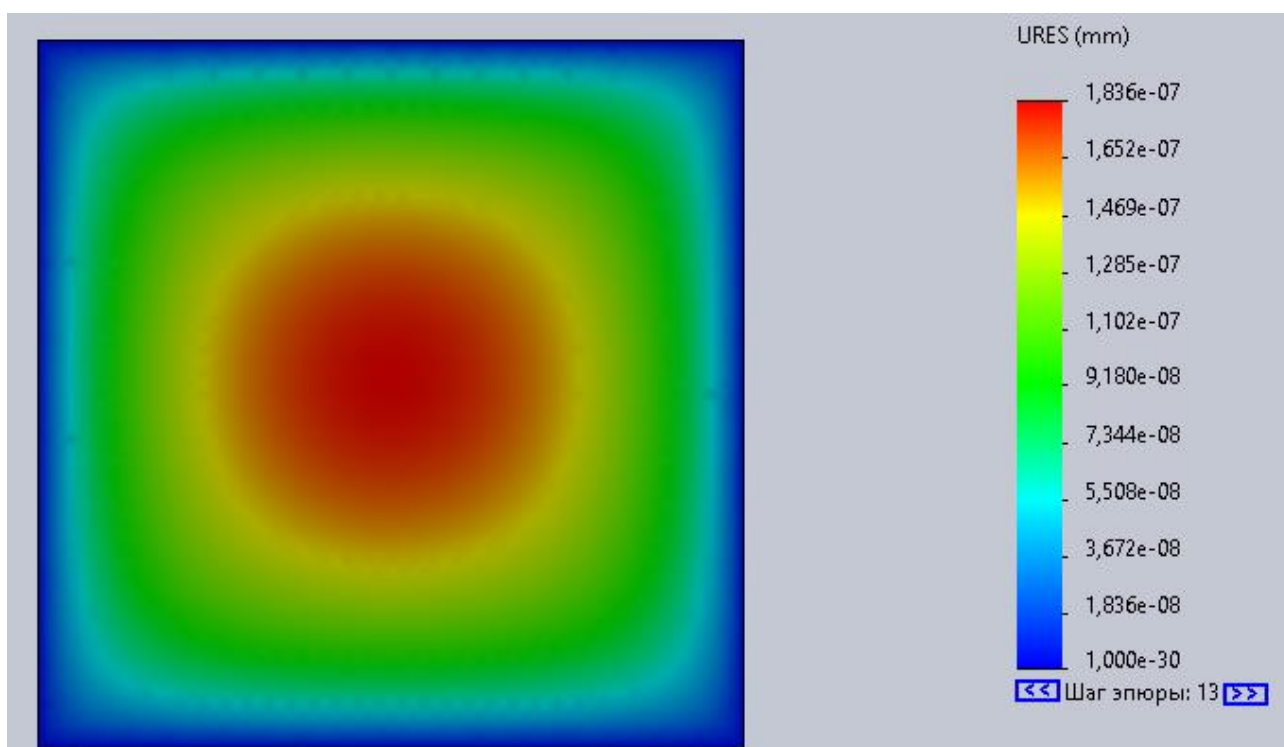


д)

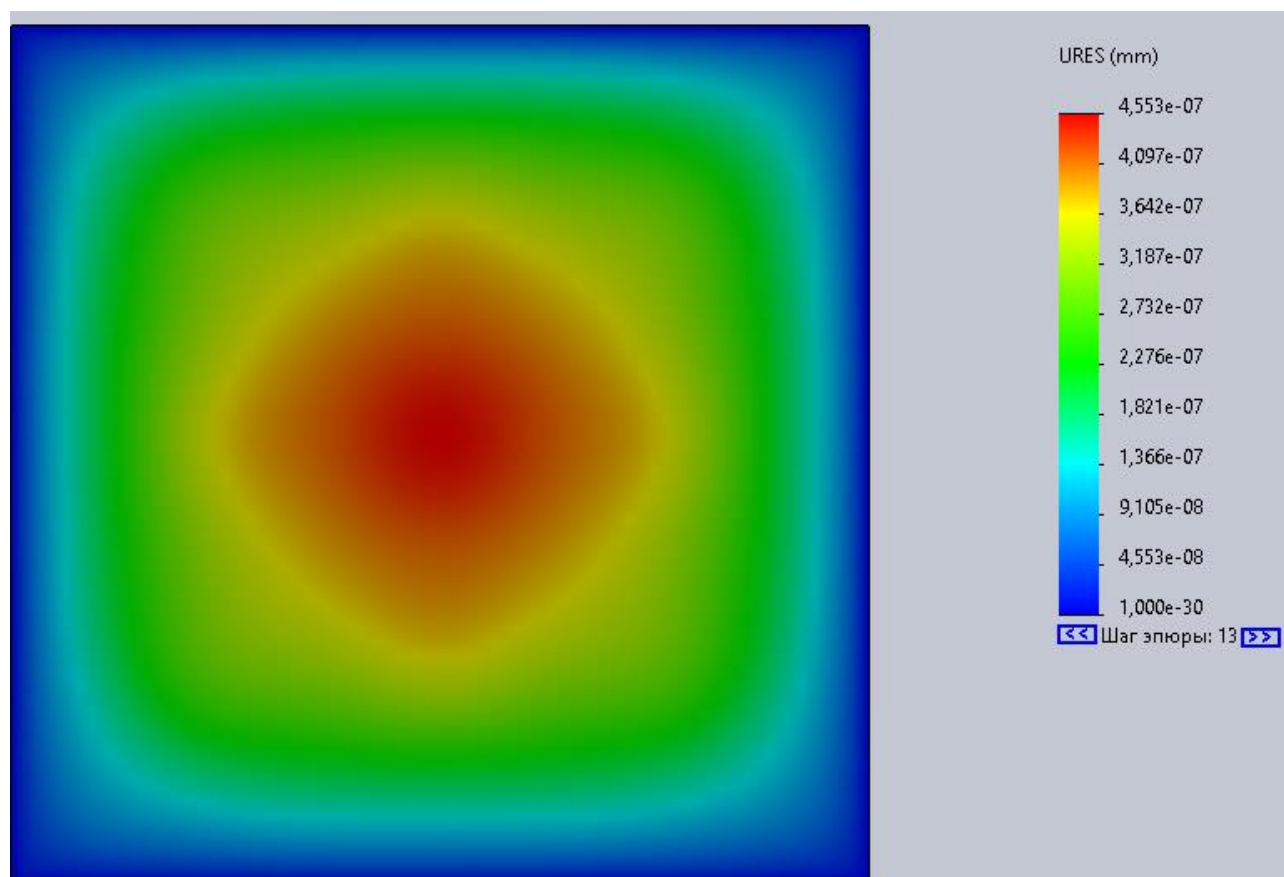


е)

Рисунок 5.6 – Епюри розподілення напружень за Мезісом у ситі розташованому на стінці барабану: д – розмір отворів 2 мм; е – розмір отворів 2 мм з інтервалом 1,5 мм

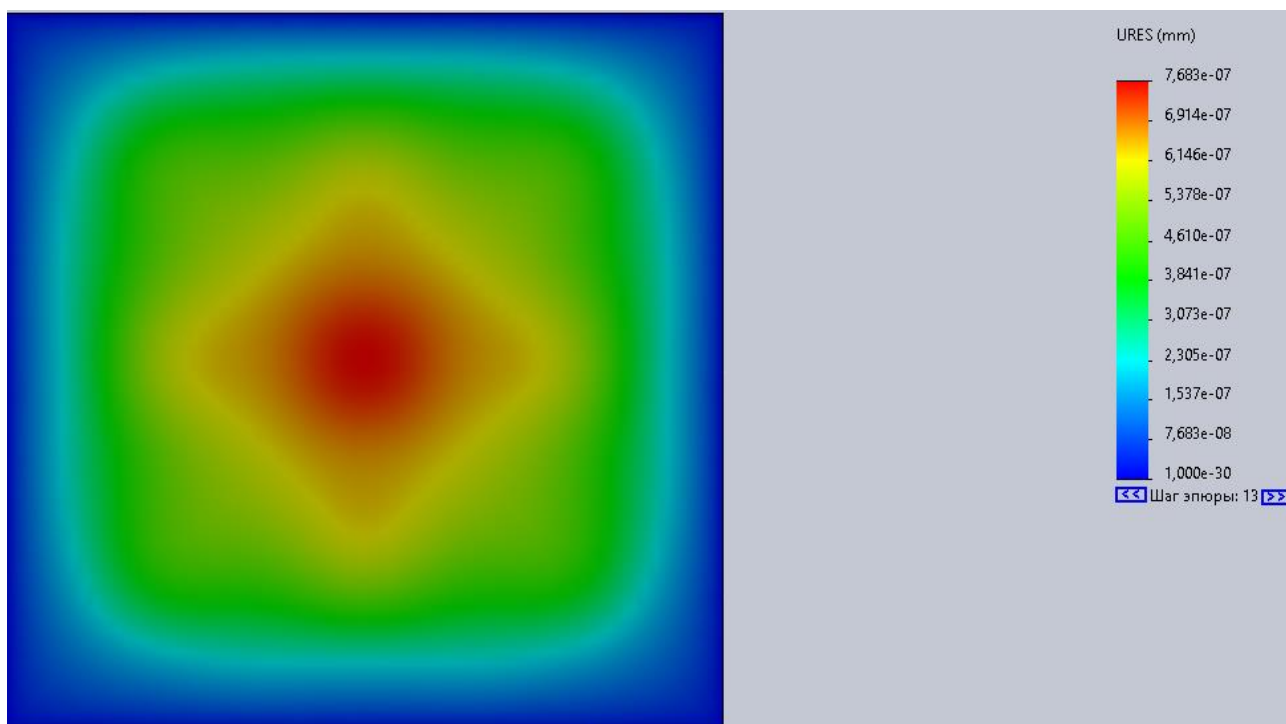


а)

