

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала МАКАРОВА**

**Кафедра будівельної механіки та
конструкції корпусу корабля**

“Допущена до захисту АК”

**Завідуючий
кафедрою _____ Коростильов Л.І.
“ ” _____ 2022 р.**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**магістра зі спеціальності 135 «Суднобудування» за
освітньо-професійною програмою «Проектування
та виробництво судових конструкцій із
композиційних матеріалів**

**Тема роботи: Дослідження складу епоксидного
сполучника для корабельного трапу із композиційного
матеріалу**

РОЗРАХУНКОВО – ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Керівник роботи Соломонюк Наталья Сергіївна

Студентка групи 6161 м Васильєва Ангеліна Валеріївна

Миколаїв 2022 р.

Анотація

В дипломному проекті було розроблено конструкцію та технологію виготовлення трапу-сходні.

З метою покращення механічних характеристик трапу, в даній роботі обрано використання полімерного композиційного матеріалу.

Враховуючи експлуатаційні характеристики обрано матеріал, що відповідає всім умовам використання трапу. Він складається з двох типів однонаправленої склотканини, двох типів матів та пінопласту.

Крім того в експериментальній частині було визначено склад сполучника для отримання найкращої міцності склопластику (епоксидна смола ED-20, ПЕПА та Діамет-Х)

В розрахунковій частині за допомогою програмного забезпечення ANSYS обрано кількість шарів для заданих навантажень та перевірено конструкцію на міцність та жорсткість. В програмному забезпеченні SolidWorks створено модель трапу.

Технологія виготовлення трапу - вакуумне формування. Детально розглянуто технологічний процес з урахуванням властивостей використаних матеріалів.

Конструкція трапу-сходні представлена на складальному кресленні 135.6161м.01.01.СК

					КР.135.6161м.01.РПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

Кораблебудівний начальніно-науковий інститут

Кафедра будівельної механіки та конструкції корпусу корабля

Освітньо-кваліфікаційний рівень - **Магістр**

Освітньо-професійна програма - **проектування та виробництво суднових конструкцій із композиційних матеріалів**

Спеціальність - 135 Суднобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____ Коростильов Л.І.

“ ____ ” _____ 20 ____ року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Васильєвій Ангеліні Валеріївні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Дослідження складу епоксидного сполучника для корабельного трапу із композиційного матеріалу

керівник роботи _____ **к.т.н. Соломонюк Н.С.** _____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ ____ ” _____ 20 ____ року № ____

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи: *вдосконалити трап-сходню з характеристиками: вага – 110 кг, довжина – 5000 мм, ширина – 790 мм, допустиме навантаження 375 кг, максимальна кількість людей, що можуть одночасно знаходитися на трапі – 5 чоловік.*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): *1. Виконати інформаційний пошук з метою ознайомлення зі світовим досвідом проектування та виробництва трапів. 2. Виконати огляд матеріальної бази для виробництва елементів досліджуваної конструкції. 3. Удосконалити композиційний матеріал трапу шляхом оптимізації міцності сполучника. 4. Виконати розрахунок міцності для досліджуваного трапу. 5. Розробити технологічний процес виготовлення трапу. 6. Виконати складальне креслення трапу-сходні.*

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Складальне креслення композиційного трапу-сходні та креслення маршу трапа без додаткових кріплень

6. Консультанти розділів работ

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1			
2			
3			
4			
5			

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка

Студент


(підпис)

— **Васильєва А.В.**
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____

(підпис)

— **Соломонюк Н.С.**
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1 ІСНУЮЧІ КОНСТРУКЦІЇ СУДНОВИХ ТРАПІВ ТА МАТЕРІАЛИ ДЛЯ НИХ	9
1.1 Загальні відомості	9
1.2 Класифікація трапів	9
1.3 Постановка задачі	17
РОЗДІЛ 2 ОПИС КОНСТРУКЦІЇ ТА ВИБІР МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ СУДНОВОГО ТРАПУ	17
2.1 Конструкція суднового трапу, навантаження та умови його експлуатації	17
2.2 Вибір полімерного композиційного матеріалу для трапа	18
2.2.1 Вуглецеві волокна (ВВ).....	18
2.2.2 Борне волокно	19
2.2.3 Арамідна тканина.....	20
2.2.4 Скляне волокно	21
2.2.5 Висновок за підрозділом	25
2.3 Вибір матриці	25
2.3.1 Поліефірна смола	26
2.3.2 Фенолформальдегідні смоли	28
2.3.3 Епоксидні смоли	29
2.3.4 Висновок за підрозділом	31
2.4 Вибір марки матеріалу та фірми виробника	31
2.5 Висновок за розділом	33
РОЗДІЛ 3 ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ СПОЛУЧНИКА ТА ВИБІР КІНЦЕВОГО СКЛАДУ КОМПОЗИТУ	31
3.1 Вибір твердників для епоксидного сполучника	31
3.2 Метод крутильного маятника	32
3.3 Планування експерименту за методом латинських квадратів і результати дослідження	34
3.4 Висновки за розділом	37
РОЗДІЛ 4 ПРОЕКТУВАННЯ ТРАПУ-СХОДНІ	40
4.1 Модель.....	40
4.2 Скінченно -елементна модель та викладка шарів	40

4.3 Результат розрахунків.....	44
4.4 Висновок за розділом	45
РОЗДІЛ 5 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ.....	47
5.1 Можливі технології виготовлення трапу.....	47
5.1.1. Контактне формування.....	47
5.1.2. Прес-камерне формування.....	48
5.1.3. Автоклавне формування.....	50
5.1.4. Вакуумне формування.....	51
5.2. Розробка технологічного процесу виготовлення трапу-сходні	53
5.2.1 Підготовка матриці	53
5.2.2 Виготовлення трапу	53
5.4 Висновок за розділом	57
ВИСНОВКИ.....	59
Список літератури	60

					КР.135.6161м.01.РПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

					КР.135.6161м.01.01.РПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата								
					РОЗДІЛ 1				Літ.	Аркуш	Аркушів	
Студент		Васильєва										
		А.В.							НУК			
Викладач		Соломонюк										
		Н.С.										

РОЗДІЛ 1 ІСНУЮЧІ КОНСТРУКЦІЇ СУДНОВИХ ТРАПІВ ТА МАТЕРІАЛИ ДЛЯ НИХ

1.1 Загальні відомості

Трапи - будь-якого типу стаціонарні суднові сходи для сполучення між приміщеннями, відсіками, палубами судна, берегом, а також переносні гнучкі сходи з рослинного або синтетичного тросу. [17]

1.2 Класифікація трапів

Суднові трапи призначені для безпечного входу та виходу людей з судна на причал, а також для доступу екіпажу до робочих приміщень, що розташовані на палубах та надбудовах різного рівня. [2]

За своїм призначенням трапи поділяються на види:

- Внутрішні трапи розташовані всередині приміщень судна і служать для переміщення членів команди.
- Зовнішні трапи, призначені для пересування на верхній місток і рульову рубку, як варіант скоб-трап для підйому на щоглу.
- Забортні трапи для сходу людей на берег при тривалих стоянках. На судні вони розташовані із правого чи лівого борту. Підйом та спуск трапів здійснюється за допомогою лебідки.
- Суднові сходні - легкий переносний пристрій для зв'язку з берегом. Один кінець сходні закріплений на борту, а інший вільно рухається берегом на роликах.
- Штормтрапи служать для прийому лоцмана, а також для прийому людей у разі виникнення надзвичайних подій.

Усі трапи, що застосовуються на судні, повинні відповідати нормам техніки безпеки і бути у справному стані.

					КР.135.6161м.01.РПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

Внутрішні і зовнішні судові трапи

Ці вироби пов'язують між собою всі палуби, а також приміщення із встановленим обладнанням для керування та руху судна. Трапи встановлюються під кутом або вертикально. У тих приміщеннях, де недостатньо місця або які рідко відвідуються, розміщені вертикальні трапи. Підйом на щогли проводиться по скоб трапу.

Ширина та кут нахилу трапів повинні забезпечувати повну безпеку при пересуванні. Особливо це стосується ступенів трапів, поверхня яких повинна бути виконана з матеріалу, що запобігає ковзанню і очищена від бруду, що налипає. [18]

Щаблі похилих трапів, що ведуть в машинне або котельне відділення, виготовляються з ґратчастої сталі. На трапи встановлюються поручні з одного або двох сторін, залежно від знаходження трапу. У деяких випадках встановлюється й леєрна огорожа.

Для щаблів вертикальних трапів використовують квадратні прутки, для зручності пересування відстань між сходами становить 70 мм, а від центру ступні до перебирання 150 мм. Іноді проводиться монтаж сходів із одного прутка. [1]

Забортний трап

Коли судно пришвартовано до причалу лівим або правим бортом, для сполучення з берегом використовується забортний трап (рис 1.1). У похідному положенні трап кріпиться до борту, спеціально обладнане місце. Встановлення та підйом трапу здійснюється лебідкою.

Для виготовлення трапу переважно використовується алюміній, цей легкий метал забезпечує достатню міцність і невелику вагу. В основі виробу дві тятиви, між якими розміщені щаблі шириною 160 мм і більше. Відстань між тятивами 250 мм.

За вимогами безпеки довжина маршового прольоту 10,5 м не більше. На великих судах з великою висотою борту встановлюються двомаршеві

					КР.135.6161м.01.РПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

прольоти з горизонтальним майданчиком посередині. В цьому випадку довжина трапу може досягати 20 метрів.

Для зручності пересування на трапі з одним маршем на початку та наприкінці встановлюють майданчики, шарнірно закріплені до основного прольоту. Таке кріплення дозволяє під час підйому трапу встановлювати майданчики вертикально, щоб вони не виступали за габарити борту.

Підйом по трапу здійснюється по сходах, які можуть бути рухомими або нерухомими. Коли трап з рухомими сходами, то при будь-якому куті нахилу щаблі залишаються горизонтальними. Настил майданчиків та сходів виконаний з просічно-витяжного листа, який виключає ковзання та гарантує безпеку.

По всій довжині трапу встановлені поручні та натягнута леєрна огорожа. Для встановлення стійок поручнів на зовнішній стороні трапу з двох сторін приварені спеціальні гнізда. На металевих стійках поручнів встановлюються кільця, через які простягаються два ряди проміжних леєрів. Верхній леєр безперервний, він проходить через усі стійки і кріпиться до країв трапу. Коли проводиться підйом трапу, при відході судна, леєрна огорожа повинна не заважати кріпленню трапу вздовж борту і укладатися по довжині трапу.

Встановлені трапи не повинні мати пошкоджень, погнутих поручнів та відсутніх щаблів, вони повинні експлуатуватися в чистому та справному стані. У зимовий час трап має бути очищений від снігу та льоду, при ожеледиці поверхня трапу посипається піском. [19]

Під час рейсу забортний трап має бути встановлений у спеціальній ніші фальшборту та надійно закріплений. Для спуску та підйому використовується невелика лебідка з електричним або ручним приводом. Верхній кінець трапу закріплений лише на рівні палуби, а нижній, з допомогою стропа, також піднімають рівня палуби.

					КР.135.6161м.01.РПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		



Рисунок 1.1 – Фото забортного трапу

Суднова сходня

Інший варіант сполучення з берегом - це установка сходні (рис.1.2), яка є легкою алюмінієвою конструкцією. Сходня має невелику вагу, тому встановлюється вручну. На невеликих судах, де немає забортних трапів, подібна є основним засобом виходу берег.

Найчастіше на судах використовуються сходні, виготовлені з алюмінієвих сплавів. Такі сходи легко без зусиль встановлюються та забираються при відході судна. Верхній кінець кріпиться за допомогою крюка до фальшборту судна та надійно закріплюється. У нижній частині встановлені ролики, які забезпечують рухливість сходнів під час переміщення судна.

Алюмінієві сходні мають міцний посилений каркас із настилом із просічно-витяжного листа. Для запобігання прослизання на настил можуть бути встановлені поперечні балясини, виготовлені з дерева. Довжина сходи може бути до 48 метрів, довгі сходи можуть складатися із кількох частин.

По обидва боки сходнів є гнізда для встановлення стійок леєрного огороження. Леєра натягуються в 3 ряди і закріплюються на стійках сходні. Така огорожа забезпечує повну безпеку команди та пасажирів при виході на берег та поверненні на судно. Деякі сходи можуть оснащуватися жорсткими металевими поручнями у тому випадку, якщо вони використовуються при перенесенні важких вантажів. [3]

Сходні можуть встановлюватися горизонтально або під кутом, рекомендований кут нахилу 30 градусів, для більш високих кутів нахилу застосовують сходи спеціальної форми. При відході судна сходня забирається та надійно кріпиться у спеціально відведеному для неї місці. Якщо подібна має велику довжину та вагу, то установку її здійснює за допомогою вантажних стріл.



