

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

**Навчально-науковий інститут аерокосмічних технологій  
Кафедра космічної інженерії**

До захисту допущено  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ Олександр МАРІНОШЕНКО

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

**Дипломний проєкт  
на здобуття ступеня бакалавра**

**за освітньо-професійною програмою «Інженерія авіаційних та ракетно-космічних систем»  
спеціальності 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»  
на тему: «Лонжерон крила надлегкого літака з біокомпозитних матеріалів»**

Виконала:  
студентка IV курсу, групи АК-91  
Римжа Анастасія Максимівна

\_\_\_\_\_

Керівник:  
доцент, к.т.н.  
Зінченко Дмитро Миколайович

  
\_\_\_\_\_

Рецензент:  
доцент, к.т.н.  
Ларьков Сергій Миколайович

\_\_\_\_\_

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

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2023 року



Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Навчально-науковий інститут аерокосмічних технологій

Кафедра космічної інженерії

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)  
Спеціальність – 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»  
Освітньо-професійна програма «Інженерія авіаційних та ракетно-космічних систем»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Олександр МАРИНОШЕНКО

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

**ЗАВДАННЯ**

на дипломний проєкт студентці

Римжі Анастасії Максимівні

Тема проєкту «Лонжерон крила надлегкого літака з біокомпозитних матеріалів»

Керівник проєкту

Д.М. Зінченко

Затверджено наказом по університету «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

Поле для підписання

Термін подання студенткою проєкту 06 червня 2023 р.

**3. Вихідні дані до проєкту: (Заповнюється відповідно до теми разом із керівником ДП)**

3.1. Висота лонжерону крила  $H = 14$  см.

3.2. Перетин  $z1 = 1504$  мм.

3.3. Перетин  $z2 = 82$  мм.

3.4. Біокомпозит на основі ясеневого шпону

**4. Зміст пояснювальної записки:**

4.1. Аналітичний огляд літератури сучасного використання матеріалів

4.2. Основні вимоги до деревини в промисловості

4.3. Виготовлення біокомпозиту на основі ясеневого шпону

4.4. Розрахункові навантаження

4.5. Висновки

**5. Перелік графічного (ілюстраційного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо):**

5.1 Застосування композитних матеріалів в літакобудуванні

5.2 Дослідження біокомпозитного матеріалу

5.3 Епюри навантажень

5.4 Консоль крила надлегкого літака

**6. Консультанти розділів проєкту**

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

7. Дата видачі завдання: 1 лютого 2023 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1.	Підбір та аналіз літератури	до 01.03.2023 р.	
2.	Аналіз вимог до сировини для виробів з композиційних матеріалів	до 29.03.2023 р.	
3.	Розробка технології виготовлення біокомпозиту на основі ясеневого шпону	до 12.04.2023 р.	
4.	Лабораторні дослідження фізичних властивостей біокомпозиту	до 20.04.2023 р.	
5.	Визначення розмірів та деталей конструкції надлегкого літака	до 30.04.2023 р.	
6.	Розрахунок навантажень в лонжеронах літального апарату	до 20.05.2023 р.	
7.	Оформлення пояснювальної записки та графічних матеріалів. Відгук керівника ДП	до 06.06.2023 р.	
8.	Перевірка на плагіат, рецензування	до 11.06.2023 р.	
9.	Захист	з 14.06.2023 р. по 20.06.2023 р.	

Студент (-ка) \_\_\_\_\_

Анастасія РИМЖА

Керівник ДП \_\_\_\_\_

Дмитро ЗІНЧЕНКО

П  
о  
л  
е  
  
д  
л  
я  
  
п  
і  
д  
ш  
и  
в  
а  
н  
н  
я

**Пояснювальна записка  
до дипломного проєкту**

**на тему: «Лонжерон крила надлегкого літака з  
біокомпозитних матеріалів»**

Київ – 2023 рік

## **Анотація**

Робота присвячена виготовленню композитних матеріалів на основі дерева у пошуку більш оптимальних та екологічних рішень використання ресурсів.

В результаті, виконано огляд сучасних рішень, що використовуються в галузі авіабудування. Дослідження включає визначення оптимальної технології виготовлення біокомпозиту на основі ясеневого шпону та підкреслює потенціал використання матеріалу як життєздатної альтернативи існуючим матеріалам для різних застосувань у літаках.

Ключові слова: композитні матеріали, деревина, біокомпозити, надлегкий літак, навантаження.

Обсяг пояснювальної записки: пояснювальна записка містить 56 сторінок текстової інформації, 30 ілюстрацій та 18 бібліографічних посилань.

## **Annotation**

This study focuses on the production of wood-based composite materials as a sustainable and resource-efficient solution in aircraft construction.

It provides a comprehensive review of contemporary approaches in the field and emphasizes the importance of finding optimal and ecological alternatives. The research specifically focuses on determining the optimal manufacturing technology for a biocomposite using ash veneer. The study highlights the potential of the ash-based biocomposite as an alternative to conventional materials in various aircraft applications.

The keywords: composite materials, wood, biocomposites, ultralight aircraft, loads.

The explanatory note contains: 56 pages of textual information, 30 illustrations and 18 bibliographic references.

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....</b>	<b>9</b>
<b>ВСТУП.....</b>	<b>10</b>
<b>1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....</b>	<b>12</b>
1.1. Постановка задачі.....	12
1.2. Огляд існуючих рішень .....	12
1.3. Деревина в авіабудуванні.....	20
1.4. Висновки до розділу .....	26
<b>2. ВИМОГИ ДО ДЕРЕВИНИ В ПРОМИСЛОВОСТІ .....</b>	<b>28</b>
2.1. Основні вимоги .....	28
2.1.1. Сортування сировини.....	29
2.1.2. Вади деревини .....	29
2.1.3. Вологомісткість .....	32
2.1.4. Міцність деревини на розрив.....	34
2.2. Клеї .....	35
2.3. Висновки до розділу .....	36
<b>3. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ БІОКОМПОЗИТУ НА ОСНОВІ ШПОНУ ЯСЕНЮ .....</b>	<b>37</b>
3.1. Виготовлення зразків композиту .....	37
3.2. Лабораторні випробування фізичних характеристик матеріалу ...	38
3.3. Висновки до розділу .....	41

					<b>AK-9119.14.20.00.00ПЗ</b>			
<i>Зм</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докum.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Римжа А.М.</i>			<b>Лонжерон крила надлегкого літака з біокомпозитних матеріалів</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Зінченко Д.М.</i>						
<i>Реценз.</i>						<b>КПІ Ім. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО</b>		
<i>Н.</i>		<i>Ларьков С.М.</i>				<b>Каф. КІ</b>	<b>AK-91</b>	
<i>Затверд.</i>		<i>Мариношенко О.</i>						

<b>4. РОЗРАХУНКИ НАПРУЖЕНЬ ЛОНЖЕРОНУ КРИЛА З ВИКОРИСТАННЯМ БІОКОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ .....</b>	<b>44</b>
<b>4.1. Вхідні дані.....</b>	<b>44</b>
<b>4.2. Властивості матеріалу .....</b>	<b>46</b>
<b>4.3. Переріз z=1504 мм.....</b>	<b>50</b>
<b>4.4. Переріз z=82 мм.....</b>	<b>53</b>
<b>4.5. Висновки до розділу .....</b>	<b>56</b>
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>57</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>58</b>

					<b>AK-9119.14.20.00.00ПЗ</b>			
<i>Зм</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докum.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Римжа А.М.</i>			<b>Лонжерон крила надлегкого літака з біокомпозитних матеріалів</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Зінченко Д.М.</i>						
<i>Реценз.</i>						<b>КПІ Ім. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО</b>		
<i>Н.</i>		<i>Ларьков С.М.</i>				<b>Каф. КІ</b>	<b>AK-91</b>	
<i>Затверд.</i>		<i>Мариношенко О.</i>						

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

КМ - композитний матеріал

ЛА - літальний апарат

ПКМ - полімерні композиційні матеріали

БК – біокомпозит

CF - CityFly

					AK-9119.14.20.00.00ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		9

## ВСТУП

У сучасному світі машини та технології стали невід'ємною частиною життя людини. Починаючи від простих машин, що використовувалися у давні часи, до надзвичайно складних технологій сучасності, вони допомагають зробити наше життя більш комфортним, ефективним та продуктивним.

Однак будь-які процеси техногенної діяльності людини мають свої наслідки. Однією з головних проблем сучасності є використання природних ресурсів. Сьогоднішні методи обробки та виготовлення елементів машин є надзвичайно енергозатратними та сприяють значному ресурсному виснаженню. Широке використання машин і технологій також призвело до збільшення попиту на енергію, що ще більше загострює проблему.

Одним із основних джерел забруднення навколишнього середовища та зміни клімату є транспортний сектор. Як наслідок, зростає попит на розробку нових, більш екологічних видів транспорту та ресурсів для їх виробництва. Зокрема, у сучасному літакобудуванні надзвичайно важливим є вибір матеріалів, які не тільки будуть більш екологічними, але й не матимуть значного впливу на збільшення ваги та зберігатимуть свої силові властивості. Для досягнення такої мети розробляються нові матеріали, які не тільки замінюють метали, але і значною мірою перевершують їх за своїми властивостями. Композитні матеріали (КМ) мають широкий спектр переваг, включаючи підвищену міцність, жорсткість та стійкість до пошкоджень.

КМ також мають менший коефіцієнт теплового розширення, а отже, менш сприятливі до впливу змін температур. Оскільки літакам доводиться працювати в широкому діапазоні умов навколишнього середовища, ця властивість є надзвичайно важливою. Композитні матеріали також мають кращу стійкість до корозії та втоми, що робить їх ідеальними для довготривалого використання в авіаційній промисловості.

Використання композитів у сучасних авіаційних технологіях надає змогу проектувати літаки з більшою аеродинамічною ефективністю та

					AK-9119.14.20.00.00ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

структурною міцністю. Також, це дозволяє інженерам створювати складні форми та каркаси, яких було б важко або деколи неможливо досягнути за допомогою звичних матеріалів та технологій.

Проте використання композитних матеріалів має свої недоліки. Наприклад, для проєктування та виготовлення конструкцій, інженер повинен не лише враховувати властивості матеріалу, а і мати розуміння процесу виготовлення самого композиту, оскільки це значною мірою впливає на розміщення та обслуговування композитного матеріалу безпосередньо в готовій конструкції. Використання композитних матеріалів також вимагає спеціальних знань та досвіду, а їх вразливість до пошкоджень ускладнює обслуговування та ремонт.

Незважаючи на вище зазначені проблеми, переваги композитних матеріалів в авіаційній промисловості значною мірою перевищують недоліки. З розвитком авіаційної галузі та зростанням вимог до більш ефективних та стійких літаків, композитні матеріали відіграють важливу роль у розробці літаків наступного покоління.

					<b>AK-9119.14.20.00.00ПЗ</b>	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

# 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

## 1.1. Постановка задачі

Проаналізувати використання матеріалів в авіаційній галузі, порівняти біокомпозити (БК) з існуючими матеріалами штучного походження. Описати технологію виготовлення БКу з ясеневого шпону. Згідно технічного завдання, провести розрахунки напружень на лонжерон крила надлегкого літального апарату з використанням біокомпозитних матеріалів.

## 1.2. Огляд існуючих рішень

Перші 40 років розвитку авіаційної техніки, конструкції літаків переважно виконувалися з дерева, що сприяло розвитку методик проектування та технологій виготовлення силових дерев'яних конструкцій.

Наприкінці Першої світової війни британська військова авіаційна промисловість покладалася переважно на покриті тканиною дерев'яні біплани. Однак, через проблеми з постачанням відповідної деревини в необхідній кількості, до завершення війни, в проектування стали включатися металеві елементи. Перший комерційно та експлуатаційно життєздатний суцільнометалевий літак був створений Гуго Юнкерсом у Німеччині під час Першої світової війни. Такий крок пояснюється зменшенням промислових потужностей Німеччини та бажанням отримати технічну перевагу. Юнкерс підкреслив переваги металевої конструкції, включаючи більшу довговічність порівняно з дерев'яною, пояснюючи це тим, що деревина сприйнятлива до вогню, гниття, розколювання, викривлення через перепади вологості та температури, а також до пошкоджень комахами. Метал, в той же час, навпаки, був позбавлений цих недоліків, що і робило його більш придатним для тривалого використання в тропічному кліматі.

					AK-9119.14.20.00.00ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



Рисунок 1.2.1 Junkers J1, один із перших у світі практичних суцільнометалевих літаків

Металеві літаки Junkers були успішними, але, з точки зору характеристик, не перевершували своїх британських дерев'яних аналогів. В той же час, у Сполучених Штатах розробки металевих літаків більше зосереджувалися на заміні окремих дерев'яних компонентів металевими. [1]

Під час Другої світової війни, проєкт дерев'яного de Havilland Mosquito спочатку зазнав жорсткої критики та не міг отримати фінансування, проте літак виявився одним із найуспішніших літаків війни, виробництво якого перевищило 7000 одиниць. Розроблений і виготовлений в рекордно короткі терміни в умовах воєнного часу, «Mossie» був революційним. Незважаючи на те, що конструкція була повністю виготовлена з дерева, до появи німецьких реактивних і ракетних винищувачів, він вважався найшвидшим у світі бомбардувальником.

Mosquito унікальний не лише через його швидкість і універсальність, а й через те, що він не використовував стратегічних ресурсів, кількість яких, в умовах війни, була обмеженою. [2]

					AK-9119.14.20.00.00ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		13



Рисунок 1.2.2 De Havilland DH.98 Mosquito (1940 р.) – найефективніший (16 втрат на 1000 бойових вильотів) літак Королівських ВПС під час Другої Світової війни

Фюзеляж de Havilland Mosquito був спроектований для виготовлення за допомогою готових форм, що слугували для створення обох половин фюзеляжу з використанням березової фанери та бальси у міцній і легкій обшивці типу "сендвіч". Перед безпосередньою склейкою, половини фюзеляжу були оснащені всіма кріпленнями, проводкою та трубами. Таким чином деталі вироблялися деревообробниками по всій Британії, а фюзеляж можна було побудувати та встановити за рекордно короткий час.

