

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Сумський державний університет**  
**Факультет технічних систем та енергоефективних технологій**  
**Кафедра комп'ютерної механіки імені Володимира Марцинковського**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Андрій ЗАГОРУЛЬКО  
(підпис)

\_\_\_\_\_ 2024 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**на здобуття освітнього ступеня бакалавр**

зі спеціальності 131 Прикладна механіка, освітньо-професійної програми «Комп'ютерний інжиніринг в механіці», на тему: Числовий розрахунок сепаратора для очищення природного газу від крапельної рідини та механічних домішок.

Здобувача групи КМ-01-2 ДЕРМЕЛЬОВА Андрія Миколайовича.

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

\_\_\_\_\_ Андрій ДЕРМЕЛЬОВ  
(підпис)

Керівник: доцент, к.т.н., доцент Дмитро ЖИГИЛІЙ \_\_\_\_\_  
(підпис)

**Суми – 2024**

## АНАТАЦІЯ

**Актуальність теми.** Природний газ є невід'ємною складовою світового енергетичного забезпечення. Це один з найчистіших, найбезпечніших та найбільш корисних джерел енергії, що використовується у багатьох галузях промисловості та домогосподарстві. Проте, перед його використанням у виробництві, комерційних або побутових цілях, він потребує обов'язкового очищення. Очищення полягає в видаленні крапельної рідини (води або нафти) та механічних домішок (пил, пісок, металеві частинки), що можуть впливати на якість газу та безпеку його транспортування і використання.

Зараз у світлі зростаючого попиту на природний газ та з урахуванням високих стандартів безпеки, ефективного видалення крапельної рідини та механічних домішок стає критично важливим завданням. Використання сепараторів у цьому процесі є необхідним елементом для забезпечення безперебійного та безпечного функціонування газових систем на всіх етапах їхнього використання.

**Мета дослідження.** Виходячи з актуальності й ступеня наукової розробки проблеми, метою дослідження є підвищення міцності корпусу сепаратора для очищення природного газу від крапельної рідини та механічних домішок на основі аналізу інженерних методик розрахунків шляхом створення симуляційної моделі роботи корпусу методом скінчених елементів та проведення числового моделювання.

Для досягнення поставленої мети були встановлені наступні **завдання дослідження:**

Дослідити теоретичні аспекти конструювання сепараторів для пари природний газ–рідина.

Провести інженерні розрахунки сепаратору для очищення природного газу від крапельної рідини та механічних домішок.

Розробити симуляційну скінчено елементну модель роботи корпусу.

Провести числове моделювання напружено деформованого стану зовнішніх оболонок сепаратору, що послаблені отворами.

Дослідити технологічність виробництва та експериментально оцінити міцність сепаратору.

**Об’єкт дослідження.** Сепаратор для очищення природного газу від крапельної рідини та механічних домішок.

**Предмет дослідження.** Міцність оболонкових конструкцій сепаратору для очищення природного газу.

**Методи дослідження.** Принципи інженерних розрахунків сталених зварних посудин і апаратів тиску; лінійна теорія пластин і оболонок; математичне моделювання; метод скінчених елементів.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Вперше запропоновані скінченоелементні симуляційні моделі оцінювання міцності корпусу сепаратора для очищення природного газу від крапельної рідини та механічних домішок у програмному комплексі Inventor.

**Практичне значення отриманих результатів.** В роботі запропоновано методику проведення числового експерименту для покращення міцності оболонкових конструкцій сепаратору для очищення природного газу придатних до застосування в хімічному машинобудуванні.

**Особистий внесок здобувача.** Основні наукові результати дослідження, що виносяться на захист, одержані автором самостійно або за його активної участі.

**Апробація роботи.** Результати кваліфікаційної роботи магістра були представлені на XI Всеукраїнської міжвузівської науково–технічної конференції «Сучасні технології у промисловому виробництві» (Суми, 23–26 квітня 2024 р.).

**Публікації.** Основні положення наукової роботи відображені в тезах в XI Всеукраїнській науково–технічній конференції «Сучасні технології у промисловому виробництві (СТПВ–2024)». [[https://conf.teset.sumdu.edu.ua/wp-content/uploads/2024/04/stpv-2024\\_v4.pdf](https://conf.teset.sumdu.edu.ua/wp-content/uploads/2024/04/stpv-2024_v4.pdf)].

**Структура й обсяг кваліфікаційної роботи магістра.** Робота складається із вступу, п'яти розділів, списку джерел посилань і додатків. Повний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 88 сторінки, у тому числі 3 рисунків, 9 таблиць, бібліографії із 34 джерела, 3 додатків.

## Зміст

<b>АНАТАЦІЯ</b> .....	3
<b>Розділ 1.Конструювання сепараторів для пари природний газ–рідина</b> .....	8
1.1 Основні принципи розділення рідини та газів в апатах .....	8
1.2 Загальноприйняті конструкції газорідинних сепараторів .....	8
1.3 Принципи проектування сепараторів.....	13
1.4 Вибір типу сепаратору .....	14
1.5 Вимоги до складових сепаратору .....	15
Висновок для розділу 1: Теоретичні аспекти конструювання сепараторів .....	15
<b>Розділ 2. Розрахунково–конструкторська частина</b> .....	17
2.1 Короткий опис виробу, принцип дії, сфера використання .....	17
2.2 Принципова схема, технічна характеристика виробу. Визначення групи апарату .....	19
2.3 Підбір матеріалу елементів виробу. Заходи захисту від корозії .....	21
2.4 Технічні вимоги до виготовлення відповіднище завдання.....	28
2.5 Перевірочні розрахунки елементів апарату .....	29
Висновок для розділу 2: Інженерні розрахунки.....	39
<b>Розділ 3 Числове моделювання напружено деформівного стану зовнішніх оболонок сепаратору, що послаблені отворами</b> .....	40
3.1 3D та Твердотільна модель сепаратора.....	40
3.2 Симуляційний напружено–деформівний стан зовнішніх оболонок сепаратору, що послаблені отворами. ....	45
3.3 Перевірочний розрахунок за граничною воздією ( $\sigma_{max}$ ) .....	48
Висновок для розділу 3: Числове моделювання .....	52
<b>4 Технологічна частина</b> .....	53
4.1 Визначення виду виробництва та його характеристик .....	53
4.2 Розрахунок кількості матеріалу. Визначення припусків обробки, розробка карт раскрою з визначення коефіцієнта використання матеріала.....	54
4.3 Розробка технологічного процесу виготовлення деталей корпусу сепаратора з визначенням оптимальних режимів обробки, зварювання, збирання, визначення норм витрат часу, кількості обладнання, інструментів та пристроїв.....	57

4.4 Методика експериментальної оцінки конструювання та робочих параметрів сепаратору .....	71
4.5 Процес тестування та метод оцінки .....	75
Висновок для розділу 4: Технологічна частина .....	79
<b>Висновок</b> .....	80
<b>Література</b> .....	81
Додаток А. Маршрутнотехнологічний процес складання сепаратора .	
Додаток Б. Специфікація до складального креслення сепаратора	

## **Розділ 1. Конструювання сепараторів для пари природний газ–рідина**

### **1.1 Основні принципи розділення рідини та газів в апатах**

Процеси газорідного розділення, найчастіше використовувані в нафтовій, газовій та нафтохімічній промисловості, базуються на одному, або комбінації принципів гравітаційного осаджування, ударного відстоювання та центрифугування. Деякі типи фільтрації майже не використовуються в цій галузі. Принципи механічної сепарації будуть описані далі. Також важливо відзначити, що механічне розділення відбувається, коли фази не змішуються або мають різну густину.

Механічне розділення за допомогою імпульсу. Рідкі фази з різною щільністю матимуть різний імпульс. Якщо двофазний потік різко змінює

свій напрямок, більший імпульс не дозволить частинкам важчої фази обертатися так само швидко, як легшої, тому відбувається розділення. Імпульс зазвичай використовується для об'ємного розділення двох фаз у потоці.

Механічне розділення під дією сили тяжіння. полягає в осіданні крапель рідини або твердих частинок з газової фази, якщо сила тяжіння, яка діє на них, перевищує силу опору газу. Такий же принцип діє і для твердих частинок у рідкій фазі або для незмішуваних сфер рідини, що знаходяться в іншій рідині. Підняття легкої бульбашки рідини або газу у рідкій фазі також відбувається згідно з цими самими правилами, що є результатом дії сили тяжіння.

Механічне розділення фільтруванням. Фільтрація включає в себе розділення рідинно–твердої суміші шляхом пропускання рідини через пористий бар'єр, який утримує більшість твердих частинок у суміші. Цей пористий бар'єр може бути використаний для затримки більшості твердих частинок у суміші. Процес фільтрації можна умовно поділити на три основні категорії: фільтрація осаду, глибинна фільтрація і поверхнева фільтрація.

### **1.2 Загальноприйняті конструкції газорідинних сепараторів**

Конструкція апарату розробляється виходячи з основних технічних вимог, що пред'являються до устаткування, і до умов його експлуатації. Серед основних

критеріїв можна виокремити функціональність, середовище застосування, технічні характеристики, параметри технологічного процесу, а також надійність і безпека.

Більшість апаратів складаються з корпусу, кришки і днища відповідної форми, штуцерів для введення, виведення продуктів або приєднання до апарату трубопроводів і інших пристроїв, люків–лазів і оглядових вікон, опор, внутрішніх пристроїв, конструкція яких визначається призначенням виробу (тарілки, насадка, що перемішують органи, трубний пучок, зміювики і так далі).

Всі хімічні апарати по схожості конструктивних ознак і вимог до виготовлення можна розділити на 4 групи: колонні, ємкісні, теплообмінні та комбіновані.

Загальноприйняті конструкції сепараторів поділяються на горизонтальні та вертикальні .

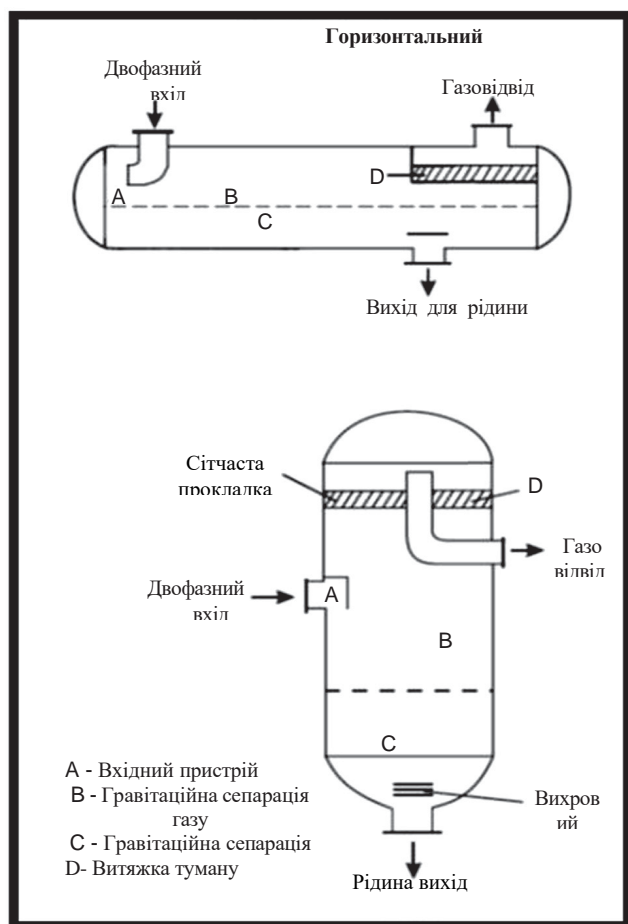


Рисунок 1.1–Конструкції сепараторів



Сепаратори можуть бути одно або двобарабанными, можуть бути обладнані відстійниками або завантажувальними бункерами. Їх також можна класифікувати як двофазні (газ–рідина) або трифазні (газ–рідина–рідина). Незалежно від конфігурації, сепаратори зазвичай складаються з чотирьох основних секцій, а також необхідних елементів керування. Ці секції показані для горизонтальних і вертикальних резервуарів на Рис.1 .

Вертикальні сепаратори (див. рис. 4.6 і 4.7) є доцільним варіантом, коли співвідношення газ–рідина є високим. У випадках, коли потік рідини на вході часто коливається, або коли необхідно запобігти випаровуванню чи змішуванню рідини в ємності, перевагу слід віддавати вертикальним сепараторам. Вертикальні сепаратори, як показано на рис., зазвичай вибирають, коли співвідношення газ–рідина високе або коли загальний об'єм газу невеликий.

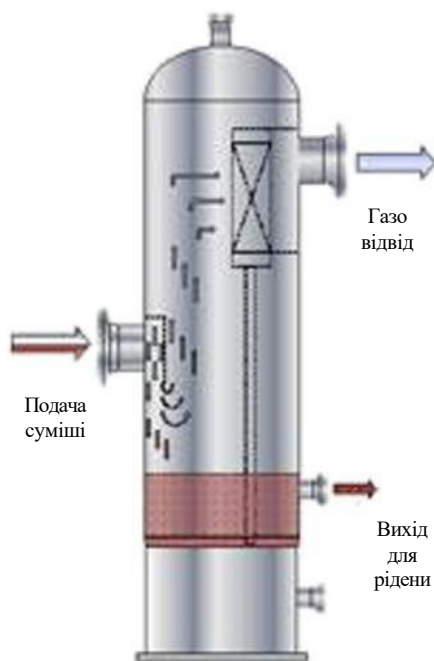


Рисунок 1.2–Вертикальний сепаратор

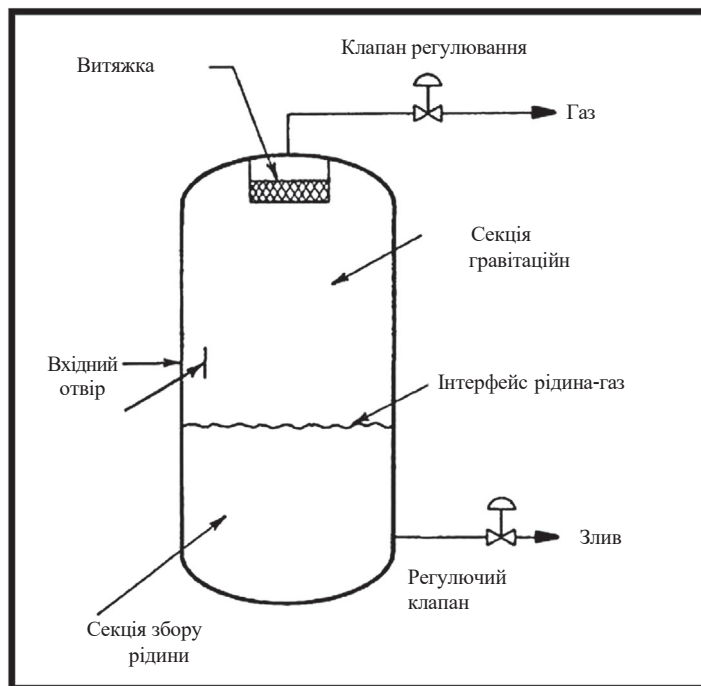


Рисунок 1.3—Схема вертикального сепаратора.

Горизонтальні сепаратори, як показано на рис. 4.9, застосовуються коли в газі міститься значна кількість рідини. Вони особливо зручні, коли співвідношення пара–рідина мінімальне або коли необхідна трифазна сепарація. У ситуаціях, коли розмір ємності обмежений, можна використовувати двобарабанний сепаратор. Горизонтальні сепаратори відмінно себе зарекомендували при обробці значних об'ємів рідини і, як правило, є кращим вибором для трифазного розділення.

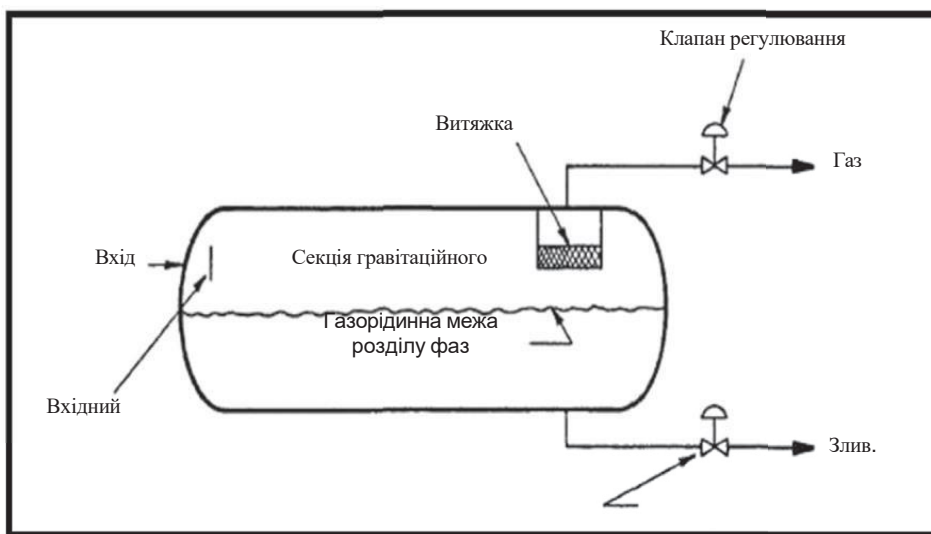


Рисунок 1.4—Схема горизонтального сепаратора

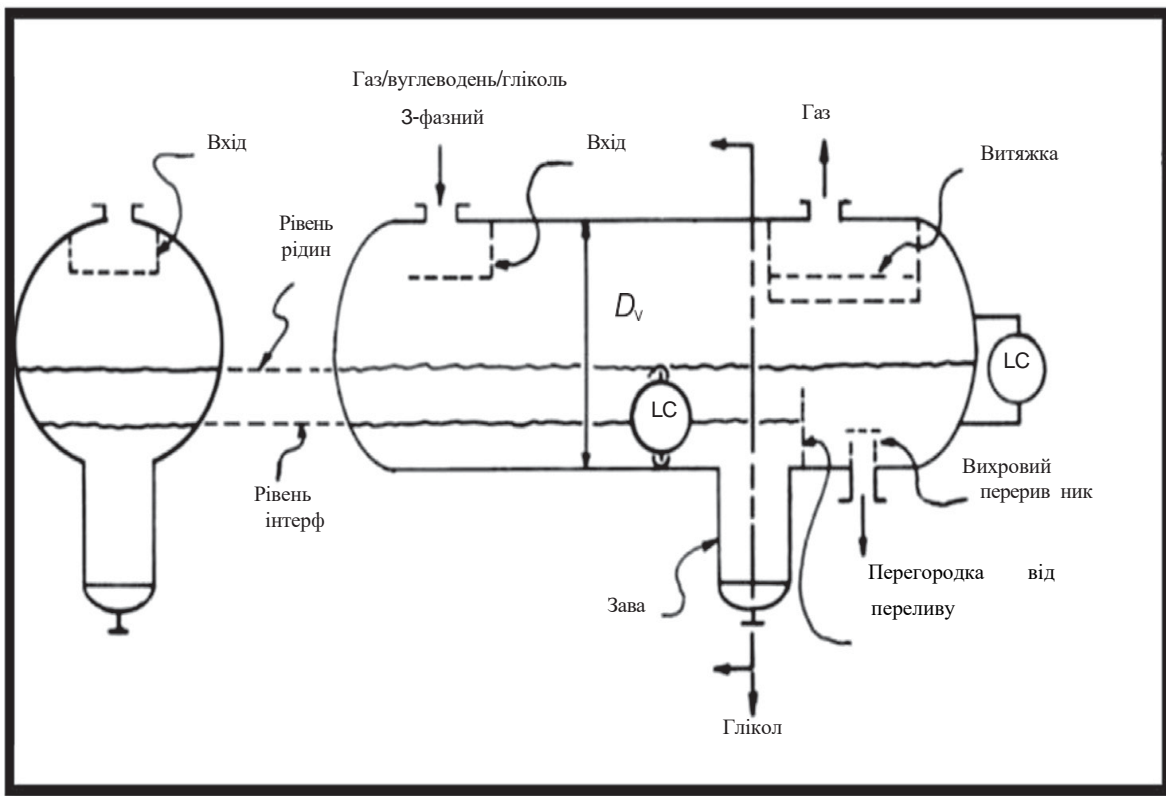


Рисунок 1.5—Горизонтальний трифазний сепаратор з дротяною сіткою для видалення туману

### 1.3 Принципи проектування сепараторів

Для визначення характеристик сепараторів, треба мати інформацію про тиск, температуру, швидкість потоку і фізичні властивості потоків, а також необхідний ступінь сепарації. Також необхідно визначити тип і кількість рідини, а також її фазовий стан (туман, вільна рідина або краплі).

Неправильно підібраний сепаратор може стати однією з основних причин проблем з процесом та обладнанням. Наприклад, проблеми з сепарацією перед абсорбційними системами можуть спричинити піноутворення, а перед адсорбційними системами—забруднення, коксування та інші пошкодження.

Деяке обладнання, таке як компресори та турбодетандерні установки, не терплять присутності рідини у вхідному газі, або взагалі не терплять її присутності. З іншого боку, насоси та регулюючі клапани можуть постраждати від значної ерозії та/або кавітації, коли пара присутня через неправильну сепарацію. Крім того, у ребойлерах прямого нагріву, які працюють на амінах і

гліколях, можуть виникати пошкодження труб через гарячі точки, спричинені відкладенням солей, які виникають внаслідок перенесення пластової води у живильний газ.

#### **1.4 Вибір типу сепаратору**

Існує кілька типів сепараторів, які використовуються у виробництві. Ось деякі з них:

Стаціонарні лопатеві сепаратори: Цей тип відцентрових сепараторів використовується частіше за інші модифікації. Вони включають у себе лопатеві конструкції, які встановлені у стаціонарному положенні для розділення матеріалів.

Циклонні сепаратори: Ці сепаратори працюють за принципом циклонного руху, де матеріали розділяються за допомогою обертального руху газу або рідини. Вони ефективні для розділення твердих частинок від газу або рідини.

Інерційні відцентрові сепаратори: Цей тип сепараторів використовує принцип інерції для розділення матеріалів. Вони зазвичай використовуються для розділення рідин від твердих частинок або для розділення фаз з різною щільністю.

Кожен з цих типів має свої особливості і застосування в залежності від вимог конкретного процесу.

##### **Технічна специфікація**

При підготовці специфікації (або технологічної карти) для циклонного сепаратора слід враховувати наступні моменти циклонного сепаратора для сепарації рідинних захоплень.

1.Застосування: (якщо можливо, слід описати сферу застосування установки).

2.Потік рідини.

3.Склад рідини (об'ємний).

4.Захоплені частинки:

а.Діапазон розмірів (мікрометри або сітка).