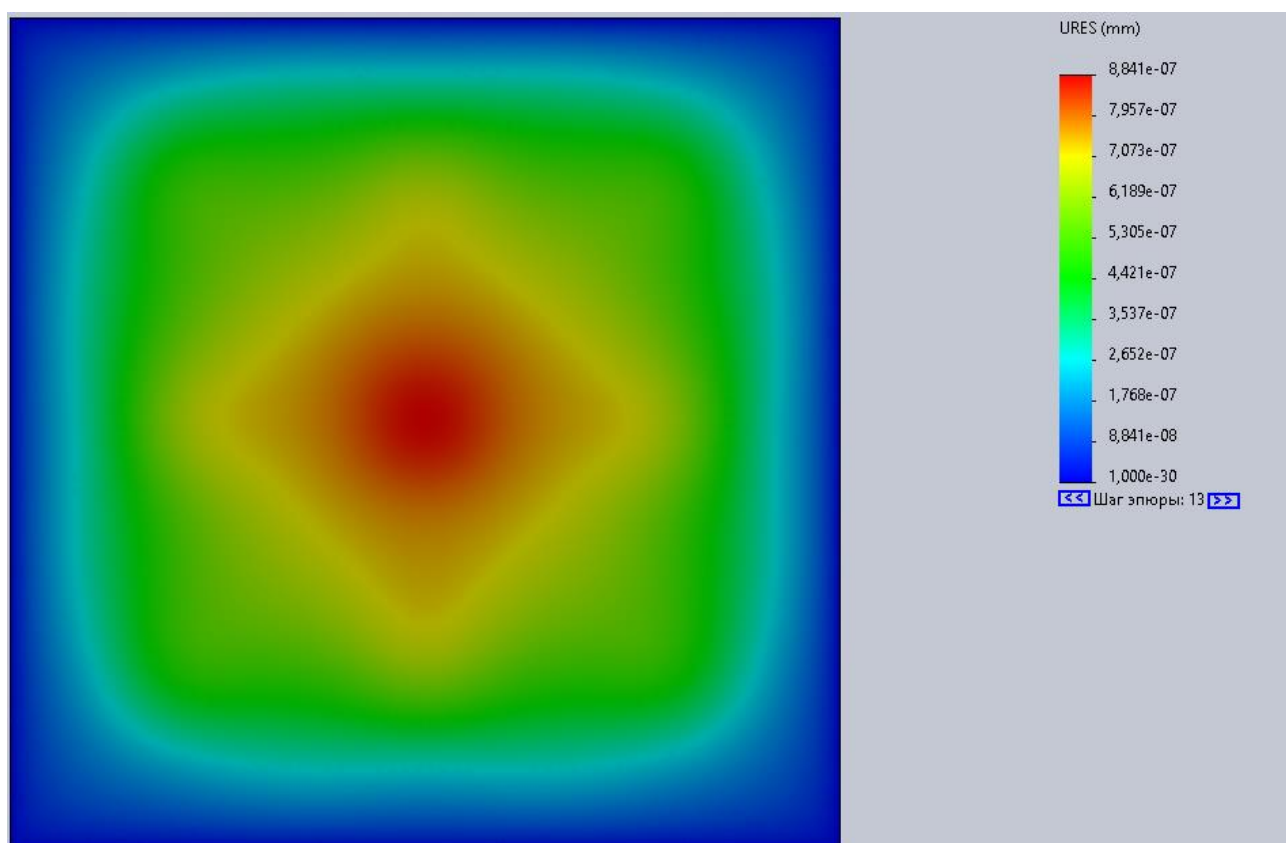


б)

Рисунок 5.7 – Епюра деформацій у ситі розташованому на стінці барабану: а – розмір отворів 0,5 мм; б – розмір отворів 1 мм

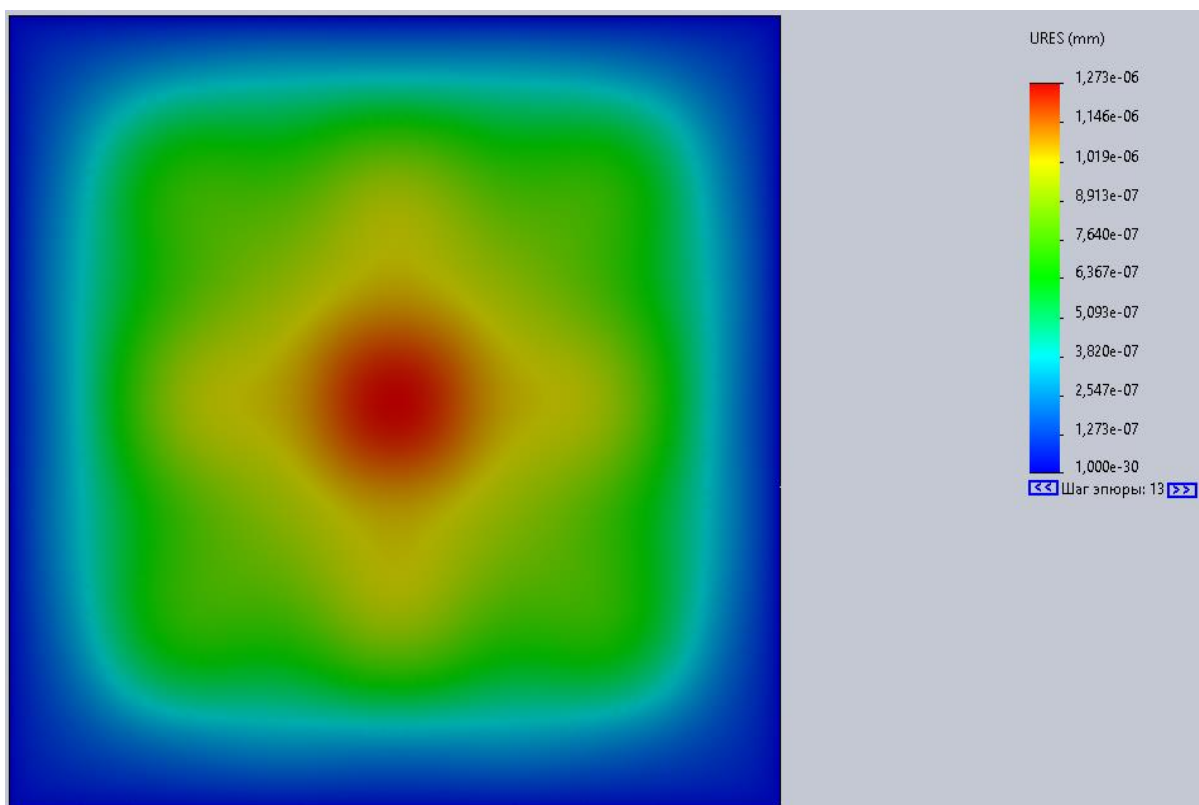


в)

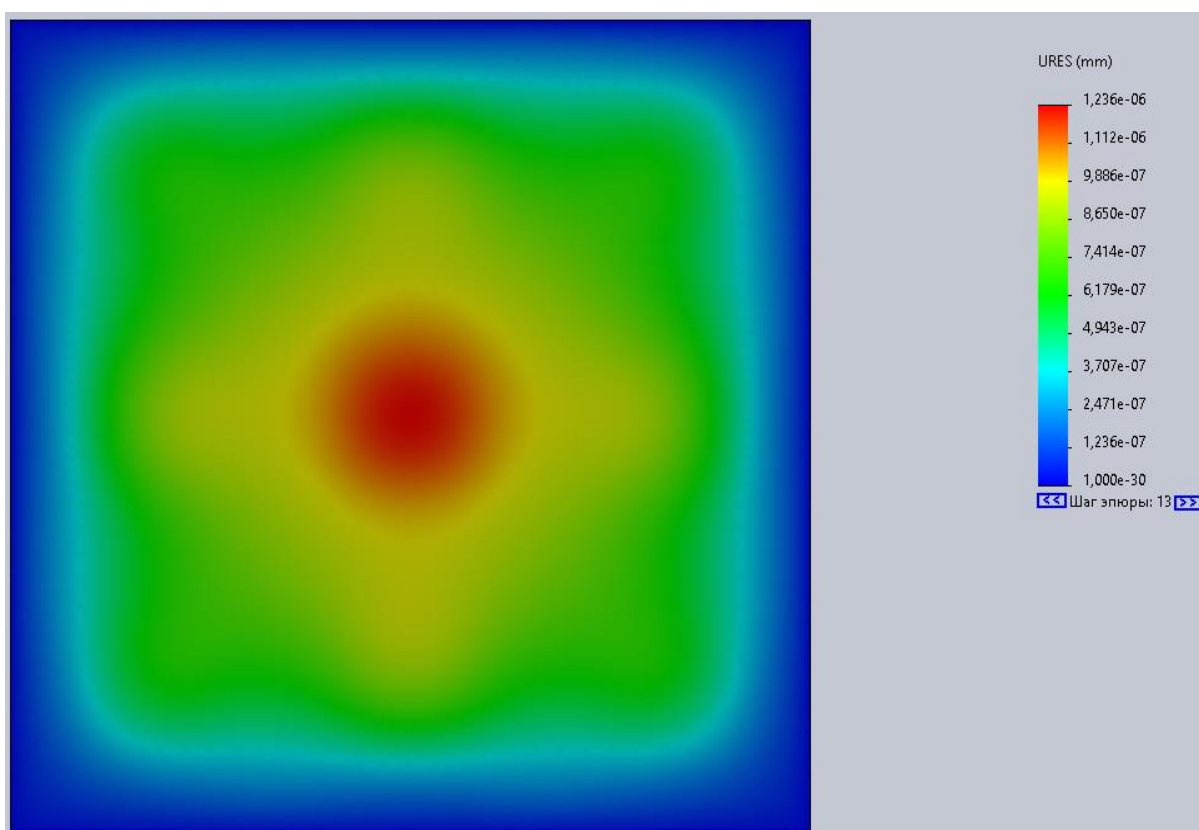


г)

Рисунок 5.7 – Епюра деформацій у сіті розташованому на стінці барабану: б – розмір отворів 1,5 мм; в – розмір отворів 1,5 мм з інтервалом 1,5 мм