Рисунок 1.2 – Фото забортного трапу

Штормтрап

Під час руху судна в каналах, при заходах у порт та у багатьох інших місцях потрібна лоцманська проводка судна. Прийом лоцмана на борт у відкритому морі проводиться штормтрапом.

У місці установки штормтрапа має бути розміщено рятувальний круг, а поряд лежати бухта кидального кінця. У нічний час місце встановлення штормтрапу має бути освітлене, а рятувальний круг забезпечений аварійним ліхтарем.

Штормтрап може застосовуватись і для інших цілей. Так, наприклад, при стоянці судна на рейді в порту, де немає обладнаних причалів для прийняття судна, зв'язок з берегом здійснюється за допомогою суднової шлюпки. У цьому випадку посадка в шлюпку і висаджування проводиться по штормтрапу. По штормтрапу може проводитися посадка людей під час проведення рятувальних операцій.

					КР.135.6161м.01.РПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

Не дозволяється використовувати штормтрап, якщо не дотримано таких умов:

Відсутня величина навантаження, що допускається, і дата проведення чергового випробування.

Тріснула або відсутня одна з балясини виробів.

Нижня балясина трапа не досягає рівня моря чи не дістає до палуби лоцманського катера.

На пасмах тятиви є обриви, а балясини перекошені і паралельні.

Не допускається кріплення штормтрапу до борту судна за балясини. Перевірка штормтрапів повинна проводитись щорічно, результати перевірок оформлюються актом.

Перевірка навантаження, що допускається, проводиться навішуванням розрахункового вантажу.



Рисунок 1.3 – Фото штормтрапу

За конструкцією та способом встановлення - похилі та вертикальні.

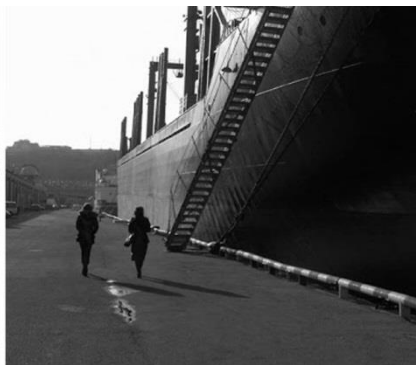
Похилі трапи (рис 1.4 а) служать для переходу з однієї палуби на іншу, в машинні та котельні відділення, рубки і т. д. Похилі внутрішні та зовнішні трапи подібні до конструкції. Кути нахилу трапів залежно від місць їх встановлення, ширина, розміри вільних майданчиків перед входом на трап і при сході з нього, а також ширина та висота сходів регламентуються правилами

					КР.135.6161м.01.РПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

техніки безпеки. Поверхні сходів роблять неслизькими та зручними для очищення від бруду. У трапах у машинних відділеннях застосовують щаблі ажурної конструкції (решітчасті, стільникові та ін.). Похилі трапи доповнюють поручнями.



а)



б)

Рисунок 2.4 – Фото похилого (а) та вертикального (б) трапів



Вертикальні трапи (1.4 б) поділяються на жорсткі та скоб-трапи.

Жорсткі вертикальні трапи служать для підйому людей на верхній місток, щогли, а також для доступу до вантажних трюмів, шахт, цистерн, міждонних танків та інших відсіків. Такі трапи складаються з двох металевих боковин, або тятив, до яких приварені на відстані 300 мм пруткові щаблі. Ширина трапу між тятивами має бути не менше 300 мм. Щоб уникнути ковзання при користуванні трапом, щаблі виготовляють із сталевого квадратного прутка, поставленого на ребро. Для створення надійної опори для ніг сходинки роблять із двох прутків з відстанню між їх центрами 70 мм, а трап встановлюють так, щоб відстань між центром ступеня та перебиранням або іншою конструкцією, розташованою за трапом (глибина опори для ніг), було не менше 150 мм . Встановлення однопруткових сходів допускається лише на трапах, призначених для доступу до обладнання, та трапах на щоглах. Якщо трап має поручні, то відстань між ними має бути не менше 500 мм.

Скоб-трапи зазвичай встановлюють на щоглах та вантажних колонах. Вони складаються з металевих скоб, приварених до вертикальних конструкцій на відстані не більше 350 мм одна від одної. Скоби виготовляють із квадратного дроту, поставленого на ребро. Вони повинні бути належним чином

вигнуті для запобігання зісковзування ноги зі скоби і загнуті по краях так, щоб їхня ширина була не менше 250 мм, а глибина опори для ніг – не менше 150 мм.

За матеріалами:

Зазвичай для виготовлення трапів використовували такий як сталь та трапи с алюмінієво-магнієвого сплаву (АМг5, АМг6 по ГОСТ 4784)

З великої різноманітності марок сталей, в сталевих конструкціях перехідних містків дозволяється застосовувати лише невелику кількість марок, які відповідають вимогам, що пред'являються до конструкцій найвищого ступеня відповідальності, що працюють у важких умовах: під динамічними повторними навантаженнями на відкритому повітрі. Основну специфіку таких сталей складають відповідно підвищені вимоги до холодостійкості, ударної в'язкості, витривалості при наявності концентрації напружень, корозостійкості. Особливо важливі зварювання, стійкість проти гарячих тріщин і знеміцнення і т. д.

Для сталевих конструкцій перехідних містків прийняті інші норми отримання розрахункової мінімальної температури повітря T_{min} . За T_{min} для сталевих конструкцій мостів приймається не середню температуру найбільш холодної п'ятиденки, а середню температуру найбільш холодних діб. T_{min} від -40 до -50°C визначає північне виконання А, а нижче - 50°C - північне виконання Б.

Сталі для металевих мостів застосовуються в основному спокійної виплавки, передбачає три основні марки сталі з бракувальним мінімумом межі текучості 230 – 400 МПа: маловуглецевої сталі 16Д (колишню М16С) і низьколеговані (нікелем і хромом) сталі 15ХСНД і 10ХСНД в різних модифікаціях, в тому числі різних категорій холодостійкості. Для всіх мостів, крім залізничних, рекомендуються також відносно дешеві низьколеговані (азотом і ванадієм) стали класу С52 / 40-14Г2АФД і 15Г2АФДпс.

Складання та зварювання виконується на стенді з універсальних складальних плит за способом жорсткого контурного кріплення. Ставлять поздовжні ребра на прихватках по гребінці, що фіксує їх проектне положення.

					КР.135.6161м.01.РПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

Варяться ребра автоматичним зварюванням під шаром флюсу. Аналогічно ставляться поперечні балки на ребристій плиті. Приварюються балки до листа настилу кутовими швами з одного боку. Сварка механізована в середовищі захисних газів. В процесі виготовлення конструкції виконується контроль всіх зварених швів

У використанні металевих конструкцій є значні недоліки:

1. Для покращення характеристик та економії зменшують товщину настилу - збільшується ймовірність утворення тріщин ще на етапі виробництва.
2. За такими конструкціями має вестись постійний огляд та технічне обслуговування.
3. До того ж старіння матеріалу та корозія - призводять до різкого погіршення характеристик мостового переходу, як наслідок – вихід конструкції з ладу або її руйнування.
4. Для збільшення строку експлуатації застосовують захисні матеріали, такі як бітуми, асфальтні суміші і т.д. На практиці такий захист діє протягом не більше 25 років.

Одним із недоліків алюмінію є те, що безпосередній або опосередкований контакт алюмінію з іншими металами, наприклад, при попаданні дощової води, може викликати перебіг електролітичних реакцій, що призводить до сильної електрокорозії алюмінію, аж до його руйнування.

Після розгляду недоліків попередніх матеріалів було вирішено замінити їх на кращий, виходячи з характеристик міцності та довговічності.

1.3 Постановка задачі

В роботі поставлено наступні задачі:

1. Виконати інформаційний пошук з метою ознайомлення зі світовим досвідом проектування та виробництва трапів.

					КР.135.6161м.01.РПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

2. Виконати огляд матеріальної бази для виробництва елементів досліджуваної конструкції.
3. Удосконалити композиційний матеріал трапу шляхом оптимізації міцності сполучника.
4. Виконати розрахунок міцності для досліджуваного трапу.
5. Розробити технологічний процес виготовлення трапу.
6. Виконати складальне креслення трапу-сходні.

					КР.135.6161м.01.РПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

					КР.135.6161м.01.02.РПЗ								
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата									
					РОЗДІЛ 2				Літ.	Аркуш	Аркушів		
Студент		Васильєва											
		А.В.							НУК				
Викладач		Соломонюк											
		Н.С.											

РОЗДІЛ 2

ОПИС КОНСТРУКЦІЇ ТА ВИБІР МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ СУДНОВОГО ТРАПУ

2.1 Конструкція суднового трапу, навантаження та умови його експлуатації

В якості досліджуваного об'єкта було обрано трап-сходню довжиною 5 м. Базовий дизайн трапу показаний на (рис.2.1).

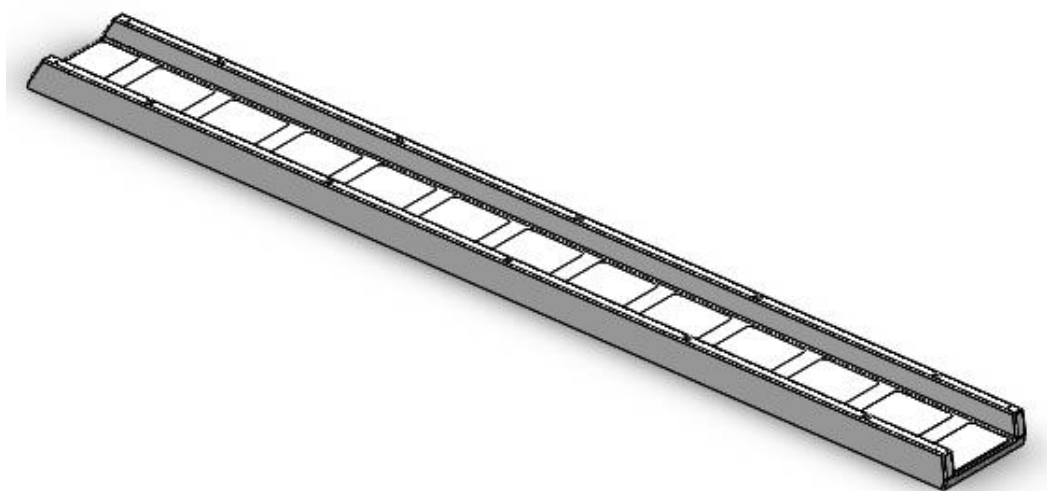


Рисунок 2.3 – Судновий трап-сходня

Надалі всі дослідження будуть проводитися для оптимізації конструкції саме з даною конструкцією.

На трап діють постійні навантаження, вказані у таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Навантаження на трап-сходню

№	Найменування	Од. вим.	Значення
1	Максимальний кут нахилу	°	30
2	Маса	кг	110
3	Допустиме навантаження	кг	375
4	Кількість людей, що одночасно можуть знаходитись на сходні	шт.	5
5	Тестове навантаження	Н	7360

2.2 Вибір полімерного композиційного матеріалу для трапа

Розглянемо види можливих наповнювачів для конструкції.

2.2.1 Вуглецеві волокна (ВВ)

ВВ складаються з тонких ниток (5-15 мкм), утворених атомами вуглецю. Атоми об'єднані в мікроскопічні кристали та вирівняні паралельно відносно один одного. Таке вирівнювання дає високу міцність на розтягування. Характеризуються високою силою натягу, низькою питомою вагою, низьким коефіцієнтом температурного розширення і хімічною інертністю.

Мають виключно високу теплостійкість: при тепловій дії до 1600-2000°C під час відсутності кисню механічні показники волокна не змінюються. ВВ стійкі до агресивних хімічних середовищ, проте окислюються при нагріванні в присутності кисню. Їх гранична температура експлуатації в повітряному середовищі складає 300-370 °C. Нанесення на ВВ тонкого шару карбідів, зокрема, карбіду кремнію або нітриду бору, дозволяє значною мірою усунути цей недолік. Змінюючи умови термообробки, можна отримати ВВ з різними електрофізичними властивостями (питомий об'ємний електричний опір від $2 \cdot 10^{-3}$ до 106 Ом / см).

