

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Механіко-машинобудівний факультет

(факультет)

Кафедра конструювання, технічної естетики і дизайну

(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеня бакалавра**

студентки Карачкової Дар'ї Олександрівни

(ПІБ)

академічної групи 132-21-2 ММФ

(шифр)

спеціальності 132 Матеріалознавство

(код і назва спеціальності)

за освітньою програмою «Промислова естетика і сертифікація матеріалів та виробів

(офіційна назва)

на тему Розробка конструкції та вибір матеріалу виготовлення модульного лежачка з урахуванням ергономічних показників

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	<i>Федоскіна О.В.</i>			
розділів:				
Аналіз стану питання та постановка задач роботи	<i>Федоскіна О.В.</i>			
Функціональний аналіз та моделювання об'єкта розробки	<i>Федоскіна О.В.</i>			
Інженерно- технологічний	<i>Ротт Н.О.</i>			
Експлуатаційний	<i>Федоряченко С.О.</i>			
Рецензент				
Нормоконтролер	<i>Гаркавенко Д.В.</i>			

Дніпро

2025

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
конструювання, технічної
естетики і дизайну
(повна назва)

Сергій ФЕДОРЯЧЕНКО
(прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

« _____ » _____ 2025 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеню бакалавра
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студентці Карачковій Дар'ї Олександрівні академічної групи 132-21-2
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 132 Матеріалознавство

спеціалізації _____

за освітньо-професійною програмою «Промислова естетика і сертифікація матеріалів та виробів»

на тему Розробка конструкції та вибір матеріалу виготовлення модульного лежачка з урахуванням ергономічних показників

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від

№ _____

Розділ	Зміст	Термін виконання
Аналіз стану питання та постановка задач роботи	Досліджено сучасні рішення у сфері меблевих конструкцій для відпочинку, виявлено ергономічні вимоги та поставлені задачі.	
Функціональний аналіз та моделювання об'єкту розробки	Проведено аналіз функцій лежачка, сформовано вимоги до модулів та створено тривимірну модель з урахуванням анатомії тіла користувача.	
Інженерно-технологічний	Обґрунтовано вибір матеріалів для виготовлення конструкції лежачка, враховуючи технологічність обробки, легкість складання та довговічність.	
Експлуатаційний	Оцінено ергономічні властивості та зручність експлуатації модульного лежачка в різних умовах, включаючи внутрішнє та зовнішнє використання.	

Завдання видано _____

(підпис керівника)

Олена ФЕДОСКИНА

(прізвище, ініціали)

Дата видачі _____ 2025

Дата подання до екзаменаційної комісії _____

2025

Прийнято до виконання _____

Дар'я КАРАЧКОВА

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: ___ с., ___ рис., ___ табл., ___ джерел.

Об'єкт розроблення – модульний лежак, призначений для забезпечення зручного положення тіла людини під час відпочинку або тривалого перебування в одному положенні.

Мета роботи – розробка конструкції модульного лежача та обґрунтування вибору матеріалів для його виготовлення з урахуванням ергономічних, експлуатаційних та технологічних вимог, що дозволить підвищити зручність користування, функціональність та відповідність сучасним стандартам дизайну і виробництва.

У кваліфікаційній роботі проведено аналіз і моделювання конструкції модульного лежача з урахуванням ергономічних вимог і експлуатаційних умов. Особливу увагу приділено вибору матеріалів, які забезпечують необхідну міцність, комфорт користування та стійкість до зношування. Встановлено, що використання сталевих елементів і деревинних матеріалів дозволяє досягти балансу між конструктивною жорсткістю, масою та зручністю транспортування. Розроблена конструкція модульного типу передбачає легке складання, зміну конфігурації й адаптацію під різні потреби користувачів. Проведене 3D-моделювання та аналіз просторової геометрії лежача дозволили оптимізувати ключові елементи конструкції з урахуванням навантажень під час використання, що забезпечує її надійність, довговічність і ергономічну ефективність.

Практична значимість роботи полягає у створенні функціонального, ергономічного та технологічного виробу, який може бути реалізований у виробничих умовах для зон відпочинку або побутового користування. Запропонована конструкція лежача дозволяє модульну адаптацію під конкретні потреби користувача, а підібрані матеріали забезпечують міцність, комфорт і простоту в обслуговуванні.

