

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Інститут аерокосмічних систем
Кафедра авіа- та ракетобудування**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ *Володимир КАБАНЯЧИЙ*

«___» _____ 20__ р.

**Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Літаки та вертольоти»
спеціальності 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка» на тему:
«Вхідна частина аеродинамічної труби»**

Виконав :

студент IV курсу, групи ВЛ-72

Довгань Олександр Андрійович

Керівник:

старший викладач кафедри АРБ

Борисов Віктор Васильович

Рецензент:

Асистент

Предаченко Костянтин Олегович

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

Студент (-ка) _____

Київ – 2021 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення			Найменування	Кількість Аркушів	Примітка
1	A4				Завдання на дипломний проект	1	
2	A4	ВЛ7203.10.00.00.00 ПЗ			Пояснювальна записка	46	
3	A1	ВЛ7203.10.00.00.00 ВЗ			Аналіз аналогів та визначення конструктивної схеми	1	
4	A1	ВЛ7203.10.00.00.00 ІМ			Конструкція вхідної частини та її елементів	1	
5	A1	ВЛ7203.10.00.00.00 СК			Аналіз напружень методом скінченних елементів	1	
6	A1	ВЛ7203.10.00.00.00 ІМ			Технологія виготовлення шпангоутів	1	
					ВЛ7203.10.00.00.00		
		ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Довгань О.А.				Відомість дипломного проекту	Аркуш	Аркушів
Керівн.	Борисов В.В.					1	1
Консульт.						КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АРБ Гр. ВЛ–72	
Н/контр.							
Зав.каф.	Кабанячий В.В.						

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»**

Інститут (факультет) Інститут аерокосмічних технологій
(повна назва)

Кафедра Кафедра авіа- та ракетобудування
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність (спеціалізація) 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка
(Літаки і вертольоти)
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

Володимир Кабанячий
(підпис) (ініціали, прізвище)

«__» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Довганю Олександру Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Вхідна частина аеродинамічної труби
керівник роботи Борисов Віктор Васильович,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «__» _____ 2021 р. №

2. Термін подання студентом роботи «__» червня 2021 р. _____

3. Вихідні дані до роботи _____

3.1 Максимальна швидкість потоку в АДТ – 40 м/с.

3.2 Площа перерізу вхідної частини – 2.73 м².

3.3 Форма перерізу – "круг".

3.4 Довжина вхідної частини – 2000 мм.

3.5 Кількість вхідних отворів для вентиляторів – 3

3.6 Форма вхідного отвору – "квадрат".

3.7 Розмір вхідного отвору - 560x560 мм.

3.8 Відстань бокового вхідного отвору від задньої стінки АДТ - 500 мм.

4. Зміст роботи: _____

4.1 Аналіз конструкцій дозвукових аеродинамічних труб.

4.2 Визначення параметрів вхідної частини.

4.3 Розрахунок статичного тиску та навантажень на вузли кріплення.

4.4 Вибір конструктивно-силової схеми вхідної частини.

4.5 Визначення конструкції вузлів кріплення вхідної частини.

4.6 Структура і параметри скінченно-елементної моделі силової конструкції.

4.7 Аналіз результатів розрахунку напружено-деформованого стану.

4.8. Розробка конструкції вхідної частини.

4.9. Вибір технології виготовлення шпангоутів вхідної частини.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо) _____

5.1. Аналіз аналогів та визначення конструктивної схеми.

5.2. Конструкція вхідної частини та її елементів.

5.3. Аналіз напружень методом скінченних елементів.

5.4. Технологія виготовлення шпангоутів.

6. Дата видачі завдання « 01 » 03 2021 р. _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Оформлення технічного завдання.	01.03.2021 р.	
2	Підбір та аналіз літератури.	до 15.03.2021 р.	
3	Аналіз основних параметрів прототипів.	до 30.03.2021 р.	
4	Вибір конструктивно-силової схеми вхідної частини.	до 05.04.2021 р.	
5	Розрахунок статичного тиску та навантажень на вузли кріплення.	до 12.04.2021 р.	
6	Формування скінченно-елементної моделі.	до 17.04.2021 р.	
7	Аналіз напружено-деформованого стану моделі.	до 20.04.2021 р.	
8	Розробка технічної документації	до 30.05.2021 р.	
9	Оформлення пояснювальної записки, затвердження	до 10.06.2021 р.	

Студент

(підпис)

Олександр ДОВГАНЬ

(ініціали, прізвище)

Керівник роботи

(підпис)

Віктор БОРИСОВ

(ініціали, прізвище)

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Вхідна частина аеродинамічної труби»

Київ – 2021 року

Анотація

Темою дипломного проекту є «Вхідна частина аеродинамічної труби»
Пояснювальна записка до дипломного проекту містить: 46 сторінок, 30 рисунків, 1 таблицю, 7 використаних джерел та 4 додатка.

Мета курсового проекту:

- дослідити та розрахувати конструкцію вхідної частини АДТ;
- вивчити її будову, ознайомитися з елементами та типами конструкцій;
- побудувати та навантажити 3Д модель.

При виконанні дипломного проекту було проведено детальний аналіз дозвуккових аеродинамічних труб та визначено їх основні відмінності. Виконано креслення навчальної аеродинамічної труби в трьох видах. Використовуючи результати розрахунків було проведено проектування вхідної частини навчальної аеродинамічної труби.

Отримані результати після розрахунків показали, що конструкції вхідної частини відповідає умовам міцності елементів дозвуккової аеродинамічної труби.

Ключові слова: аеродинамічна труба, вхідна частина, робоча частина, контур, дифузор.

Annotation

The topic of the diploma project is "Entrance part of the wind tunnel". The explanatory note to the diploma project contains: 46 pages, 30 pictures, 1 table, 7 used sources and 4 appendices.

The purpose of the course project:

- investigate and calculate the design of the input part of the ADT;
- to study its structure and get acquainted with elements and types of constructions;
- build and load 3D model.

During the diploma project, a detailed analysis of subsonic wind tunnels was conducted and their main differences were identified. The drawing of the training wind tunnel in three types is executed. Using the results of calculations, the inlet part of the training wind tunnel was designed.

The results obtained after the calculations showed that the structure of the inlet part meets the strength conditions of the elements of the subsonic wind tunnel.

Key words: wind tunnel, inlet part, working part, contour, diffuser.

ЗМІСТ

Перелік скорочень.....	5
Вступ.....	6
1. Аналіз конструкції дозвукових аеродинамічних труб.....	7
1.1. Вступ.....	8
1.2. Класифікація аеродинамічних труб дозвукових швидкостей.....	8
1.3. Класифікація по типу робочої частини.....	8
1.4. Замкнений та незамкнений контур.....	8
1.5. Пристрій і призначення частин аеродинамічних труб.....	10
1.5.1 Робоча частина.....	10
1.5.2 Сопло.....	12
1.5.3 Форкамера.....	12
1.5.4 Дифузор.....	13
1.5.5 Вентилятор.....	13
1.5.6 Зворотній канал.....	14
1.5.7 Поворотні коліна.....	15
1.5.8 Камера Ейфеля.....	15
1.5.9 Вхідні та вихідні ділянки труб з незамкненим контуром.....	16
1.5.10 Інші пристрої.....	16
1.6. Висновки по розділу.....	16
2. Визначення параметрів вхідної частини.....	17
2.1. Розрахунок параметрів вхідної частини АДТ.....	18
2.2. Висновки по розділу.....	18
3. Розрахунок статичного тиску та навантажень на вузли кріплення.....	19
3.1. Розрахунок елементів апарата, навантажених внутрішнім тиском.....	19
3.2. Висновки по розділу.....	25
4. Вибір конструктивно-силової схеми вхідної частини.....	26
4.1. Висновки по розділу.....	26
5. Визначення конструкції вузлів кріплення вхідної частини.....	27
5.1. Висновки по розділу.....	27
6. Структура і параметри скінченно-елементної моделі силової конструкції.....	28
6.1. Принципи елементного моделювання конструкції вхідної частини.....	28
6.2. Структура скінченно-елементної моделі вхідної частини АДТ.....	29
6.3. Послідовність побудови моделі вхідної частини АДТ.....	30
6.4. Висновки по розділу.....	33
7. Аналіз результатів розрахунку напружено-деформованого стану.....	34
7.1. Висновки по розділу.....	37
8. Розробка конструкції вхідної частини.....	34
8.1. Висновки по розділу.....	39
9. Аналіз результатів розрахунку напружено-деформованого стану.....	40
9.1. Висновки по розділу.....	44
Загальний висновок.....	45
Список використаних джерел.....	46

					<i>ВЛ7203.10.00.0000 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Вхідна частина АДТ</i>	<i>Лім.</i>	<i>Маса</i>	<i>Масштаб</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Довгань О.А.</i>						
<i>Перевір.</i>		<i>Борисов В.В.</i>						
<i>Т. Контр.</i>								
<i>Реценз.</i>						<i>Арк.</i>	<i>1</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Н. Контр.</i>						<i>НТУУ «КПІ»</i>		
<i>Затверд.</i>						<i>ІАТ</i>		

Перелік скорочень

АДТ - аеродинамічна звукова труба;

ЛА - літальний апарат;

ЗПТО - зона постійної товщини обшивки;

СЕ – скінченний елемент;

					ВЛ7203.10.00.0000 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Метою дипломного проекту є поглиблення та закріплення теоретичних знань та практичних навичок з усіх дисциплін навчального плану, оволодіння сучасними методами, формами організації роботи в галузі майбутньої професії, формування, на базі одержаних у навчальному процесі знань, професійних умінь і навичок для прийняття самостійних рішень під час конкретної праці в дипломній роботі, виховання потреби систематично поновлювати свої знання та творчо їх застосовувати в практичній діяльності.

Темою дипломного проекту є розробка вхідної частини дозвукової аеродинамічної труби. Для виконання цього проектування потрібно провести аналіз аналогів та скласти технічне завдання, на основі якого провести розрахунки координат контуру вхідної частини. На основі розрахунків потрібно спроектувати модель.

На основі проведених розрахунків обрати та обґрунтувати конструктивно-силову схему вхідної частини АДТ, провести розрахунки для визначення розмірів деталей та агрегатів. Також необхідно вказати спосіб и поєднання деталей між собою.

Далі необхідно розробити методи виготовлення одного з основних агрегатів. Для цього за обраною для нього конструктивно-силовою схемою, та визначеними матеріалами обираємо основні методи виготовлення конструкцій з використаних матеріалів. Обґрунтовуємо та обираємо найбільш доцільний метод.

В результаті виконання всіх вище перелічених дій, отримуємо достатньо даних для розробки та побудови просторової моделі вхідної частини АДТ, після чого виконуємо побудову.

					ВЛ7203.10.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ДОЗВУКОВИХ АЕРОДИНАМІЧНИХ ТРУБ

1.1 Вступ

Дослідження силового взаємодії потоку і ЛА представляє єдину одну з важливих задач аеродинаміки, котра вирішується за допомогою експерименту в аеродинамічних трубах. При цьому у більшості використовується принцип зворотнього руху, коли модель ЛА закріплюється в трубі, а газовий потік набігає на неї з заданою швидкістю. Даний принцип, відповідно до загальних принципів відношення класичної механіки, застосовується у випадку рівномірного прямолінійного поступального руху. В основному всі труби, які використовуються в нашому часі можна розділити за конструктивними ознаками на труби замкнутого і незамкнутого типу. У трубі першого типу безперервно циркулює одна і та маса газу. У незамкнених трубах газ, потрапивши в робочу частину через сопло, потім викидається з труби. Витрата енергії в такій трубі вище, ніж в замкнутій установці, де необхідно лише підтримувати рух циркулюючого газу, проте вартість незамкненою труби виявляється менше. Залежно від швидкості потоку в робочій частині аеродинамічні труби можна поділити на дозвукові ($0,8 < M < 1,2$), близькозвукові ($0,2 < M < 0,8$), надзвукові ($1,2 < M < 5$) і гіперзвукові ($M > 5$). Дозвукові труби додатково ділять на труби малих ($0 < M < 0,2$) і великих ($0,2 < M < 0,8$) дозвукових швидкостей. Перші три види труб можуть бути виконані як по замкнутій, так і незамкненою схемами. Гіперзвукові труби будуються зазвичай незамкнутими і з обов'язковим підігрівом робочого газу. По виду робочої частини аеродинамічні труби поділяють на труби з відкритою робочою частиною, закритою робочою частиною і труби з герметичною камерою. Залежно від тривалості роботи труби бувають короткочасного і постійного дії. Труба короткочасної дії дозволяє відчувати моделі лише протягом малого проміжку часу (кілька хвилин).

					ВЛ7203.10.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Живлення такої труби здійснюється від батареї балонів високого тиску, куди повітря попередньо накачується компресорами. Ємність балонної батареї визначає тривалість роботи аеродинамічної труби. У трубах постійного дії потік газу створюється за допомогою осьового компресора, вбудованого в аеродинамічну трубу і забезпечує необхідний ступінь стиснення газу для досягнення заданих чисел M . Час дії такої труби практично не обмежена і визначається умовами експерименту.

1.2 Класифікація аеродинамічних труб дозвукових швидкостей

Як правило, аеродинамічні труби малих швидкостей є установками постійної дії, в який штучний потік газу може підтримуватися протягом тривалого часу. Це створює великі зручності для проведення експерименту. Конструкція аеродинамічних труб відрізняється великою різноманітністю і залежить від призначення труб і від можливостей їх проєктантів. Деякі елементи можуть бути присутніми у одних, і відсутні у інших труб. Класифікувати аеродинамічні труби малих швидкостей можна за багатьма ознаками. Нижче пропонуються деякі з них.

1.3 Класифікація по типу робочої частини

Досліджувана модель встановлюється в робочій частині. Робоча частина може мати або не мати стінок. У першому випадку її називають закритою, у другому - відкритою. Можливий і такий варіант відкрита робоча частина, оточена герметичною камерою, званої камерою Ейфеля. Бувають закриті робочі частини зі щілинами.