Властивості ВВ представлені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Механічні властивості ВВ

Властивості волокна	Високоміцне	Високомодульне
Густина, г/см ³	1,74-1,78	1,78-1,84
Відносне подовження, %	1,3-1,4	0,5-0,6
Міцність, МПа	3000-3500	2000-2500
Модуль пружності, ГПа	240-250	360-380

Питома міцність ВВ перевершує по питомій міцності скловолокно і арамідні волокна. На основі високоміцних і високомодульних ВВ з

					КР.135.6161м.01.РПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

використанням полімерних сполучних отримують конструкційні вуглепластики. [13]

Переваги вуглепластиків:

- низька густина і вага;
- висока міцність і пружність;
- високі показниками хімічної і радіаційної стійкості;
- корозостійкість
- здатні переносити вібрації, статичні навантаження;
- мінімальний, близький до нульового, коефіцієнт лінійного

розширення.

Недоліки:

- складна технологія виробництва,
- висока вартість
- низька стійкість до точкових ударів,
- проблеми при реставрації,
- важкість утилізації.

2.2.2 Борне волокно

Волокно, отримане осадженням бору на тонку нитку (вольфрамову або вуглецеву). При певних умовах (температура підкладки 1000-1300°C) отримане волокно з зовнішнім діаметром від 100 до 200 мкм (зазвичай 140 мкм) має аморфну структуру з мікрокрісталами 2 - 4 нм. Підвищення температури підкладки прискорює процес осадження, але призводить до появи великих кристалів в структурі волокна, що істотно знижує його міцність. Середня міцність волокон, отриманих в оптимальних режимах, досягає 4 ГПа при довжині 25 мм, модуль пружності в напрямку осі - близько 480 ГПа, а густина залежить від підкладки і діаметра волокна і знаходиться зазвичай в межах 2,3 - 2,6 г/см³, питома міцність – 140 км. Волокно бору швидко рекристалізується при температурах вище 600°C, що обмежує технологічну

					КР.135.6161м.01.РПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

температуру при отриманні відповідних композитів і температуру їх експлуатації. Через високу вартість волокна його застосування обмежене.

Переваги боропластиків:

- високі характеристики міцності (на стискання) та модуль пружності,
- стійкі до агресивних умов,

Недоліки:

- висока вартість,
- підвищена крихкість заважає обробці (відносно залишкове подовження 0,2 – 0,8 %),
- невеликі робочі температури,

2.2.3 Арамідна тканина

Матеріал зроблений з арамідних волокон. Це полімерні утворення, в яких мономери, що містять ароматичні кільця, пов'язані один з одним лінійними і поперечними зв'язками. Міцність арамідної тканини обумовлена саме поперечними зв'язками. В ароматичних структурах розрізняють орто-, мета- і пара-положення. Арамідні волокна роблять з мета-арамідів, пара-арамідів і сополімерів араміда:

- Пара-араміди мають назви: тварон, кевлар, СВМ, терлон.
- Мета-араміди називаються номекс, арселон.
- Сополімери арамідів називаються кермель.

Всі арамідні волокна мають підвищені захисні властивості. Мета-араміди відрізняються особливою міцністю. Пара-араміди мають підвищені термозахисні якості.

					КР.135.6161м.01.РПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

Таблиця 2.3 – Механічні властивості волокон із кевлару

Властивості волокна	Кевлар 29	Кевлар 49
Густина, г/см ³	1,44	1,44
Міцність, МПа	3275	3034
Модуль пружності, ГПа	62-69	124-131

Переваги органопластиків:

- висока механічна міцність, в 2-3 рази вище за сталь
- органоластики з армуючим мета-арамідним волокном, здатні
- тривалий час працювати при високих температурах (250 °С, на короткий час 400 -500°С)

Недоліки:

- зниження характеристик міцності за підвищеної вологості,
- старіння швидше ніж у вуглепластиків та склопластиків,
- мала міцність на стискання в поздовжньому напрямку волокна.

2.2.4 Склоєне волокно

Виготовляється витягуванням з розплавленого скла. У такій формі скло має унікальні властивості: не б'ється і не ламається, а натомість легко гнеться без руйнування.

Всі скляні волокна умовно можна розділити на два великі класи: дешеві волокна загального застосування і дорогі волокна спеціального застосування. Майже 90% всіх скляних волокон, які випускаються сьогодні в світі це скловолокно марки Е. Детально вимоги до таких волокон викладені, наприклад, в стандарті ASTM D578-98. Решта 10% відсотків - це волокна спеціального призначення. Більшість марок скловолокна отримали свою назву завдяки своїм специфічним властивостям:

					КР.135.6161м.01.РПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

- E (electrical) - низька електрична провідність;
- S (strength) - висока міцність;
- AR (alkali resistant) - висока лугостійкість;
- D (dielectric) - низька діелектрична проникність;
- Кварцове скло - значна термічна стійкість;
- C (chemical) - висока хімічна стійкість;
- M (modulus) - висока пружність;
- A (alkali) - високий вміст лужних металів, вапняно-натрієве скло

Е-скло. На сьогоднішній день в світі випускається 2 типи скловолокна марки Е. В більшості випадків Е-скло містить 5-6 мас. % Оксиду бору. З компонентів шихти найбільшу летючість мають борна кислота і її солі, оксид свинцю, оксид сурми, селен і деякі його сполуки, а також хлориди. Летючість, розрахована на 1% вмісту оксиду в звичайних стеклах, становить для окремих оксидів в мас. %: Na_2O (з Na_2CO_3) - 0.03, K_2O (з K_2CO_3) - 0.12, B_2O_3 - 0.15, ZnO - 0.04, PbO - 0.14, CaF_2 - до 0.5. Таким чином, сучасні підприємства змушені встановлювати у себе дорогі системи фільтрації.

Властивості:

Механічні властивості обох видів волокон на основі Е-скла майже однакові (таблиця 3). Основною відмінністю скловолокна марки Е без бору є більш ніж в 7 разів більша кислотостійкість (витримка при кімнатній температурі протягом 24 годин в 10% розчині сірчаної кислоти). За своєю кислотостійкістю ці волокна наближаються до хімічно стійким волокнам на основі ECR скла. [8]

Густина Е-скла вище, ніж у скла інших типів (за винятком ECR скла).

Зі збільшенням вмісту бору в таких стеклах зменшується коефіцієнт заломлення і коефіцієнт лінійного розширення.

AR-скло. Лугостійке скло випускають на основі системи $\text{ZrO}_2\text{-SiO}_2\text{-Na}_2\text{O}$. Зміст дорогого оксиду цирконію в них варіюється в межах 15-23%. Оскільки температура плавлення чистого оксиду цирконію досить висока

					КР.135.6161м.01.РПЗ		Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			

(2715°C), в скло додають значну кількість лужних металів, найчастіше Na₂O 18-21 %.

Властивості волокон на основі AR-скла представлені в таблиці 3.

Оскільки основною сферою застосування волокон на основі AR-скла є армування цементів і бетонів, то основною характеристикою таких волокон є їх стійкість в лужному середовищі. Втрата маси після кип'ятіння в насиченому розчині NaOH для волокон на основі AR-скла становить 2-3%. Для порівняння ця ж характеристика для базальтових волокон становить 6-7%.

S-скло. До складу цього скла входило 55-79,9% SiO₂, 12,6-32% Al₂O₃, 4-20% MgO. В даний час скло під цією маркою отримують на основі систем SiO₂-Al₂O₃-MgO або SiO₂- Al₂O₃-MgO-CaO. У виняткових випадках в S-скло додають BeO₂, TiO₂, ZrO₂.

Властивості волокна S СВ представлені в таблиці 2.4

Скловолокно марки S володіє рекордними значеннями міцності і модуля пружності для даного класу матеріалів. Краща продукція з S-скла нічим не поступається за своєю якістю вуглецевому волокну, і також як і останнє застосовується в основному в аерокосмічній галузі. Високоміцні (ВМП) скловолокна є унікальним армуючим матеріалом для високонавантажених конструкцій.

За своїми фізико-механічними характеристиками склопластики на основі волокон ВМП перевершують склопластики, армовані традиційними алюмоборсилікатними волокнами (Е-скло). Переваги волокон ВМП пояснюються їх оптимальним хімічним складом.

Пружно-міцнісні характеристики волокон ВМП більш ніж на 30% перевершують аналогічні показники алюмоборосилікатних (Е-скло) скляних волокон. Крім цього, волокна зі скла ВМП мають більш високу довготривалу міцність, а також термо- і водостійкість. [10]

					КР.135.6161м.01.РПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

Таблиця 2.4 – Механічні властивості СВ

Властивості	Е - скло	AR - скло	S - скло	ВМП - скло
Густина, г/см ³	2,54-2,55	2,48-2,49	2,6-2,7	2,58
КЛТР, 10-6 С-1	4,9-6	7,5	2,9	3,5
Міцність, МПа	3100-3500	3100-3500	4380-4590	5000
Модуль пружності, ГПа	76-78	72-74	88-91	95

Переваги склопластиків:

- Високий ступінь міцності, яка не поступається металам, і разом з тим гнучкість матеріалу.
- Невелика густина, значення якої становить в середньому 1,7 г/см³. Це в півтора рази менше самого легкого технічного сплаву металів - дюралюмінію, а також в 4-6 рази менше ваги сталі, міді та інших кольорових і чорних металів.
- Електроізоляційні властивості, що дозволяють застосовувати склопластик в якості діелектрика.
- Стійкість до високих і низьких температур, низький ступінь теплопровідності.
- Високі гідроізоляційні властивості.
- Антикорозійні якості і стійкість до впливу агресивних хімічних речовин, включаючи концентровані кислоти і луги.
- Естетичність зовнішнього вигляду матеріалу. Вироби зі склопластику можуть бути повністю прозорими або пофарбовані в різні кольори. При використанні термостійких фарб зовнішній вигляд склопластикової продукції збережеться довгі роки.
- Довговічність експлуатації.

Недоліки:

- невеликий модуль пружності,

					КР.135.6161м.01.РПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

- чутливість до процесу виготовлення та до режиму подальшої експлуатації,
- анізотропія міцності, пружних і інших властивостей. [9]

2.2.5 Висновок за підрозділом

Для подальшої роботи в якості наповнювача, обрано високоміцне скловолокно. Оскільки склопластики мають міцну структуру, яку можна порівнювати з показниками сталі, довговічні, стійкі до корозії, отже можливе їх використання у вологому середовищі. Також матеріал легко піддається обробці та має невелику вартість. Має високі довготривалі характеристики.

2.3 Вибір матриці

Для отримання виробів з ПКМ застосовують широкий спектр полімерних сполучників, які діляться на два великі класи: термопластичні і термореактивні.

Таблиця 2.5. Переваги та недоліки полімерних матриць

ПМ	Переваги	Недоліки
Термореактивні	• висока міцність • висока термостійкість • висока радіаційна і хімічна стійкість • низька в'язкість розчинів (розплавів) • хороші адгезійні властивості • довговічність	• крихкість • низька тріщиностійкість • низька ударна в'язкість • застосування розчинників при приготуванні препрегів

Термопластичні	- хороша засвоюваність - висока ударна в'язкість і тріщиностійкість - відсутність розчинників	- Середня і низька міцність і термостійкість - низька утомна міцність - висока в'язкість розплаву
----------------	---	---

Для вибраної конструкції необхідна матриця з високою міцністю тому вибрано термореактивну матрицю.

Варіанти можливих термореактивних сполучників розглянуто нижче.

2.3.1 Поліефірна смола

Поліефірна смола - отримується поліконденсацією багатоатомних спиртів, кислот і ангідридів. В результаті складного хімічного процесу виходить матеріал з унікальними властивостями. Він надзвичайно затребуваний, завдяки своїй відносно низькій вартості.

Приклади деяких типів ненасичених поліефірних смол:

- *поліефірні смоли загального призначення* отримують етерифікацією пропіленгликоля сумішшю фталевого і малеїнового ангідридів. Співвідношення фталевого і малеїнового ангідридів може коливатися від 2:1 до 1:2. Отриману поліефірну алкідну смолу змішують зі стиролом в співвідношенні 2:1. Смоли цього типу мають широку сферу застосування: вони використовуються для виготовлення піддонів, човнів, деталей душових стійок, плавальних басейнів і цистерн для води.

- *еластичні поліефірні смоли* замість фталевого ангідриду використовуються лінійні двохосновні кислоти (адипінової або себацинову). Утворюється більш еластична і м'яка ненасичена поліефірна смола. Використовувані діетілен- або дипропіленгліколь замість пропіленгліколю також надають смолам еластичність. Додавання таких поліефірних смол до жорстких смолам загального призначення зменшує їх крихкість і спрощує переробку.

					КР.135.6161м.01.РПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

- *пружні поліефірні смоли* займають проміжне положення між жорсткими смолами загального призначення і еластичними. Їх використовують для виготовлення виробів, стійких до ударних навантажень, наприклад гральних куль, захисних шоломів, огорож, деталей автомобілів і літаків. Для отримання таких смол замість фталевого ангідриду використовують ізофталеву кислоту.