Незважаючи на легку конструкцію, крило, виконане з ялини та берези, могло нести велике навантаження. Спочатку Mosquito був подібний до бомбардувальника В-17, але мав майже вдвічі більшу швидкість і лише 1/5 частину необхідного екіпажу. [2]

										Арк.
										14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	AK-9119.14.20.00.00ПЗ					



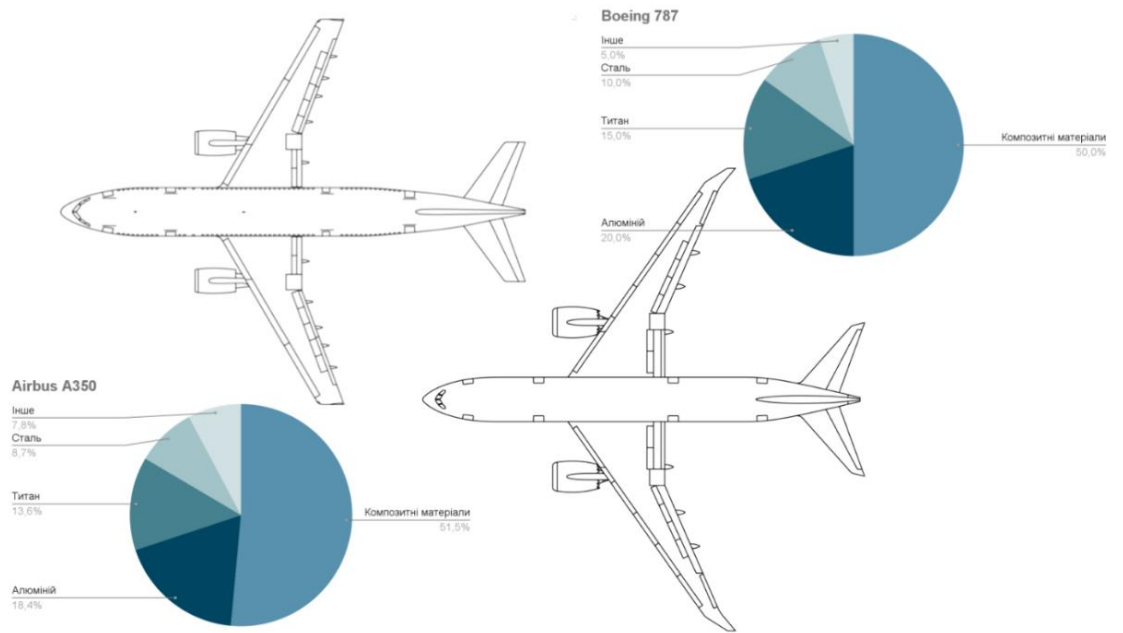


Рисунок 1.2.4 Використання композитних матеріалів в конструкціях літаків Boeing 787 та Airbus A350

Композитні матеріали складаються з двох або більше компонентів з різними фізичними та хімічними властивостями. Це дозволяє отримати нові матеріали з покращеними характеристиками. Композити складаються з двох основних складових: матриці і наповнювача. Матриця є основою, яка оточує і підтримує наповнювач, надаючи композиту структурну міцність і стійкість. Це може бути полімер, кераміка або інший матеріал. Наповнювачі використовуються різні, наприклад: скло, бор, вуглецеві матеріали, органічні речовини, а також ниткоподібні кристали, як карбіди, бори́ди, нітриди або металеві дроти. [13]

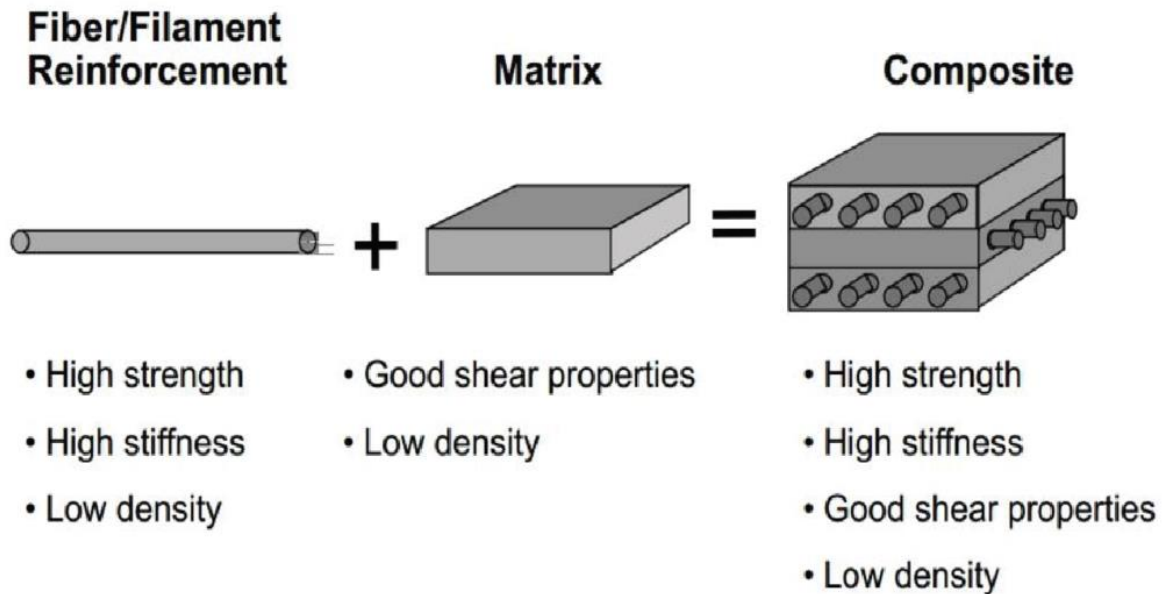


Рисунок 1.2.5 Структура композитного матеріалу

Виробництво полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) стрімко розвивається в усьому світі. Однією з ключових переваг ПКМ є можливість одночасного контролю створення матеріалу, його дизайну та технології виробництва, що забезпечує високий ступінь інновацій протягом усього життєвого циклу ПКМ [4]. Такі матеріали значною мірою мають перевагу над традиційними конструктивними матеріалами, оскільки вони мають не лише високі міцнісні властивості, а і, в залежності від потреб продукту, контролюються в процесі виробництва та експлуатації.

Ці матеріали мають високу питому міцність і жорсткість, що дозволяє використовувати їх в умовах експлуатації, де традиційні конструкційні матеріали непридатні [5].

Вуглецеві волокна, вбудовані в епоксидну полімерну матрицю, широко використовуються як в авіації та космічній інженерії, так і в інших сферах життя людини. Однак сучасні дослідження, підкреслюють низькі екологічні та медичні показники цих матеріалів, включаючи високі викиди парникових газів під час виробництва та значний негативний вплив на здоров'я людини [6]. Оскільки такі ризики вважаються неприйнятними, зараз досліджуються

нові методи створення композитів, для досягнення технології виробництва найбільш конструктивно, екологічно та економічно оптимального матеріалу. Це включає в себе дослідження альтернативної сировини, наприклад полімерів на біологічній основі та натуральних волокон, як потенційних замінників традиційним армуючим елементам.[6]

Особливі вимоги ставляться до композитних матеріалів зокрема в авіабудуванні. Вони повинні мати високу міцність при низькій вазі, а також демонструвати мінімальну залежність від механічних навантажень з плином часу та в різних умовах навколишнього середовища. Інші важливі характеристики включають пластичність, стійкість до деформації, корозійну стійкість та можливість застосування передових технологій обробки, таких як пресування, штампування, хімічне фрезерування, прокатка і зварювання.[13]

Використання композитних матеріалів у конструкціях сучасних літаків призвело до суттєвого зменшення їх ваги. Наприклад, композити на основі скловолокна мають середню густину  $1,4 \text{ г/см}^3$ , тоді як для металів цей показник може бути значно вищим, наприклад,  $7,8 \text{ г/см}^3$  для сталі,  $8,9 \text{ г/см}^3$  для міді і  $2,8 \text{ г/см}^3$  для алюмінієвого сплаву. [13]

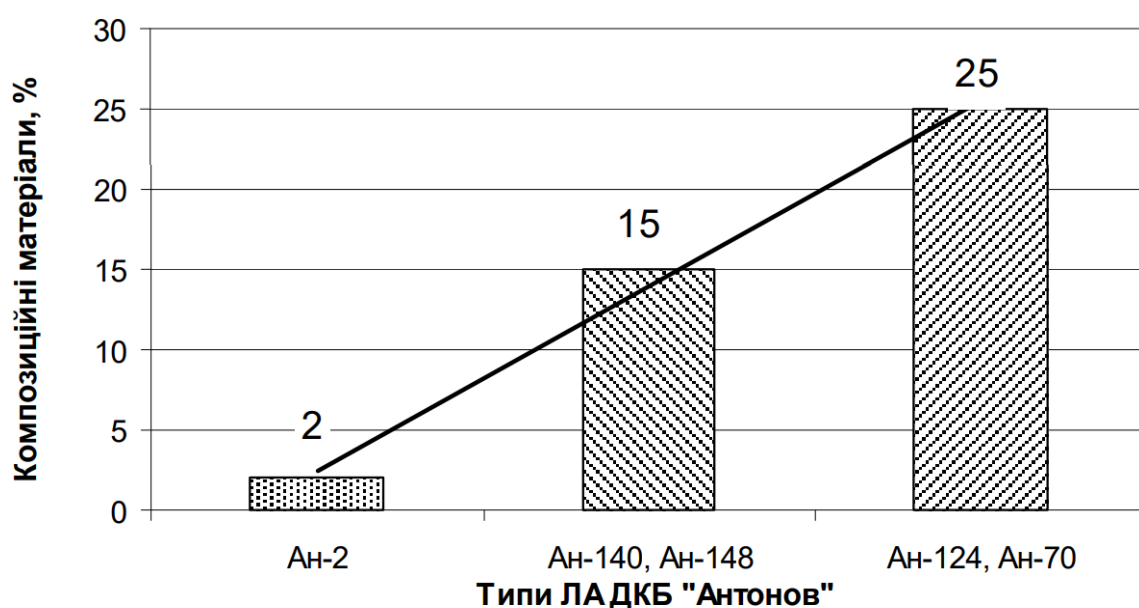


Рисунок 1.2.6 Динаміка застосування композитних матеріалів в конструкціях ЛА ДКБ «Антонов» [13]

Зменшення ваги конструкцій літаків сприяє збільшенню їх корисного навантаження, що, у свою чергу, дозволяє збільшити дальність польоту. [13]

Розробка і використання композитних матеріалів відкривають нові можливості для створення інноваційної авіаційної техніки та озброєння. Завдяки їх підвищеній міцності та легкості, композити стають чудовим варіантом для виробництва безпілотних літальних апаратів. [13]

Хоча композитні матеріали часто пов'язують зі сучасними технологіями, вони існують у природі вже довгий час. Одним з найкращих прикладів природних композитних матеріалів можна назвати дерево. Воно поєднує міцність і жорсткість целюлозних волокон з гнучкістю і пружністю лігніну та інших органічних сполук. Розташування цих компонентів у структурі дерева надає йому чудові властивості, такі як високе співвідношення міцності до ваги, теплоізоляція і звукоізоляція. [14]

Деревина активно використовується в процесі пошуку більш стійких композитних рішень. Враховуючи досвід експлуатації в минулому, станом на сьогодні дерева успішно використовується при виготовленні літаків малої і середньої авіації. Це пояснюється унікальним поєднанням міцності, легкості та розповсюдженості ресурсу, що робить деревину чудовим матеріалом для аерокосмічного застосування.

До того ж, за допомогою сучасних технологій, були знайдені рішення, що дозволяють забезпечити гарантований захист деревини від руйнівної дії комах, цвілевих грибів, а також суттєво підвищити вогнестійкість конструкційних природних матеріалів. [8]

Використання деревини як композитного матеріалу є не лише більш екологічним, а і має економічне обґрунтування з погляду стимулювання економіки та більш розповсюдженого розвитку авіаційної сфери, оскільки це дозволяє меншим підприємствам приймати участь в розробках та дослідженнях.

					AK-9119.14.20.00.00ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

### 1.3. Деревина в авіабудуванні

Деревина складається з целюлози, лігніну, геміцелюлози та незначної кількості (зазвичай менше 10%) сторонніх матеріалів, що містяться в клітинній структурі. Варіації в характеристиках і пропорціях цих компонентів і відмінності в клітинній структурі роблять деревину важкою або легкою, жорсткою або гнучкою, твердою або м'якою. Властивості цього природного композиту залежать від різних факторів, таких як порода дерева, вміст вологи та швидкість росту. Наприклад, деревина, яка зростає в швидкозростаючих лісах з високим рівнем вологості, може мати меншу щільність і міцність, ніж деревина з повільнозростаючих лісів з низьким рівнем вологості. Деревина, яка зростає на вітрових місцевостях, може мати більш жорсткі волокна, що зумовлено адаптацією до протистояння силі вітру. Крім того, інші фактори, такі як генетичні особливості дерева і методи обробки деревини, також можуть впливати на її властивості. Подібно до інших композитних матеріалів, армованих волокнами, деревина, в залежності від напрямку цих волокон, змінює свої властивості. [12]

У розробці композитних матеріалів вибір напрямку волокон, а також матеріалів армування та матриці, може призвести до отримання унікальних властивостей, які можна оптимізувати відповідно до механічних та екологічних вимог кінцевого продукту.[1]

У сфері авіабудування найбільш поширеними матеріалами є ситхінська ялина, береза, сосна та ясен. Ці деревини відомі своєю легкістю, міцністю та здатністю витримувати високі механічні навантаження. [9]

Ситхінська (ситська) ялина, завдяки своїм винятковим властивостям, знаходить широке застосування в різних галузях промисловості, зокрема в авіабудуванні. Ця деревина відома своєю чудовою жорсткістю, стійкістю до розколнування та згинання. І саме завдяки цим характеристикам, ситхінська ялина є ідеальним матеріалом для виготовлення елементів конструкції, де необхідна висока міцність без додавання надмірної ваги.

					<b>AK-9119.14.20.00.00ПЗ</b>	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



Рисунок 1.3.1 Ситхінська (ситська) ялина

**Береза** широко поширена в різних частинах Європи. Одним із головних методів використання берези в авіаційній індустрії є виготовлення авіаційної фанери, завдяки її міцності та стійкості до розколювання. Березова фанера відома своєю високою якістю та надійністю, що робить її популярним вибором для конструкційних елементів літаків. Цей матеріал забезпечує необхідну міцність і стабільність в повітряних суднах, допомагаючи забезпечити безпеку та ефективність польотів.



Рисунок 1.3.2 Авіаційна березова фанера

Деревина ясена, завдяки своїй довговічності та універсальності, століттями використовувалася в різних галузях промисловості. Ясен високо

					AK-9119.14.20.00.00ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		21

цінується за свою міцність та ударостійкість. Він знаходить широке застосування у виробництві лонжеронів, опорних блоків та інших важливих деталей, які вимагають поєднання міцності та жорсткості. Ясен відрізняється важкою та твердою деревиною з високими механічними властивостями. Річні шари ясеня мають видимі великі судини, що формують кільцеподібну структуру. Ясен має широку білу заболонь і світло-блакитне ядро. Серцеві промені в деревині ясеня дрібні і ледь помітні простим оком.

У літакобудуванні ясен широко використовується для гнутих деталей і лиж. Його міцність та стійкість роблять його ідеальним матеріалом для створення формованих компонентів, які витримують великі навантаження та забезпечують необхідну жорсткість. Ясен здатний зберігати свої властивості протягом тривалого часу, що робить його популярним в авіаційній промисловості, де надійність та довговічність є критичними факторами.

