

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

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

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Володимир КАБАНЯЧИЙ

«__» _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Літаки та вертольоти»

спеціальності 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка» на тему:

«Форкамера навчальної аеродинамічної труби»

Виконав:

студент ІV курсу, групи ВЛ-73

Черненко Тетяна Дмитрівна _____

Керівник:

Старший викладач кафедри АРБ., к.т.н.

Борисов Віктор Васильович

Рецензент:

Асистент

Предаченко Костянтин Олегович

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

Студент _____

**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

Черненко Тетяні Дмитрівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Форкамера 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 « 13 » червня 2021 р.

3. Вихідні дані до роботи _____

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

3.2 Площа перерізу форкамери – 2.73 м².

3.3 Форма перерізу форкамери – "круг".

3.4 Довжина форкамери – 2000 мм.

3.5 Розмір комірки детурбулізуючої сітки - 100x200 мм.

3.6 Розташування детурбулізуючої сітки - на початку форкамери.

4. Зміст роботи: _____

4.1 Аналіз конструкцій дозвукових аеродинамічних труб.

4.2 Визначення параметрів форкамери.

4.3 Розрахунок статичного тиску та навантажень на вузли кріплення.

4.4 Вибір конструктивно-силової схеми форкамери.

- 4.5 *Визначення конструкції вузлів кріплення форкамери.*
- 4.6 *Структура і параметри скінченно-елементної моделі силової конструкції.*
- 4.7 *Аналіз результатів розрахунку напружено-деформованого стану.*
- 4.8 *Розробка конструкції форкамери.*
- 4.9 *Вибір технології виготовлення шпангоутів форкамери.*

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

- 5.1 *Аналіз аналогів та визначення конструктивної схеми.*
- 5.2 *Конструкція форкамери 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	<i>Оформлення технічного завдання.</i>	<i>01.03.2021 р.</i>	
2	<i>Підбір та аналіз літератури.</i>	<i>до 15.03.2021 р.</i>	
3	<i>Аналіз основних параметрів прототипів.</i>	<i>до 30.03.2021 р.</i>	
4	<i>Вибір конструктивно-силової схеми форкамери.</i>	<i>до 05.04.2021 р.</i>	
5	<i>Розрахунок статичного тиску та навантажень на вузли кріплення.</i>	<i>до 12.04.2021 р.</i>	
6	<i>Формування скінченно-елементної моделі.</i>	<i>до 17.04.2021 р.</i>	
7	<i>Аналіз напружено-деформованого стану моделі.</i>	<i>до 20.04.2021 р.</i>	
8	<i>Розробка технічної документації</i>	<i>до 30.05.2021 р.</i>	
9	<i>Оформлення пояснювальної записки, затвердження</i>	<i>до 10.06.2021 р.</i>	
10	<i>Перевірка на плагіат</i>	<i>11.06.2021 р.</i>	
11	<i>Захист дипломного проєкту</i>	<i>15.06.2021 р.</i>	

Студент

(підпис)

Тетяна ЧЕРНЕНКО

(ініціали, прізвище)

Керівник роботи

(підпис)

Віктор БОРИСОВ

(ініціали, прізвище)

АНОТАЦІЯ

Темою мого дипломного проєкту є «Форкамера навчальної аеродинамічної труби». В дипломному проєкті було необхідно виконати основні завдання згідно з ТЗ. Даний звіт містить 38 рисунків, 12 використаних джерел та 4 таблиці.

Метою дипломного проєкту закріплення та демонстрація набутих теоретичних знань та практичних навичок, які необхідні для вирішення практичних завдань, а також використання набутих знань в реальних задачах.

Було проведено детальний аналіз дозвукових закритих та відкритих аеродинамічних труб та визначено їх основні відмінності. Виконано креслення навчальної аеродинамічної труби. Проведений аналіз конструкції прототипів та розрахунок геометричних параметрів. Використовуючи результати проєкту буде проводитися проєктування форкамери навчальної аеродинамічної труби.

У першому розділі був проведений огляд аеродинамічної труби в цілому та основних її агрегатів поодиноці, а також її види та параметри. Ознайомлено з варіаціями та аналогами.

У другому розділі були визначені основні параметри форкамери.

У третьому розділі було проведено розрахунок статичного тиску та навантажень на вузли кріплення.

У четвертому описано та досліджено можливі варіанти конструктивно-силової схеми та методом аналізу обрано найвигіднішу.

У п'ятому було визначено конструкцію вузлів кріплення форкамери.

У шостому було створено скінчено – елементну модель силової конструкції, розглянуто структуру та параметри СЕМ.

У сьомому був проведений аналіз результатів розрахунку напружено – деформованого стану.

У восьмому була розроблена конструкція форкамери в цілому та окремих її елементів по одиноці.

У дев'ятому розділі було обрано та описано технологію виготовлення шпангоутів форкамери.

ANNOTATION

The topic of my diploma project is "Prechamber of a training wind tunnel". In the diploma project it was necessary to perform the main tasks in accordance with the TOR. This report contains 38 figures, 12 sources used and 4 tables.

The purpose of the diploma project is to consolidate and demonstrate the acquired theoretical knowledge and practical skills that are needed to solve practical problems, as well as the use of acquired knowledge in real problems.

A detailed analysis of subsonic closed and open wind tunnels was performed and their main differences were identified. The drawing of the training wind tunnel is made. The analysis of prototype construction and calculation of geometrical parameters is carried out. Using the results of the project, the prechamber of the training wind tunnel will be designed.

In the first section, an overview of the wind tunnel as a whole and its main units alone, as well as its types and parameters. Familiar with variations and analogues.

In the second section, the main parameters of the prechamber were determined.

In the third section, the static pressure and loads on the fastening units were calculated.

In the fourth, the possible variants of the constructive-power scheme are described and investigated and the most favorable one is chosen by the method of analysis.

In the fifth, the design of the pre-camera mounting units was determined.

In the sixth, a finite element model of the power structure was created, the structure and parameters of the SEM were considered.

In the seventh, an analysis of the results of the calculation of the stress - strain state was performed.

In the eighth was developed the design of the prechamber as a whole and its individual elements one by one.

In the ninth section, the technology of manufacturing pre-chamber frames was selected and described.

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту

на тему: «Форкамера навчальної аеродинамічної труби»

Київ – 2021 року

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ/ПОЗНАЧЕНЬ	11
ВСТУП.....	12
1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ДОЗВУКОВИХ АЕРОДИНАМІЧНИХ ТРУБ	13
1.1 ЗАГАЛЬНА БУДОВА АЕРОДИНАМІЧНОЇ ТРУБИ.....	13
<i>1.1.1 Класифікація аеродинамічних труб.....</i>	<i>13</i>
<i>1.1.2 Конструкція аеродинамічних труб.....</i>	<i>14</i>
<i>1.1.3 Класифікація аеродинамічних труб дозвуків швидкостей</i>	<i>16</i>
<i>1.1.4 Класифікація за типом робочої частини.....</i>	<i>16</i>
<i>1.1.5 Класифікація за типом контуру</i>	<i>18</i>
1.2 ФОРКАМЕРА	19
<i>1.2.1 Форкамера.....</i>	<i>19</i>
<i>1.2.2 Хонейкомб</i>	<i>22</i>
<i>1.2.3 Детурбулізуюча сітка.....</i>	<i>25</i>
ВИСНОВОК ДО ПЕРШОГО РОЗДІЛУ	31
2. ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ФОРКАМЕРИ.....	32
2.1 ПАРАМЕТРИ ФОРКАМЕРИ.....	32
2.2 ПАРАМЕТРИ ДЕТУРБУЛІЗУЮЧОЇ СІТКИ	32
ВИСНОВОК ДО ДРУГОГО РОЗДІЛУ	34
3. РОЗРАХУНОК СТАТИЧНОГО ТИСКУ ТА НАВАНТАЖЕНЬ НА ВУЗЛИ КРІПЛЕННЯ	35
ВИСНОВОК ДО ТРЕТЬОГО РОЗДІЛУ	37
4. ВИБІР КОНСТРУКТИВНО-СИЛОВОЇ СХЕМИ ФОРКАМЕРИ	38

ВЛ7318.10.00.0000 ПЗ				
Змн	Лист	№ докум	Підпис	Дата
Разраб		Черненко		
Перевір.		Борисов В.В.		
Н. Контр.		Поваров С.А		
Затв.		Кабанячий В.В		
Форкамера навчальної аеродинамічної труби				
		Літ.	Арк.	Аркушів
		2	2	81
КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АРБ гр. ВЛ-73				

4.1 СИЛОВА СХЕМА КОНСТРУКЦІЇ НАПІВМОНОКОК	38
4.2 СТРИНГЕРНИЙ НАПІВМОНОКОК	39
4.3 ПІДБІР ЕЛЕМЕНТІВ СИЛОВОГО НАБОРУ	42
Висновок до четвертого розділу	45
5. ВИЗНАЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВУЗЛІВ КРІПЛЕННЯ ФОРКАМЕРИ	46
Висновок до п'ятого розділу	48
6. СТРУКТУРА І ПАРАМЕТРИ СКІНЧЕНО-ЕЛЕМЕНТНОЇ МОДЕЛІ СИЛОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ.....	49
6.1 ПОСЛІДОВНІСТЬ ФОРМУВАННЯ СЕМ	49
6.2 СТРУКТУРА СКІНЧЕНО-ЕЛЕМЕНТНОЇ МОДЕЛІ СТРИНГЕРНОГО НАПІВМОНОКОКА ФОРКАМЕРИ.....	49
6.3 ПАРАМЕТРИ КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ.....	51
6.4 УМОВИ ЗАКРІПЛЕННЯ МОДЕЛІ.....	51
6.5 УМОВИ НАВАНТАЖЕННЯ.....	52
Висновок до шостого розділу	53
7. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ РОЗРАХУНКУ НАПРУЖЕНО- ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ	54
7.1 АНАЛІЗ НАПРУЖЕНЬ КОНСТРУКЦІЇ.....	54
7.2 АНАЛІЗ ПЕРЕМІЩЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ	55
7.3 АНАЛІЗ ДЕФОРМАЦІЙ КОНСТРУКЦІЇ	57
Висновок до сьомого розділу	59
8. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ФОРКАМЕРИ.....	60
8.1 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ШПАНГОУТІВ ФОРКАМЕРИ	60
8.2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ЛОНЖЕРОНІВ ФОРКАМЕРИ	62
8.3 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ОБШИВКИ ФОРКАМЕРИ.....	63

Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата

ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ

Арк.

9

8.4 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ДВЕРЕЙ ФОРКАМЕРИ	65
ВИСНОВОК ДО ВОСЬМОГО РОЗДІЛУ	67
9. ВИБІР ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ШПАНГОУТІВ	
ФОРКАМЕРИ	68
9.1 МЕТОДИ ГНУТТЯ ФАНЕРИ	68
9.2 МЕТОД ХОЛОДНОГО СКЛЕЮВАННЯ ФАНЕРИ	71
9.3 КЛЕЄНІ КОНСТРУКЦІЇ	74
9.3.1. Переваги склеювання	74
9.3.2. Недоліки склеювання	75
9.3.3. Процес склеювання	76
9.3.4. Конструкція клейових з'єднань	81
9.4. ВИГОТОВЛЕННЯ ШПАНГОУТУ З ДЕТУРБУЛІЗУЮЧОЮ СІТКОЮ	82
ВИСНОВОК ДО ДЕВ'ЯТОГО РОЗДІЛУ	83
ВИСНОВОК	84
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	85

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ/ПОЗНАЧЕНЬ

АДТ – аеродинамічна труба

КСС – конструктивно-силова схема

МСЕ – метод скінченних елементів

СЕМ – скінчено-елементна модель

НДС – напружено-деформований стан

					ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата		11

ВСТУП

За останні роки в області аеродинаміки відбувається швидкий процес розширення та поглиблення досліджень в усіх її напрямках. Однак для того, щоб отримати якісні авіаційні розробки та винаходи необхідно приділити велику увагу експериментальній частині. Якщо ще недавно основну увагу приділяли дослідженням, пов'язаними з підвищенням швидкості течії газу, то зараз більше уваги приділяється також і підвищенню числа Рейнольдса, що призводить до збільшення масштабу досліджуваної моделі і відповідно розмірів аеродинамічних труб. Щоб зменшити витрати коштів необхідно проводити досліди на моделях, саме в такому випадку наявність технологічної та якісної аеродинамічної труби допоможе створити реальні природні умови для досліджуваного ЛА та реалізувати чималу кількість необхідних експериментів.

Мета дипломної роботи – форкамера навчальної аеродинамічної труби.

У першому розділі було проведено огляд аеродинамічних труб в цілому та окремо основних їх агрегатів, а також розглянуто їх основні види та параметри.

					<i>ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата		12

1.1.2 Конструкція аеродинамічних труб

Аеродинамічні труби, які застосовуються для визначення характеристик ЛА складаються з таких основних елементів: форкамера, сопло, робоча частина, дифузор та привод (джерело енергії). Це основні елементи, які застосовуються різними видами труб, однак в залежності від швидкості потоку може змінюватись їх форма, розмір деяких вузлів та деталей, а також характер їх розташування.

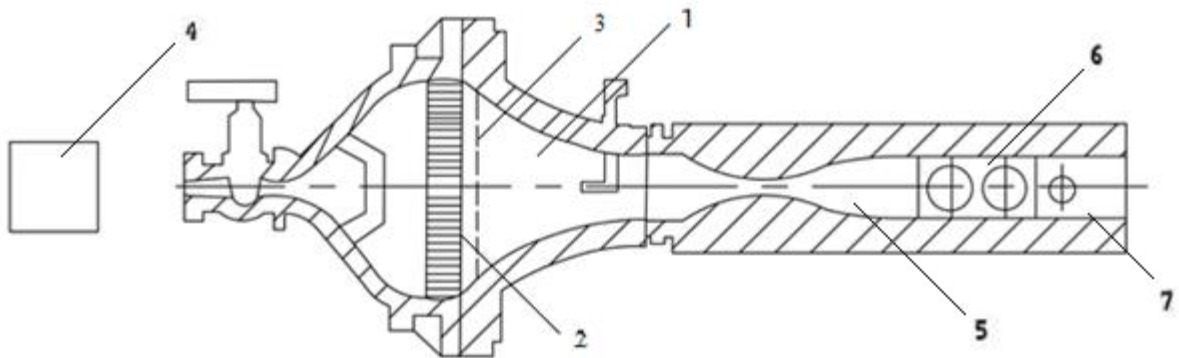


Рис.1.1.1 Приклад аеродинамічної труби

1 - привод (компресор); 2 - хонейкомб; 3 - детурбулізуюча сітка; 4 - форкамера;

5 - сопло; 6 - робоча частина; 7 – дифузор.

Повітря потрапляє в трубу через форкамеру, яка має напівзамкнений об'єм із відкритим виходом для приєднання сопла. У форкамері розташовано приймач повного тиску, для виміру температури та різні прилади для упорядкування руху потоку газу перед його входом у сопло. Наприклад, хонейкомб, який являє собою сотоподібну решітку, виконану із тонких металевих пластин та детурбулізуючої сітки.

Хонейкомб служить для того, щоб руйнувати крупні вихори та вирівнювати скоси, а сітка служить для створення рівномірного поля швидкостей по поперечному сеченню форкамери, також вона зменшує початкову турбулентність потоку. Чим більший розмір форкамери, тим більш рівномірним буде потік перед входом у сопло, відповідно і у робочій частині труби.

Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата

ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ

Арк.

14

Сопло труби являє собою канал, який має відповідну конфігурацію, яка забезпечує отримання заданої швидкості однорідного газового потоку. Форма сопла залежить від поставленої задачі дослідження, наприклад для досліджень моделей літака підходить сопло овальної форми, а для досліджень ракет - кругла форма.

Робоча частина являється частиною труби, в якій встановлюється досліджувана модель ЛА або окремі його елементи. Газовий потік в ній повинен мати рівномірне поле швидкостей, температуру і тиск. Робочі частини дозвукових труб зазвичай роблять відкритими, а робочі частини надзвукових труб зазвичай роблять закритими або у вигляді герметичної камери.

Дифузор знаходиться одразу за робочою частиною труби і являє собою спеціально спрофільований канал, який служить для зменшення швидкості потоку газу для найбільш ефективного перетворення його кінетичної енергії в енергію тиску.

Привід аеродинамічної труби являє собою пристрій, який задає потоку газу необхідну енергію, при якій його швидкість в робочій частині досягає заданого значення. У надзвукових трубах в якості приводу використовуються багатоступінчасті компресори, а у дозвукових трубах використовуються електродвигуни з вентиляторами.

Крім всіх вище перерахованих основних елементів до конструкції труби також можуть входити інші пристрої, необхідні для забезпечення спеціальних умов досліджень.

Наприклад, для надзвукових труб можуть використовуватись осушувачі, які служать для видалення з повітря надмірної вологи, що погіршує картину обтікання в робочій частині. В окремих конструкціях труб використовують підігрівачі, які служать для запобігання конденсації компонентів газу.

					<i>ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм..</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		15

1.1.3 Класифікація аеродинамічних труб дозвукових швидкостей

Дозвукова аеродинамічна труба постійної дії складається з робочої частини, яка зазвичай має вигляд циліндру з поперечним перерізом у формі круга або прямокутника (іноді еліпса або багатокутника).

Такі труби є установками постійної дії, в яких штучний потік газу можна підтримувати на протязі довгого часу. Саме це робить зручним проведення дослідів у таких трубах. В таких трубах досліджуються аеродинамічні характеристики дозвукових літаків, вертольотів, а також характеристики надзвукових літаків на злітно-посадкових режимах. Крім цього, вони використовуються для вивчення обтікання автомобілів, будівель, монументів, мостів та інше.

Класифікувати аеродинамічні труби дозвукових швидкостей можна за багатьма параметрами, але можна виділити основні, такі як вид робочої частини, та вид контуру. За вище перерахованими параметрами ми і будемо класифікувати такі труби.

1.1.4 Класифікація за типом робочої частини

Робоча частина АДТ може бути закритою або відкритою, або якщо необхідно створити АДТ с відкритою робочою частиною, статичний тиск в якій не буде дорівнювати атмосферному, струю в робочій частині відділяють від атмосфери так названою камерою Ейфеля (висотною камерою).

Досліджувана модель кріпиться державками до стінки робочої частини або до аеродинамічних ваг. Якщо робоча частина має стінки, вона називається закритою, якщо ні, то відкритою. Також бувають закриті робочі частини з щілинами. Їх перевагами є постійний тиск по довжині робочої частини, економія на потужності та відсутність пульсації. Також, через щілини можна ввести додаткові вимірювальні прибори в робочу частину.

Порівняння закритої та відкритої робочої частини

	Переваги	Недоліки
Закрита робоча частина	<ol style="list-style-type: none"> 1. Менші втрати потужності. 2. Відсутність пульсації. 3. Необмежена довжина. 4. Допустиме використання незамкненого контуру. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Необхідність вирівнювання статичного тиску. 2. Поганий доступ. 3. Впливання стінок на потік.
Відкрита робоча частина	<ol style="list-style-type: none"> 1. Постійність статичного тиску. 2. Хороший доступ. 3. Стінки не впливають на потік. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обмежена довжина. 2. Наявність пульсації потоку. 3. Необхідність замкнутого контуру або камери Ейфеля. 4. Втрати потужності.

Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата

ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ

Арк.

17

1.1.5 Класифікація за типом контуру

Залежно від способу подачі повітря розрізняють два види контуру аеродинамічної труби: замкнутий і незамкнутий (відкритий).

У першому випадку, коли контур замкнутий, повітря переміщується в трубі, не виходячи за межі установки. У трубі незамкнутого типу, повітря забирається із приміщення, і пройшовши через трубу, викидається знову у приміщення.

У трубах замкнутого типу для замикання контуру використовуються зворотні канали, які з'єднують вхідні та вихідні пристрої. Такий тип контуру є найбільш популярним, через те, що труби з незамкнутим контуром мають великі втрати потужності, так як на виході розсіюється вся кінетична енергія повітряного потоку.