Поліефірний склад сполучник складається з наступних компонентів:

- Поліефірний олігомер міститься в кількості 65-70%. Це основна речовина, що піддається полімеризації.
- Розчинник. Його обсяг становить до 30%. Речовини, які є розчинниками, здатні знижувати в'язкість матеріалу, не вступаючи в реакцію полімеризації з основними компонентами.
- Ініціатор - речовина, яка сприяє початку реакції. Частка його змісту становить 1,8%.
- Прискорювач грає роль каталізатора. З його допомогою істотно збільшується швидкість реакції. В смолі міститься близько 1,5% прискорювача.
- Інгібітор. Додається до основного складу для зберігання. Саме він не дає смолі самотійно піддаватися полімеризації.

Властивості ПЕС:

Густина – 1110-1450 кг/м³,

міцність на розтягування – 40-90 МПа,

міцність на стискання – 90-200 МПа,

модуль пружності (розтягування) – 20-44 ГПа,

Т теплостійкості - 120°C

Переваги:

- Низька теплопровідність
- Достатньо висока вологостійкість
- Хімічностійкий
- Гарна адгезія до наповнювачів
- Високі діелектричні властивості

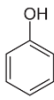
					КР.135.6161м.01.РПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

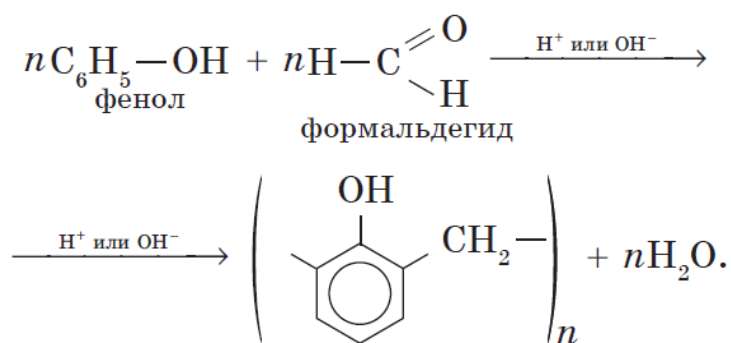
- Низька вартість

Недоліки:

- Має неприємний запах (дія стиролу, небезпечний для здоров'я людини),
- Схильний до усадки більше за епоксидні смоли,
- Низькі показники міцності

2.3.2 Фенолформальдегідні смоли

Фенолформальдегідні смоли – рідкі або тверді аморфні оліго- і полімерні продукти поліконденсації фенолу  з формальдегідом $\text{H}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H}$ або його похідними.



Розрізняють два основних типи фенолформальдегідних смол: резольні і новолачні.

Резольні смоли отримують при надлишку формальдегіду в присутності лужного каталізатора (їдкий натр, сода, аміак). Вони мають здатність переходити при нагріванні в неплавкий і нерозчинний стан. Встановлено, що в залежності від температури і тривалості нагрівання реакція формальдегіду з фенолом в лужному розчині налічує три стадії: рідка напівтверда смола; твердіший продукт; нерозчинна неплавкі смола.

Новолачні смоли отримують при надлишку фенолу в присутності кислого каталізатора (соляна кислота, контакт Петрова). Швидке затвердіння новолачних смол відбувається тільки в у присутності спеціальних твердників,

головним чином, уротропіну, в той час як для твердіння резольних смол не потрібно додавання отверджуючих засобів.

Властивості затверділої ФФС: Густина – 1230 кг/м³, міцність на розтягування – 40-45 МПа, міцність на згинання – 50-100 МПа, модуль пружності (розтягування) – 2 - 2,1 ГПа, Т термостабільності - 250°C

Переваги:

- Низька вартість,
- Простота технологічних процесів синтезу,
- Витримує високі температури (до 250°C),
- Хімічностійка,
- Сумісна майже з усіма матеріалами.

Недоліки:

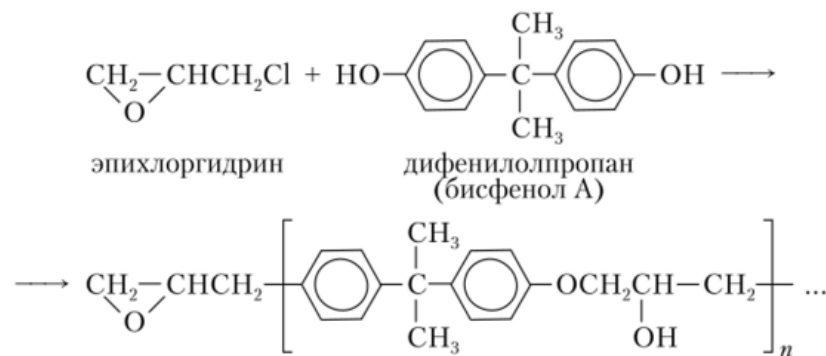
- Висока пористість,
- Висока усадка,
- Низька міцність.

2.3.3 Епоксидні смоли

Епоксидні смоли – олігомерні продукти поліконденсації епіхлоргідрину з багатоатомних фенолами, спиртами, поліамінами, багатоосновними кислотами, а також продукти епоксидування з'єднань, що містять не менше двох подвійних зв'язків. [11]

Їх отримують з дифенилолпропану (бісфенолу А) і епіхлоргідрину в присутності лугу.

					КР.135.6161м.01.РПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		



Технологічний процес включає стадії поліконденсації, здійснюваної при 60 - 100°C, промивання водою (для видалення NaCl) і сушіння під вакуумом (13,3-26,6 кН/м²) при 120 - 140 ° С. Молярну масу смоли регулюють співвідношенням вихідних речовин.

Діанові епоксидні смоли випускають у вигляді в'язких рідин жовтого кольору (молекулярна маса 350 - 750), розчинних в ацетоні і толуолі, а також твердих речовин жовтого або коричневого кольору (молекулярна маса 800 - 3500), розчинних в суміші толуолу і бутанолу.

Для затвердіння епоксидних смол застосовуються з'єднання двох типів:

1) *Кислі твердники*, до яких відносяться різні дикарбонові кислоти або їх ангідриди (малеїновий ангідрид, фталевий ангідрид, метилтетрагідрофталевий ангідрид, додеценілянтарний ангідрид). Для затвердіння епоксидних смол цими твердниками потрібна підвищена температура 100 -200°C, а тому цей вид твердників називається твердниками гарячого затвердіння.

2) *Амінні твердники*, до яких відносяться різні аміни (поліетиленполіамін, гексаметилендіамін, метафенілендіамін). Твердіння амінами (крім деяких, як, наприклад, триетаноламін, діціандіамід) відбувається при нормальній температурі або невеликому нагріванні (70-80°C). Тому ця група називається твердники холодного твердіння.

Найкращі показники затверділої епоксидної смоли з ангідридом:

Густина – до 1300 кг/м³,

міцність на розтягування – 72 МПа,

міцність на стискання – 126 МПа,

модуль пружності (розтягування) – 3,45 ГПа,

					КР.135.6161м.01.РПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

Т теплостійкості - 200°C

Переваги ЕД:

- немає шкідливих випарів;
- невелика усадка;
- поверхня не боїться вологого середовища;
- можливість з'єднувати непористі матеріали;
- твердіння гарячого і холодного типу
- Стійкість до впливу кислот, лугів і галогенів.
- Стійкість до абразивного зносу;
- Фізико-механічні параметри на більш високому рівні ніж в поліефірних та фенолформальдегідних смол

Недоліки:

- висока ціна матеріалу;
- іноді незручний період полімеризації (компенсується додаванням різних домішок)

2.3.4 Висновок за підрозділом

Для подальшої роботи обрано епоксидіанову смолу. Даний сполучник має кращі механічні властивості, стійкий до впливу вологи та зносостійкий, не виділяє шкідливих речовин при використанні та має гарне співвідношення якість-ціна.

2.4 Вибір марки матерілу та фірми виробника

Для виготовлення трапу-сходні обрано тканні скломати фірми ORTEX (Е-скло) (таблиця 2.6 та 2.7), 934 S2-Glass Fiber Reinforced Unidirectional (таблиця 2.8), 365 S-2 Glass® Uni (таблиця 2.9) та пінопласт High Impact Polystyrene Pvc Foam Board фірми JINBAO – товщина – 20 мм.

					КР.135.6161м.01.РПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

Таблиця 2.6 – Характеристики тканного скломату M225 Needle Mat фірми ORTEX [3]

Характеристика	Показник
Густина	225 г/м ²
Товщина	0.55 мм
Діаметр волокна	12 мкм
Волокно-основа	E glass

Таблиця 2.7 – Характеристики тканного скломату M450 Needle Mat фірми ORTEX [4]

Характеристика	Показник
Густина	450 г/м ²
Товщина	0.9 мм
Діаметр волокна	12 мкм
Волокно-основа	E glass

Таблиця 2.8 – Характеристики однонаправленої 934 S2-Glass Fiber Reinforced Unidirectional [5]

Характеристика	Показник
Густина	310 г/м ²
Товщина	0.15 мм
Діаметр волокна	10 мкм
Волокно-основа	S-2 glass

Таблиця 2.9 – Характеристики однонаправленої 365 S-2 Glass® Uni [7]

Характеристика	Показник
Густина	1400 г/м ²
Товщина	1 мм
Діаметр волокна	10 мкм
Волокно-основа	S-2 glass

2.5 Висновок за розділом

Для трапу-сходні вибрано в якості наповнювача – ВМП скловолокно, сполучник – епоксидіанова смола. Разом утворюється композиційний матеріал стійкий до вологи та коливання температур з високими механічними показниками.

					КР.135.6161м.01.03.РПЗ						
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата	РОЗДІЛ 3						
Студент		Васильєва									
		А.В.									
Викладач		Соломонюк									
		Н.С.			НУК						
					Літ.			Аркуш		Аркушів	

РОЗДІЛ 3

ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ СПОЛУЧНИКА ТА ВИБІР КІНЦЕВОГО СКЛАДУ КОМПОЗИТУ

3.1 Вибір твердників для епоксидного сполучника

При виборі смоли висувається ряд вимог; як на стадії виготовлення, так і при експлуатації. Найчастіше для трапів використовуються епоксидні смоли. Оскільки вона має високі показники тепло- та електроізоляційних властивостей; високу хімічну стійкість; високі механічні характеристики та високу водостійкість. Для епоксидних смол найчастіше використовуються наступні твердники.

Аліфатичні аміни для холодного твердіння смол при кімнатній температурі. Отримані полімери універсальні, мають високі фізико-механічні показники і високу адгезію до заповнювача. Для повного затвердіння смоли потрібна мала кількість твердника. Але у сполучників з твердниками холодного твердіння характеристики міцності нижче, ніж з «гарячими» твердниками і вони мають більший розкид властивостей, за рахунок нестабільності режимів твердіння (коливання температури та вологості навколишнього середовища). До них відносяться діетілентриамін, триетілентриамін, поліетиленполіамін.

Ароматичні аміни – для гарячого твердіння. Вони забезпечують високу міцність, теплостійкість, хімічну і вологостійкість сполучників та високу адгезію до різних конструкційних матеріалів. Але потребують значної витрати енергії (температура твердіння 160 - 170°) (м-фенілендіамин, діамінодіфенілметан, діамет X) [13]

Для епоксидних сполучників використовуються як твердники поліетиленполіамін (ПЕПА), в кількості до 14 ваг.частин при кімнатній температурі, або частіше – діамет X в кількості до 31 ваг.частин при $T_{\text{тв.}} = 105^{\circ}\text{C}$.

					КР.135.6161м.01.РПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

Отже є сенс скласти композицію з двох твердників та покращити склад епоксидного сполучника. Для цього потрібно оптимізувати час гелютворення та твердіння полімерної композиції на основі епоксидної смоли ЕД – 20 та твердників – поліетиленполіаміна (ПЕПА) та Діамет-Х.

3.2 Метод крутильного маятника

Визначення часу гелютворення та твердіння полімерного сполучника проводиться за методом крутильного маятника. Метод заснований на визначенні відносної зміни в'язко-пружних властивостей нитки (динамічний модуль пружності, механічні втрати), що просочена олігомерною композицією, в процесі її ізотермічного затвердження [2]. Схема установи представлена на риунку 3.1. При кімнатній температурі установка розташовувалась в приміщенні лабораторії, при підвищених температурах – в печі.