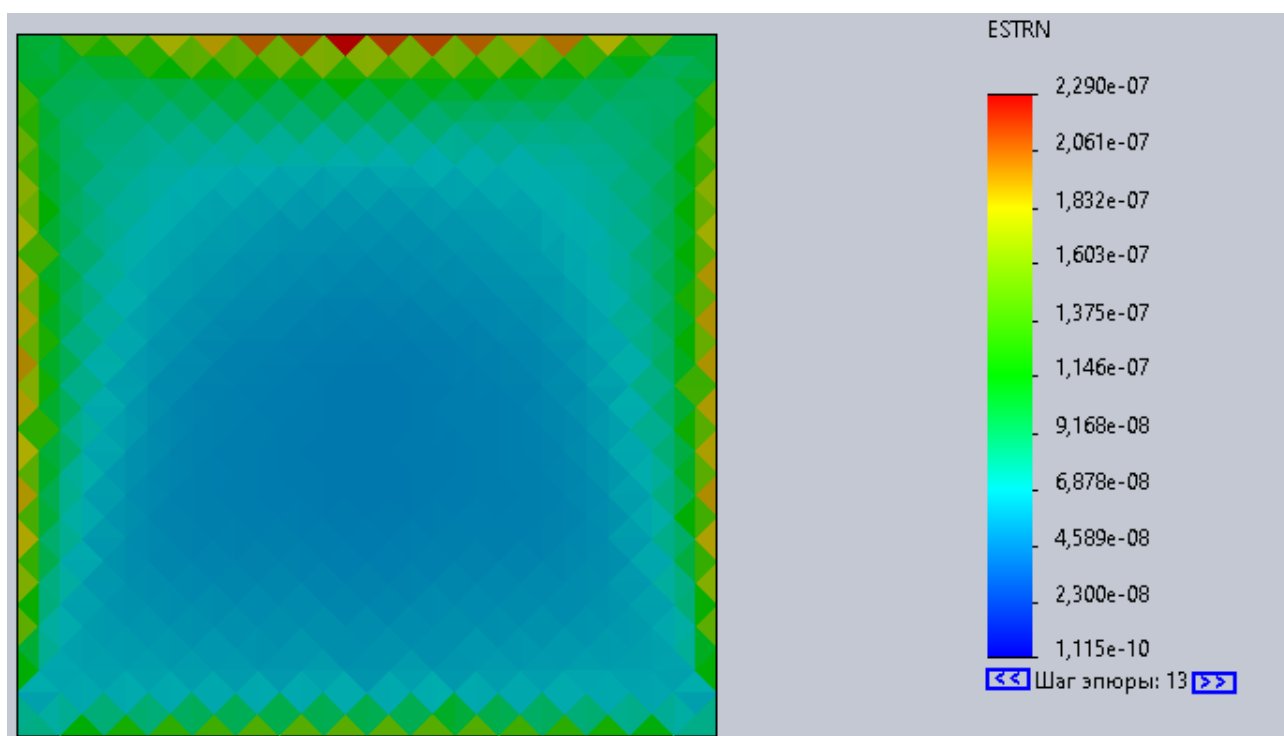


д)

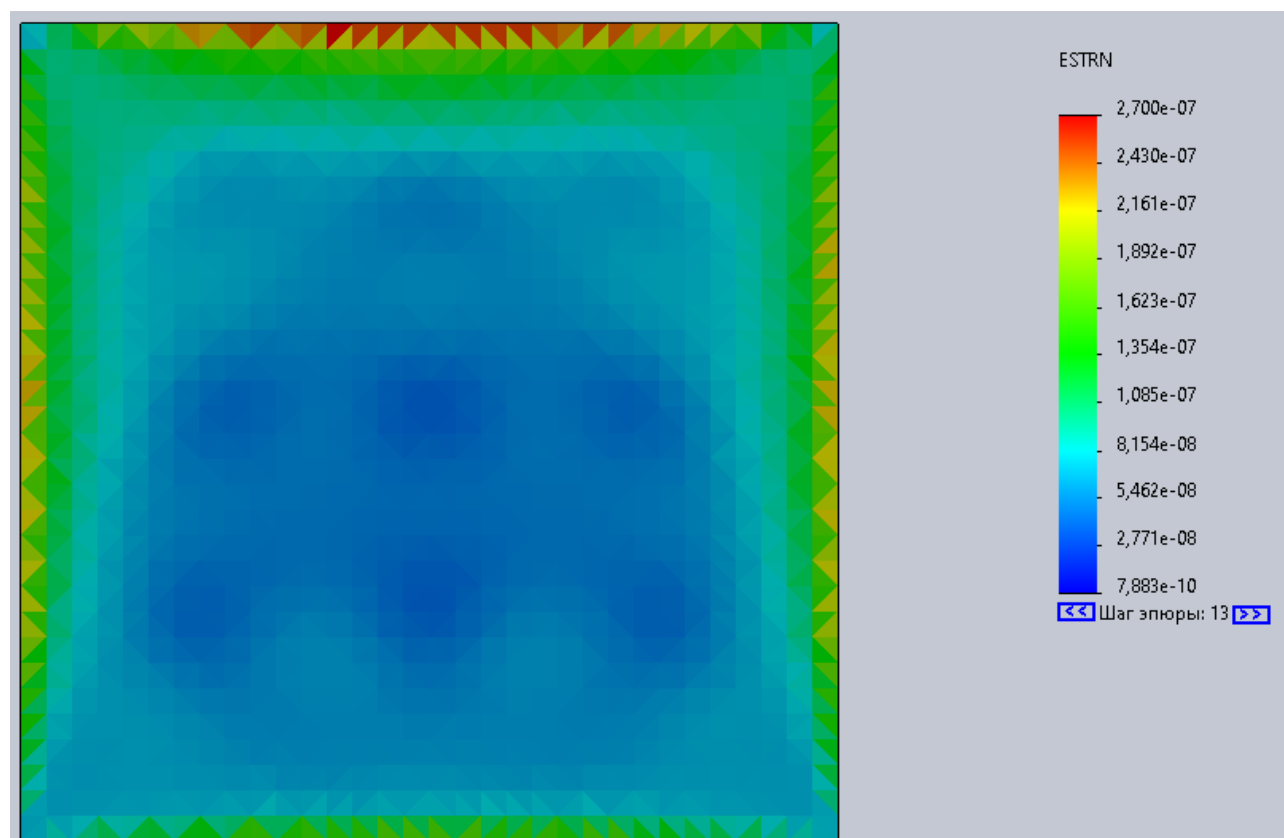


е)

Рисунок 5.7 – Епюра деформацій у сітці розташованому на стінці барабану: д – розмір отворів 2 мм; е – розмір отворів 2 мм з інтервалом 1,5 мм

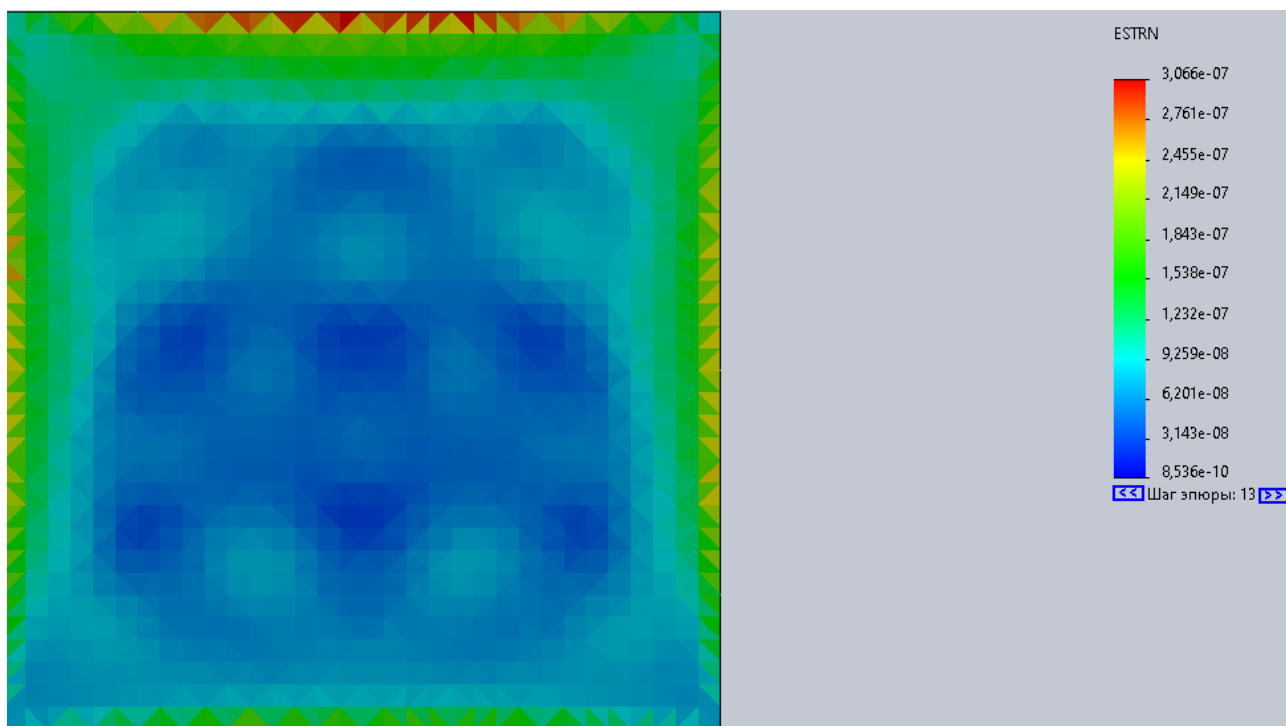


а)

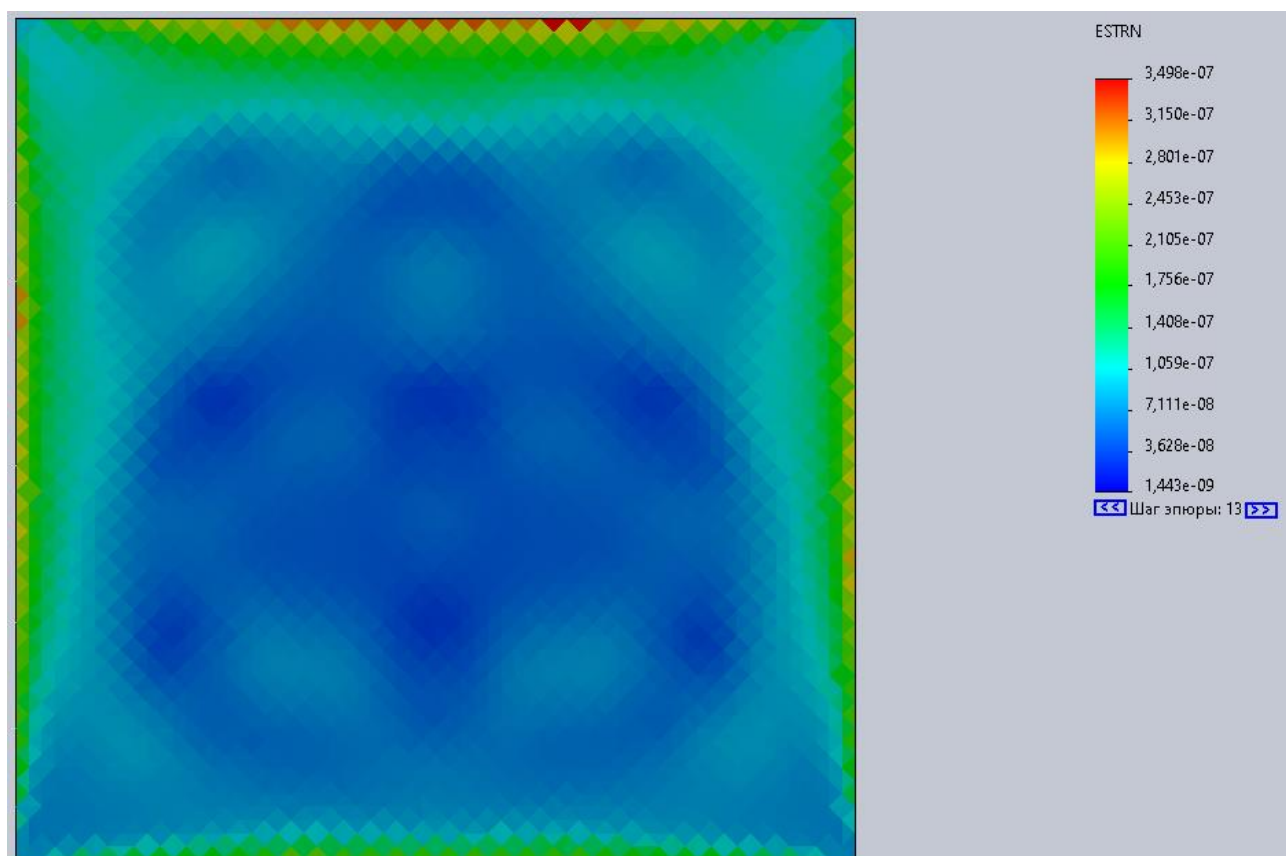


б)