1.4 Замкнений та незамкнений контур

Потік повітря в аеродинамічній трубі може переміщатися по замкнутому контуру, не виходячи за межі установки. Альтернативою є труба з незамкнутим контуром. У такій трубі повітря забирається з приміщення і, пройшовши через аеродинамічну трубу, викидається знову в приміщення.

					ВЛ7203.10.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Поперечний розмір приміщення повинен бути досить великим у порівнянні з поперечним розміром аеродинамічної труби, щоб швидкості повітря поза труби були малими.

У трубах із замкнутим контуром для замикання контуру використовуються зворотні канали, що з'єднують вхідні і вихідні пристрої. Більшість установок має єдиний зворотний канал, але є конструкції з двома зворотними каналами. Бувають зворотні канали з поперечним перерізом у вигляді кільця. Такий канал охоплює інші частини аеродинамічної труби, забезпечуючи ефективне використання простору приміщення. Недоліком труб з незамкнутим контуром є великі втрати потужності, так як на виході втрачається вся кінетична енергія повітряного потоку. Тому великі аеродинамічні труби, як правило, є установками із замкнутим контуром. Труби з відкритою робочою частиною мають замкнутий контур або камеру Ейфеля. Присутність камери Ейфеля навколо робочої частини дозволяє створювати установки з незамкнутим контуром. Широке поширення отримали труби малих швидкостей двох типів. У Геттінгенському університеті в 1916-1917 р Л. Прандтль створив трубу з відкритою робочою частиною і замкнутим контуром рис.1.2. Труби такого типу часто називають Геттінгенськими трубами. Другий тип пов'язаний з ім'ям Г. Ейфеля, який побудував аеродинамічну трубу з незамкнутим контуром і камерою Ейфеля, навколишнього робочу частину. Схема труби Г. Ейфеля представлена на рис.1.1. Тиск в камері Ейфеля нижче атмосферного.

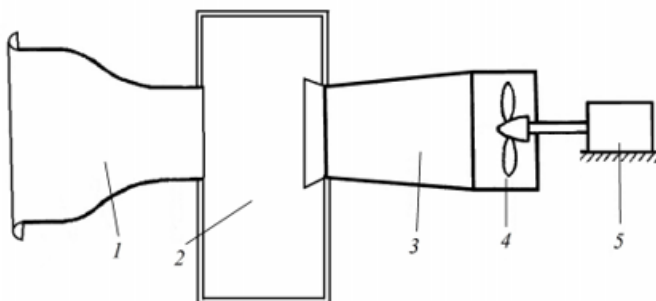


Рис.1.1 *Схема аеродинамічної труби з незамкненим контуром та камерою Ейфеля*

1- сопло; 2 - камера Ейфеля; 3- дифузор; 4 - вентилятор; 5 - електродвигун.

					ВЛ7203.10.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Але за зручність доведеться заплатити, роблячи спеціальні заходи для подавлення пульсацій, що виникають в повітряному потоку в робочій частині. Ступінь турбулентності у відкритій робочій частині неможливо отримати менше кількох десятих часток відсотка. Якщо важливо, щоб потік мав малу турбулентність, необхідно вибрати закриту робочу частину. Довжина відкритої робочої частини зазвичай не перевищує 1,5 - 2 поперечних розмірів. У трубах з відкритою робочою частиною не можна моделювати зростання прикордонного шару на великій відстані. Закриті робочі частини дозволяють це робити. У трубах із закритою робочою частиною потрібно вживати спеціальні заходи для того, щоб статичний тиск не змінювалося уздовж робочої частини. Наявність тертя на стінках і поверхні моделі веде до втрат повного тиску в потоці. Щоб ці втрати не позначалися на зміні статичного тиску, необхідно збільшувати площу поперечного перерізу робочої частини вниз по потоку. Взагалі кажучи, для різних моделей збільшення площі поперечного перерізу повинен бути різним. Для робочої частини без моделі або з моделлю малих розмірів розширення поперечного перерізу вибирають рівним товщині витіснення примежевого шару. Для розрахунку цієї величини використовується логарифмічний профіль швидкостей на гладкій пластині в повністю турбулентному примежевому шарі.

Таблиця 1

	Переваги	Недоліки
Відкрита робоча частина	<ol style="list-style-type: none"> 1. Простий доступ 2. Постійний статичний тиск 3. Немає впливу стінок на потік 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Пульсація потоку 2. Необхідність замкнутого контура або камери Ейфеля 3. Втрата потужності 4. Мала довжина
Відкрита робоча частина	<ol style="list-style-type: none"> 1. Відсутність пульсацій 2. Є можливість використовувати незамкнений контур 3. Менші втрати потужності 4. Необмежена довжина 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ускладнений доступ 2. Необхідно вирівнювати статичний тиск 3. Стінки впливають на обтікання моделі

Певну вигоду можна отримати, використовуючи закриту робочу частину зі щілинами. Закрита робоча частина із щілинами дозволяє отримати постійний тиск по довжині робочої частини, характерне для відкритої робочої частини, заощадити на потужності і уникнути пульсацій. Через щілини можна також ввести вимірювальні прилади в робочу частину. Щілини призводять також до зменшення впливу нагромадженості на результати експерименту. Форма поперечного перерізу робочої частини залежить від виду моделей, які передбачається дослідити. Наприклад, аеродинамічні труби, призначені для випробувань моделей літаків, часто мають еліптичну розтин. У цей перетин добре вписується проекція літака. Крила розташовуються уздовж великої півосі еліпса.

1.5.2 Сопло

Уже в перших аеродинамічних трубах стало відомо, що для отримання однорідного повітряного потоку необхідно застосовувати спеціальні пристрої. Основним пристроєм для отримання рівномірного потоку є сопло. Сопло розташовується перед робочою частиною і являє собою (для дозвукових аеродинамічних труб) звужуючий канал. Крім створення однорідного потоку у сопла є ще одна функція. Сопло служить переходом від найширшої частини труби з малими швидкостями до самої вузької частини з високою швидкістю. Часто в якості прикладу теоретичної формули для контуру сопла призводять формулу Вітошинського, отриману з використанням моделі ідеальної рідини для сопла, що має форму поперечного перерізу у вигляді кола. Однак, на практиці ця формулу не завжди можна використовувати. Вихідна і вхідна частина сопла часто мають різну форму поперечного перерізу.

1.5.3 Форкамера

Перед соплом вище по потоку розташовується форкамера, як правило, найширша частина контуру аеродинамічної труби. Форкамера служить для вирівнювання і заспокоєння потоку. Якщо в таких старих трубах, як АТ-12 форкамери мали малу довжину, то в більш нових трубах для кращого вирівнювання потоку влаштовуються форкамери збільшеної довжини.

					ВЛ7203.10.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

У форкамері для вирівнювання потоку встановлюються хонейкомб і (або) детурбулізуючі сітки. Слово хонейкомб прийшло в українську мову з англійської. Дослівний переклад слова honeyscomb - бджолині стільники. У вигляді сот хонейкомб являє собою грати з осередками довжиною 5 - 6 поперечних комірок. Форма комірок в проекції на поперечний переріз форкамери може мати різну форму. Часто зустрічаються квадратні комірки. Товщина стінок повинна бути настільки малою, наскільки дозволяє матеріал, з якого хонейкомб виготовлений. Зустрічаються хонейкомби з дерева, але найпоширенішим матеріалом є сталь. Хонейкомб розбиває великі вихори і вирівнює потік у напрямку. Хонейкомб також зменшує нерівномірність поздовжньої компоненти швидкості потоку. У той же час хонейкомб служить джерелом збурень в потоці через формування слідів за стінками комірок. Тому в трубах з низьким ступенем турбулентності в робочій частині хонейкомби не встановлюються.

1.5.4 Дифузор

Дифузором називається розширюючий канал, який розташовується після робочої частини. Взагалі кажучи, в контурі аеродинамічної труби може бути кілька послідовно розширюючих каналів. Ці канали в трубах із замкнутим контуром забезпечують плавний перехід до форкамери, в якій площа поперечного перерізу максимальна. Основне призначення дифузора поступове зниження швидкості і відновлення тиску в контурі.

1.5.5 Вентилятор

Вентилятор може розташовуватися відразу після дифузора або після двох поворотних колін на початку зворотнього каналу. Можуть використовуватися осьові або відцентрові вентилятори. На великих установках зазвичай застосовуються осьові вентилятори. Перед обертовим колесом вентилятора може бути встановлений направляючий апарат, а за ним спрямляючий апарат, що дозволяє усунути закрученність потоку. Ці пристрої дозволяють підвищити також коефіцієнт корисної дії вентилятора. У великих трубах зовнішній радіус колеса вентилятора може досягати декількох метрів.

					<i>ВЛ7203.10.00.0000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Частота обертання вентиляторів повинна бути обмежена так щоб окружна швидкість кінців лопатей не наближалася до швидкості звуку. Максимальна лінійна швидкість вибирається не більш 180-200 м/с . Перевищення швидкості веде до падіння ККД вентилятора і до зростання шуму. Швидкість потоку в більшості установок регулюється зміною частоти обертання вентилятора. Зміна швидкості обертання виробляється або зміною напруги, що подається на двигун постійного струму, що обертає вентилятор, або зміною частоти електричного струму, що подається на двигун змінного струму. Рідше для управління швидкістю використовується поворот лопатей вентилятора. Можливо також використання байпас каналу, що з'єднує ділянки до і після вентилятора. Повітря перетікає з цього каналу і зменшує перепад тиску на вентиляторі. Канал забезпечується регулюючою заслонкою. Існують установки з двома і більше вентиляторами, встановленими поруч. Декілька поруч розташованих вентиляторів вдало поєднуються з соплами, що мають в поперечному перерізі форму круга.

1.5.6 Зворотній канал

Зворотній канал в контурі замкнутої аеродинамічної труби являє собою дифузор, що забезпечує перехід до форкамері. До нього пред'являються вимоги, викладені вище в розділі про дифузор. У трубах з незамкнутим контуром роль зворотнього каналу виконує приміщення, в якому знаходиться установка. Як правило, поперечний переріз приміщення значно перевершує за площею поперечний переріз труби, швидкості потоку в приміщенні малі. Втратами на тертя можна знехтувати. Основні втрати пов'язані з переходом від вентилятора до приміщення, це втрати через раптове розширення або втрати на вихлоп. У цьому випадку між вентилятором і приміщенням поміщається вихідний пристрій представляє собою дифузор. Перед форкамерою розташовується вхідна ділянка, що забезпечує з найменшими втратами вхід повітря в форкамеру. Зворотні канали мають великі габарити. Вони можуть розташовуватися над робочою частиною, під робочою частиною або збоку.

					ВЛ7203.10.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Ряд аеродинамічних труб мають два зворотних канала, один зверху, інший знизу. Ефективно використовувати простір допомагають кільцеві зворотні канали. При цьому робоча частина, сопла, дифузор і вентилятор знаходяться в центрі кільця. Доступ до робочої частини досягається через проходи, зроблені в кільцевому зворотному каналі. Трубою, побудованої за цією схемою, є аеродинамічна труба змінної щільності. Вся установка укладена в посудину циліндричної форми з двома напівсферичними кришками. Посудина такої форми здатна витримувати високий тиск. Зміною тиску в посудині регулюється щільність повітря, яка лінійно входить у вираз для числа Рейнольдса Re .

1.5.7 Поворотні коліна

В аеродинамічних замкнутих контурах невід'ємною частиною є поворотні коліна. Опір поворотних колін і рівномірність потоку після колін залежать від ставлення радіуса закруглення коліна до поперечного розміру. Чим більше радіус закруглення, тим менше опір коліна. Однак прагнення зменшити габарити аеродинамічної труби і тим заощадити місце в приміщенні і знизити витрати на виготовлення змушує використовувати коліна дуже малого радіуса закруглення. Поліпшити рівномірність потоку і знизити опір дозволяє застосування поворотних лопаток в колінах з малим радіусом закруглення. Є і інші різні по ефективності прийоми зниження опору. Наприклад збільшення радіуса закруглення зовнішньої стінки коліна менш ефективно, ніж збільшення радіуса закруглення внутрішньої стінки. Поворотні лопатки часто виготовляються профільованими. Можливо їх розташування на рівних відстанях один від одного або частіше у внутрішньої стінки, рідше у зовнішній.

1.5.8 Камера Ейфеля

Камерою Ейфеля називається герметична камера, в якій під час роботи аеродинамічної труби встановлюється тиск, відмінний від атмосферного. Використання камери Ейфеля дозволяє використовувати відкриту робочу частину з трубами без зворотнього каналу. Камера Ейфеля може бути досить великою, щоб там містилося обладнання та вимірювальні прилади.

					ВЛ7203.10.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

1.5.9 Вхідні та вихідні ділянки труб з незамкненим контуром

Вхідні і вихідні ділянки мають конструкцію, котра мінімізує втрати на вхід і на вихлоп. Форма вхідних і вихідних пристроїв залежить від того, чи є стінка перед входом або виходом.

1.5.10 Інші пристрої

У контурі аеродинамічних труб можуть бути присутніми перехідні ділянки, що з'єднують елементи з різною формою поперечного перерізу. Наприклад, труба котра оточує вентилятор, має круглий перетин, далі канал, виконаний з перетином у формі квадрата або восьмикутника. Між ними розташовується перехідна ділянка, яка плавно їх з'єднує. У контур труби можуть включатися різного типу теплообмінники, охолоджуючі, або нагріваючі повітря.

1.6 Висновки по розділу

В першому розділі було проведено детальний аналіз існуючих типів дозвукових аеродинамічних труб та було виявлено основні відмінності:

- Дозвукові аеродинамічні труби класифікують по типу робочої частини.
- Робоча частина може мати або не мати стінок. У першому випадку її називають закритою, у другому - відкритою.
- Другою відмінністю є тип контуру, він може бути як замкнутий, так і не замкнутий.
- У трубі не замкненого контуру повітря забирається з приміщення і, пройшовши через аеродинамічну трубу, викидається знову в приміщення.
- У трубах із замкнутим контуром для замикання контуру використовуються зворотні канали, що з'єднують вхідні і вихідні пристрої.