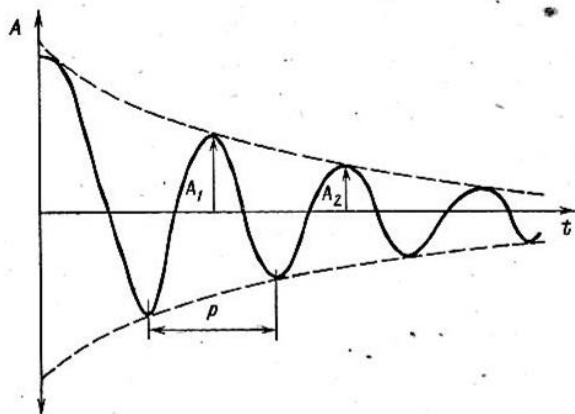
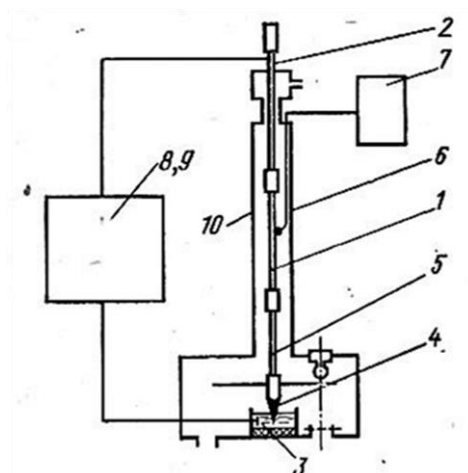


Рисунок 3.1 – Схема крутильного маятника з електронагрівом зразка з вуглецевої нитки:

1 – вуглецева нитка, 2 – верхній подовжувач маятника, 3 – ємність електролітом (розчин $NaCl$), 4 – диск з голкою, 5 – нижній подовжувач маятника, 6 – термопара, 7 – мілівольтметр, 8 - стабілізатор, 9 – лабораторний трансформатор, 10 – скляна трубка.

Рисунок 3.2 – Крива загасання коливань маятника (p – період коливань, A – амплітуда)

Виконання експерименту за методом крутильного маятника передбачає наступні етапи [4]:

1. Від бобіни зі склониткою (або вуглениткою) відрізається нитка не коротше 320 мм та кріпиться на крутильному маятнику. Довжина нитки повинна бути не менше 150 мм.

2. Нитка просочується композицією смола + твердник.

3. Через визначений період часу нитка відхиляється від положення рівноваги приблизно на 90° , і за допомогою секундоміру вираховується час 5 коливань.

За цими показниками встановлюється час гелютворення та твердіння композиції за зміною відносної жорсткості нитки (ΔG) в залежності від тривалості існування композиції.

$$\Delta G = \frac{1}{T^2} \quad (1)$$

де T – середній період коливання маятника.

Виконання експерименту за методом крутильного маятника має наступні етапи:

Від бобіни зі склониткою (або вуглениткою) відрізається нитка не коротше 320 мм, складається вдвічі та кріпиться на крутильному маятнику. Довжина нитки повинна бути не менше 150 мм. [14]

Нитка просочується композицією смола + твердник.

Через визначений період часу нитка відхиляється від положення рівноваги приблизно на 90° , і за допомогою секундоміру вираховується час 5 коливань.

3.3 Планування експерименту за методом латинських квадратів і результати дослідів

Експеримент проводиться за методом латинських квадратів [3]. Функціями відклику є *час гелютворення, твердіння та міцність на стискання затверділого епоксидного сполучника*.

В даному випадку якісними факторами є вибір поєднання твердників діамет-Х та ПЕПА для епоксидної смоли та температура твердіння. В стандартній композиції використовується. Час гелютворення діамет-Х становить близько 1 години при $T = 103 - 105^{\circ}\text{C}$, тому потрібно його прискорити, для того, щоб композиція не розплавалась. Тому додається твердник холодного типу ПЕПА, оскільки він прискорюється при підвищенні температурі. Тобто додатковим фактором твердіння є температура. Експеримент є трифакторним. Латинський квадрат – таблиця розміром $Z \times Z$, що складається з Z елементів, кожен з яких зустрічається тільки один раз в кожному стовпці та в кожній строчці. [15]

Таблиця 3 – План-матриця латинського квадрату для трифакторного експерименту

	b_1	b_2	b_3
a_1	c_1	c_2	c_3
a_2	c_2	c_3	c_1
a_3	c_3	c_1	c_2

В таблиці позначено : b_1, b_2, b_3 – три рівня варіювання фактору b (кількість діамету X); a_1, a_2, a_3 – три рівня варіювання фактору a (кількість ПЕПА); c_1, c_2, c_3 - три рівня варіювання фактору c (температура твердіння).

Виходячи з властивостей плану, розташування елементів в квадраті повинно бути випадковим, отже план синтезується за допомогою генератора випадкових чисел.

План-матриця для визначення часу гелютворення, твердіння та міцності на стискання для епоксидного сполучника трифакторного експерименту методом латинських квадратів представлена в таблиці 4.

Після виконання дослідів при різних температурах і для різних складів сполучника розраховується період коливань та відносна жорсткість нитки ΔG за формулою (1) і результати також вносяться в таблицю.

Оскільки в кожній точці дослідів проводиться по декілька паралельних випробувань на різних зразках, виконаних в однакових умовах, з однаковим складом, проводиться статистична обробка паралельних дослідів. Вона дозволяє отримати істинне значення по вибірці, якими є сукупність результатів дослідів. Для зменшення ймовірності помилки вилучаються з дослідів невірні результати за методом Груббса [6].

Таблиця 4 – План-матриця методу латинських квадратів для трифакторного експерименту для визначення оптимальної композиції сполучника і умов її отримання

Діаметр X, ваг. част ПЕПА, ваг. частин	$b_1=0$	$b_2=15$	$b_3=30$
$a_1=0$	$T_1=20^\circ\text{C}$	$T_2=85^\circ\text{C}$	$T_3=120^\circ\text{C}$
$a_2=7$	$T_2=85^\circ\text{C}$	$T_3=120^\circ\text{C}$	$T_1=20^\circ\text{C}$
$a_3=14$	$T_3=120^\circ\text{C}$	$T_1=20^\circ\text{C}$	$T_2=85^\circ\text{C}$

Будуються графіки залежності відносної жорсткості ΔG від часу існування композиції $\lg t$ і апроксимуються логістичним розподілом (2) в програмі Mathcad

$$\Delta G(\lg t) = \frac{k}{e^{\frac{m - \lg t}{n}} + 1}, \quad (2)$$

Коефіцієнти k, m, n визначаються для кожного складу композиції. Час твердіння композиції визначається за графіком (це точка переходу лінії логістичного розподілу в горизонтальну лінію $\Delta G_{\max} = k$).

Умовна жорсткість при часі гелютворення τ_z композиції є другою похідною від функції (2) за умови, що вона дорівнює 0.

$$\frac{\partial(\Delta G_z)}{\partial(\lg t)} = \frac{ke^{\frac{m-\lg t}{n}}}{n^2 \left(e^{\frac{m-\lg t}{n}} + 1 \right)^2} \left(\frac{2e^{\frac{m-\lg t}{n}}}{e^{\frac{m-\lg t}{n}} + 1} - 1 \right) = 0, \quad t_z = 10^m \text{ (с)} \quad (5)$$

Визначається середнє значення часу гелютворення та часу твердіння результати записуються в таблицю.

В даних точках експерименту знайдено також міцність на стискання відповідної композиції, оскільки матеріал працює в умовах гідростатичного стискання. Для чого були виготовлені зразки сполучника циліндричної форми із співвідношенням діаметру до висоти $d/h = 1 - 1,5$.

Для кожної частини експерименту проведено статистичну обробку і визначена значимість всіх трьох факторів для кожної функції відклику. Всі фактори для всіх функцій визначено як значимі. [16]

Узагальнені результати експерименту представлені в таблиці 5.

Таблиця 5 – Час гелютворення, твердіння та міцність на стискання епоксидного сполучника для блоків плавучості в залежності від його складу та температури твердіння.

№ з/п	Кількість твердників, ваг.частин		Температура твердіння, $T^{\circ}\text{C}$	Час гелютворення $t_{\text{г}}$, хв	Час твердіння $t_{\text{тв}}$, хв	Міцність на стискання σ , МПа
	ПЕПА	Діамет X				
1	14	15	25	445	238	101
2	7	15	120	2,4	14,5	140
3	14	31	85	2,5	9,7	138
4	7	31	25	46,7	220	125
5	7	0	85	0,28	2,3	115
6	14	0	120	0	0	спінився
7	0	15	85	6,3	33,7	98
8	0	31	120	2,9	146	101
9	0	0	25	372	743	95

Склади 2 і 3 дають найбільшу міцність, але дуже короткий час гелютворення (впливає підвищена температура), тобто при кімнатній температурі є можливість виконувати всі технологічні операції з матеріалом. В 4 складі міцність на стискання менше приблизно на 10 %, але час гелютворення дозволяє виконати всі технологічні операції і не використовувати гаряче твердіння.

3.4 Висновки за розділом

1. Обґрунтовані фактори впливу (час гелютворення, твердіння та температура твердіння) та вибір плану-матриці методом латинських квадратів для експериментального дослідження складу сполучника для суднового трапу.

2. Досліджені процеси гелютворення, твердіння в сполучнику та його міцність на стискання в залежності від твердників та температури твердіння. Потрібне короткотривале підвищення температури для виготовлення

					КР.135.6161м.01.РПЗ		Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			

якісного сполучника, тому що міцність матеріалу вища і час твердіння скорочується.

3. Підібрано декілька складів епоксидного сполучника для сферопластику для можливого друку його на 3D-принтері:

- ПЕПА – 7 ваг.част., Діамет X – 15 ваг.част. і температура сопла 120°C (дія температури менше 2,4 хв.), міцність на стискання – 140 МПа;
- ПЕПА – 14 ваг.част., Діамет X – 31 ваг.част. і температура сопла 85°C (дія температури менше 2,5 хв.), міцність на стискання – 138 МПа;
- ПЕПА – 7 ваг.част. Діамет X – 0 ваг.част. і температура сопла 85°C (дія температури менше 0,28 хв.), міцність на стискання – 115 МПа.

					КР.135.6161м.01.РПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

					КР.135.6161м.01.04.РПЗ								
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата									
					РОЗДІЛ 4				Літ.	Аркуш	Аркушів		
Студент		Васильєва											
		А.В.							НУК				
Викладач		Соломонюк											
		Н.С.											

РОЗДІЛ 4

ПРОЕКТУВАННЯ ТРАПУ-СХОДНІ

4.1 Модель

Модель була підготовлена за допомогою програмного середовища SolidWorks. Для імпортування в ANSYS, модель необхідно спростити. Модель повинна мати мінімальну кількість структурних елементів. Також її потрібно розбити на складові елементи. В даному випадку: Stringer, Flange, Plate. Готова модель імпортована в ANSYS представлена на рис 4.1.

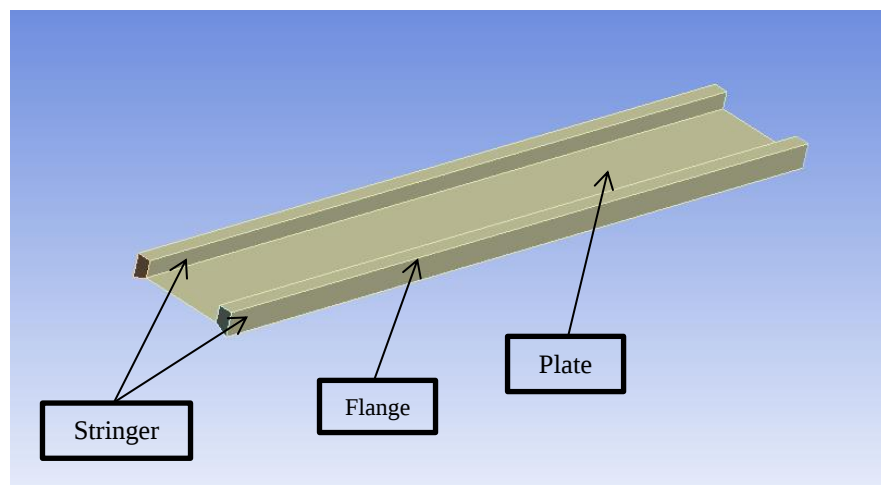


Рисунок 5.4 – Модель трапу-сходні

4.2 Скінченно -елементна модель та викладка шарів

Для побудови скінченно-елементної моделі необхідно призначити матеріали для досліджуваної конструкції. Вибрані матеріали з їх головними характеристиками представлені в таблиці 4.1

					КР.135.6161м.01.РПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1 – Таблиця застосовуваних матеріалів та їх характеристики

Матеріал	Мат з Е-скла	Піно-заповнювач	Односпрямована S-склотканина у епоксидній смолі
Густина, кг/м ³	1850	80	2000
Модуль пружності (X), МПа	9000	1	54000
Модуль пружності (Y), МПа	9000	1	10000
Коефіцієнт Пуасона (XY)	0,3	0,49	0.3
Коефіцієнт Пуасона (YZ)	0,3	0,001	0.4

При аналізі, всі характеристики ортотропних шарів склопластику, в тому числі і товщина буде довантажуватися з додаткового модуля.