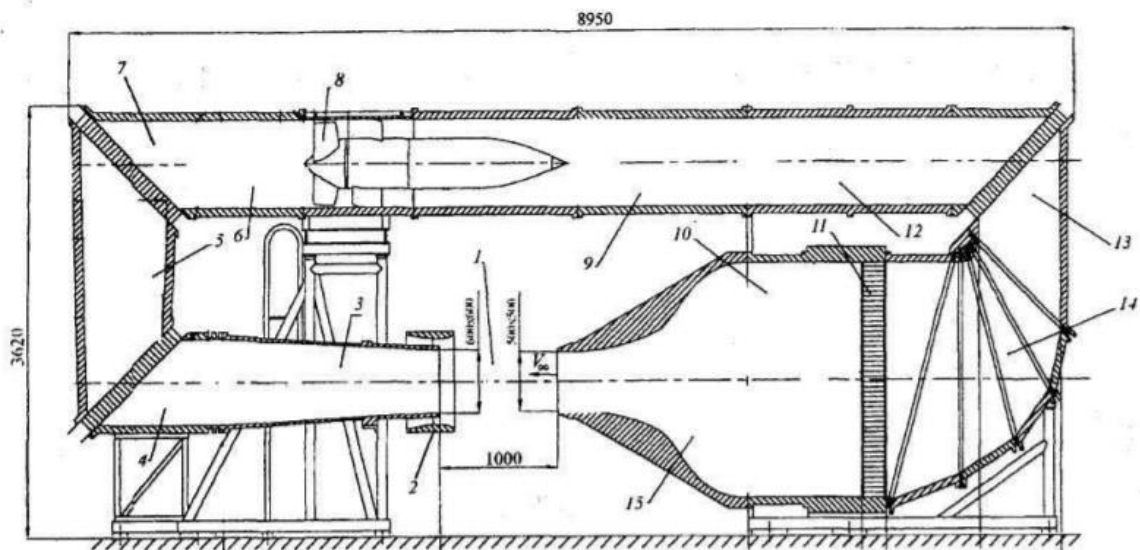


Рис.1.1.2 Схема дозвукової аеродинамічної труби із замкнутим контуром та відкритою робочою частиною.

- 1- робоча частина; 2- насадок на дифузор; 3, 5, 12- дифузор;
4, 7, 13, 14- поворотні коліна; 6, 9- перехідники; 8- вентилятор; 10- форкамера; 11- спрямляюча решітка; 15- сопло.

Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата

ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ

Арк.

18

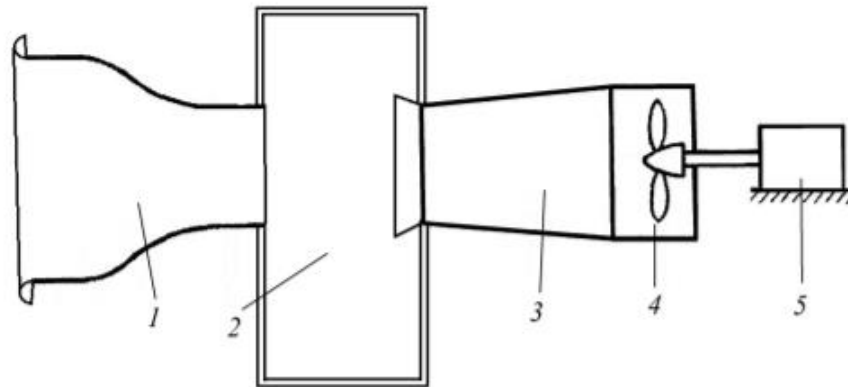


Рис.1.1.3 Схема аеродинамічної труби з незамкнутим контуром і камерою Ейфеля.

1- сопло; 2- камера Ейфеля, оточуюча робочу частину; 3- дифузор;
4- вентилятор; 5- електродвигун.

Отже, всі вище перераховані типи аеродинамічних труб мають власні переваги та недоліки. Кожен з типів ідеально підходить для виконання своєї певної задачі в конкретному випадку застосування.

1.2 Форкамера

1.2.1 Форкамера

Перед соплом вище по потоку розміщується форкамера, як правило сама широка частина контуру аеродинамічної труби. Форкамера слугує для вирівнювання та заспокоєння потоку. Раніше у старих трубах, таких як АДТ-12 форкамери були малої довжини, однак зараз, майже всі сучасні АДТ, для кращого вирівнювання потоку, мають збільшену довжину.

У форкамерах для вирівнювання потоку встановлюють хонейкомб та (або) датурбулізуючі сітки. Походження слова хонейкомб пішло від англійського *honeysomb* – бджолині соти. Подібно сотам, хонейкомб являє собою решітку з комірками, довжиною 5-6 поперечних розмірів комірки.

Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата

ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ

Арк.

19

Комірка в проекції на поперечний переріз форкамери може мати різну форму. Найчастіше можна зустріти квадратну форму комірки. Товщина стінок хонейкомба має бути настільки малою, наскільки це дозволяє матеріал з якого він виготовлений. Іноді можна зустріти хонейкомб, виготовлений навіть з дерева, однак частіш за все їх виготовляють із сталі.

Основною метою встановлення хонейкомбу є розбивання великих вихорів та вирівнювання потоку по напрямку. Також він зменшує нерівномірність поздовжніх компонентів швидкості потоку. Однак, в той же час, хонейкомб є джерелом обурення потоку через формування слідів за стінками комірок. Саме тому, у АТ з низьким ступенем турбулентності в робочій частині хонейкомб не встановлюється.

Вирівнюючі та детурбулізуючі сітки зазвичай виготовляють із тонкого дроту і мають маленькі комірки. Важливою характеристикою сітки є коефіцієнт опору.

$$\zeta = \frac{p_1 - p_2}{\rho v^2 / 2} \quad (1.2.1)$$

де p_1 і p_2 – тиск до і після сітки, v і ρ – швидкість потоку і густина газу.

Здатність сіток виправляти нерівномірність потоку оцінюється емпіричним шляхом. Сітки з малим коефіцієнтом опору недостатньо вирівнюють профіль швидкостей, при дуже високих коефіцієнтах опору ділянки з перевищенням швидкості потоку після сітки стають ділянками з пониженням швидкості, і навпаки занижені швидкості трансформуються в завищені.

Нехай v – середня швидкість потоку, а $v + v_1$ – локальна швидкість потоку на деякій відстані перед сіткою, а $v + v_2$ – локальна швидкість потоку після сітки.

Тоді відхилення від середньої швидкості v_1 і v_2 поєднані формулою:

$$v_2 = v_1 \frac{2-\zeta}{2+\zeta} \quad (1.2.2)$$

Таким чином, нерівномірність швидкостей найкращим чином

									Арк.
									20
Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата	ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ				

усувається сіткою, яка має коефіцієнт опору $\zeta = 2$. Це правило підтверджується експериментально.

Сітки розбивають великомасштабні вихори, тим самим зменшують степінь турбулентності набігаючого потоку. Однак, і самі сітки стають джерелом турбулентності, через формування періодичного вихрового сліду за дротом. Встановлено, що періодичний схід вихорів за циліндром не відбувається, якщо число Рейнольдса, визначене по діаметру циліндра $Re < 40$. Щоб число Рейнольдса було малим, необхідно зменшити діаметр дроту та швидкість потоку. Тому форкамера, в контурі труби якої сама велика площа поперечного січення і, відповідно, сама низька швидкість потоку, являється найкращим місцем для встановлення детурбулізуючих сіток.

Поперечні компоненти турбулентних пульсацій затухають гірше від поздовжніх. Крім зменшення турбулентності детурбулізуючі сітки зменшують також і масштаб турбулентності.

Дуже густі сітки можуть погіршувати рівномірність повітряного потоку через взаємодію вихрових слідів, які сходяться із сусідніх дротів сітки.

На практиці встановлюється декілька сіток на невеликій відстані один від одного.

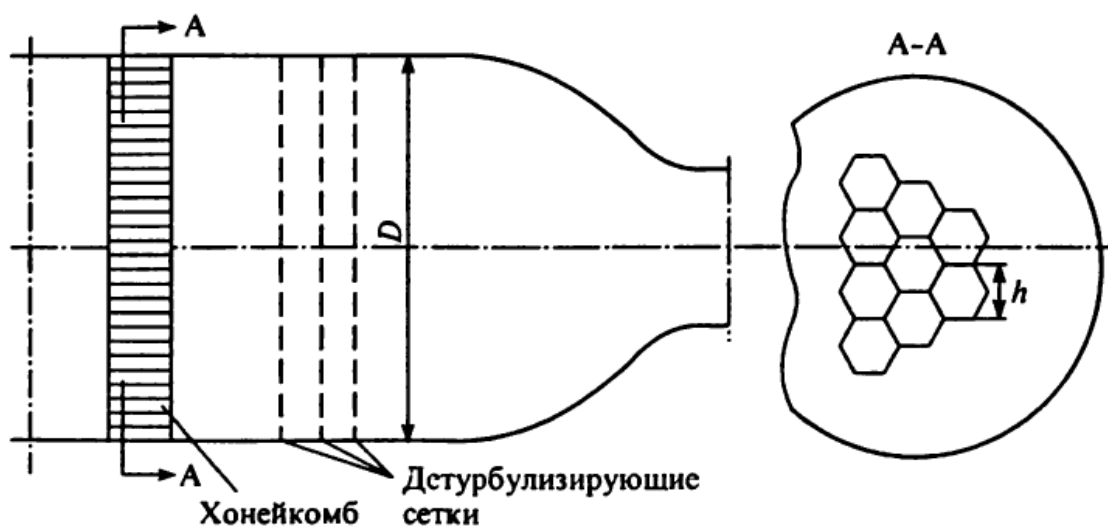


Рис. 1.2.1 Розташування хонейкомба і сіток у форкамері

Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата

ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ

Арк.

21

1.2.2 Хонейкомб

Хонейкомб являє собою сотову конструкцію (рис. 1.2.2) з трубок із зовнішнім діаметром $D = 50$ мм і товщиною стінок 3 мм ($d = 44$ мм). Довжина хонейкомбу складає $L = 500$ мм.

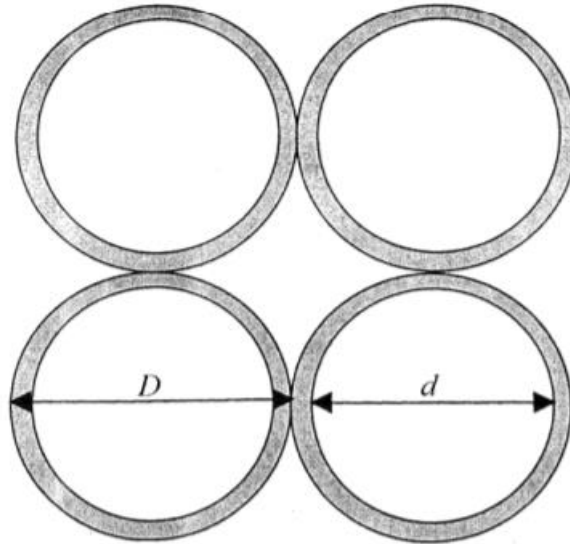


Рис.1.2.2 Фрагмент хонейкомбу АДТ Т-128

Відповідно до (1.2.2) коефіцієнт гідравлічного опору $\zeta_{\text{хн}}$ знаходиться із співвідношення

$$\zeta_{\text{хн}} = S + 1,8 \left(\frac{S}{1-S}\right)^2 \quad (1.2.3)$$

де $S = 1 - F_1 / F_0$ – коефіцієнт заповнення (затінення потоку); F_0 – площа поперечного січення каналу; F_1 – площа поперечного січення хонейкомба.

Раніше вважалось, що величина $\zeta_{\text{хн}}$ не залежить від швидкості потоку $\zeta_{\text{хн}} = \text{const}$. Однак в дійсності площа поперечного січення хонейкомба залежить від товщини примежового шару всередині комірок хонейкомба, при цьому товщина витіснення примежового шару залежить від числа Рейнольдса комірок хонейкомба. Тому, в співвідношенні (1.2.3) має фігурувати еквівалентний коефіцієнт заповнення хонейкомбу $S_{\text{екв}}$, який враховує завалювання потоку, зумовлене як конструктивними особливостями хонейкомаба, так і наявністю примежового шару в його комірках:

Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата

ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ

Арк.

22

$$S_{\text{екв}} = 1 - \frac{F_{\text{тр екв}} + F_{\text{щ екв}}}{F_0} \quad (1.2.4)$$

Тут $F_{\text{екв}}$ – прохідна площа (всередині трубки чи щілини) з урахуванням наростання примежового шару.

Враховуючи, що відносна довжина хонейкомба відносно невелика $L/D = 10$ і примежовий шар в комірках хонейкомба не зникається, площа проточної частини трубок $F_{\text{тр}}$ і $F_{\text{щ}}$ хонейкомба можна визначити по збільшенню в них швидкості течіння, використовую рівняння витрати: U_m

$$\frac{F_{\text{тр екв}}}{F_{\text{тр}}} = \frac{U_0}{U_{m\text{тр}}}, \quad \frac{F_{\text{щ тр}}}{F_{\text{щ}}} = \frac{U_0}{U_{m\text{тр}}}, \quad (1.2.5)$$

де U_0 – швидкість течії на вході в хонейкомб, $U_{m\text{тр}}$ – максимальна швидкість течії всередині трубок і щілин в кінці хонейкомба.

Максимальна осьова швидкість в кінці трубки з незамкненим ламінарним примежовим шаром може бути визначена по таблиці 2 апроксимованою поліномом.

$$\frac{U_m}{U_0} = -0,0002X^4 + 0,0053X^2 - 0,0457X^2 + 0,2071X + 1,059 \quad (1.2.6)$$

де $X = \frac{1000 x}{Re_0 d}$ – безрозмірна поздовжня координата вздовж трубки діаметром d ;

$Re_0 = U_0 d / \nu$, U_0 – швидкість на початку трубки (на вході в хонейкомб).

Значення $U_{m\text{тр}}$ і $U_{m\text{щ}}$ можна визначити по формулі (1.2.6), виділивши елементарний фрагмент хонейкомба у вигляді квадрата зі стороною D (рис.1.2.2) і використовуючи параметри хонейкомба АДТ Т-128:

$$F_{\text{тр}} = \pi d^2 / 4 = 0,608D^2, \quad F_{\text{щ}} = D^2 - \pi D^2 / 4 = 0,215D^2, \quad (1.2.7)$$

$$d_{\text{щ екв}} = 4F / \Pi = 0,274D,$$

де Π – периметр щілини.

В таблиці 1 наведені результати розрахунків $\zeta_{\text{хн}}$ і $S_{\text{хн екв}}$ при зміненні числа M в робочій частині Т-128 від 0,2 до 1,5 (при $T_0 = 40^\circ\text{C}$, $p_0 = 1 \text{ атм}$). Також в ній приведені необхідні для розрахунку значення швидкості U_0 на початку

					ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ	Арк. 23
Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

хонейкомба і значення $U_{M_{тр}}/U_0$ та $U_{M_{щ}}/U_0$ в кінці хонейкомба. Крім того, наведені значення коефіцієнта відновлення повного тиску

$$v_{хн} = p_{02}/p_{01} = 1 - \zeta_{хн}\phi M, \quad (1.2.8)$$

де $\phi M = 0,72M^2 + 0,2M^2^{-3,5}$ - газодинамічна функція. Видно, що коефіцієнт опору $\zeta_{хн}$ змінюється від 0,58 до 0,83 (на відміну від раніше приймавшогося постійного значення $\zeta_{хн} = 0,64$).

Таблиця 2

Максимальна осьова швидкість

$M_{р,ч}$	$U_0, \text{ м/с}$	$U_{M_{тр}}/U_0$	$U_{M_{щ}}/U_0$	$S_{хн \text{ экв}}$	$\zeta_{хн}$	$v_{хн}$	$\epsilon_{хн}, \%$
0.2	8.2	1.157	1.615	0.342	0.826	0.9998	0.59
0.3	11.6	1.131	1.490	0.318	0.709	0.9996	0.53
0.4	15.0	1.115	1.438	0.305	0.654	0.9994	0.50
0.5	17.6	1.108	1.411	0.299	0.626	0.9993	0.49
0.6	20.2	1.102	1.389	0.293	0.604	0.9991	0.47
0.7	21.9	1.098	1.376	0.290	0.591	0.9989	0.47
0.8	22.8	1.097	1.369	0.289	0.586	0.9989	0.46
0.9	23.6	1.096	1.363	0.287	0.581	0.9988	0.46
1	23.6	1.096	1.363	0.287	0.581	0.9988	0.46
1.1	23.6	1.096	1.363	0.287	0.581	0.9988	0.46
1.2	23.2	1.096	1.366	0.288	0.583	0.9988	0.46
1.3	22.4	1.098	1.373	0.290	0.589	0.9989	0.47
1.4	21.5	1.099	1.379	0.291	0.594	0.9990	0.47
1.5	20.2	1.102	1.389	0.293	0.604	0.9991	0.47

В таблиці наведені також значення власної турбулентності $\epsilon_{хн}$, яка виникає через хонейкомб в невимушеному потоці, на відстані $x = 14$ м від хонейкомба, перед колектором АДТ Т-128. Величина $\epsilon_{хн} = 100\sqrt{u'^2}/U_\infty$, (%), визначалась по формулі:

$$\epsilon_{хн} = 11,3\zeta_{хн}0,7\left(\frac{x}{D}\right)^{-0,5} \quad (1.2.9)$$

Наведені значення $\epsilon_{хн} = 0,46 - 0,59$ % отримані для умов відсутності турбулентності потоку перед хонейкомбом. Можна допустити, що в умовах високого рівня турбулентності перед хонейкомбом величина $\epsilon_{хн}$ перед колектором буде складати приблизно 1%.

Отже, хонейкомб вирівнює потік по напрямку, розбивая крупні вихорі, а також зменшує нерівномірність розподілення поздовжніх швидкостей. Однак, в той же час, хонейкомб вносить обурення в потік за рахунок аеродинамічного сліду, утвореного за стінками комірок.

1.2.3 Детурбулізуюча сітка

За хонейкомбом встановлюють вирівнюючі детурбулізуючі сітки, які зазвичай виготовляють з дроту малого діаметру з дуже малою коміркою. Вирівнююча дія сіток залежить від їх геометричних параметрів, які визначають її коефіцієнт опору, тобто сепінь вирівнюючої дії являється функцією коефіцієнта опору. З його збільшенням степінь зростає до деякого граничного значення, після якого профіль швидкості стає перевернутим (перетвореним). Іншими словами, спостерігається нерівномірність потоку за сіткою, при якій максимальні швидкості відповідають мінімальним перед сіткою. Це наглядно показано на рис. 7. У форкамері Т-128 за хонейкомбом, на відстані від нього $\Delta x = 2\text{ м}$, встановлена плетена детурбулізуюча сітка (рис. 1.2.3) з розміром комірки $M = 1,85\text{ мм}$ і діаметром дроту $b = 0,5\text{ мм}$.