					ВЛ7203.10.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

2. ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВХІДНОЇ ЧАСТИНИ

Відомо, що форма і певні геометричні параметри контуру каналу сильно впливають на потік в ньому. Так в ряді робіт показано, що тільки перерозподіл кривизни по довжині контура, наприклад, лопатки турбіни може привести до зниження втрат в турбінній решітці до декількох відсотків.

У роботах, пов'язаних з дослідженням течій, як правило, приводиться форма каналу, вихідні дані для розрахунку потоку, результати теоретичного розрахунку параметрів потоку, експериментальні дані, порівняння теоретичних і експериментальних даних, аналіз отриманих результатів, висновки. І практично в подібних роботах відсутній етап - дослідження геометричних параметрів контуру каналу. Відсутність вказаного етапу можна пояснити, складністю і трудомісткістю подібних досліджень. Якщо врахувати, що форма контура лопатки турбіни, зокрема, задається в багатьох випадках матрицею прямокутних координат.

Важливість такого дослідження пов'язана з тим, що на підставі аналізу геометричних характеристик контура можна передбачити поведінку потоку в каналі, виділити характерні точки або області течії і т.д. Проектант, наприклад, після такого дослідження може при необхідності перепроєктувати канал; а експериментатор - побудує систему вимірювань з урахуванням виявлених особливостей і т.д.

Вхідні дані для подальшого розрахунку геометричних параметрів:

- Годинна витрата повітря: 27900 (м³ / год);
- Секундна витрата повітря: 7,75 (м³ / с);
- Максимальна швидкість потоку: 40 м/с;
- Площа перерізу вхідної частини: 2,73 м²;
- Довжина вхідної частини: 2 м;
- Кількість вхідних отворів для вентиляторів: 3
- Розмір вхідного отвору: 560x560 мм;
- Відстань бокового вхідного отвору від задньої стінки АДТ: 500 мм.

					ВЛ7203.10.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

2.1 Розрахунок параметрів вхідної частини АДТ

Розрахуємо площу обшивки, так як площа перерізу - $2,73 \text{ м}^2$, тоді

$$r = 0,93 \text{ м}$$

$$\text{Звідси} \rightarrow S_{об} = 2 \cdot \pi \cdot 0,93 \cdot 2 = 11,7 \text{ м}^2$$

де, довжина вхідної частини $l=2 \text{ м}$.

Тепер можемо розрахувати вагу:

$$m = 11,7 \cdot 0,005 \cdot 5000 = 292,5 \text{ кг}$$

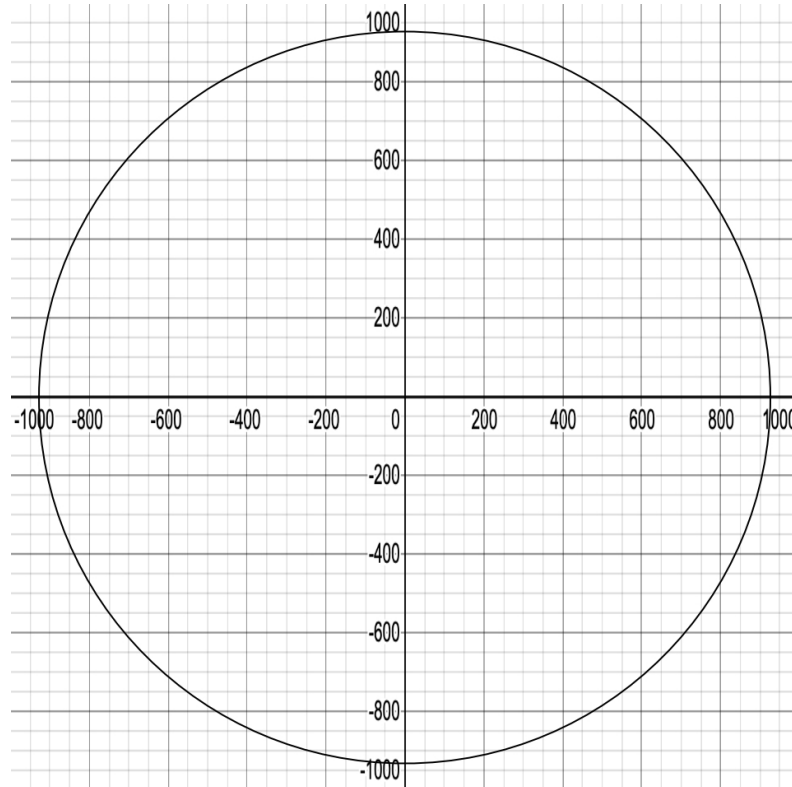


Рис.2.1 Переріз вхідної частини АДТ

2.2 Висновки по розділу

В другому розділі було проведено розрахунок параметрів вхідної частини аеродинамічної труби і визначенно вагу обшивки.

					ВЛ7203.10.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

3. РОЗРАХУНОК СТАТИЧНОГО ТИСКУ ТА НАВАНТАЖЕНЬ НА ВУЗЛИ КРІПЛЕННЯ

3.1 Розрахунок елементів апарата, навантажених внутрішнім тиском.

Розрахунок елементів тонкостінних конструкцій і апаратів з вуглеродних і легованих сталей, що працюють при одноразових та багаторазових статичних навантаженнях під внутрішнім надлишковим тиском, вакуумом або зовнішнім тиском і під дією осьових і поперечних зусиль і згинальних моментів, здійснюється згідно з ГОСТ 14249-89.

При проектному розрахунку визначають виконавчу товщину стінки за максимальним значенням розрахункової товщини для робочих умов або умов випробувань.

При перевірочному розрахунку для робочих умов і умов випробувань визначається допустимий тиск, який повинний бути не менше розрахункового і пробного тиску відповідно. Тиск на стінки може змінюватися уздовж осі обертання.

Тиск на стінки може змінюватися уздовж осі обертання, наприклад, при наявності рідини в вертикальному апараті. Такий апарат можна розглядати по мембранній теорії, однак якщо його покласти горизонтально, то навантаження стане несиметричне осі, і використання теорії буде неможливим.

Від дії внутрішнього тиску в матеріалі тонкостінних оболонок (рис.2.1) виникають нормальні зусилля U і T , поперечні сили Q , а також згинальні моменти M_T і M_t . Причому в міру віддалення від так званої лінії спотворення (тобто місця, де змінюється хоча б один з параметрів навантаженої оболонки: форма або напрям меридіана, товщина стінки, навантаження, властивості матеріалу і т.д.) Моменти M_T , M_t і сили Q швидко зменшуються і стають мізерно малими, зусилля ж U і T залишаються найважливішими.

					ВЛ7203.10.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

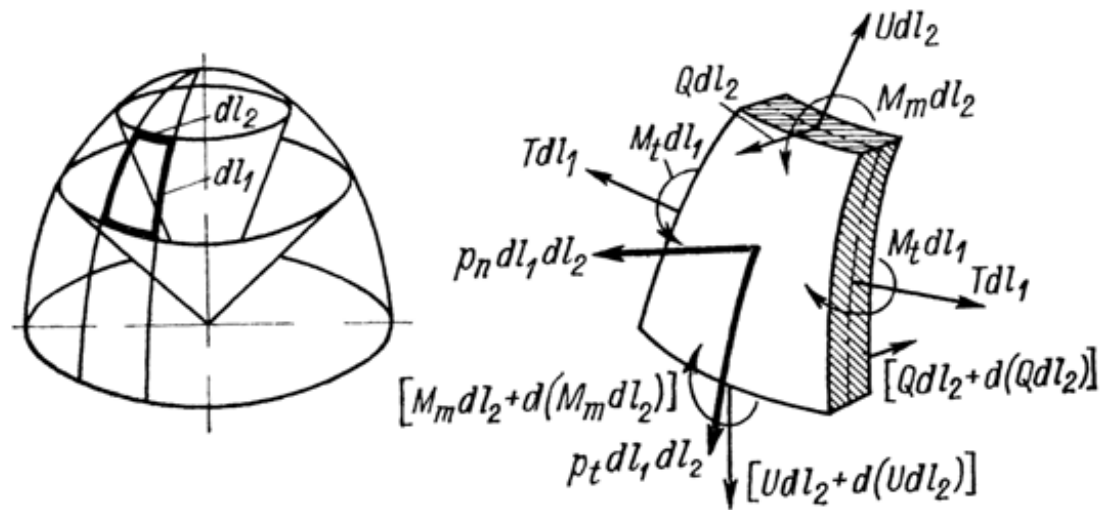


Рис.2.1 Схема дії навантажень на елемент стінки осесиметричної оболонки

На рис.2.2 представлена схема дії зусиль на елемент, виділений з осесиметричної оболонки. Зовнішнє навантаження, віднесене до одиниці площі серединної поверхні з головними радіусами кривизни R_1 , R_2 і розподілене симетрично щодо осі, розкладене на складові p_n і p_t відповідно по нормалі і дотичній до дуги меридіана. До граней виділеного елемента прикладені внутрішні нормальні зусилля U , розташовані в площині кривизни меридіана і віднесені до одиниці дуги відповідного нормального перетину, а також нормальні зусилля T , що лежать в другій головній площині кривизни. Згинальні моменти і поперечні сили в перетинах дорівнюють нулю. Напруги по товщині стінки розподілені рівномірно.

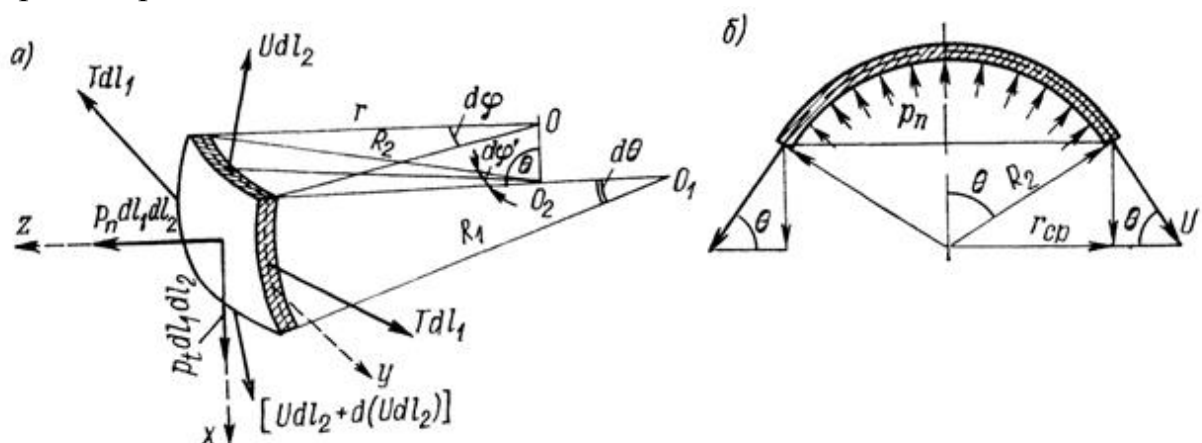


Рис.2.2 Схема до визначення меридіональних і кільцевих (тангенціальних) напружень в тонкостінній оболонці:

а - елемент стінки; б - відсічена частина оболонки

Маємо рівняння Лапласа:

$$\frac{\sigma_m}{R_1} + \frac{\sigma_t}{R_2} = \frac{p_n}{S}$$

Розглянувши дію сил на частину оболонки (рис.2.3-б), відсічену нормальним конічним перетином, можна написати вираз:

$$2\pi \cdot r_{n\partial} \cdot U \cdot \sin \theta = \pi \cdot r^2 \cdot p_n$$

Враховуючи, що $r \approx r_{n\partial} = R_2 \sin \theta$, маємо:

$$\sigma_m = \frac{p_n}{2S} \cdot R_2$$

Радіуси меридионального і кільцевого перерізів дорівнюють відповідно:

$$R_1 = \infty; R_2 = R$$

де R - радіус циліндра

Тоді за рівнянням Лапласа:

$$\frac{\sigma_m}{R_1} + \frac{\sigma_t}{R_2} = \frac{p_n}{S}$$

З рівняння рівноваги зони оболонки (без урахування ваги середовища і оболонки) отримаємо:

$$\sigma_m = \frac{p}{2s} R; \sigma_t = \frac{p}{s} R$$

В дійсності в результаті дії нормальних напружень в стінці тонкостінної судини все ж виникають згинальні моменти, які змінюють кривизну оболонки. Для оцінки їх значення розглянемо визначення кільцевих моментів в циліндричній оболонці (рис.2.3)

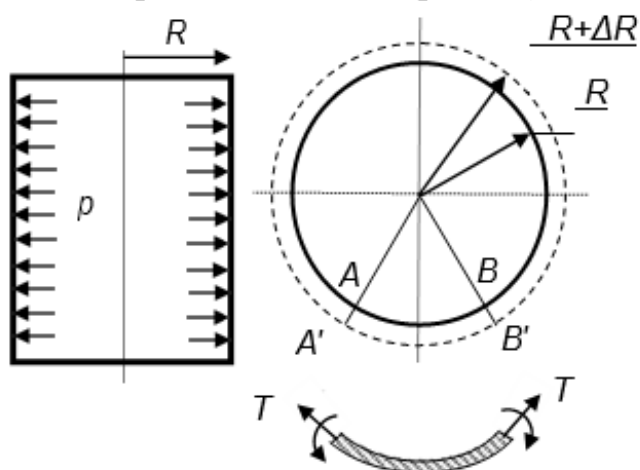


Рис.2.3 Розрахункова схема оболонки

В результаті пружної деформації від тиску p дуга АВ приймає розмір А'В'. Це відбувається за рахунок розтягують сил T . Кривизна дуги

зменшується за рахунок дії кільцевих моментів M_t , що лежать в площині кільця.

Відносне подовження елемента циліндра визначається за формулою:

$$\varepsilon = \frac{\sigma_t}{E}$$

де E – модуль пружності матеріала циліндра.