Наступний етап - накладення скінченно -елементної сітки.

Після всіх налаштувань отримали достатньо точну модель для проведення наступних досліджень. На рис. 4.2 представлено вигляд моделі після накладення на неї сітки.

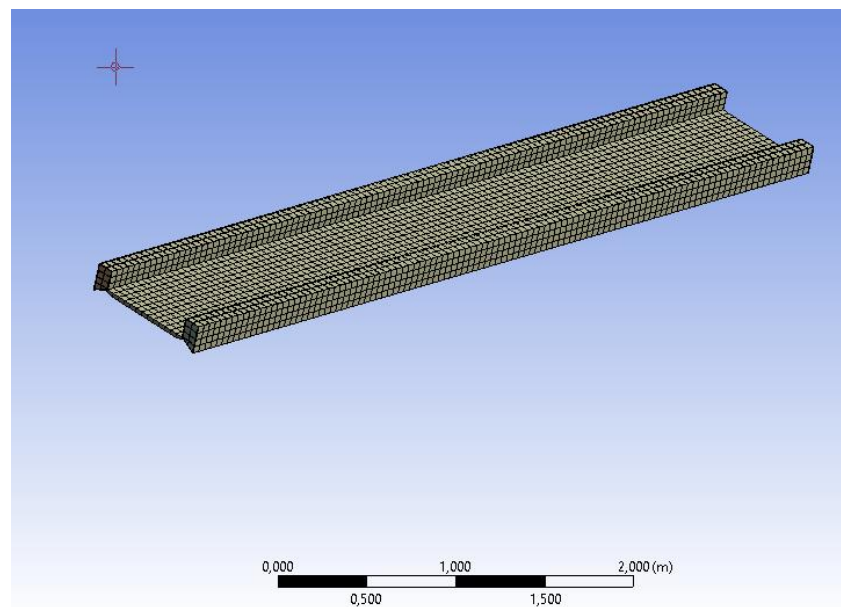


Рисунок 4.2 – Вигляд створеної сітки

Наступним етапом закріплюємо трап по кромках (забороняємо переміщення) за допомогою Simply Supported (вільне обпирання) та призначаємо навантаження на конструкцію в 7500Н (рис 4.3)

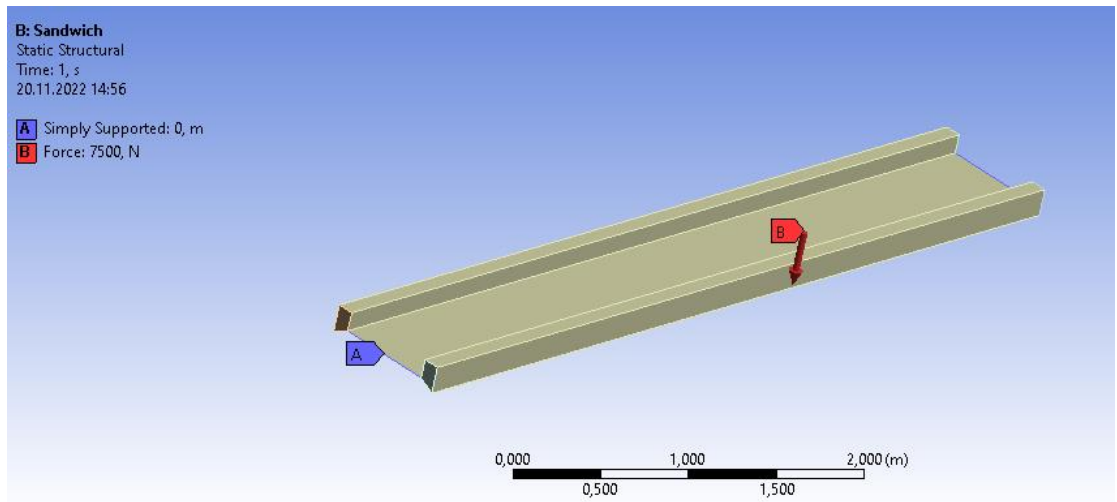


Рисунок 4.3 – Граничні умови та навантаження

В наступному етапі – починаємо формувати пакет. Сформований пакет представлений у таблиці 4.2 для кожної секції (армування з нижнього шару).

Таблиця 4.2 – Таблиця викладки шарів за секціями

Номер шару	Назва секції	Матеріал	Товщина шару, мм	Довжина шару, мм	Кут армування, °
1 _S , 1 _F , 1 _P	Stringer, Flange, Plate	Мат з Е-скла	0,55	5000	0
2 _S , 2 _F , 2 _P	Stringer, Flange, Plate	Uni S-скло з епокс. Uni S-скло з епокс. Uni S-скло з епокс. Uni S-скло з епокс.	0,15 0,15 0,15 0,15	5000	+45 -45 +45 -45
3 _F	Flange	Uni S-скло з епокс.	1	600	0
4 _F	Flange	Uni S-скло з епокс.	1	1000	0
5 _F	Flange	Uni S-скло з епокс.	1	1400	0

6 _F	Flange	Uni S-скло з епокс.	1	1800	0
7 _F	Flange	Uni S-скло з епокс.	1	2200	0
8 _F	Flange	Uni S-скло з епокс.	1	2600	0
9 _F	Flange	Uni S-скло з епокс.	1	3000	0
10 _F	Flange	Uni S-скло з епокс.	1	3400	0
11 _F	Flange	Uni S-скло з епокс.	1	3800	0
12 _F	Flange	Uni S-скло з епокс.	1	4200	0
3 _p	Plate	Піно-заповнювач	20	5000	0
4 _p	Plate	Uni S-скло з епокс.	1	5000	0
3 _s	Stringer	Мат з Е-скла	0,9	5000	0
		Мат з Е-скла	0,9		0
		Мат з Е-скла	0,9		0
4 _s , 13 _F , 5 _p	Stringer, Flange, Plate	Мат з Е-скла	0,9	5000	0
5 _s , 14 _F , 6 _p	Stringer, Flange, Plate	Uni S-скло з епокс.	0,15	5000	+45
		Uni S-скло з епокс.	0,15		-45
		Uni S-скло з епокс.	0,15		+45
		Uni S-скло з епокс.	0,15		-45

Загальний вигляд трапу та розподілення по товщинам наведено на рис.
4.4. Максимальна товщина – 23,65 мм.

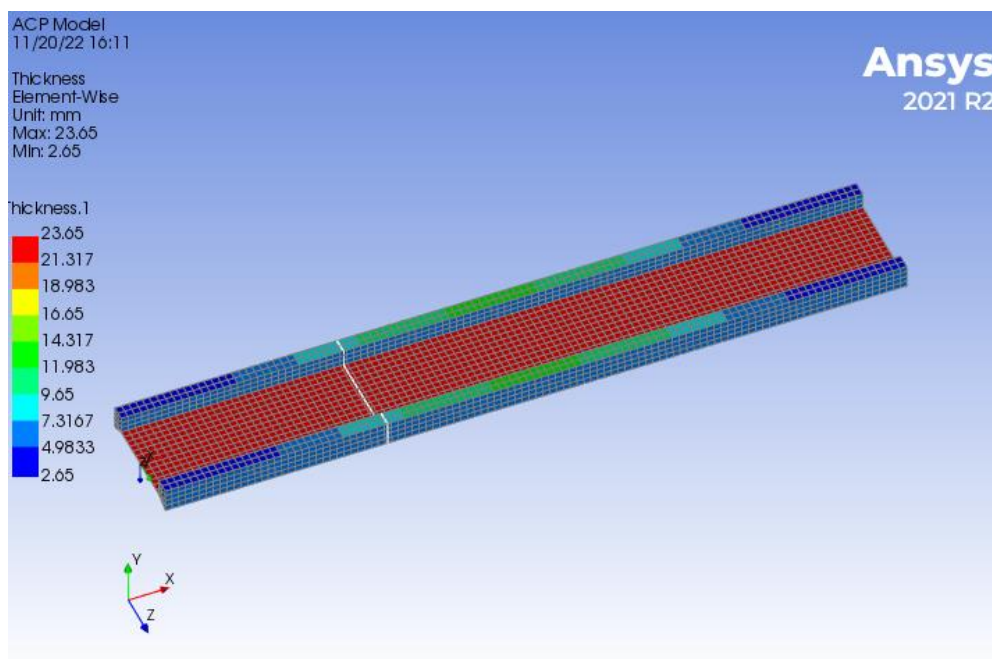


Рисунок 4.4 – Розподілення товщин

4.3 Результат розрахунків

Нижче наведені результати розрахунків. Загальні деформації – рис 4.5. Допустимий прогин – 35 мм.

Згідно розподілу напружень за Цай-Ву – трап витримає задані навантаження (рис 4.6). Запас міцності $1/0,225=4,4$. Виходячи з епюри розподілу напружень за Цай-Ву (рис. 4.7 та 4.8) конструкція має великий запас міцності та жорсткості.