ЗМІСТ

Вступ.....	.....
1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ РОБОТИ.....	.....
1.1 Сучасний стан розвитку меблевих конструкцій з урахуванням ергономіки.....	.....
1.2 Класифікація модульних меблів та їх функціональні особливості.....	.....
1.3 Аналіз конструкцій сучасних лежаків та тенденцій їх розвитку.....	.....
1.4 Матеріали, які застосовують для виготовлення елементів меблів.....	.....
1.5 Постановка задач роботи.....	.....
2 ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТА РОЗРОБКИ.....	.....
2.1 Функціонально-вартісний аналіз.....	.....
2.2 Аналіз потреб користувача та визначення експлуатаційних вимог до конструкції.....	.....
2.3 Створення 3Д моделі модульного лежачка та моделювання МСЕ.....	.....
2.4 Визначення ергономічних характеристик моделі.....	.....
2.5 Висновки за розділом.....	.....
3 ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	.....
3.1 Обґрунтування вибору матеріалів для виготовлення модульного лежачка....	.....
3.2 Технологія виготовлення елементів конструкції лежачка.....	.....
3.3 Етапи складання та контролю якості готового виробу.....	.....
3.4 Висновки за розділом.....	.....
4 ЕКСПЛУАТАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ.....	.....
4.1 Аналіз ефективності використання вибраної конструкції в умовах експлуатації.....	.....
4.2 Розрахунок навантажень на ключові елементи лежачка.....	.....
4.3 Дослідження зносостійкості, стабільності та ремонтпридатності конструкції.....	.....
4.4 Висновки за розділом.....	.....
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	.....
ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА.....	.....

Вступ

У сучасному світі зростає попит на функціональні та ергономічні предмети побутового та спеціалізованого призначення, які враховують потреби користувача, особливості експлуатації та можливості адаптації до індивідуальних параметрів людини. Одним із таких об'єктів є модульний лежак — конструктивно-простий, але функціонально важливий елемент, що широко використовується в медичних, реабілітаційних, туристичних та побутових умовах. Ефективна реалізація такого виробу вимагає поєднання знань у галузях інженерії, ергономіки та матеріалознавства.

Основною проблемою, яка постає при розробці модульного лежака, є необхідність забезпечення одночасно високого рівня комфорту, стійкості до механічних навантажень, довговічності матеріалів та легкості обслуговування. Конструкція повинна відповідати анатомічним контурам людського тіла, сприяти правильному розподілу навантаження на опорно-руховий апарат, зменшувати ризики виникнення точкового тиску та бути адаптованою до змін положення користувача. Крім того, конструктивні елементи повинні бути зручними у транспортуванні, складанні й зберіганні, що особливо важливо для модульних систем.

Важливим аспектом у проектуванні лежака є правильний вибір матеріалу, адже саме він визначає основні експлуатаційні властивості конструкції — міцність, зносостійкість, термічну та вологозахисність, вагу, гігієнічність та екологічність. Не менш важливими є також технологічність обробки матеріалів та їх вартість у контексті серійного виробництва.

Актуальність теми полягає у зростаючій потребі в адаптивних і ергономічних меблевих системах, які можуть застосовуватись у різних умовах експлуатації. У контексті розвитку промислового дизайну, інклюзивного середовища та функціонального облаштування інтер'єрів модульний лежак виступає як приклад поєднання інженерної логіки та користувацько-орієнтованого підходу.

РОЗДІЛ 1.

АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ РОБОТИ

1.1 Актуальні напрямки розвитку дизайну та проєктування меблів для відпочинку

У ХХІ столітті меблі для відпочинку перестають бути просто функціональними об'єктами побуту. Вони перетворились на важливі елементи побуту, які мають задовольняти не лише базові фізичні потреби людини, а також бути естетичними і зручними. Сучасні напрямки в дизайні меблів акцентують увагу на гармонійному поєднанні трьох основних складових: естетики, функціональності та ергономіки.

Модульні лежачки, як елемент меблів для релаксації, повинні забезпечувати максимальний комфорт, адаптуватися до потреб користувача та мають відповідати сьогочасним вимогам до матеріалів і конструкцій.

Протягом останніх десятиліть зберігає стійку популярність мінімалістичний дизайн. Мінімалізм орієнтований на простоту форм і максимальну функціональність, що дуже важливо у контексті створення естетично привабливого та водночас практичного середовища для відпочинку. У випадку з гамаками чи лежачками, мінімалістичний підхід не лише підкреслює конструктивну логіку виробу, а й створює візуальну тишу – простір, у якому панують спокій, гармонія та відсутність візуального перевантаження.