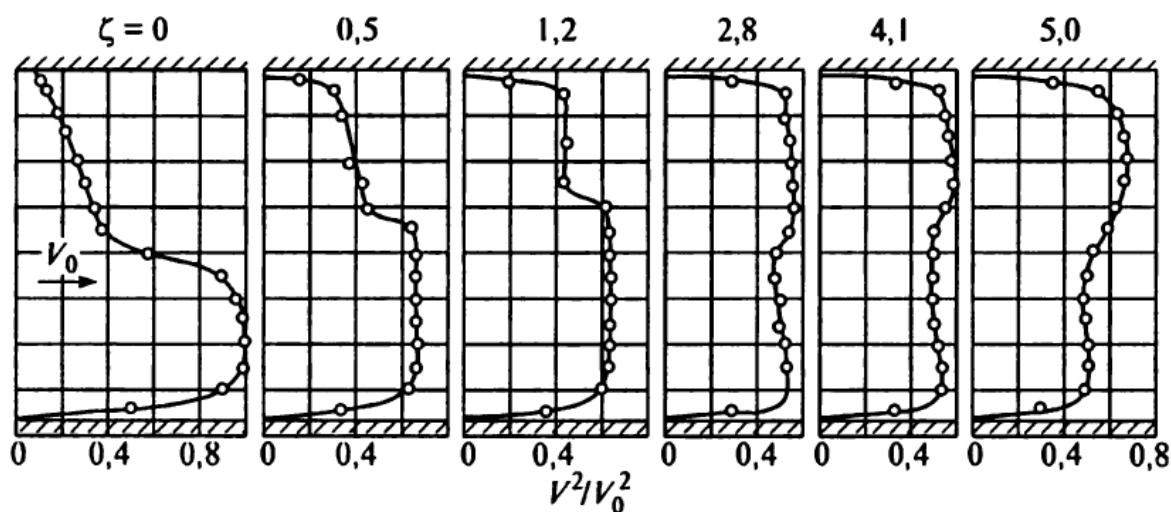


Рис. 1.2.3 Вирівнююча дія сіток

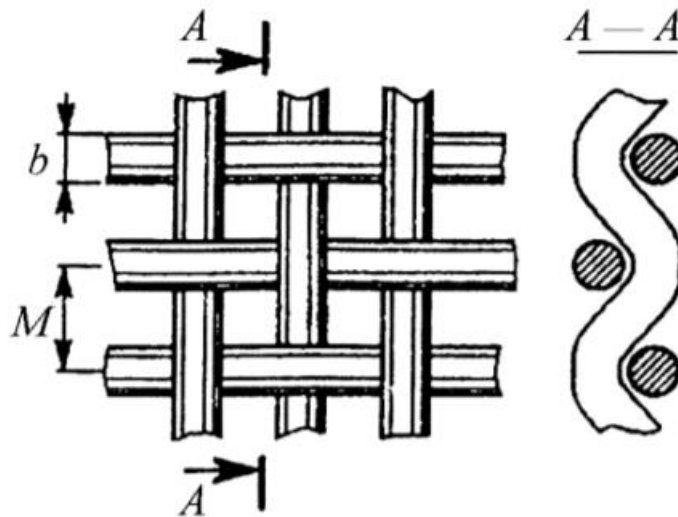


Рис.1.2.4 Плетена детурбулізуюча сітка

Коефіцієнт опору сітки можна визначити по формулі (1.2.10):

$$\zeta_{д.с} = 1,3S + \left(\frac{S}{1-S}\right)^2 \quad (1.2.10)$$

де $S = 1 - b/M^2$ - коефіцієнт заповнення сітки. Значення $\zeta_{д.с}$ не залежить від швидкості набігаючого потоку U_∞ за умови, якщо

$$Re_{bM} = \frac{U_\infty b}{\nu(1-S)} \geq 330, \quad (1.2.11)$$

де $U_M = U_\infty / (1 - S)$ - місцева швидкість течії в центрі комірки сітки.

Для вказаних розмірів детурбулізуючої сітки маємо $S = 0,4675$ і при мінімальному значенні $М_{р.ч.} = 0,2$ число Рейнольдса $Re_{bM} = 374$. Коефіцієнт опору сітки складає $\zeta_{д.с} = 1,3785$ і не залежить від швидкості потоку.

Щодо ефективності гасящої дії сітки, вона залежить від коефіцієнту заповнення сітки S , відношення розміру сітки M до масштабу турбулентності набігаючої течії і відносно міста розташування сітки між хонейкомбом та вимірюючим січенням $\Delta x/x_0$ (рис. 1.2.5).

Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата

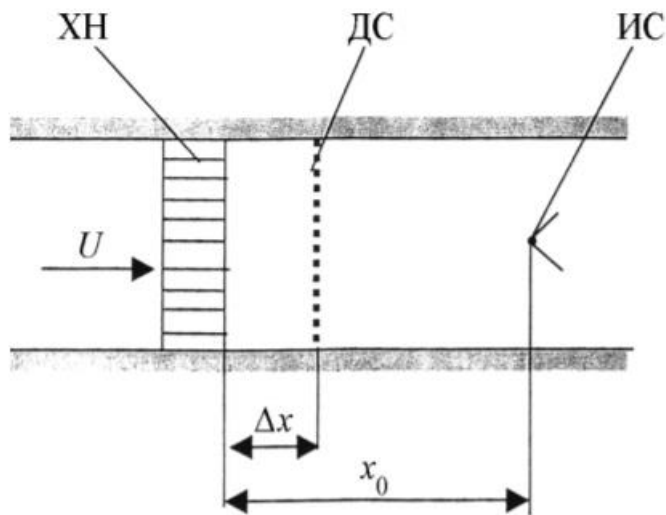


Рис.1.2.5 Розташування сітки між хонейкомбом та вимірюючим січенням

В даному випадку $x_0 = 14$ м. Якщо в якості масштабу турбулентності набігаючого потоку прийняти розмір комірки хонейкомба D , то отримується відношення характерних масштабів для сітки і хонейкомба $M/D = 0,037$.

Для того щоб отримати перед колектором $x_0 = 14$ м максимальне зниження турбулентності, створюваної хонейкомбом, необхідно розташувати дану сітку $M \times b = 1,85 \times 0,5$ мм на оптимальній відстані Δx від хонейкомба:

$$\frac{\Delta x}{x_0} = 0,82 - 0,89\sqrt{M/D} \quad (1.2.12)$$

В даному випадку $\Delta x_*/x_0 \approx 0,65$, тобто $\Delta x_* \approx 9,1$ м. При цьому коефіцієнт зменшення турбулентності $\varepsilon/\varepsilon_{\text{ХН}}$ в січненні складає

$$\varepsilon/\varepsilon_{\text{ХН}} = 0,86 - \frac{\Delta x_*}{x_0}, \quad (1.2.13)$$

тобто в даному випадку $\varepsilon/\varepsilon_{\text{ХН}} \approx 0,21$.

Однак, як показано в (1.2.13), по мірі наближення сітки до хонейкомба, тобто зі зменшенням Δx , відношення $\varepsilon/\varepsilon_{\text{ХН}}$ збільшується відповідно до

$$\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{\text{ХН}}} = 0,86 \sqrt{0,3 + 0,8(0,86 - \frac{\Delta x_*}{x_0})^2} \left[1,62 \left(\frac{\Delta x_*}{x_0} - \frac{\Delta x}{x_0} \right)^{1,6} + 1 \right]. \quad (1.2.14)$$

Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата

Очевидно, що збільшення розміру комірки сітки призведе до зменшення ступеня турбулентності $\varepsilon/\varepsilon_{\text{хн}}$ в січені $x_0 = 14$ м. В таблиці 3 наведені результати приблизної оцінки ефективності приглушення турбулентності сіткою, розташованою в січені $\Delta x = 2$ м, при зміні розмірів комірки сітки M від 1,85 до 10 мм.

Таблиця 3

Результати ефективності приглушення турбулентності сітки

M , мм	$\Delta x_*/x_0$	Δx_* , м	$\varepsilon/\varepsilon_{\text{хн}}$
1.85	0.35	9.1	0.89
5	0.46	7.5	0.85
10	0.58	5.9	0.82

Видно, що ефективність детурбулізуючої сітки зростає зі збільшенням розміру комірки M .

Якщо при $\Delta x = 2$ м встановити сітку з розмірами $M \times b = 10 \times 2$ мм, $M/b = 5$, то це призведе до зменшення коефіцієнта заповнення сітки S від 0,4675 до 0,36 і відповідно до формули (1.2.10) коефіцієнт опору сітки $\zeta_{\text{д.с}}$ зменшиться від 1,379 до 0,784, тобто майже в 1,8 разів.

Деякі зменшення ефективності погашувальної дії сітки за рахунок зменшення коефіцієнта заповнення $\zeta_{\text{д.с}}$ компенсується при цьому збільшенням її ефективності за рахунок збільшення відношення масштабів M/D .

Таким чином, на основі проведеного аналізу доцільним буде замість детурбулізуючої сітки $M \times b = 1,85 \times 0,5$ мм використовувати більш крупну сітку $M \times b = 10 \times 2$ мм (або 5×1 мм) з меншим коефіцієнтом опору $\zeta_{\text{д.с}} = 0,78$ при зберіганні ефективності приглушення турбулентності. З фізичної точки зору при використанні більш крупної сітки виникає більш ефективно руйнування великомасштабних вихорів, а тому і більш швидке їх відтворення. Крім того, як показали дослідження, використання більш крупних сіток сприяє більш ефективному вирівнюванню великомасштабних поперечних нерівномірностей поля середньої і пульсаційної складових швидкості.

Отримані тут оціночні значення максимальної степені турбулентності на вході в колектор $\varepsilon \approx 0,5 - 1\%$ допустимі, оскільки в робочій частині труби значення $\varepsilon_{р.ч.}$ істотно зменшуються за рахунок стискання потоку в колекторі і профільованому соплі. В Т-128 загальний коефіцієнт стискання потоку при переході від форкамери до робочої частини складає $Q = 10,4$ і відповідно до (1.2.13) маємо:

$$\varepsilon_{р.ч.}/\varepsilon_{форк} = Q^{-4/3}, \quad (1.2.15)$$

тобто в даному випадку $\varepsilon_{р.ч.}/\varepsilon_{форк} = 0,044$, якщо не враховувати додаткового зниження $\varepsilon_{р.ч.}$ за рахунок в'язкої дисипації.

Зазвичай сітки розміщують в області низьких швидкостей, а сама сітка має складатись із дротів дуже маленького діаметра. Сітка характеризується числом отворів на одиницю довжини, тобто величиною $1/l$ та діаметром дроту d .

Наближено можна визначати коефіцієнт опору сітки, розміщеної під прямим кутом до потоку, швидкість якого ≈ 10 м/с, а атмосферний тиск, по наступній залежності $\xi = \frac{1-\beta}{\beta}$, де $\beta = \left(1 - \frac{d}{l}\right)^2$ - коефіцієнт захаращення. Ця залежність відображена на рис.1.2.6 при різних значеннях швидкості потоку.

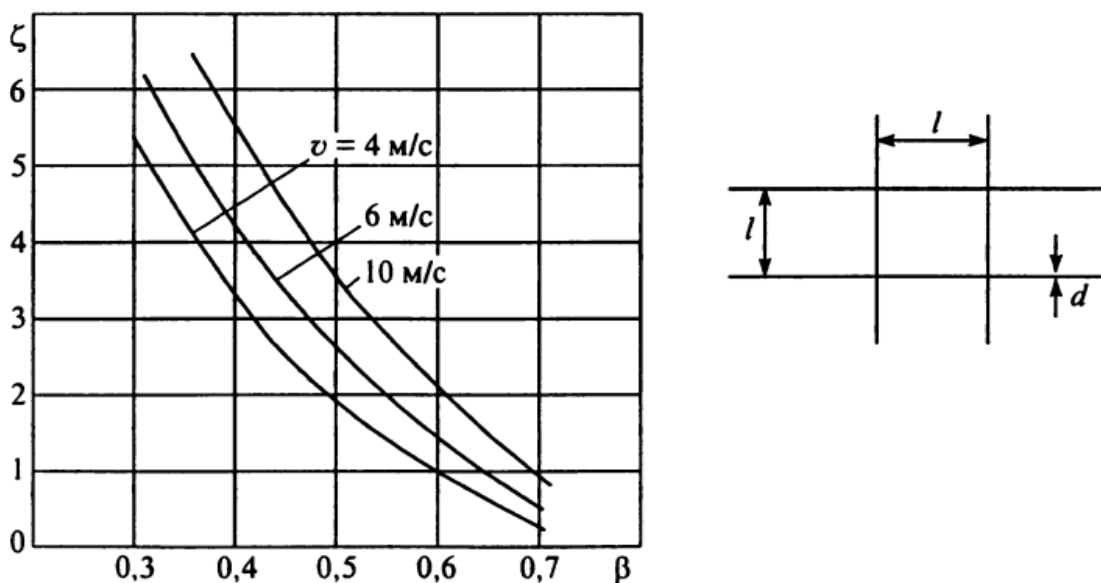


Рис.1.2.6 Залежність коефіцієнта опору сіток від швидкості потоку

Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата

При числах $50 < Re_d < 10^3$ необхідно ввести поправку по формулі

$$\xi_{Re_d} = k_{Re_d} + \xi, \quad (1.2.16)$$

де k_{Re_d} визначається по графіку на Рис.1.2.7.

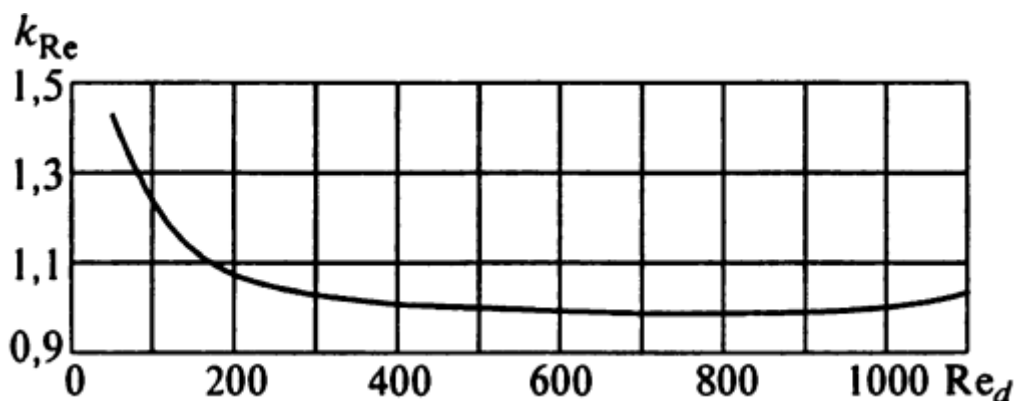


Рис.1.2.7 Залежність поправки від числа Re

Також треба зазначити, що одночасно зі зменшенням ступеня турбулентності установка сіток знижує і масштаб турбулентності в робочій частині і пропорційна розміру комірок сітки. Таким чином, установка сіток в форкамері являється одним із ефективних методів зниження нерівномірності і початкової турбулентності потоку в робочій частині.

Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата

ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ

Арк.

30

Висновок до першого розділу

У першому розділі була розглянута загальна будова аеродинамічної труби, її види та параметри, а також проведений огляд основних її елементів. Детально ознайомлено з конструкцією форкамери та її елементами. Описано необхідність встановлення хонейкомбу та детурбулізуючої сітки, а також розглянуто особливості розрахунку їх параметрів на прикладі аеродинамічної труби Т-128.

					ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата		31

2. ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ФОРКАМЕРИ

2.1 Параметри форкамери

Максимальна швидкість потоку в проєктованій аеродинамічній трубі складає 40 м/с. Площа перерізу форкамери становить 2,73 м²; форма перерізу – круг. Довжина форкамери складає 2000 мм.

Товщина зовнішньої обшивки, виконаної із фанери ФБС, становить 5 мм і визначається необхідністю великого радіусу та відсутністю подвійної кривизни.

Товщина внутрішньої обшивки, виконаної із фанери ФБС, становить 4 мм, адже для забезпечення безпечної експлуатації форкамери персоналом, вона повинна мати достатню міцність конструкції.

Розмір дверей форкамери по висоті має складати ширину 4-х лонжеронів, а по ширині довжину 2-х лонжеронів. Тобто остаточний розмір дверей форкамери – 1000x800. Встановлення дверей необхідне для полегшення технічного обслуговування форкамери.

2.2 Параметри детурбулізуючої сітки

Детурбулізуюча сітка (рис.2.1) розташована на початку форкамери і має плетений вигляд (рис.2.2). Розмір комірки сітки складає 100x100 мм, тобто вона буде розбивати течію на струмені за розміром 100x100 мм.

Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата

ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ

Арк.

32

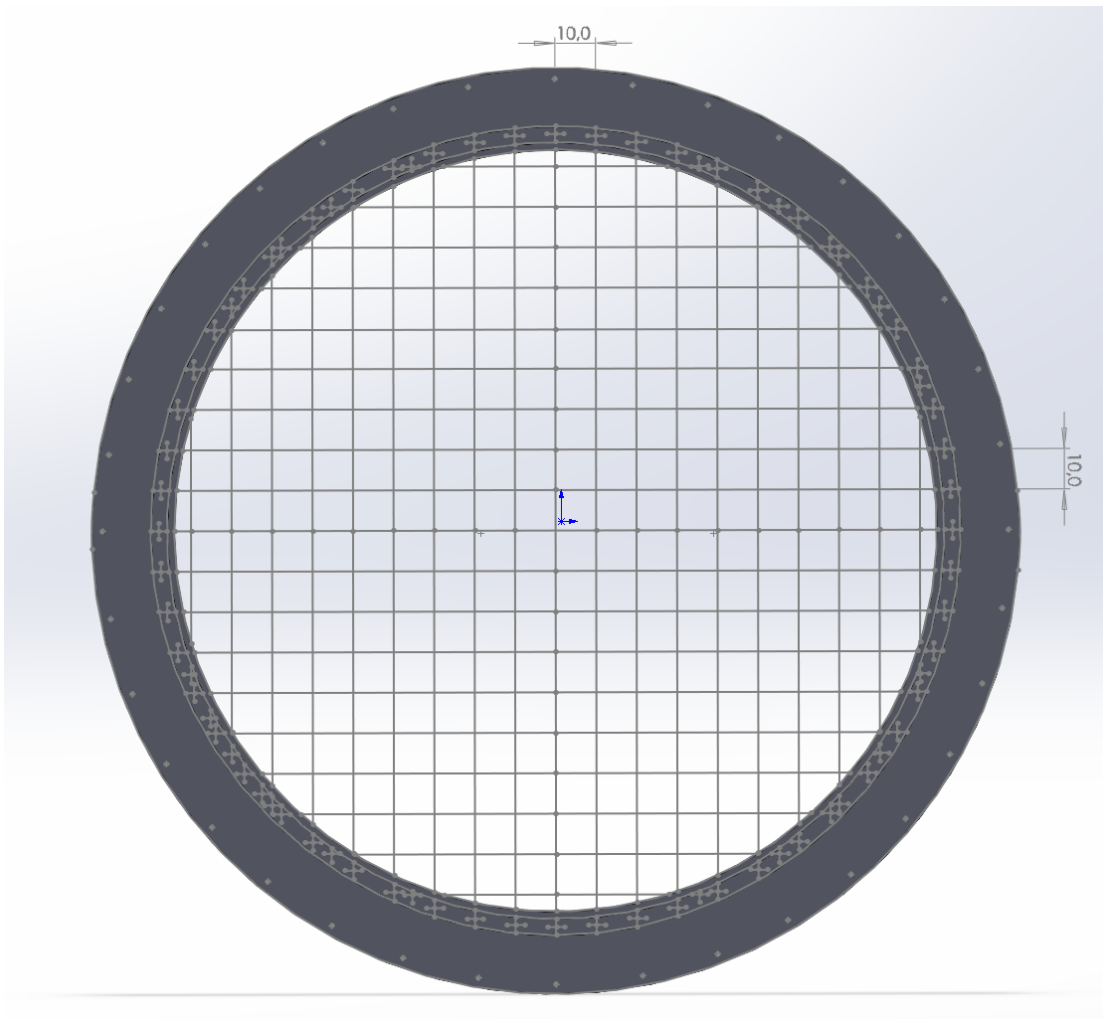


Рис.2.1. Шпангоут з детурбулізуючою сіткою за масштабом 1:10

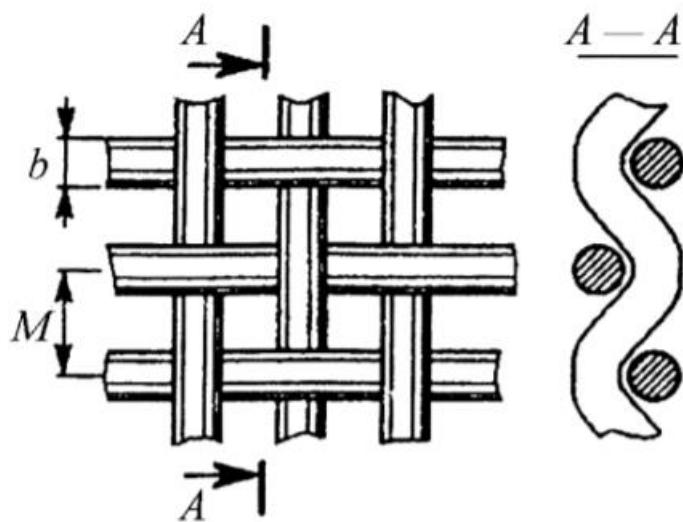


Рис. 2.2. Плетена детурбулізуюча сітка

Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата

ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ

Арк.