- б. Відсотковий розподіл за розмірами.
- в. Істинна відносна щільність частинок, віднесена до води
- г. Джерело захоплення (кипляча рідина тощо).
- д. Склад.

5. Умови експлуатації (мінімальні, максимальні та нормальні):

- а. Витрата газу.
- б. Швидкість потоку, що всмоктується.
- в. Температура, (С).
- г. Тиск, (кПа).
- д. Вміст вологи.
- е. Точка роси, (С).

6. Висота установки:

- а. Нормальний барометр, (мм рт. ст.).

7. Характер захопленої рідини:

- а. Опис (масляниста, агресивна тощо).
- б. Поверхневий натяг за умов експлуатації.
- в. В'язкість за умов експлуатації.

8. Необхідна ізоляція та причина.

9. Особливості конструкції:

- а. Необхідний об'єм для зберігання зібраної рідини, (м<sup>3</sup>).
- б. Попередній розмір вхідного патрубку: (мм).

10. Особливі умови (за наявності).

### 1.5 Вимоги до складових сепаратору

Технологічне проектування сепараторів газу (пари) і рідини повинно ґрунтуватися на представлених обговореннях і слід доповнити наступними критеріями вибору і проектування.

#### 1. Орієнтація

Загалом, для розділення газорідинних сумішей перевага надається вертикальній ємності з наступних причин:

- Коли співвідношення газ–рідина є високим;
- Потрібна менша площа (критично важливо на морських платформах);
- Легше видалити тверді частинки;
- Ефективність видалення рідини не залежить від його рівня ;
- Об'єм ємності, як правило, менший.

Однак, горизонтальний резервуар слід вибирати, якщо:

- Доступний великий об'єм загальної рідини;
- Наявна велика кількість розчиненого газу;
- Обмежений простір над головою;
- Потрібна низька швидкість руху рідини вниз (для дегазації, руйнування піни або у випадку складного розділення рідини і рідини).

## 2.Компоненти

При проходженні газорідинного потоку через сепаратор повинні бути визначені наступні параметри ідентифіковані:

– Вхід подачі .Включає в себе попередній трубопровід, впускний патрубок і впускні пристрої (якщо є).

–Діаметр вхідного патрубку залежить від швидкості потоку і тиску подачі.

–Інформація про характер корму (схильність до піноутворення, корми з твердими частинками, воском або коксуванням) наведена нижче.

схильність до піноутворення, корми з твердими частинками, воском або коксуванням) наведені нижче.

## **Висновок для розділу 1:Теоретичні аспекти конструювання сепараторів**

У розділі розглянуто основні теоретичні підходи до конструювання сепараторів для очищення природного газу.Проведений аналіз наукових джерел і сучасних методик виявив, що оптимізація конструкції сепаратора і вибір відповідних матеріалів мають вирішальне значення для підвищення ефективності

та надійності роботи пристрою. Використання нових матеріалів і інженерних рішень дозволяє покращити експлуатаційні характеристики, знизити вагу і підвищити стійкість до корозії. Отримані результати підкреслюють важливість подальших досліджень в цій галузі для розвитку сучасних сепараторних систем.

## Розділ 2. Розрахунково–конструкторська частина

### 2.1 Короткий опис виробу, принцип дії, сфера використання

Сепаратор, що проектується призначений для очищення природного газу від крапельної рідини і механічних домішок.

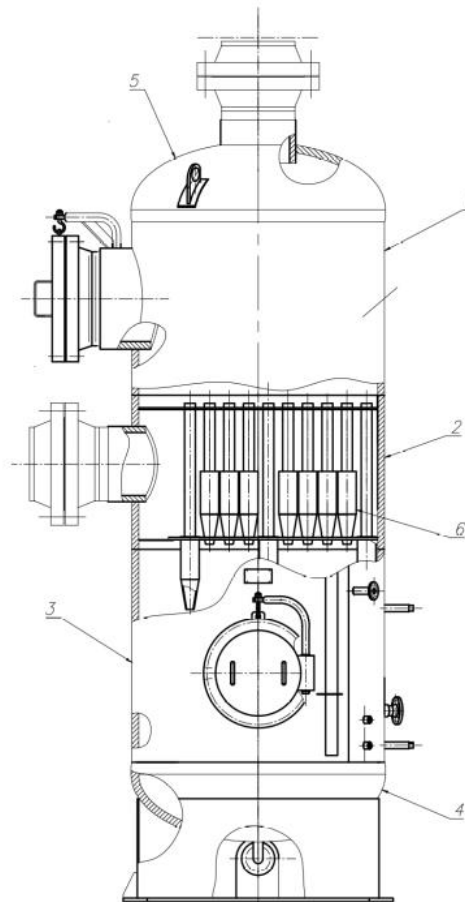


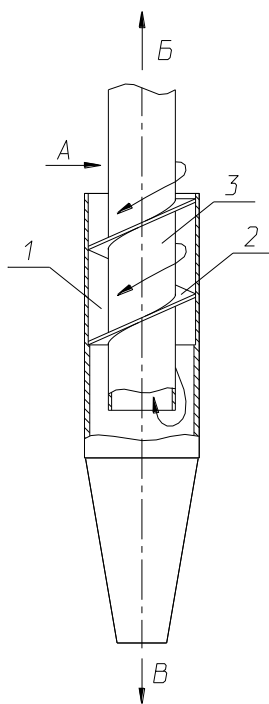
Рисунок 2.1–Загальний вид апарату

Сепаратор представляє собою вертикальний циліндричний суцільнозварний апарат. Основною частиною сепаратора (рисунок 1.1) є корпус, що складається з трьох зварених між собою циліндричних обичайок верхньої 1, середньої 2 і нижньої 3. Зверху і знизу до корпусу приварюються еліптичні днища 4 і 5.

Усередині корпусу розташований елемент сепарації – мультициклон 6. Для зливу конденсату слугує штуцер В. Зовні корпусу є штуцера А і Б для входу і виходу газу. Для огляду і ремонту деталей внутрішньої частини сепаратора в кубовій частині розташований люк–лаз Е.



Сепаратор працює таким чином: природний газ поступає через вхідний патрубок А, потрапляючи у верхню частину елемента сепарації б, що представляє собою батарейний циклон. Він складається з багатьох паралельно працюючих елементів, які змонтовані в загальному корпусі. Кожний елемент представляє собою окремий циклон невеликого діаметру, який відрізняється від звичайного циклона способом входу запиленого газу.



А—запилений газ; Б—очищений газ; В—механічні домішки і конденсат.

Рисунок 2.2—Елемент батарейного циклону

Газ поступає в елемент не по дотичній, а зверху—через кільцевий простір між корпусом 1 і вихлопною трубою 3. Потік газу набуває обертового руху за допомогою обертаючого апарату 2, який виконаний у вигляді гвинтоподібних лопастів.

Газ рухається у циклоні вниз по спіралі. Частинки пила і рідини, як більш важкі, притискаються до внутрішньої поверхні циклону і сповзають вниз в пилезбірник, а звідти в кубову частину сепаратора. Газ, який доходячи до кінця конічної частини циклона, змінює напрям, закручується і виходить по трубі 3 у верхню частину апарату після чого видаляється з апарату через вихідний патрубок Б.

Конденсат і механічні домішки, присутні в кубовій частині, досягши заданого рівня автоматично зливаються в ємкість через штуцер В.

Застосовується апарат у складі компресорних станцій магістральних газопроводів, а також поблизу нафто–і газодобувних свердловин.

## 2.2 Принципова схема, технічна характеристика виробу. Визначення групи апарату

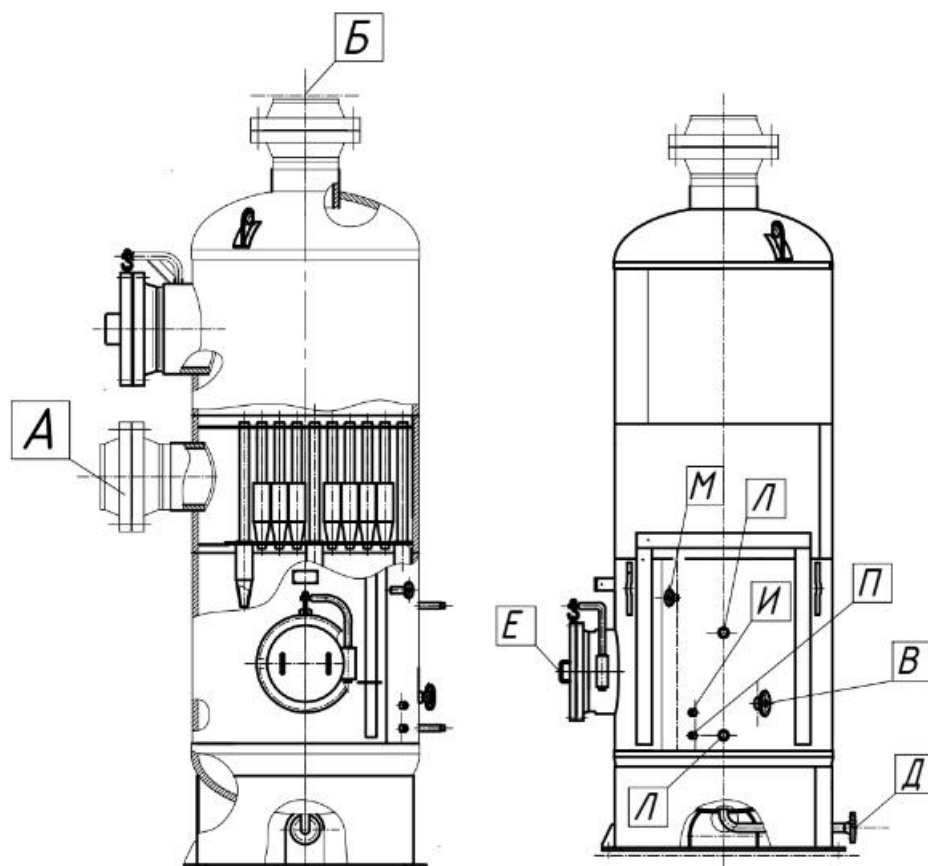


Рисунок 2.3–Принципова схема апарату

Таблиця 2.1–Технічна характеристика

Призначення: Сепаратор призначений для очищення природного газу від краплинної рідини та мехдомішок.		
Продуктивність	За газом	10,25x10 <sup>6</sup>
	За рідиною	13
Тиск, МПа	робочий	6,7
	розрахунковий	7.6
	При гідро випробуванні	10.9
Температура °С	робоча	50
	розрахункова	80
	мін.допустима стінка,що знаходиться підтиском	Мінус 30
Робоча среда	Найменування	конденсат,природний газ зі змістом H <sub>2</sub> S не більше 1079мг <sup>2</sup> /нм <sup>3</sup>
	Категорія та група вибухонебезпеки по ДСТУ 7237:2011	ПА–Т3
	Клас небезпеки по ДСТУ Б В.1.1–36:2016	4
Прибавка на корозію		3
Номінальний обсяг, м <sup>3</sup>		6
Група апарата по ДСТУ Б В.2.5–29:2006		1
Категорія апарату згідно ДСТУ Б В.2.6–193:2013.		$\bar{V}$
Термін служби,років		15

Таблиця 2.2–штуцерів

Обозн	Найменування	Кіл– ть	Прохід умовний Ду,мм	Тиск умовний Р <sub>у</sub> ,МПа
А	Вхід газу	1	400	7,6
Б	Вихід газу	1	400	7,6
В	Злив конденсату	1	50	10
Д	Дренажі з сепаратора	1	50	10
Е	Люк–лаз	2	500	8,0
И	Для візуально готермометра	1	M27x2	–
Л	Для візуального рівнеміра	2	25	100
М	Для манометра	1	20	7,6
П	Для датчикаТСМ	1	M20x1,5	–

Залежно від розрахункових параметрів (тиск і температура) і характеру робочого середовища посудини і апарати поділяються на групи. Група для апарату визначається згідно вимогам таблиці 1 [1]. Оскільки в нашому апараті знаходиться природний газ при розрахунковому тиску 7,6 МПа і температурою 80°C що у свою чергу є вибухонебезпечним, пожежонебезпечним і шкідливим середовищем, апарат слід віднести до 1 групи посудин і апаратів за СОУ МПП 71.120–217:2009

### 2.3 Підбір матеріалу елементів виробу. Заходи захисту від корозії

При виборі матеріалів для виготовлення апарату (монтажних вузлів, деталей) слід враховувати наступне: проектний тиск, температуру стіни (мінімально негативну і максимальну конструкцію), хімічний склад і характер середовища, технологічні властивості і корозійну стійкість матеріалів. Також при

виборі матеріалів для судин і пристроїв, встановлених на відкритих майданчиках або в неопалюваних приміщеннях, необхідно врахувати:

а) абсолютний мінімум зовнішньої температури місцевості, якщо температура стінки посудини тиску, ймовірно, стане негативною від впливу навколишнього повітря;

(б) середня температура повітря найхолоднішого п'ятиденного періоду місцевості з безпекою 0,92, якщо температура стіни посудини тиску позитивна.

З огляду на вищесказане і те, що проєктований пристрій встановлюється в холодній кліматичній зоні, то для виготовлення основних частин корпусу (обичайок, днищ), слід взяти низьколеговану сталь марки 09Г2С–6. Для виготовлення великих фланців арматури використовується легована сталь 10Г2. У середині апарату є сепараційний елемент, основною частиною якого є труби з високолеговою корозійно–стійкою сталі 12Х18Н10Т. Деталі опори виготовлені з вуглецевої сталі звичайної якості Ст3пс.

Сталь 09Г2С. ДСТУ 7809:2015

Заміна: 09Г2, 09Г2ДТ, 10Г2С, 09Г2Т.

Призначення: різні деталі та елементи металокопункцій, що працюють при температурі від –70 до +425 °С під тиском [2]с.106.

Технологічні властивості.

Температура кування, °С: початок 1250, кінець 850. Зварюваність–зварна без обмежень. Способи зварювання: РВС, АДС під флюсом і газозахистом, ЄШС. Схильність до ламкості відпочинку не схильна.

Таблиця 2.3–Хімічний склад сталі 09Г2С згідно з ДСТУ 7809:2015

У відсотках

С			Cr	Ni	Cu	P	S	As	N
Не більше	Si	Mn	не більше						
0,12	0,5– 0,8	1,5– 1,7	0.30	0.30	0.30	0.035	0.040	0.08	0.008

Таблиця 2.4–Механічні властивості сталі 09Г2С згідно з ДСТУ 7809:2015

Статус доставки	Переріз мм	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_B$	$\delta_5\%$	КСУ, Дж/см <sup>2</sup> при температурі тесту, °С	
		МПа			в стані доставки	після механічного старіння
		не менше				
листи і полосы	до 32 мм вкл.	305	460	21	59	29

Легована сталь використовується для виготовлення фланців фурнітури 10Г2.

Сталь 10Г2 ДСТУ 7809:2015.

Призначення–кріплення та інші деталі, що працюють при температурі – 70°С під тиском [ 2] с.168.

Технологічні властивості.

Температура кування, °С:початок 1250, кінець 800–780. Заготовки з перетином до 100 мм охолоджуються на повітрі.Зварюваність–без обмежень. Способи зварювання: РДС, АДС під флюсом і газовимю.Захист, ЄШС.

Механічна обробка шляхом різання–в нормалізованому, вивільненому стані  $\sigma_B=520$  МПа.

Схильність до ламкості відпустки–не схильна.

Таблиця 2.5–Хімічний склад сталі 10Г2 згідно з ДСТУ 7809:2015

У відсотках

C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	P	S
			не більше				
0,07– 0,15	0,17– 0,37	1,2– 1,6	0.30	0.30	0.30	0.035	0.035

Таблиця 2.6–Механічні властивості сталі 10Г2 згідно з ДСТУ 7809:2015

Состояние поставки	Сечение, мм	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_B$	$\delta_5$	$\psi$	КСУ Дж/см <sup>2</sup>	НВ  не болільше
		МПа		%			
		не менше					
Поковки	До100	215	430	24	53	54	123–167
Трубы бесшовные	–	265	470	21	–	–	197

Для виготовлення багатоциклонних деталей використовується сталь 12Х18Н10Т.

Призначення–деталі, що працюють до 600<sup>0</sup>С.

Зварні машини і судини, що працюють в розведених розчинах азотної, оцтової, фосфорної кислот, розчинах лугів і солей та інших деталей, що працюють під тиском при температурі від–196 до+600<sup>0</sup>С, і при наявності агресивних середовищ до +350<sup>0</sup>С. Сталь корозійно–стійкая аустенитного класу.

Технологічні властивості: Температура кування, <sup>0</sup>С:початок 1200, кінець 850. Перерізи до 350 мм охолоджуються повітрям. Зварюваність–зварна без обмежень.

Способи зварювання: РДС (електроди ЦТ–26), ЄШС і КТС. Рекомендується подальша термічна обробка.

Механічна обробка шляхом різання–в загартованому стані в НВ 169 и  $\sigma_B=610$  МПа,  $K_{V_{ТВ. СПЛ}}=0,85$ ,  $K_{V_{Б.СТ}}=0,35$ .

З точки зору термостійкості він близький до сталі 12Х18Н9Т.

Таблиця 2.7–Хімічний склад сталі 12Х18Н10Т

У відсотках

C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	S	P	Cu
не більше						не більше		
0,12	0,8	2,0	17,0–19,0	9,0–11,0	5·C–0,8	0,020	0,035	0,30

Таблиця 2.8–Механічні властивості сталі 12Х18Н10Т

ГОСТ	Стан доставки, режими термічної обробки	Розділ, мм	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_B$	$\delta_5$	$\psi$
			МПа		%	
			не менше			
7350–77 (Поперечні зразки)	Листи гарячекатаного або холодницьккатаного прокату: загартовування 1000– 10800С, вода або повітря	св. 4	236	530	38	40
	затвердіння 1050– 10800С, вода або повітря	до 3,9	205	530	40	40
18143–72	Термічно оброблений дріт	1,0–6,0	–	540–880	20	–
9940–81	Безшовні горе– чедеформовані труби без термічної обробки	3,5–32	–	529	40	–

Вуглецева сталь звичайної якості використовується для виготовлення опорних деталей СтЗпс .



## Ст3пс

Призначення– несучі елементи зварних і незварних конструкцій і деталей, що працюють при плюсових температурах. Фасонні і плоскі вироби товщиною до 10 мм для несучих елементів зварних конструкцій, що працюють під змінними навантаженнями в діапазоні від–40 до+425 °С. Прокат виробів від 10 до 25 мм– для несучих елементів зварних конструкцій, що працюють при температурі від – 40 до+425 °С, за умови поставки з гарантованою зварюваністю. [2]

Технологічні властивості.

Температура кування, °С: початок 1300, кінець 750. Повітряне охолодження.

Зварюваність–зварна без обмежень; способи зварювання: РДС, АДС під флюсом і газозахистом, ЕСС. При товщині понад 36 мм рекомендується нагрівання і подальша термічна обробка. Механічна обробка шляхом різання–в гарячекатаному стані  $\sigma_{\text{в}}=400$  МПа. Схильність до ламкості відпочинку–не схильна

Таблица 2.9–Химический состав Ст3пс

У відсотках

C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	P	S	As
Не більше			Не більше					
0,14–0,22	0,05–0,17	0,40–0,65	0.3	0.3	0.3	0.04	0.05	0.08

Таблица 2.10–Механические свойства Ст3пс

Состояние поставки	Сечение, мм	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{\text{в}}$	$\delta_5$ %	КСУ, Дж/см <sup>2</sup> при температуре испытания, °С	
		МПа			в состоянии поставки	после механического старения
		Не менее				
Прокат горячекатаный	до 20 мм	245	370–480	26	69	29

У розробленому пристрої також використовуються прокладки з пароніту ПМБ (паронітово–масляно–бензинового).

Листовий пароніт готується з суміші волокон азбесту, розчинника, гуми і наповнювачів; призначений для виготовлення прокладок різної конфігурації.

Масляно–бензиново–стійкий пароніт використовується для герметизації плоских роз'ємів нерухомих з'єднань з тиском робочого середовища не більше  $63 \text{ кгс/см}^2$ .

Фізико–механічні параметри: Водопоглинання не більше 14%.

Предел прочности при разрыве в поперечном направлении не менее  $60 \text{ кгс/см}^2$ .

Максимальна температура: для прісної води  $250 \text{ }^\circ\text{C}$ , для водяної пари  $450 \text{ }^\circ\text{C}$ , для повітря від  $-50$  до  $+100 \text{ }^\circ\text{C}$ . Шорсткість герметичних з'єднань металевих поверхонь не грубіша  $R_a = 6,3 \text{ мкм}$ .

Корозія–це руйнування металевих матеріалів, яке відбувається під хімічним впливом навколишнього середовища. Багато способів захисту металів від корозії вже відомі.

Зокрема, матеріали, що піддаються корозії, замінюються на корозійно–стійкі. Також використовуються різні лакофарбові покриття, вони ще покривають відкриті деталі тонким шаром хрому або нікелю.

У розробленому пристрої середовище не має корозійної активності по відношенню до вуглецевих і низьколегованих сталей. Тому для виготовлення всіх деталей пристрою можуть використовуватися вуглецеві і низьколеговані сталі 09Г2С, 10Г2 і Ст3пс. З міркувань міцності і з міркувань підвищеної зносостійкості для виготовлення труб сепараційного елемента використовується корозійно–стійка сталь 12Х18Х10Т, так як прохідний газ містить підвищений вміст домішок.

Для захисту від атмосферного корозійного покриття зовнішніх поверхонь сепаратора, опори і внутрішньої поверхні– емалі SF–11–1014/0–«слонова кість», V, У1.

Тимчасовий захист від корозії також надається відповіднище до с ДСТУ EN ISO 527–1:2015:

–зовнішні нефарбовані поверхні–гарматне мастило 3Т5/5–5 ДСТУ 8841:2019;

– внутрішні поверхні– з консервантним маслом К–17 ДСТУ EN ISO 6892–1:2019.

## **2.4 Технічні вимоги до виготовлення відповіднище завдання**

### Загальні вимоги

Конструкція судів і апаратів має бути технологічною, надійною протягом передбаченого технічною документацією терміну служби, забезпечувати безпеку під час виготовлення, монтажу і експлуатації, передбачити можливість огляду, очищення, промивання, продування і ремонту.

На поверхні обичайок і днищ не допускаються риси, забоїни, подряпини, раковини і інші дефекти, якщо їх глибина перевищує мінусові граничні відхилення, передбачені відповідними стандартами і технічними умовами.

Поверхні деталей мають бути очищені від бризок металу, отриманих в результаті термічного різання і зварювання.