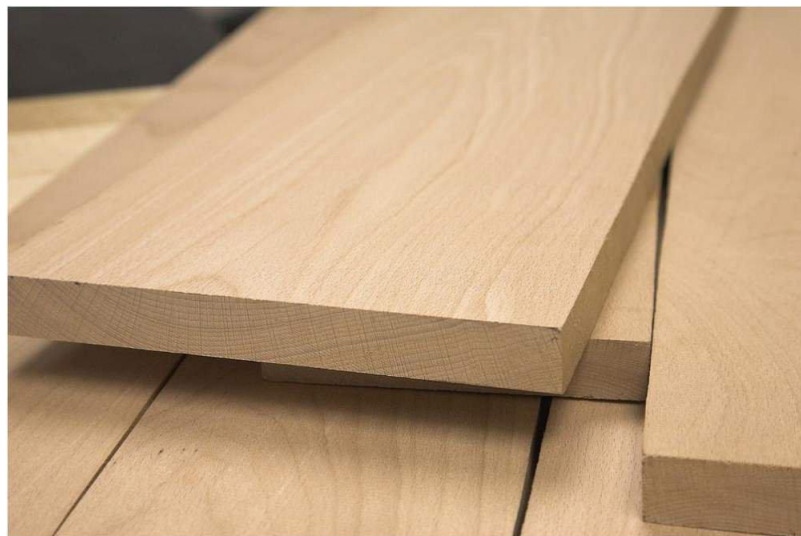


Рисунок 1.3.3 Ясен

**Червоне дерево** виділяється насиченим червонувато-коричневим забарвленням, та структурою з прямими і щільними волокнами. Воно має відмінну міцність на вигин і жорсткість, що дозволяє йому, з надзвичайною пружністю, витримувати навантаження на стиснення вздовж волокна. Червоне дерево широко використовується для опорних блоків під навантаженнями на стиск і для виготовлення пропелерів.

					<b>AK-9119.14.20.00.00ПЗ</b>	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



Рисунок 1.3.4 Червоне дерево

Незважаючи на притаманну їй м'якість і відносно низькі властивості міцності, завдяки своїм винятковим характеристикам, **бальса** знайшла широке застосування в авіабудуванні. Ця унікальна деревина відома своєю легкістю, що пропонує безліч переваг у різних сферах застосування.

Бальза має пористу структуру, яка сприяє низькій щільності та чудовій плавучості. Однак, саме через таку структуру, ця деревина є дуже сприйнятливою до пошкоджень, як фізичних, так і до впливу вологи, тому потребує захисту та належного зберігання. В авіабудуванні бальзова деревина широко використовується в обтічниках і створенні легких контурних блоків низької щільності. Крім того, вона служить основним матеріалом у виробництві звукоізоляційної фанери.

					AK-9119.14.20.00.00ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



Рисунок 1.3.5 Бальса

**Сосна** має багато спільного з ялиною з точки зору її властивостей і застосування. Однак варто зазначити, що біла сосна має порівняно низьку твердість та ударостійкість у порівнянні з іншими видами деревини, які частіше використовуються в авіабудуванні. Хоча білу сосну неможливо безпосередньо замінити на ялину, її поширеність робить її придатною для використання у конструкціях, де менші вимоги до міцності є прийнятними.

Механічні властивості деревини сосни є дуже високими, і тому вона використовується як основний конструкційний матеріал у виготовленні дерев'яних та змішаних літаків. З деревини сосни виготовляють лонжерони, крила, фюзеляж, оперення, нервюри, шпангоути, стрингери, кесони, бобишки та інші деталі. Враховуючи її механічні властивості та доступність, сосна є популярним вибором для конструкційних елементів літаків, де потрібна задовільна міцність.

					<b>AK-9119.14.20.00.00ПЗ</b>	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



Рисунок 1.3.6 Сосна

У авіабудуванні габунська деревина часто використовується як замітник берези при виготовленні фанери. Основна перевага такої фанери полягає в її здатності використовувати більш товсті шарові оболонки, зберігаючи приблизно однакову з березовою фанерою вагу. Однак через пористість габунської фанери, конструкція вимагає додаткового покриття, щоб забезпечити відповідну основу для якісного фарбування.[9]

Переходячи до теми біокомпозитів (БК), неможливо не зазначити бамбук. Сама по собі деревина бамбуку не є гарним варіантом для використання в промисловості. Однак, комбінування бамбуку з іншими матеріалами, такими як полімери або смоли, дозволяє поєднати переваги деревини з властивостями інших матеріалів, що удосконалює фізичні властивості та робить її придатною для використання в промисловості, зокрема в авіабудуванні.

					AK-9119.14.20.00.00ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		25



Рисунок 1.3.7 Бамбуковий переклії

БК на основі бамбуку мають покращені механічні властивості, стійкість до вологи і корозії, а також є більш стійкими до зношування. Використання бамбукових композитів має декілька переваг. Бамбук широко поширений і легко доступний у багатьох регіонах світу, що робить його придатним до масштабного використання. А бамбукові планки відмінно витримують навантаження і здатні поглинати енергію під час ударів або турбулентностей. Їх висока еластичність робить їх стійкими до деформації, що є надзвичайно корисною властивістю у випадку аварійних ситуацій.

#### 1.4. Висновки до розділу

Використання композитних матеріалів є перспективним напрямом розвитку промисловості. Застосування таких технологій в авіабудуванні, відкриває нові шляхи до створення більш ефективних, міцних та екологічно збалансованих літаків, що сприяє не лише розвитку авіаційної сфери, а і значному зменшенню негативного впливу на довкілля. Крім того, композитні матеріали з використанням деревини є екологічно й економічно обґрунтованим рішенням.

					AK-9119.14.20.00.00ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Таким чином, БК на дерев'яній основі є перспективним матеріалом для створення авіаційних конструкцій, оскільки вони поєднують в собі високі механічні характеристики, легкість, стійкість до руйнування в умовах вологості та зношування. Використання таких композитних матеріалів в авіабудуванні відкриває нові можливості для створення легких і міцних конструкцій, що відповідають вимогам безпеки та надійності.

					AK-9119.14.20.00.00ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		27

## 2. ВИМОГИ ДО ДЕРЕВИНИ В ПРОМИСЛОВОСТІ

### 2.1. Основні вимоги

Дерев'яні поверхні, які призначені для використання в промисловості, мають проходити попередню обробку, що дозволяє значним чином покращити їх зв'язувальні здатності. [16]

Для вирішення проблем з усадкою та набуханням зернистої деревини були розроблені різні методи обробки, які класифікуються як хімічні модифікації та методи просочення. Хімічні модифікації спрямовані на зменшення гігроскопічності деревини шляхом взаємодії доступних гідроксильних груп на поверхні деревини з хімічними речовинами, такими як ангідриди, ізоціанати, формальдегід, алкоксисилани або епоксиди [15].

Осмотичне просочення - це техніка, яка, шляхом занурення у водний розчин, що містить сіль, цукор, гліцерин або поліетиленгліколь (ПЕГ), поповнює клітини деревини або клітинні стінки неактивними хімічними речовинами шляхом [15].

Типові деревно-полімерні композити (ДПК) стабілізуються за допомогою фенолоформальдегідних, меламіноформальдегідних або сечовиноформальдегідних смол. Також відомий метод просочування вініловими мономерами, такими як стирол, метилметакрилат, 2-гідроксіетилметакрилат, акрилонітрил або алліловий спирт, з подальшою полімеризацією. [15]

Дерев'яні компоненти для створення композитних матеріалів можуть мати різний вигляд, наприклад:

- Габаритні пиломатеріали – для клеєного бруса та дерев'яних ферм;
- Шпон – для фанери, клеєного бруса (LVL), паралельно-стружкового бруса (ПСБ);
- Волокна – для ДВП середньої щільності (МДФ), ДВП високої щільності.

					<b>AK-9119.14.20.00.00ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		28

- Деревинностружкова плита (ДСП);

### 2.1.1. Сортування сировини

Перший крок у технології виготовлення біокомпозитів полягає в правильному виборі сировини. В авіабудуванні велика увага приділяється використанню високоякісних матеріалів, зокрема деревини, для створення літальних апаратів з найвищими стандартами якості та безпеки.

При виборі деревини важливо враховувати цільове використання та відповідні показники міцності. Для виготовлення найякісніших елементів конструкції літаків, використовують деревину сорту А. [9]

Матеріал класу В слід використовувати замість деревини класу А, лише якщо коефіцієнти міцності класу В не нижчі за необхідні в конструкції значення. Матеріали класу С слід використовувати лише для частин, де часткове пошкодження, або навіть повне руйнування, не призведе до серйозних змін в конструкції.

Варто відзначити, що щільність деревини сорту С може істотно відрізнятись: щільніша деревина, як правило, демонструє більш високі показники у випробуваннях на стиск і розтяг, підвищену стійкість до вигину і має більшу вагу. І навпаки, менш щільний матеріал, як правило, має меншу вагу та нижчі значення міцності.

	Сорт А	Сорт В	Сорт С
Стиснення кінцевого зерна	5 000	4 000	2 000
Зсув паралельний зерну	900	800	400
Злам поперек зерна	600	550	300
Напруга	10 000	8 000	4 000
Модуль розриву	8 000	7 000	-
Значення Е	1.5 * 10	1.2 * 10	1.0 * 10

Таблиця 2.1.1 Показники сортування деревини

### 2.1.2. Вади деревини

					<b>AK-9119.14.20.00.00ПЗ</b>	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Говорячи про якість деревини, варто звертати особливу увагу на її недоліки. Зміни зовнішнього вигляду, порушення правильності будови та цілісності тканин, що знижують якість деревини і обмежують можливості її практичного використання, називаються вадами деревини. Найпоширенішою вадою є сучки, які представляють собою частини гілок, що проникли в деревину сортименту.

Використання сучків у деревині, в більшості випадків, має негативний вплив. Вони часто не лише погіршують зовнішній вигляд деревини, а і значним чином порушують її однорідність та спричиняють викривлення волокон, що знижує показники багатьох механічних властивостей матеріалу. Вплив сучка на механічні властивості залежить від його розмірів, типу та напруженого стану деталі виробу або конструкції. Міцність деревини найбільше знижується при розтягуванні, а найменше — при стисканні вздовж волокон. У випадку згину, вплив сучка значно залежить від його положення по довжині та висоті деталі. Сучки, що розташовані в розтягнутій зоні небезпечного перерізу деталі, що згинається, мають найбільший негативний вплив, особливо якщо сучок виступає на кромку. Дослідження впливу сучків на механічні властивості круглих лісоматеріалів з деревини сосни показали, що зниження межі міцності при стисканні вздовж волокон зразків діаметром від 8,5 до 12 см залежить від відношення розміру найбільшого сучка до діаметра зразка. Зниження межі міцності становило від 4 до 18% порівняно з чистою деревиною при збільшенні відношення розміру сучка. Таке ж зниження міцності спостерігалось при випробуванні зразків на статичний згин, якщо великий сучок знаходився в розтягнутій зоні. У зразках діаметром 16 см і більше не було помітного впливу сучків на міцність при стисканні вздовж волокон. Таким чином, сучки мають більший вплив на міцність пиломатеріалів, ніж на міцність круглих лісоматеріалів. У круглих лісоматеріалах, так само як і в пиломатеріалах, сучки менше впливають на модуль пружності, ніж на міцність.

					<b>AK-9119.14.20.00.00ПЗ</b>	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Тріщини - це поздовжні розриви в деревині, які виникають під впливом внутрішніх напруг. Найменше зниження міцності відбувається при стисканні вздовж або поперек волокон, а найбільше - при розтягуванні поперек волокон, особливо якщо тріщина розташована в площині, перпендикулярній до напрямку зусилля, або при сколюванні, якщо тріщина збігається з площиною сколювання. При згині найбільший негативний вплив має тріщина, перпендикулярна до напрямку згинальних зусиль і розташована в нейтральній площині. В цьому випадку нормальні напруги відсутні, але дотичні напруги максимальні, і зниження міцності пропорційне зменшенню площі, яка виконує роль сколювання. Згідно з даними, тріщини не впливають на модуль пружності при розтягуванні і стисканні вздовж волокон, але суттєво знижують значення модулю пружності при статичному згині, коли площина тріщини перпендикулярна до напрямку згинальних зусиль. Тріщини є одним із головних факторів, що знижують міцність деревини, яка використовується в промисловості. Обмеження щодо припустимості тріщин пояснюються також тим, що вони сприяють проникненню вологи та грибків вглиб деревини, що значним чином руйнує структуру матеріалу.

Сама по собі деревина, як натуральний полімер (полісахарид), є досить стійкою не лише на повітрі, але й у кислотах, лугах (дерев'яні чани та цистерни на хімічних заводах), воді, спиртах і навіть при підвищених температурах, принаймні до 150-200°C. Виходячи з цього, деревина виявляє слабкість саме до хвороб, насамперед до зараження грибами. Якщо відсутні гриби, деревина залишається стійкою, але якщо гриби проникають, деревина починає гнити і піддається механічному та хімічному руйнуванню.

Незважаючи на схожість хімічного складу всіх порід деревини, деякі породи виявляються більш стійкими до гниття, ніж інші. Зокрема, вважається, що тропічні дерева мають більшу стійкість до гниття, оскільки нестійкі породи вже вимерли в теплих вологих краях. У межах однієї породи щільніша деревина є більш стійкою (і, можливо, менш паропроникною). Наприклад, під

					<b>AK-9119.14.20.00.00ПЗ</b>	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

час експериментів, проведених з контактом деревини сосни з плівчастим будинковим грибом, втрата маси деревини склала 39,1%, тоді як у спресованих зразках тієї ж деревини з вищою щільністю втрата маси була майже вдвічі менша - 10,6%. Також помічено, що зі збільшенням віку дерева збільшується стійкість його деревини. Крім того, ядро (приосева частина у стовбурах) дерева має вищу стійкість, ніж заболонь (периферійна прикоркова частина). Стовбури з нижньої частини мають вищу стійкість деревини, ніж верхня частина та гілки. Також важливою є наявність асептичних речовин у деревині (асептик - профілактичний препарат, що запобігає біоруйнуванню; антисептик - препарат, що зупиняє біоруйнування, яке вже розпочалося). Наприклад, деревина сосни має більшу стійкість, ніж деревина ялини або ялиці, через різницю у вмісті смоли, а стійкість деревини дуба вища, ніж ясена, через високий вміст дубильних речовин. Європейський стандарт EN350-2 класифікує породи деревини за стійкістю до гниття, комах і морських дерев'яних шкідників. За стійкістю до грибів породи поділяються на п'ять класів. До дуже стійких відносяться такі породи, як тик, евкаліпт, грінхарт та інші. До стійких відносяться дуб, акація біла, тис, каштан, махагоні (червоне дерево) та інші.