Для циліндричного обідка:

$$\varepsilon = \frac{pR}{2sE}$$

Під впливом моменту M_t змінюється кривизна елемента, тобто радіус R отримує приріст ΔR :

$$R + \Delta R = R + \varepsilon \cdot R = R + \frac{p \cdot R^2}{2s \cdot E}$$

Величину зміни кривизни елемента під впливом моменту M_t можна виразити:

$$\frac{1}{R} - \frac{1}{R + \Delta R} = \frac{M_t}{EJ}$$

Звідси маємо:

$$M_t = EJ \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R + \Delta R} \right)$$

Перетворюючи вираження в дужках, і враховуючи, що $R_2 \gg R + \Delta R$, отримаємо:

$$M_t \frac{p}{Js}; \quad \Delta R = \frac{pR^2}{sE}$$

Відносячи кільцевий момент до одиниці довжини стінки, тобто до прямокутника довжиною l і шириною s , знаходимо:

$$J = \frac{l \cdot s^3}{12}$$

Таким чином, величина напруження від вигину в циліндричній обідайки дорівнює приблизно $p/2$, що в R/s разів менше σ_t .

Тонкостінна сферична оболонка, навантажена внутрішнім газовим тиском p (рис.2.4). Радіуси меридіонального і кільцевого перерізів дорівнюють радіусу кулі: $R_l = R_2 = R$.

					ВЛ7203.10.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

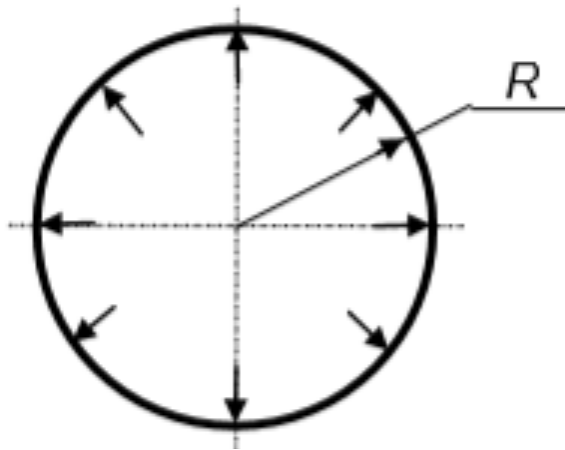


Рис.2.4 Розрахункова схема сферичної оболонки

За рівняння рівноваги зони оболонки отримаємо:

$$2U \sin \beta - pR \sin \beta = 0$$

$$U = \frac{pR}{2}; \sigma_m = \frac{pR}{2S}$$

Із рівняння Лапласа отримаємо:

$$\frac{\sigma_m}{R} + \frac{\sigma_t}{R} = \frac{p}{s}$$

Звідси:

$$\sigma_t = -\sigma_m + \frac{pR}{2S}$$

Тоді мембрані напруження розраховуються:

$$\sigma_m = \sigma_t = \frac{pR}{2S}$$

Тонкостінна конічна оболонка, навантажена внутрішнім газовим тиском p (рис.2.5).

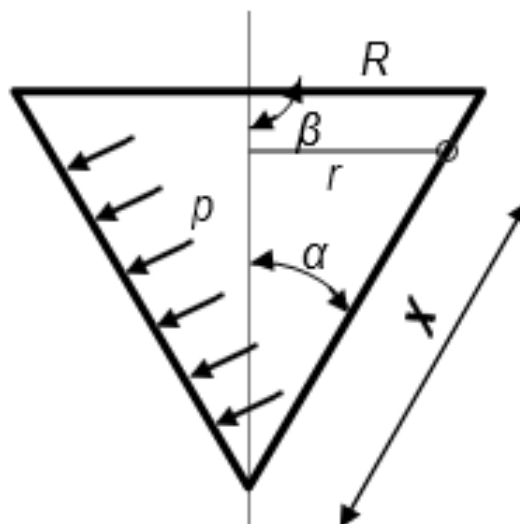


Рис.2.5 Розрахункова схема конічної оболонки

Для можливого застосування рівняння рівноваги зони оболонки висловимо поточний радіус і кут β через відомі величини:

$$r = x \sin \alpha$$

$$\beta = \frac{\pi}{2} - \alpha$$

$$\sin \beta = \cos \alpha$$

Звідси:

$$\delta_m = \frac{p \cdot x \cdot \operatorname{tg} \alpha}{2s}$$

За рівнянням Лапласа ($R_1 = \infty$; $R_2 = R(x) = x \operatorname{tg} \alpha$)

$$\sigma_t = \frac{p \cdot x \cdot \operatorname{tg} \alpha}{s}$$

Мембранні напруження в конічній оболонці біля основи конуса дорівнюють:

$$\sigma_m = \frac{p \cdot R}{2s \cdot \cos \alpha}, \quad \sigma_t = \frac{p \cdot R}{s \cdot \cos \alpha}$$

Згідно до безмоментної теорії розрахунку на міцність в кожному елементі тонкостінної судини діє дві напруги - меридіональна σ_m і кільцева σ_t , причому завжди $\sigma_t \geq \sigma_m$.

Мембранна теорія не враховує радіальних (σ_r) і згинальних (σ) напружень, в принципі $\sigma_r = p$, $\sigma = p/2$ внаслідок їх малості в порівнянні з кільцевими і меридіональними. Тому для розрахунку товщини стінки тонкостінних оболонок застосовують третю теорію міцності:

$$\sigma_{\text{екв}} = \sigma_{\text{max}} - \sigma_{\text{min}}$$

де $\sigma_{\text{екв}}$ – еквівалентне напруження; σ_{max} – максимальне напруження; σ_{min} – мінімальне напруження.

Умова міцності має вигляд $\sigma_{\text{екв}} \leq [\sigma]$.

В випадку мембранної теорії $\sigma_{\text{max}} = \sigma_t$; $\sigma_{\text{min}} = \sigma_r \approx 0$, звідси

$$\sigma_{\text{екв}} = \sigma_t, \text{ або } \sigma_{\text{екв}} \leq [\sigma]$$

Якщо прийняти, що $\sigma_t = [\sigma]$, то для випадку тонкостінного циліндра можна отримати розрахункову формулу для товщини стінки:

$$s_p = \frac{p D_{n\partial}}{2[\sigma]}$$

де $D_{n\partial}$ – серединний діаметр.

					ВЛ7203.10.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Підставляючи в рівняння вище замість діаметра D_{n0} середньої поверхні внутрішній діаметр $D = D_{n0} - s$, отримаємо для циліндра :

$$s = \frac{pD}{2[\sigma] - p}$$

3.2 Висновки по розділу

В третьому розділі було детально описано як розраховується вплив тиску на вхідну частину АДТ, та визначенно що:

- Від дії внутрішнього тиску в матеріалі тонкостінних оболонок виникають нормальні зусилля U і T , поперечні сили Q , а також згинальні моменти M_T і M_t .
- Згинальні моменти і поперечні сили в меридіональних і кільцевих перетинах дорівнюють нулю. Напруги по товщині стінки розподілені рівномірно.
- Згідно до безмоментної теорії розрахунку на міцність в кожному елементі тонкостінної судини діє дві напруги - меридіональна σ_m і кільцева σ_t , причому завжди $\sigma_t \geq \sigma_m$.

					ВЛ7203.10.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

4. ВИБІР КОНСТРУКТИВНО-СИЛОВОЇ СХЕМИ ВХІДНОЇ ЧАСТИНИ

Згідно з аналізом типових аеродинамічних труб та на підставі технологічних міркувань, була обрана фермова конструкція вхідної частини, у якій всі аеродинамічні навантаження сприймають повздовжні та поперечні елементи силового набору. Поперечний силовий набір складається з шпангоутів, а повздовжній - з лонжеронів. Обшивка не навантажується, а виконує лише захисну функцію.

Вхідна частина представляє собою переріз кола площею $2,73 \text{ м}^2$, радіусом $0,93 \text{ м}$ та довжиною труби 2 м , з трьома вихідними отворами квадратної форми з розмірами $560 \times 560 \text{ мм}$.

4.1 Висновок по розділу

В четвертому розділі було описано обґрунтування вибору конструктивно-силової схеми вхідної частини АДТ:

- Для спрощення виготовлення вхідної частини, було вирішено використовувати бакелітову фанеру ФСБ.

					ВЛ7203.10.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

5. ВИЗНАЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВУЗЛІВ КРІПЛЕННЯ ВХІДНОЇ ЧАСТИНИ

Для забезпечення кріплення обшивок кожний шпангоут має внутрішню та зовнішню полки, які виготовляються з соснових ресек та підгоняються по контуру перерізів. Полки кріпляться до стінок лонжеронів за допомогою шурупів та клею ПВА-МБ.

Проміжні шпангоути виготовляються з фанерних листів товщиною 30 мм. Збірка каракаса виконується за допомогою клею ПВА-МБ. Підгонка пазів в елементах набору здійснюється місцевим шляхом. Торцевий та опорний шпангоути кріпляться к торцям лонжеронів за допомогою шурупів та клею ПВА-МБ.

Внутрішня та зовнішня обшивки виготовляються з фанери товщиною 5 мм та кріпляться до елементів повздовжного набору за допомогою цвяхів та клею ПВА-МБ.

5.1 Висновок по розділу

В п'ятому розділі було обрано конструкцію вузлів кріплення вхідної частини АДТ:

- Кріплення до інших елементів труби відбувається за допомогою торцевих елементів розташованих спереду та сзаду вхідної частини, які кріпляться шурупами.

					ВЛ7203.10.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

6. СТРУКТУРА І ПАРАМЕТРИ СКІНЧЕННО-ЕЛЕМЕНТНОЇ МОДЕЛІ СИЛОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ

6.1 Принципи елементного моделювання конструкції вхідної частини

У регулярних зонах конструкції вхідної частини АДТ максимально можлива кількість варіантів товщини обшивки відповідає кількості проміжків, укладених між двома сусідніми шпангоутами і двома сусідніми елементами поздовжнього набору, які в подальшому будемо називати «зонами постійної товщини обшивки» (ЗПТО). Такий ступінь дискретності товщин обшивки обумовлений технологічними і економічними критеріями.

Конструкція лонжеронів включають в себе наступні елементи:

- стрижневі СЕ, що моделюють горизонтальні стінки верхньої і нижньої полиці;
- чотирикутні СЕ, що моделюють вертикальні стінки верхньої і нижньої полиці;
- стрижневі СЕ, які обкантовують вертикальні стінки верхньої і нижньої полиці.

Структурно моделі лонжеронів розділені на окремі ділянки, обмежені вертикальними стрижневими СЕ, розташованими в площинах нервюр і додаткових перетинів, призначених для підвищення дискретності розрахункової моделі. Стійки лонжеронів не моделюються, за винятком прольотів між шпангоутами, що містять додаткові перетини.

Крім перерахованих вище СЕ, моделі лонжеронів містять ряд додаткових СЕ, що моделюють зони стиків. Посилення обшивок в зонах поздовжніх стиків між монолітними панелями обшивки моделюється у вигляді ланцюжків стрижневих СЕ.

Всі стрижневі й плоскі СЕ, що моделюють обшивку, стрингери, лонжерони і поздовжні стики повинні сприймати вигибні навантаження.

Основним елементом поперечного набору вхідної частини, є шпангоут, призначений для сприйняття і передачі навантаження на елементи поздовжнього набору.

Модель шпангоута включає в себе наступні основні елементи:

- стрижневі СЕ, що моделюють книці;
- умовні стрижневі СЕ, призначені для окантовки чотирикутних СЕ, що моделюють стінки лонжеронів;
- чотирикутні СЕ, що моделюють компенсатори;
- плоскі СЕ, що моделюють стінки шпангоутів.

Кількість і розташування стрижневих СЕ, що моделюють стійки збірних нервюр, в основному, визначаються необхідністю передачі навантажень з книц на стінки, і не скрізь відповідають їх реальній кількості і розташуванню. При цьому сумарна жорсткість СЕ, що моделюють стійки, визначається, виходячи з сумарної жорсткості стійок модельованих шпангоутів. Кількість і розташування чотирикутних СЕ, що моделюють компенсатори, в основному, відповідають їх кількості і розташуванню на модельованих шпангоутах.

На відміну від інших елементів конструкції, книці і компенсатори моделюються відповідно за допомогою стрижневих СЕ, що працюють тільки на розтяг - стиск і чотирикутних СЕ, що працюють тільки на зсув. Це обумовлено тим, що в реальній конструкції книці працюють тільки на розтяг - стиск, а компенсатори тільки на зрушення, оскільки закріплені відповідно на лонжеронах і обшивці.

6.2 Структура скінченно-елементної моделі вхідної частини АДТ

Формування скінченно-елементної моделі вхідної частини АДТ, а також розрахунок і аналіз напружено - деформованного стану здійснювалися за допомогою програми Fusion 360.

Лонжерони та внутрішня обшивка є основними силовими елементами поздовжнього набору сопла АДТ.

					<i>ВЛ7203.10.00.0000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Спрощені СЕМ лонжеронів містять моделі поясів, стінок і стійок. Пояси лонжеронів призначені для забезпечення з'єднання обшивок і стінок лонжеронів, в результаті чого утворюється замкнутий контур. До лонжеронів кріпляться шпангоути, і створюють каркас до якого додається обшивка.

Спрощені моделі шпангоутів являють собою зігнуту у коло балку, до якої кріпиться внутрішня та зовнішня обшивка.

6.3 Послідовність побудови моделі вхідної частини АДТ

1. Виконуємо ескіз майбутнього шпангоуту, будуємо зовнішнє коло радіусом - 930 мм, та внутрішнє радіусом - 860 мм (всі дані були отриманні в попередніх розділах).