Задирки мають бути видалені і гострі кромки деталей і вузлів притуплені.

Зварні шви судів мають бути розташовані так, щоб забезпечити можливість їх візуального огляду і контролю якості неруйнівним методом (УЗД, радіографією і ін.), а так само усунення в них дефектів.

Внутрішня поверхня корпусу і штуцерів до збірки мають бути очищені від окалини, що відшаровується, і грязі.

Зварні шви мають бути зачищені нарівні з його внутрішньою поверхнею.

Після збірки і зварювання обичайок, корпус (без днищ) повинен задовольняти наступним вимогам:

а) відхилення по довжині не більш  $\pm 0,3\%$  від номінальної довжини, але не більше  $\pm 75$  мм;

б) відхилення від прямолінійності не більше 2 мм на довжині 1 м, але не більше 20 мм при довжині корпусу до 10 м і не більше 30 мм при довжині корпусу понад 10 м.

При цьому місцева не прямолінійність не враховується:

- в місцях зварних швів;
- в зоні вварювання штуцерів і люків в корпус;
- в зоні конусності обичайки, яка використовувалася для досягнення допустимих зсувів кромek в кільцевих швах апаратів, що мають еліптичні або відбортовані конічні днища;

в) відхилення від прямолінійності корпусу (без днищ) апаратів з внутрішніми устроями, що встановлюються в зібраному вигляді, не перевищує величину номінального зазору між внутрішнім діаметром корпусу і зовнішнім діаметром пристрою на ділянці установки.

Відхилення внутрішнього діаметру корпусу і днищ апарату допускається не більш  $\pm 1\%$  номінального діаметру.

Віднищесна овальність корпусу і відбортованої частини днищ апарату не повинна перевищувати 1%.

Для днищ, що виготовляються штампуванням, допускається стоншування стінки в зоні відбортовки до 15% від початкової товщини заготівки.

Вимоги до виготовлення апарату

Пиловловлювач виготовити згідно з СОУ МПП–71.120–217:2009 "Посудини і апарати сталеві зварні. Загальні технічні умови" Правила устрою та безпечної експлуатації посудин, працюючих під тиском.

Пиловловлювач випробувати гідравлічним тиском  $P_{гп} = 7,7$  МПа протягом 20 хвилин,  $P_p = 5,6$  МПа.

Зварні шви №№ 1,2,3,4,5,8,12 контролювати рентгенопросвічуванням по ГОСТ 7512–82 або УЗД по ГОСТ 14782–76 в об'ємі 100%. Зварні шви №№ 6,7,11 контролювати методом кольорової дефектоскопії згідно з РД26–11–01–85 в об'ємі 100%.

## **2.5 Перевірочні розрахунки елементів апарату**

Корпус циліндричної обичайка при надмірному внутрішньому тиску

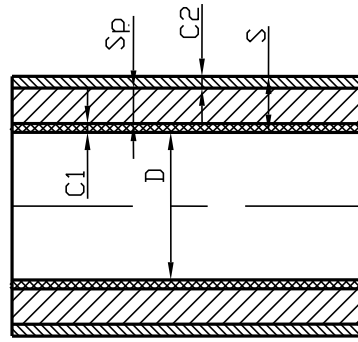


Рисунок 2.4 – Ескіз обичайки

Вихідні дані:

$$D_{\text{ВН}}=1400 \text{ мм},$$

$$P_{\text{PR}}=7,6 \text{ МПа},$$

$$t_{\text{R}}=80 \text{ }^{\circ}\text{C},$$

матеріал – 09Г2С–6

Визначте товщину стінки обичайки:

$$S_{\text{R}} = \max \{ S_{\text{PR}} ; S_{\text{ИР}} \}, \quad (2.1)$$

Розрахункова товщина стінки обичайки в умовах роботи:

$$S_{\text{PR}} = \frac{P_{\text{PR}} \cdot D_{\text{ВН}}}{2 \cdot [\sigma]_t \cdot \varphi_{\text{R}} - P_{\text{PR}}}, \quad (2.2)$$

де  $P_{\text{PR}}$  – проектний тиск в умовах експлуатації,

$$P_{\text{PR}} = 7,6 \text{ МПа};$$

$D_{\text{ВН}}$  – внутрішній діаметр обичайки,  $D_{\text{ВН}}=1400 \text{ мм}$ ;

$[\sigma]_t$  – допустима напруга при температурі  $t_{\text{R}}=80 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,

$$[\sigma]_t = 166 \text{ МПа};$$

$\varphi_{\text{R}}$  – коефіцієнт міцності зварного шва,  $\varphi_{\text{R}}=1,0$ .

$$S_{\text{PR}} = \frac{7,6 \cdot 1400}{2 \cdot 166 \cdot 1,0 - 7,6} = 32,8 \text{ мм}$$

Розрахункова товщина стінки обичайки в умовах гідротестування:

$$S_{\text{ИР}} = \frac{P_{\text{ИР}} \cdot D_{\text{ВН}}}{2 \cdot [\sigma]_{\text{II}} \cdot \varphi_{\text{R}} - P_{\text{ИР}}}, \quad (2.3)$$

де  $P_{\text{ИР}}$  – тиск конструкції в умовах гідравлічних випробувань, МПа;

$[\sigma]_u$  – допустима напруга в умовах гідравлічних випробувань, МПа;

$$[\sigma]_u = \sigma_t^{20} / 1,1, \quad (2.4)$$

де  $\sigma_t^{20}$  – міцність на вихід матеріалу при 20 °С,  $\sigma_t^{20} = 300 \text{ МПа}$  ;

$$[\sigma]_u = 300 / 1,1 = 272,7 \text{ МПа}$$

$$P_{\text{ИР}} = 1,25 \cdot P_{\text{PR}} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t}, \quad (2.5)$$

$$P_{\text{ИР}} = 1,25 \cdot 7,6 \cdot \frac{196}{166} = 10,9 \text{ МПа}$$

$$S_{\text{ИР}} = \frac{10,9 \cdot 1400}{2 \cdot 272,7 \cdot 1 - 6,0} = 28,29 \text{ мм}$$

$$\text{Тоді } S_R = \max\{32,8; 28,29\} = 32,8 \text{ мм}$$

Визначення загальної суми надбавок:

$$c = c_1 + c_2 + c_3, \quad (2.6)$$

де  $c_1$  – надбавка для компенсації корозії та ерозії,

$$c_1 = 3,0 \text{ мм};$$

$c_2$  – надбавка, яке враховує мінусове граничне відхилення по товщині листа,

$$c_2 = 1,2 \text{ мм};$$

$c_3$  – технологічне збільшення,  $c_3 = 0$ ;

$$c = 3,0 + 1,2 + 0 = 4,2 \text{ мм}$$

Виконавча товщина стінки обичайка:

$$S = S_R + c, \quad (2.7)$$

$$S = 32,8 + 4,2 = 37 \text{ мм}$$

Приймати  $S = 40 \text{ мм}$

Умова застосування формул розрахунку:

$$\frac{(S - c)}{D_{\text{вн}}} \leq 0,1 \quad (2.8)$$

$$\frac{(40 - 4,2)}{1400} = 0,0256 \leq 0,1$$

Умова виконується, звідси випливає, що формули застосовні.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск в умовах експлуатації:

$$[P]_P = \frac{2 \cdot [\sigma]_l \cdot \varphi_R \cdot (S - c)}{D_{BH} + (S - c)}, \quad (2.9)$$

$$[P]_P = \frac{2 \cdot 166 \cdot 1,0 \cdot (40 - 4,2)}{1400 + (40 - 4,2)} = 8,28 \text{ МПа}$$

Допустимий внутрішній тиск в умовах гідротестування:

$$[P]_{\mu} = \frac{2 \cdot [\sigma]_{\mu} \cdot \varphi_R \cdot (S - c)}{D_{BH} + (S - c)}, \quad (2.10)$$

$$[P]_{\mu} = \frac{2 \cdot 272,7 \cdot 1,0 \cdot (40 - 4,2)}{1400 + (40 - 4,2)} = 13,6 \text{ МПа}$$

Перевірка умов

$$P_{PR} \leq [P]_P; P_{IR} \leq [P]_{\mu}$$

$$7,6 \leq 8,28; 10,9 \leq 13,6$$

Умова дотримана, тому обрана товщина стінки обичайка задовольняє міцність пристрою при гідравлічних випробуваннях і умовах експлуатації.

Еліптичне днище апарату при надмірному внутрішньому тиску [3]

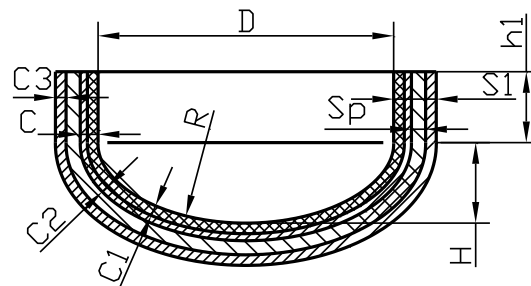


Рисунок 2.5 – Ескіз еліптичного днища

Початкові дані:

$$D_{BH} = 1400 \text{ мм},$$

$$P_{PR} = 7,6 \text{ МПа},$$

$$t_R = 80 \text{ }^\circ\text{C},$$

матеріал–09Г2С–6

Визначаємо товщину стінки днища:

$$S_{IR} = \max\{S_{IPR}; S_{IIR}\}, \quad (2.11)$$

Розрахункова товщина стінки днища в умовах експлуатації:

$$S_{\text{IPR}} = \frac{P_{\text{PR}} \cdot D_{\text{BH}}}{2 \cdot [\sigma]_t \cdot \varphi_R - 0,5 \cdot P_{\text{PR}}}, \quad (2.12)$$

де  $P_{\text{PR}}$  – Проектний тиск в умовах експлуатації,  $P_{\text{PR}} = 7,6$  МПа;

$D_{\text{BH}}$  – внутрішній діаметр обичайка,  $D_{\text{BH}} = 1400$  мм;

$[\sigma]_t$  – допустима напруга при температурі  $t_R = 80$  °С,

$[\sigma]_t = 166$  МПа;

$\varphi_R$  – коефіцієнт міцності зварного шва,  $\varphi_R = 1,0$ .

$$S_{\text{IPR}} = \frac{7,6 \cdot 1400}{2 \cdot 166 \cdot 1,0 - 0,5 \cdot 7,6} = 32,42 \text{ мм}$$

Розрахункова товщина стінки днища в умовах гідравлічних випробувань:

$$S_{\text{IIR}} = \frac{P_{\text{IIR}} \cdot D_{\text{BH}}}{2 \cdot [\sigma]_u \cdot \varphi_R - 0,5 \cdot P_{\text{IIR}}}, \quad (2.13)$$

де  $P_{\text{IIR}}$  – тиск конструкції в умовах гідравлічних випробувань,  $P_{\text{IIR}} = 10,9$  МПа

$[\sigma]_u$  – допустима напруга в умовах гідравлічних випробувань,

$[\sigma]_u = 272,7$  МПа;

$$S_{\text{IIR}} = \frac{10,9 \cdot 1400}{2 \cdot 272,7 \cdot 1 - 0,5 \cdot 10,9} = 28,26 \text{ мм}$$

Тоді  $S_{\text{IR}} = \max\{32,42; 28,26\} = 32,42 \text{ мм}$

Визначення загальної суми надбавок:

$$c = c_1 + c_2 + c_3 \quad (2.14)$$

де  $c_1$  – надбавка для компенсації корозії та ерозії,

$c_1 = 3,0$  мм;

$c_2$  – надбавка, яке враховує мінусове граничне відхилення по товщині листа,

$c_2 = 1,2$  мм;

$c_3$  – технологічне збільшення,  $c_3 = 0,15 \cdot S_1 = 6,75$  мм;

$c = 3 + 1,2 + 6,75 = 10,95$  мм

Виконавча товщина стінки днища:



$$S_1 = S_{1R} + c, \quad (2.15)$$

$$S_1 = 32,42 + 10,95 = 43,37 \text{ мм}$$

Приймати  $S_1 = 45 \text{ мм}$

Умова застосування формул розрахунку:

$$0,002 \leq \frac{(S_1 - c)}{D_{\text{вн}}} \leq 0,1, \quad (2.16)$$

$$0,2 \leq \frac{h_6}{D_{\text{вн}}} \leq 0,5, \quad (2.17)$$

де  $h_6$  – висота опуклої частини днища

$$h_6 = 0,25 \cdot D_{\text{вн}} = 0,25 \cdot 1400 = 350 \text{ мм}$$

$$0,002 \leq \frac{(45 - 10,95)}{1400} \leq 0,1$$

$$0,002 \leq 0,024 \leq 0,1$$

$$0,2 \leq \frac{350}{1400} \leq 0,5$$

$$0,2 \leq 0,25 \leq 0,5$$

Виконується умова.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск в умовах експлуатації:

$$[P]_P = \frac{2 \cdot [\sigma]_t \cdot \varphi_R \cdot (S_1 - c)}{D_{\text{вн}} + (S_1 - c) \cdot 0,5}, \quad (2.18)$$

$$[P]_P = \frac{2 \cdot 166 \cdot 1,0 \cdot (45 - 10,95)}{1400 + (45 - 10,95) \cdot 0,5} = 7,98 \text{ МПа}$$

Допустимий внутрішній тиск в умовах гідротестування:

$$[P]_u = \frac{2 \cdot [\sigma]_u \cdot \varphi_R \cdot (S_1 - c)}{D_{\text{вн}} + (S_1 - c) \cdot 0,5}, \quad (2.19)$$

$$[P]_u = \frac{2 \cdot 272,7 \cdot 1,0 \cdot (45 - 10,95)}{1400 + (45 - 10,95) \cdot 0,5} = 13,1 \text{ МПа}$$

Перевірка умов

$$P_{PR} \leq [P]_P; P_{IR} \leq [P]_u$$

$$7,6 \leq 7,98 ; 10,9 \leq 13,1$$

Умова дотримана, тому обрана товщина стінки днища задовольняє міцнісний стан апарату при гідравлічних випробуваннях і умовах експлуатації.

Розрахунок зміцнення отвору в обічайці

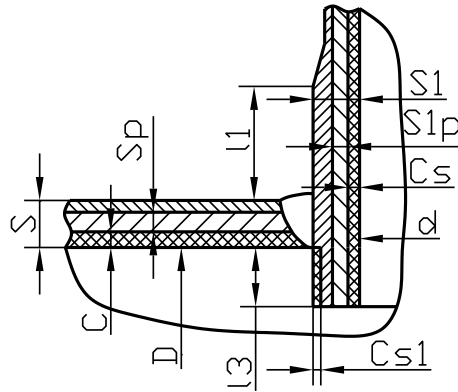


Рисунок 2.6–Ескіз зміцнення отвору в обічайці

Вихідні дані:

Внутрішній діаметр штуцера  $d=500$  мм.

Довжина зовнішньої частини штуцера  $l_1=185$  мм.

Довжина внутрішньої частини штуцера  $l_3=65$  мм.

Температура конструкції  $t_R=80$  °С.

Матеріал 09Г2С–6

Розрахований діаметр одиночного отвору, який не вимагає додаткового зміцнення, при наявності надмірної товщини стінки обічайка.

$$d_{OR} = 2 \cdot \left( \frac{s-c}{s_R} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_R \cdot (s-c)}, \quad (2.20)$$

де  $D_R=D_{BH}=1400$  мм–внутрішній діаметр конструкції обічайка.

$$d_{OR} = 2 \cdot \left( \frac{40-4,2}{32,8} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{1400 \cdot (40-4,2)} = 130,5 \text{ мм}$$

Розрахунковий діаметр одиночного зміцнюючого отвору:

$$d_R = d + 2 \cdot c_s, \quad (2.21)$$

де  $c_s$  – сума надбавка до розрахункової товщини арматури,  
 $c_s = c_{s1} + c_{s2} = 3,0 + 1,2 + 0 = 4,2$  мм;

$c_{s1}$  – надбавка для компенсації корозії,  $c_{s1} = 3,0$  мм;

$c_{s2}$  – надбавка я компенсації за мінусостійкість,

$c_{s2} = 1,2$  мм;

$c_{s3}$  – технологічне надбавка,  $c_{s3} = 0$ .

$$d_R = 500 + 2 \cdot 4,2 = 508,4 \text{ мм}$$

$d_R \geq d_{OR}$ ,  $508,4 \geq 130,5$  – отже, потрібні подальші розрахунки зміцнення отвору.

Расчетная длина внешней части штуцера:

$$l_{1R} = \min\{l_1; 1,25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_1 - c_s)}\}, \quad (2.22)$$

де  $s_1$  – Виконавча товщина стінки арматури, попередньо встановлена  $s_1 = 45$  мм.

$$l_{1R} = \min\{185; 1,25 \cdot \sqrt{(500 + 2 \cdot 4,2) \cdot (45 - 4,2)}\} = \min\{185; 180\}$$

Приймаємо виконавчу довжину зовнішньої частини примірки  $l_1 = 185$  мм

Розрахована довжина внутрішньої частини штуцера:

$$l_{3R} = \min\{l_3; 0,5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_1 - c_s - c_{s1})}\} \quad (2.23)$$

$$l_{3R} = \min\{65; 0,5 \cdot \sqrt{(500 + 2 \cdot 4,2) \cdot (45 - 4,2 - 3,0)}\} = \min\{65; 69,31\}$$

Приймаємо виконавчу довжину внутрішньої частини примірки  $l_3 = 65$  мм.

Співвідношення допустимих напруг для зовнішньої (внутрішньої) частини арматури:

$$\chi_1(\chi_3) = \min\{1,0; [\sigma]_I / [\sigma]\} \quad (2.24)$$

$$\chi_1(\chi_3) = \min\{1,0; 166 / 166\} = \min\{1,0; 1,0\}$$

Розрахункова товщина стінки штуцера:

$$S_{1R} = \frac{P_R \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot \varphi_1 \cdot [\sigma]_I - P_R} \quad (2.25)$$

$$S_{1R} = \frac{7,6 \cdot (500 + 2 \cdot 4,2)}{2 \cdot 1,0 \cdot 166 - 7,6} = 11,91 \text{ мм}$$

Розрахункова ширина зони укріплення в окрестности штуцера::

$$l_R = \sqrt{D_R \cdot (s - c)}, \quad (2.26)$$

$$l_R = \sqrt{1400 \cdot (40 - 4,2)} = 223,87 \text{ мм}$$

Розрахунковий діаметр отвору, який не вимагає зміцнення, при відсутності надмірної товщини стінки пристрою:

$$d_{OR} = 0,4 \cdot \sqrt{D_R \cdot (s - c)}, \quad (2.27)$$

$$d_{OR} = 0,4 \cdot \sqrt{1400 \cdot (40 - 4,2)} = 89,55 \text{ мм}$$

Умови використання формул для розрахунку зміцнення отворів в обічайці:

$$(d_R - 2 \cdot C_s) / D \leq 1,0 \quad (2.28)$$

$$(508,4 - 2 \cdot 4,2) / 1400 = 0,36 \leq 1,0 \quad (S - C) / D \leq 0,1 \quad (2.29)$$

$$40 - 4,2 / 1400 = 0,026 \leq 0,1$$

Умови виконані.

Умова для зміцнення одностороннього отвору:

$$l_{1R} \cdot (s_1 - s_{1R} - c_s) \cdot \chi_1 + l_{3R} \cdot (s_1 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3 + l_R \cdot (s - s_R - c) \geq \geq 0,5 \cdot (d_R - d_{OR}) \cdot s_R \quad (2.30)$$

$$185 \cdot (45 - 11,91 - 4,2) \cdot 1 + 65 \cdot (45 - 4,2 - 3) \cdot 1 + 223,87 \cdot (40 - 32,8 - 4,2) \cdot 1 \geq 0,5 \cdot (508,4 - 89,55) \cdot 32,8$$

$6874,7 \geq 3767$  – Умова зміцнення отвору виконується

Розрахунок зміцнення отвору в днищі

Вихідні дані:

Внутрішній діаметр штуцера  $d = 368$  мм;

Довжина зовнішньої частини штуцера  $l_1 = 147$  мм;

Довжина внутрішньої частини штуцера  $l_3 = 55$  мм

Температура конструкції  $t_R = 80$  °С.

Матеріал 09Г2С–6

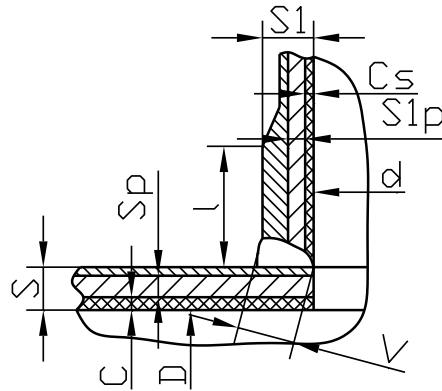


Рисунок 2.7–Ескіз зміцнення отвору в днище

Розрахунковий діаметр одиночного отвору, який не вимагає додаткового зміцнення, при наявності надмірної товщини нижньої стінки за формулою (2.20).

$D_R = 2 \cdot D_{BH} = 2800$  мм – розрахунковий діаметр зміцнюючого елемента.

$$d_{OR} = 2 \cdot \left( \frac{45 - 10,95}{32,42} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{2800 \cdot (45 - 10,95)} = 154,56 \text{ мм}$$

Розрахунковий діаметр одиночного зміцнюваного за формулою (2.21)

$$d_R = 368 + 2 \cdot 4,1 = 376,2 \text{ мм}$$

$d_R \geq d_{OR}$ ,  $376,2 \geq 154,56$  – отже, потрібні подальші розрахунки зміцнення отвору.

Расчетная длина внешней части штуцера по формуле (2.22). Попередній набір  $s_1 = 36$  мм.

$$l_{1R} = \min \{ 147; 1,25 \cdot \sqrt{(368 + 2 \cdot 4,1) \cdot (36 - 4,1)} \} = \min \{ 147; 136,94 \}$$

Приймаємо виконавчу довжину зовнішньої частини штуцера  $l_1 = 147$  мм.

Розрахована довжина внутрішньої частини штуцера за формулою (2.23).

Попередній набір  $s_3 = 36$  мм.

$$l_{3R} = \min \{ 55; 0,5 \cdot \sqrt{(368 + 2 \cdot 4,1) \cdot (36 - 4,1 - 3,0)} \} = \min \{ 55; 52,13 \}$$

Ми приймаємо виконавчу довжину внутрішньої частини штуцера  $l_3 = 55$  мм.