Рисунок 5.8 – Епюра відносної деформації у ситі розташованому на стінці барабану: а – розмір отворів 0,5 мм; б – розмір отворів 1 мм

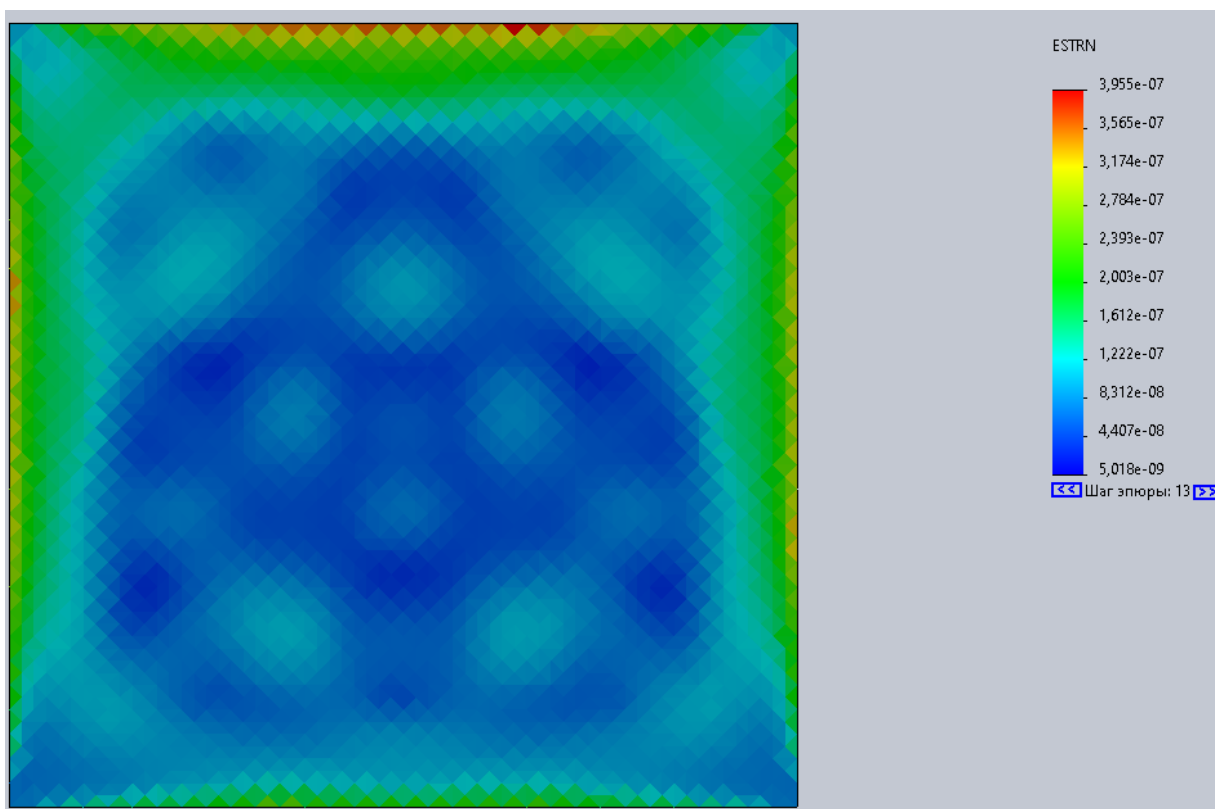


в)

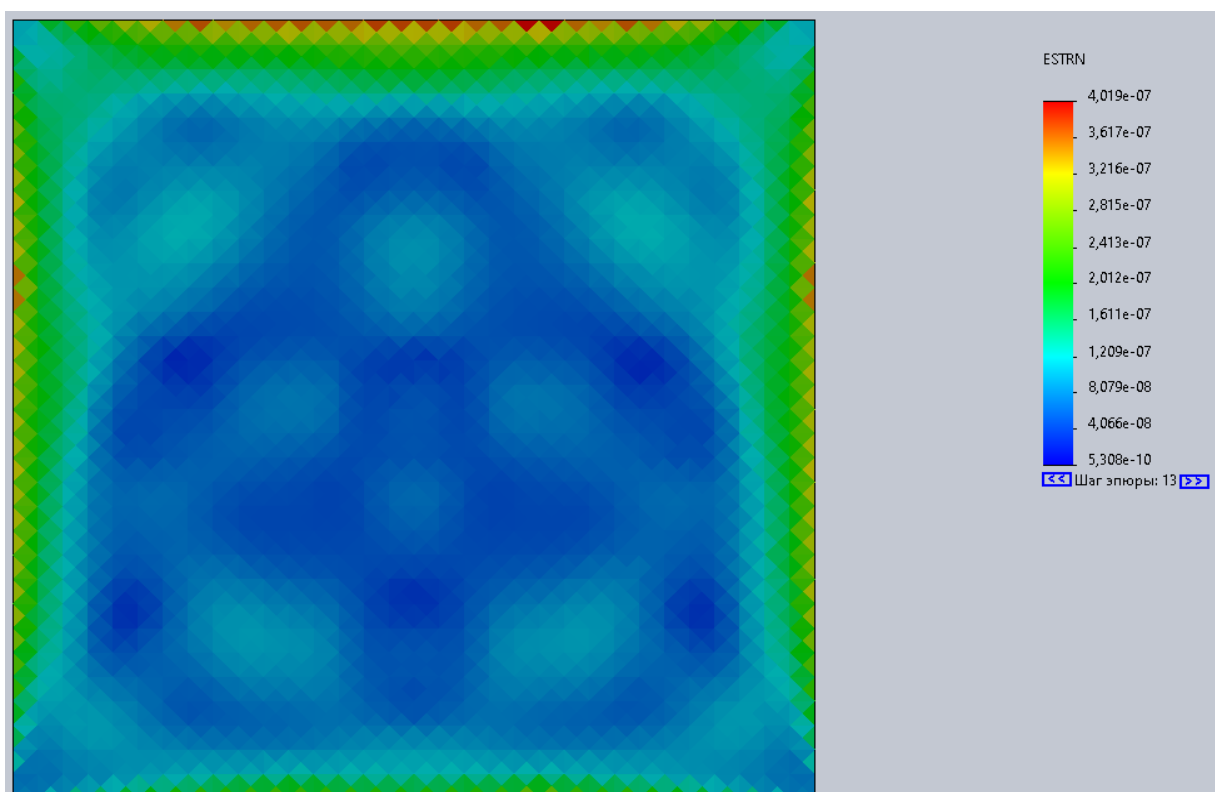


г)

Рисунок 5.8 – Епюра відносної деформації у ситі розташованому на стінці барабану: б – розмір отворів 1,5 мм; в – розмір отворів 1,5 мм з інтервалом 1,5 мм



д)



е)

Рисунок 5.8 – Епюра відносної деформації у ситі розташованому на стінці барабану: д – розмір отворів 2 мм; е – розмір отворів 2 мм з інтервалом 1,5 мм

Отже проведемо дослідження напружено-деформованого стану ще меншої області стінки барабану разом з полотном сита. Результатом такого дослідження є епюри розподілення напружень, деформацій та відносних деформацій на цій поверхні сита, рис.5.6-5.8.

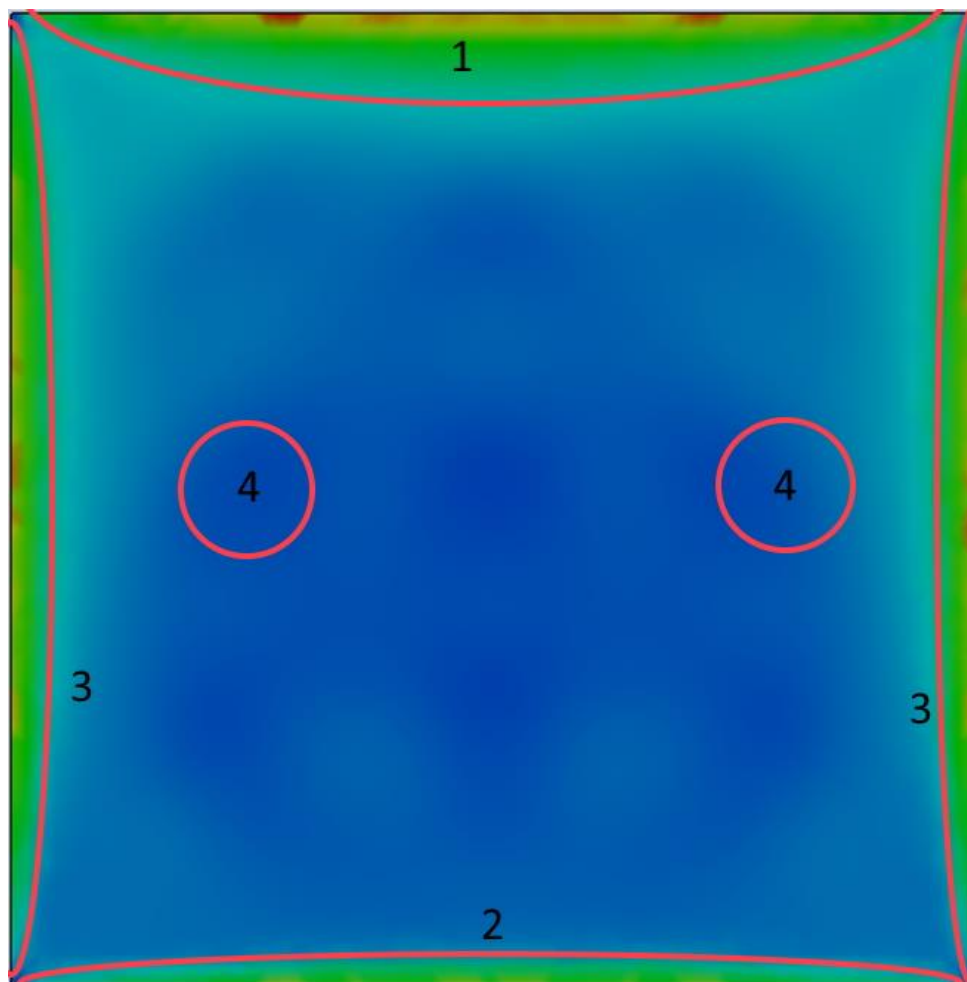


Рисунок 5.9 – Зони розподілення деформацій у ситі розташованому на стінці барабану

Для більш меншої області та детальнішої сітки маємо результат розподілення напружень на поверхні сита котрий відрізняється від подібно у розділі 3.4 та 4.2. Це характеризується тим що в моделі змінюються зони максимальних напружень, що характерно для даної моделі в розрахунку адже ми дещо спростили його умови. У зоні 1 рис.5.9 розташовується найбільша зона максимальних напружень у моделі. Вона не є симетричною до зони 2 рис.5.9, як це було в минулих результатах досліджень. Поява такої зони спричиненою впливом куту нахилу кінцевого

барабану. Так як значення тиску середовища всередині обладнання однакове а розмір перетину конічного барабану різний на всій його дожині маємо, що на менший діаметр перетину буде впливати більше питоме значення тиску. Тож поява такої зони повністю відображує напружено-деформований стан барабану під час його навантаження, але треба зазначити що в цій зоні одночасно поєднуються концентратори напружень спричинені геометрії саме цієї моделі та вище зазначеної форми ротору. Зони 3 рис.5.9 відображають симетрію моделі та спричинені виключно її геометрією. Зони 4 рис.5.9 розміщені на місцях перфорації. Виділено лише дві характерні з 9 існуючих.