Проєктування модульного лежачка потребує врахування характеристик людського тіла та ергономічних параметрів, які забезпечують комфорт, безпеку і підтримку правильної пози користувача. Надзвичайно важливим є також розуміння способу експлуатації, яка має бути інтуїтивно зрозумілою, легкою у використанні та надійною в експлуатації. Лежачок, завдяки своїй підвісній структурі, створює унікальну форму опори, яка адаптується до

контурів тіла, однак саме це й вимагає точного розрахунку параметрів, аби уникнути викривлення постави або надмірного тиску на окремі зони тіла. При розробці модульного лежачка доцільно орієнтуватися на синтез естетики та функціональності, при якому кожен конструктивний елемент має не лише логічне, але й візуальне обґрунтування.

Окрім ергономіки, вагому роль у процесі проектування відіграє вибір матеріалів. Перевага надається матеріалам, які поєднують довговічність, естетичну привабливість і безпеку для здоров'я. Наприклад, у сучасних розробках використовуються мультишарові фанери, екологічно сертифіковані матеріали, натуральні тканини з високим коефіцієнтом зносостійкості, а також розбірні металеві або дерев'яні каркаси. Усі ці матеріали сприяють створенню продукту з тривалим терміном служби, легкістю догляду та мінімальним впливом на навколишнє середовище [1].

Зростає свідомість споживачів щодо екологічних питань у виробництві. Це сприяє популяризації меблів, виготовлених з натуральних та перероблених матеріалів. Дерево, бамбук, льон та інші природні матеріали не лише створюють затишну атмосферу, але й зменшують негативний вплив на довкілля. Крім того, використання екологічно чистих лаків та фарб підвищує безпеку меблів для здоров'я людини (рис.1.1).



Рисунок 1.1 – DD Recycled гамак, зроблений з перероблених пластикових пляшок

Меблі для відпочинку повинні відповідати вимогам гнучкості та адаптивності. Набирають популярність трансформовані меблі, які можуть змінювати свою форму та функцію залежно від потреб користувача. Це особливо актуально для невеликих житлових просторів, де кожен квадратний метр має значення. Прикладами є складні одно-двомісні лежаки, портативні гамаки та модульні конструкції, які дозволяють ще більш комфортно користуватися меблями.

Інтеграція технологій у меблі для відпочинку відкриває нові можливості для комфорту та зручності. Меблі з вбудованими зарядними пристроями, регулюванням температури підігріву сидіння, освітленням та навіть масажними функціями стають все більш популярними. Такі рішення дозволяють створити комфортний простір, який адаптується до потреб користувача.

Модульний лежак стає відповіддю на ключові виклики сучасного життєвого простору: мінливість потреб, обмеженість площі, екологічна етика та психологічна втома. Саме тому його розробка – це не лише технічне, а й гуманістичне завдання.

1.2 Класифікація модульних меблів та їх функціональність

Модульні меблі – це тип меблів, конструкція яких складається з окремих, автономних елементів (модулів), які можна вільно комбінувати, замінювати, пересувати або трансформувати залежно від потреб користувача та особливостей простору. Кожен модуль виконує певну функцію і може використовуватися як окремо, так і в складі великої конструкції. Це дозволяє створювати індивідуальні рішення в дизайні, що відповідають конкретним вимогам щодо функціональності та вигляду.

Меблі такого типу мають низку практичних переваг, які зумовлюють їхню популярність серед широкого кола користувачів. Однією з головних характеристик є їхня гнучкість у змінних просторових умовах. Можливість легко адаптувати конфігурацію меблів до нових завдань або обставин є особливо цінною у сучасному житті, де житлові площі часто виконують кілька функцій одночасно. Наприклад, м'які модулі можуть упродовж дня використовуватись як диван для відпочинку, а ввечері трансформуватися у повноцінне спальне місце. Такий підхід забезпечує економію простору без втрати комфорту.

Ще однією перевагою модульних систем є їхня ефективність в умовах обмеженої площі. Завдяки можливості змінювати розміщення окремих елементів, користувач має змогу повністю використати навіть найменші приміщення, створюючи зони для роботи, відпочинку або зберігання. Це особливо актуально для міських квартир, студій або приміщень з відкритим плануванням. Крім того, модульні меблі дозволяють створювати інтер'єри, які максимально відображають індивідуальний стиль – користувач може самостійно обирати конфігурацію, кольорову гаму, текстури та матеріали відповідно до власних вподобань (рис.1.2). Завдяки простоті у транспортуванні, монтажі й можливості багаторазового використання, такі меблі також вигідні для комерційного сектору – офісів, тимчасових приміщень або орендованих житлових площ.