Співвідношення допустимих напруг для зовнішньої частини штуцера за формулою (2.24):

$$\chi_1 = \min \{ 1,0; 166 / 166 \} = \min \{ 1,0; 1,0 \}$$

$$\chi_3 = \min \{ 1,0; 166 / 166 \} = \min \{ 1,0; 1,0 \}$$

Розрахована товщина стінки штуцера за формулою (2.25):

$$S_{IR} = \frac{7,6 \cdot (368 + 2 \cdot 4,1)}{2 \cdot 1,0 \cdot 166 - 7,6} = 8,81 \text{ мм}$$

Розрахункова ширина зони укріплення на околиці штуцера за формулою (2.26):

$$I_R = \sqrt{2800 \cdot (45 - 10,95)} = 308,77 \text{ мм}$$

Розрахунковий діаметр отвору, що не вимагає зміцнення, за відсутності надлишкової товщини стінки апарату за формулою (2.27):

$$d_{OR} = 0,4 \cdot \sqrt{2800 \cdot (45 - 10,95)} = 123,51 \text{ мм}$$

Умови використання формул для розрахунку зміцнення отворів в днищах:

$$(d_R - 2 \cdot C_s) / D_{BH} \leq 0,6 \quad (2.31)$$

$$(376,2 - 2 \cdot 4,1) / 1400 = 0,26 \leq 0,6$$

$$(S - C) / D_{BH} \leq 0,1 \quad (2.32)$$

$$(45 - 10,95) / 1400 = 0,026 \leq 0,1$$

Умови використання формул дотримані.

Умова зміцнення одніцевого отвору за формулою (2.28):

$$147 \cdot (36 - 8,81 - 4,1) \cdot 1 + 55 \cdot (36 - 4,1 - 3,0) \cdot 1 + 308,77 \cdot (45 - 32,42 - 10,95) \cdot 1 \geq 0,5 \cdot (376,2 - 123,51) \cdot 32,42$$

$$5487,02 \geq 4096,10 - \text{Стан армування отворів виконано.}$$

## **Висновок для розділу 2: Інженерні розрахунки**

У цьому розділі проведено детальні інженерні розрахунки, які підтвердили доцільність впровадження запропонованих конструктивних змін для зниження напружень у критичних зонах корпусу сепаратора. Використання методу скінчених елементів дозволило точно моделювати напружено-деформований стан конструкцій і оптимізувати параметри для зменшення впливу зовнішніх навантажень. Результати розрахунків доводять, що нові конструкційні рішення суттєво підвищують міцність і довговічність сепаратора, що є важливим для його надійної експлуатації.

## **Розділ 3 Числове моделювання напружено деформівного стану зовнішніх оболонок сепаратора, що послаблені отворами**

### **3.1 3D та Твердотільна модель сепаратора**

3D модель корпусу сепаратора – це віртуальне тривимірне представлення корпусу сепаратора у програмі для проектування , у Autodesk Inventor . У такій моделі корпус сепаратора відтворюється як тверде тіло з усіма його геометричними та фізичними характеристиками, такими як розміри, форма, матеріал і структура. Створення такої 3D моделі корпусу сепаратора зазвичай включає наступні кроки:

1.Створення елементів : Це включає створення основних тіл, такі як обичайка, еліптичне днище, мультициклон тощо.

2. Створення геометрії : 3D моделі корпусу включає в себе формування шляхом видавлення, об'єднання, обертання , лофт та інших операцій з основними геометричними формами..

3.Додавання деталей: Після встановлення основної геометрії, вводяться додаткові деталі, такі як отвори, канали і т. д., які визначають конкретний дизайном сепаратора.

4.Визначення матеріалів: Для 3D моделі встановлюються матеріальні характеристики, такі як міцність, модуль пружності, теплопровідність та інші параметри, які визначають поведінку матеріалу в умовах, що моделюються.

5.Створення складальних одиниць: При необхідності, 3D модель можна розділити на окремі складові частини, такі як насосний корпус, втулки, кришки тощо, для більш детального аналізу або оптимізації кожної частини окремо.

Щоб розроблення твердотільної моделі сепаратора використаємо складальне та монтажне креслення

Розділяем сепаратор на окремі частини такі як: три циліндричні обичайки два еліптичні днища. Усередині корпусу мультициклон котрий складається с 88 елементів батарейного циклону.Зовні корпусу штуцера А ,Б, В, 2 люк–лаз Е і опора.

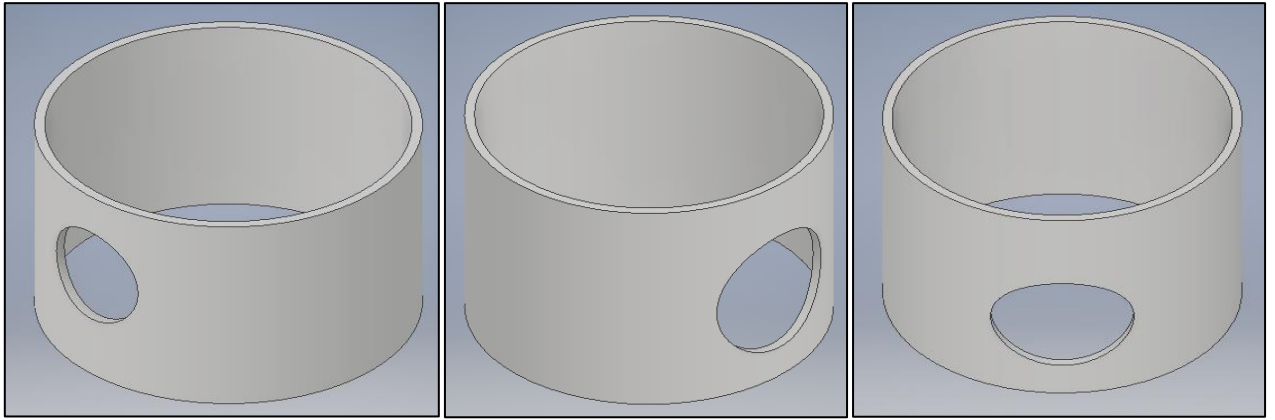


Рисунок 3.1– Заготовки циліндричні обичайки

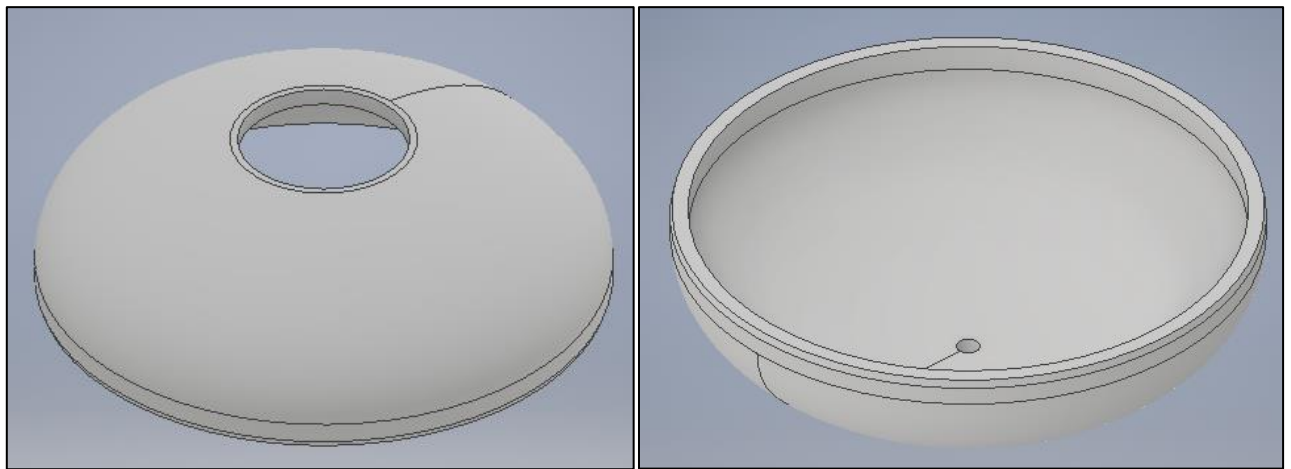


Рисунок 3.2– Заготовки еліптичні днища

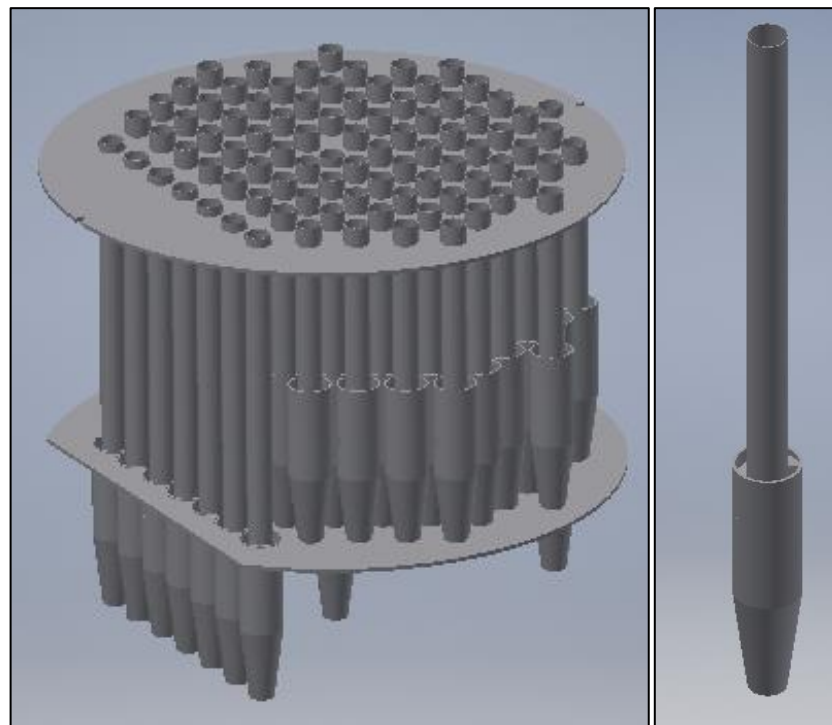


Рисунок 3.3– Заготовки мультициклону в зборі



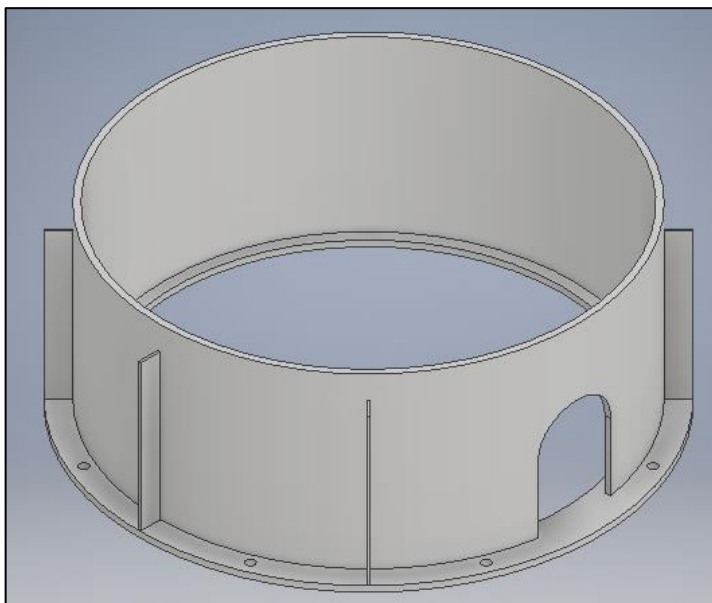


Рисунок 3.4–Опора

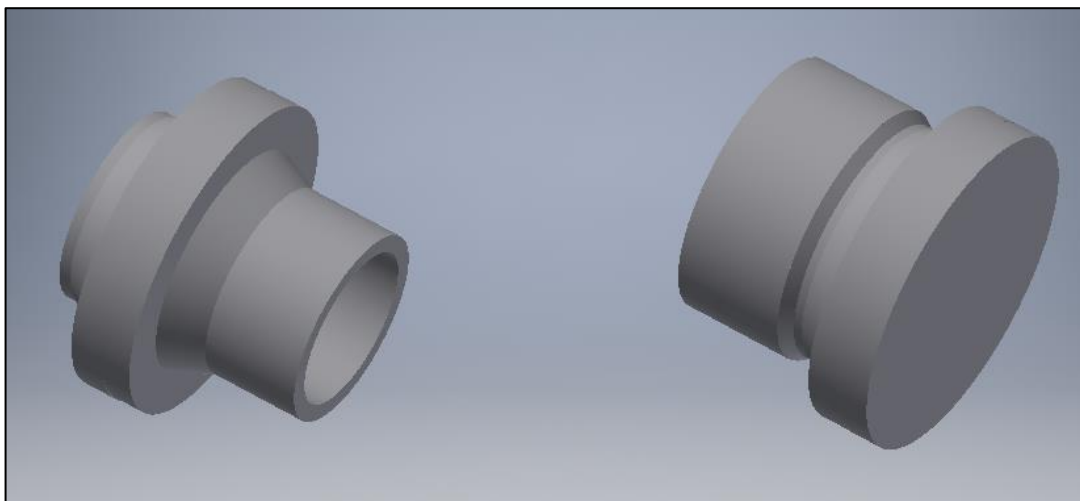


Рисунок 3.5–Штуцер і люк–лаз

Після створення окремих 3D елементів поєднуємо їх, щоб утворити сепаратор. Після поєднання окремих елементів, переходимо до створення зварних швів. Задаємо необхідні параметри і створюємо суцільнозварний апарат.

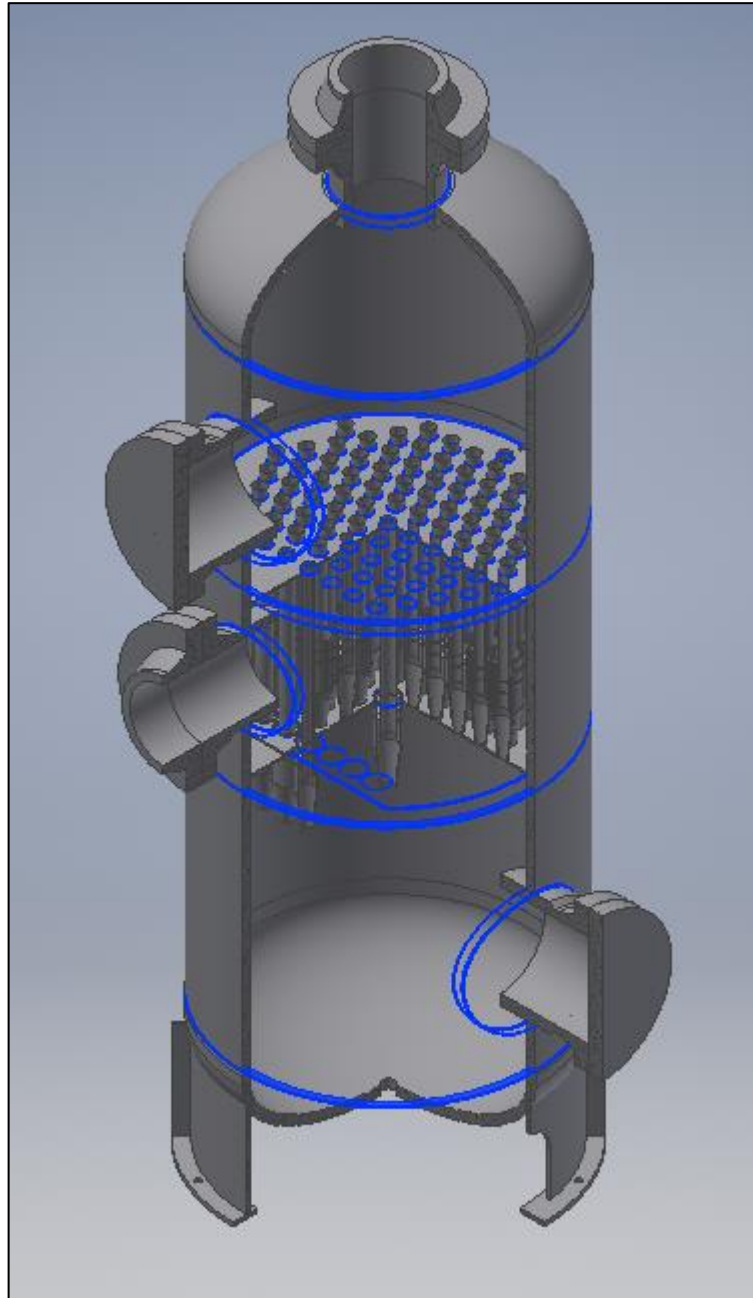


Рисунок 3.6–Зварні шви на 3D моделі

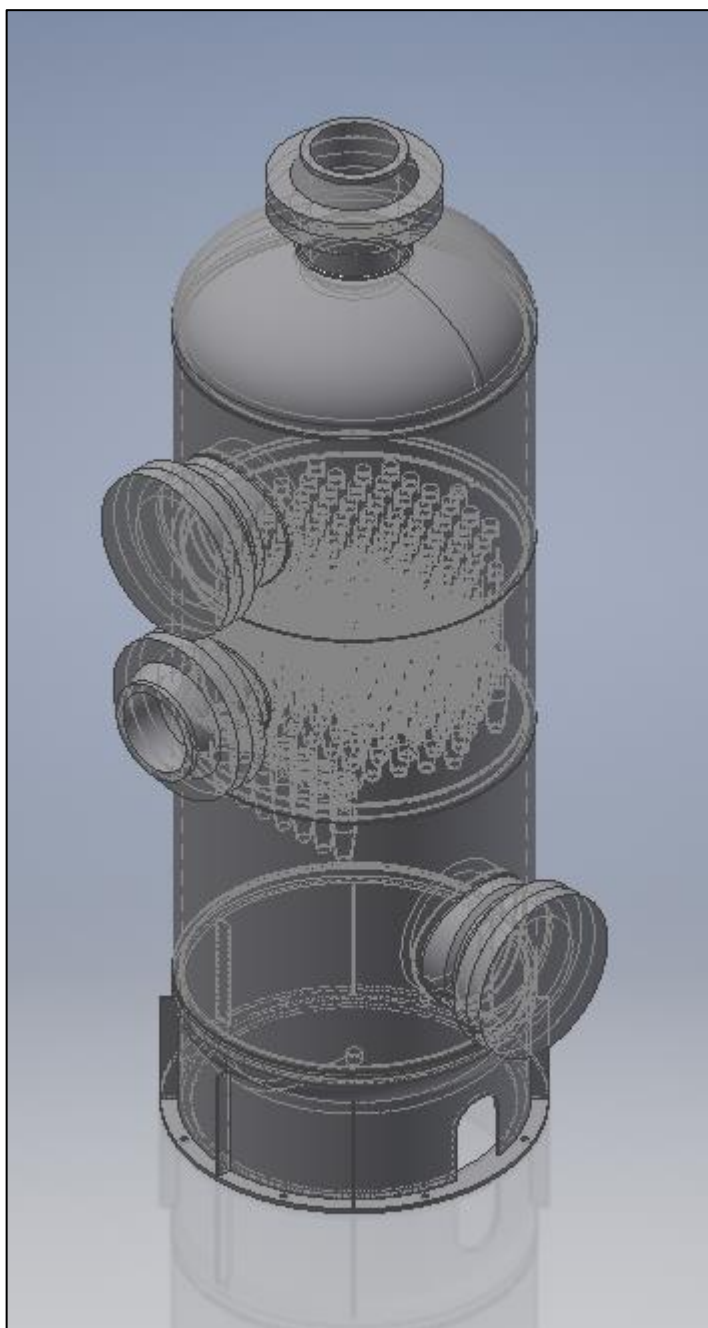


Рисунок 3.7—модель з плавним тонуванням та прихованими ребрами

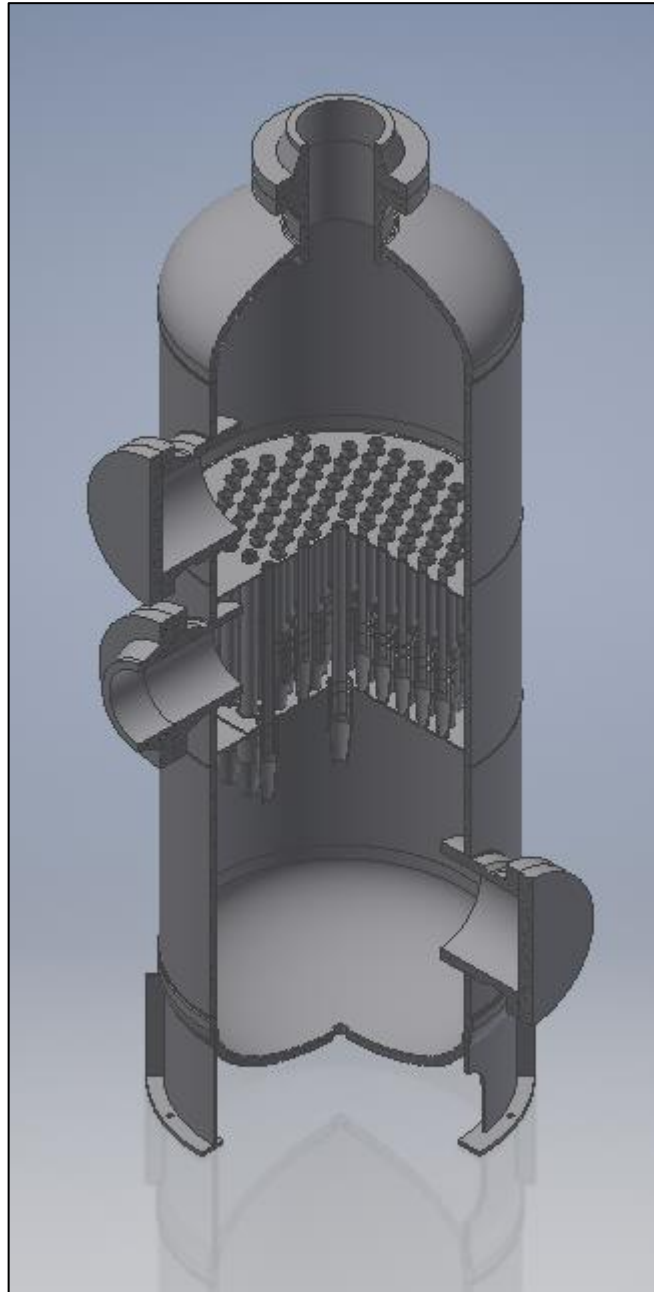


Рисунок 3.8–3D модель сепаратора

### **3.2 Симуляційний напружено–деформівний стан зовнішніх оболонок сепаратору, що послаблені отворами.**

Тепер переходимо до проведення аналізу напружень.Щоб провести аналіз напружень зробемо спрощення 3D моделі до твердо тільної моделі.Це є важливою складовою у розробці та оцінці механічних систем і конструкцій. Він дозволяє оцінити розподіл внутрішніх сил у матеріалі або структурі під впливом зовнішніх навантажень.