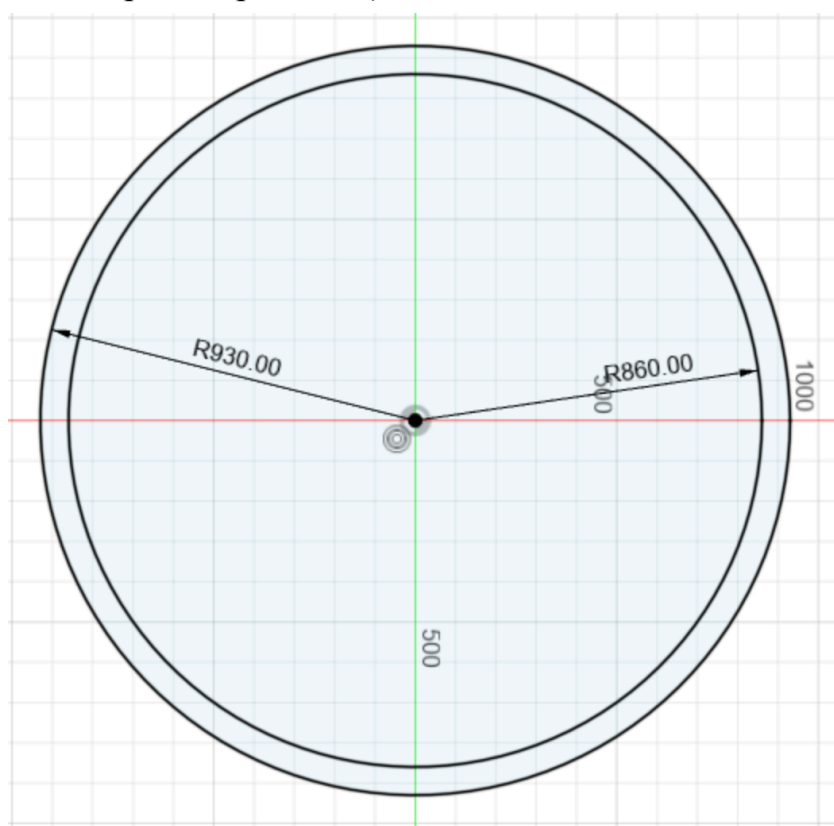


Рис.6.1 Ескіз шпангоута

2. Скориставшись функцією *Extrude*, витягуємо отриманий ескіз на 50 мм і отримуємо готовий спрощений шпангоут. Після чого за допомогою функції *Rectangular Pattern*, дублюємо деталь вздовж уявної осі симетрії вхідної частини на всю її довжину, але враховуючи ширину останнього шпангоута, тобто на 1950 мм.

					ВЛ7203.10.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

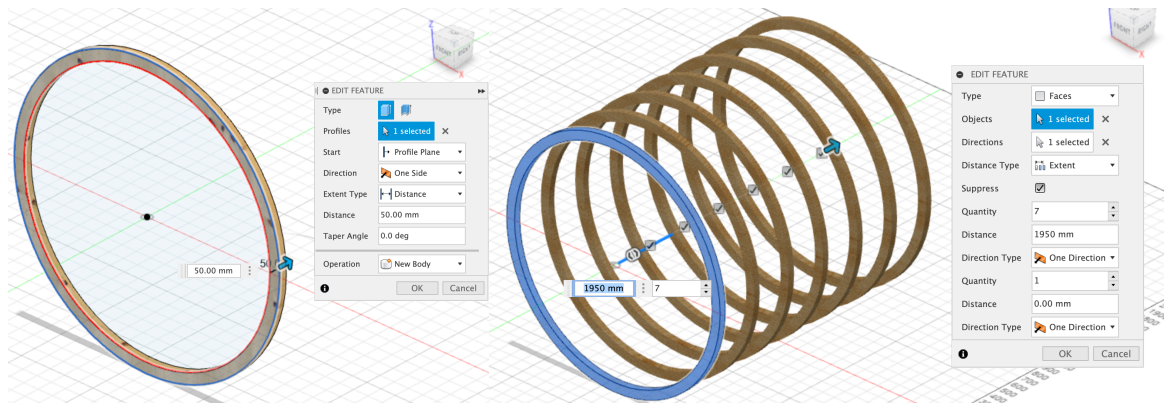


Рис.6.2 3Д модель шпангоута

3. Далі виконуємо ескіз лонжерона (в перерізі), після знов витягуємо за допомогою *Extrude*, на довжину 2000 мм.

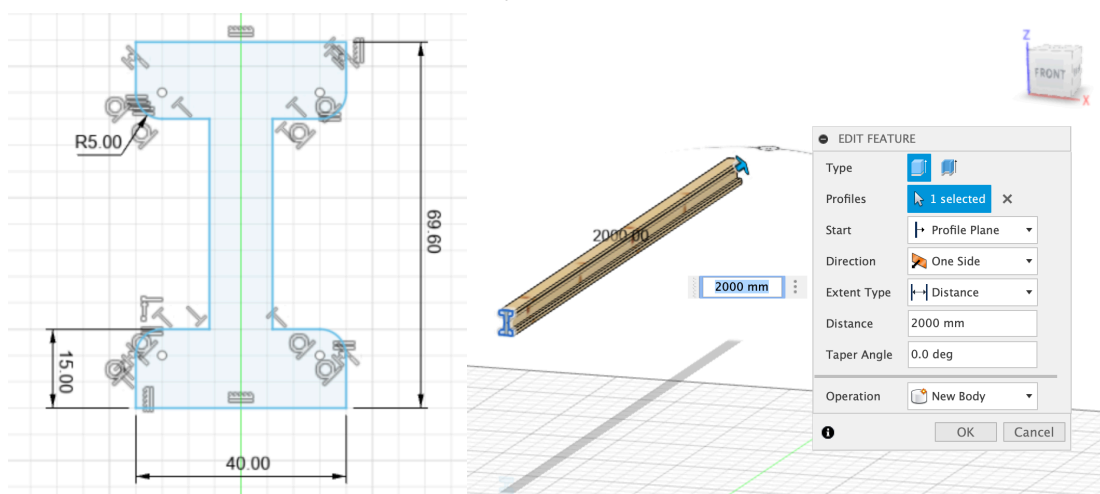


Рис.6.3 Ескіз та 3Д модель лонжерона

4. За допомогою *Circular Pattern*, дублюємо деталі по контуру кола шпангоута і з'єднуємо з шпангоутами.

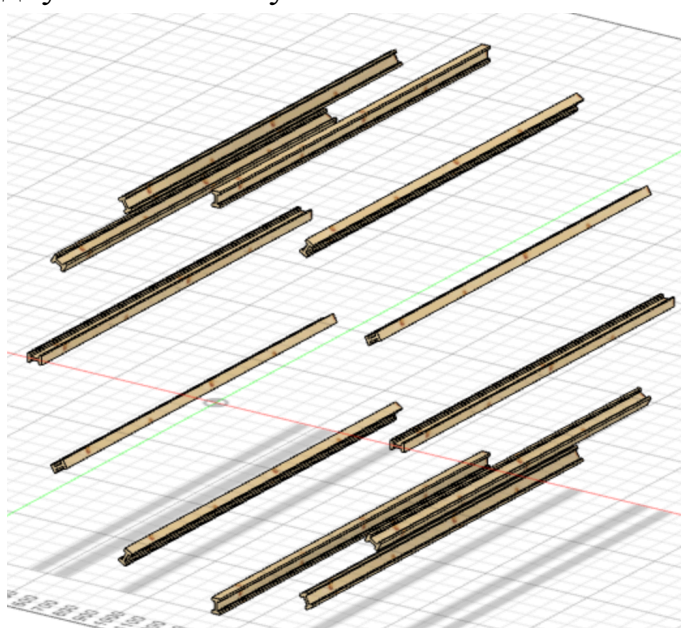


Рис.6.4 Повздожній силовий набір вхідної частини АДТ

					ВЛ7203.10.00.0000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

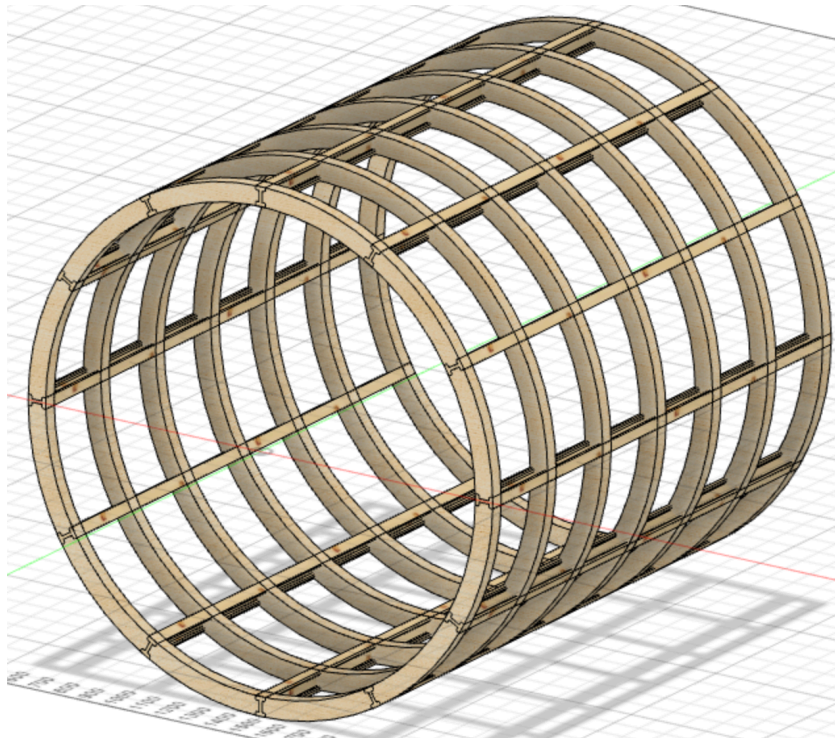


Рис.6.5 Силовий каркас вхідної частини АДТ

5. За тією ж самою схемою, виконуємо ескіз зовнішньої та внутрішньої обшивки, будуємо і додаємо до каркасу.

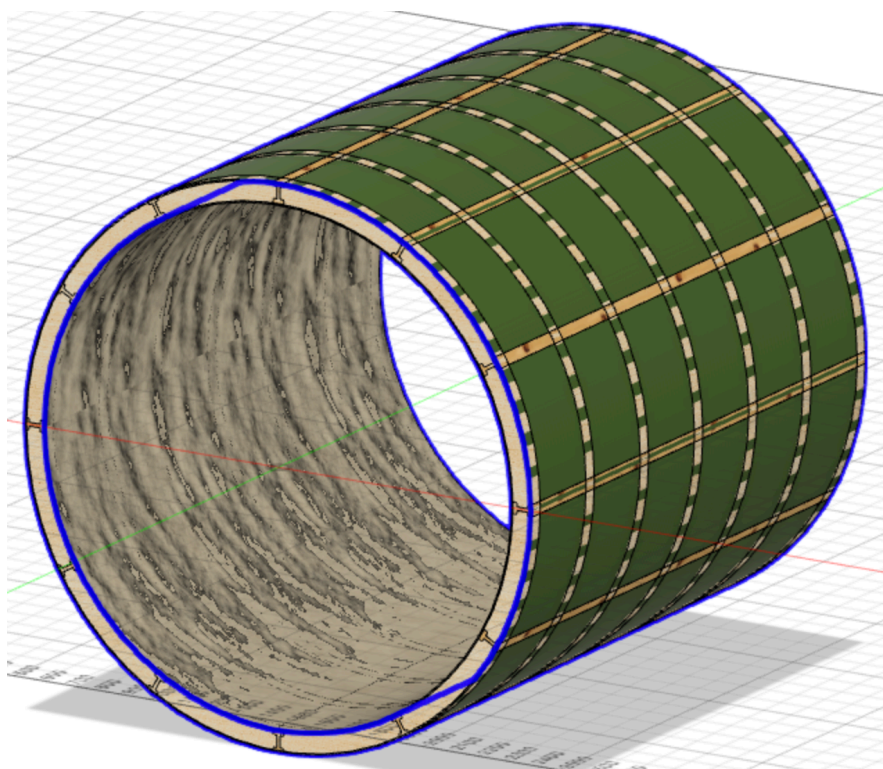


Рис.6.6 3Д модель вхідної частини АДТ

6. Виконуємо 3 вхідні отвори за допомогою функції *Combine* та модифікатора *Cut*. Отвори виконуємо згідно з поставленим завданням: 3 квадратних отвори з розмірами 560x560 мм, та виконуємо торцеві стиковочні елементи.

					ВЛ7203.10.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

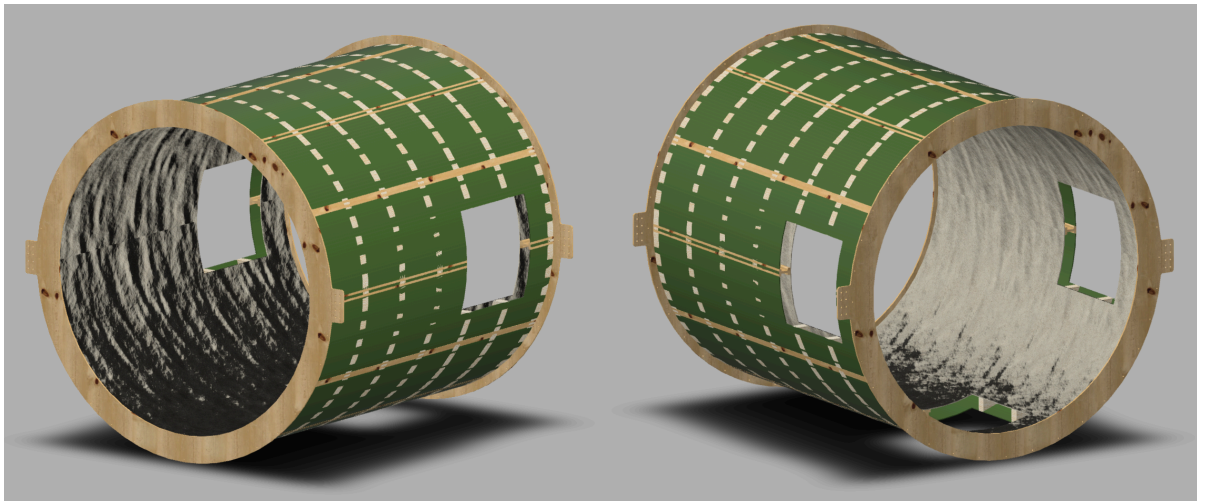


Рис.6.7 Рендер 3Д моделі вхідної частини АДТ

6.4 Висновок по розділу

В шостому розділі було детально описано структуру і параметри силових елементів вхідної частини АДТ, а також побудовано 3Д модель з силовим набором для подальшого навантаження:

- Силовий каркас складається з 7 шпангоутів та 12 лонжеронів, до яких потім кріпиться обшивка.
- Зовнішня обшивка в навантаженні брати участь не буде.