Найкращим розподіленням напружень є модель з найменшим розміром елементів перфорації. Вона практично не має різких змін значень напружень робочій зоні. Зміни напружень є лише біля їх концентраторів.

Зони деформацій практично на всіх моделях займають більшу відносну площу поверхні та мають мінімальні значення у порівнянні з отриманими результатами у розділі 4.2.

Отримані результати досліджень для порівняння відобразимо на відповідних гістограмах. Значення максимальних напружень, максимальних деформацій та максимальних відносних деформацій цікаві лише з точки зору порівняння цих моделей між собою. З точки зору відповідності отриманих максимальних значень до реального обладнання вони не є дійсними через характерні допущення в процесі дослідження. Відповідні значення в робочій області відповідають аналогічним в реальному обладнанні.

Результати максимальних напружень зображені на рис.5.10 у вигляді гістограм. Найбільші значення напружень виникають у стінці перфорованій квадратним отвором з розміром 2×2 мм і досягає значення 162.9 кПа. Найкращі результати у стінки з найменшими розмірами перфорованого отвору 86.7 кПа.

Отримані значення зведемо в одну таблицю 5.2 для узагальнення результату.

Таблиця 5.2 – Результати дослідження напружено-деформованого стану

Значення	0,5x0,5 (0,5)	1x1	1,5x1,5	1,5x1,5 (1,5)	2x2	2x2 (1,5)
Максимальні напруження, кПа	86,73	99,51	121,6	125,3	162,9	152,9
Напруження в робочій зоні, кПа	26,02	39,81	48,64	50,14	48,86	45,86
Максимальні деформації, мм	1,8E-07	4,5E-07	7,6E-07	8,8E-07	1,2E-06	1,2E-06
Деформації в робочій зоні, мм	7,3E-08	2,2E-07	3,8E-07	3,5E-07	6,3E-07	6,1E-07
Максимальні відносні деформації	2,2E-07	2,7E-07	3E-07	3,5E-07	3,9E-07	4,0E-07
Відносні деформації в робочій зоні	6,8E-08	1,3E-07	1,2E-07	1,4E-07	1,1E-07	1,2E-07
Площа, мм ²	12,25	49	72,25	100	100	110,25
Площа без перфорації, мм ²	10	40	52	79,75	64	74,25
%	18	18	28	20,25	36	32,7

Отже з таблиці 5.2 можна зробити висновок, що порівнюючи отримані результати досліджень мають гірші результати ніж у базовій версії перфорації окрім результату зі зменшеними розмірами отворів перфорації. За всіма критеріями така конфігурація обладнання має найкращі значення.

Напруження у робочій області, рис.5.11, аналогічно мають найкращі значення у стінки з найменшими розмірами перфорованого отвору 26 кПа.

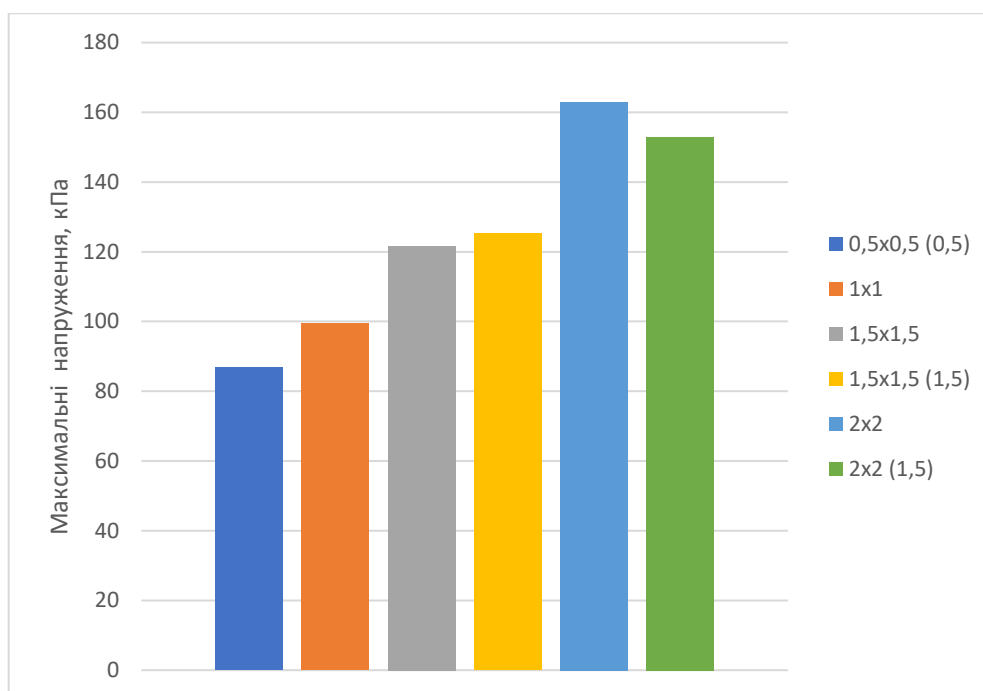


Рисунок 5.10 – Гістограма максимальних напружень на поверхні сита, що знаходиться на стінці барабану

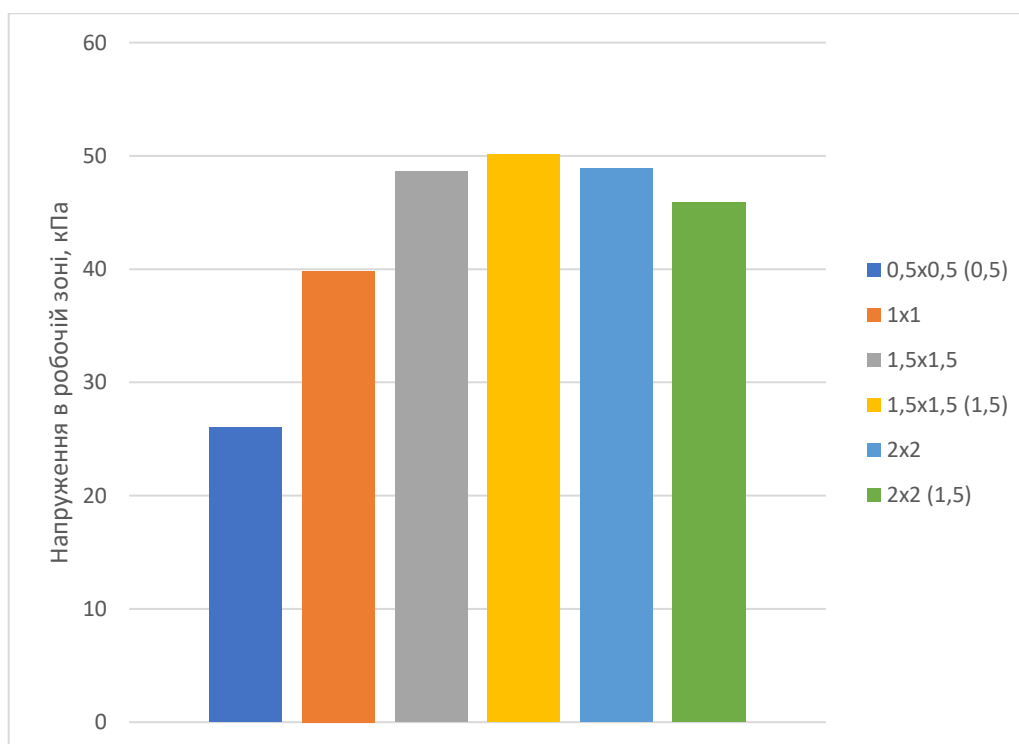


Рисунок 5.11 – Гістограма напружень у робочій зоні на поверхні сита, що знаходиться на стінці барабану

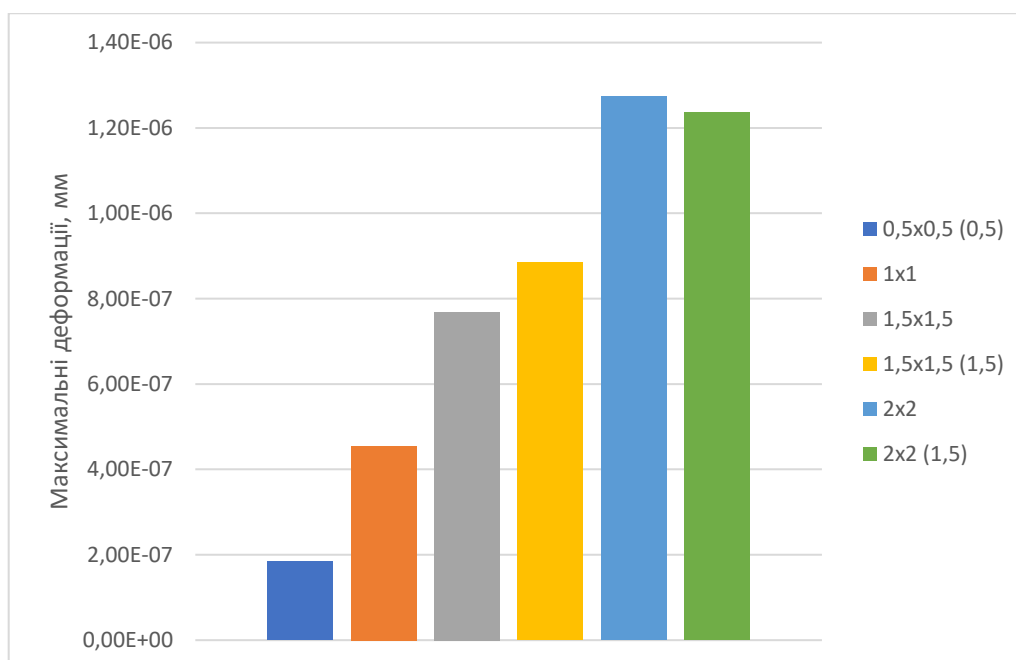


Рисунок 5.12 – Гістограма максимальних деформацій на поверхні сита, що знаходиться на стінці барабану