33

Висновок до другого розділу

У другому розділі, проаналізувавши загальні креслення аеродинамічної труби були визначені основні параметри форкамери та детурбулізуючої сітки опираючись на вхідні параметри та на параметри проектованої аеродинамічної труби. Також було наведено модель шпангоуту з детурбулізуючою сіткою за масштабом 1:10, виконану в програмному середовищі SolidWorks.

					ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата		34

3. РОЗРАХУНОК СТАТИЧНОГО ТИСКУ ТА НАВАНТАЖЕНЬ НА ВУЗЛИ КРІПЛЕННЯ

Правильний вибір розрахункових навантажень має дуже важливе значення з точки зору створення раціональних і економічних опор та вузлів кріплення.

Навантаження на вузли кріплення можна розділити на два типи: навантаження які визивають деформацію поперечного перерізу контуру і ті які не визивають деформацію. Деформація контуру поперечного перерізу виникає там, де навантаження несиметричне. До симетричного щодо поздовжньої осі можна віднести тільки навантаження типу внутрішній тиск та власну вагу.

Сумарне зусилля від деформацій, яке передається у вигляді навантаження на нерухому опору системи, визначають по формулі:

$$Q = P \pm T, \quad (3.1)$$

де P – навантаження на опору від незрівноваженого розпору компенсаторів; T – навантаження на опору від незрівноважених сил тертя.

Загальне навантаження яке діє на вузли кріплення складається з ваги самої конструкції. Вважаємо що вага розподіляється рівномірно.

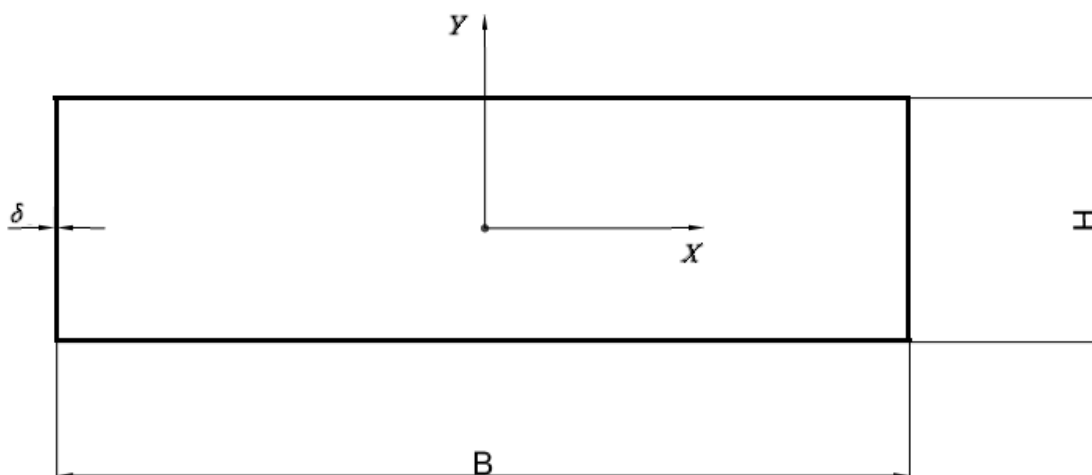


Рис.3.1 Розрахунок конструкції на згин

Формула нормальних напружень від згину матиме вигляд:

$$\sigma = \frac{M_x}{BH\delta}. \quad (3.2)$$

Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата

ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ

Арк.

35

Згинальний момент M_x розраховується для середини конструкції, як її вага на половину її ширини. $M_x = 9000 \text{ кг*м}$.

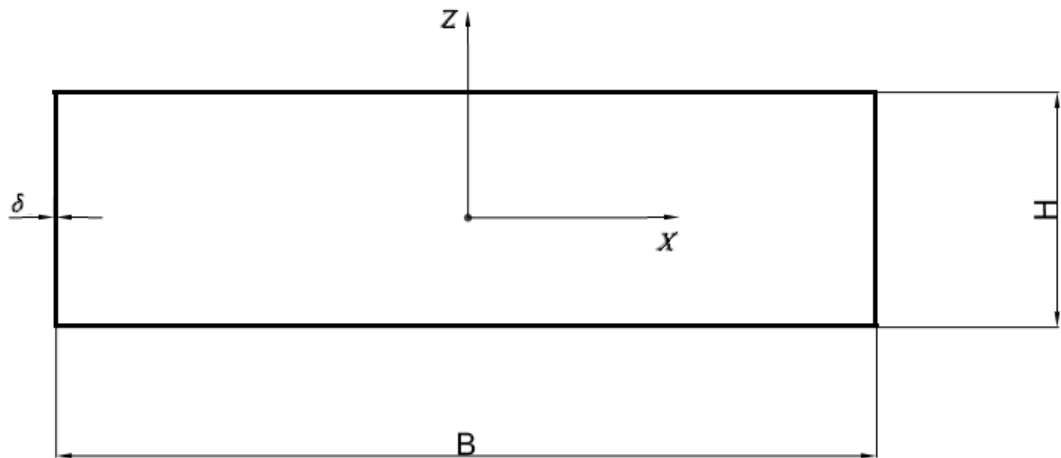


Рис.3.2 Розрахунок конструкції на стиск

Формула нормальних напружень від стиску матиме вигляд:

$$\sigma = \frac{P_y}{2(B+H)\delta} \quad (3.3)$$

Визначаємо значення товщини обшивки для згинаючої поверхні:

$$\delta = \frac{M_x}{\pi r^2 \sigma_3} \quad (3.4)$$

де δ – товщина стінки обшивки, σ_3 – максимально допустиме напруження при згині, r – радіус перерізу, M_x – згинальний момент.

Допустиме напруження для фанери вважати рівним 6 Кг/мм^2 .

$$\delta = 0,619 \text{ мм}$$

Однак не можна використовувати фанеру такої малої товщини, адже тоді форкамера не буде відповідати експлуатаційним нормам. Тому обираємо допустиму товщину фанери 5 мм .

Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата

ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ

Арк.

36

Висновок до третього розділу

У третьому розділі було розраховано статичний тиск та навантаження на вузли кріплення.

Враховуючи, що загальне навантаження яке діє на вузли кріплення складається в основному з ваги самої конструкції, можемо вважати, що вага розподіляється рівномірно по всій конструкції. Напруження в будь-якому перерізі труби і в будь-якій точці поперечного перерізу визначають як в пустотілій балці.

Згинальний момент M_x розраховується для середини конструкції, як її вага на половину її ширини.

Визначивши товщину обшивки (фанери) та врахувавши експлуатаційні умови, обрали допустиму товщину фанери 5 мм.

									Арк.
									37
Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата	ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ				

4. ВИБІР КОНСТРУКТИВНО-СИЛОВОЇ СХЕМИ ФОРКАМЕРИ

Вибір конструктивно-силової схеми проектованої форкамери робиться на основі попередніх побудови та аналізу. Для того, щоб обрати найкращий варіант, необхідно, щоб сама конструкція відповідала принципам і правилам раціонального конструювання в літакобудуванні.

Проаналізувавши всі можливі варіанти конструктивно-силових схем для реалізації виконання конструкції форкамери, я визначила, що найбільш вигідним є використання конструкції типу стрингерний напівмонокок.

4.1 Силова схема конструкції напівмонокок

Типовий монокок, добре сприймає розтягнення і згин, набагато гірше працює на стиск (залежить від товщини і жорсткості обшивки звичайно), тому переважна більшість фюзеляжів сучасних літаків побудовано з внутрішнім підкріплювальним силовим набором. Такі конструктивно-силові схеми називаються напівмонокок (підсилений монокок), і в них обшивка працює спільно з поздовжнім набором силових елементів.

Напівмонококові конструкції, в свою чергу, бувають двох видів: балочний стрингерний (стрингерний напівмонокок) і балочний лонжеронний (лонжеронний напівмонокок).

У лонжеронного напівмонокока згинальний момент сприймається спеціальними поздовжніми елементами - лонжеронами і балками. Кількість їх невелика і вони зазвичай мають велике січення.

У стрингерного напівмонокока працююча обшивка підкріплена поздовжніми силовими елементами - стрингерами. Їх досить велика кількість і розташовані вони досить часто, що дозволяє обшивці спільно з ними сприймати весь згинальний момент (крім інших навантажень - крутний момент і перерізуюча сила), працюючи при цьому на розтяг-стиск. Стійкість обшивки підвищують шпангоути, встановлені з відносно малим кроком.

Конструкція балочного фюзеляжу (рис.4.1) складається з жорсткої обшивки, поздовжнього набору (лонжеронів і стрингерів) і поперечного набору - шпангоутів.

Стрингери служать для підкріплення обшивки і сприймають спільно з нею згинальний момент.

Шпангоути забезпечують збереження заданої форми поперечних перерізів фюзеляжу, підкріплюючи обшивку і стрингерний набір, і сприймають місцеве аеродинамічне навантаження і навантаження від прикріплених до них агрегатів.

Обшивка фюзеляжу утворює його поверхню, передає аеродинамічні навантаження на каркас і бере участь в роботі фюзеляжу на згин і кручення.

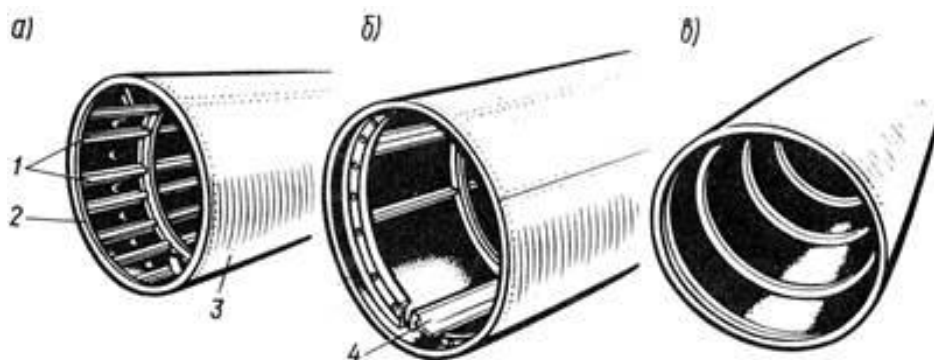


Рис.4.1 Конструктивно-силові схеми балочного фюзеляжу:

а – стрингерний; б – лонжеронний; в – безстрингерний; 1 – стрингери;
2 – шпангоут; 3 – обшивка; 4 – лонжерон.

4.2 Стрингерний напівмонокок

Поздовжній набір стрингерного фюзеляжу складається з великого числа стрингерів, поперечного - з шпангоутів. Каркас покривається жорсткою обшивкою.

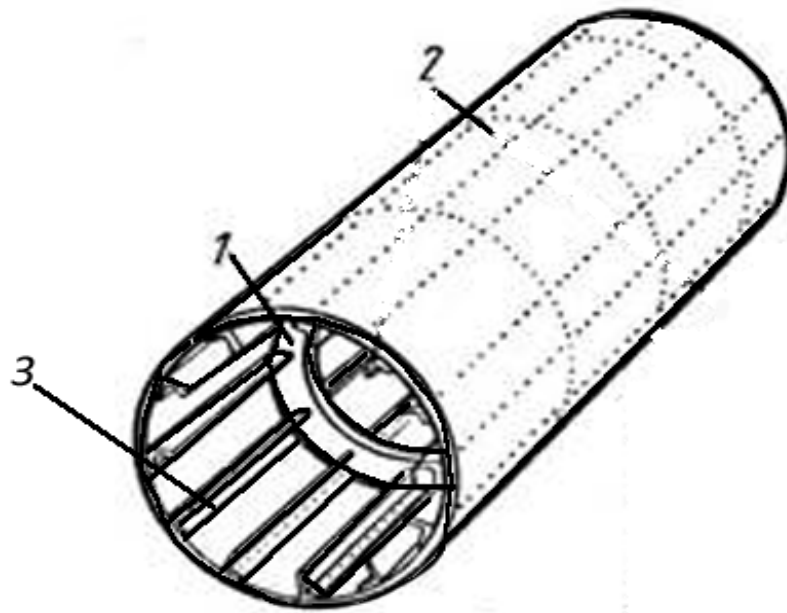


Рис.4.2 Конструктивно-силова схема стрингерного фюзеляжу
 1 – шпангоут; 2 – обшивка; 3 – стрингер

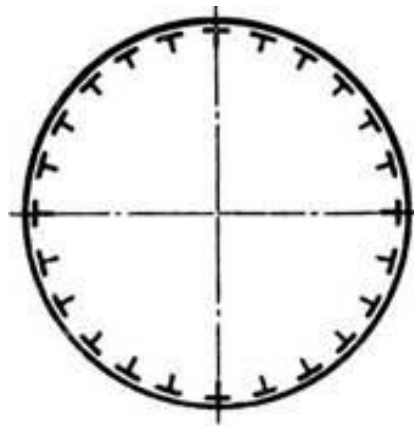


Рис.4.3 Стрингерний фюзеляж (поперечний переріз)

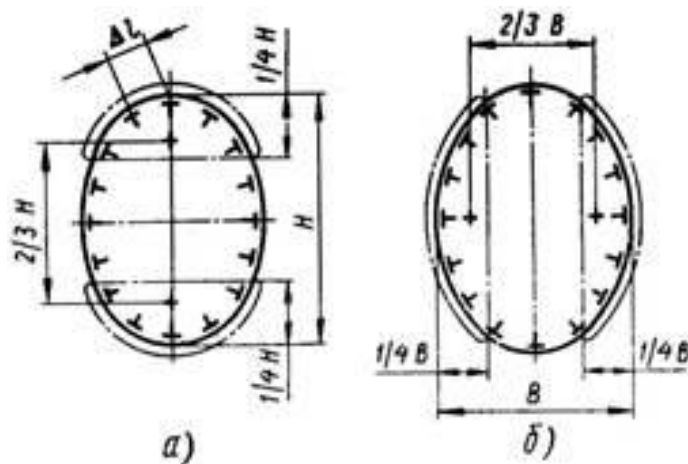


Рис.4.4 Розмір панелей стрингерного фюзеляжу, сприймаючого згинальний момент: а – згин у вертикальній площині; б – згин в горизонтальній площині

Потужний стрингерний набір спільно з обшивкою сприймає згинальний момент фюзеляжу. Частина згинального моменту, що сприймається обшивкою, залежить від частоти стрингерного набору. Чим товщі обшивка і чим менше відстань між стрингерами, тим більшу участь в роботі на згин приймає обшивка.

Крутний момент і перерізуюча сила сприймаються обшивкою. Таким чином, в обшивці стрингерного фюзеляжу виникають не тільки дотичні напруження (від крутного моменту і перерізуючої сили), а й нормальні напруги (від згинального моменту).

Шпангоути в стрингерному фюзеляжі встановлюються частіше, ніж в лонжеронному. Часта установка шпангоутів покращує роботу стрингерів і обшивки при стисненні. При згині стрингерного фюзеляжу сильно навантажуються осьовими силами стрингери і обшивка, найбільш віддалені від нейтральної осі, і дуже мало навантажуються стрингери і обшивка поблизу цієї (нейтральної) осі.

Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата

ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ

Арк.

41

4.3 Підбір елементів силового набору

При проектувальному розрахунку зазвичай приймають, що від згинального моменту навантажуються тільки крайні панелі підкріпленої стрінгерами обшивки. Розмір їх визначається, як 1/4 габаритного розміру розглянутого перерізу фюзеляжу. При цьому відстань між точками прикладення результуючих внутрішніх сил береться рівним 2/3 габаритного розміру розглянутого перерізу фюзеляжу.

Тоді осьова сила у верхній і нижній панелях знаходиться по формулі:

$$S = \frac{M_B}{\frac{2}{3}H}, \quad (4.1)$$

де H – висота розглянутого перерізу фюзеляжу.

Осьова сила в бічній панелі знаходиться по формулі:

$$S = \frac{M_G}{\frac{2}{3}B}, \quad (4.2)$$

де B – ширина розглянутого перерізу фюзеляжу.

Ця сила S повинна бути сприйнята обшивкою і стрінгерами панелі.

Площа поперечного перерізу панелі знаходиться по формулі:

$$F = \frac{S}{\sigma}, \quad (4.3)$$

де $\sigma = \sigma_B$ для розтягнутої панелі, а для стислої $\sigma = \sigma_{кр}$.

Площа розтягнутої панелі:

$$F = n f_{стр} + 0,9 \delta l, \quad (4.4)$$

де $n f_{стр}$ – площа поперечного перерізу всіх стрінгерів панелі;

δ – товщина обшивки; l – довжина панелі; 0,9 – коефіцієнт, який враховує послаблення обшивки заклепочними швами.

Звідси, можна знайти площу січення стрингерів:

$$nf_{стр} = F - 0,9\delta l, \quad (4.5)$$

а далі вибрати тип стрингерів $f_{стр}$ і їх кількість n , або обрав тип стрингерів і їх кількість розрахувати товщину обшивки:

$$\delta = \frac{F - nf_{стр}}{0,9l}. \quad (4.6)$$

Площа зжатої панелі:

$$F_{зж} = nf_{стр} + 30\delta^2 n, \quad (4.7)$$

де n – кількість стрингерів; 30δ – приєднана (до стрингеру) ширина обшивки.

При цьому слід враховувати, що приєднана ширина обшивки не може бути більше відстані між стрингерами по довжині Δl .

Якщо ж $30\delta > \Delta l$, то потрібно брати просто довжину дуги Δl між стрингерами.

При виборі типу стрингерів необхідно, щоб критична напруга стрингера при заданій відстані між шпангоутами було не менше взятого при визначенні площі поперечного перерізу панелі $\sigma_{кр}$ при визначенні $F_{сж}$.

У стрингерного фюзеляжі так само, як і в лонжеронного, прийнято вважати, що вертикальна складова перерізуючої сили сприймається бічними панелями корпусу, а горизонтальна складова - верхньою і нижньою панелями, при цьому розмір панелі береться 2/3 відповідного габаритного розміру. Тоді погонна дотична сила в бічній панелі буде:

$$q_{Q_B} = \frac{Q_B}{2\frac{2H}{3}} = \frac{3Q_B}{4H}, \quad (4.8)$$

в верхній і нижній панелях:

$$q_{Q_B} = \frac{Q_B}{2\frac{2H}{3}} = \frac{3Q_B}{4H}, \quad (4.9)$$

$$q_{Q_\Gamma} = \frac{3Q_\Gamma}{4B}. \quad (4.10)$$

Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата

ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ

Арк.

43

Від крутного моменту в обшивці буде діяти погонна дотична сила:

$$q_{кр} = \frac{M_{кр}}{2W} \quad (4.11)$$

де W – площа, обмежена зовнішнім контуром розглянутого перерізу фюзеляжу (корпусу).

Загальна погонна дотична сила в панелі від перерізуєчої сили і крутного моменту дорівнює:

$$q_i = q_Q \pm q_{кр} \quad (4.12)$$

а формула дотичного напруження буде мати вигляд:

$$T_i = \frac{q_i}{\delta_i} \quad (4.13)$$

Необхідно, щоб $T_i \leq T_{руй}$, де $T_{руй}$ – руйнівне дотичне напруження (тимчасовий опір конструкційного матеріалу дотичним напруженням) в обшивці.

Висновок до четвертого розділу

У четвертому розділі розглянуто можливі варіанти конструктивно-силової схеми та методом аналізу обрано найвигіднішу.

Проаналізувавши всі можливі варіанти схем для реалізації виконання конструкції форкамери, я визначила, що найбільш вигідним є використання конструкції типу стрингерний напівмонокок.

У стрингерного напівмонокока працююча обшивка підкріплена поздовжніми силовими елементами - стрингерами. Їх досить велика кількість і розташовані вони досить часто, що дозволяє обшивці спільно з ними сприймати весь згинальний момент (крім інших навантажень - крутний момент і перерізуюча сила), працюючи при цьому на розтяг-стиск. Стійкість обшивки підвищують шпангоути, встановлені з відносно малим кроком.

Поздовжній набір стрингерного фюзеляжу складається з великого числа стрингерів, поперечного - з шпангоутів.

Поздовжній набір форкамери буде складатись з двадцяти чотирьох лонжеронів, а поперечний з шести шпангоутів, один передній опорний шпангоут з вузлами кріплення, один шпангоут з детурбулізуючою сіткою та чотири проміжних шпангоути.