### 2.1.3. Вологомісткість

Ступінь насиченості деревини вологою характеризується як вологість. Вологість деревини та полімеру є важливим фактором у виготовленні біокомпозитів на дерев'яній основі, оскільки вона впливає на процес з'єднання та взаємодію компонентів, а також на фізичні та механічні властивості кінцевого матеріалу. Контроль вологості під час процесу виготовлення є важливим для забезпечення стабільності та якості БКів.

Вміст вологи можна визначити таким методом: після отримання зразків розміром 10 x 10 см з дошки, необхідно їх зважити, записавши масу кожного

					<b>AK-9119.14.20.00.00ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		32

зразка. Далі, тестові зразки розміщують у сушильній шафі, де проводиться процес висушування при температурі у діапазоні від 95 °С до 105 °С.

Процес сушіння триває до досягнення постійної ваги зразків, коли вони втрачають всю свою вологу і вага не змінюється протягом певного періоду часу. Це означає, що волога випарувалася, і маса зупинилася на певному рівні.[8]

Вміст вологи, виражений у відсотках, можна розрахувати за такою формулою:

$$\text{Вміст вологи (\%)} = \frac{W_1 - W_2}{W_2} * 100\%$$

Де:

$W_1$  - Початкова вага означає вагу зразка до сушіння.

$W_2$  - вага випробного зразка після того, як він досяг сталої ваги в печі.

Наприклад,

$$W_1 = 24,3 \text{ г,}$$

$$W_2 = 22,4 \text{ г,}$$

$$\frac{W_1 - W_2}{W_2} * 100 = \frac{24,3 - 22,4}{22,4} * 100 = 8,5 \%$$

Для забезпечення точності вимірювань рекомендується використовувати сушильний апарат з вагами. Цей пристрій дозволяє контролювати процес сушіння і одночасно зважувати зразки. Оскільки деревина має здатність вбирати вологу з навколишнього середовища, важливо виконувати процедуру вимірювання без зайвих затримок.

Перед використанням вимірювальних приладів для зразків, рекомендується провести перевірку їх точності. Це можна зробити шляхом висушування кількох пробних зразків, і порівняти отримані дані з відомими значеннями сухої маси цих зразків. Якщо показання вимірювальних приладів

					<b>AK-9119.14.20.00.00ПЗ</b>	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

відповідають очікуваним значенням, то їх можна використовувати для подальших вимірювань.

#### 2.1.4. Міцність деревини на розрив

Для визначення міцності деревини на розрив, необхідно провести тестування розтягу принаймні трьох зразків у поздовжньому напрямку (паралельно волокнам) та трьох зразків у поперечному напрямку (перпендикулярно волокнам) кожної випробувальної дошки. Для цього використовується вимірювальна машина для випробувань на розтяг, яка дозволяє точно виміряти максимальне зусилля, яке може витримати деревина перед розривом.

Цей процес включає застосування розтягуючої сили до зразків деревини, поступове збільшення сили до моменту розриву, та реєстрацію цього зусилля за допомогою вимірювальної машини. Таким чином, отримуються дані про максимальне зусилля на розрив у поздовжньому та поперечному напрямках деревини. [8]

Виконуючи тест на розтяг, можна визначити міцність деревини на розрив і отримати важливу інформацію про її стійкість та здатність витримувати навантаження у різних напрямках. Це допомагає врахувати механічні властивості деревини при проектуванні та будівництві, забезпечуючи безпеку та надійність конструкцій.

Для визначення міцності різних порід деревини надаються конкретні мінімальні вимоги до міцності. Ці вимоги відрізняються в залежності від породи деревини.

Породи деревини	Міцність на розрив	Міцність склеювання
-----------------	--------------------	---------------------

	Поздовжній напрямок волокон	Поперечний напрямок волокон	Поздовжній + поперечний напрямки волокон	Вологих зразків після 24 або 48 годин поливу або 3 годин кип'ятіння
Береза, вільха бук та матеріали зі схожими властивостями	700 кг/см <sup>2</sup>	450 кг/см <sup>2</sup>	1400 кг/см <sup>2</sup>	20 кг/см <sup>2</sup>
Габон, Тополь та матеріали зі схожими властивостями	450 кг/см <sup>2</sup>	300 кг/см <sup>2</sup>	900 кг/см <sup>2</sup>	
	для зразків товщиною більше 3 мм допустимі менші значення в межах 10% запасу			Індивідуальні значення можуть бути менші за 10% зазначеного вище

Таб. 2.1.2 Мінімальні вимоги до міцності деревини

## 2.2. Клеї

Одним із основних технологічних процесів виготовлення деталей та агрегатів з деревини є склейка. Технологічний процес склеювання визначається умовами застосування клею.

Серед клеїв, які використовують для дерева, одним з найпопулярніших варіантів вважається козеїновий столярний клей, проте, сучасна

					<b>AK-9119.14.20.00.00ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		35

промисловість дозволяє використовувати широкий спектр клеїв різного походження, включаючи клей на основі сечовини (наприклад, карбамід-формальдегідну смолу), клей на основі фенолу (на основі фенолу-резорцину), клей на основі ізоціанату та клеї з відновлюваних ресурсів (наприклад, сої, лігніну тощо).[5]

Поява клеїв на основі синтетичної смоли спричинила революцію в дерев'яному авіабудуванні. Ці клеї внесли суттєві удосконалення в галузь, забезпечивши чудову вологостійкість і створивши кращі з'єднання між поверхнями. Можливість укласти деревні волокна в бажаному напрямку в поєднанні з доступністю різних типів деревини перетворили концепцію однорідної та практичної структури деревини в реальність. [9]

### 2.3. Висновки до розділу

У даному розділі були проаналізовані основні вимоги до якості деревини. Ключову роль у процесі виготовлення авіаційних компонентів з дерев'яних БК відіграє процес сортування. Відповідно до стандартів [8] [18], згаданих у розділі, особлива увага приділяється таким характеристикам, як зовнішній вигляд матеріалу, щільність, структура та орієнтація волокон, а також стійкість до пошкоджень. Вологість деревини має великий вплив на процес з'єднання та взаємодію компонентів, а також на фізичні та механічні властивості кінцевого матеріалу. Контроль вологості під час процесу виготовлення є важливим аспектом для забезпечення стабільності та якості біокомпозитів. Для досягнення та контролю допустимих значень застосовуються сушильні апарати. Склейка є важливим технологічним процесом виготовлення деталей з деревини, і на сьогоднішній день для досягнення необхідних результатів використовуються різні типи клеїв, що забезпечують вологостійкість та надійне з'єднання поверхонь, забезпечуючи стійку та практичну структуру.

					<b>AK-9119.14.20.00.00ПЗ</b>	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

### 3. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ БІОКОМПОЗИТУ НА ОСНОВІ ШПОНУ ЯСЕНЮ

#### 3.1. Виготовлення зразків композиту

Для виготовлення композиту ми будемо використовувати ясеневий шпон високої якості та поліуретановий клей. Таке поєднання дозволить нам удосконалити міцність ясеневого дерева, створюючи новий матеріал з більш структурою та досконалішими властивостями.

Дотримуючись рекомендацій з попереднього розділу, дерев'яний шпон має пройти попередню обробку. Для забезпечення кращого зчеплення матеріалів, необхідно очистити поверхню деревини. Використання компресору дозволяє позбутися від пилу та інших забруднень, що можуть знаходитися на поверхні. Після механічної очистки, шпон має бути знежиреним за допомогою ацетону чи спиртового розчину "646". Таким чином, деревина буде очищена як від пилу, так і від інших хімічних речовин.

Враховуючи час полімерізації поліуретану, визначається максимальний обсяг шпонових стрічок, які можна використати для одного закладання БКу, в нормальних умовах кількість стрічок становить 20-22 штуки, цього достатньо для отримання композиту з товщиною 10 мм (запас товщини використовується для подальшої обробки з урахуванням зняття шару матеріалу).

Розчин поліуретану марки "PU TIMBER MAX" та ацетону в пропорціях 1:1 дозволяє значно легше нанести клеєвий розчин на поверхню шпону та позбутися залишкової полімерізації і витрат клею. Також, для більш швидкого та якісного нанесення, доцільно використовувати валик. Це дозволить промочити деревину та забезпечити тонке і рівномірне покриття.

Важливо зазначити, що шпон з одного комплекту, містить як однаковий напрям волокон, так і однакові механічні пошкодження, як, наприклад, розриви. Для того, щоб забезпечити кращу міцність матеріалу, можна

					AK-9119.14.20.00.00ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

впливати на розміщення волокон, шляхом перевертання та зміни напрямку наступного шару шпону, що накладається.

Для щільнішого з'єднання композиту, використовуємо пресування та стиснення композиту, що забезпечує максимальне зчеплення матеріалу та полімеризації клею.

Через 24 години, композит придатний для подальшої обробки. Зразки, що були виготовленні під час цього дослідження, проходили обробку на рейсмусі, зі зніманням зайвого шару матеріалу та вирівнюванням поверхні. Таким чином, був отриманий бажаний зовнішній вигляд та текстура.



Рисунок 3.1 Зразок ясеневого біокомпозиту

### **3.2. Лабораторні випробування фізичних характеристик матеріалу**

Для перевірки властивостей матеріалу, необхідно провести лабораторні дослідження. Для цього підготуємо зразки для випробувань. Збільшення товщини композитного матеріалу можна досягти шляхом поєднання двох або більше готових композитних дошок. Щоб отримати зразок товщиною близько

					AK-9119.14.20.00.00ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		38

20 мм, ми можемо скомбінувати дві композитні дошки. Процес поєднання схожий на створення композиту – спочатку поверхні дошок слід підготувати. Це включає шліфування, очищення та нанесення клеєвого розчину для забезпечення міцного зчеплення.

Наступним кроком дошки розміщуються відповідно до бажаного розташування та зчеплення поверхонь. Потім, під дією пресу, вони стискаються разом, що забезпечує щільність матеріалу та клею. З отриманого матеріалу, відповідно до попереднього розділу, підготуємо зразки для лабораторних досліджень.



Рисунок 3.2.1 Зразки для дослідження властивостей матеріалу на стиск

Зразок №	Ширша зразка, мм	Довжина зразка, мм	Руйнівне навантаження, N	Міцність на розрив, МПа
1	19,75	20,27	21913	54,74
2	20,16	19,9	21683,5	54,06
3	20,16	19,9	21301	53,125
4	20,16	19,98	20255,5	50,49
5	20,2	20,1	22117	54,485
6	20,15	19,97	22091,5	54,91
7	20,49	19,97	22023,5	53,805
8	20,43	20,29	22720,5	54,825
9	20,35	19,55	19975	50,235
10	20,16	19,91	20910	52,105
11	20,16	20,42	21717,5	54,825
12	20,03	19,95	21369	53,465
13	20,33	19,99	20867,5	51,34
14	20,11	20,02	21964	54,57
15	20,13	20,07	20247	50,15
			Середнє значення:	53,142
			Стандартне відхилення:	2,1

Рисунок 3.2.2 Параметри зразків досліджуваних на стиск





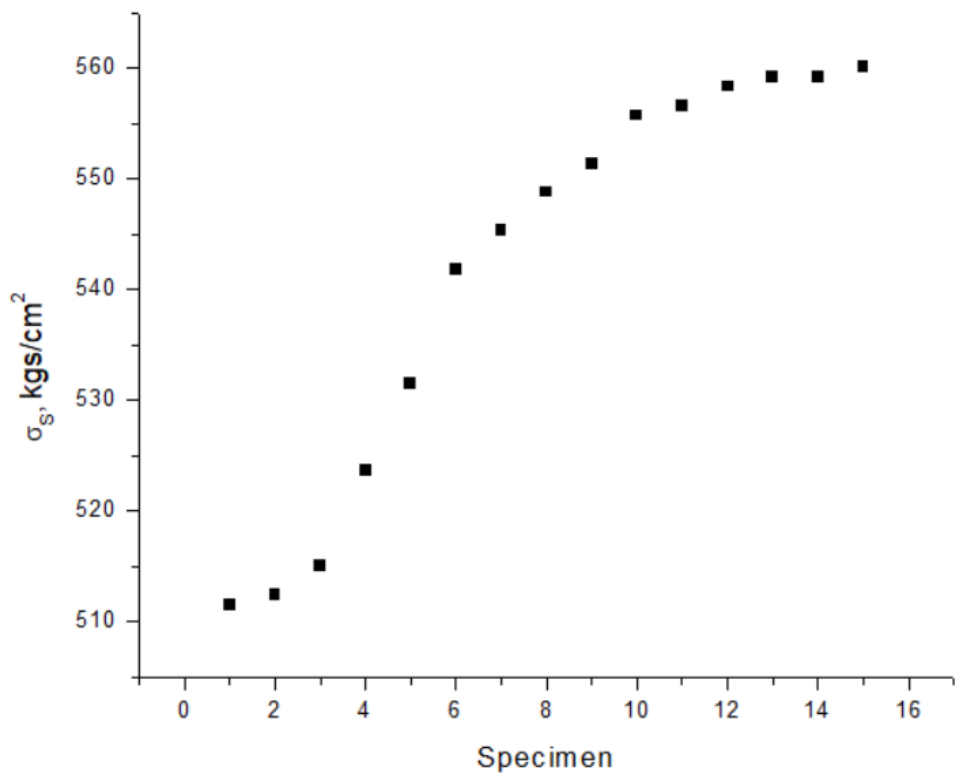


Рисунок 3.3.1 Розподіл напружень зразків на стиск

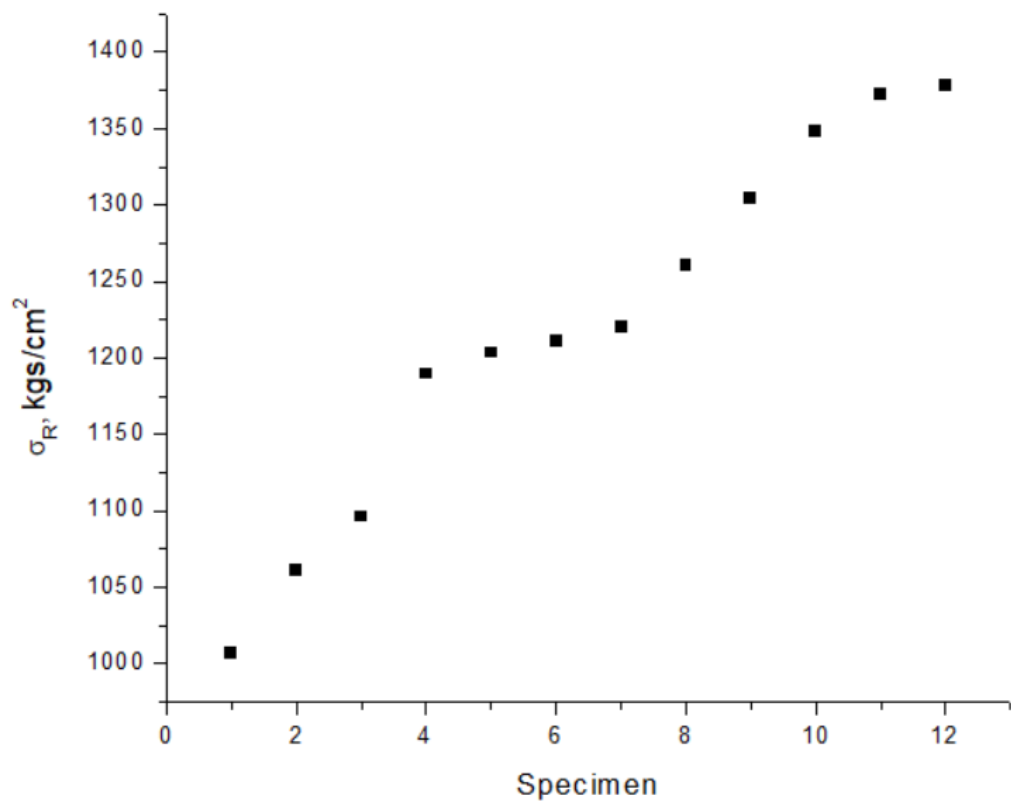


Рисунок 3.3.2 Розподіл напружень зразків на розтяг

Отримані характеристики міцності біокомпозиту, що приймається у розрахунках на міцність:

Стиск:  $\sigma_S = 540 \text{ кгс/см}^2$ ;

Розтяг:  $\sigma_R = 1215 \text{ кгс/см}^2$ .