					ВЛ7203.10.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

7. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ РОЗРАХУНКУ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ

Тепер навантажуємо побудовану модель у розділі *Simulation*. Обираємо необхідний матеріал у вкладці *Study Material* та прикладаємо тиск у 100 кг/м² через меню *Loads*.

Після проведенних розрахунків отримуємо наступні результати:

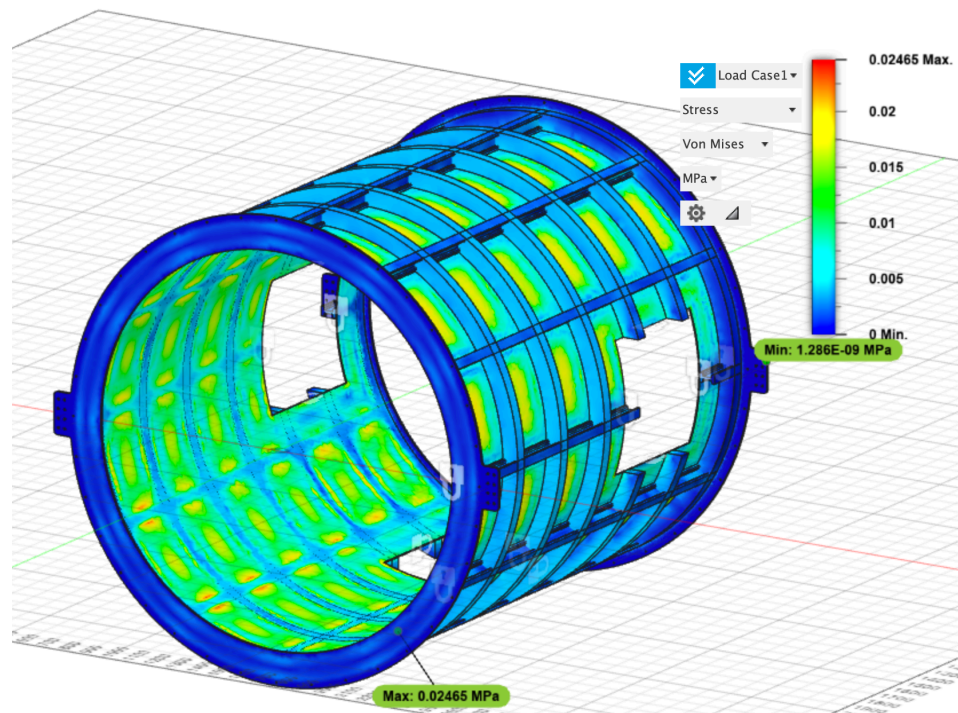


Рис.7.1 Аналіз навантаження при нормальних напруженнях (вид спереду)

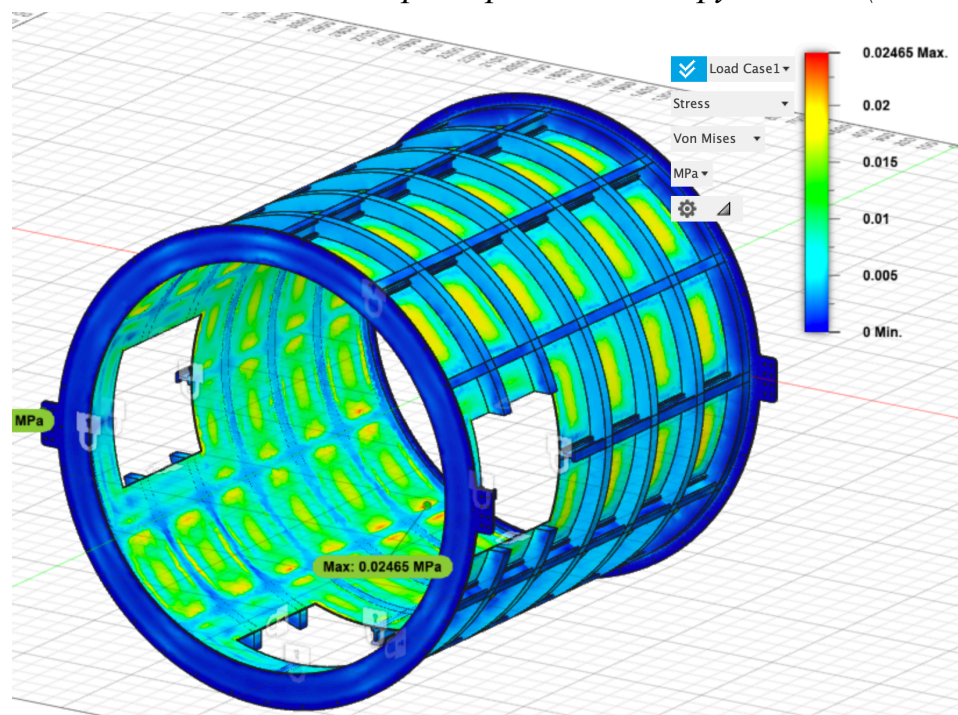


Рис.7.2 Аналіз навантаження при нормальних напруженнях (вид ззаду)

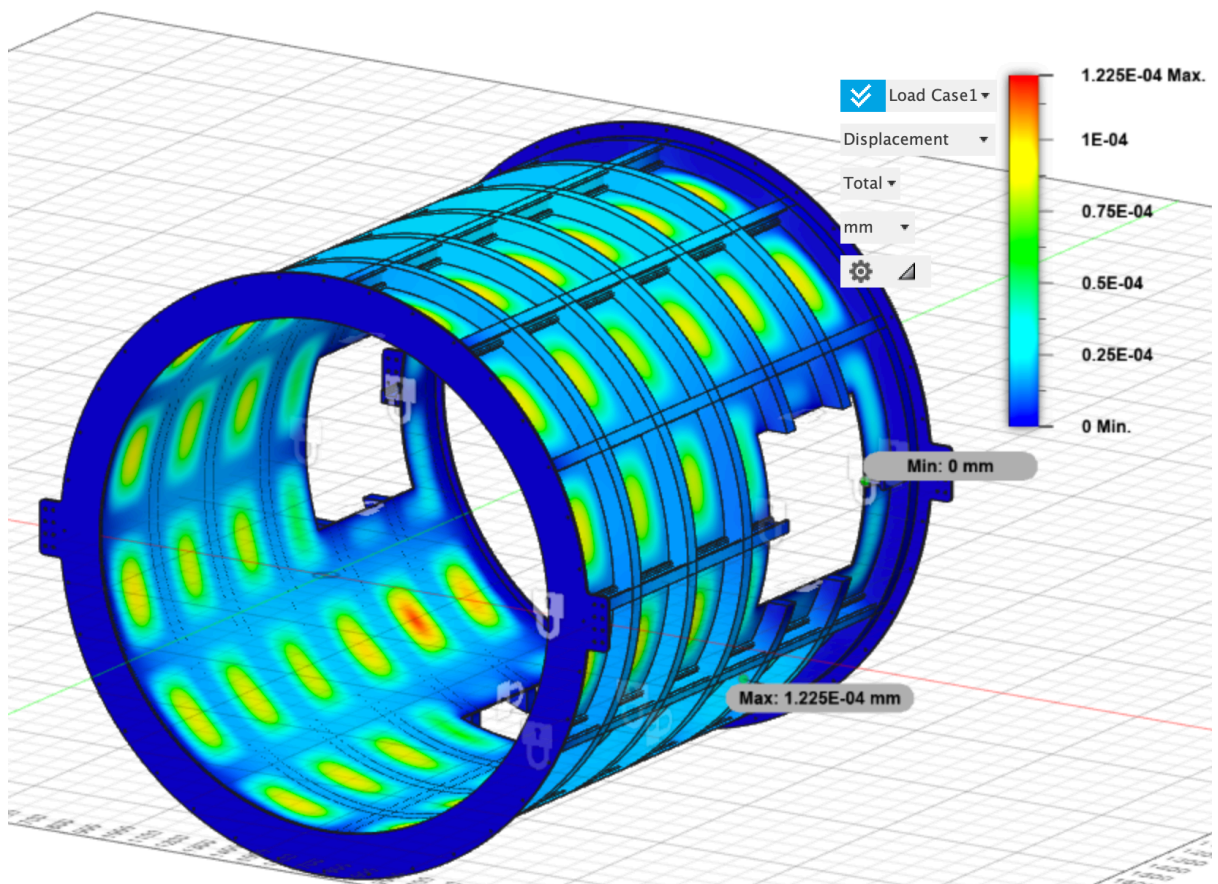


Рис.7.3 Аналіз зміщення при нормальних напруженнях (вид спереду)

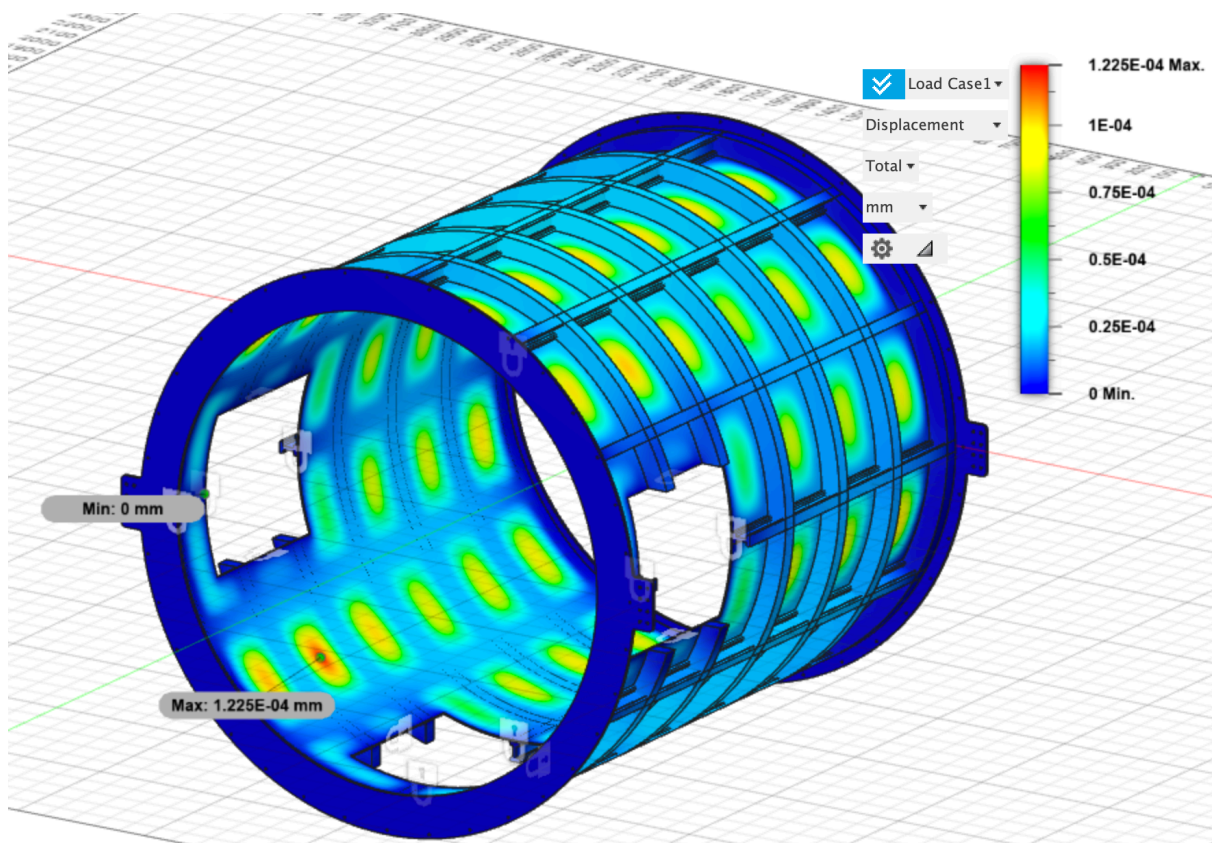


Рис.7.4 Аналіз зміщення при нормальних напруженнях (вид сзаду)

Проведемо навантаження внутрішньої обшивки без поперечного та повздовжнього набору:

					ВЛ7203.10.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

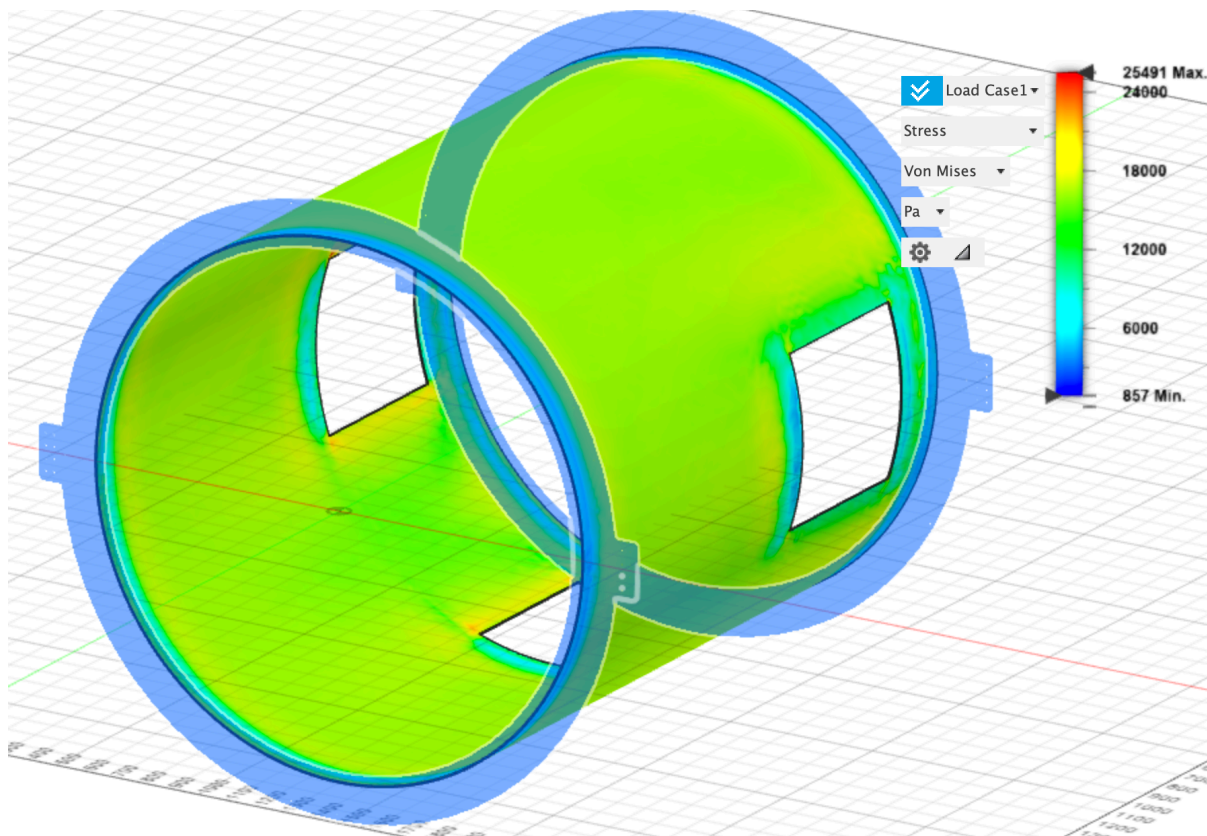


Рис.7.5 Аналіз навантаження тільки обшивки при нормальних напруженнях
(вид спереду)