										Арк.
										45
Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата	ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ					

5. ВИЗНАЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВУЗЛІВ КРІПЛЕННЯ ФОРКАМЕРИ

Форкамера кріпиться до рами аеродинамічної труби за допомогою двох вузлів кріплення, які знаходяться на передньому опорному шпангоуті. Шпангоут з детурбулізуючою сіткою навантажувати вузлами кріплення не можна. Конструкція вузлу на передньому опорному шпангоуті вказана на рисунку 20.

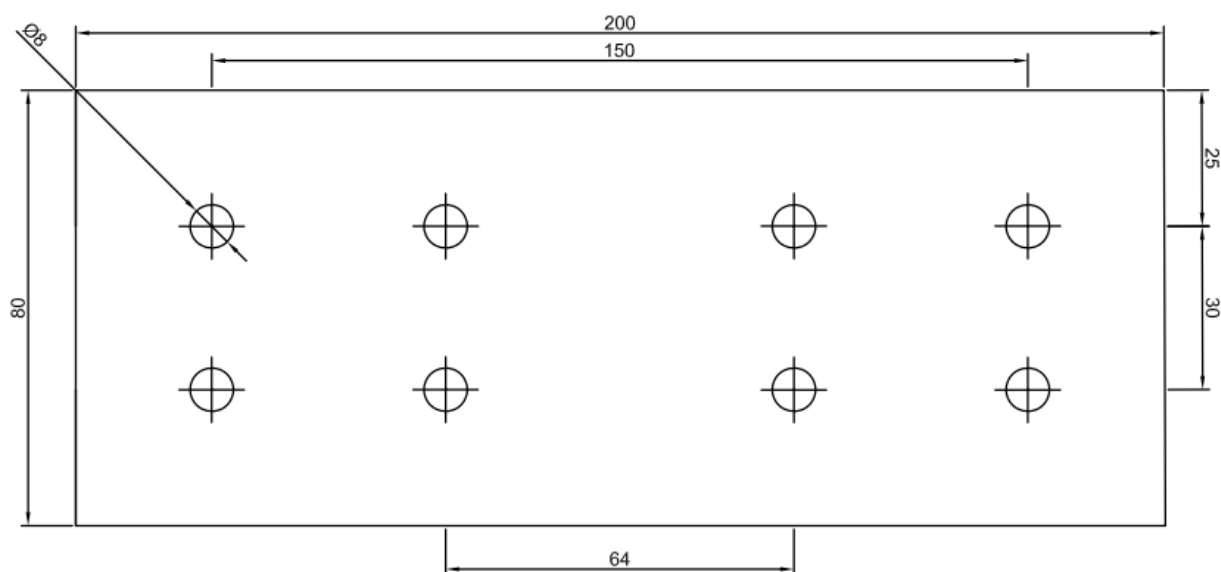


Рис. 5.1 Конструкція вузлу кріплення переднього опорного шпангоуту

Дані вузли кріплення за призначенням відносяться до спеціального призначення; по точності виготовлення виробу – підвищеної точності; по виду вихідного матеріалу – сталеві; з можливістю регулювання.

Саме така конструкція кріпильних вузлів забезпечує надійне встановлення форкамери, без ослаблення в процесі використання та відповідає нормам технологічності під час експлуатації.

Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата

ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ

Арк.

46

Плоскость4

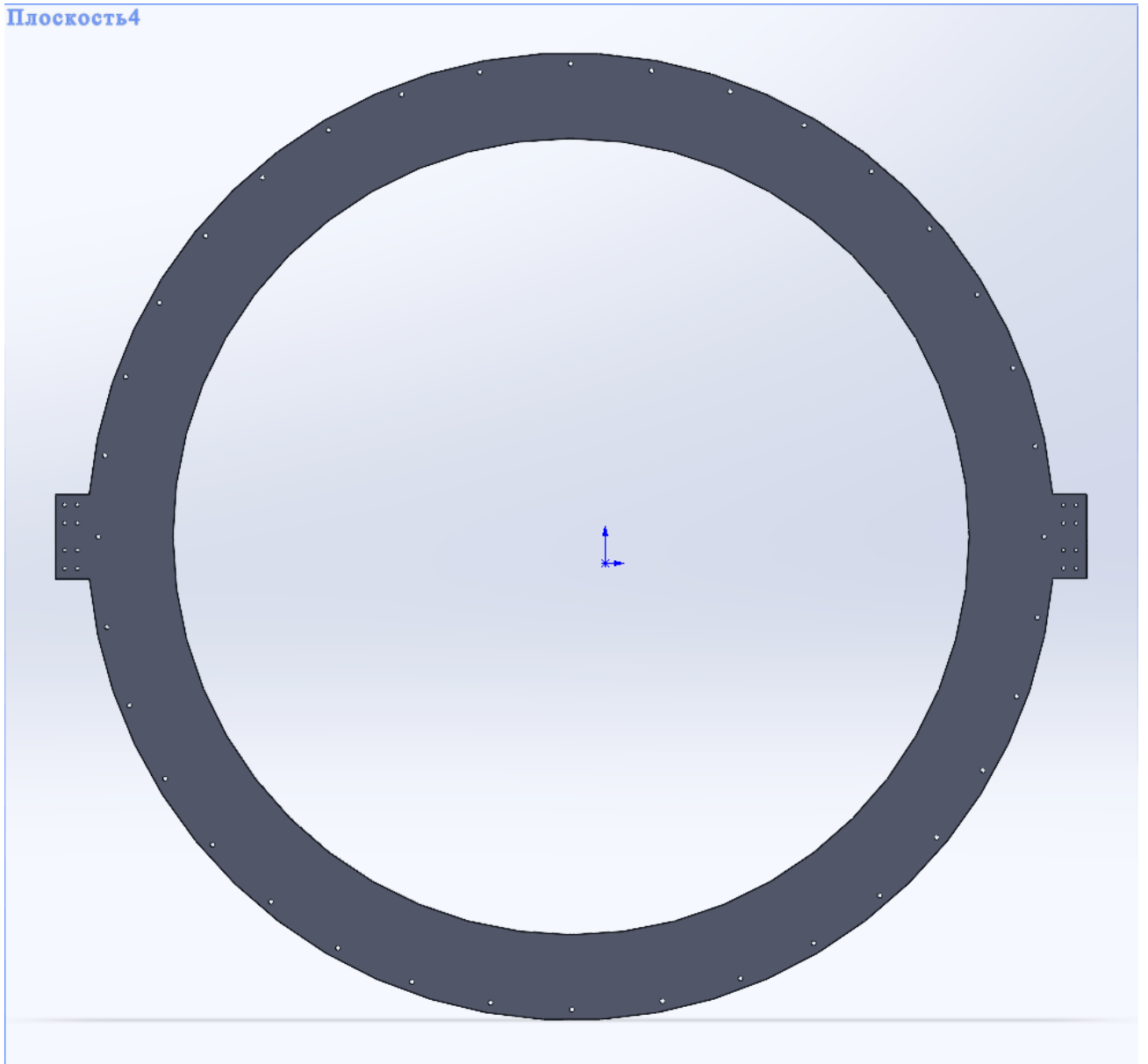


Рис. 5.2 Модель переднього опорного шпангоуту з вузлами кріплення

					ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата		47

Висновок до п'ятого розділу

У п'ятому розділі було визначено конструкцію вузлів кріплення форкамери. Наведено креслення конструкції вузла та описана його класифікація. Представлена модель опорного переднього шпангоуту з вузлами кріплення, виконану в програмному середовищі SolidWorks.

Провівши аналіз конструкції, було обрано раціональним використання саме такого методу кріплення форкамери.

					<i>ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата		48

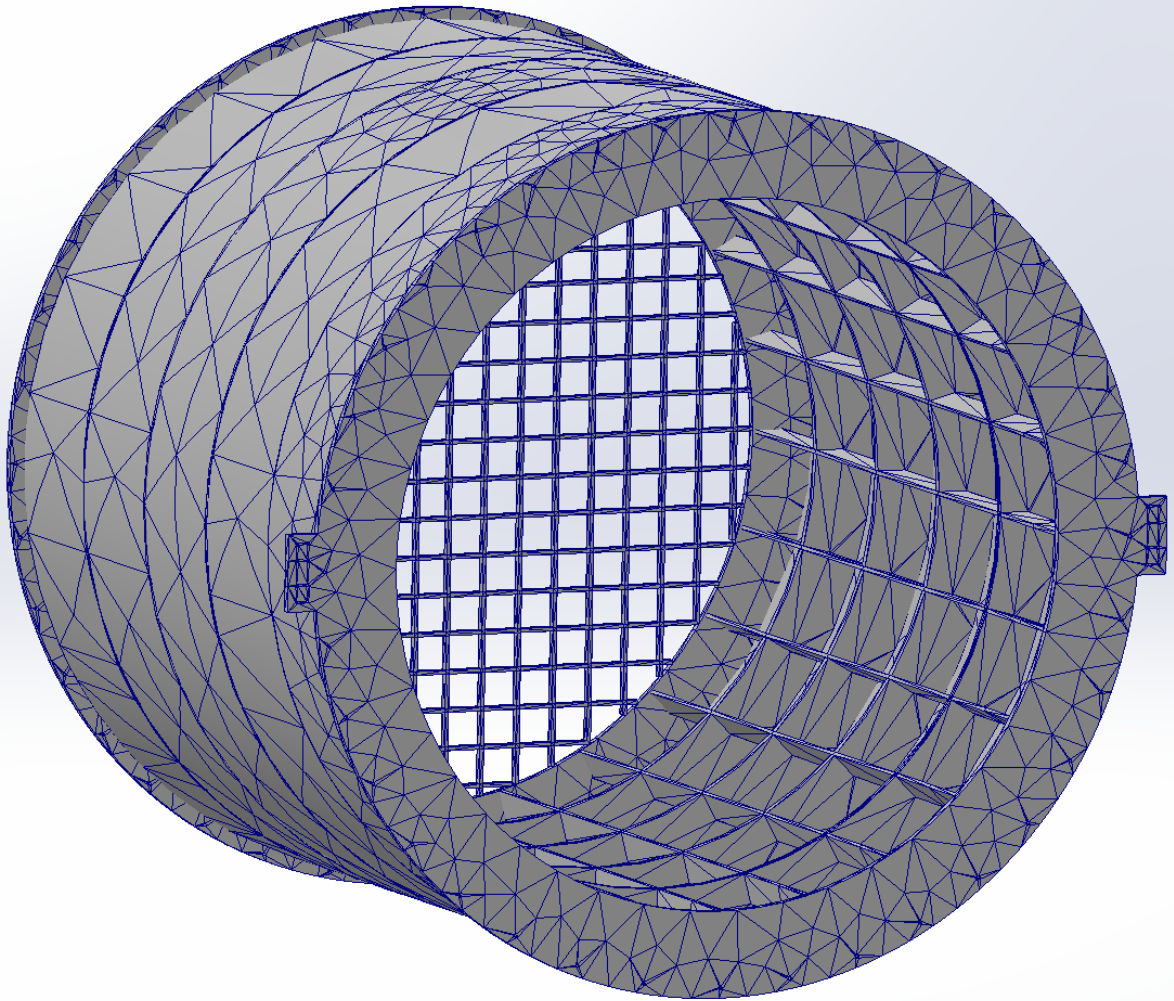


Рис. 6.1 Загальний вид СЕМ форкамери

6.3 Параметри кінцевих елементів

Значення умовних товщин плоских СЕ, які моделюють обшивку, дорівнюють $\delta = 5$ мм.

6.4 Умови закріплення моделі

Було задано граничні умови для вузлів, що входять в структуру СЕМ і моделюють вузли кріплення форкамери, а також прикладено навантаження на них. (рис. 6.2)

Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата

ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ

Арк.

51

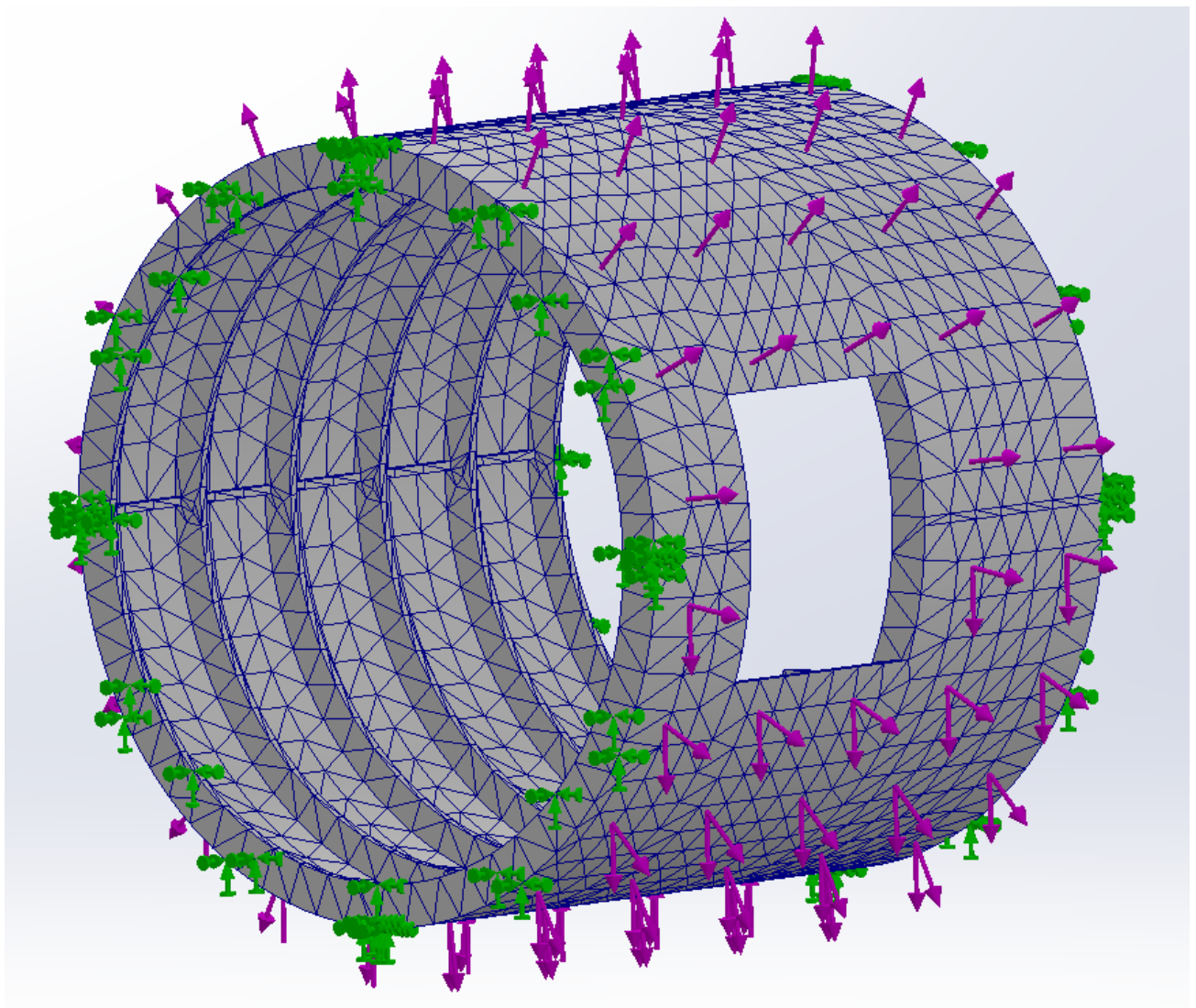


Рис. 6.2 Схема прикладання навантажень та граничних умов

6.5 Умови навантаження

Навантаження задаються у вузлах моделі, а також, окрім цього, модель додатково навантажується навантаженнями від власної ваги, та силами, які виникають через різницю атмосферного тиску, та тиску всередині форкамери.

Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата

ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ

Арк.

52

Висновок до шостого розділу

У шостому розділі було побудовано скінчено-елементну модель силової конструкції. Також було розглянуто її параметри та конструкцію. Описана послідовність створення скінчено-елементної моделі.

Також, в таблиці №4, було наведено основні параметри матеріалу, який використовується, а саме фанера ФБС. Було описано умови закріплення та навантаження моделі форкамери.

					ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата		53

7. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ РОЗРАХУНКУ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ

Результатами розрахунку НДС форкамери по МСЕ є епюри розподілу нормальних напружень, переміщення та деформацій конструкції.

7.1 Аналіз напружень конструкції

Результати розрахунку НДС конструкції представлені у вигляді епюр нормальних напружень на рис. 7.1, 7.2.

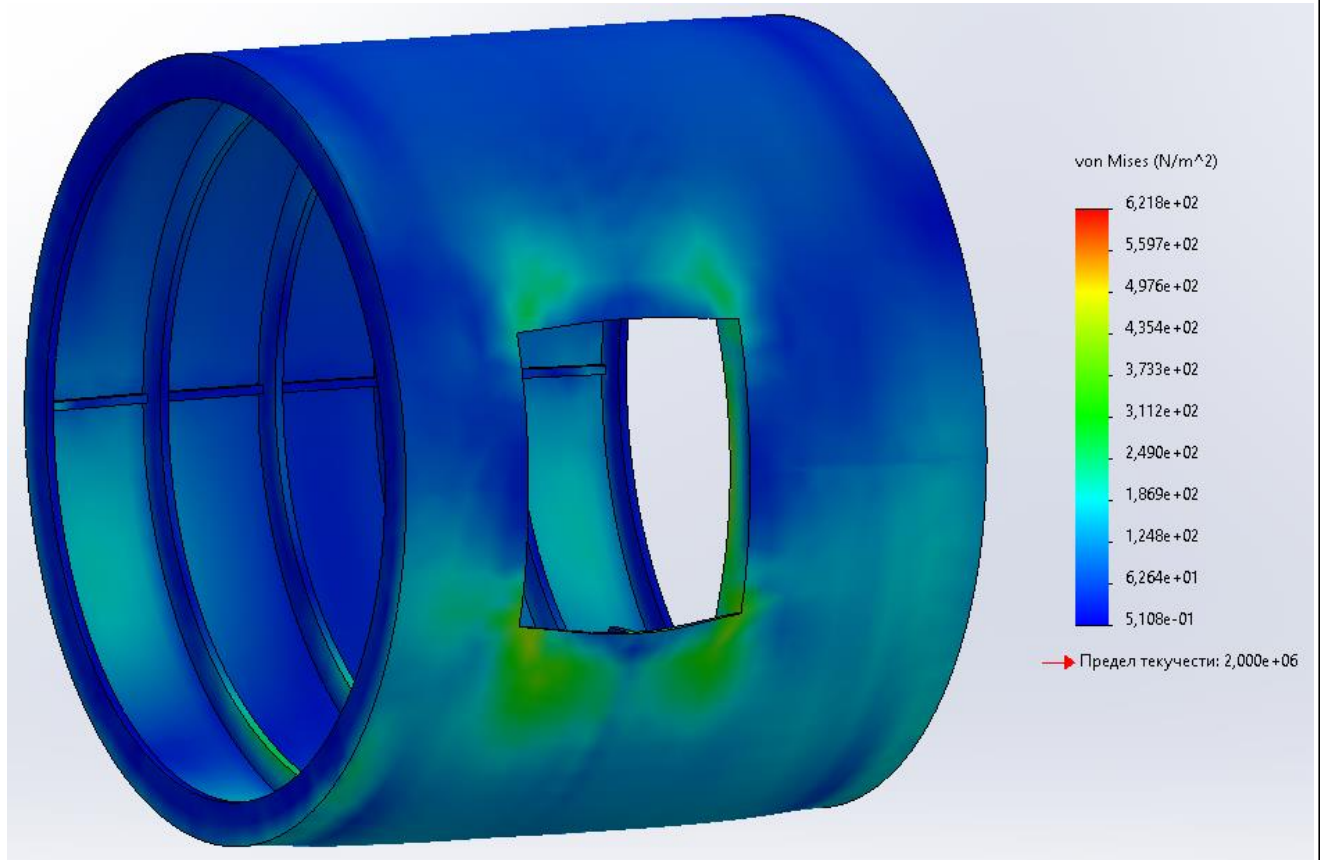


Рис. 7.1 Розрахункова епіюра нормальних напружень

Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата

ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ

Арк.