					<i>AK-9119.14.20.00.00ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		43

# 1. РОЗРАХУНКИ НАПРУЖЕНЬ ЛОНЖЕРОНУ КРИЛА З ВИКОРИСТАННЯМ БІОКОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ

## 4.1. Вхідні дані

Вхідні дані матеріалу для полук лонжерону:

На основі ясеневого переклею:

$$\text{Стиск: } [\sigma_{S_{composite}}] = 540 \text{ кгс/см}^2;$$

$$\text{Розтяг: } [\sigma_{R_{composite}}] = 1215 \text{ кгс/см}^2;$$

На основі переклею бамбуку:

$$\text{Стиск: } [\sigma_{S_{BAMBOO}}] = 600 \text{ кгс/см}^2 ;$$

$$\text{Розтяг: } [\sigma_{R_{BAMBOO}}] = 800 \text{ кгс/см}^2 ;$$

$$\text{Згин: } [\sigma_{зг}] = 1100 \text{ кгс/см}^2 ;$$

$$\text{Модуль Юнга: } E = 9700 \text{ мПа.};$$

Сосна нормальної якості:

$$\text{Стиск: } [\sigma_S] = 350 \text{ кгс/см}^2 ;$$

$$\text{Розтяг: } [\sigma_R] = 830 \text{ кгс/см}^2 ;$$

$$\text{Згин: } [\sigma_{зг}] = 520 \text{ кгс/см}^2 ;$$

$$\text{Модуль Юнга: } E = 9700 \text{ мПа.}$$

Характеристики міцності авіаційної березової фанери, що застосовується як матеріал вставок, прийняті відповідно до [17]:

					AK-9119.14.20.00.00ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

d, мм	n	$\sigma_B,$ кгс/см <sup>2</sup>			$\tau_B,$ кгс/см <sup>2</sup>			$E \cdot 10^{-3}$ кгс/см <sup>2</sup>			$G \cdot 10^{-3}$ кгс/см <sup>2</sup>		$\gamma$
		вз до вж во ло ко н $\sigma_{B_0}$	під 45° $\sigma_{B_45}$	по пе ре к во ло ко н н $\sigma_{B_90}$	вз до вж во ло ко н н $\tau_{B_0}$	під 45° $\tau_{B_45}$	по пе ре к во ло ко н н $\tau_{B_90}$	вз до вж во ло ко н н $E_0$	під 45° $E_{45}$	по пе ре к во ло ко н н $E_90$	вз до вж во ло ко н н $G_0$	під 45° $G_{45}$	
1	3	750	300	450	200	450	250	130	28	65	8	42	0.8
1.5 ...2 .5	3	750	250	450	150	400	200	130	28	65	8	42	0.8
2.5	5	750	300	600	200	400	200	120	30	80	9	45	0.8
3	3	750	250	410	150	350	200	130	28	65	8	42	0.8
3... 4	5	750	300	600	150	350	200	120	30	80	9	95	0.8
5	5	750	300	500	150	350	200	120	30	80	9	45	0.7 7
6	5... 7	700	300	450									0.7 7
10	7... 9	610	300	450									0.7 7

Таблиця 4.1 Характеристики міцності березової авіаційної фанери

## 4.2. Властивості матеріалу

Лонжерони з дерев'яними полицями широко використовуються в конструкції літаків через простоту обробки матеріалу, що дозволяє регулювати площу перерізу полиць для досягнення рівномірності впродовж розмаху крила.

Для конструкції лонжеронів крила найпоширенішим є лонжерон коробчастого типу, який складається з двох полиць, та фанерних стінок. Під час вигину крила верхня полиця працює на стиск, а нижня - на розтяг, тому досить часто верхню полицю лонжерону роблять на 40-50% товщою за нижчу.

Стінки лонжеронів виготовляються з березової фанери товщиною від 1 до 4 мм. Для підвищення жорсткості, зовнішній шар фанери встановлюють таким чином, щоб напрямок волокон проходив під кутом  $45^\circ$  до напрямку полиць. Полиці повинні мати товщину не менше за 10-12 мм, щоб забезпечити надійне приклеювання стінки до полиць.

Для літальних апаратів, що експлуатуються на великих висотах, всередині лонжерону також встановлюють діафрагмові перегородки, що посилюють фанерні стінки конструкції.

Для розрахунку я буду використовувати дволонжеронне крило надлегкого літака CityFly.

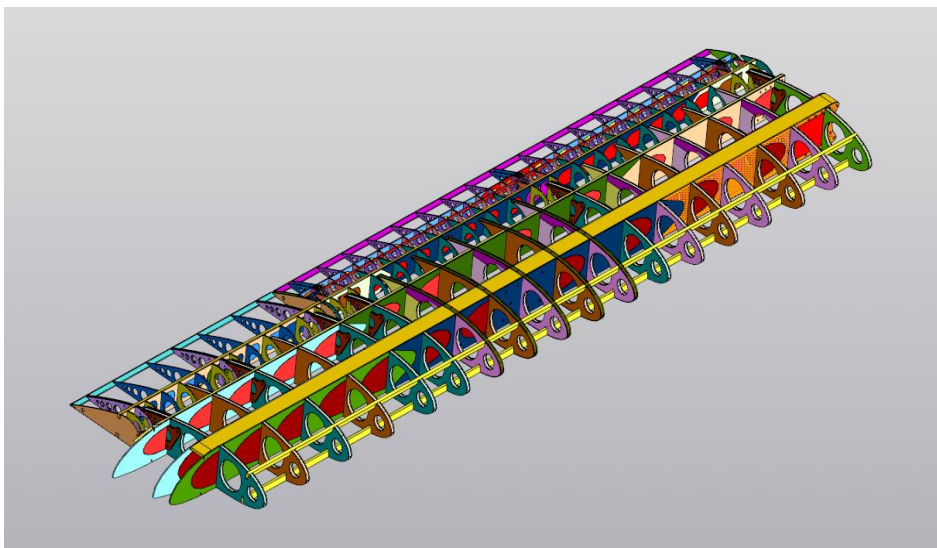


Рисунок 4.2.1 Конструкція правої консолі крила CityFly

					AK-9119.14.20.00.00ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		46

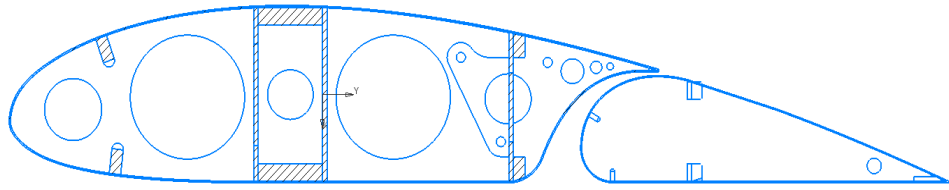


Рисунок 4.2.2 Загальний вигляд профілю крила

Технологічно перший лонжерон розташовується на 15-25% хорди крила, а другий на 50-60%. Нервюри з'єднуються між собою носовим стрингером, лонжеронами та задньою кромкою, утворюючи горизонтальну ферму крила.

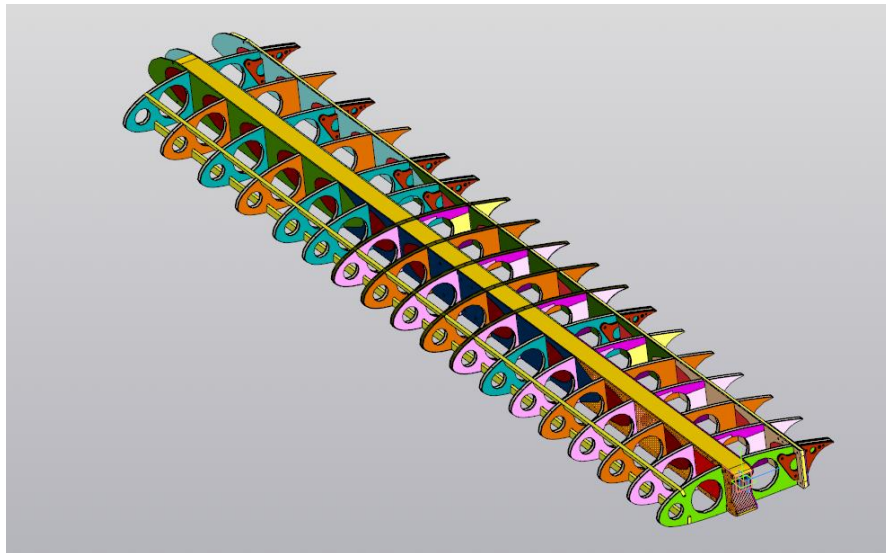


Рисунок 4.2.3 3D модель правої консолі надлегкого літака CityFly

Основні параметри крила вибираються з урахуванням аеродинамічного розрахунку. У розрахунку міцності важливо максимально використовувати висоту обраного профілю, забезпечуючи достатню міцність і жорсткість крила при навантаженнях на згин і кручення. Найбільш вигідне розташування центру жорсткості перерізу крила відповідає рівності крутних моментів, в розрахункових випадках А і В. При цьому відстані від центру жорсткості до рівнодіючих аеродинамічних сил у випадках А і В зворотно пропорційні їх величинам. Таке положення центру жорсткості можна забезпечити шляхом розміщення лонжеронів та підбору величин моментів інерції їх перерізів.

					<b>AK-9119.14.20.00.00ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		47

Основна напруга в лонжероні визначається на основі розрахунку крила. Вторинні напруження враховують втрату стійкості стінки лонжерону від зсуву, наявність отворів у стінці та інших факторів. При втраті стійкості стінки з'являються нормальні напруження в ній.

**Характеристики базового перетину основного лонжерону крила:**

Висота  $H = 14$  см;

Значення ширини полки лонжерону:

Для консольної секції:

$b = 6,616$  см;

$F = 552.9734$  см<sup>2</sup> – площа контуру перерізу консолі крила, яка сприймає крутний момент;

$\delta = 0,1$  см – товщина обшивки.

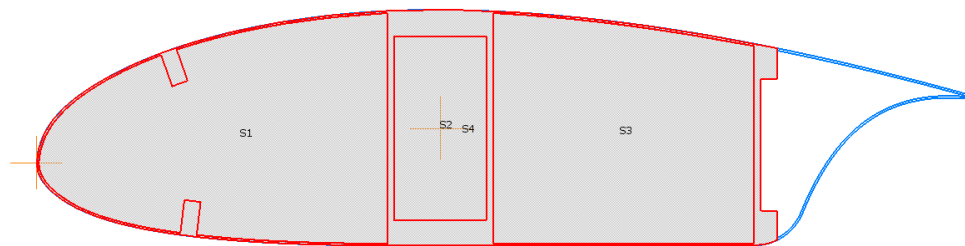


Рисунок 4.2.4 CityFly. Контур перерізу консолі крила, що сприймає кручення

Центр мас:

$X_c = 13.444067$  мм ;  $Y_c = -2.582358$  мм;

В заданій системі координат:

Осьові моменти інерції:

$J_x = 15171908.368255$  мм<sup>4</sup>;

$J_y = 66851768.522596$  мм<sup>4</sup>;

Центробіжний момент інерції:  $J_{xy} = -484843.200313$  мм<sup>4</sup>;

В головній системі координат:

					<b>AK-9119.14.20.00.00ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		48

Осьові моменти інерції:

$$J_x = 15135707.905485 \text{ мм}^4;$$

$$J_y = 65922411.062828 \text{ мм}^4$$

Кут нахилу головних осей:  $A = 359^\circ 39' 17.278193''$  ( $359.654799^\circ$ ).

Оскільки в ході проробок конструкції консолі крила хвостова частина робочої обшивки консолі повинна мати технологічні вирізи для встановлення навіси закрилків і елеронів для забезпечення потреб в жорсткості, має сенс виключити цю частину перерізу в визначення характеристик типового перерізу крила.

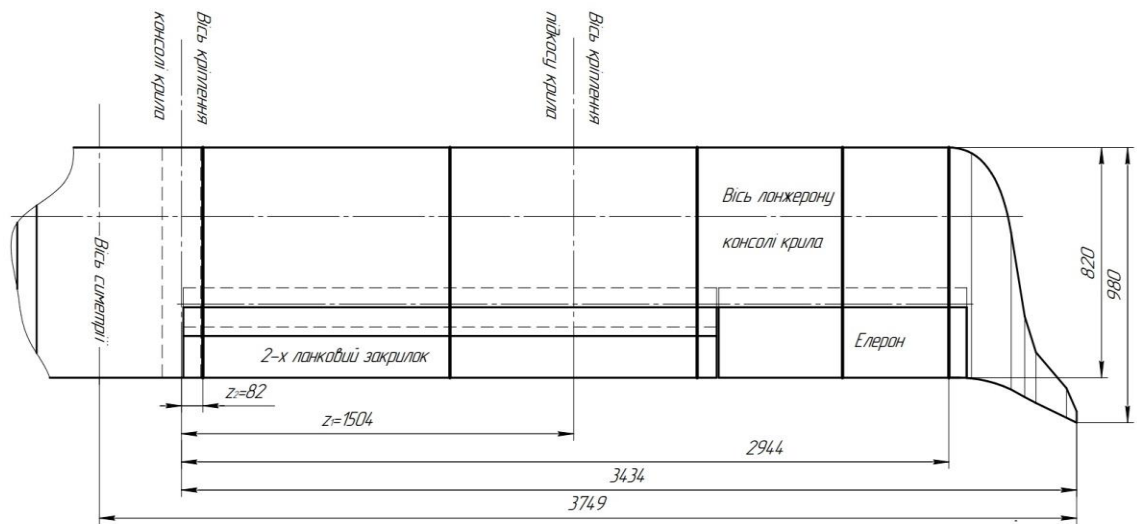


Рисунок 4.2.5 Розміщення перерізів консолі крила

Типовий переріз консолі крила з характерними розмірами, яке сприймає аеродинамічне навантаження приведене нижче:

					AK-9119.14.20.00.00ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		49



Нормальне напруження зрізу:

Зусилля на зріз сприймаються стисненням стінок коробчастого лонжерону (з урахуванням авіаційної фанери товщиною 4 мм, і висотою 140 мм) з площею поперечного перерізу:

$$F_{st} = 2 * 0,4 * 14 = 11.2 \text{ см}^2;$$

$$\sigma_{calcq} = \frac{Q_{calcq}}{F_i} = \frac{1119}{11.2} = 99.91 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2};$$

Умова міцності на зріз (зусилля сприймаються поздовжніми волокнами стінок лонжерона, оскільки стінка лонжерона, виконана із авіаційної фанери товщиною 4 мм<sup>2</sup>, має вертикально розташовані волокна зовнішніх шарів):

$$\sigma_{calcq} < [\sigma_s] ;$$

$$99.91 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} < \frac{700 \text{кгс}}{\text{см}^2}.$$

Умова міцності на зріз виконується.