Рисунок 1.2 – Шезлонг, що трансформується у різні форми

За конструктивними характеристиками модульні меблі поділяються на фіксовані та трансформовані. Перші мають стабільну структуру та використовуються у незмінному вигляді протягом тривалого часу — прикладом можуть слугувати стандартні шафи чи стелажі. Натомість трансформовані модулі здатні змінювати форму або функцію відповідно до потреб: це, наприклад, столи, які розкладаються у великі обідні поверхні, або дивани з висувними механізмами (рис.1.3). Така конструкція буде оптимальним рішенням для приміщень з обмеженою площею, де важлива кожна деталь і квадратний метр [2].



Рисунок 1.3 – Розкладний стіл, з додатковою панеллю

Ще однією ознакою класифікації є тип з'єднання модулів. Стационарні системи передбачають жорстке фіксування – через гвинтові або пазові з'єднання. Вони зазвичай використовуються у стационарних інтер'єрах, де не передбачено частих змін планування. Швидкознімні або плаваючі з'єднання дозволяють без інструментів змінювати функцію або розміщення елементів меблів (рис.1.4). У таких системах використовують спеціальні фіксатори, кліпси, магнітні елементи або напрямні, що значно спрощують процес перепланування.



Рисунок 1.4 – Лавка з швидкозмінними кріпленнями

Модульні меблі універсальні та технологічно адаптивні для сучасного життєвого простору. Їх класифікація за призначенням, конструкцією, способом з'єднання та матеріалами демонструє багатство варіантів для функціонального та візуально привабливого інтер'єру. Вони не лише відповідають актуальним тенденціям у дизайні, але й виявляються найбільш гнучким інструментом для створення комфортного, мобільного та індивідуального середовища.

1.3 Аналіз ергономічних вимог до лежаків для сидіння й відпочинку

Ергономічні вимоги до лежаків для сидіння й відпочинку є ключовим етапом у процесі їх проектування. Лежаки традиційно асоціюються з легкістю, мінімалізмом і природною адаптацією до форми тіла користувача, однак при створенні сучасних моделей необхідно враховувати не лише естетичну привабливість, а й безпечність, стабільність і комфорт у використанні.

Розміри лежачка має бути достатнім, аби забезпечити горизонтальне розташування тіла, а натяг тканини повторював би природні вигини хребта. Для дорослого користувача оптимальна довжина полотна становить не менше 200–220 см, а ширина – від 130 до 150 см. Це дозволяє розміститися у гамаку як уздовж, так і по діагоналі, що сприяє ергономічному розміщенню тіла. У гамаках подвійного типу ці параметри можуть бути більшими – до 250 см у довжину і 180 см у ширину.

Насамперед, ергономіка каркасу лежачка вимагає відповідності геометричних розмірів конструкції до довжини самого гамака та антропометричних параметрів людини. Враховуючи середню довжину полотна (~200см), довжина каркасу має бути на 20–30% більшою – приблизно 280–340 см – для забезпечення оптимального натягу та уникнення надмірного прогину, який може порушити поставу під час відпочинку.

Висота опорних точок для кріплення гамака в каркасі також має ергономічне значення. Вона визначає глибину посадки тіла в гамаку, а отже – зручність входження та виходу з нього. Рекомендована висота точок підвішування становить 120–150 см від рівня опори (підлоги або землі), що дозволяє досягнути ергономічної висоти посадки лежачка на рівні 40–50 см. Така висота забезпечує комфортне положення для середньостатистичної людини, мінімізуючи навантаження на колінні та тазові суглоби при посадці й вставанні (рис.1.5).