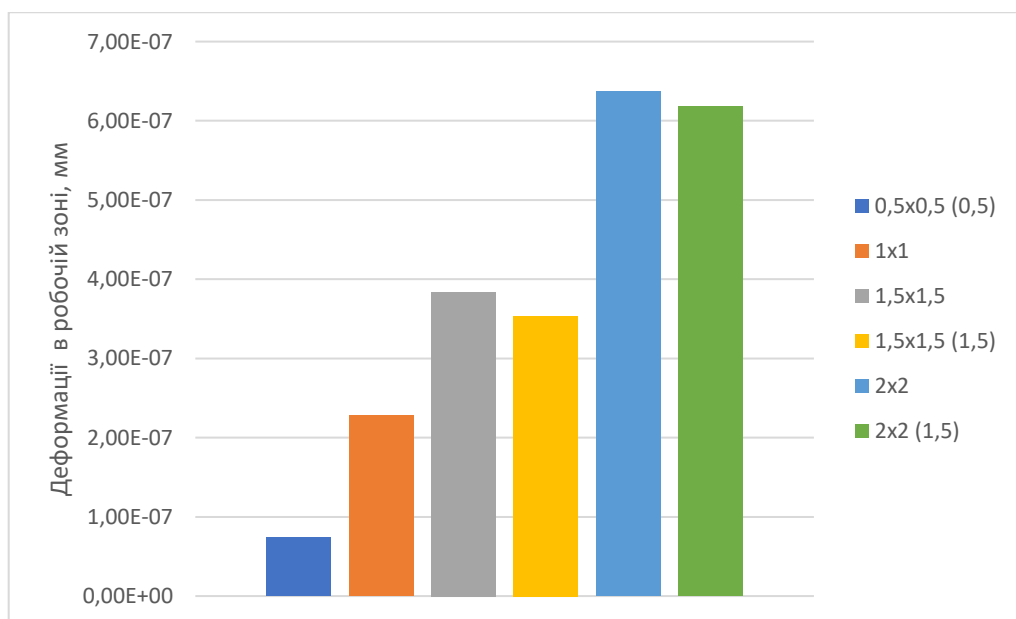


Рисунок 5.13 – Гістограма деформацій у робочій зоні на поверхні сита, що знаходиться на стінці барабану

Найкращі значення максимальних деформацій, рис.5.12, та деформацій у робочій області, рис.5.13, належать стінці з найменшими розмірами перфорованого отвору.

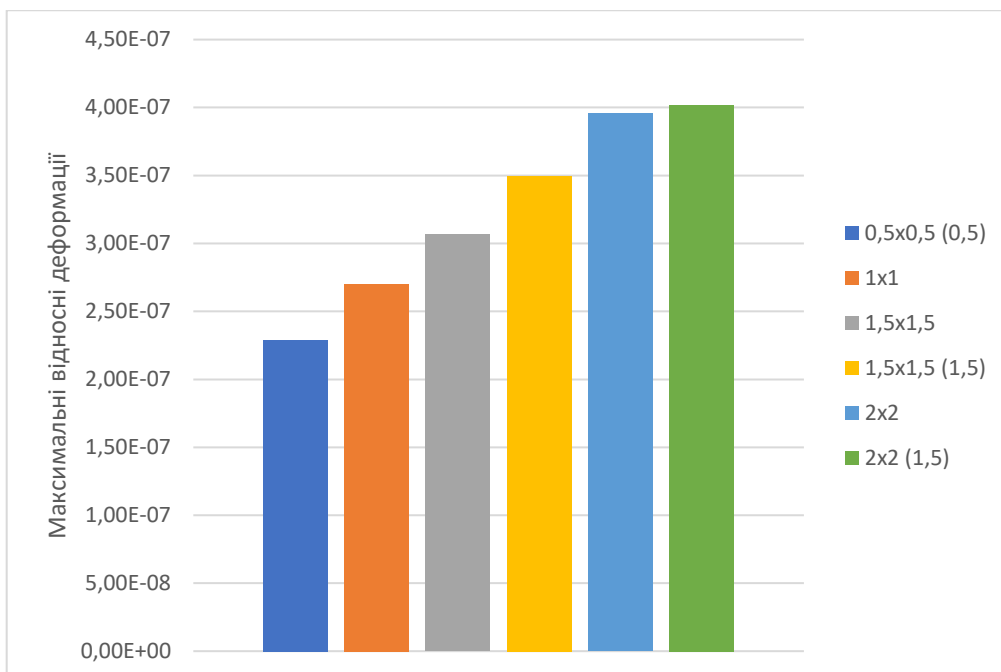


Рисунок 5.14 – Гістограма максимальних відносних деформацій на поверхні сита, що знаходиться на стінці барабану

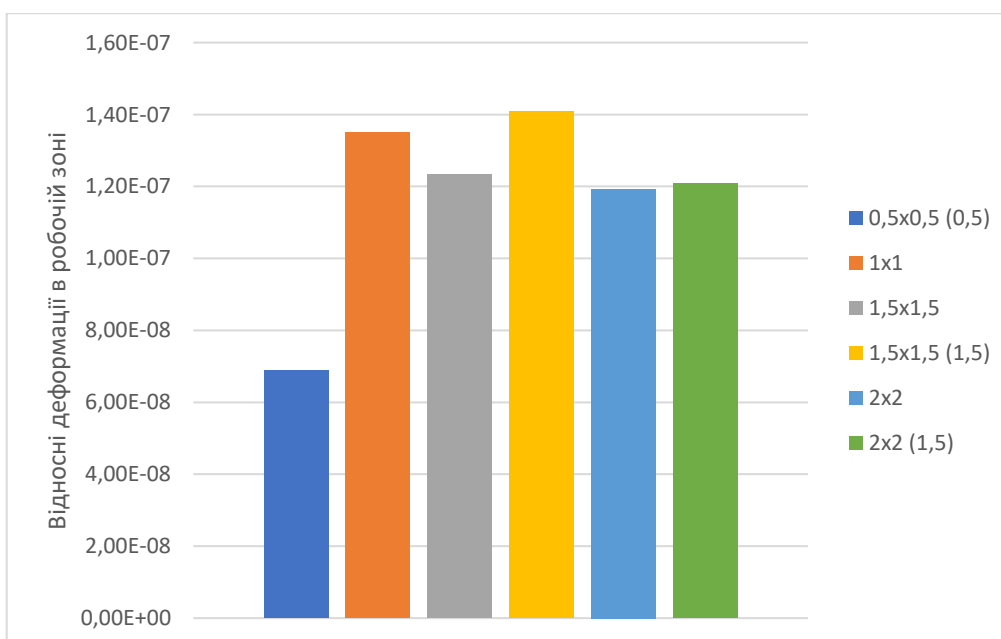


Рисунок 5.15 – Гістограма відносних деформацій у робочій зоні на поверхні сита, що знаходиться на стінці барабану

Аналогічно до інших отриманих результатів найкращі значення максимальних відносних деформацій, рис.5.14, та відносних деформацій у робочій зоні, рис.5.15, належать стінці з найменшими розмірами перфорованого отвору.

Гістограми відносних деформацій, рис.5.14 та рис.5.15, за розподілом значень дещо схожі з гістограмами напружень, рис.5.10 та рис.5.11.

5.2 Заходи впровадження змін

Вказані результати напружень матеріалу полотна сита на поверхні стінки барабану можливо реалізувати шляхом заміни барабану в цілому. Таку процедуру можливо проводити під час технічного обслуговування та ремонту деталей, під час якого відбувається часткове або повне розбирання обладнання.

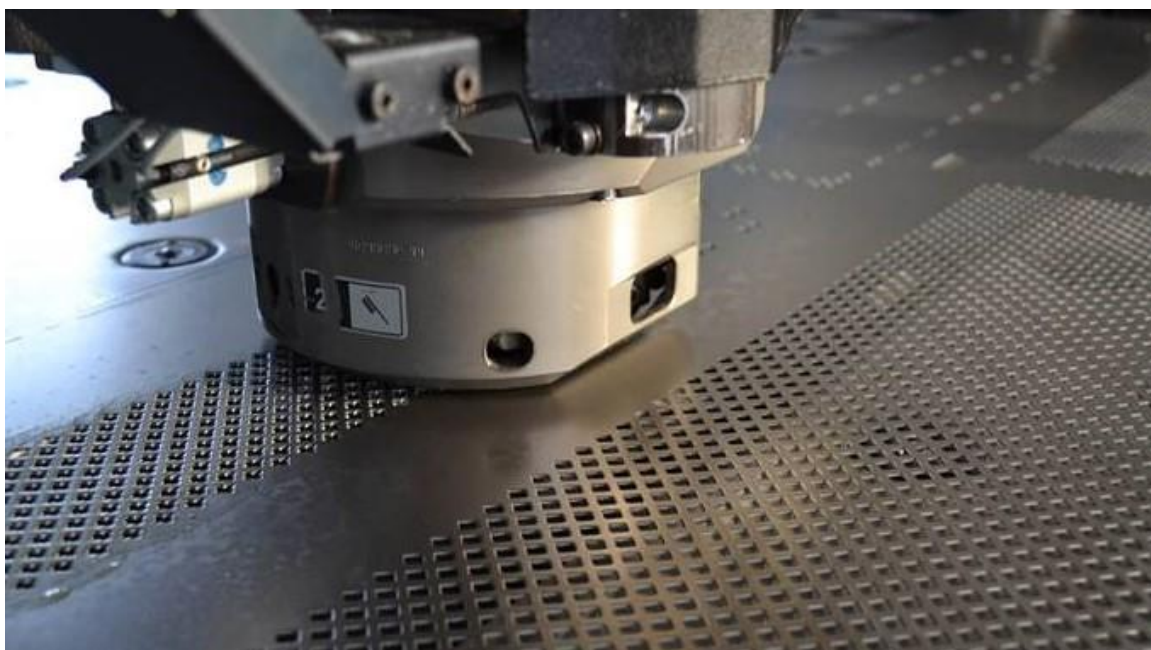


Рисунок 5.16 – Процес перфорації металевої пластини, [11]

Необхідну перфорацію можливо виконати гарячим штампуванням задля отримання необхідної форми отвору. Гаряче штампування варто використовувати через необхідність розділення листа товщиною 4 мм.