Навантаження від згину:

$$\sigma_{calc_m} = \frac{81618}{203.3768} = 401.3 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2};$$

де:

$$W_x = \frac{J_x}{y_{max}} = 203376.8 \text{ мм}^3 = 203.3768 \text{ см}^3 - \text{момент опору перерізу.}$$

Умови міцності на згин:

**Верхня полиця (стиск):**

$$401,3 \text{ кг/см}^2 < 540 \text{ кг/см}^2;$$

**Нижня полиця (розтяг):**

$$401,3 \text{ кг/см}^2 < 1215 \text{ кг/см}^2;$$

Умови міцності виконуються для обох полиць.

					<b>AK-9119.14.20.00.00ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		51



$$\sigma_{calc M} = \frac{M_{x_{calc}^*}}{W_x} = \frac{51997,5}{203,38} = 255,67 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2};$$

де:

$$M_{X_{MAX_{CALC}^*}} = f_{CALC} * M_{X_{MAX}^*} = 1,5 * 34665 = 51997,5 \text{ кгс*см};$$

$$M_{X_{MAX}^*} = 346,65 = 34665 \text{ кгс*см};$$

Загальні значення напружень, діючих в полицях лонжеронів і виконання умов міцності:

**Верхня полиця (стиск):**

$$\sigma_{UP\_CALC} = |\sigma_{CALC_M} + \sigma_{SL\_CALC}| < [\sigma_S];$$

$$515,8 \text{ кг/см}^2 < 540 \text{ кг/см}^2;$$

**Нижня полиця (стиск):**

$$\sigma_{UP\_CALC} = |\sigma_{CALC_M} + \sigma_{SL\_CALC}| < [\sigma_S];$$

$$15,7 \text{ кг/см}^2 < 540 \text{ кг/см}^2;$$

Епюра напружень, викликана вигином і стиском в розглянутому розрахунковому перерізі:

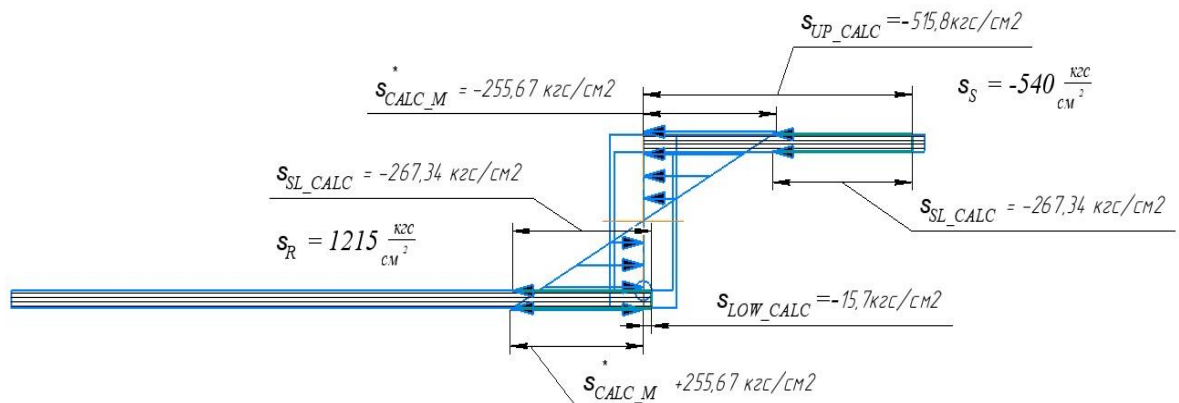


Рисунок 4.3.2 Епюра напружень викликана вигином і стиском по висоті лонжерона

#### 4.4. Переріз z=82 мм

##### Переріз z = 82 мм (кореневий переріз крила)

Переріз крила, розташований на відстані z = 82 мм від вісі вузлів навіски консолі крила характеризується максимальним значенням крутного моменту

Mz і згинаючого моменту Mu момента відносно вертикальної вісі.

										Арк.
										53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	AK-9119.14.20.00.00ПЗ					



$$z = 82 \text{ мм}$$

Зусилля стиску лонжерону в перерізі  $z = 82$  мм аналогічно значенню діючому в перерізі  $z = 1504$  мм (експлуатаційне значення  $S_{LE} = 2802$  кгс).

Розрахункове напруження від стискаючої сили  $S_{LE}$ , що сприймається полицями на основі:

1. бамбуку

$$\sigma_{S_{L\_CALC}} = \frac{f_{CALC} * S_{L\Sigma}}{F_{POLKA\Sigma}} = \frac{1.5 * 2802.6}{15.7248} = 267.34 \frac{\text{КГ}}{\text{СМ}^2};$$

Умовою міцності при стиску в розглянутому перерізі:

$$\sigma_{S_{L\_CALC}} < [\sigma_{S\_BAMBOO}] \quad 267.34 \frac{\text{КГ}}{\text{СМ}^2} < 609.5 \frac{\text{КГ}}{\text{СМ}^2};$$

Умова виконується.

2. Ясеневого композиту:

Умова міцності при стиску в розглянутому перерізі:

$$\sigma_{S_{L\_CALC}} < [\sigma_{S\_composite}] \quad 267.34 \frac{\text{КГ}}{\text{СМ}^2} < 540 \frac{\text{КГ}}{\text{СМ}^2};$$

Умова міцності виконується.

### Міцність заднього лонжерону у кореновому перерізі

Задній лонжерон виконує допоміжну функцію як технологічна основа для розміщення вузлів навішування закрилків та елерону, фіксації конструктивних елементів системи керування. Проте в кореновому перерізі заднього лонжерону діє стискаюче зусилля  $R_{2L\_X}$ , що сприймається сосновими полицями заднього лонжерону загальною площею  $F_{2L\_POLKA} = 365.486986 \text{ мм}^2 = 3.655 \text{ см}^2$ .

Напруга стиснення в перерізі полиць заднього лонжерону:

$$\sigma_{2L} = \frac{f_{MIN} * R_{2L\_X}}{F_{2L\_POLKA}} = \frac{1.5 * 1144.26}{3.655} = 469.6 \frac{\text{КГ}}{\text{СМ}^2};$$

Умова міцності при стисканні в розрізі (матеріал полиці - сосна, напруга стиснення  $\sigma_s = 350 \text{ кгс/см}^2$ ):

$$\sigma_{2L} < [\sigma_s] \rightarrow 469.6 \frac{\text{КГ}}{\text{СМ}^2} < 350 \frac{\text{КГ}}{\text{СМ}^2}.$$

Не виконується

					<b>AK-9119.14.20.00.00ПЗ</b>	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



## ВИСНОВКИ

Метою даної роботи була розробка біокомпозиту на основі ясеневого шпону та дослідження властивостей матеріалу в конструкції лонжерону крила надлегкого літального апарату. В рамках технічного завдання, було визначено оптимальну технологію виготовлення матеріалу, а його механічні властивості співставлені з іншими видами деревини, що використовуються в авіаційній промисловості.

Технологія виготовлення ясеневі біокомпозитної дошки була ретельно розроблена, враховуючи як якісне сортування матеріалів, так вимоги до виготовлення дерев'яних композитних матеріалів. В процесі роботи, зразки готового матеріалу були досліджені в лабораторних умовах, а всі результати зазначені в пояснювальній записці. За результатами розрахунків, БК показав значно кращі властивості, ніж деревина ясеню. Це дає підстави стверджувати, що така технологія не лише дозволяє створювати нові матеріали, але і поліпшує властивості вже існуючих.

Особлива увага була приділена використанню ясеневих полиць у конструкції лонжерону крила надлегкого літака CityFly. За допомогою порівняльного аналізу з бамбуковими полицями, було встановлено, що, хоча ясеневий БК може мати трохи меншу міцність під дією тиску, він все ж виявляє значно кращі властивості при розтягу. Таким чином, можна сказати, що, витримуючи всі навантаження в СФ, ясеневий біокомпозит може бути повним аналогом композиту на основі бамбуку, або повністю замінюючи його в конструкції, або комбінуючи властивості матеріалів для інших літальних апаратів.

Результати цього дослідження відкривають широкі перспективи для використання ясеневого біокомпозиту в авіабудуванні. Додаткові експерименти та тестування можуть допомогти ще більше покращити властивості цього матеріалу та розширити його застосування в різних галузях промисловості.

					AK-9119.14.20.00.00ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

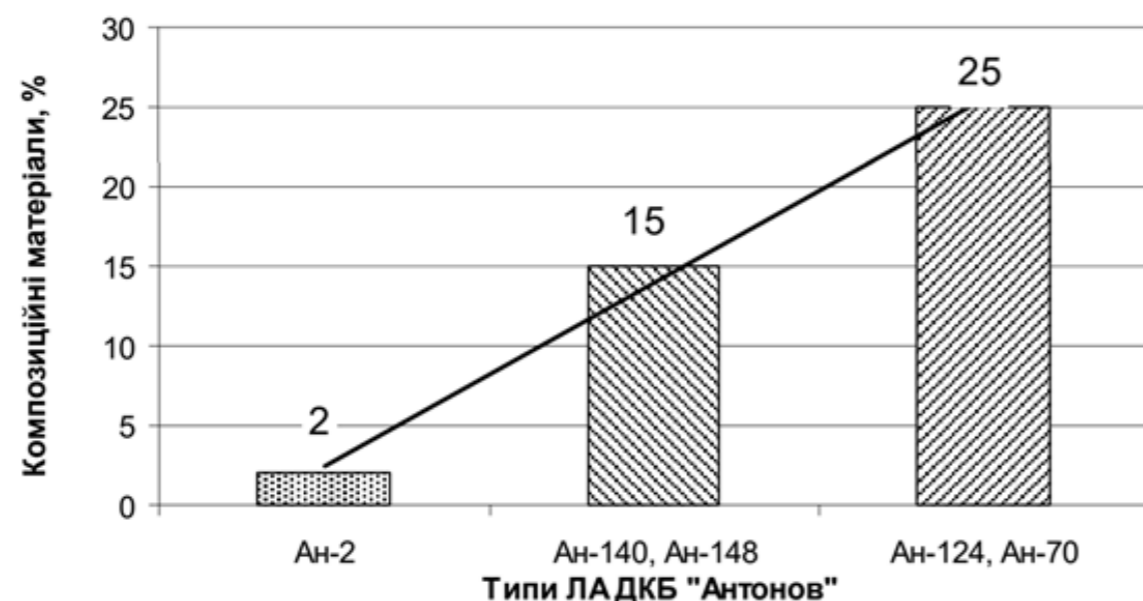
1. Technological Change in British Fighter Aircraft: Wood to Metal, 1918-1926.
2. Інтернет джерело:  
<https://sitkaspruce.nl/touchwood/aircraft/projects/dehavilland-mosquito-aircraft-grade-sitka-spruce-moulds-construction-bulkheads>
3. Kondratiev, A., Slivinsky, M. (2018). Method for determining the thickness of a binder layer at its non-uniform mass transfer inside the channel of a honeycomb filler made from polymeric paper. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6(5 (96)), 42–48. doi:  
<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.150387>
4. Mustafa, L. M., Ismailov, M. B., Sanin, A. F. (2020). Study on the effect of plasticizers and thermoplastics on the strength and toughness of epoxy resins. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 4, 63–68. doi: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-4/063>
5. WOOD-BASED COMPOSITES: PLYWOOD AND VENEER-BASED PRODUCTS, 391-392.
6. Determining the Mechanical Characteristics of Composite Materials Reinforced with Woven Preforms, 41-42.
7. Інтернет джерело: <https://warbirdsnews.com/warbirds-news/worlds-flying-mosquito-flew-today.html>
8. Germanitcher Lloyd. Rules for surveying and testing of Plywood for Aircraft. Edition January 1953.
9. Інтернет джерело:  
<http://www.lightaircraftassociation.co.uk/engineering/TechnicalLeaflets/Building,%20Buying%20or%20Importing/TL%201.14%20Wood%20Information.pdf>

					AK-9119.14.20.00.00ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

10. Інтернет джерело: <https://www.eaa.org/aaa/aircraft-building/builderresources/while-youre-building/building-articles/wood/wood-for-wings>
11. AIRCRAFT WOODS: Their Properties, Selection, and Characteristics
12. Agarwal M., Karthikeyan K., Gupta M.K. Wood Handbook: Wood as an Engineering Material. Forest Products Laboratory, United States Department of Agriculture, 2010.
13. Аналіз існуючих композитних матеріалів та оцінка їх застосування у конструкціях планерів літальних апаратів військової авіації України / О. ДОБРИДЕНКО, О. СКЛЯР, В. ТУРЧИН, Р. БЄЛІНСЬКА. // Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації. – 2012. – №15. – С. 146–152.
14. Інтернет джерело: <https://technologystudent.com/joints/composit1.html>
15. End-Grained Wood-Polyurethane Composites, 1 Synthesis, Morphology, and Characterization doi: 10.1002/mame.200400113
16. Activation of wood surfaces for glue bonds by mechanical pre-treatment and its effects on some properties of veneer surfaces and plywood panels. DOI: [10.1016/j.apsusc.2004.03.230](https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2004.03.230)
17. SFS 2413 quality requirements for appearance of plywood with outer plies of birch.
18. ДСТУ EN 350-2:2004 Стійкість деревини та виробів з деревини. Природна стійкість суцільної деревини.