54

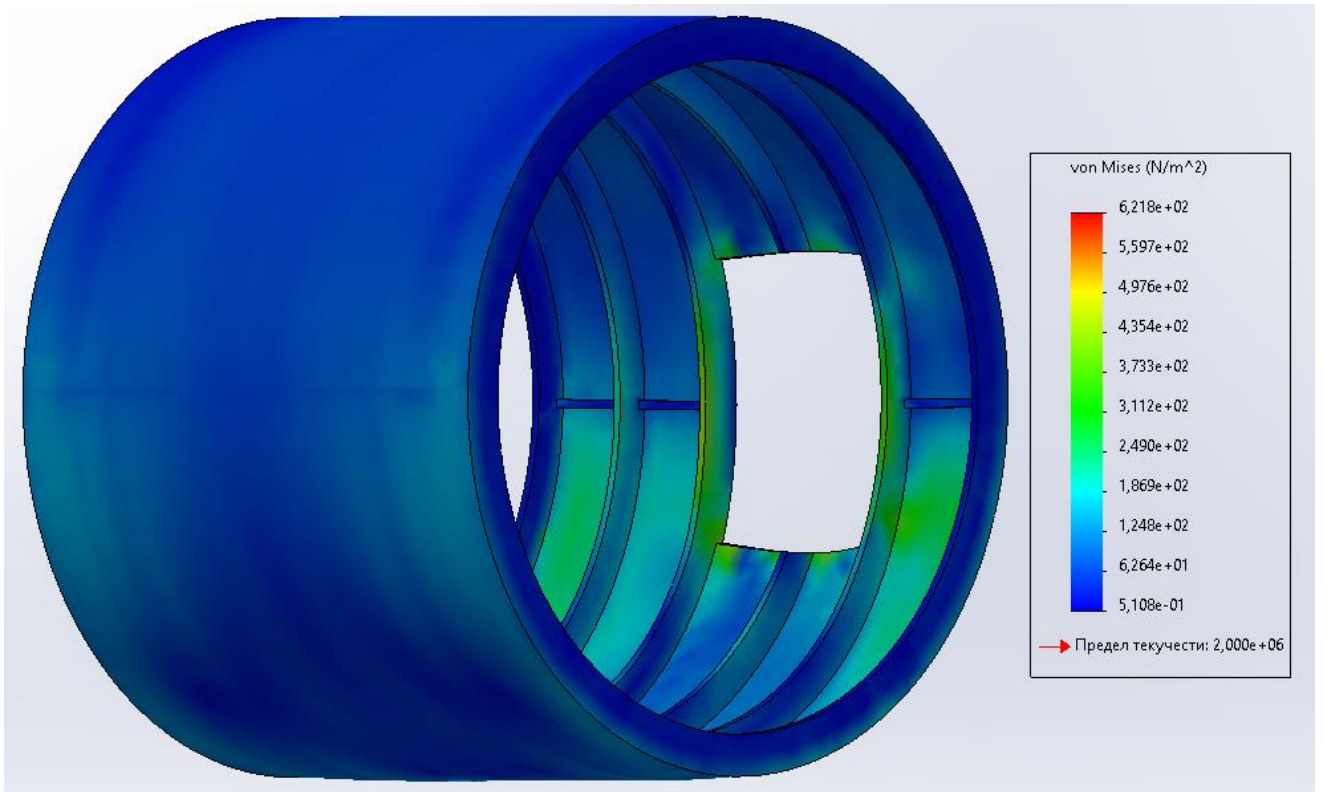


Рис. 7.2 Розрахункова епіюра нормальних напружень

Найбільші значення нормальних напружень локалізовані навколо отвору для дверей.

7.2 Аналіз переміщення конструкції

Результатами розрахунку переміщення конструкції є епіюра переміщень, яка представлена на рис. 7.3.

Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата

ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ

Арк.

55

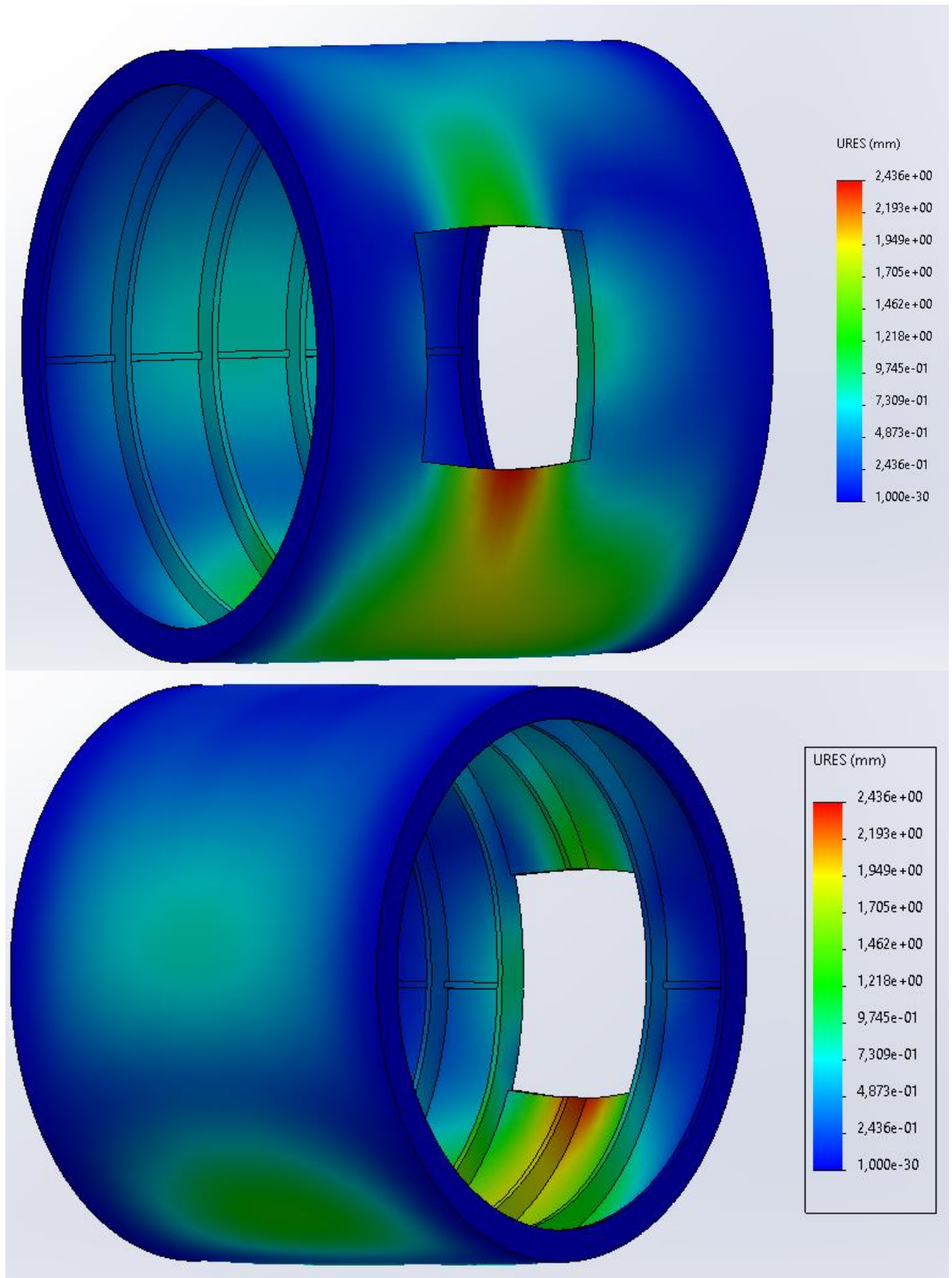


Рис.7.3 Розрахункова епюра переміщень

Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата

ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ

Арк.

56

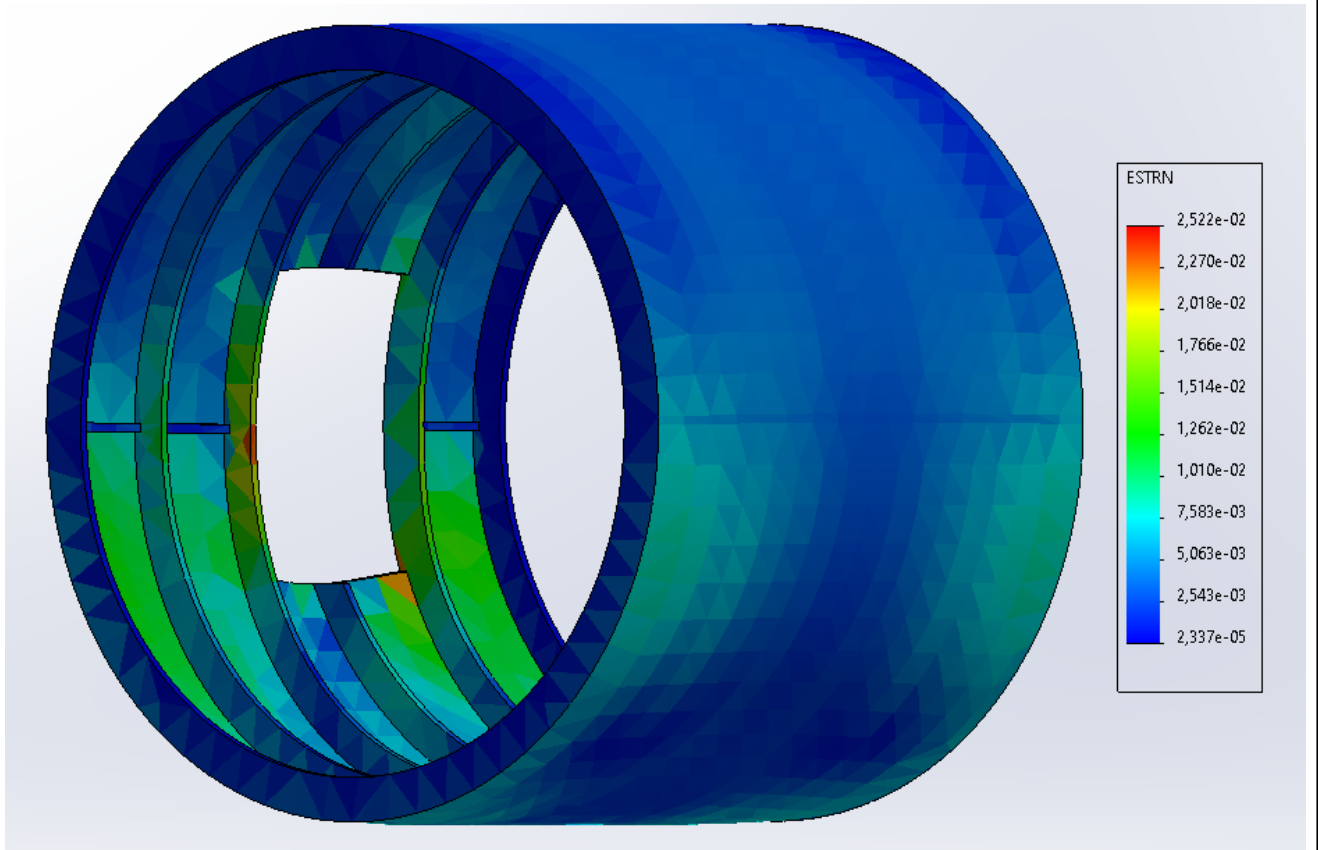


Рис. 7.5 Розрахункова еюра деформацій

Висновок до сьомого розділу

У сьомому розділі був проведений аналіз результатів розрахунку напружено-деформованого стану (НДС) за допомогою розрахункового програмного комплексу SolidWorks.

Результатами розрахунку НДС форкамери аеродинамічної труби по НДС є епюри розподілу нормальних напружень в силових елементах конструкції, епюри переміщення конструкції та епюри деформації конструкції.

					ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата		59

Чотири проміжні шпангоути виготовляються із листів фанери ФБС товщиною $\delta = 5$ мм, кожен з яких має 24 пази по 10 мм. Крок між пазами складає 15° .

Шпангоут з детурбулізуючою сіткою не можна навантажувати вузлами кріплення, адже це може погіршити його міцність та властивості. Даний шпангоут, як і передній являється опорним, має 36 отворів діаметром $\varnothing 10$. Збирається шпангоут із листів фанери ФБС товщиною $\delta = 20$ мм.

Детурбулізуюча сітка кріпиться до шпангоуту за допомогою болтів М5 ГОСТ 17475-72, $L = 10$ мм.

На рис. 8.1, як приклад конструкції шпангоутів форкамери, представлені шпангоути дерев'яної конструкції британського планера Airspeed Horsa.

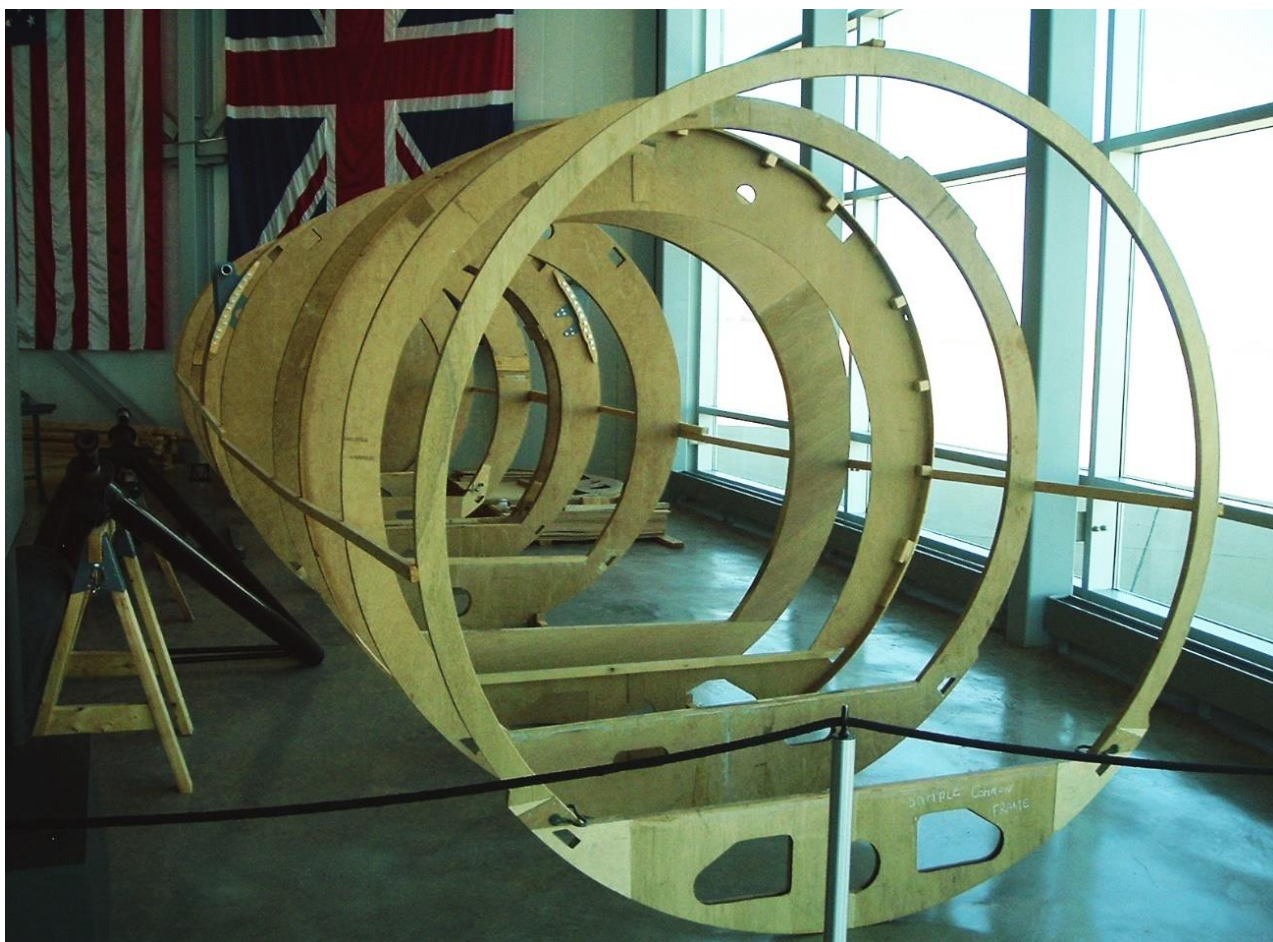


Рис. 8.1 Шпангоути дерев'яної конструкції Airspeed Horsa

Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата

ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ

Арк.

61

8.2 Розробка конструкції лонжеронів форкамери

Форкамера навчальної аеродинамічної труби має 24 лонжерони, які підтримують обшивку та сприймають зосередженні поздовжні навантаження.

Стінки лонжеронів виготовляються з фанери ФБС товщиною $\delta = 10$ мм. Пояси лонжеронів виготовляються з соснових брусків січенням 40x40. Пояси лонжеронів кріпляться до стінок лонжеронів за допомогою шурупів і клею ПВА-МБ. Переріз одного із лонжеронів показано на рис. 8.2.

Деревина, яка використовується в якості елемента конструкції, повинна витримувати напруги розтягування і стиснення, а це значить, що вона повинна бути спроектована відповідним чином. Коли лонжерон згинається під навантаженням, нижня частина лонжерона знаходиться під напругою, а верхня

сторона стискається. Дерево наполовину слабше на стиск, ніж на розтяг, тому лонжерон повинен витримувати зусилля стиснення, що діють на верхній стороні.

Прикріпити дерев'яні деталі до інших дерев'яних деталей не так просто. Клей являється кращим варіантом з'єднанням, і щоб отримати добре сполучення, дерев'яні частини повинні ідеально стикуватися один з одним. Погане клейове з'єднання може бути слабкою ланкою конструкції.

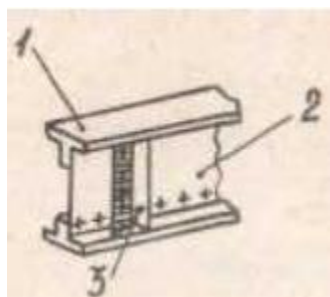


Рис. 8.2 Конструкція балочного лонжерону.

1 – пояс; 2 – стінка; 3 – стійка.

Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата

ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ

Арк.

62

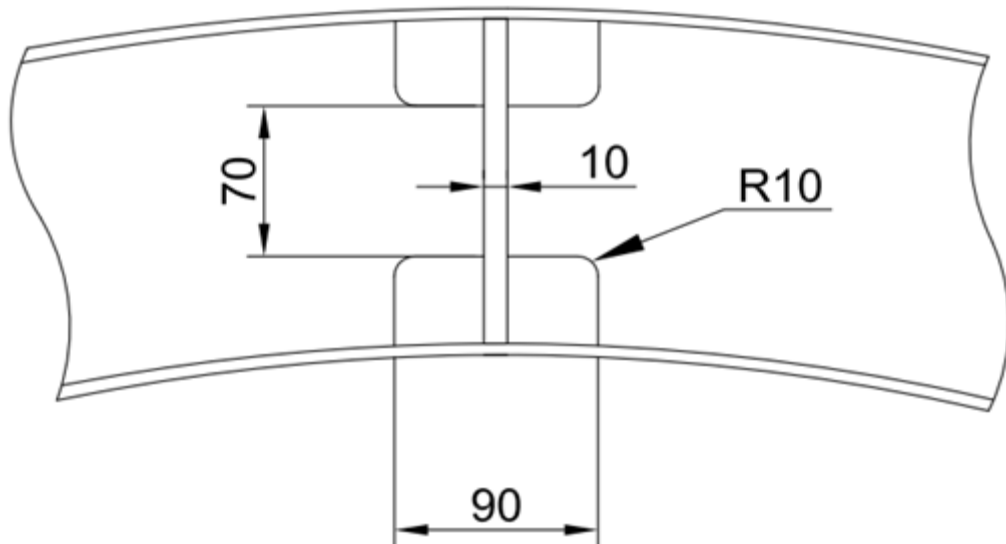


Рис. 8.3 Переріз лонжерону

8.3 Розробка конструкції обшивки форкамери

Обшивка форкамери навчальної аеродинамічної труби має тип жорсткої «працюючої». Такий вид обшивки найбільше задовольняє потреби міцності, жорсткості та маси. Вона сприймає одночасно навантаження у вигляді згинаючих і крутних моментів. Верхня зона обшивки сприймає розтягуючі зусилля, а нижня стискаючі навантаження. З'єднання елементів каркасу з обшивкою відбувається способом кріплення обшивки до шпангоутів та поясів лонжерону, виготовлених з дерев'яних соснових брусків за допомогою клею ПВА-МБ та шурупів. Товщина обшивки становить $\delta = 5$ мм. Приклад кріплення обшивки до шпангоутів та поясів лонжерону показано на моделі, виконаній в програмному середовищі SolidWorks (рис.8.4).

Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата

ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ

Арк.

63

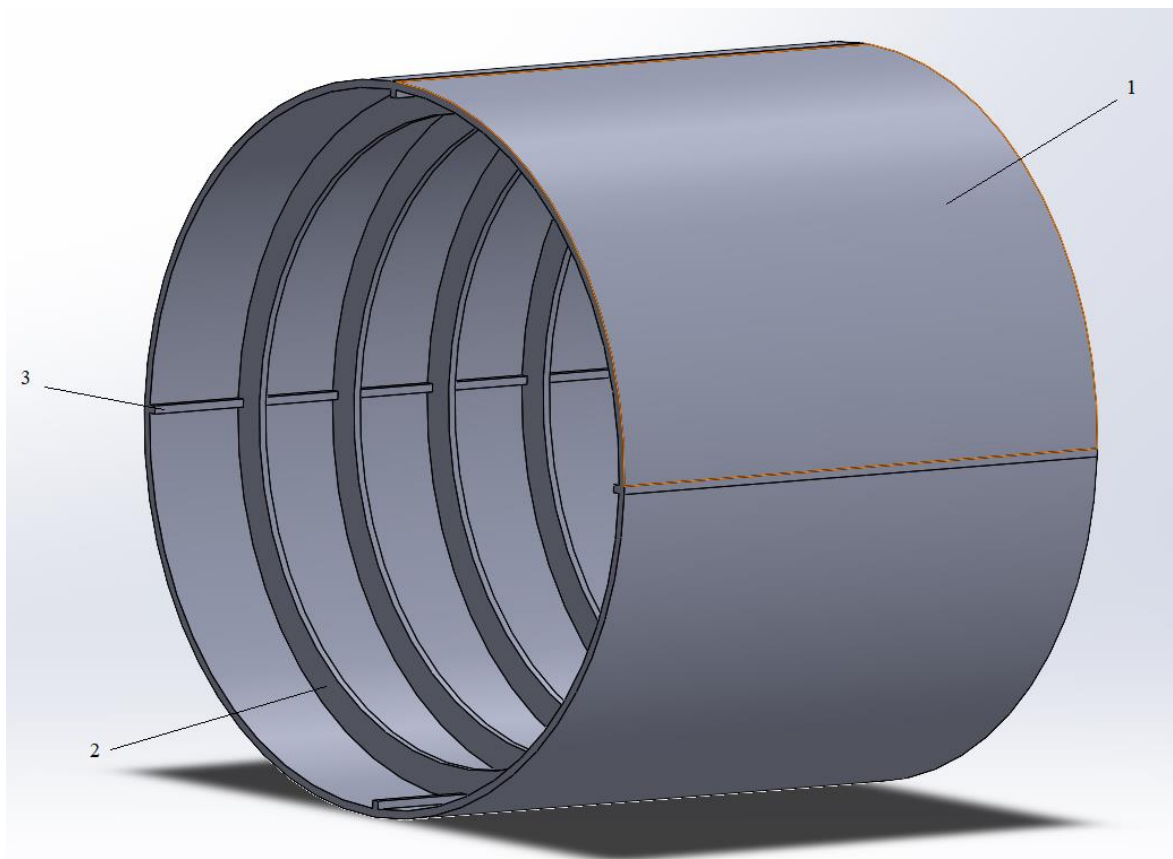


Рис. 8.4 Ескіз моделі форкамери зі з'єднаною обшивкою
1 – обшивка; 2 – шпангоут; 3 – лонжерон.

									Арк.
									64
Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата	ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ				

8.4 Розробка конструкції дверей форкамери

Задля можливості дотримуватись усіх технічних правил експлуатації та обслуговування форкамери, необхідно виконати виріз під службовий лаз та встановити двері.

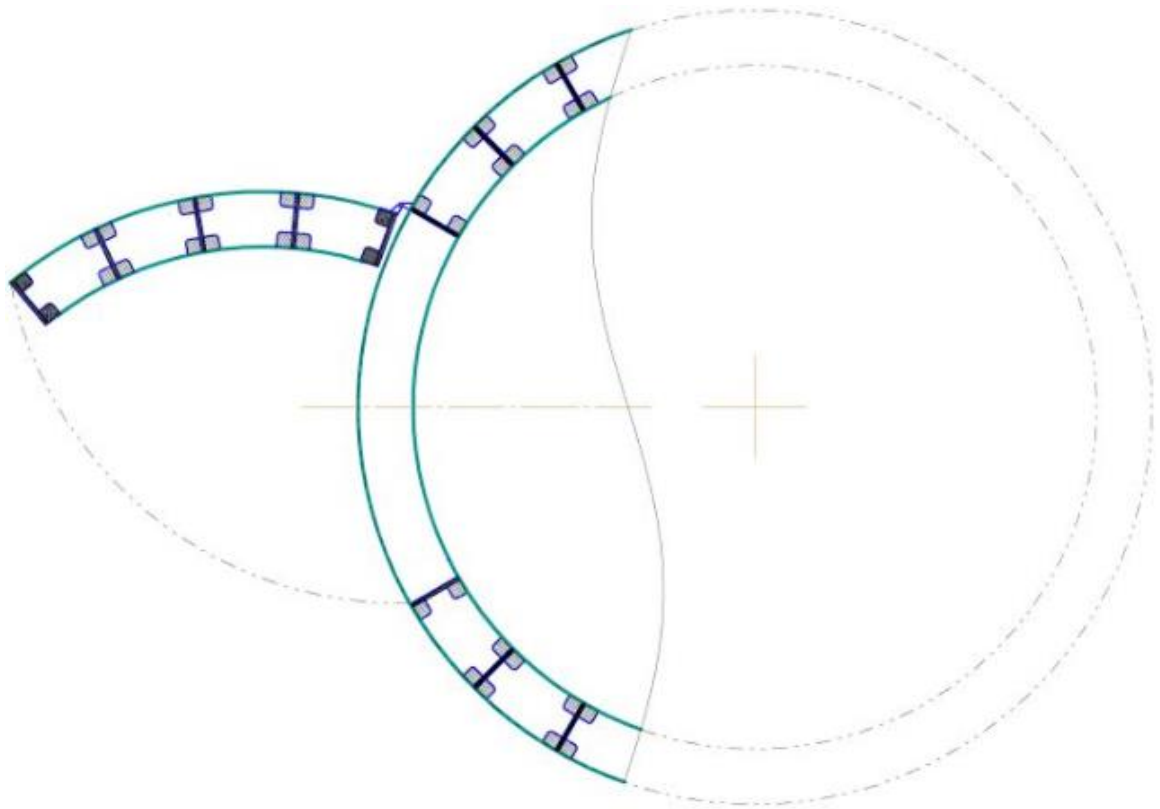


Рис. 8.5 Двері форкамери АДТ

Конструкція дверей складається з п'яти лонжеронів, двох шпангоутів, один торцевий та один проміжний. Відстань між шпангоутами $L = 786$ мм.

Розташування дверей на конструкції форкамери показано на рис. 8.6.

Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата

ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ

Арк.

65

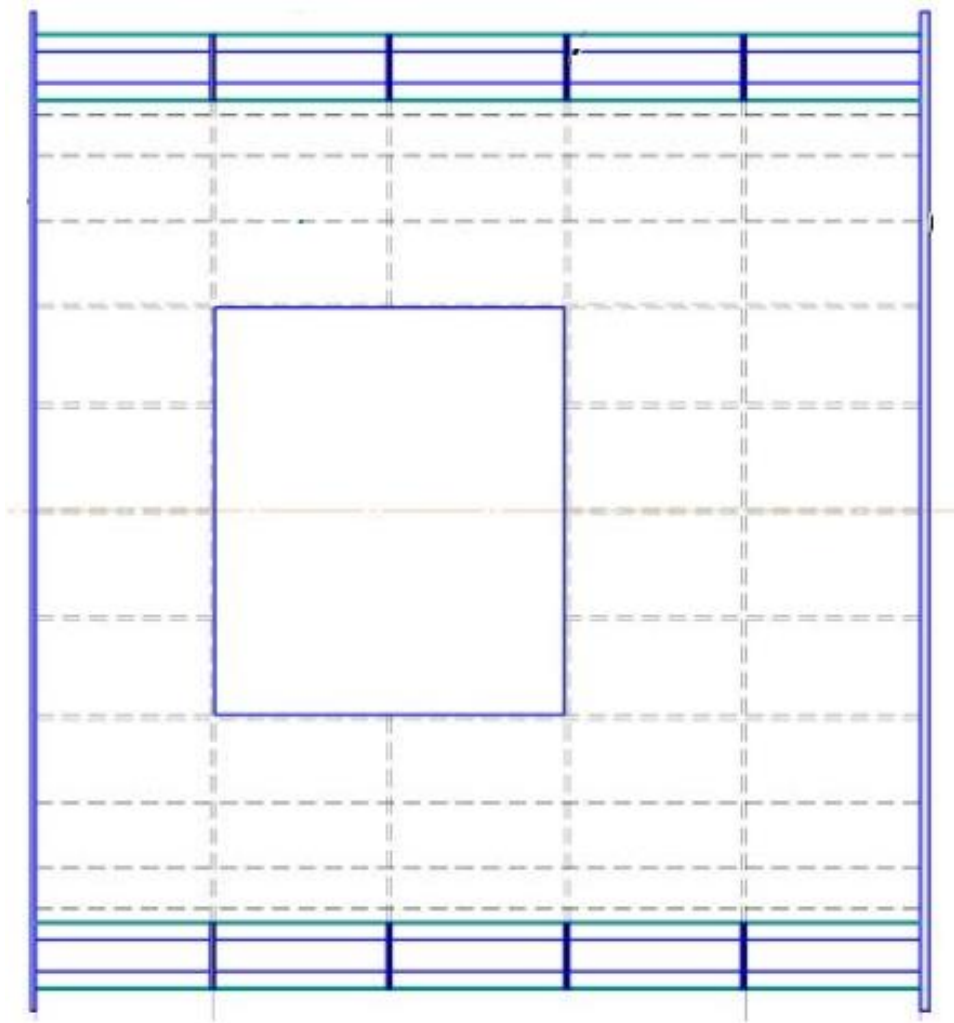


Рис. 8.6 Розташування дверей форкамери

Висновок до восьмого розділу

У восьмому розділі було розроблено та детально описано конструкцію форкамери, а саме конструкцію всіх складових елементів форкамери аеродинамічної труби, таких як шпангоути, лонжерони, обшивка та двері форкамери.

					ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата		67

9. ВИБІР ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ШПАНГОУТІВ ФОРКАМЕРИ

Форкамера навчальної аеродинамічної труби – дерев'яна клеєна конструкція, яка має шість шпангоутів, виготовлених з фанери ФБС.

9.1 Методи гнуття фанери

Як матеріал для виготовлення шпангоутів форкамери буде використовуватись фанера ФБС, товщиною $\delta = 20$ мм.

Фанера – це з'єднані між собою тонкі листи деревини (шпона). В якості шпона зазвичай використовується береза, вільха, сосна та бук.

За рахунок таких особливостей у матеріалу є наступні переваги:

- Високий рівень вологостійкості
- Відсутність викривлення, а також матеріал менше всього піддається гниттю
- Легко використовувати самостійно, адже матеріал дуже піддатливий
- Невисока вартість
- Стійкість до ультрафіолетових променів, тому не вигорає на сонці
- Простота обслуговування
- Екологічність
- Довгий строк служби та експлуатації
- Можна створювати плавність форм та згинів

Для придання фанері необхідної форми та створення необхідного контуру існують чимало методів гнуття фанери. При застосуванні кожного з методів не варто розташовувати верхній шпон таким чином, щоб волокна перебували поперек вигину, так як через це може утворитися злам. Згинати фанеру можна наступним чином: згинанням слоїв під час склеювання, або згинання фанери після склеювання. Перший прийом зазвичай використовується у виробничих умовах і його зміст полягає в наступному: використання прес-форм для

										Арк.
										68
Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата	ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ					

криволінійного шпону, які попередньо прогріваються за допомогою пари або електричного струму. Далі туди поміщається проклеєні і зігнуті в необхідну форму фанерні листи, рівень вологості яких досягає рівня не більше двадцяти відсотків. У них вони розташовуються до того моменту, поки клей не висохне до такої міри, що зможе відмінно утримати матеріал вже нової форми.

Другий метод згину фанери полягає в тому, щоб гнути фанеру вже після її склеювання. Товстий лист складно просто так зігнути. Він повинен пройти спочатку спеціальну обробку, щоб стати м'якше і податливіше. Тільки тоді лист можна буде зігнути. Але спочатку його слід помістити в підготовленому криволінійному шпоні. На рис. 9.1 можна побачити приклад того, як можна гнути мокру м'яку фанеру, яка накладається на створений заздалегідь профіль необхідної форми, прижимається струбцинами з підкладками із дерева і чекає повного висихання.



Рис. 9.1 Метод гнуття мокрої фанери

Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата

ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ

Арк.

69

Після того, як обробка фанери буде закінчена, її можна буде зігнути наступними методами:

- Помістити її в каркасний шаблон. Робити це слід дуже акуратно і надійно. Для того, щоб зафіксувати виріб краще користуватися розпівками і системою ременів.
- Використовувати сталеву смугу. Слід зв'язати її з листом фанери і загнути в необхідну форму. При цьому метал відмінно стримає форму і не дасть її втратити. Далі слід просто залишити готову конструкцію, поки вона не застигне повністю.
- Використання пропила. Особливо це буде доцільним при роботі з товстим виробом. На місце передбачуваного вигину слід нанести кілька розрізів, які дадуть можливість зробити вигин легше. Потім заготовка встановлюється в необхідне положення, а отримані щілини забиваються клеєним складом.

Також розрізняють сухе та мокре гнуття фанери, які зображено на рис. 9.2.



Рис. 9.2 Принцип сухого та мокрого гнуття фанери

Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата

ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ

Арк.

70

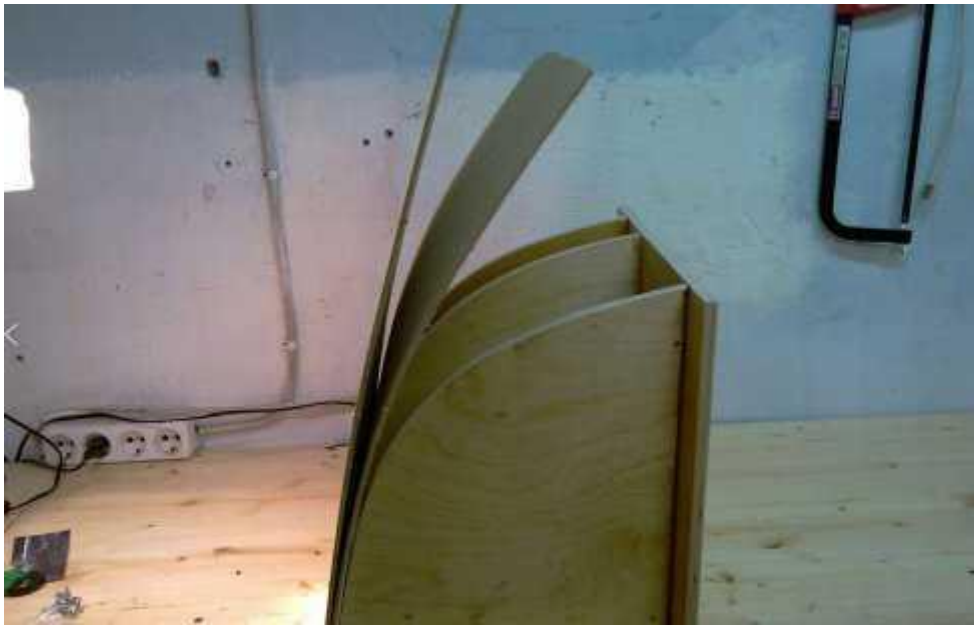


Рис.9.3 Гнуття фанери

9.2 Метод холодного склеювання фанери

Гідравлічні преси 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, по влаштуванню рухомого столу і гідравлічного приводу. Преси для холодного склеювання можуть працювати від гідравлічної установки з підведенням рідини через дистриб'ютор. У деяких конструкціях пресів насоси розташовуються на пресі.

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. 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

Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата

ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ

Арк.

71

до верхнього архітраву. 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 пресовки пакету подають рідину під тиском 50 атм, а потім для пресування - під тиском 300 ата (по манометру). На рис. 9.4 показано конструкцію пресу для сухого холодного склеювання фанери.

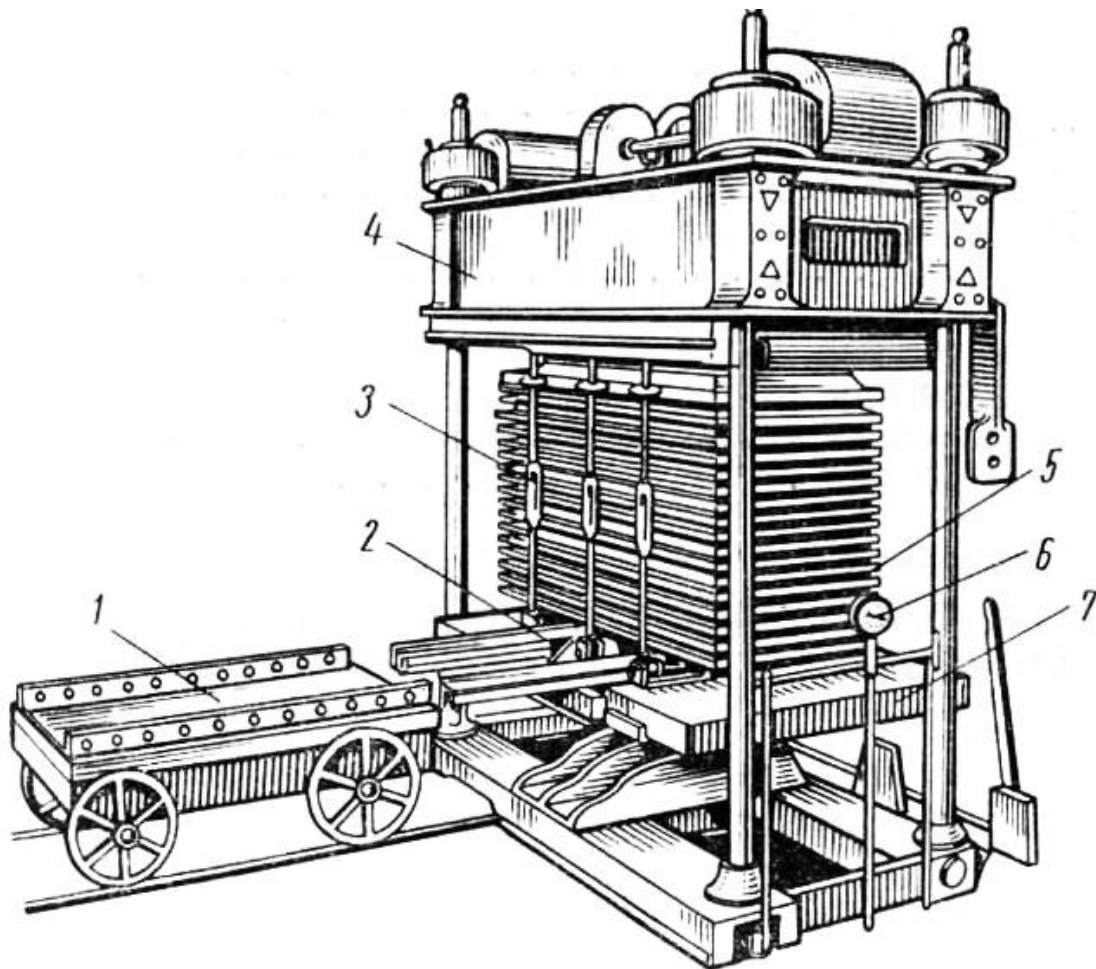


Рис.9.4 Прес для холодного склеювання фанери

1 – вагонетка; 2 – двотаврові балки; 3 – карабін; 4 – верхній архітрав; 5 – склеюваний пакет; 6 – манометр; 7 – стіл пресу.

Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата

ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ

Арк.

72

Пакет залишається деякий час під тиском, після чого знову підтягують карабіни, знімають тиск, викочують вагонетку з пакетом і везуть на місце витримки, де він залишається до тих пір, поки не затвердіє клей. Час витримки залежить від застосовуваного клею. Потім пакет знову укладають в прес, створюють тиск, розгвинчують карабіни і знімають затискачі-стяжки. Вагонетку з пакетом викочують з преса і склеєні листи фанери направляють на підсушування. При використанні смоли М-70 пакети не підсушують.

Особливістю пресів для холодного склеювання фанери є те, що їх застосовують тільки для обтиску пакетів і створення між листами шпону необхідного контакту. Останнім часом у виробництві фанери стала застосовуватися попередня підпресовка пакетів в холодних пресах. При цьому зменшується можливість передчасного затвердіння клею, скорочується час завантаження пакетів в гарячий прес і час затвердіння, а також поліпшується якість фанери.



Рис.9.5 Виробництво фанери

Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата

ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ

Арк.

73

9.3 Клеєні конструкції

Основна функція клею - скріплення деталей або елементів конструкції між собою і збереження з'єднаних частин в експлуатаційних умовах відповідно до конструктивних вимог. Виконуючи цю роль, адгезивні матеріали дозволяють вирішувати багато проблем, пов'язаних з формуванням з'єднання, спрощують і прискорюють процеси складання, створюють можливості для найрізноманітнішого конструювання. Безсумнівно, процес склеювання в багатьох випадках є більш раціональним і економічним, ніж традиційні методи нероз'ємного з'єднання деталей.

9.3.1. Переваги склеювання

1. Здатність з'єднувати найрізноманітніші метали, які можуть істотно відрізнятися за властивостями, модулем пружності і товщини. Склеюванням можна з'єднувати тонколистові деталі, тоді як інші способи з'єднання зазвичай неприйнятні.

2. Більш рівномірний розподіл напружень в елементах що склеюються, ніж при зварюванні, клепці, різьбових з'єднаннях. Це обумовлено значною концентрацією напружень, що виникають при зварюванні, а також відсутністю отворів під заклепки і болти.

3. Можливість економічної і швидкої збірки, заміни декількох видів складання єдиним способом склеювання, одночасної збірки багатьох елементів конструкції.

4. Різноманіття адгезивних матеріалів за формою і способам нанесення дозволяє пристосувати їх до багатьох виробничих процесів.

5. Міцність клеєної конструкції часто вище, а вартість нижча, ніж міцність і вартість тієї ж конструкції, виконаної альтернативними методами збирання. Застосування клеєних з'єднань замість клепаних і болтових може привести до значного зниження ваги конструкції.

					ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата		74

6. Деформаційна здатність багатьох адгезивних матеріалів забезпечує можливість поглинати, перерозподіляти або більш рівномірно передавати напруги від одного елемента конструкції до іншого.

7. Можливість поєднувати чутливі до нагрівання матеріали, які деформуються або руйнуються від зварювання або паяння.

8. Клеї можуть служити герметизуючим засобом, що запобігає вплив вологи і хімічних реагентів. У багатьох випадках клейовий шов є тепло-, звуко- і електроізолятором, а також може істотно зменшити електролітичну корозію між різнорідними матеріалами.

9. Спеціальні клеї дозволяють виконувати роботи зі склеювання в різних кліматичних умовах без застосування складного обладнання та підведення тепла.

9.3.2. Недоліки склеювання

1. Процес склеювання може виявитися складним через необхідність здійснювати ретельну підготовку поверхні елементів, що склеюються і зберігати їх в чистоті, готувати і наносити клей на поверхню, що склеюється, підтримувати певну температуру, тиск і вологість в процесі склеювання, а також внаслідок тривалого часу затвердіння (іноді із забезпеченням тривалого нагрівання і прикладання навантаження) і застосування різних пристосувань.

2. Необхідно дуже ретельно проектувати клейове з'єднання, усувати вплив на нього відшаровуючих і розтягуючих навантажень, а також напружень, що виникають в результаті відмінності в коефіцієнтах термічного розширення елементів, що склеюються і клейового шва.

3. Недостатня теплостійкість клейового шва обмежує застосування клейових конструкцій до певних температур, в той час як клепані, зварні та паяні з'єднання задовільно працюють при більш високих температурах. Деякі клеї недостатньо стійкі до теплового і механічного удару.

Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата

ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ

Арк.

75

4. Неможливо відразу отримати оптимальну міцність з'єднання, як це, наприклад, можна зробити при зварюванні. Часто дуже важко забезпечити необхідний рівень контролю якості клейових з'єднань.

5. Можливе погіршення міцності з'єднання при дії тепла, холоду, біосередовищ, хімічних реагентів, пластифікаторів, радіаційного опромінення та інших експлуатаційних факторів, несумісність клею з матеріалом елементів, що склеюються і, як наслідок, можливість появи корозії.

6. Труднощі демонтажу з'єднання при необхідності повного розбирання або ремонту конструкції.

7. Тенденція до повзучості під постійним навантаженням, характерна для термопластичних клеїв; низька міцність при відшаруванні, притаманна багатьом термореактивним клеїв; часто невідома величина довговічності клейових з'єднань в умовах впливу жорстких експлуатаційних факторів.

8. Деякі конструкції більш економічно виготовляти, використовуючи інші методи збирання, особливо в тих випадках, коли для цих цілей є необхідне обладнання.

9.3.3. Процес склеювання

Застосування адгезивних матеріалів може здійснюватися за двома варіантами: а) при складанні нової конструкції і б) при ремонті.

У тому випадку, якщо рішення про застосування адгезивних матеріалів при складанні прийнято, оптимальні результати будуть досягнуті тільки за умови ретельного опрацювання кожної стадії технологічного процесу склеювання. Дуже важливо при виборі клею насамперед вирішити питання, як клеїти, тобто вибрати схему навантаження і тип клейового з'єднання. Виходячи з цього, склеювання включає в себе наступні взаємозалежні етапи.

Визначення величини і типу діючої напруги в з'єднанні і порівняння його з необхідною міцністю сприятимуть більш правильному вибору клею.

					ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата		76

Разом з цим не можна відкладати рішення про вибір клею до повного завершення проектування з'єднання, так як необхідно враховувати вплив чинників на елементи, що склеюються, супутніх склеюванню, або встановлені допуски на елементи, що сполучуються, не дозволяють клею проникнути в спроектований зазор.

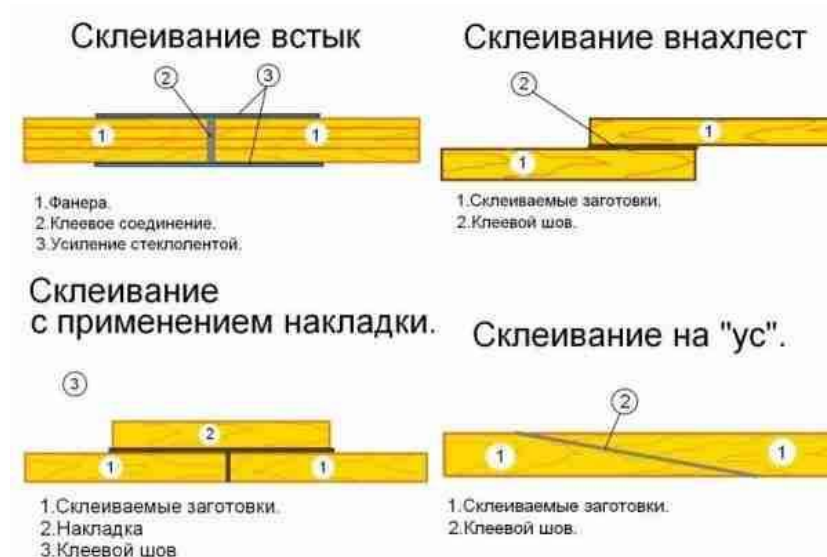


Рис. 9.6 Види клейових з'єднань дерев'яних конструкцій

Рациональные конструкции

Нерациональные конструкции

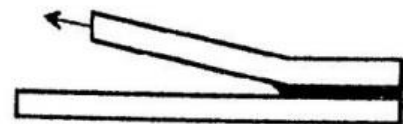
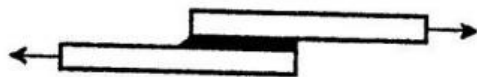
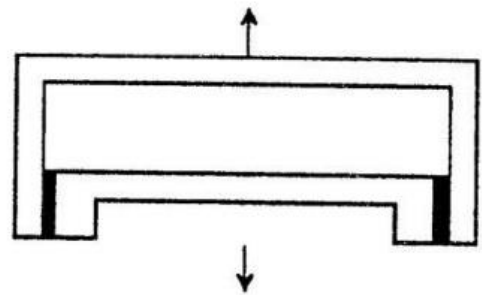
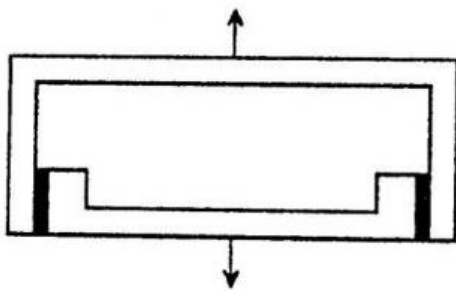
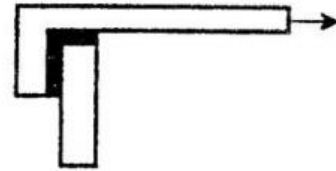
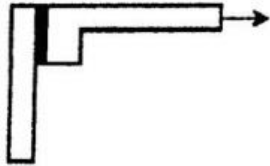
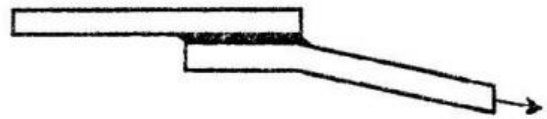


Рис.9.7 Схеми раціональних і нераціональних клейових з'єднань

Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата

ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ

Арк.

78

На етапі вибору клею необхідно розглянути експлуатаційні вимоги, що пред'являються до клейового з'єднання, і накопичений досвід робіт з вибраними клеями. Це необхідно для того, щоб переконатися у відповідності один одному конструкції з'єднання і обраного клею (клеїв). Для обраного клею розглянути всі прийнятні методи підготовки поверхні елементів, що склеюються і вибрати оптимальний. Етап виготовлення клеєних конструкцій включає операції від нанесення клею до його затвердіння в контрольованих умовах.

Пропонується розглянути адгезію, міцність з'єднання і підготовку поверхні.

Адгезія спостерігається в найрізноманітніших процесах. Процес утворення адгезійного з'єднання починається зі зближення різнорідних фаз і здійснюється різними методами. Основою адгезії є молекулярна взаємодія на поверхні розділу адгезив - склеюваний елемент. Найбільш поширений метод - змочування рідким адгезивом твердої поверхні, при якому досягається необхідний молекулярний контакт різних фаз. Це означає, що адгезив повинен розтікатися по твердій поверхні матеріалу, витісняючи повітря і присутні на ній забруднення.

Адгезив, що ідеально відповідає цим вимогам, в рідкому стані повинен мати нульовий або близький до нуля контактний кут, на певному етапі формування адгезійного з'єднання володіти відносно низькою в'язкістю, при контакті з твердою поверхнею сприяти видаленню захваченого повітря.

Міцність клейового з'єднання залежить не тільки від обраної клейкої речовини, а й від якості поверхні матеріалу, що склеюється. Адгезія на кордоні конденсованих фаз виникає в межах невеликого шару і міцність з'єднання може істотно знизитися через наявність на поверхні забруднень і слабких поверхневих шарів, які перешкоджають контакту клею із матеріалом, що склеюється.

Ці методи успішно випробувані для обробки інертних пластмас (поліетилену, поліпропілену, політетрафторетилену і ін.), які важко ефективно склеїти без застосування спеціальних методів підготовки поверхні.

У порівнянні з механічними, хімічними і електрохімічними способами обробки поверхні є більш ефективними з точки зору економічності процесу і хорошої якості підготовленої поверхні і клейових з'єднань. На додаток до очищаючої дії ці види обробки можуть забезпечити утворення на поверхні хімічно стійкого шару, який сприяє збереженню міцності клейових з'єднань в умовах експлуатації.

9.3.4. Конструкція клейових з'єднань

Елементи конструкції, збірка яких здійснюється склеюванням, повинні спеціально проектуватися. Конструкція клейового з'єднання, як правило, залежить від двох основних чинників:

- 1) напрямлення дії всіх прикладених навантажень і сил, які з'єднання повинне витримати в процесі експлуатації;
- 2) легкості, з якою може бути сформовано з'єднання. Це залежить від способів виготовлення елементів, що склеюються і від використовуваних матеріалів.

При розгляді конструкції клейового з'єднання в залежності від способу прикладання навантаження, розрізняють кілька видів навантаження (рис.9.8): рівномірний відрив, рівномірне стиснення, віддирання (нерівномірний відрив), відшаровування, розшарування. При всіх видах навантажень мають місце нормальні (розтягують або стискають) і дотичні (зсувні) напруги. У випадках (а), (б) і (в) напруги більш-менш рівномірно розподілені по всій площі склеювання. У випадках (г), (д) і (е) найбільші напруги сконцентровані по лінії руйнування.

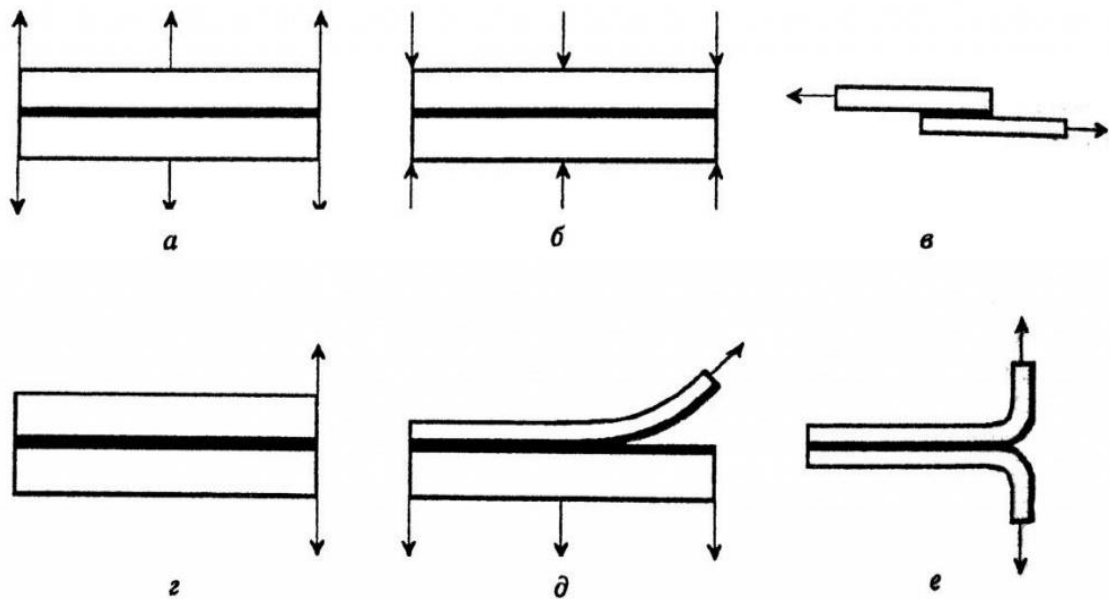


Рис. 9.8 Види навантажень

а - рівномірний відрив, б - рівномірне стиснення, в – зсув, г – віддирання, д – відшаровування, е - розшарування

9.4. Виготовлення шпангоуту з детурбулізуючою сіткою

До дерев'яного опорного шпангоуту, після проходження всіх вище описаних процесів підготовки, буде кріпитись детурбулізуюча сітка, сформована за допомогою сталюого дроту товщиною $\delta = 5$ мм, та кріпиться до шпангоуту за допомогою болтів М5 ГОСТ 17475-72, $L = 10$ мм.

Для того щоб прикріпити детурбулізуючу сітку до шпангоуту, необхідно насамперед виготовити спеціальні дуги з матеріалу СТ 3, на які будуть кріпитись вище зазначені болти, шляхом укручування їх у отвори в цих дугах.

Дріт, формуючий плетену детурбулізуючу сітку, прижимається до дуги за допомогою сталюї шайби ГОСТ 11371-78, діаметром $\varnothing 5$, а також за допомогою гайки М5 ГОСТ 5916-70.

Сама гайка фіксується за допомогою пружинної шайби ГОСТ 6402-70 діаметром $\varnothing 5$.

Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата

ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ

Арк.

82

Висновок до дев'ятого розділу

У дев'ятому розділі було розглянуто основні методи гнуття фанери. Оскільки збірка всієї форкамери відбувається в вертикальному положенні, та фанера для шпангоуту має велику товщину, раціональним буде використання методу мокрого згину. Цей метод дозволить створити шпангоути, які будуть відповідати вимогам проекту.

Було детально розглянуто клеєні конструкції, види клеїв, особливості їх з'єднання, переваги та недоліки. Для необхідних з'єднань було вирішено використовувати клей ПВА-МБ.

Також детально описано процес виготовлення детурбулізуючої сітки для опорного шпангоуту, та метод кріплення цієї сітки до нього. У процесі будуть використовуватись болти М5 ГОСТ 17475-72, $L = 10$ мм, сталеві шайби ГОСТ 11371-78, діаметром $\varnothing 5$, гайки М5 ГОСТ 5916-70 та пружинні шайби ГОСТ 6402-70 діаметром $\varnothing 5$.

					ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата		83

ВИСНОВОК

Темою моєї дипломної роботи була форкамера навчальної аеродинамічної труби. Основною метою ДП було саме проектування форкамери, а саме визначення структури її силового набору, з подальшим автоматизованим аналізом міцності конструкції.

Першим етапом ДП було ознайомлення з аналогами аеродинамічних труб в загальному, та окремих їх елементів, на основі яких було взято основні геометричні параметри форкамери. Велику увагу було приділено вибору конструктивно-силової схеми форкамери, адже від неї залежав подальший розвиток проєкту.

На основі вище згаданої інформації була побудована модель-прототип форкамери з подальшим її спрощенням, задля підвищення якості розрахунків. СЕМ форкамери була побудована за допомогою САD-комплексу SilidWorks, розрахунок якої було продовжено в цій програмі. Було виконано навантаження форкамери та отримано НДС. Результати було використано для аналізу напружень, переміщення та деформації конструкції.

Також проводилась розробка конструкції як форкамери так і окремих її елементів поодинці. Описана технологія виготовлення шпангоутів форкамери та датурбулізуючої сітки, та ознайомлено з видами необхідних з'єднань елементів між собою дерев'яних клеєних конструкцій.

									Арк.
									84
Зм..	Лист	№ докум	Підпис	Дата	ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ				

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Аэродинамические трубы малых скоростей / А.Н Рябинин. –СПБ, 2017. – 133 с.
2. Аэродинамические трубы дозвуковых и сверхзвуковых А99 скоростей: Методическое пособие / В.Т. Калугин, А.Ю. Луценко, Е.Г. Столярова, А.И. Хлупнов. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 174 с.
3. Техника и методы аэрофизического эксперимента: Часть 1 / А.М. Харитонов. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 346 с.
4. Проектирование деревяних самолетов / Всесоюзный научно-исследовательский институт авиационных материалов – Москва: Государственное издательство оборонной промышленности, 1945. – 223 с.
5. Аэродинамические трубы больших скоростей / Поуп А., Гойн К. – Москва: НКАП СССР, 1968. – 495 с.
6. Разработка детурбулизирующих сеток с малым гидравлическим сопротивлением для аэродинамических труб / Е.У. Репик, Ю.П. Соседко. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 195 с.

ВЛ7318.10.00.00.00 ПЗ

Арк.

85