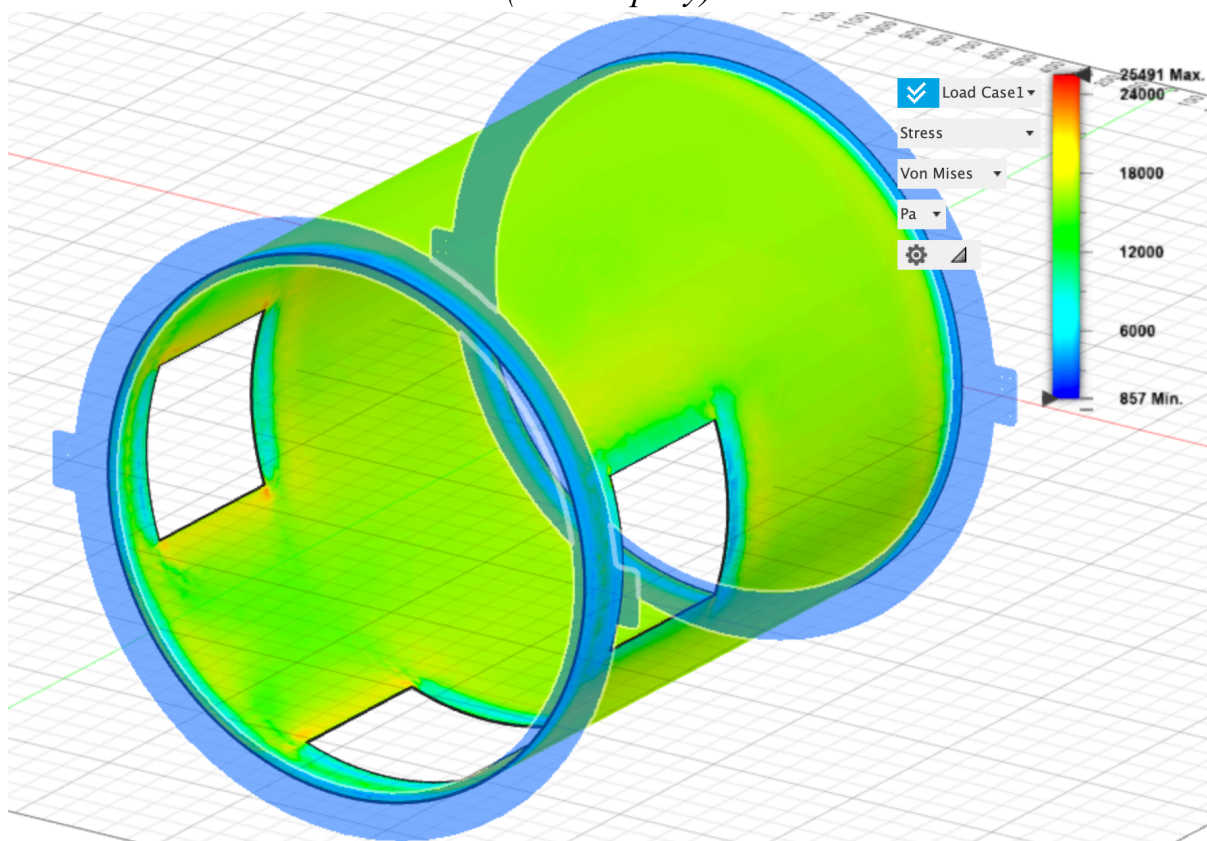


Рис.7.6 Аналіз навантаження тільки обшивки при нормальних напруженнях
(вид сзаду)

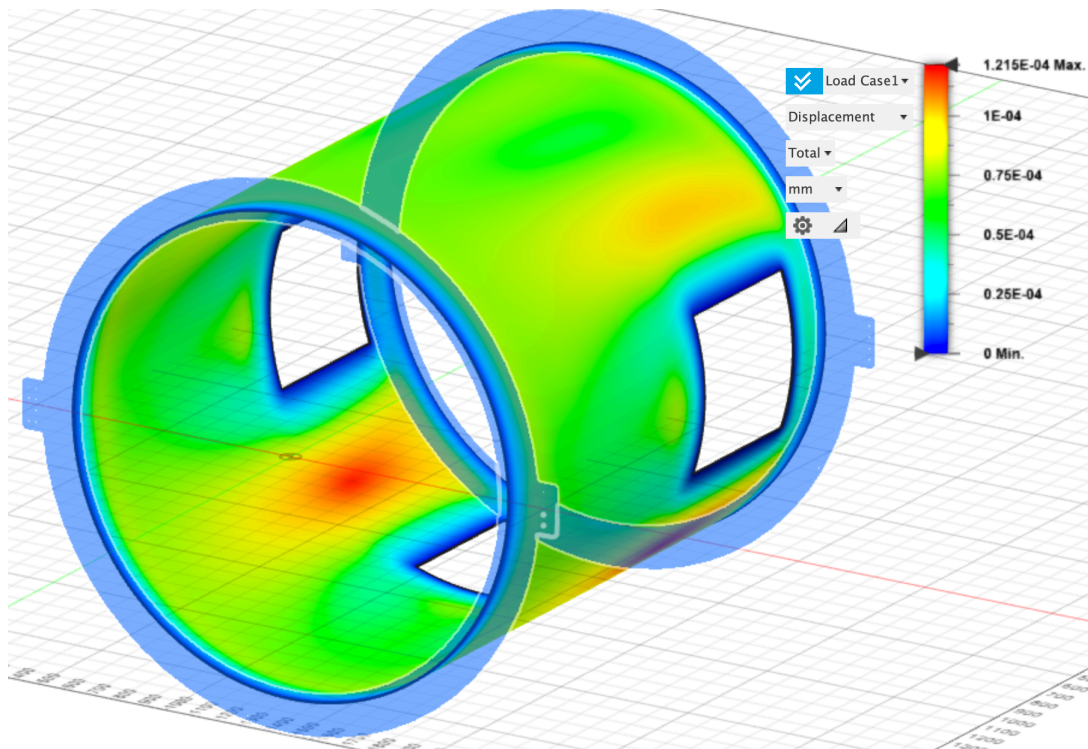


Рис.7.7 Аналіз зміщення обшивки при нормальних напруженнях (вид спереду)

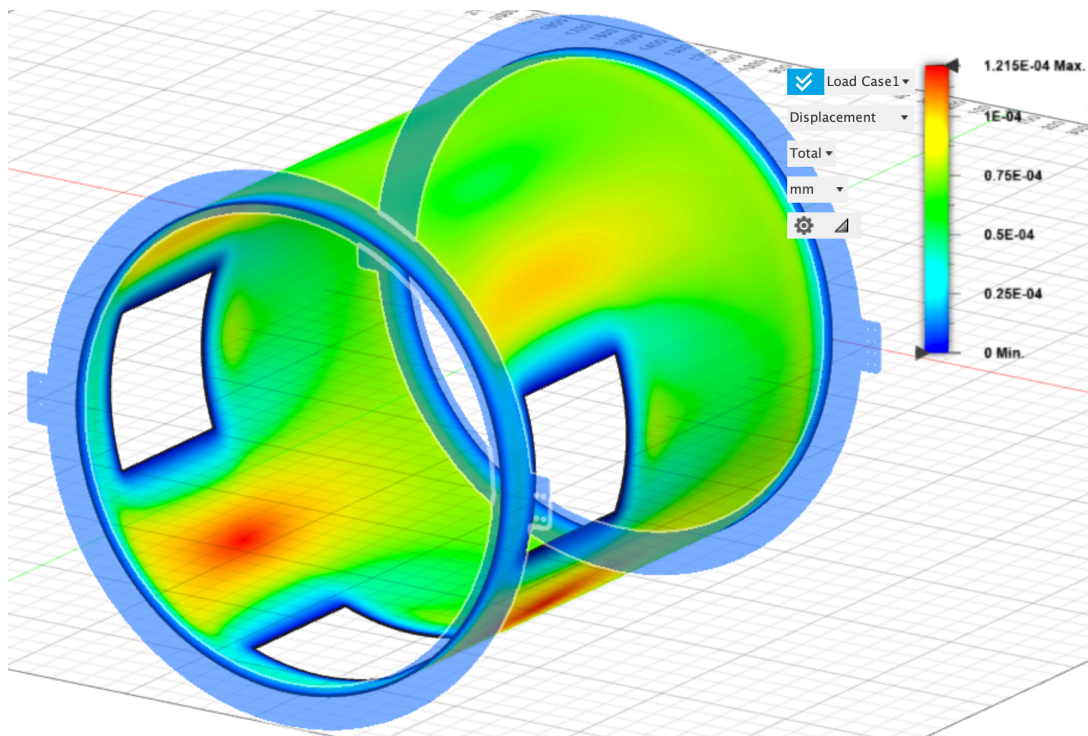


Рис.7.8 Аналіз зміщення обшивки при нормальних напруженнях (вид сзаду)

7.1 Висновок по розділу

В цьому розділі було навантажено та розраховано модель вхідної частини АДТ:

- Проведені розрахунки показали, що конструкція вхідної частини АДТ відповідає умовам міцності елементів дозвукової аеродинамічної труби.

					ВЛ7203.10.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

8. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ВХІДНОЇ ЧАСТИНИ

Згідно з аналізом типових аеродинамічних труб та на підставі технологічних міркувань, була обрана фермова конструкція вхідної частини, у якій всі аеродинамічні навантаження сприймають повздовжні та поперечні елементи силового набору. Внутрішня обшивка сприймає лише аеродинамічні навантаження в межах проміжків між елементами набору, які відразу передаються на елементи набору. Зовнішня обшивка має загальну захисну та декоративну функції.

Геометрія переїзу вхідної частини відповідає технічному завданню і являє собою коло радіусом 930 мм. Та 3 квадратні вхідні отвори с розмірами 560х560 мм.

Повздовжний набір утворений з лонжеронів, поперечний набір - зі шпангоутів.

Для спрощення технології виготовлення конструкції вхідної частини в якості основного матеріалу обрано бакелітову фанеру. При цьому лонжерони, а також торцевий та опорний шпангоути виготовляються з фанерних листів товщиною 50 мм.

Для забезпечення кріплення обшивок кожний шпангоут має внутрішню та зовнішню полицю, які виготовляються з соснових реек та підгоняються по контуру перерізів. Полиці кріпляться до стінок лонжеронів за допомогою шурупів та клею ПВА-МБ.

Проміжні шпангоути виготовляються з фанерних листів товщиною 30 мм.

Сборка каркаса виконується за допомогою клею ПВА-МБ. Підгонка пазів в елементах набору здійснюється за місцем. Торцевий та опорний шпангоути кріпляться к торцям лонжеронів за допомогою шурупів та клею ПВА-МБ.

Кріплення до інших елементів труби відбувається за допомогою торцевих елементів розташованих спереду та сзаду вхідної частини, які кріпляться шурупами.

					ВЛ7203.10.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

8.1 Висновок по розділу

В восьмому розділі було розроблено та детально описано конструкцію вхідної частини АДТ:

- Внутрішня та зовнішня обшивки виготовляються з фанери товщиною 5 мм та кріпляться до елементів каркасу за допомогою цвяхів та клею ПВА-МБ.
- Кріплення вхідної частини труби здійснюється за допомогою торцевих стиковочних елементів.

					ВЛ7203.10.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

9. ВИБІР ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ШПАНГОУТІВ ВХІДНОЇ ЧАСТИНИ

Згідно з технологічних міркувань та з обраної в попередньому розділі конструктивної схеми, для конструкції шпангоутів, в якості матеріала була обрана бакелітова фанера ФСБ.

Для забезпечення кріплення обшивок кожний шпангоут має внутрішню та зовнішню полицю, які виготовляються з соснових реек та підгоняються по контуру перерізів. Полиці кріпляться до стінок лонжеронів за допомогою шурупів та клею ПВА-МБ.



Рис.9.1 Нанесення клею на заготовку для подальшої збірки

Сам шпангоут являє собою фанерну балку зігнуту у коло з зовнішнім діаметром 930 мм. Таких шпангоутів для каркасу необхідно 7 штук, розташованих на відстані 228,5 мм одна від одної.

Збірка шпангоута починається з закладки зовнішньої та внутрішньої смуги шпангоута. Після, шпангоут стругається вручну під спеціальну розмічену лінійку або на рейсмусовому верстаті.

На відфрезерований шпангоут накладають розмічений шаблон, на якому намічають вертикальну і горизонтальну осі труби, місця установки лонжеронів і інших деталей. На оброблену поверхню приклеюють фанерну

					ВЛ7203.10.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

обшивку із двостороннім нанесенням клею. На рис. 9.2 зображено послідовність встановлення обшивки.