Штампування в такому разі не руйнує лист металу, а лише задає необхідну конфігурацію деталі з відповідними розмірами.

5.3 Висновок розділу

Проведені дослідження напружено-деформованого стану стінки барабану з ситом різного типорозміру перфорації. Для дослідження використали модель локальної області ротора сита з 9 отворами перфорації квадратного профіля.

Для пришвидшення процесу моделювання була використана таблична параметризація моделей та збірки. Таким чином було використано два файли деталей та одну збірку, що в 6 разів зменшило кількість файлів.

Отримані результати зведені в таблицю результатів та оброблені у вигляді гістограм.

Встановлено, що найменші поверхневі напруження у матеріалі сита з'являються у барабані з найменшим розміром отворів перфорації. Це значення досягає 26 кПа, що менше у порівнянні з стандартним розміром отворів перфорації значення для котрого сягає 39,8 кПа.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1 Загальні положення з охорони праці, що до роботи з центрифугами

Робота центрифуг характеризується великою швидкістю обертання, тому не дотримання правил експлуатації може призвести до виходу з ладу обладнання, травмування обслуговуючого персоналу, руйнування приміщення. Під час експлуатації обладнання необхідно дотримуватися наступні вимоги техніки безпеки.

Перед монтажем та запуском центрифуг в експлуатацію необхідно уважно ознайомитися з відповідною інструкцією по монтажу та експлуатації обладнання. Підключення обладнання до електромережі на підприємствах здійснюється виключно персоналом цього підприємства. У приміщенні, де розташовується центрифуга, повинно бути достатньо освітлення. Кабелі, що йдуть від пульта та станції керування до центрифуги, повинні знаходитися в каналі або траншеї та закриті на рівні з підлогою м'яко з'ємними кришками.

Заради уникнення ураження електричним струмом під час роботи в приміщенні з підвищеною вологістю необхідно користуватися індивідуальними засобами захисту (резинові ковдри, рукавиці, чоботи та інше).

Центрифугу, станцію та пульт керування необхідно заземлити. Пускова апаратура повинна розташовуватися безпосередньо біля обладнання. Проходи у приміщенні повинні бути достатньо широкими для обслуговування центрифуги; їх ні в якому разі не можна загороджувати.. Патрубки та люки відводу парів та газів повинні бути під'єднані до відповідних магістралей.

До обслуговування обладнання допускають тільки спеціально навчений персонал, котрий добре вивчив та виконує правила обслуговування за обладнанням та вимоги техніки безпеки під час експлуатації, [9].

Центрифуги повинні відповідати вимогам безпеки за ГОСТ 12.2.003 протягом усього терміну служби (ресурсу) як у разі автономного використання, так і у складі технічних комплексів.

Термін служби (ресурс) має бути зазначений у нормативній та експлуатаційній документації, [14].

Центрифуги повинні задовольняти наступні показники надійності та довговічності:

середній ресурс до капітального ремонту, щонайменше - середній термін служби, щонайменше - 8 років. 20000 годин;

Примітка Для центрифуг, призначених для обробки середовищ зі швидкістю корозії понад 0,1 мм на рік. показники надійності можуть бути зменшені, [10].

6.2 Перелік правил техніки безпеки під час експлуатації барабанних сит

Ротори всіх центрифуг мають бути розраховані на міцність.

Привід центрифуги повинен гарантувати неможливість перевищення максимальної кількості обертів ротора.

У трубопроводах, що підводять продукту повинні бути передбачені пристрої, що попереджають попадання в ротор центрифуги сторонніх предметів:

Центрифуги, призначені для обробки суспензій, здатних утворювати з повітрям вибухонебезпечні суміші, повинні мати герметизоване виконання і працювати під надлишковим тиском інертного газу.

У системі подачі інертного газу має бути передбачене блокування, яке не допускає включення центрифуги до встановлення робочого тиску інертного газу, і блокування, що забезпечує подачу сигналу при зниженні тиску інертного газу до величини, нижчої за допустиму. У технічно обґрунтованих випадках може відключатися електропривод.

Редуктор центрифуги зі шнековим вивантаженням повинен мати захист від перевантаження та поломки.

Усі частини центрифуги, що обертаються, до яких має доступ обслуговуючий персонал, повинні обов'язково мати захисні огороження.

На видному місці повинна бути міцно закріплена стрілка, яка показує напрямок обертання ротора.

Жорсткість та способи кріплення рухомих та нерухомих вузлів повинні повністю виключати можливість зачеплення їх один про одного.

У центрифугах періодичної дії для забезпечення гарантованого зазору між ножем для вивантаження осаду та ротором повинні бути передбачені механічні упори.

Розташування та конструкція складальних одиниць механізмів, а також рукояток повинні забезпечувати зручність та безпеку обслуговування та вільний доступ до тих частин машини, які піддаються періодичному огляду, заміні та чищенню.

У системі управління центрифуг, що мають гальмо, має бути передбачене блокування, яке не дозволяє включити електродвигун приводу при загальмованому роторі і відключає електродвигун при накладенні гальма в процесі роботи центрифуги.

Якщо гальмо є аварійним, а гальмування в процесі експлуатації здійснюється двигуном, то при аварійному гальмуванні двигун повинен відключатися або перемикатися на режим гальмування.

Центрифуги періодичної дії, що мають люки, що відкриваються: кришки, повинні мати блокування, що забезпечує неможливість їх лускання при відкритій кришці і перешкоджає відкриттю кришки до зупинки ротора, [10].

Категорично забороняється:

- Самовільно запускати обладнання цеху, пов'язане з роботою центрифуги;
- Перевищувати максимальне навантаження ротору та число його обертів, вказане в технічних характеристиках;
- Експлуатувати центрифугу з числом циклів на годину, котре перевищує максимальне;
- Допускати нагрів підшипників вище норми;
- Залишати працююче обладнання без нагляду;
- Працювати з вібрацією обладнання вище норми, передбаченої у відповідній інструкції;

- Виконувати розбирання та збирання обладнання не призначеним для цього інструментом чи приспособою;
- Розбирати комунікації до повної зупинки обладнання;
- Застосовувати для змащення мастило не передбачене інструкцією;
- Вмикати центрифугу без мастила;
- Завантажувати ротор сировиною низької якості;
- Виконувати регулювання апаратури системи автоматичного керування під напругою;
- Працювати на обладнанні з порушеною системою заземлення;
- Доторкатися до деталей, що обертаються, під час роботи центрифуги або здійснювати будь-яке регулювання.

Після зупинки необхідно провести огляд та визначити причини, котрі викликали зміни у характері роботи обладнання, та за можливості усунути їх. Під час огляду обладнання вимикач повинен бути вимкненим і на ньому має знаходитися табличка з написом «Не вмикати».

Задля унеможливлення отримання опіків повинні бути теплоізовані комунікації підводу гарячої води, суспензії та пари.

Для проведення налагодження та ремонту обладнання допускаються лише працівники добре знаючі їх будову, досвід роботи з подібним обладнанням та котрі отримали інструктаж з техніки безпеки, [9].

Основними джерелами небезпеки для обслуговуючого персоналу при роботі центрифуги є:

- обертові частини;
- динамічні навантаження у вузлах та деталях;
- шум;
- вібрація;
- електричний струм та заряди статичної електрики;
- властивості центрифугованих продуктів (пожежно- та вибухонебезпечність, токсичність);

- температура поверхонь окремих вузлів та елементів.

Матеріали, що застосовуються для виготовлення центрифуг, повинні забезпечувати їхню розрахункову міцність протягом терміну служби (ресурсу) з урахуванням робочих умов: температури, складу та характеру середовища (корозійної активності, ерозійної дії тощо). Для центрифуг, що експлуатуються в умовах вибухо- та пожежонебезпечних виробництв, у складальних одиницях, в яких можливе зіткнення та тертя деталей, повинні використовуватися матеріали, що не викликають при взаємодії утворення іскор.

Вимоги до конструкції центрифуг та їх виготовлення (зварювання, механічного оброблення, складання, балансування) та монтажу, при виконанні яких забезпечується безпечна експлуатація, повинні відповідати ГОСТ 28705.

Усі частини центрифуг, що обертаються або рухаються, якщо вони є джерелами небезпеки, повинні мати захисні огороження відповідно до вимог ГОСТ 12.2.062. Захисні огороження мають бути пофарбовані за ГОСТ Р 12.4.026.

Середньоквадратичні значення віброшвидкості на підшипникових опорах, при яких експлуатація центрифуг повинна бути припинена, з урахуванням поправочних коефіцієнтів, що залежать від конструктивних особливостей центрифуг, не повинні перевищувати для центрифуг всіх типів (крім трубчастих) 45 мм/с, а для трубчастих 11,2 мм/с. Допустимі амплітуди вібропереміщень фундаментів та перекриття у робочих зонах виробничих приміщень при експлуатації центрифуг повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.1.012.

Шумові характеристики центрифуг повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.1.003. За потреби повинні здійснюватися заходи відповідно до ГОСТ 12.1.003 щодо зниження рівня шуму до значень, що не перевищують допустимих для робочих зон у виробничих приміщеннях та на території підприємств.

Електрообладнання центрифуг та пультів керування (за їх наявності у конструкції) повинно відповідати вимогам ГОСТ 12.1.019. ГОСТ 12.2.007.0, а при використанні центрифуг за умови вибухо- та пожежонебезпечних виробництв, крім того, відповідати класу приміщень.

Центрифуги та пульти управління повинні бути заземлені відповідно до ГОСТ 12.1.030. ГОСТ 21130. Значення електричного опору заземлювального пристрою повинне відповідати вимогам розділу 4 ГОСТ 12.1.030.

Центрифуги, що обробляють вибухо- та пожежонебезпечні речовини за ГОСТ Р 51330.11. повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.1.010 мати герметизоване виконання та експлуатуватися з подачею інертного газу до робочих порожнин при надмірному тиску не менше 1,5.10⁻³ МПа.

Пуск герметизованих центрифуг повинен здійснюватися тільки після їх перевірки герметичності та продування робочих порожнин та приймальних ємностей інертним газом у кількості не менше триразового об'єму.

Температура на рукоятках та органах управління центрифуг не повинна перевищувати 45 °С. На поверхні центрифуг температурою понад 45 °С повинні бути нанесені сигнальні кольори та знаки безпеки за ГОСТ Р 12.4.026.

Системи автоматичного управління та протиаварійного захисту центрифуг повинні забезпечувати безпечну експлуатацію, при цьому залежно від типу та конструкції центрифуг повинні виконуватись такі вимоги.