Твердотільна модель—це тривимірне математичне представлення об'єкта, що описує його форму, об'єм та поверхню в цифровому вигляді. Твердотільні моделі використовуються у різних галузях, таких як комп'ютерне проектування (CAD), інженерія, архітектура, анімація та 3D–друк. На відміну від каркасних або поверхневих моделей, твердотільні моделі містять інформацію про внутрішню структуру об'єкта, що дозволяє точніше відобразити фізичні властивості, такі як маса, центр тяжіння, інерція тощо.

Методика:

Визначення геометрії та матеріалу:

Починаємо з аналізу форми, розмірів та складності геометрії механічної системи або конструкції. Враховуємо властивості матеріалів, такі як міцність, модуль Юнга, коефіцієнт Пуассона та інші, що впливають на їхню поведінку.

Налаштування моделі:

Розробляємо математичну модель, яка відображає поведінку системи під дією навантажень. Використовуємо різноманітні методи моделювання, включаючи скінченно–елементний аналіз, аналітичні підходи та експериментальні дослідження.

Встановлення межових умов:

Визначаємо типи та інтенсивність зовнішніх навантажень, а також граничні умови, такі як закріплення, обмеження руху чи температурні зміни, що впливають на систему.

Визначення напружень:

Обчислюємо напруження у всіх точках системи, враховуючи їхній тип та інтенсивність. Аналізуємо розподіл напружень для ідентифікації можливих точок слабкості та зон руйнування.

Оцінка безпеки:

Порівнюємо отримані напруження з межами міцності матеріалу та визначаємо коефіцієнт безпеки системи. Це дозволяє уникнути виникнення небезпечних ситуацій під час експлуатації.

Аналіз результатів:

Оцінюємо отримані дані та використовуємо їх для вдосконалення дизайну та оптимізації конструкцій. Враховуємо результати прийняття рішень з метою покращення продуктивності, міцності та безпеки системи.

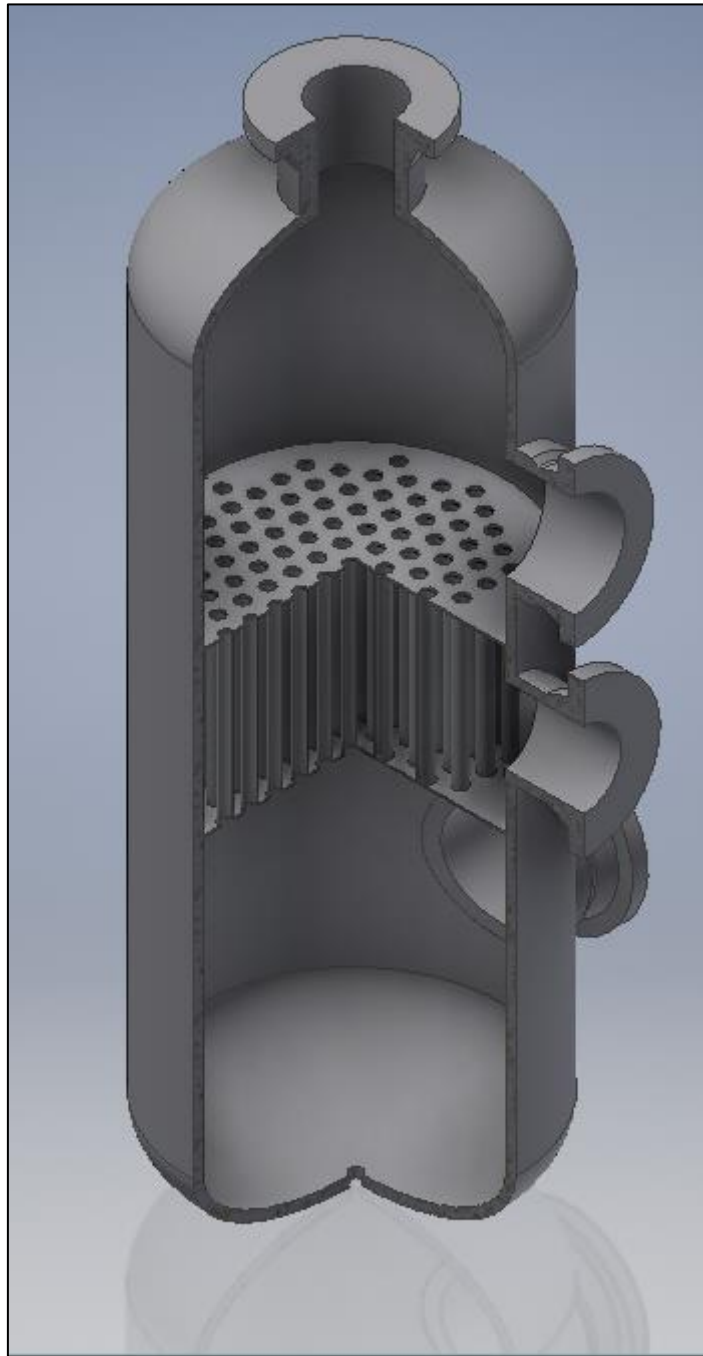


Рисунок 3.9–Твердотільна модель

Твердотільна модель являє собою литу конструкцію. Мультициклоний елемент замінен на циліндри відповідного розміру. Опора і інші елементи відсутні.

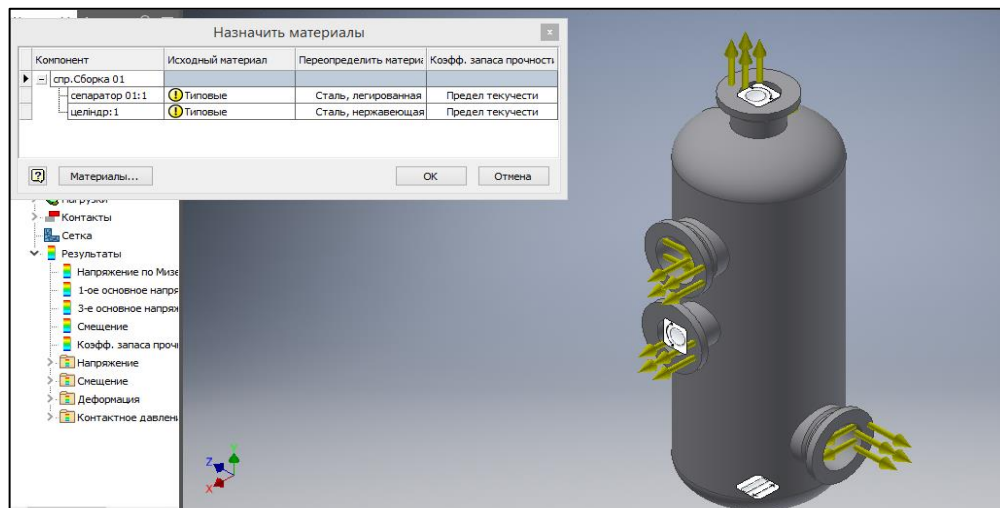
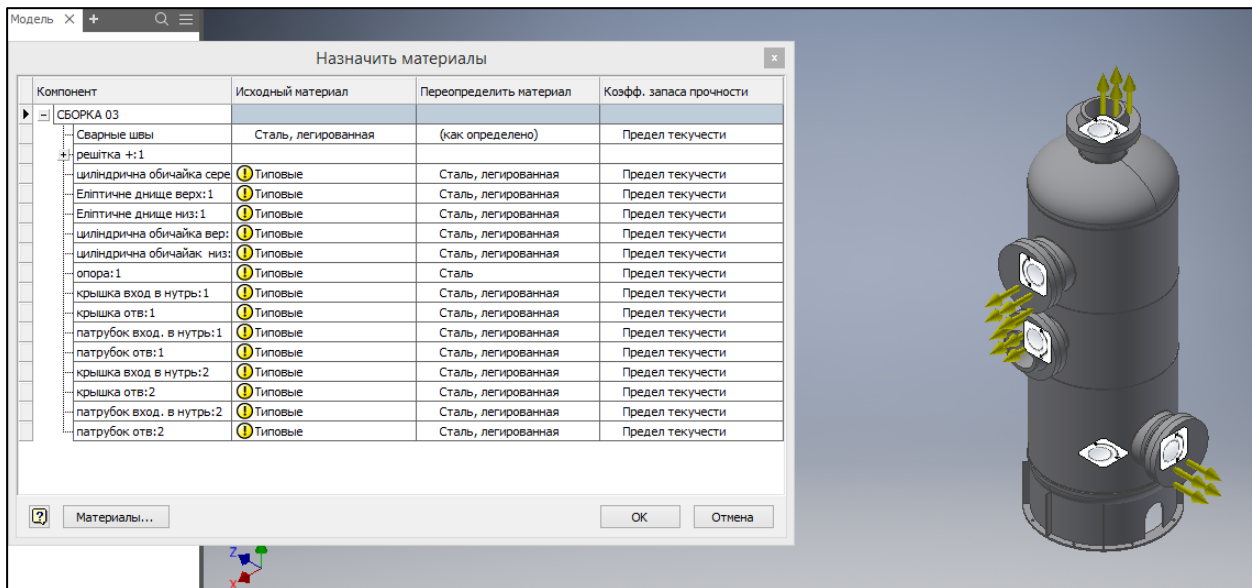


Рисунок 3.10–Панель призначити матеріалів

Вносимо матеріали в таблицю, після чого встановлюємо опори. Перша опора розмішена на лінії дотику юбки і нижнього днища ця опора фіксує основний напрямок, інші опори віксують радіальний напрямок.

### 3.3 Перевірочний розрахунок за граничною водією (рmax)

Наступний крок задаємо тиск до корпусу 7,6 МПа , до штуцера А і Б в розмірі–2,487МПа і тиск–5,652МПа для люк–лаза Е. Тиск для штуцера і люк–лаза розраховуємо за формулою

$$P = \frac{P_p \frac{\pi d^2}{4}}{\frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)} = - \frac{P_p}{\left(\frac{D}{d}\right)^2 - 1}$$

$$P = -\frac{P_p}{\left(\frac{D}{d}\right)^2 - 1} = -\frac{7.6}{\left(\frac{735}{480}\right)^2 - 1} = -5.652 \text{ МПа}$$

$$P = -\frac{P_p}{\left(\frac{D}{d}\right)^2 - 1} = -\frac{7.6}{\left(\frac{725}{360}\right)^2 - 1} = -2.487 \text{ МПа}$$

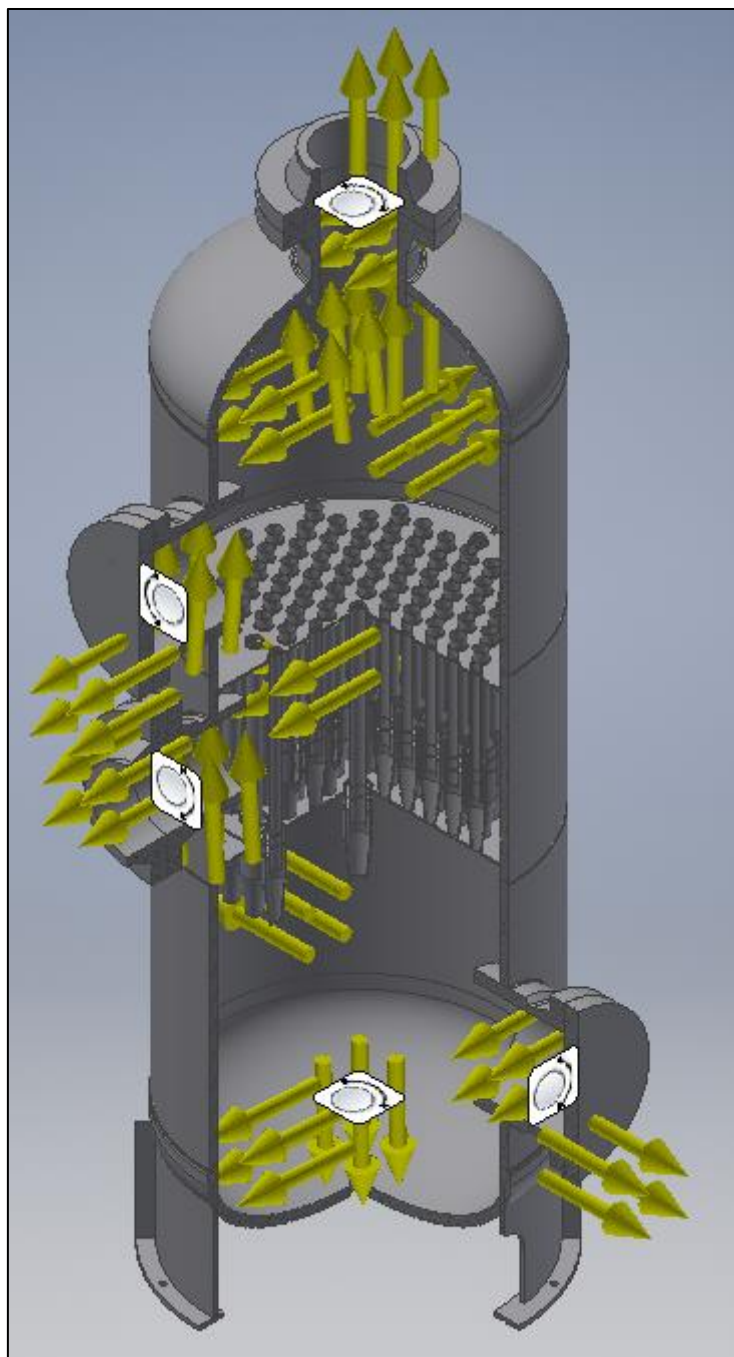


Рисунок 3.11 а)–3D модель корпусу під тиском



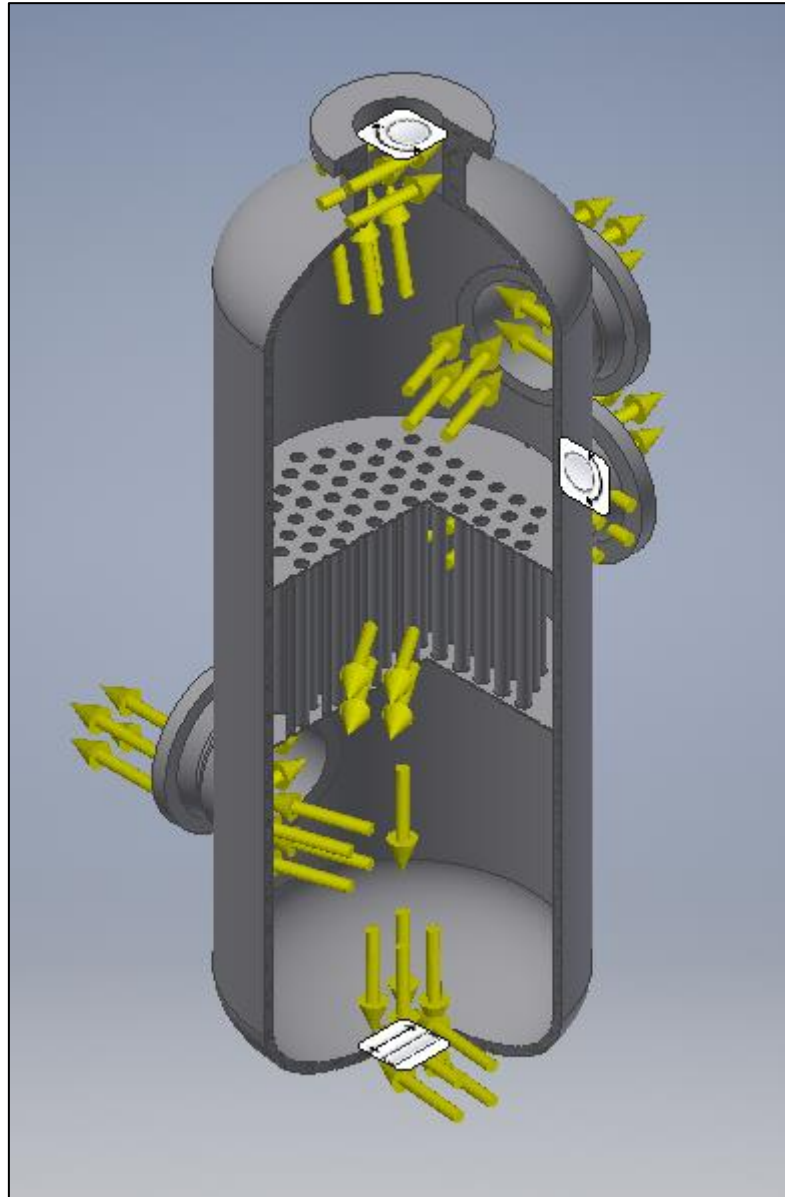


Рисунок 3.11 б)–Твердотільна модель корпусу під тиском  
Формуем скінчено елементна модель з граничними умовами.

Скінчено елементна модель з граничними умовами – це модель, яка використовує скінчену кількість елементів або частин для опису системи чи явища, при цьому враховуючи граничні умови, які обмежують поведінку цієї системи. Граничні умови можуть бути різного типу і визначати, як система поводитиметься на межах свого простору чи області.

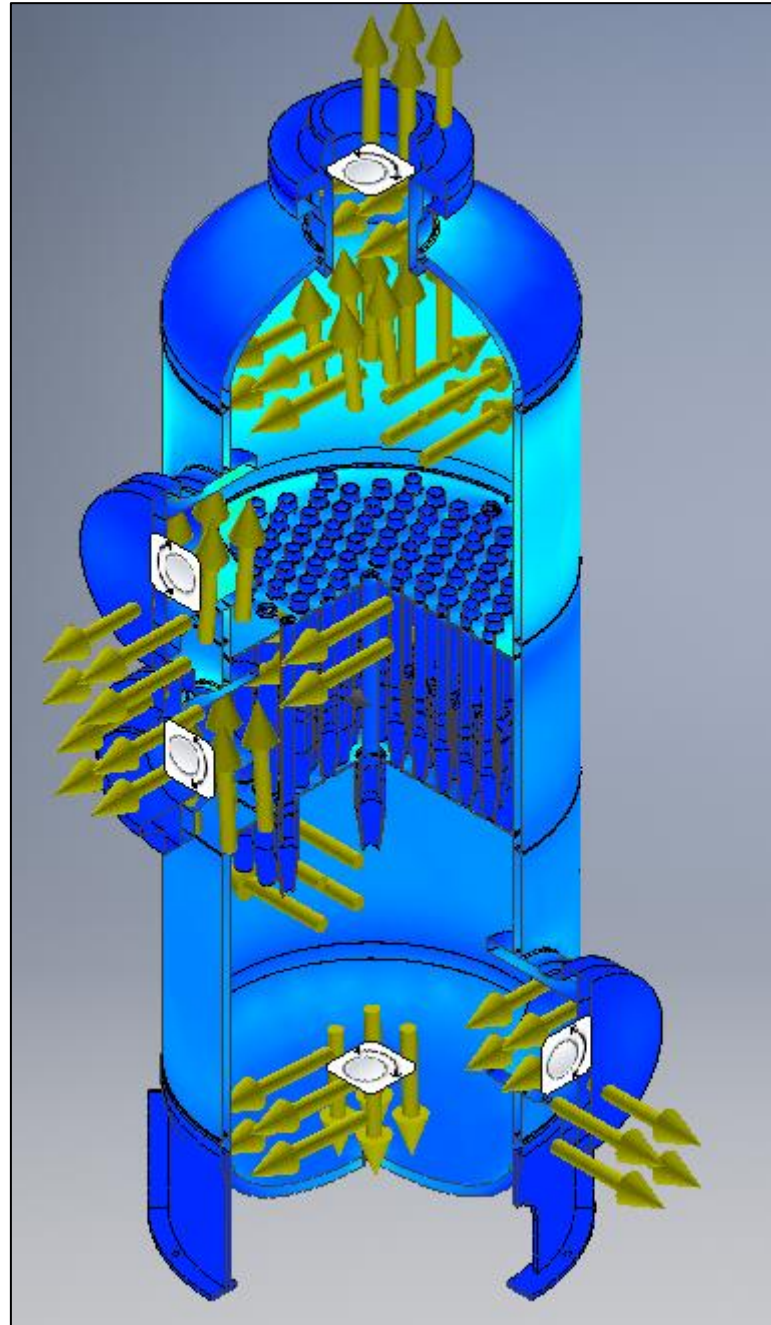


Рисунок 3.12 а)– Скінчено елементна модель з граничними умовами

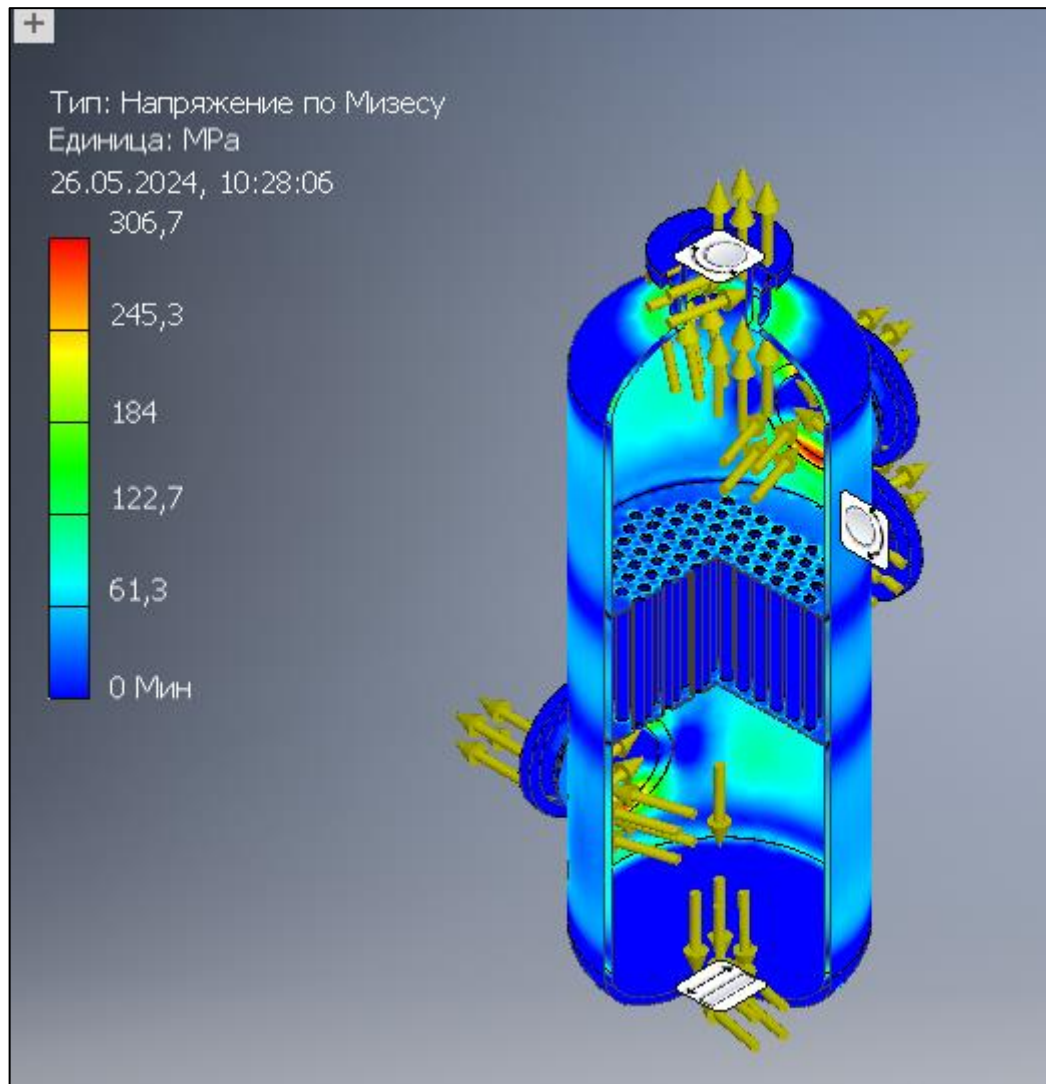


Рисунок 3.12 б) Симулятивні еквівалентні напруження за IV теорією міцності, МПа.