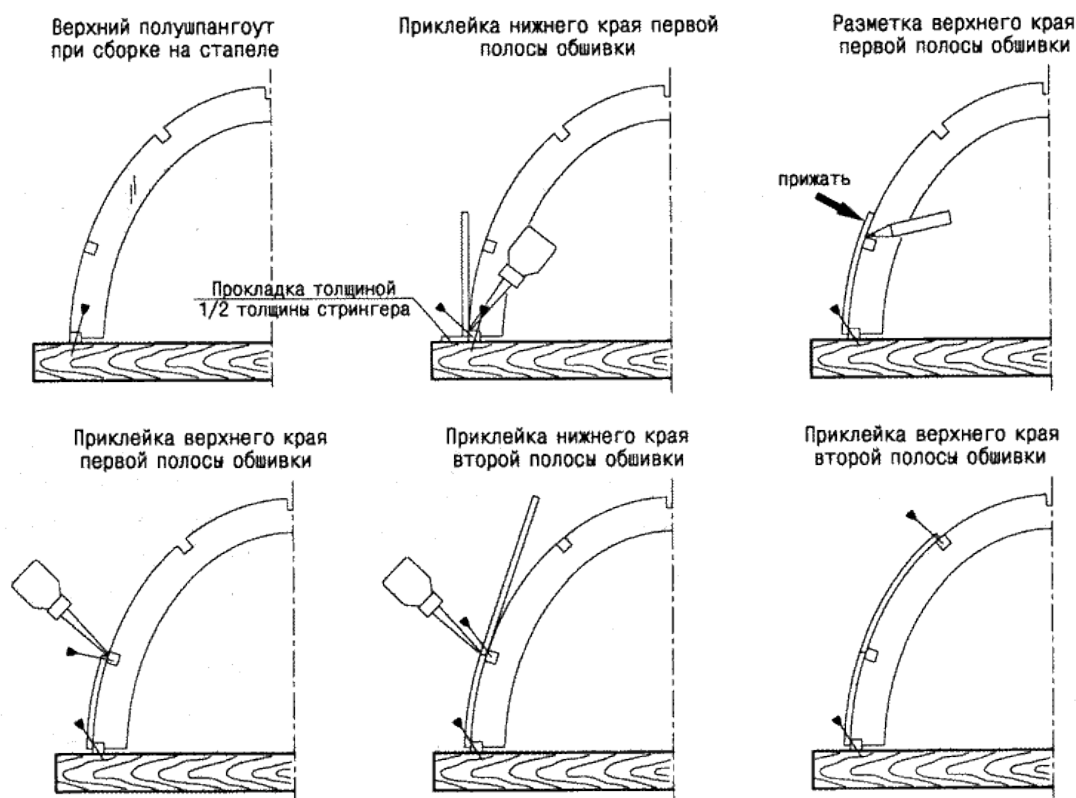


Рис.9.2 Етапи присєднання обшивки до каркасу

На рис. 9.3 та рис. 9.4 зображено як саме відбувається згин фанерного листа.



Рис.9.3 Згин фанерного листа закріпленого струбцинами



Рис.9.4 Зігнутий лист фанери

Фанеру можна гнути двома способами - сухий згин або мокрий (рис. 9.5). Для сухого згину застосовують спеціальні преси (рис 9.6). У пресах для сухого холодного склеювання фанери в порівнянні з пресами для гарячого склеювання відсутні міжповерхові плити і обігрівальні пристрої. Ці преси розрізняють по конструкції підстави і архітрава, які можуть бути литі і клепані з балок. Преси для холодного склеювання можуть працювати від гідравлічної установки з підведенням рідини через дистрибутор. У деяких конструкціях пресів насоси розташовуються на пресі.

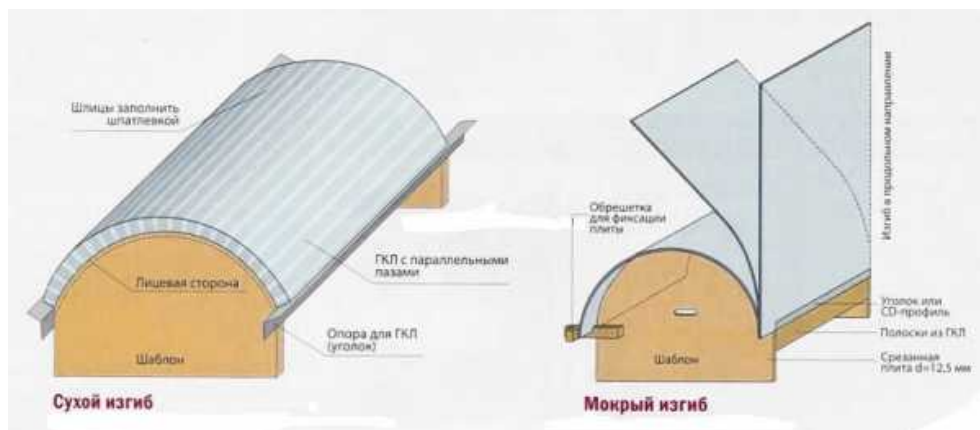


Рис.9.5 Способи вигину фанери

Склеюють фанеру в холодних пресах пакетами, що складаються з окремих пачок. Висота пакета залежить від величини розкриття преса. Пачка з декількох листів фанери полягає в прокладки. Весь пакет збирають на дерев'яному щиті і таким же щитом накривають зверху.

					ВЛ7203.10.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Зібраний пакет подають на вагонетці, забезпеченою роликами, в прес. Під нижній щит і на верхній щит укладають на однаковій відстані двотаврові балки. У циліндри преса впускають рідину під тиском, і плунжери разом зі столом піднімають і притискають пакет до верхнього архітрава. При досягненні необхідного питомого тиску на кінці верхніх і нижніх балок накладають затискачі-стяжки, що складаються з двох стержнів, з'єднаних карабіном. Кінець одного стержня має праву нарізку, а кінець іншого стержня - ліву. Карабін у кожного затиску загвинчують.

Процес склеювання відбувається наступним чином: спочатку для упресовки пакету подають рідину під тиском 50 атм, а потім для пресування - під тиском 300 атм (по манометру).

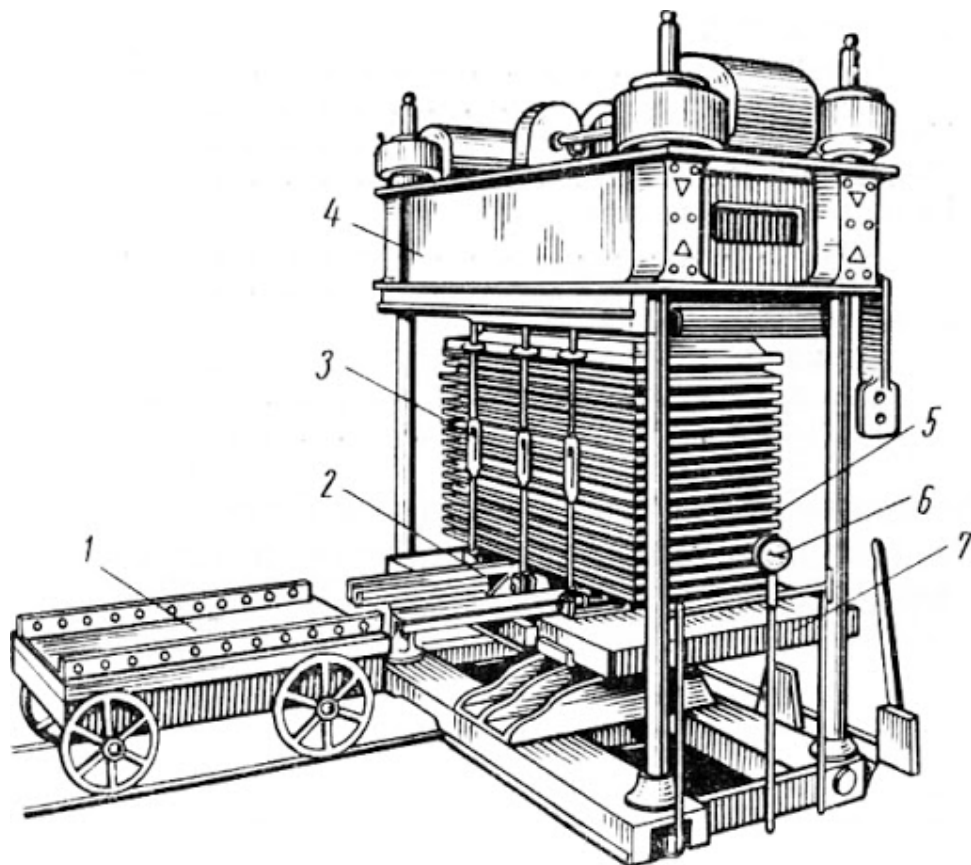


Рис.9.6 Прес для сухого холодного склеювання фанери:

- 1 - вагонетка, 2 - двотаврові балки, 3 - карабін, 4 - верхній архітрав, 5 - склеюваний пакет,
6 - манометр, 7 - стіл преса.

Після встановлення обшивки на каркас її закріплюють кількома цвяхами та закладають в прес, де одночасно запресовують чотири-п'ять шпангоутів.

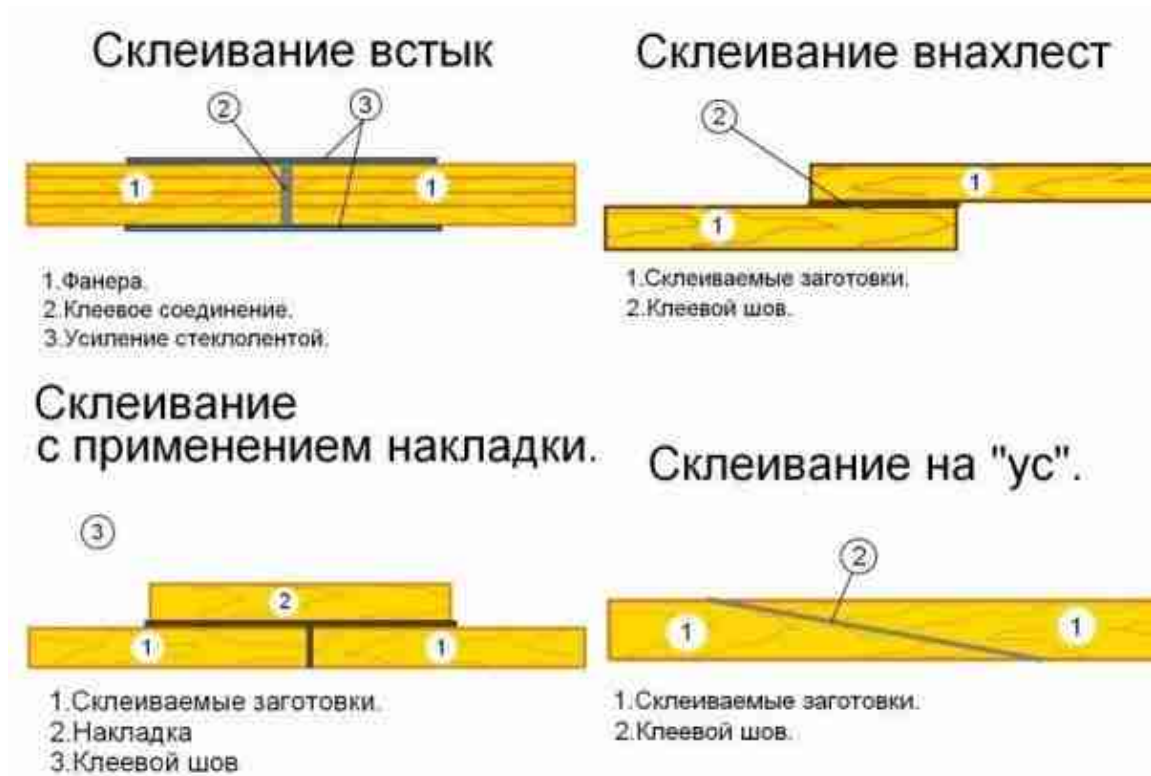


Рис.9.7 Методи склеювання фанерних виробів

Потім, після повного висихання моделі, внутрішню частину шпангоута лакують.

9.1 Висновок по розділу

В дев'ятому розділі було обрано та детально описано технологію виготовлення шпангоутів для вхідної частини АДТ:

- Шпангоут являє собою фанерну балку зігнуту у коло з зовнішнім діаметром 930 мм.
- Збірка шпангоута починається з закладки зовнішньої та внутрішньої смуги шпангоута.

ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК ДО ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

Метою дипломного проекту було проектування навчальної аеродинамічної труби. Після детального аналізу було виявлено основні відмінності дозвукових аеродинамічних труб, які полягають в типі робочої частини або в типі контуру. Робочі частини бувають закритого та відкритого типу, контур буває замкненого або не замкненого типу.

Було проведено детальний розрахунок геометричних параметрів, а саме:

- розрахунок параметрів вхідної частини та ваги обшивки.
- розрахунок радіусу вхідної частини АДТ.
- розрахунок навантаження та переміщення при нормальних напруженнях для вхідної частини з каркасом та без.

Завдяки отриманим даним було побудовано 3Д модель та проведено аналіз напружено-деформованого стану. Проведені розрахунки підтвердили відповідність конструкції вхідної частини умовам міцності елементів дозвукової аеродинамічної труби.

					ВЛ7203.10.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- *Калугин В.Т. Луценко А.Ю.* «Аэродинамические трубы дозвуковых и сверхзвуковых скоростей».
- *Рябинин А.Н.* «Аэродинамические трубы малых скоростей».
- *Пэнкхёрст Р. Холдер Д.* «Техника эксперимента в аэродинамических трубах».
- *Л.В. Виноградов, Ш.Р. Лотфулин* «Исследование геометрических параметров сопла с контуром Витошинского».
- *В. Б. Байдаков, А. С. Клумов* «Аэродинамика полета летальных аппаратов».
- *Жук В.В.* «Справочные материалы для проектирования деревянных конструкций зданий и сооружений».
- *Егер С.М.* «Проектирование самолетов».

					ВЛ7203.10.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46