					<b>AK-9119.14.20.00.00ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		59

# Використання композитних матеріалів в конструкціях ЛА



*Деревина, що використовується в авіабудуванні*



*Ялина*



*Сосна*



*Бальса*



*Ясен*

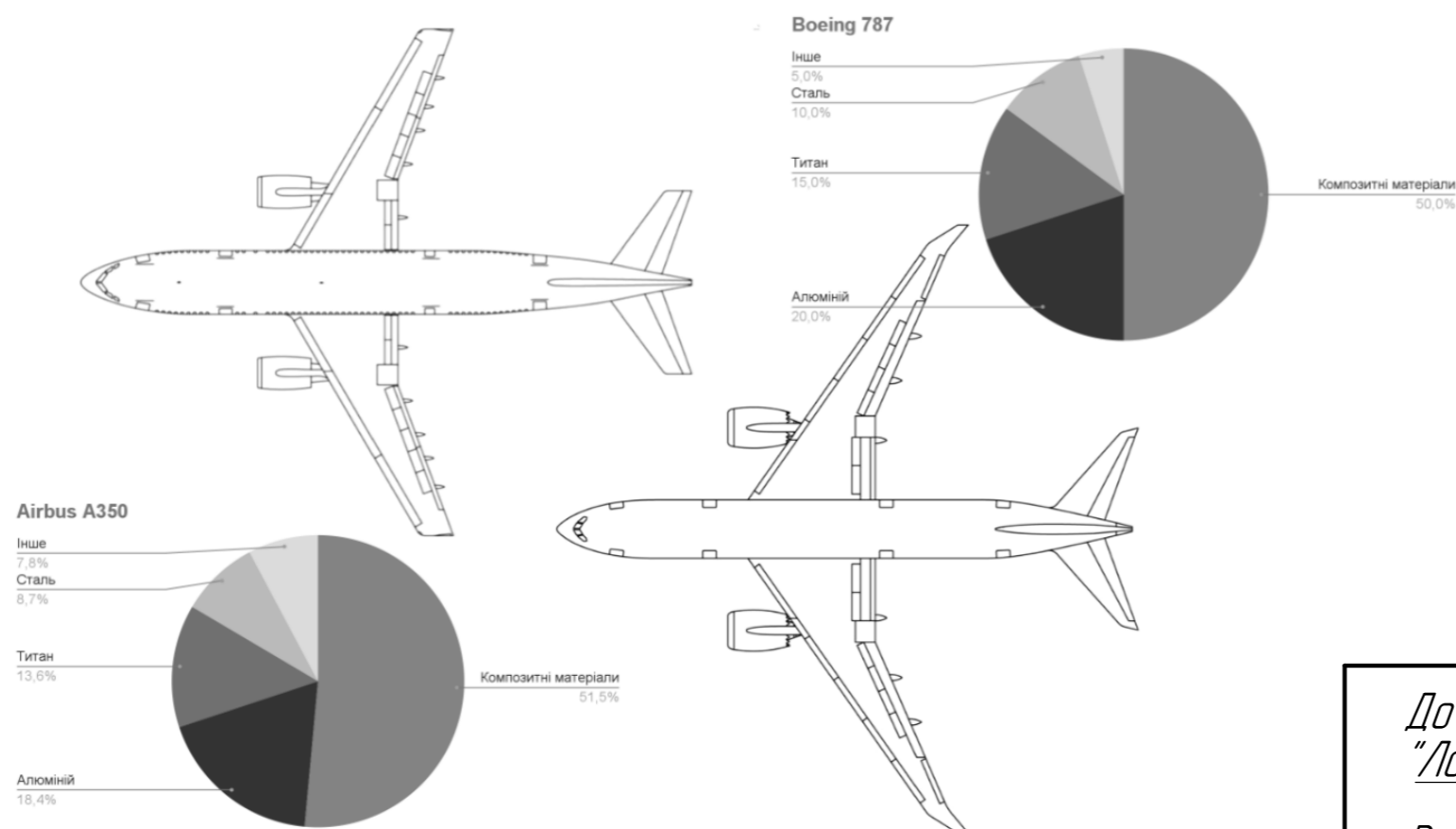


*Береза*



*Бамбук*

*Динаміка застосування КМ*



*До дипломного проекту бакалавра на тему "Лонжерон крила надлегкого літака з біокомпозитних матеріалів"*

*Виконала студентка Римжа А.М.*

*групи АК-91*

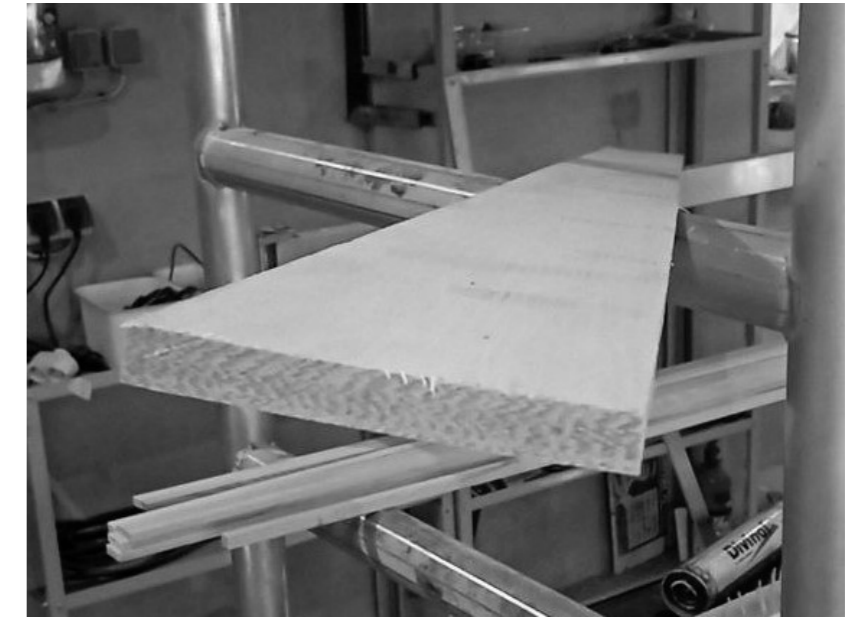
*Керівник Зінченко Д.М.*

# Дослідження біокомпозитного матеріалу



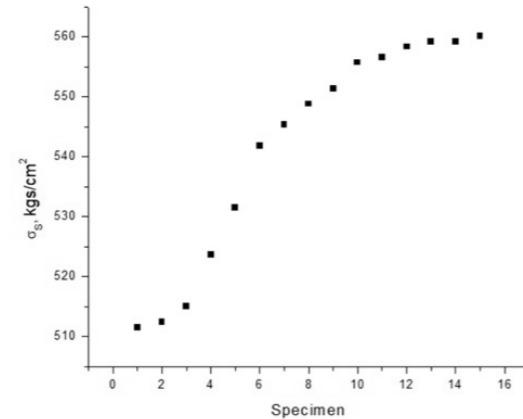
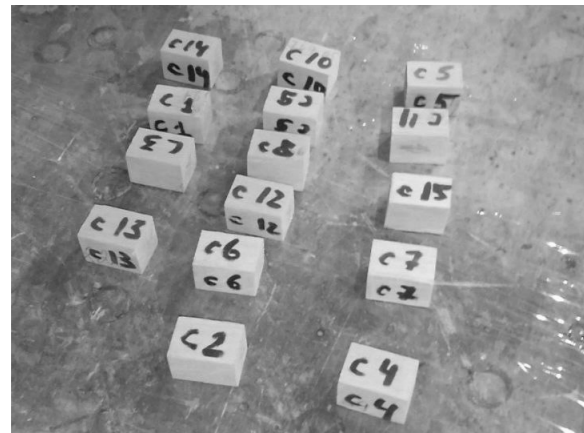
## Технологія виготовлення

1. Попередня підготовка матеріалу
2. Нанесення клеєвого розчину
3. Пресування
4. Обробка



## Результати лабораторних випробувань

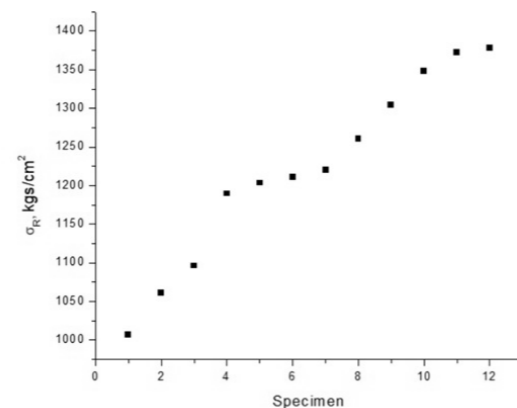
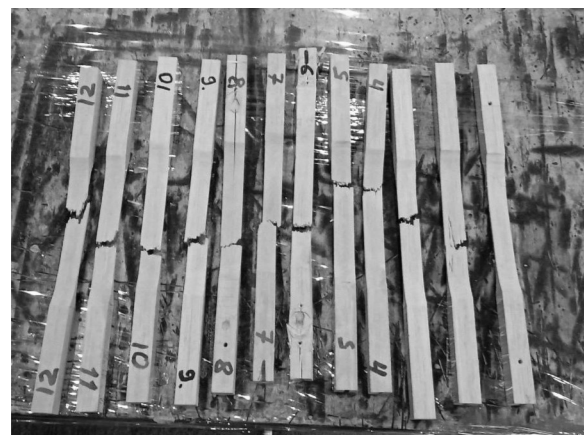
Стиск



За результатами даних з лабораторії було побудовано відповідні графіки, де акцентуємо увагу на середніх значеннях зразків. Таким чином, ми визначаємо напруження випробовуваного матеріалу на стиск та на розтяг.

Характеристики міцності	дерева ясеню	ясеневого біокомпозиту
Напруження на стиск	400 кгс/см <sup>2</sup>	→ 540 кгс/см <sup>2</sup>
Напруження на розтяг	1100 кгс/см <sup>2</sup>	→ 1215 кгс/см <sup>2</sup>

Розтяг



Порівнюючи ясеню та отримані результати для ясенєвого композиту, можна зробити висновок про процес поліпшення властивостей вже існуючого матеріалу.

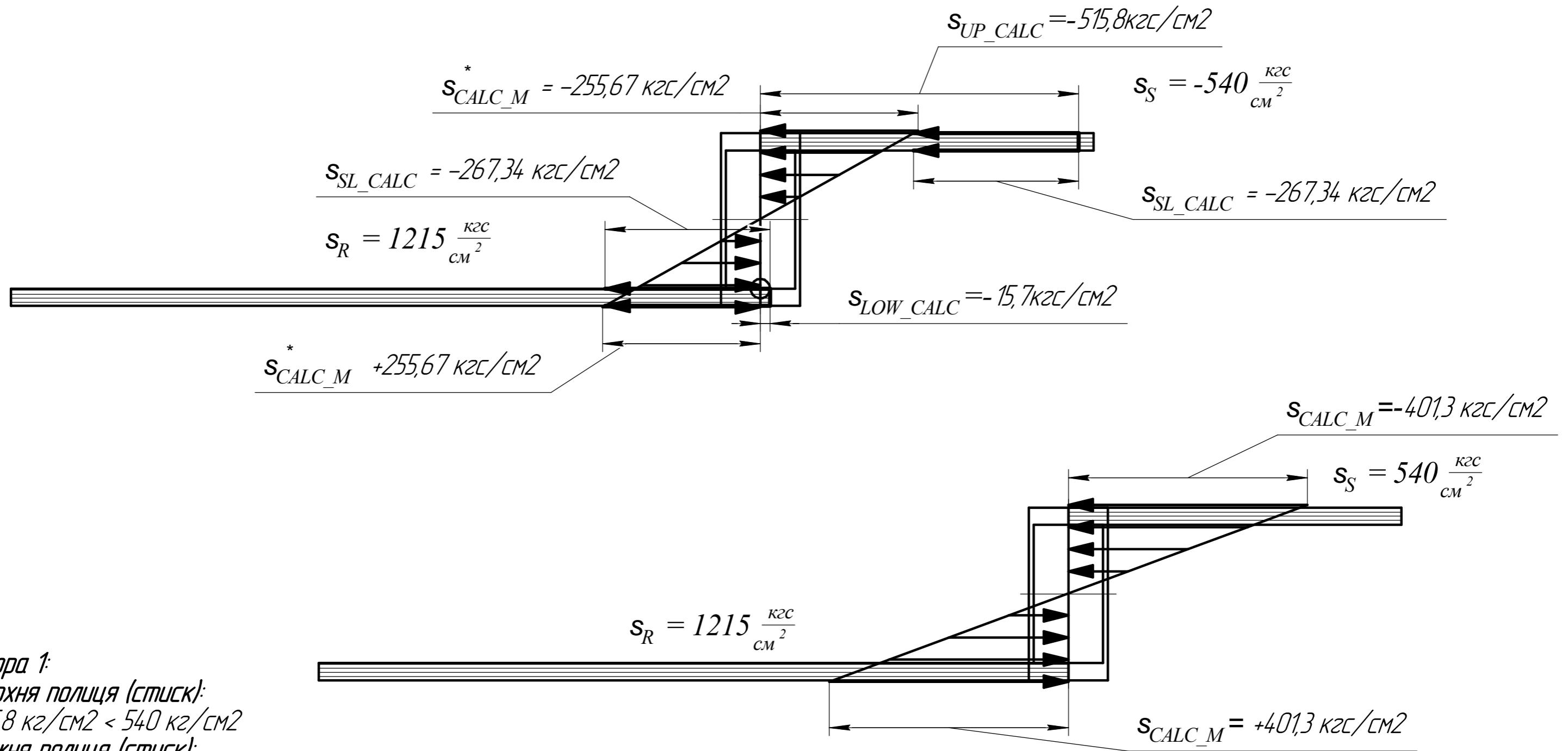
До дипломного проєкту бакалавра на тему  
"Лонжерон крила надлегкого літака з біокомпозитних матеріалів"

Виконала студентка Римжа А.М.

групи АК-91

Керівник Зінченко Д.М.

# Напруження по висоті лонжерону



Еюра 1:  
 Верхня полиця (стиск):  
 $515,8 \text{ кгс/см}^2 < 540 \text{ кгс/см}^2$   
 Нижня полиця (стиск):  
 $15,7 \text{ кгс/см}^2 < 540 \text{ кгс/см}^2$ ;

Еюра 2:  
 Верхня полиця (стиск):  
 $401,3 \text{ кгс/см}^2 < 540 \text{ кгс/см}^2$ ;  
 Нижня полиця (розтяг):  
 $401,3 \text{ кгс/см}^2 < 1215 \text{ кгс/см}^2$ ;

До дипломного проекту бакалавра на тему  
 "Лонжерон крила надлегкого літака з біокомпозитних матеріалів"

Виконала студентка Римжа А.М. групи АК-91  
 Керівник Зінченко Д.М.

AK-1919.14.20.00.01TK

Перв. примен.