Неможливість увімкнення головного приводу центрифуги:

- при відкритій кришці кожуха (для центрифуг періодичної дії);
- при загальмованому роторі (для центрифуг з гальмом);
- за відсутності подачі мастила (для центрифуг із централізованою системою мастила);
- при введеному в ротор розвантажувальному пристрої механізму вивантаження (для центрифуг періодичної дії);
- за відсутності в кожусі мінімального тиску інертного газу (для центрифуг герметизиного виконання).

Вимкнення головного приводу:

- при падінні тиску в масло системі нижче допустимого;
- при перевантаженні планетарного редуктора (для шнекових центрифуг);

- при раптовому спрацьовуванні механізму руху вивантажувального пристрою та введенні вивантажувального пристрою в ротор до того, як ротор досягне зниженої частоти обертання для вивантаження (для підвісних та маятникових центрифуг);
- при перевищенні допустимого значення вібрації ротора чи інших вузлів у характерних точках.

На шкалах контрольно-вимірювальних приладів повинні бути нанесені мітки, що вказують на гранично допустимі параметри.

На станині або корпусі центрифуги повинна бути нанесена стрілка, яка вказує на напрям обертання ротора, забарвлена в червоний колір за ГОСТ Р 12.4.026.

При ремонті центрифуг їхнє електричне силове обладнання повинне бути вимкнене. а на пусковому пристрої та у місцях включення електричного живлення повинні бути вивішені попереджувальні знаки відповідно до вимог ГОСТ Р 12.4.026.

Додаткові заходи та вимоги щодо безпеки при експлуатації центрифуг в умовах конкретного виробництва можуть бути призначені споживачем або органами нагляду та вносяться до посібника з експлуатації, [14].

ВИСНОВКИ

Відповідно до завдання магістерської роботи за темою «Розробка заходів з підвищення ефективності обладнання для розділення дисперсних систем» виконано та проаналізовано наступні питання.

Наведено, основні питання однієї із поставлених задач виробництва – збільшення довговічності матеріалу сита шляхом більш рівномірно розподілення напружень. Поставлені питання були вирішені в якості аналізу, обґрунтування та пошуку шляхів підвищення ефективності роботи обладнання.

Виконано гідродинамічний аналіз потоків у середині обладнання та проведено ряд досліджень напружено-деформованого стану одного з його елементів.

У роботі наведено детальну схему з оглядом етапів виробництва сирого крохмалю, що стосуються тематики магістерської роботи. Встановлена проблема, котру можливо вирішити в цій роботі.

Створено, з урахуванням спрощень, 3D-модель обладнання. Змодельований принцип його роботи у САПР-системі та її розрахункових модулях.

Було проведено два типи досліджень: гідродинамічне дослідження та дослідження напружено-деформованого стану.

Проведено ряд гідродинамічних досліджень метою яких було встановлення сили з якою діє сировина на стінки ротору та встановлення залежностей, зокрема сили дії сировини, на стінку барабану, від швидкості обертання барабану та тиску, в середині барабану, від швидкості обертання.

Встановлено, що: найбільший тиск в барабані 651 кПа досягається за частоти обертання 900 об/хв; найбільша сила сировини на стінку барабану 15960 кН досягається за частоти його обертання 850 об/хв.

Проведено дослідження напружено деформованого тану локальної області ротора встановлено, що напруження у робочій зоні барабану досягають 210 кПа; деформації робочої області досягають 1×10^{-4} мм.

Було проведено ряд досліджень напружено-деформованого стану для стінки барабану з різним профілем перфорації.

Виконано порівняння параметрів напружено-деформованого стану (напружень, деформацій та відносних деформацій), для сита з різним профілем отворів – квадрат, коло, трикутник, шестикутник. Встановлено, що найкращі параметри напружено деформованого стану у ротора з стандартною перфорацією квадратним профілем в робочій області моделі: напруження досягають 210 кПа; деформації – 6×10^{-5} мм; відносні деформації – $7,63 \times 10^{-7}$.

Встановлено, що з запропонованих 3 видів профілів перфорації найбільш ефективна перфорація трикутним профілем, вона має меншу напруження на поверхні та мінімальні деформації під час навантаження. Але цей результат поступається стандартній перфорації квадратними отворами.

Були проведені дослідження напружено-деформованого стану стінки барабану з ситом різного типорозміру перфорації. Змінювались розміри квадратного отвору та інтервал між ними.

Встановлено, що найменші поверхневі напруження у матеріалі сита з'являються у барабані з найменшим розміром отворів перфорації – $0,5 \times 0,5$ мм. Це значення досягає 26 кПа, що менше у порівнянні з стандартним розміром отворів перфорації значення для котрого сягає 39,8 кПа.

Таким чином встановлений профіль перфорації барабану, котрий дозволяє більш рівномірно розподілити напруження в матеріалі сита та збільшити його довговічність.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Леонтьев Н.Е. Основы теории фильтрации: учебное пособие / Н.Е. Леонтьев. – К.: Москва: МАКС Пресс – 2017. 88 с.
2. Білецький В.С. Мала гірнича енциклопедія: у 3 т. / В.С. Білецький. – К.: Донбас – 2004. 640 с.
3. Електрокоагуляція [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Електрокоагуляція>
4. Яровенко В.Л. Комбинированное производство спирта и крахмала на спиртовых заводах / В.Л. Яровенко, Б.А. Устинников, С.В. Пыхова – К. : Москва – 1965. 63с.
5. Хосні Р.К. Зерно. Зернопереробка / К.Р. Хосні- К.: Професія – 2006. – 336 с.
6. Штыркова Е.А. Справочник по крахмало-паточному производству / Е.А. Штыркова, М.Г.Губина – К.: «Пищевая промышленность», Москва – 1978. 431с.
7. Трегубова Н.Н. Технология крахмала и крахмалопродуктов / Н.Н. Трегубова. – К.: Москва: Изд-во: «Легкая и пищевая промышленность» - 1981. 472с.
8. Ткани для сит из шелковых и синтетических нитей. Общие технические условия: ГОСТ 4403-91 - [Чинний від 1993-01-01]. – К. : ИПК Издательство стандартов 1991. 19 с.
9. Лукьяненко В.М. Промышленные центрифуги / В.М. Лукьяненко, А.В. Таранец – К.: «Химия», Москва – 1974. 376с.
10. Центрифуги промышленные. Технические требования: ГОСТ 28705-90 - [Чинний від 1991-07-01]. – К. : Издательство стандартов 1991. 10 с.
11. Види обладнання для холодного штампування листового металу [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://praktiker.com.ua/obrobka-metalu/vidi-obladnannya-dlya-kholodnogo-shtampuvannya-listovogo-metalu#tag-2>
12. Розділення рідких неоднорідних систем методами фільтрування та центрифугування. Терміни та визначення. ДСТУ 2432-94 - [Чинний від 1995-01-01]

13. Баланси та споживання основних продуктів харчування населенням України 2020. Статистичний збірник. Державна служба статистики України, Київ – 2021. - 59 с.
14. Центрифуги промышленные. Требования безопасности. Методы испытаний. ГОСТ Р 51931-2002 - [Чинний від 2003-07-01]. – К. : Издательство стандартов 2002. 13 с.
15. Центрифуги промышленные. Требования безопасности. Методы испытаний. ГОСТ 31836-2012 - [Чинний від 2020-01-01]. – К. : «Стандартинформ» 2019. 12 с.
16. Полещук Л.М. Центрифуги. Каталог-справочник. Л.М. Полещук, Л.А. Валяева, А.А. Нестерович – К.: «Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы», Москва – 1963. 107 с.
17. Друге народження крохмальної галузі [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://propozitsiya.com/ua/druhe-narodzhennya-krohmalnoyi-galuzi-keys-vid-pbp-vimal>
18. Капрон – синтетическое полиамидное волокно, необходимое для производства ткани [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://tkan.club/typy/kapron>
19. Фільтрувальні тканини: класифікація, застосування, властивості та спеціалізація, ефективність і проблеми експлуатації [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://promtkan.com.ua/filtrovalnye-tkani-klassifikatsiya-primenenie-svoystva-i-spetsializatsiya-effektivnost-i-problemy-ekspluatatsii.html>

Додаток А Перелік зауважень нормоконтролера до кваліфікаційної роботи
студента групи ТПМм-21а Олександр ТЕРЕЩЕНКО.

Позначення документа	Документ	Умовна відмітка	Зміст зауваження

Науковий керівник

(підпис, дата)

Андрій ТОПОРОВ

(ПІБ)

Нормоконтролер

(підпис, дата)

Андрій ТОПОРОВ

(ПІБ)

Завідувач кафедри

(підпис, дата)

Євген ЗБИКОВСЬКИЙ

(ПІБ)

Додаток Б Основні властивості фільтруючих тканин згідно ГОСТ 4403-91

Таблица 1

Наименование показателя	Нормы для тканей			
	из натурального шелка		из синтетических нитей	
	Группа А	Группа Б	Группа А	Группа Б
Отклонение от номинальной ширины, %, не более	2,0	3,0	2,0	3,0
Относительное отклонение поверхностной плотности от минимально допустимой, %, не более	—	15,0	—	10,0
Отклонение по количеству отверстий на 1 см, %, не более	6,0	15,0	8,0	15,0
Относительное отклонение среднего размера отверстия от номинального, %, не более	15,0	25,0	12,0	20,0
Максимальное отклонение размера отдельных отверстий от номинального, %, не более	—	—	20,0*	20,0*

* Показатель установлен для тканей с условным обозначением ПА и ПЧ, используемых в мукомольной промышленности.

Таблица 2

Вид ткани	Поверхностная плотность ткани, г/м ²	Разрывная нагрузка полоски ткани размером 50 × 200 мм, даН, не менее				
		Вид переплетения				
		полотняное	саржевое	ажурное	полуложное ажурное	комбинированное
Ткани из натурального шелка	До 37	16	—	—	—	15
	38—47	20	—	25	—	20
	48—61	—	—	30	—	—
Ткани из синтетических нитей	До 37	19	27	—	24	—
	38—47	25	29	—	30	—
	48—61	35	37	—	45	—
	62—99	50	—	—	—	—
	Св. 100	80	—	—	—	—

1.3.2. Удлинение при разрыве полоски ткани размером 50 × 200 мм должно быть, в процентах, не более:

26 — для тканей из натурального шелка;

35 — для тканей из синтетических нитей группы А;

45 — для тканей из полиэфирных нитей, полиамидных нитей группы Б и тканей условного обозначения «ПА» с количеством отверстий более 58 на 1 см.

1.3.3. Удлинение полоски ткани размером 50 × 200 мм по основе при 10 %-ной нагрузке от стандартной, в процентах, не более:

10,0 — для тканей ПЧ;

9,0 — для разноплотных тканей и тканей с количеством отверстий не более 58 на 1 см.