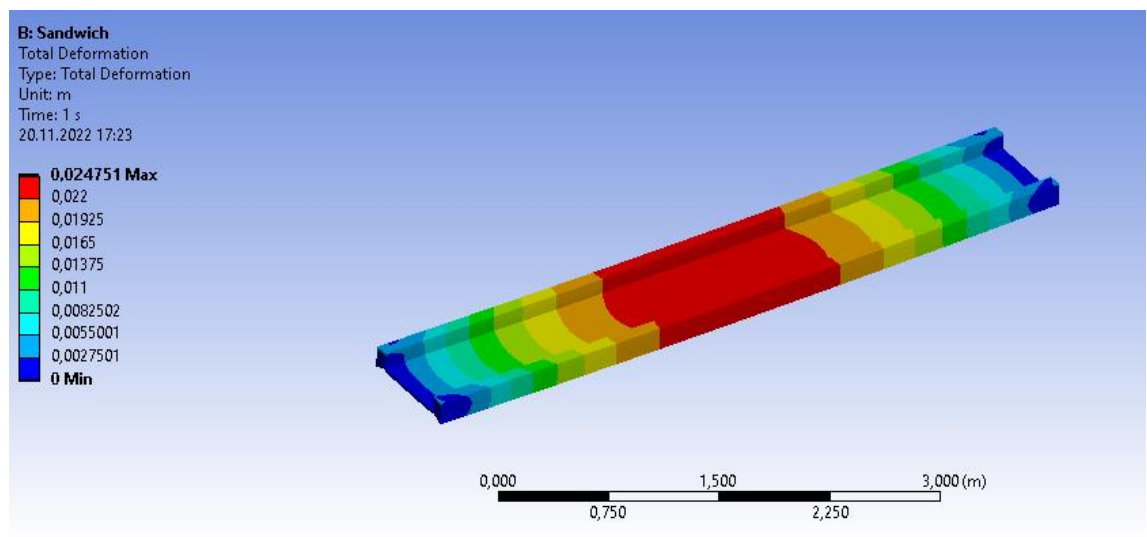


Рисунок 4.5 – Загальні деформації

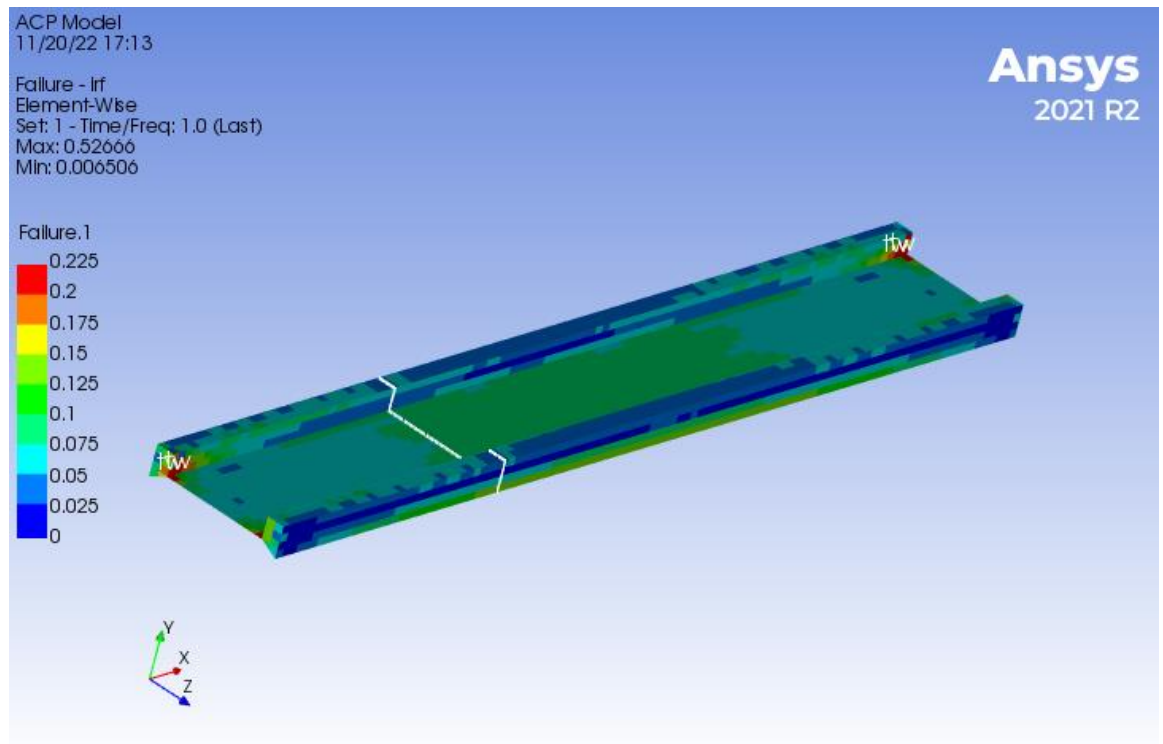


Рисунок 4.6 – Розподіл напружень Цай-Ву

					КР.135.6161м.01.РПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

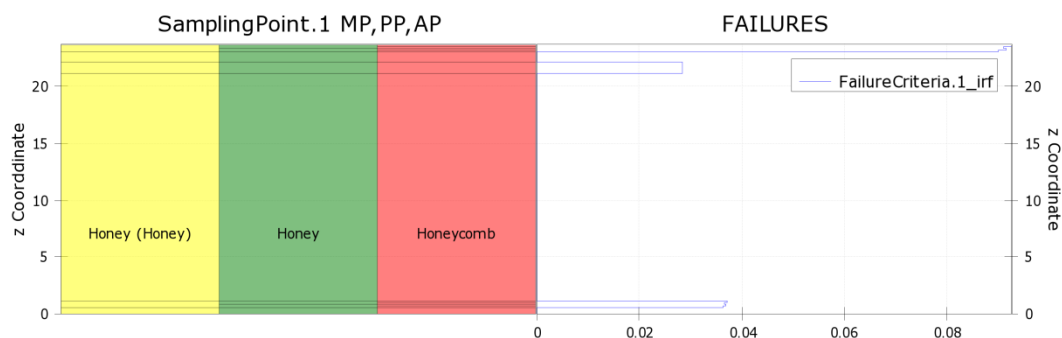


Рисунок 4.7 – Епюра розподілу напружень за критерієм Цай-Бу (марш)



Рисунок 4.8 – Епюра розподілу напружень за критерієм Цай-Бу (фланець)

4.4 Висновок за розділом

В результаті виконання даного розділу було проведено моделювання трапу-сходні. Прийнята багатошарова схема з однонаправленого S-скла, мату з Е-скла та піно-наповнювача. Найбільша товщина трапу по секції Plate – 23,65 мм. При перевірці у ACP model - максимальне значення напружень (за критерієм Цай-Бу) – значно менші за допустимі (запас міцності – 4,4). Виходячи з епюри на рис. 4.8 конструкція має значний запас жорсткості. Виходячи з цих результатів розрахунків трап витримає задане навантаження.

					КР.135.6161м.01.05.РПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата								
					РОЗДІЛ 5				Літ.	Аркуш	Аркушів	
Студент		Васильєва										
		А.В.										
Викладач		Соломонюк							НУК			
		Н.С.										

РОЗДІЛ 5

ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ

5.1 Можливі технології виготовлення трапу

Потенційно для виробу що розробляється можуть бути використані наступні технології:

- Контактне формування;
- Вакуумна інфузія;
- Вакуумне формування;
- Прес-камерне формування
- Автоклавне формування.

Розглянемо деякі з цих технологій окремо.

5.1.1. Контактне формування

Контактне формування - це спосіб отримання композиційних полімерних матеріалів, який застосовується для виготовлення великогабаритних малонавантажених деталей складної конфігурації: коробчатих кожухів механізмів, баків, корпусів та інших елементів човнів, катерів і ін. [6]

Контактне формування виробів у відкритих формах здійснюють в основному двома методами - ручним укладанням та напиленням. Технологія ручного укладання включає такі основні операції:

- Нанесення розділових покриттів на форми;
- розкрий тканих або нетканих армуючих матеріалів;
- Приготування сполучного;
- Укладання армуючого матеріалу на форму;
- Нанесення на армуючий матеріал сполучного та просочення ним арматури;
- затвердіння сполучного при кімнатній температурі або при нагріванні до 70-95 ° С;

					КР.135.6161м.01.РПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

- Вилучення виробу з форми та його механічна обробка відповідно до вимог креслення;
- Контроль якості виробу.

Метод формування напиленням відрізняється від описаного тим, що волокниста арматура (скловолокно) у вигляді нескінченного ровінгу рубається на короткі відрізки - штапельки - і доставляється у форму одночасно з сумішшю відповідної смоли та каталізатора. Варіювання співвідношення смоли та наповнювача, виду армуючого матеріалу та системи його укладання, типу смоли та її наповнювачів дозволяє в широких межах змінювати властивості одержуваних композиційних пластиків, оскільки структура та властивості композиту, та й сам виріб формуються в процесі його одержання.

Переваги:

- відносно невелика вартість оснастки;
- незначна вартість обладнання (розпилювач, валики, пензлі).

Недоліки:

- значна кількість ручної праці;
- попередній розкрій армуючого матеріалу;
- попередня підготовка суміші сполучного;
- якість кінцевого виробу залежить від майстерності виконавця;
- відносно великий час виготовлення;
- низька швидкість оборотності оснастки.

5.1.2. Прес-камерне формування

Цей метод ґрунтується на використанні жорсткої форми негативного типу (прес-камери) та пружного (надувного) пуансону (рис 5.1). Зовнішня поверхня склопластикового виробу оформляється поверхнею твердої форми, а внутрішня – пружним гумовим чохлом. [12]

					КР.135.6161м.01.РПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

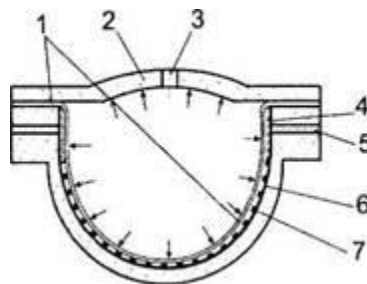


Рис. 5.1. Схема прес-камерного формування: 1 – еластична діафрагма; 2 – кришка форми; 3 - канал для подачі стисненого газу; 4 - бічне випускний отвір; 5 - канал для з'єднання з атмосферою або вакуумом; 6 – композиційний матеріал; 7 – дренаж

Попередньо відформований виріб поміщається у жорстку прес-камерну форму, стінки якої здатні витримати більші внутрішні тиски. Всередину заготовки вводиться гумовий чохол, прикріплений до верхньої плити прес-камери та герметично закріплений.

Плита жорстко скріплюється з прес-камерою, після чого прес-камеру подається стиснене повітря пар або вода, які створюють робочий тиск пружного формування від 1,5 до 5 кг/см². Однак повітря, що залишилося між чохлом і масою напівфабрикату виробу, що формується, може накопичуватися в застійних зонах і при формуванні дифундувати в структуру матеріалу. Це не дозволяє отримати якісну поверхню, щільність, герметичність і негативно позначається на механічній міцності. Тому для підвищення якості прес-камерного формування рекомендується застосовувати вакуумне відсмоктування повітря з-під гумового чохла.

Таким чином, технологічна структура операції прес-камерного формування виглядає так: попереднє формування напівфабрикату, вакуумування (за потреби), нагнітання робочого середовища в пружний пуансон прес-камери, затвердіння. В умовах серійного виробництва цей спосіб дозволяє отримувати вироби високої міцності та герметичності.

Переваги:

- Високі характеристики матеріалу;
- Просте технологічне оснащення;
- Можливе виготовлення великогабаритних виробів;

Недоліки:

- Велика кількість технологічних відходів
- Використовуються лише препреги.

5.1.3. Автоклавне формування

Автоклавне формування - метод отримання багатошарових виробів з препрегів.

Автоклавне формування застосовується для отримання максимальних значень міцності і жорсткості. Волокнистий матеріал (препреги та ін.) Попередньо просочується при нагріванні і під тиском або без розчинника із застосуванням передприскореної смоли. Каталізатор є не активним при температурі навколишнього середовища, тому термін життя матеріалу після розморожування може становити кілька тижнів або місяців. Однак при тривалому зберіганні матеріал повинен бути заморожений. Препрег викладається на поверхню оснастки вручну або за допомогою спеціального обладнання. Потім заготовку виробу на оснащенні поміщають в герметичний вакуумний мішок, розміщують в автоклаві, підключають до вакуумної лінії і датчику рівня вакууму. Препрег нагрівається в автоклаві до 120-180 ° С, що сприяє розм'якшенню і остаточному затвердінню смоли. В автоклаві може створюватися додатковий тиск до 5 атмосфер.

Препреги або багатошаровий пакет з препрегів викладають на форму, разом з ними поміщають у вакуумний мішок і знижують у ньому тиск. Метод, при якому затвердіння проводять, створюючи градієнт тиску по відношенню до атмосферного, називають формуванням за допомогою вакуумного мішка. Оскільки нерідко надмірний зовнішній тиск створюється за допомогою автоклава, то цей метод також називають автоклавним формуванням. [11]

Процес автоклавного формування складається з наступних основних етапів:

					КР.135.6161м.01.РПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

Етап 1. На форму накладається необхідна кількість шарів препрегів.

Етап 2. При підвищених тиску і температурі в автоклаві проводиться затвердіння.

Етап 3. Здійснюється обробка (зачистку) виробів.

Найчастіше при твердінні в автоклаві використовується і вакуумний мішок. Розглянутий метод формування є періодичним; на властивості виробів головним чином впливають технологія викладки препрегів на форму, тип і властивості вакуумного мішка і т. д.

Переваги:

- Можливість отримання виробів рівномірної товщини;
- Можливість формування великогабаритних виробів;
- Висока якість поверхні виробів;
- При використанні вакуумного мішка виходять високоякісні вироби з низькою пористістю.

Недоліки:

- Дорога вартість процесу.

5.1.4. Вакуумне формування

Особливістю методу вакуумного формування є можливість протікання виробничого процесу з невисоким негативним тиском. Такі процеси не вимагають наявності потужного устаткування, високоміцних матричних форм і значних витрат енергоносіїв. Внаслідок цього виробництво вважається економним, а готові вироби мають низьку собівартість.

					КР.135.6161м.01.РПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

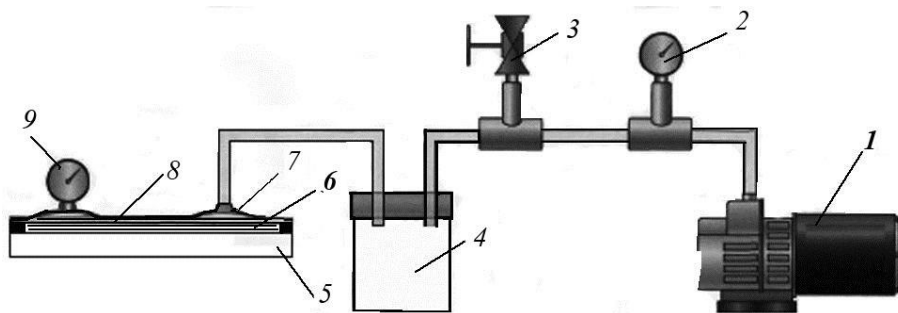


Рис. 5.1. Схема облаштування для вакуумного формування: 1 - вакуумний насос; 2 - вакуумний манометр; 3 - кран; 4 - пастка для сполучника; 5 - форма; 6 - еластичний пуансон; 7 - штуцер вакуумної магістралі; 8 - ламінат, що формується

Широкі можливості для застосування автоматизованих виробничих процесів дозволяють налагодити безперервний цикл виготовлення продукції самого різного призначення. Важливу роль відіграє і те, що для формування використовуються готові листові матеріали, які не потребують глибокої переробки сировини.

Стандартний метод вакуумного формування складається з декількох етапів, що включають в себе:

1. укладання вихідного компонента, коли армуючий скловолокнистий матеріал в сухому стані укладається за формою шаблону на оснащенні;
2. покриття силіконовим вакуумним мішком або плівкою зони формування із забезпеченням її герметичності;
3. створення розрідження всередині вакуумного мішка за допомогою вакуумного насоса;
4. формоутворення виробу, коли під впливом перепаду тиску силіконовий лист вакуумного мішка втягується в зону формування і притискає скловолокна, просочені смолою до поверхні шаблону, виконуючи функції пуансона по аналогії з пресуванням;
5. вилучення готового виробу і його механічна доробка.