### **Висновок для розділу 3: Числове моделювання**

Розділ присвячено числовому моделюванню напружено–деформованого стану зовнішніх оболонок сепаратора. Проведені числові симуляції підтвердили ефективність застосування інноваційних матеріалів і нових конструкційних підходів. Результати моделювання дозволили ідентифікувати слабкі місця конструкції та оптимізувати її для зменшення напружень. Це сприяє підвищенню загальної міцності і довговічності сепаратора, забезпечуючи більш стабільну і безпечну його роботу в реальних умовах експлуатації.

## 4 Технологічна частина

### 4.1 Визначення виду виробництва та його характеристик

Залежно від рівня конструкції і ступеня спеціалізації виділяють три види виробництва: масове, серійне і одинарне.

Одинарний—називається виробництвом даного виду, при якому виріб випускається в одиницях (штуках) або в невеликих кількостях примірників при відсутності регулярної повторюваності виготовлення цих виробів.

Серійне—називається таке виробництво, при якому відбувається постійне повторення виготовлених партій або серії однієї і тієї ж продукції. Залежно від розмірів і частоти повторення виготовлених серій і трудомісткості деталей розрізняють дрібномасштабне серійне і масштабне виробництво.

Масово—називають таке виробництво, при якому певна продукція виробляється постійно і в дуже великих кількостях.

Виробництво хімічного і нафтового обладнання—одинарне або дрібномасштабне. Вдосконаленню технології побудови апаратів сприяє використання методів серійного і масового виробництва. Незважаючи на різноманітність обладнання, він має безліч нормалізованих і стандартних деталей, наприклад: пластини; фланці; арматура з'єднувальних деталей і трубопроводів; штуцера; днища, апаратів і котлів.

Виходячи з того, що річна програма виробу становить 100 штук, а вага пристрою—9180 кг, ми приймаємо серійний вид виробництва.[5].

Серійний вид виробництва характеризується наступними:

- відносна постійність певної номенклатури виробництва, що виготовляється досить великими партіями
- асортимент виготовлених пристроїв обмежений
- обсяг випуску великий, обробляється партіями;

–стаціонарне обладнання (машини для механічної обробки, преси, роликові стійки, згинальне обладнання, правильні машини для механічного різання) і мобільне (напівавтоматичні машини і автомати для зварювання і різання, пневматичні інструменти, опалювальні прилади, рентгенівські агрегати), розташовані в ході технологічного процесу;

–стандартний ріжучий інструмент, вимірювання спеціального;

–Кваліфікація робітників у цілому може бути середньою, за винятком тих висококваліфікованих спеціалістів, які працюватимуть на машинах з ЧПК та на гнучких автоматизованих лініях.

–ожлива централізація оперативно-виробничого планування і управління виробництвом.

#### 4.2 Розрахунок кількості матеріалу.Визначення припусків обробки, разработка карт раскрою з визначення коефіцієнта використання матеріала

Еліптичне днище

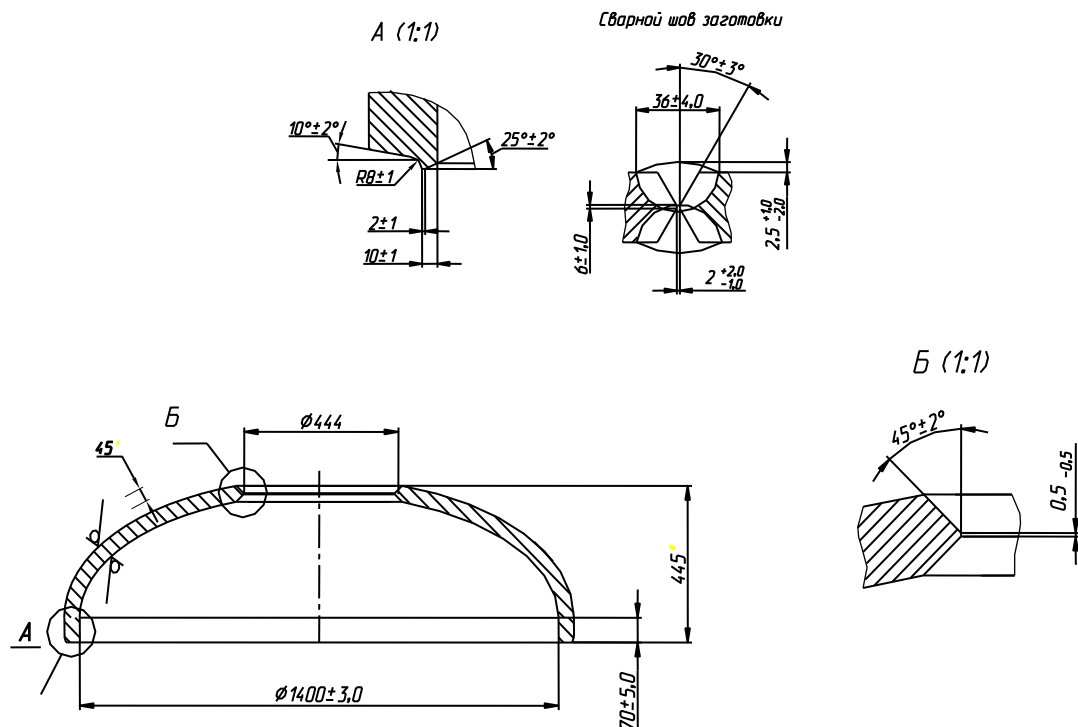


Рисунок 2.1–Ескиз днища

Діаметр розгортки еліптичного днища :

$$D_p = 2 \cdot \sqrt{(D_{BH} + S) \cdot (h_1 + m \cdot \varepsilon_{BH} \cdot (D_{BH} + S))} \quad (4.1)$$

де  $h_1$ —висота отбортованної частини днища,  $h_1 = 70$  мм;

$m$ —коефіцієнт в залежності від відношення  $D_{BH} / h_B = 1400 / 350 = 4$ ,  $m = 0,345$

$\varepsilon_{BH}$ —коефіцієнт, зависящий от отношения  $D_{BH} / S = 1400 / 45 = 31,1$ ,  $\varepsilon_{BH} = 1,012$  [

$$D_p = 2 \cdot \sqrt{(1400 + 45) \cdot (70 + 0,345 \cdot 1,012 \cdot (1400 + 45))} = 1822 \text{ мм};$$

Діаметр заготовки розгортки днища с урахуванням припуску

$$D_3 = D_R + 2Z_n \quad (4.2)$$

де  $2Z_n$ —припуск на механічну обробку

$$2Z_n = (0,02 \div 0,05) D_R \quad (4.3)$$

$$2Z_n = (0,02 \cdot 1822 \dots 0,05 \cdot 1822) = (36,4 \dots 91,1) \text{ мм. Приймаємо } 2Z_n = 70 \text{ мм.}$$

$$D_3 = 1822 + 70 = 1892 \text{ мм};$$

Виходячи із габаритних розмірів заготовки днища, вибираем по ГОСТ19903–74 стандартний лист розміром:  $45 \times 1000 \times 4000$  [6]. Заготовка днища складається із двох рівних частин. На стандартному листі розташовано 2 половини.

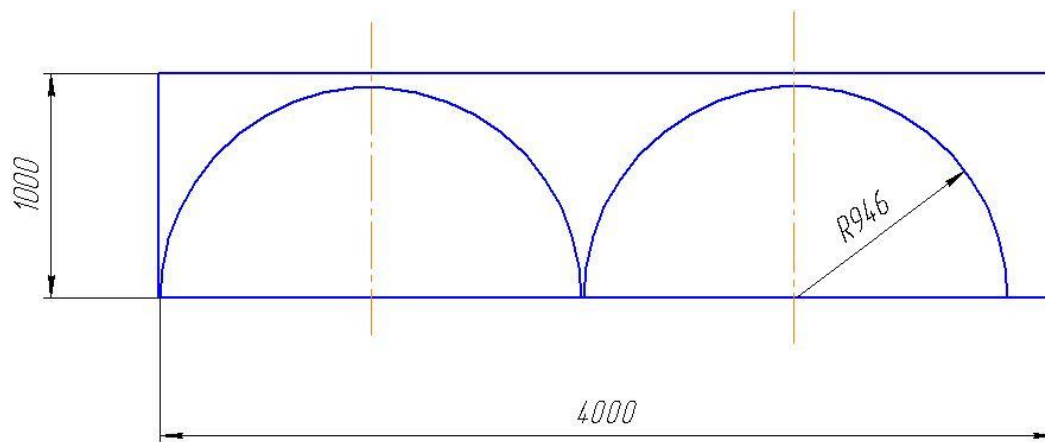


Рисунок.4.2—Ескіз розкрою заготовки днища на листі

Визначаємо коефіцієнт використання матеріалу

$$K_{ум} = \frac{F_3 \cdot n}{F_{Л}} \quad (4.4)$$

де  $F_3$ —площа заготовки,  $F_3 = \pi \cdot R^2 / 2 = 1405018 \text{ мм}^2$ ;

$F_{Л}$ —площа листа,  $F_{Л} = 1000 \cdot 4000 = 4000000 \text{ мм}^2$ ;

n—кількість заготовок на листі, n=2.

$$K_{ум} = \frac{1405018 \cdot 2}{4000000} = 0,7$$

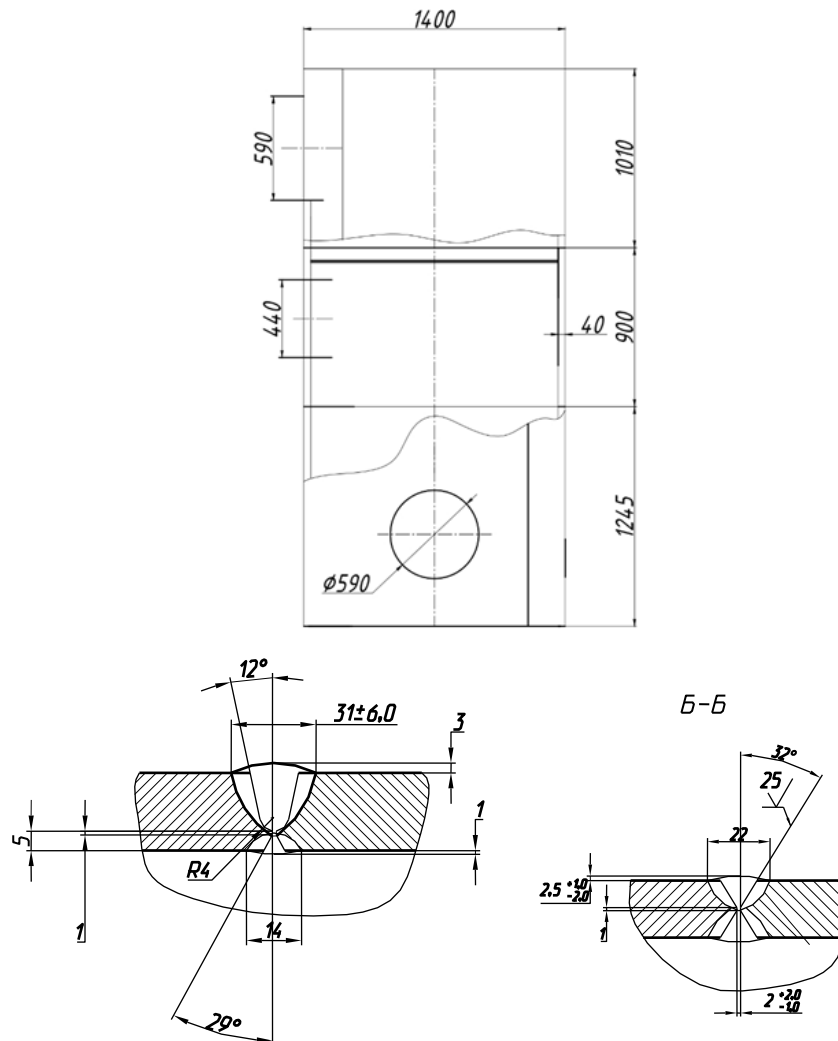


Рисунок 4.3—Ескіз обічайки корпусу

Довжина розгортки обічайки:

$$L_{разв} = \pi \cdot (D_{вн} + S), \quad (4.5)$$

де  $D_{вн}$ —внутрішній діаметр обічайки,  $D_{вн} = 1400$  мм;

$S$  – товщина стінки обічайки,  $S = 40$  мм.

$$L_{разв} = 3,14 \cdot (1400 + 40) = 4522 \text{ мм.}$$

З урахуванням припуску по 5 мм на бік на механічну обробку після різання розмір заготовки дорівнюватиме:  $910 \times 4532$   $1255 \times 4532$  і  $1020 \times 4532$

Виходячи з розмірів заготовки, що розкраюється, по ГОСТ 19903–74 вибираємо стандартний лист розмірами: 40×3200×5000.

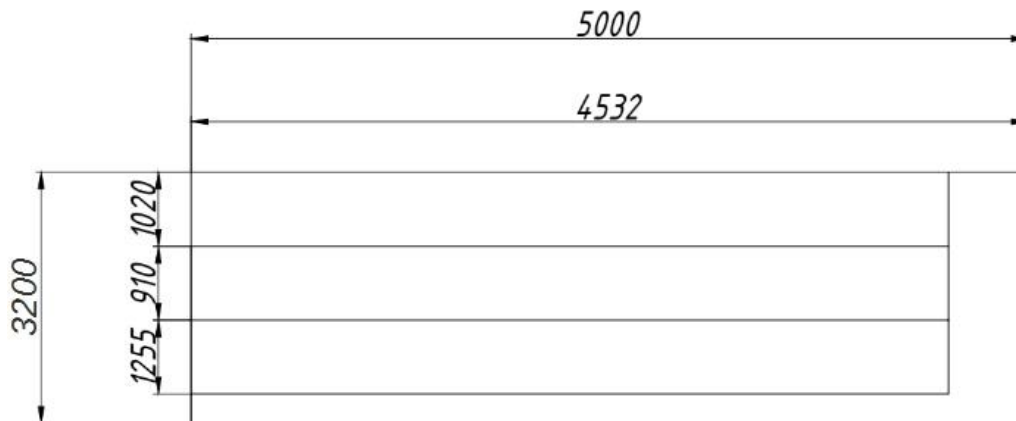


Рисунок 4.4–Ескіз розкрою заготовок обічайки на листі

Коефіцієнт використання матеріалу за формулою (4.4):

$$K_{ум} = \frac{1245 \cdot 4522 + 900 \cdot 4522 + 1010 \cdot 4522}{3200 \cdot 5000} = 0,89$$

### 4.3 Розробка технологічного процесу виготовлення деталей корпусу сепаратора з визначенням оптимальних режимів обробки, зварювання, збирання, визначення норм витрат часу, кількості обладнання, інструментів та пристроїв

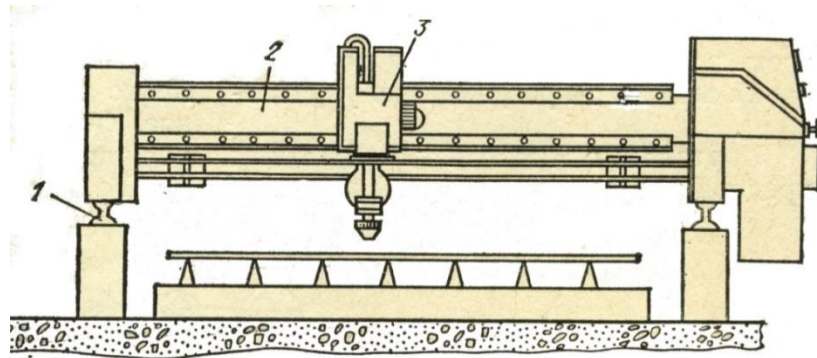
Технологічний процес виготовлення днища верхнього

005 Термічне різання

1. Встановити лист на робочому місці під різання.
2. Різати заготовки за програмою.
3. Прибрати відходи та робоче місце.

Виходячи з габаритів і матеріалу заготовки, що розрізається, вибираємо кисневе термічне різання на стаціонарній машині портального типу Huawei HNC–4000 True Hole HD.





1 – рейковий шлях, 2 – портал, 3 – резак.

Рисунок 4.5–Схема порталної машини для прямолінійної та фігурної кисневої вирізки деталей

Обладнання: стаціонарна машина для термічного різання HNC-4000 True Hole HD

Таблиця 4.1–Технічна характеристика HNC-5000 True Hole HD

Длина колеи	4000 мм
Длина рельса	12000 мм
Максимальная площадь резки	3200×10000 мм
Двигатель	Y axis Panasonic AC сервопривод (2 комплект) X axis Panasonic AC сервопривод (1 комплект)
Макс. скорость передвижения	12000 мм/мин
Номер горелки для плазменной резки	1 комплект
Толщина плазменной резки	6–150 мм
Датчик высоты пламени горелки	Capacitance Auto torch Height sensor (1 комплект)
Скорость плазменной резки	50–800 мм/мин
Параметры сети	220 В ± 10%, 50 / 60 Гц
Плазменная система	3×380 В ± 10%, 50 / 60 Гц

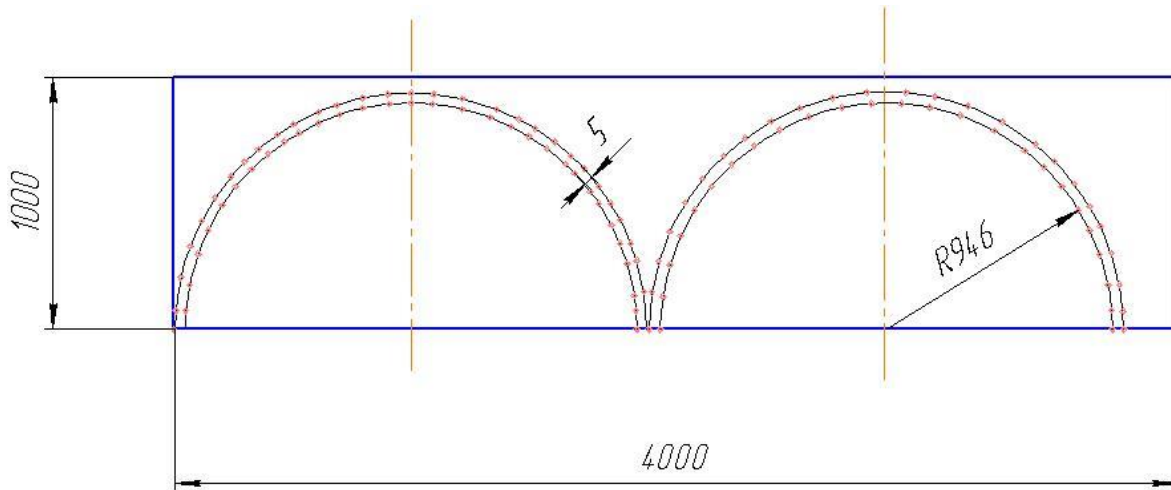


Рисунок 4.6–Ескіз розкрою під термічне різання

Норма штучно–калькуляційного часу на операцію редагування:

$$T_{шк} = T_{ш} + T_{пз}/N \quad (4.6)$$

де  $T_{ш}$ – норма штучного часу,  $T_{ш} = T_{нш} \cdot L + T_{всп}$ ;

$T_{нш}$ – норма неполного штучного времени на фигурную резку от кромки листа,  $T_{нш} = 0,06$  чел/час на 1 пог.м [9] с.44;

$L$ –длина резки,  $L = \pi \cdot D_3$ ;

$T_{всп}$ –норма допоміжного часу на встановлення та перевірку листа, встановлення різаків,  $T_{всп} = 0,15$  чел/час [9] с.44;

$T_{ш} = 0,06 \cdot \pi \cdot 1,892 + 0,15 = 0,506$  чел/час

$T_{пз}$ – норма підготовчо–заключного часу,  $T_{пз} = 19,8$  мин = 0,33 чел/час

$N$ –партія заготовок, що виготовляються за місяць,  $N \approx 10$  шт.

$T_{шк} = 0,506 + 0,33/10 = 0,539$  чел/час

Термічне різання виконує робочий 3–го розряду.

Розцінка відряднища роботи:

$$P_{сд} = C_{ч} \cdot T_{шк} \quad (4.7)$$

де  $C_{ч}$ – годинна тарифна ставка робочого даного розряду, грн;

Для термічного різання:  $P_{сд} = 33,93 \cdot 0,539 = 18,288$  грн

Пристосування та допоміжний інструмент: листозахоплювальні пристосування, скоби.

Ріжучий інструмент: різак.

Вимірювальний інструмент: штангенциркуль ШЦ І-125-0,1 кутомір універсальний, лінійка металева l=1м.

### 010 Кромкостругання

- 1.Подати деталь, встановити, вивірити та закріпити.
- 2.Простругати кромку с х-образним скосом.
- 3.Зняти, відкласти на складське місце.