Справ. №

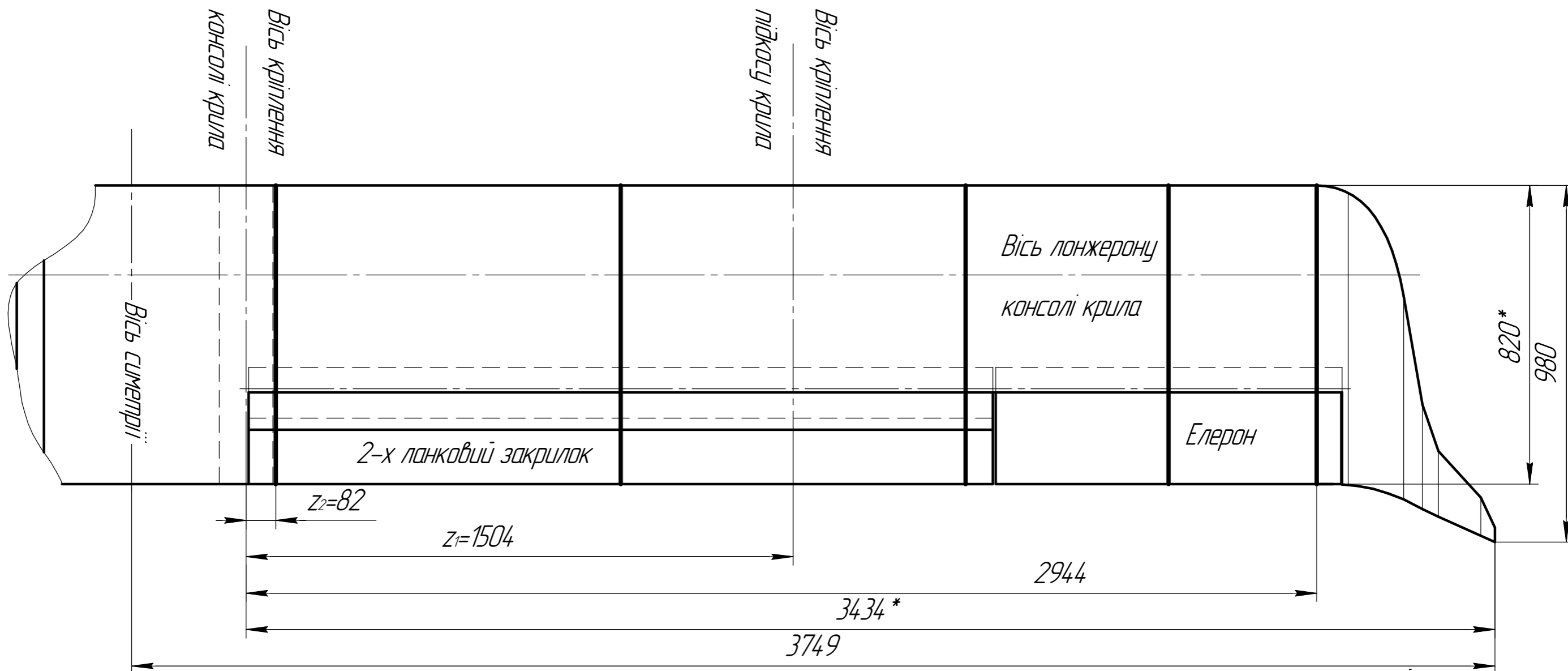
Подп. и дата

Инд. № дробл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инд. № подл.



1. \* Розміри для довідок.

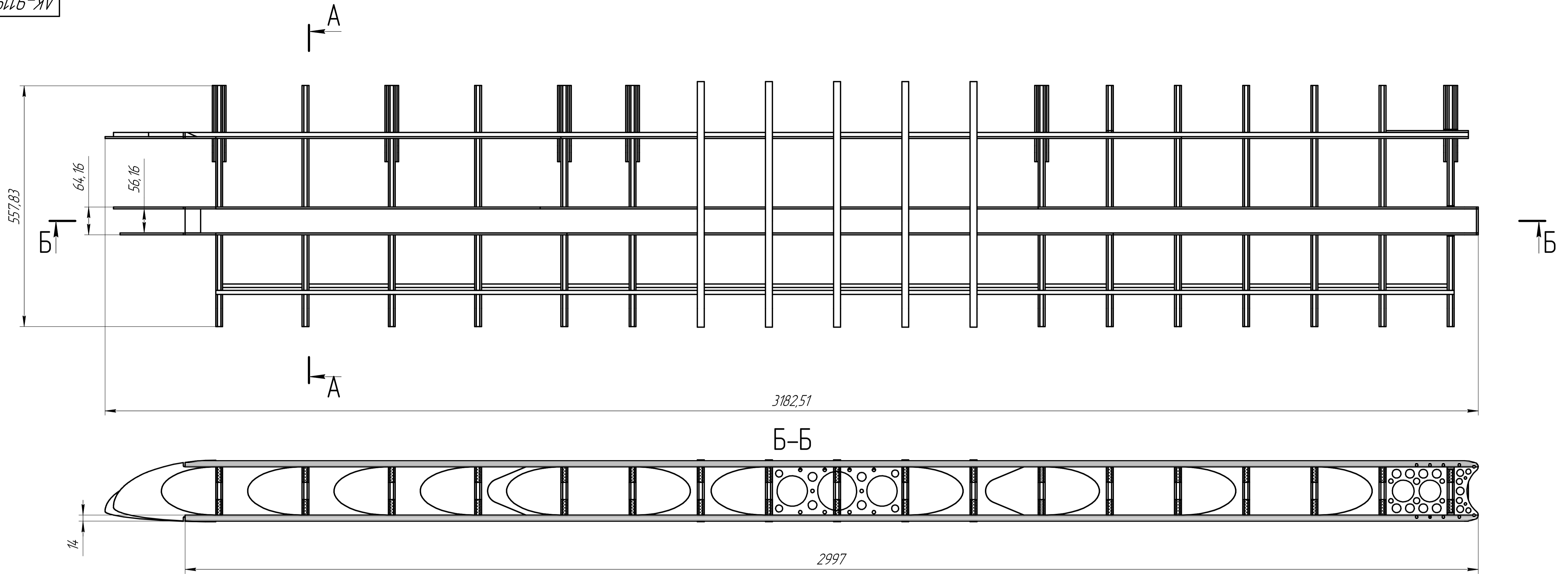
Переріз 1:  
 $z_1 = 1504$  мм (кріплення підкосу крила)

Переріз 2:  
 $z_2 = 82$  мм (кореневий переріз крила)

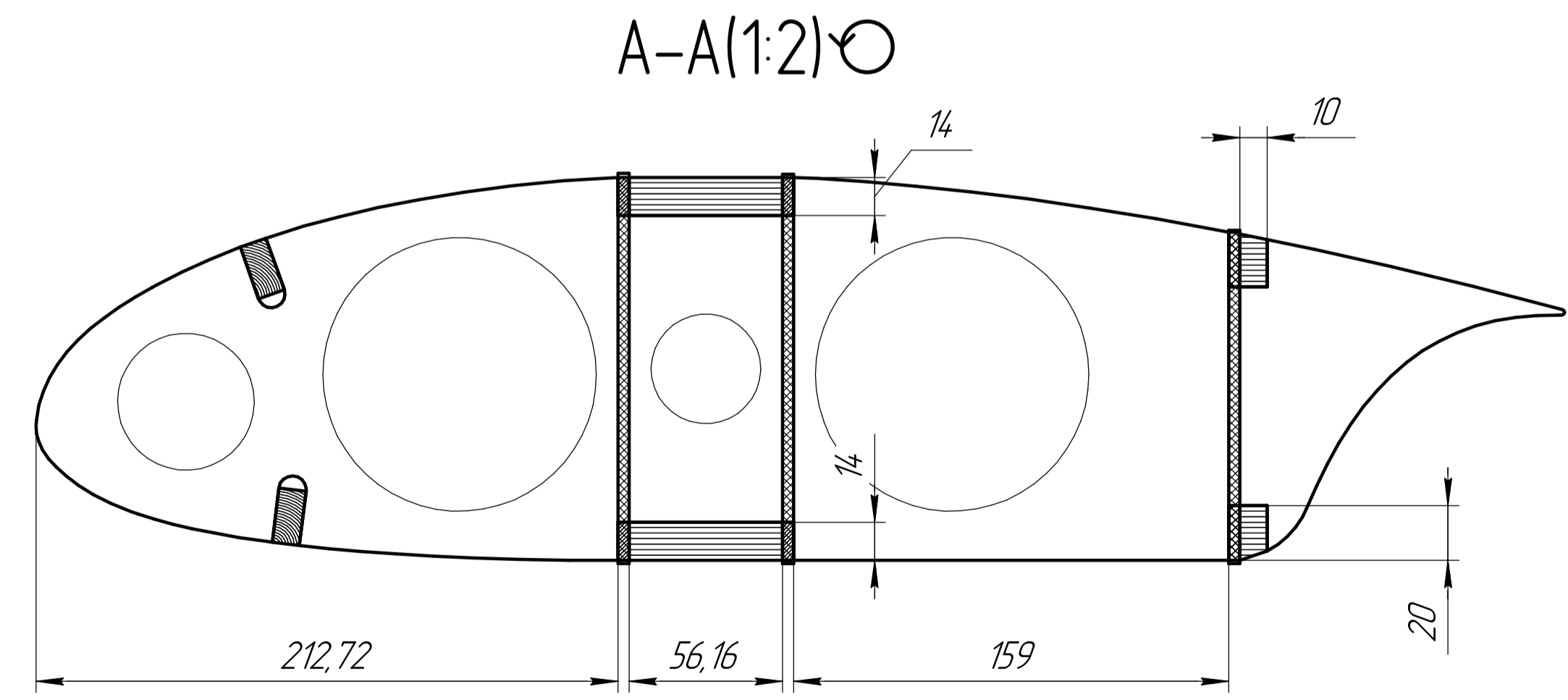
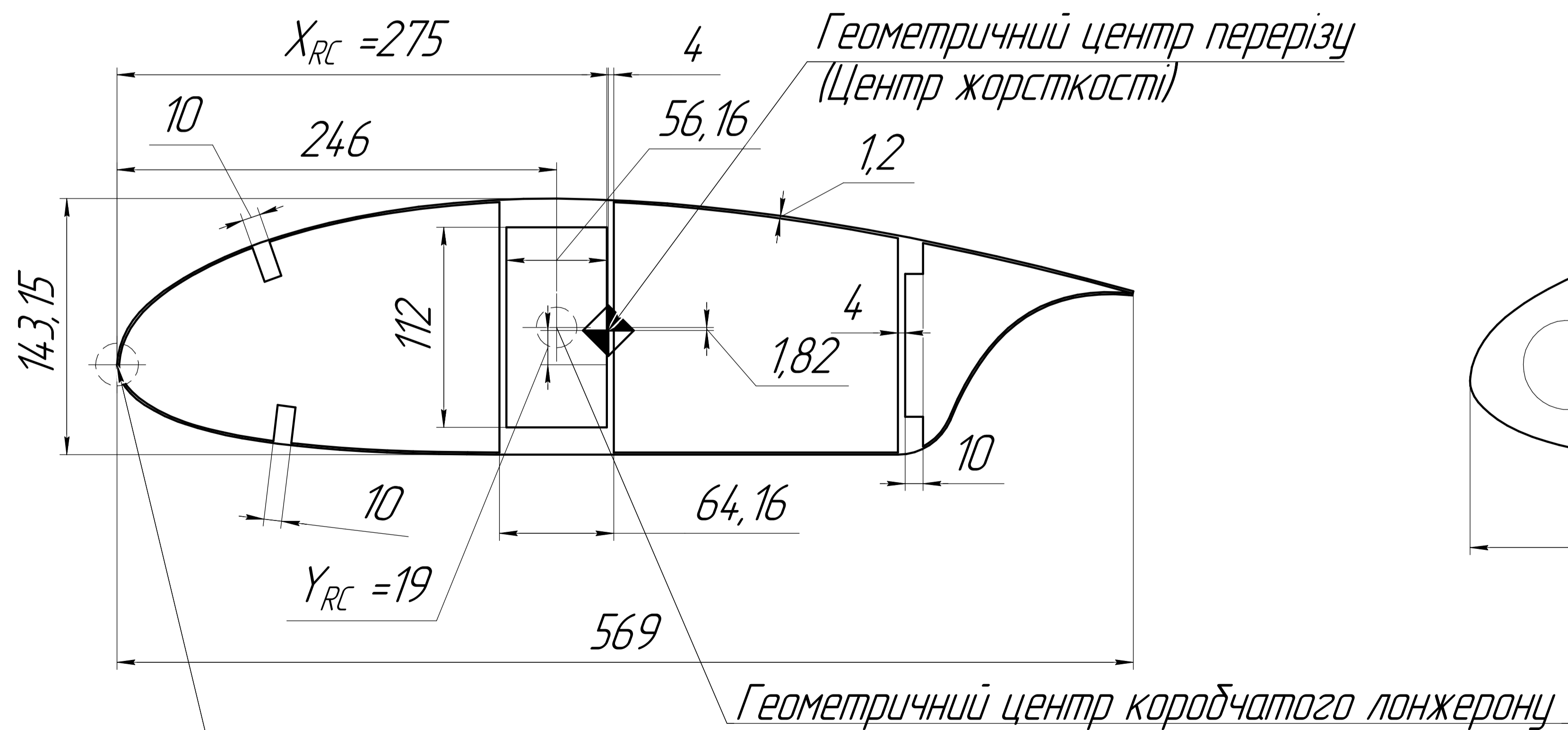
				AK-1919.14.20.00.01TK				
Изм.	Лист	№ док.м.	Подп.	Дата	Теоретичний кресленник консолю крила	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Римжа А.М.							1:15
Проб.	Зінченко Д.М.					Лист	Листов	1
Т.контр.						КПІ ім. Ізгоря Сікрського Каф. КІ АК-91		
Н.контр.	Ларьков С.М.							
Утв.	Маринешенко О.П.							

Копировал

Формат А3



*Типовий переріз консолі крила*



*т. О носка профілю типового перерізу крила*

AK-9119.14.20.00.02				Лист	Маса	Масштаб
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	18,5	1:5
Разраб.	Римжа А.М.				Листов 1	
Проб.	Зінченко Д.М.				КПІ ім. Ігоря Сікорського	
Т.контр.					Каф. КІ	
Исполн.	Ларьков С.М.				AK-91	
Утв.	Розкоженко О.П.				Формат А1	

Копіював

Лист № 1  
Лист № 2  
Лист № 3  
Лист № 4  
Лист № 5  
Лист № 6  
Лист № 7  
Лист № 8  
Лист № 9  
Лист № 10  
Лист № 11  
Лист № 12  
Лист № 13  
Лист № 14  
Лист № 15  
Лист № 16  
Лист № 17  
Лист № 18  
Лист № 19  
Лист № 20