Переваги:

- невелика вартість виробництва
- багаторазове використання прес-форми

					КР.135.6161м.01.РПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

- можливість серійного виробництва
- невеликий час переробки і витрати на сировину з урахуванням всього виробничого процесу

Недоліки:

- Стінки виробу можуть мати різні товщини ($\pm 0,5$ мм)

5.2. Розробка технологічного процесу виготовлення трапу-сходні

Для виготовлення трапу-сходні було обрано метод вакуумного формування. Процес виконується в декілька етапів.

5.2.1 Підготовка матриці

1. Необхідно підготувати матрицю нанесенням на неї розділового шару
2. Підготувати робочу поверхню матриці
3. Підготувати робоче місце
4. Перевірити на наявність дефектів та нерівностей поверхню матриці
5. Очистити та знежирити поверхню матриці
6. Просушити матрицю впродовж 10 хв.

5.2.2 Виготовлення трапу

Етап 1 - Нанесення розділового шару

Необхідно нанести восковий розділювач Mikon Mirror Wax в 4 шари. Послідовність нанесення наступна:

1. Шар наноситься круговими рухами, починаючи з невеликої поверхні. Потім за допомогою м'якої тканини розподілюється по всій поверхні матриці. Необхідно нанести 2 шари в день та висувувати кожен із них не менше 5 годин.

2. Після попереднього етапу за допомогою напилення тонким шаром наноситься розділковий агент на основі полівінілового спирту для епоксидних смол - Ease Release 205. Температура повітря не повинна перевищувати 200 °C

					КР.135.6161м.01.РПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

Етап 2 - Схема формування шарів

1. В першу чергу на матрицю наноситься гелькоут EPIKOTE Resin MGS GR T30 до товщини 500 мкн на вздовж всієї поверхні. Для замірів використовується товщиномір.

2. Перед викладкою необхідно підготувати сполучник. Змішати ЕД-20 та два твердники в пропорціях розглянутих в розділі 3 магістрської дипломної роботи.

Весь пакет буде викладатися одночасно.

3. На поверхню матриці викладається 1 шар Е-скломату M225 Needle Mat та 4 шари однонаправленої склотканини 934 S2-Glass Fiber Uni під кутом $\pm 45^\circ$.

4. Після цього вздовж фланців викладаємо 10 шарів однонаправленої склотканини 365 S-2 Glass® Uni довжиною від 600 до 4200 мм (з кроком в 400 мм для кожного шару).

5. Вздовж плити викладається шар пінопласту товщиною 20 мм. На цьому етапі розміщуємо закладні деталі під кріплення перил та кріплення до палуби.

6. Далі вздовж плити викладається ще один шар 365 S-2 Glass® Uni. Вздовж стрінгерів викладаються три шари скломату M450 Needle Mat.

7. Завершуючим етапом вздовж всього трапу викладається M450 Needle Mat та ще один пакет з 4 шарів 934 S2-Glass Fiber Uni під кутом $\pm 45^\circ$. Схема викладки зображена в табл 5.1 та на рис. 5.1

Кожен із шарів (окрім пінопласту) ретельно просочується зв'язуючим та ущільнюється за допомогою спеціальних валиків [13]

Для фіксації армуючих матеріалів необхідно використовувати аерозольний клей.

					КР.135.6161м.01.РПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

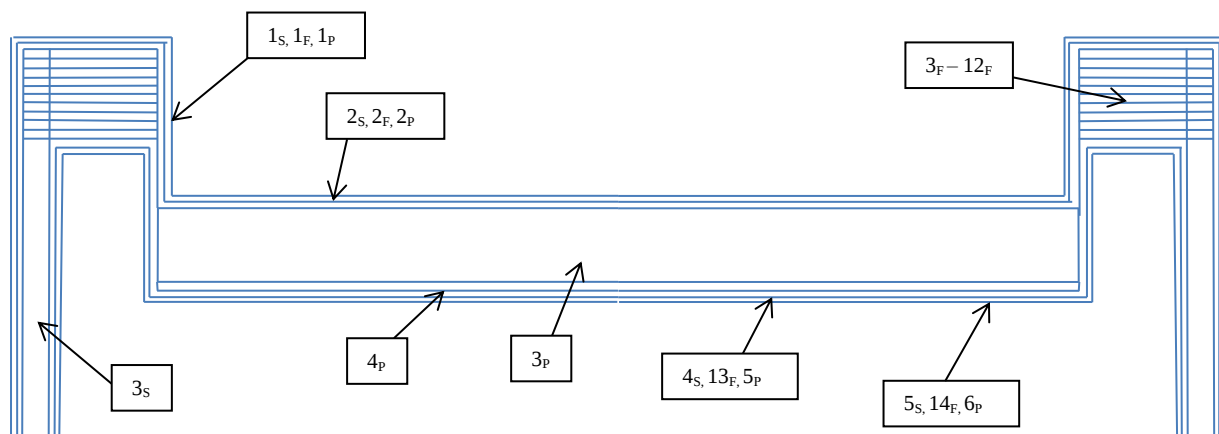


Рис 5.1 – Схема викладки шарів

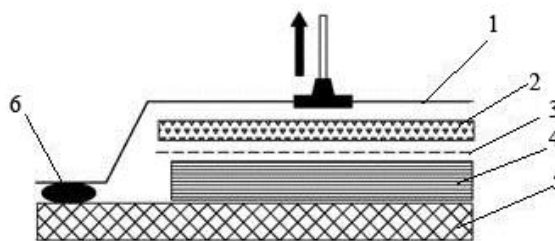


Рис. 5.2 Схема викладки технологічних шарів при вакуумному формуванні: 1 - вакуумна діафрагма (мішок); 2 - вбирний шар; 3 - жертвний шар і/або перфорована плівка; 4 - пакет, що формується; 5 - форма; 6 – ущільнювач

Таблиця 5.1 – Таблиця викладки шарів

Номер шару	Назва секції	Матеріал	Довжина шару, мм	Кут армування, °
1 _S , 1 _F , 1 _P	Stringer, Flange, Plate	M225 Needle Mat	5000	0
2 _S , 2 _F , 2 _P	Stringer, Flange, Plate	934 S2-Glass Fiber Uni 934 S2-Glass Fiber Uni 934 S2-Glass Fiber Uni 934 S2-Glass Fiber Uni	5000	+45 -45 +45 -45
3 _F	Flange	365 S-2 Glass® Uni	600	0
4 _F	Flange	365 S-2 Glass® Uni	1000	0
5 _F	Flange	365 S-2 Glass® Uni	1400	0
6 _F	Flange	365 S-2 Glass® Uni	1800	0
7 _F	Flange	365 S-2 Glass® Uni	2200	0
8 _F	Flange	365 S-2 Glass® Uni	2600	0
9 _F	Flange	365 S-2 Glass® Uni	3000	0
10 _F	Flange	365 S-2 Glass® Uni	3400	0
11 _F	Flange	365 S-2 Glass® Uni	3800	0
12 _F	Flange	365 S-2 Glass® Uni	4200	0
3 _P	Plate	Піно-наповнювач High Impact Polystyrene Pvc Foam Board	5000	0
4 _P	Plate	365 S-2 Glass® Uni	5000	0
3 _S	Stringer	M450 Needle Mat M450 Needle Mat M450 Needle Mat	5000	0 0 0
4 _S , 13 _F , 5 _P	Stringer, Flange, Plate	M450 Needle Mat	5000	0
5 _S , 14 _F , 6 _P	Stringer, Flange, Plate	934 S2-Glass Fiber Uni 934 S2-Glass Fiber Uni 934 S2-Glass Fiber Uni 934 S2-Glass Fiber Uni	5000	+45 -45 +45 -45

Етап 3 - Викладання жертвовного шару

Використовується жертвна тканина з поліаміду 6.6 – нейлон, фірми Peel P1y. Викладається намотуванням внахлест.

Етап 4 - Викладання перфорованого шару

Намотується перфорований шар –пористе скляне полотно, з обох сторін покрите тефлоном марки Fibertype, товщиною 0,17мм.

Етап 5 - Викладання вбирного шару

В якості вбирного шару використовується сухе скловолокне полотно фірми Sika Reemat Premium.

Етап 6 - Вакуумування

А) Форма з усіма шарами поміщується у вакуум мішок. Вакуумний мішок забезпечує мембранне притискання протягом твердіння. Використовується плівка товщиною 0,08 мм з нейлону-6. Вона герметизується до фланців, країв форми еластично-пластичною стрічкою з бутилової гуми.

Б) Вакуумування починається прикладанням неглибокого вакууму, перевіряється наявність натяжок, їх усунення перетягуванням плівки.

В) По досягненні бажаного вакууму, вакуумний насос виключається впродовж декількох хвилин.

Етап 7 – Розформовка виробу та механічна обробка

Після отвердіння додаткові шари знімаються, а сам виріб відділяють від матриці через добу. Після цього проводять обрізку та механічну обробку трапу.

5.4 Висновок за розділом

В даному розділі дипломної роботи було обрано технологію виготовлення трапу сходині. Для данної конструкції найкращим є метод вакуумного формування, так як цей процес не вимагає значних витрат на сировину та дозволяє використовувати прес-форму в подальшому виробництві.

В ході роботи представлені технологічні схеми виготовлення.

					КР.135.6161м.01.РПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		



Рис. 5.3 – Схема технології виготовлення

ВИСНОВКИ

1. Виходячи з умов використання та експлуатаційних навантажень трапу визначено умови використання його матеріалів: допустиме навантаження 375 кг, кут нахилу не більше 30°.

2. Проведено огляд матеріалів, що можуть використовуватися в даних умовах та обрано матеріал, що має найкращі властивості для даної конструкції, а саме, два типи однонаправленої склотканини та два типи мату просочені епоксидним сполучником, а також пінопласт.

3. В експериментальній частині було визначено кількість твердників ПЕПА та Діамет-Х у вагових частинах для епоксидної смоли ЕД-20, а також температуру та час твердіння.

4. В ході розрахунку в програмному забезпеченні ANSYS було обрано визначено напружений стан профілю, товщину шарів, коефіцієнт запасу властивостей та розроблено структуру армування перерізу. Так найбільша товщина пакету не буде перевищувати 23,65 мм.

5. Для виготовлення профілю лонжерону розроблено типовий технологічний процес, що забезпечує якісне виготовлення конструкції з необхідними фізико-механічними властивостями, що будуть відповідати експлуатаційним умовам та забезпечувати якісну роботу трапу. Обрано метод вакуумного формування.

6. Виходячи з результатів розрахунків розроблено складальне креслення трапу.

Список літератури

1. Казарезов, А.Я., Галь А.Ф., Пишнев С.М. (2005). *Проективання пристроїв і систем підводних апаратів: У 5 ч.* Миколаїв: НУК.
2. Бурдун Е.Т., Радомысльский М.И. (1989). *Пути совершенствования сферопластиков* Материалы межвузовской научно-технической конференции «Композиционные материалы в конструкциях глубоководных технических сред». Николаев: НКИ.
3. *CRP. Subsea Buoyancy Products: Електронний інформаційний бюлетень Trelleborg offshore* – Електрон. дан. (1 файл). – 2011 www.crpgroup.com –
4. *Практикум по полімерному матеріалознавству.* (1985). Под. ред.. П.Г. Бабаевского. М.: Химия
5. Джонсон Н., Лион Ф. (1981). *Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы планирования эксперимента.* М.: Мир.
6. Степнов М.Н. (1985). *Статистические методы обработки результатов механических испытаний. Справочник.* М.: Машиностроение.
7. <https://pak-pamir.com/morskie-sudovie-trapi-raznovidnosti/>
8. <https://mirmarine.net/sudovoditel/dlya-matrosa/1162-sudovye-trapy-i-skhodni>
9. <https://www.c-l.eu/emulsion-glass-mat-225-gm2/>
10. <https://www.c-l.eu/emulsion-glass-mat-450-gm2/>
11. https://promdesign.ua/services_info?article_id=8
12. <http://www.hitex-composite.com/products/S-Glass-Fabric.html>
13. https://www.matweb.com/search/datasheet_print.aspx?matguid=ea5ccbb829a0465295c1fa9d7c9dd568
14. <https://www.viral-surf.com/en/283-tissus-de-verre-s-glass>
15. https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/садова/page8.html
16. <https://studfile.net/preview/9525863/>
17. <https://polymall.com.ua/instrukcii/avtoklavne-formuvannya/>
18. <https://polymall.com.ua/instrukcii/ruchne-formuvannya/>
19. <http://dspace.pnpu.edu.ua/bitstream/123456789/3306/1/Dgurka.pdf>

					КР.135.6161м.01.РПЗ		Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			