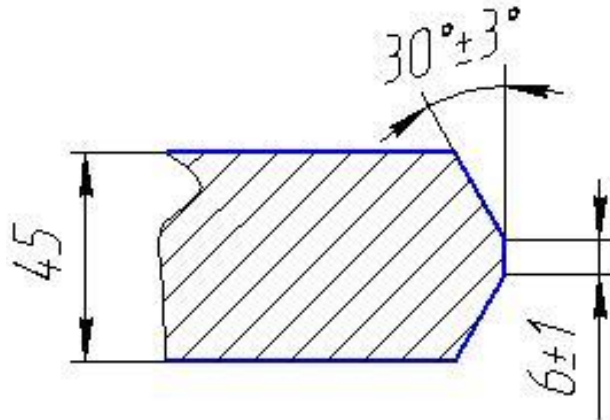


Рисунок 4.7–Ескіз оброблення кромки заготовки днища.

Виходячи з габаритів оброблюваної заготовки, вибираємо кромкостругальний верстат моделі. 7808 [8].

Обладнання: кромкостругальний верстат 7808.

Таблиця 4.2 – Технічна характеристика верстата 7808

Найбільші розміри оброблюваної заготовки, мм	8000×2000×200
Швидкість ходу каретки, м/мин	4–40
Потужність електродвигуна приводу головного руху, кВт	30

$$T_{ш} = T_{уст} + T_{стр} \quad (4.8)$$

де  $T_{уст}$ – норма часу на встановлення та зняття заготовки,  $T_{уст}=0,183$  чел/час

$T_{стр}$ –норма часу на стругання кромки та фасок,  $T_{стр}=0,37$  чел/час

$$T_{ш} = 0,183 + 0,37 = 0,553 \text{ чел/час}$$

$$T_{пз} = 0,4 \text{ чел/час}$$

Норма штучно-калькуляційного часу за формулою (4.6)

$$T_{шк} = 0,553 + 0,4/10 = 0,593 \text{ чел/час}$$

Стругання кромки виконує робітник 3–го розряду.

Розцінку відрядну знаходимо за формулою (4.7):

$$P_{cd}=33,93 \cdot 0,593=20,12 \text{ грн}$$

Ріжучий інструмент: різець стругальний прохідний, матеріал різальної частини Т5К10.

Вимірювальний інструмент: штангенциркуль ШЦ І–125–0,1 шаблони фасонні.

015 Складання частин днища під зварювання

1. Подати частини днища на робоче місце.
2. Поєднати край. Зібрати частини днища під зварювання.
3. Встановити та прихопити дві технологічні планки.

Обладнання: складальна плита.

$$T_{ш} = 0,380 \text{ чел/час [11] с.32.}$$

$$T_{пз} = 0,194 \text{ чел/час [12] с.147.}$$

$$T_{шк}=0,380+0,194/10=5,399 \text{ чел/час.}$$

Різання виконує робочий 3–го розряду.

$$P_{cd}=33,93 \cdot 0,399=13,538 \text{ грн.}$$

Пристосування: листи захватні пристосування, скоби.

Вимірювальний інструмент: лінійка повірочна  $l=1\text{м}$  металева , рулетка металева  $l=5000$  (мм) .

Матеріали: електрод УОНИИ 13/55–4,0

020 Зварювання частин днища

1. Встановити зібрані частини днища на складальну плиту.
2. Виконати двостороннє автоматичне зварювання під шаром флюсу на флюсовій подушці стику.

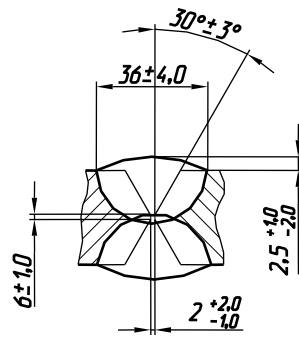


Рисунок 4.9–Ескіз зварного шва днища

Зварювальний струм  $I_{св}=400-800\text{А}$ , приймаємо  $I_{св}=650\text{А}$ , швидкість зварювання  $V_{св}=19-25\text{м/ч}$

Діаметр зварювального дроту:

$$d = 2 \cdot \sqrt{\frac{I_{св}}{i \cdot \pi}}, \quad (4.10)$$

де  $i$  – щільність струму,  $i = 50 \text{ А/мм}^2$ ;

$$d = 2 \cdot \sqrt{\frac{650}{50 \cdot \pi}} = 4,1\text{мм}; \text{ приймаємо } d=5\text{мм}.$$

Виходячи з матеріалу частин, що зварюються, і товщини заготовки вибираємо зварювальний дріт 5св–10НМА, флюс АН–47.

Обладнання: складальна плита, зварювальний трактор ТС–17М

Таблиця 4.3–Технічна характеристика зварювального трактора ТС–17М

Напруга мережі живлення, В	380/220
Номинальний сварочный ток, А	1000
Діаметр дроту, мм	1,6–5,0
Швидкість зварювання, м/ч	16–126

Норма штучного часу:

$$T_{шк} = T_{ни} \cdot L + \frac{T_{пз}}{N}, \quad (4.11)$$

де  $T_{\text{нш}}$  – норма неповного штучного часу на автоматичне зварювання стиків,  
 $T_{\text{нш}}=0,67$  бриг/час на 1 пог.м [13 т.6;

$L$  – довжина шва,  $L=1892\text{мм}=1,892\text{м}$ .

$T_{\text{пз}}$  – норма підготовчо–заключного часу,  $T_{\text{пз}}=0,4$  бриг/час.

$T_{\text{шк}}=0,67 \cdot 1,892+0,4/10=1,308$  бриг/час

Зварювання виконують два робітники 2–го и 4–го разрядов.

$P_{\text{сд1}}=1,308 \cdot 27,64=36,153$  грн.

$P_{\text{сд2}}=1,308 \cdot 37,70=49,311$  грн.

Пристосування: листозахоплювальні пристрої, скоби, ємності для флюсу, щітка волосяна.

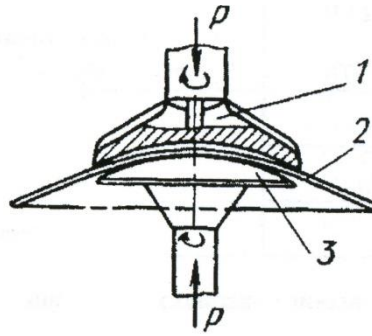
Ріжучий інструмент: зубила та молоток слюсарні, щітка металева, тавра.

Вимірювальний інструмент: лінійка повірочна  $l=1000$  (мм) металева, рулетка металева  $l=5000$  (мм),

вимірники та шаблони для швів, лупа складана 10–кратная.

#### 025 Вибивання днища

1. Завантажити заготовку в піч. Нагріти до  $t=1050^{\circ}\text{C} \dots 1100^{\circ}\text{C}$ . Вийняти заготівлю.
2. Застропити заготівлю, подати на прес.
3. Зробити вибивку сфери в кілька прийомів.
4. Перевірити радіус за шаблоном.
5. Застропити заготовку днища струбцинами, зняти з преса.
6. Калібрувати днище після термообробки.
7. Перевірити радіус сфери.



1–матрица, 2–заготовка, 3–пуансон

Рисунок 4.10–Вибивання сфери заготівлі днища

Обладнання: прес–автомат

$$T_{ш}=6,63 \text{ чел/час}$$

$$T_{пв}=0,135 \text{ чел/час}$$

$$T_{шк}=6,63+0,135/10=6,644 \text{ чел/час.}$$

Выбивку сфери виконує робочий 5–го разряду.

$$P_{сд}=42,27 \cdot 6,644=280,841 \text{ грн}$$

Пристосування та допоміжний інструмент: човнові пристосування, струбцини, болти з гайками, штампи, ключі.

Вимірвальний інструмент: теодоліт, шаблони для контролю профілю, рулетка металева  $l=5000$  (мм) .

030 Фланжування борту днища

1. Перекантувати сферу нагору. Намітити центр днища.
2. З використанням спецоснастки встановити необхідні затискачі пінолей та необхідний формувальний ролик.
3. Встановити заготівлю, обкатати борт днища на кілька прийомів..
4. Застропити днище спеціальними захватами, складувати, маркувати номер днища.

Обладнання: фланжувальна машина для гарячої обкатки борту днища

Таблиця 4.4–Технічна характеристика фланжувальної машини

Діаметр днища, мм	1400–4000
Товщина стінки заготовки, мм	18–120
Швидкість обертання шпинделя з пуансоном, об/мин	32–81
Потужність, кВт: –Головного приводу, –механізму переміщення опорного ролика, –механізму переміщення тискового ролика у напрямакхгоризонтальному вертикальному круговому	184 18,5 18,5 7,5 18,5
Габаритні розміри (довжина х ширина х висота),мм	16750x12400x12620
Висота над підлогою, мм	9000
Маса, т	120

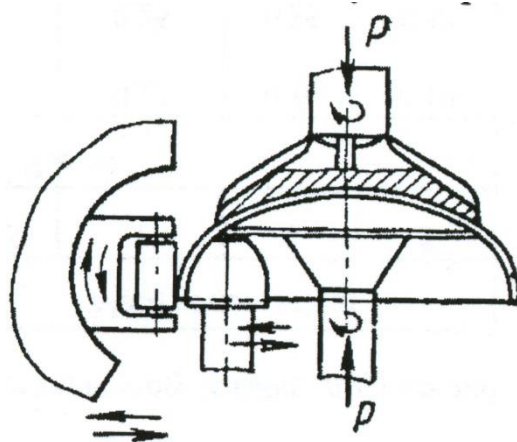


Рисунок 4.11–Фланжування борту днища

$$T_{ш}=7,50 \text{ чел/час}$$

$$T_{пз} = 0,134 \text{ чел/час}$$

$$T_{шк}=7,50+0,134/10=7,513 \text{ чел/час}$$



Фланжування виконують двоє робітників 3-го и 5-го разрядов.

$$P_{\text{сд}} = \frac{33,93 + 42,72}{2} \cdot 7,513 = 287,935 \text{ грн}$$

Пристосування та допоміжний інструмент: човникові пристрої, маніпулятор, стелажі.

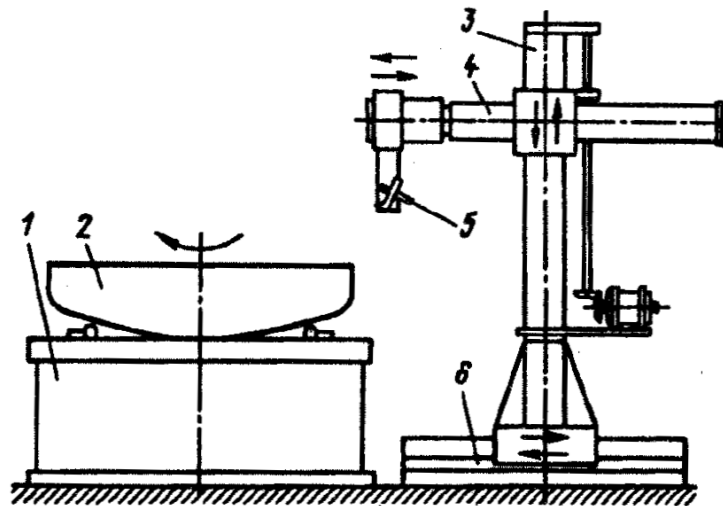
Ріжучий інструмент: набір роликів.

Вимірювальний інструмент: нутроміри трубчасті, днищемір, теодоліт, шаблони для контролю профілю, рулетка металева  $l=5000$  (мм) .

### 035 Підрізання торця днища

1. Встановити днище на маніпуляторі краном.
2. Виставити днище. Намітити борт по висоті.
3. Обрізати в міру.
4. Зняти днище та відкласти на складкове місце

Обладнання: спеціальний маніпулятор карусельного типу для термічного різання.



- 1–станок, 2– заготівля днища, 3–колона,  
4– висувна штанга, 5–блок різаків, 6–салазки

Рисунок 4.12–Установка карусельного типу для газового обрізання кромки днища

$$T_{\text{ш}} = 0,73 \text{ чел/час}$$

$$T_{\text{пз}} = 0,33 \text{ чел/час}$$

Норма штучно–калькуляційного часу за формулою (4.6):

$$T_{шк} = 0,73 + 0,33/10 = 0,763 \text{ чел/час.}$$

Різання виконує один робочий 3–го розряду.

Розцінку відрядну знаходимо за формулою (4.7):

$$P_{сд} = 33,93 \cdot 0,763 = 25,888 \text{ грн;}$$

Пристосування та допоміжний інструмент: човникові пристрої, пневмошліфувальна машинка, молоток.

Ріжучий інструмент: різак, зубило, абразивне коло

Вимірювальний інструмент: лінійка повірочна  $l=1000$  мм, металева, рулетка металева  $l = 5000$  мм, нутромір трубчастий.

040 Розмітка отворів на днищі

- 1.Покласти днище у робоче положення опуклою частиною вгору.
- 2.Розмітити центр отвору та накернити.
- 3.Нанести циркулем контур отвору, окернити його.
- 4.Заштрихувати місця вирізу крейдою.

Обладнання: установка для розмітки, вирізування отворів та виставки штуцерів.

Норма штучно–калькуляційного часу за формулою (4.6):

$$T_{ш} = 0,067 \text{ чел/час}$$

$$T_{пз} = 0,49 \text{ чел/час}$$

$$T_{шк} = 0,067 + \frac{0,49}{10} = 0,116 \text{ чел / час}$$

Розмітку виконують два робітники 3–го и 5–го разрядов.

Розцінку відрядну знаходимо за формулою (4.7):

$$P_{сд} = \frac{8,21 + 10,34}{2} \cdot 0,116 = 4,445 \text{ грн}$$

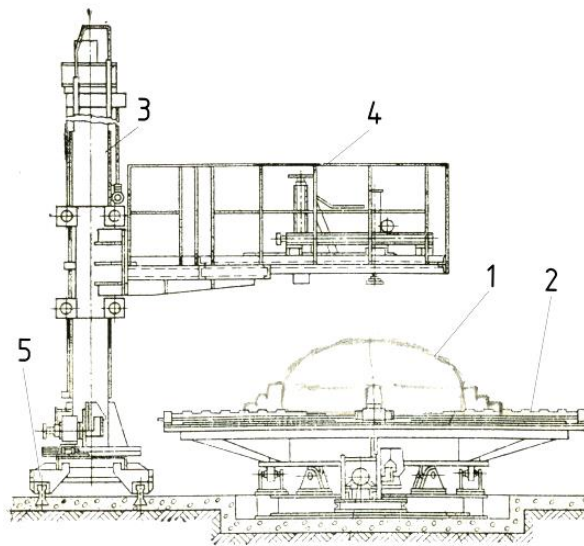
Пристосування та допоміжний інструмент: човникові пристосування, молоток.

Ріжучий інструмент: циркуль розмічувальний, креслилка, кернер, набір крейди.

Вимірювальний інструмент: лінійка повірочна  $l=1000$  мм, металлическая, рулетка металлическая  $l=5000$  мм, шаблоны профильные, угломер.

#### 045 Газо–кисневе різання отворів

1. Підключити газорізальне обладнання до магістралі
2. Обвести лінії різання крейдою
3. Вирізати отвори за розміткою
4. Зняти фаск



1–заготовка, 2–поворотний стол, 3–колонна,  
4–балкон, 5– візок.

Рисунок 4.13–Установка для розмітки та вирізування отворів.

Обладнання: установка для розмітки, вирізування отворів та виставки штуцерів.

Норма штучно–калькуляційного часу за формулою (4.6):

$$T_{ш} = 0,082 \cdot \pi \cdot 0,444 + 0,15 = 0,264 \text{ чел/час}$$

$$T_{пз} = 0,33 \text{ чел/час [10] с.103.}$$

$$T_{шк} = 0,264 + \frac{0,33}{10} = 0,297 \text{ чел/час.}$$

Різання виконує один робітник 3 розряду.

Розцінку відрядну знаходимо за формулою (4.7):

$$P_{сд} = 33,93 \cdot 0,297 = 9,916 \text{ грн.}$$

Пристосування та допоміжний інструмент: човнові пристосування, скоби.

Ріжучий інструмент: різак.

Вимірювальний інструмент: штангенциркуль ШЦ І-125-0,1 линейка металлическая l=1м.

Таблица 2.5– Технологічний процес виготовлення днища

Зміст операції	По проекту			По заводу		
	Розряд	T <sub>шк</sub> , чел/час	P <sub>сд</sub> , грн	Розряд	T <sub>шк</sub> , чел/час	P <sub>сд</sub> , грн
Термічне різання	3	0,539	18,288	3	0,567	19,238
Кромкостругання	3	0,593	20,12	3	0,624	21,172
Складання частин днища під зварювання	3	0,399	13,538	3	0,420	14,25
Зварювання частин	2	1,308	36,153	2	1,377	38,06
	4	1,308	49,311	4	1,377	51,912
Вибивання сфери	5	6,644	280,841	5	6,994	298,783
Фланжування борту днища	3 и 5	7,513	287,935	3 и 5	7,908	303,074
Підрізання торця днища	3	0,763	25,888	3	0,803	27,245
Розмітка отворів на днищі	3 и 5	0,116	4,445	3 и 5	0,122	4,675
Газо-кисневе різання отворів	3	0,297	9,916	3	0,313	10,62
Усього:	–	19,480	746,435	–	20,505	789,029

Коефіцієнт посилення норм:

$$K_y = \frac{\sum_{i=1}^n T_{шк}^{np}}{\sum_{i=1}^n T_{шк}^{зав}} \quad (4.12)$$

де  $\sum T_{шк}^{np}$  і  $\sum T_{шк}^{зав}$  – сумарна трудомісткість виготовлення обичайки за проектом та заводом відповіднище.

$$K_y = \frac{19,480}{20,205} = 0,95$$

Технологічний процес виготовлення обичайки

Технологічний процес виготовлення обичайки корпусу зводимо до таблиці 4.2.

Таблиця 4.6 – Технологічний процес виготовлення обичайки

Зміст операції	По проекту			По заводу		
	Ро зр яд	T <sub>шк</sub> , чел/час	P <sub>сд</sub> , грн	Ро зр яд	T <sub>шк</sub> , чел/час	P <sub>сд</sub> , грн
Термічне різання	3	1,068	36,237	3	1,125	38,172
Кромкостругання	3	4,196	142,37	3	4,417	149,868
Вальцівка	2 и 4	1,180	38,55	2 и 4	1,242	40,576
Складання поздовжнього стику	3 и 4	1,63	58,378	3 и 4	1,716	61,458

Зварювання поздовжнього стику	2	1,837	50,774	2	1,934	53,455
	4	1,837	69,254	4	1,934	72,911
Калібровка	2	0,944	30,84	2	0,994	32,473
	и 4			и 4		
Складання кільцевого стику	4	0,750	28,275	4	0,789	29,745
Зварювання кільцевого стику	4	3,226	121,62	4	3,396	128,029
	2	2,478	68,491	2	2,608	72,085
	5	2,478	104,74	5	2,608	110,24
Розмітка отворів	3	0,418	14,099	3	0,440	14,841
Вирізка отворів	3	0,409	13,795	3	0,431	14,537
Усього:	–	22,451	777,423	–	23,634	818,39

#### 4.4 Методика експериментальної оцінки конструювання та робочих параметрів сепаратору

Експериментальні випробування та перевірка працездатності

Існує ряд основних експериментальних випробувань та перевірок параметрів та характеристики сепараторів

Методики Експериментальної Оцінки

##### 1. Лабораторні випробування

- **Моделльні дослідження:** використання масштабованих моделей сепараторів для проведення попередніх випробувань, що дозволяють знизити витрати. Наприклад, створення прототипів та мініатюрних моделей, що повторюють конструкцію та робочі умови реального сепаратора. Такі моделі дозволяють швидко та економічно тестувати різні варіанти конструкції, оцінювати їх ефективність та знаходити оптимальні рішення для подальшого впровадження.

- Контрольовані умови: проведення випробувань у лабораторії з контрольованими параметрами, такими як тиск, температура та склад суміші. Використання спеціалізованого лабораторного обладнання для точного вимірювання параметрів. Лабораторні випробування дозволяють детально вивчити вплив різних факторів на роботу сепаратора та розробити рекомендації щодо покращення його конструкції та експлуатації.

## 2. Польові випробування

- Реальні умови експлуатації: проведення випробувань безпосередньо на об'єкті, що дозволяє оцінити ефективність сепаратора в реальних умовах. Врахування впливу зовнішніх факторів, таких як кліматичні умови та специфіка робочих середовищ. Польові випробування дають можливість отримати реальні дані про роботу сепаратора в умовах експлуатації, що дозволяє зробити більш точні висновки про його ефективність та надійність.
- Тривале тестування: Оцінка продуктивності та надійності сепаратора протягом тривалого періоду експлуатації. Моніторинг змін характеристик у часі для виявлення можливих деградацій. Тривалі випробування дозволяють визначити довговічність компонентів сепаратора та оцінити їх здатність витримувати тривалі навантаження без зниження ефективності.

## 3. Методи аналізу продуктивності

- Вимірювання дебіту: оцінка обсягу обробленої суміші на виході сепаратора за допомогою витратомірів. Використання різних типів витратомірів, таких як ультразвукові, електромагнітні або механічні. Вимірювання дебіту дозволяє точно оцінити продуктивність сепаратора та визначити оптимальні режими його роботи.
- Аналіз компонентного складу: визначення концентрації компонентів у вихідних потоках за допомогою хімічних та фізичних методів. Наприклад, спектроскопія, хроматографія та інші методи аналізу

складу. Аналіз компонентного складу дозволяє визначити ефективність розділення суміші та виявити можливі недоліки в роботі сепаратора.

#### 4. Методи оцінки гідравлічних втрат

- Вимірювання тиску: встановлення манометрів на вході та виході сепаратора для визначення падіння тиску. Регулярний моніторинг та запис даних для подальшого аналізу. Вимірювання тиску дозволяє оцінити гідравлічні втрати та визначити енерговитрати на процес сепарації.
- Розрахунок гідравлічних характеристик: використання теоретичних моделей для оцінки енерговитрат. Застосування методів числового моделювання та комп'ютерної гідродинаміки (CFD) для більш точних розрахунків. Розрахунок гідравлічних характеристик дозволяє оптимізувати конструкцію сепаратора та знизити енерговитрати на його роботу.

#### 5. Методи оцінки стійкості конструкції

- Статичні випробування: застосування навантажень до конструкції сепаратора для визначення його міцності. Використання методів розрахункової механіки для оцінки напружень та деформацій. Статичні випробування дозволяють визначити максимально допустимі навантаження на конструкцію сепаратора та забезпечити його безпечну експлуатацію.
- Динамічні випробування: імітація робочих умов, включаючи вібраційні та ударні навантаження. Використання випробувальних стендів, що відтворюють динамічні навантаження, характерні для реальної експлуатації. Динамічні випробування дозволяють оцінити стійкість сепаратора до коливань та ударів, що можуть виникати під час роботи.

#### 6. Методи оцінки тривалості роботи



- Прискорені випробування на знос: проведення тестів у прискореному режимі для оцінки довговічності компонентів сепаратора. Використання методів штучного старіння для моделювання тривалих експлуатаційних умов. Прискорені випробування дозволяють швидко оцінити довговічність сепаратора та виявити слабкі місця його конструкції.
- Моніторинг стану: використання датчиків та систем моніторингу для контролю стану сепаратора. Збір даних про вібрації, температуру, тиск та інші параметри для аналізу стану і прогнозування можливих відмов. Моніторинг стану дозволяє вчасно виявляти проблеми та проводити профілактичні заходи для підвищення надійності сепаратора.

#### Приклади застосування методик

##### 1. Центрифужні сепаратори

- Лабораторні випробування: для оцінки ефективності розділення нафти і води проводяться лабораторні випробування на моделях, що повторюють конструкцію реальних сепараторів. Визначаються оптимальні параметри роботи, такі як швидкість обертання, температура та тиск, що дозволяють досягти максимальної ефективності розділення.
- Польові випробування: на нафтових родовищах проводяться польові випробування центрифужних сепараторів для оцінки їх продуктивності та надійності в реальних умовах. Враховуються зовнішні фактори, такі як кліматичні умови, склад суміші та специфіка експлуатації. Дані, отримані під час польових випробувань, дозволяють вдосконалювати конструкцію сепараторів та оптимізувати їх роботу.

##### 2. Циклонні сепаратори

- Модельні дослідження: для визначення оптимальних параметрів конструкції циклонних сепараторів проводяться модельні

дослідження. Створюються прототипи, що дозволяють оцінити вплив різних факторів на ефективність розділення та гідравлічні втрати. Використання CFD–моделювання дозволяє детально аналізувати потік всередині сепаратора та знаходити оптимальні рішення для зниження гідравлічних втрат.

- Тестування на цементних заводах: циклонні сепаратори широко використовуються на цементних заводах для очищення газів від пилу. Польові випробування проводяться безпосередньо на заводах для оцінки ефективності сепараторів у реальних умовах. Враховуються специфічні умови експлуатації, такі як висока температура та великий обсяг оброблюваного газу. Дані, отримані під час випробувань, дозволяють вдосконалювати конструкцію сепараторів та підвищувати їх ефективність.

#### **4.5 Процес тестування та метод оцінки**

Проводим зміцнення корпусу шляхом пересування жорсткої групи конструктивних елементів між патрубками. У стандартної моделі відстань між решітками мультициклону 750мм , відстань між патрубками 315мм . Відстань від низу верхньої решітки до вершини патрубка становить 90мм а , а від вершини нижньої решітки до низу патрубка 210 мм. Для отримання більш вигідної конструкції розглядаємо 5 варіантів. У яких решітка буде розмішені за наступними даними : 1 вид–відстань 90мм від низу верхньої решітки до вершини патрубка 210 мм від верху нижньої решітки до низу патрубка . 2 вид–відстань 30мм від низу верхньої решітки до вершини патрубка .270 мм від верху нижньої решітки до низу патрубка .3–вид відстань 150 мм від низу верхньої решітки до вершини патрубка .150мм від верху нижньої решітки до низу патрубка 4 вид–відстань 210мм від низу верхньої решітки до вершини патрубка .90 мм від верху нижньої решітки до низу патрубка 5 вид–відстань 270мм від низу верхньої решітки до вершини патрубка 30 мм від верху нижньої решітки до низу патрубка.

Проводимо аналізу напружень як описано в 3 пункті

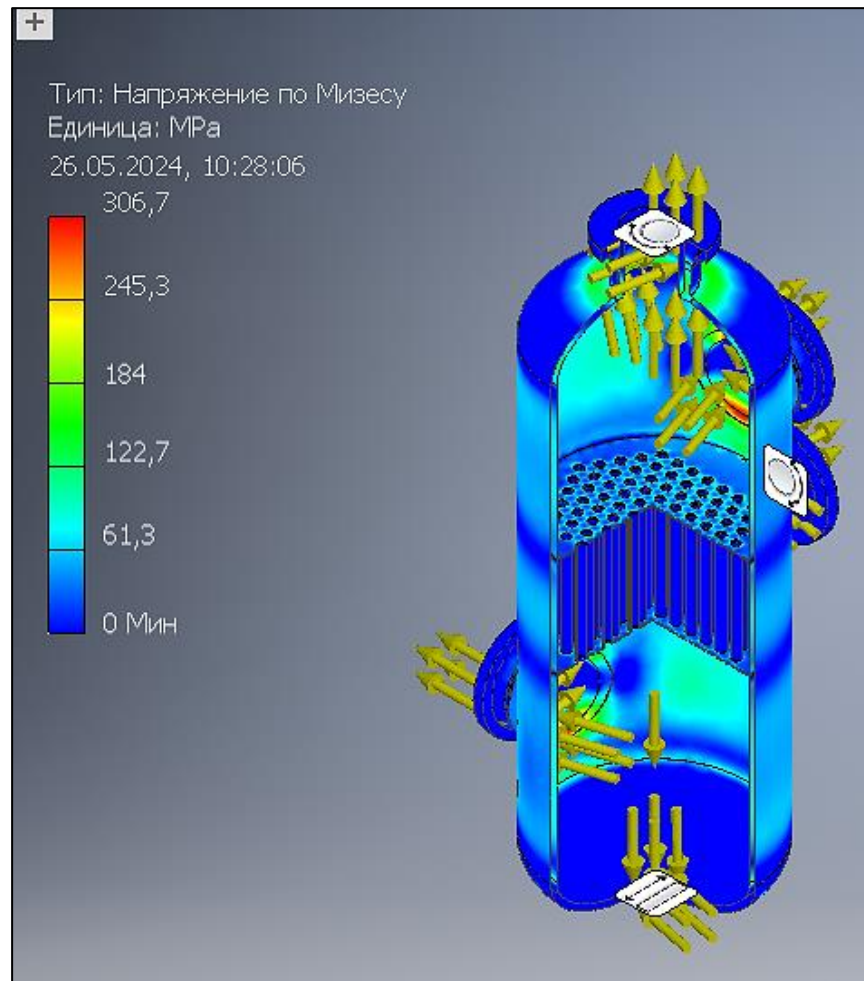


Рисунок 4.1–Симулятивні еквівалентні напруження за IV теорією міцності для варіанта 1 (для неоптимізованої конструкції , для зміщеної вверху на 90мм жорсткої групи), МПа

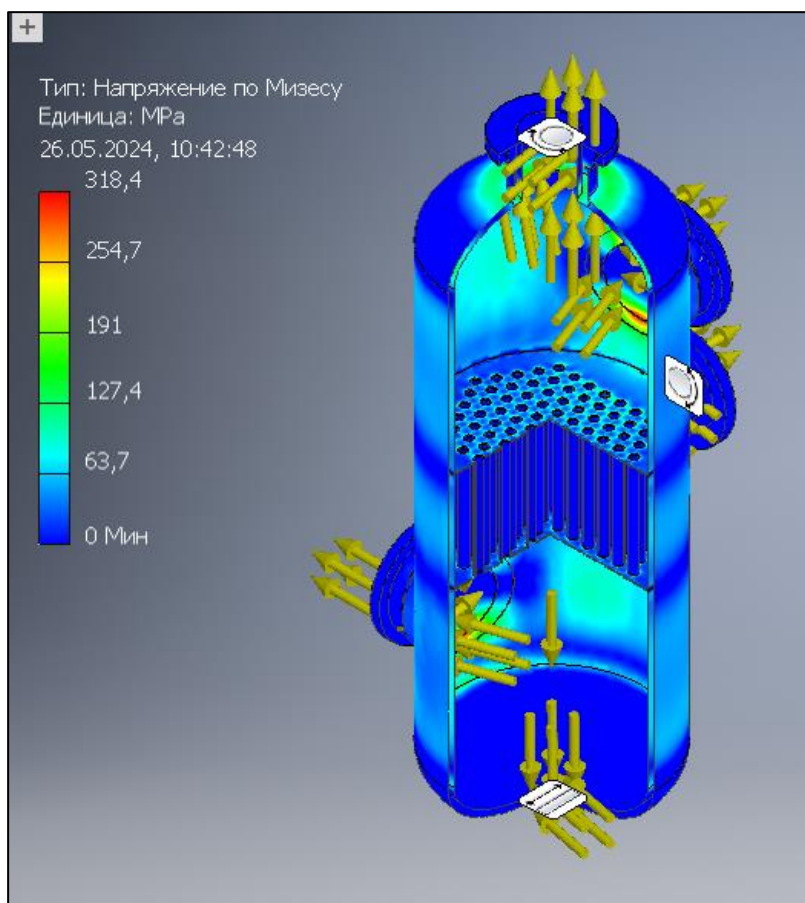


Рисунок 4.2—Скінчено елементна модель варіанта 2

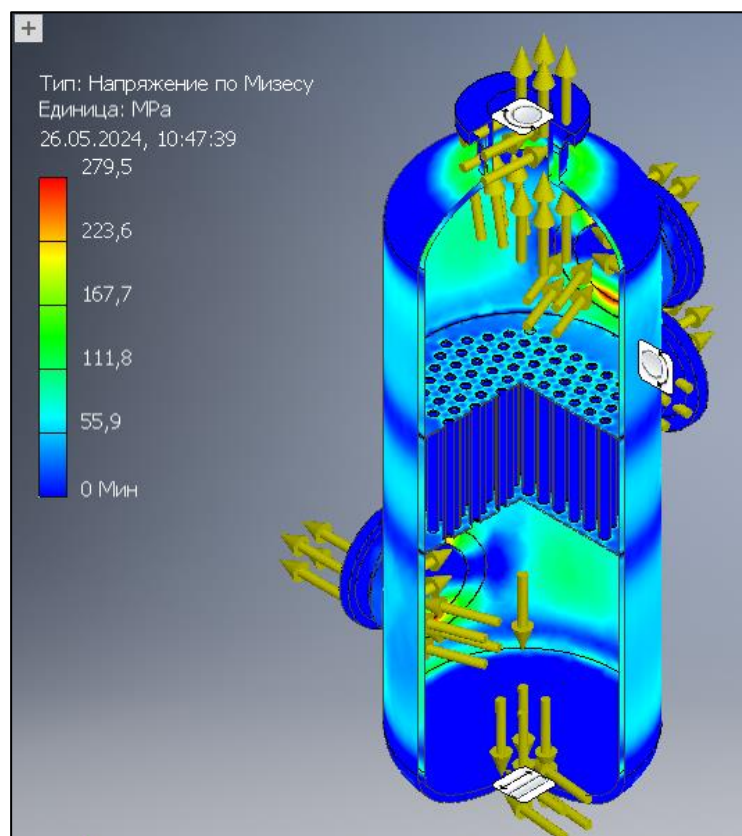


Рисунок 4.3—Скінчено елементна модель варіанта 3

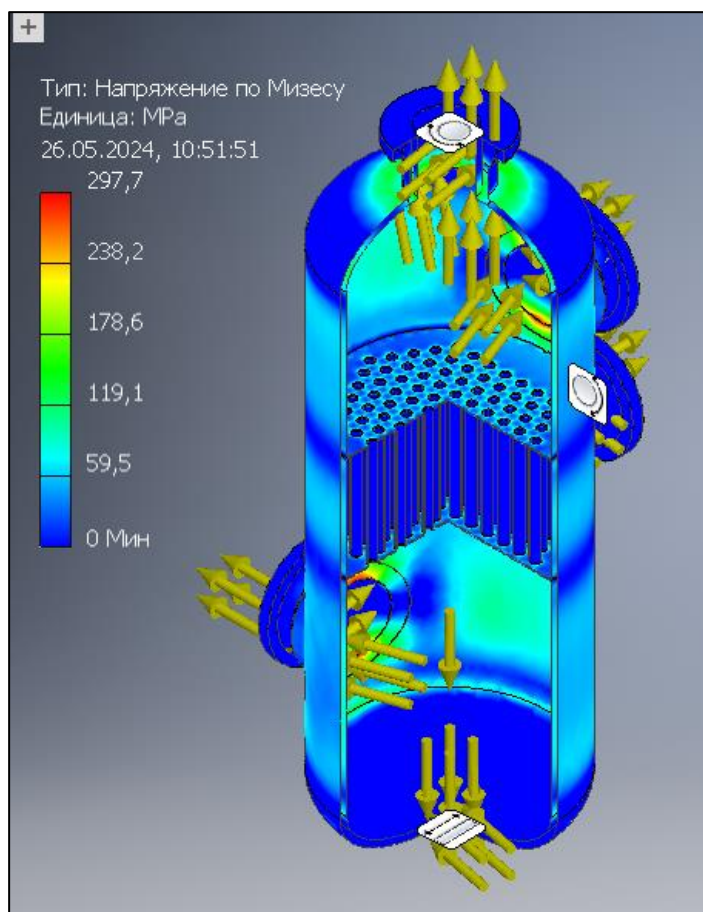


Рисунок 4.4— Скінчено елементна модель варіанта 4

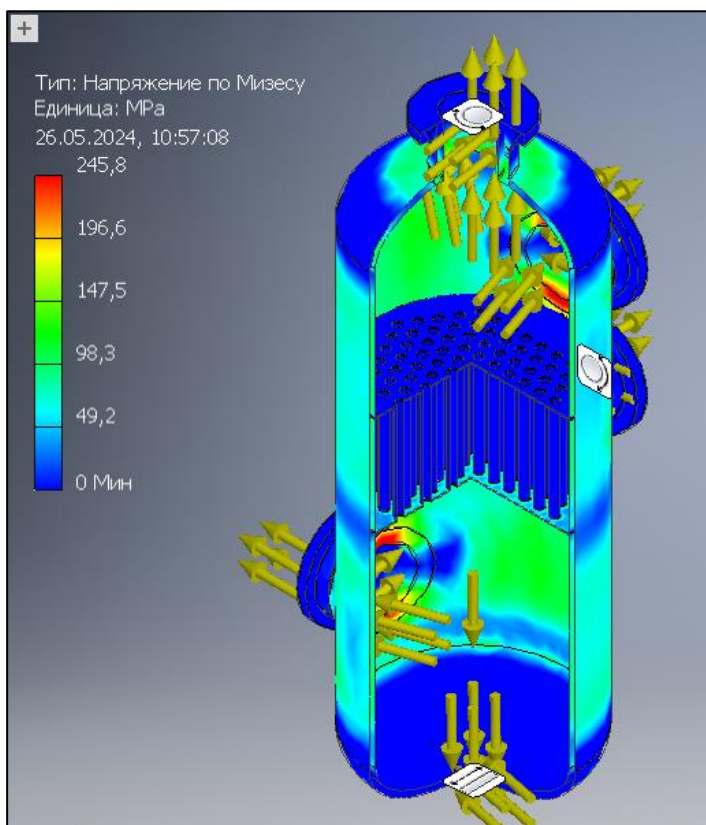


Рисунок 4.5— Скінчено елементна модель варіанта 5

Щоб обрати найбільш оптимальний варіант треба провести перевірочний розрахунок на номінальні допустимі напруження

Номінальні допустимі напруження визначають за характеристиками матеріалу при розрахунковій температурі.

Номінальні допустимі напруження для елементів з розрахунковою температурою, рівною або нижче її, розраховують за межею текучості і тимчасовим опором.

Для елементів з розрахунковою температурою вище температури номінальні допустимі напруження розраховують за межею текучості, тимчасовим опором і межею тривалої міцності.

Номінальне допустиме напруження для елементів обладнання і трубопроводів, навантажених тиском, приймають мінімальним із наступних значень:

$$[\sigma] = \min\{R_m^T/m_n; R_{p\ 0.2}^T/n_{0.2}; R_{mT}^T/n_{mT}\}$$

Для елементів обладнання і трубопроводів, навантажених внутрішнім тиском:

$$m_m = 2.6; n_{0.2} = 1.5; n_{mT} = 1.5.$$

$$\frac{432}{2.6} = 166,154 \text{ МПа}; \quad \frac{432}{1.5} = 156,67 \text{ МПа}; \quad 156,67 \cdot 1,6 = 250,672 \text{ МПа}$$

Співставивши результати бачимо що варіант 5 є найкращим, оскільки напруження по Мізесу становлять 245,8 МПа, що відповідає номінального допустимого напруження 250,672 МПа

Змінення є ефективними і відповідають міжнародним нормам.

#### **Висновок для розділу 4: Технологічна частина**

У технологічній частині дослідження розглянуто вид виробництва та його характеристики, проведено розрахунки матеріалу і припусків обробки, розроблено технологічний процес виготовлення деталей корпусу сепаратора. Експериментальні дослідження підтвердили теоретичні висновки щодо покращення характеристик сепаратора. Застосування розроблених методик числового експерименту та оптимізації конструкції дозволяє значно підвищити надійність і безпеку експлуатації газових систем, зменшити витрати на технічне

обслуговування та ремонти, а також покращити екологічні показники завдяки більш ефективному очищенню природного газу.

### **Висновок**

Методи оцінки тривалості роботи, такі як прискорені випробування на знос і моніторинг стану, забезпечують виявлення слабких місць конструкції та підвищення надійності сепаратора. Дослідження показали, що запропоновані зміни у конструкції та матеріалах сепаратора суттєво впливають на його експлуатаційні характеристики. Результати числового моделювання підтвердили, що нові конструктивні рішення дозволяють знизити напруження в критичних зонах корпусу сепаратора, що підвищує його загальну міцність і довговічність.

Застосування методу скінченних елементів для моделювання напружено-деформованого стану оболонкових конструкцій дозволило виявити оптимальні параметри для зменшення впливу зовнішніх навантажень. Результати симуляції підтвердили ефективність використання інноваційних матеріалів і нових конструкційних підходів. В ході експериментальних досліджень були підтверджені теоретичні висновки щодо покращення характеристик сепаратора.

Практичне значення результатів полягає в тому, що розроблені методики числового експерименту та оптимізації конструкції можуть бути застосовані у виробничих умовах. Це дозволить значно підвищити надійність і безпеку експлуатації газових систем, зменшити витрати на технічне обслуговування та ремонти, а також покращити екологічні показники за рахунок більш ефективного очищення природного газу.

## Література

1. American Petroleum Institute Spec. Specifications for oil and gas separators. 7th ed.; October 1989.
2. American Petroleum Institute, RP 521. Guide for pressure relieving and depressuring systems. 4th ed.; March 1997. p. 64.
3. American Petroleum Institute. Manual on disposal of refinery wastes. 6th ed., vol. 1; 1959. 18–20, and private industry data.
4. API (American Petroleum Institute) API RP 521. Guide for pressure-relieving and depressuring systems. 2nd ed; 1982.
5. API (American Petroleum Institute) API Spec. 12J. Specification for oil and gas separators. 7th ed.; October 1989.
6. API. Glossary of terms used in petroleum refining. 2nd ed; 1962.
7. Bahadori A, Mokhatab S. Optimizing multistage separators pressure set points maximizes oil recovery. *World Oil* 2007;228(6):101–5.
8. Bahadori A, Mokhatab S. Simple methodology predicts optimum pressures of multistage separators. *Pet Sci Technol* 2009;27(3):315–24.
9. Bahadori A, Vuthaluru HB, Mokhatab S. Optimizing separators pressures in the multistage crude oil production unit. *Asia–Pac J Chem Eng* 2008;3(4):380–6.
10. BSI (British Standards Institution) BS 5500 Cat. 1 & 2.
11. Dickey GD. Filtration. New York: Reinhold Publishing Corporation; 1981.
12. Fabian P, Cusack R, Hennessey P, Newman M. Demystifying the selection of mist eliminators. Part I. *Chem Eng*; November 1993.
13. Fewel Jr KJ, Kean JA. Computer modelling and separator retrofit. *Oil Gas J*; July 6, 1992:76–80.
14. Fewel Jr KJ, Kean JA. Vane separators in gas/liquid separation. *Pipeline Eng*; 1992:46.
15. Gerunda A. How to size liquid–vapor separators. *Chem Eng* May 4, 1981;91(7):81–4.
16. Heinze AJ. Pressure vessel design for process engineers. *Hydrocarb Process*; May 1979:181–91.
17. Hreiz R, Laine´ R, Wu J, Lemaitre C, Gentric C, Fuñfschilling D. On the effect of the nozzle design on the performances of gas–liquid cylindrical cyclone separators. *Int J Multiph Flow* 2014;58:15–26.
18. MPS (moving particle simulation). In: Proceedings of the international offshore and polar engineering conference; 2013. pp. 366–71.
19. Ludwig EE. Applied process design for chemical and petrochemical plants, vol. 1. Houston (TX): Gulf Publishing Co; 1964. p. 126–159.
20. Mahsakazemi. Optimization of oil and gas multi stage separators pressure to increase stock tank oil. *Orient J Chem* 2011;27(4):1503–8.
21. Mott Jr S, Brown GG. Design of fractionating columns deentrainment and capacity. *Ind Eng Chem* January 1934; 265(1):98.
22. Pearce RL, Arnold JL. Glycol–hydrocarbon separation variables. In: Proceedings gas conditioning conference. University of Okalahoma; 1964.



23. Perry JH, editor. Chemical engineers' handbook. 3rd ed. New York: McGraw-Hill; 1950. pp. 1013–50. Section 15 dust and mist collection by Lapple CE.
24. ДСТУ 7237:2011 "Охорона праці. Електростатичні поля. Допустимі рівні на робочих місцях та вимоги до проведення контролю".
25. Perry Jr D. What you should know about filters. Hydrocarb Process April 1966;45(4):145–8.
26. Perry RH, editor. Chemical engineers' handbook. 3rd ed. McGraw-Hill Book Company; 1950. p. 1019.
27. Perry RH, editor. Chemical engineers' handbook. 5th ed. McGraw-Hill Book Company; 1973 [Chapter 5], p. 5–61–65.
28. Powers ML. Analysis of gravity separation in free-water knockouts. In: SPE 18205, 63rd annual technical conference; October 1988. Houston, TX.
29. Reid LS. Sizing vapor liquid separators. In: Proceedings gas conditioning conference. University of Oklahoma; 1980. p. J–1–J–13.
30. Schweitzer PA. Handbook of separation techniques for chemical engineers. McGraw-Hill; 1979.
31. ДСТУ Б В.1.1–36:2016 "Будівельна техніка і технологія. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги
32. ДСТУ Б В.2.5–29:2006 "Трубопроводи сталеві магістральні. Загальні вимоги до проектування, виготовлення, монтажу, приймання та експлуатації".
33. ДСТУ Б В.2.6–193:2013 "Конструкції будинків і споруд. Контроль якості зварних з'єднань сталевих будівельних конструкцій. Основні положення".
34. ДСТУ 7809:2015