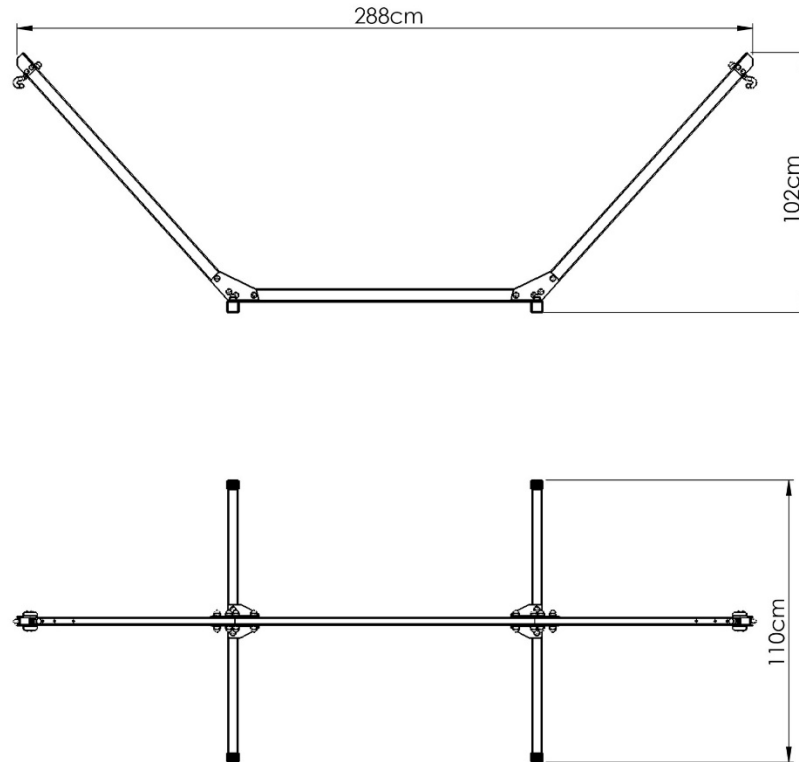


Рисунок 1.5 – Стандартний приклад розмірів середньостатистичного каркасу лежачка

Безпечність гамака передбачає використання високоякісних матеріалів, стійких до розриву та атмосферних умов. Основна частина, що несе навантаження, має витримувати вагу користувача з запасом у 3–5 разів, що є загальноприйнятою практикою у безпековому дизайні. Таким чином, якщо середній користувач має вагу 80 кг, то гамак та його підвісна система повинні розраховуватися на навантаження щонайменше у 240–400 кг. Важливим аспектом є каркас для підвішування гамака: він має забезпечувати жорсткість у трьох площинах – вертикально, горизонтально та по діагоналі, – аби уникнути перекосів і завалювання конструкції при динамічних навантаженнях (розгойдування, зміна положення) [3]. Матеріалом каркасу може бути сталь, алюміній або тверда деревина (дуб, тик, акація). Основні опорні елементи

повинні бути достатньо широкими у підставі, аби рівномірно розподіляти навантаження на ґрунт або підлогу, аби конструкція не ковзала по поверхні.

Таким чином, ергономічні вимоги до гамака включають не лише комфортне положення тіла, а й безпечність, підтримку належної постави, простоту використання та адаптивність до різних сценаріїв відпочинку. Як лежак підвісного типу, гамак у своїй конструкції повинен поєднувати комфорт і стабільність, еластичність і опору, що можливо лише за умови глибокого антропометричного аналізу та точного розрахунку параметрів натягу, висоти, розмірів і матеріалів.

1.4 Матеріали, що використовуються у виробництві модульних лежаків

Основна частина гамака – це тканинне полотно, яке безпосередньо контактує з тілом користувача. Його матеріал має бути приємним на дотик, стійким до навантаження, не розтягуватись надмірно з часом та, за потреби, бути стійким до впливу вологи, ультрафіолету й забруднень(рис.1.6).

Найпоширенішими тканинами для виготовлення гамаків є:

- Бавовна (натуральна) – м'яка, дихаюча, гіпоалергенна тканина, яка ідеально підходить для внутрішнього використання. Бавовняні гамаки відзначаються комфортом, але чутливі до вологи й потребують регулярного догляду при експлуатації на відкритому повітрі.
- Парашутний нейлон (Ripstop) – надзвичайно легкий, міцний і зносостійкий синтетичний матеріал, який не поглинає воду, швидко висихає і не схильний до розривів. Його використовують переважно для туристичних або складних мобільних гамаків.
- Поліестер – синтетичне волокно з високою стійкістю до розтягування, деформації та вигорання на сонці. Поліестерові полотна часто застосовуються у вуличних моделях гамаків або там, де потрібен баланс між жорсткістю та пружністю тканини. Матеріал добре зберігає форму, легко

чиститься, але менш комфортний у тривалому контакті з тілом у порівнянні з бавовною.

- Текстилен (Textilene) — сітчастий матеріал на основі ПВХ-покриття, який використовується у дизайнерських підвісних конструкціях для зовнішнього середовища. Відзначається високою стійкістю до впливу атмосферних явищ, не вбирає вологу, має антимікробні властивості, але є менш пластичним і жорсткішим.



Рисунок 1.6 – Лежак з поліестеру

Каркас модульного лежачка виконує ключову конструктивну функцію: забезпечує стабільність, переносить основне навантаження та відповідає за безпечне підвішування. Його матеріали мають поєднувати міцність, стійкість до деформацій, довговічність і здатність витримувати значну вагу.

Дуже важливою є матеріальна основа каркасу лежачка – опорної конструкції, яка має забезпечувати стабільність, витримувати вагове навантаження, бути безпечною та довговічною. Каркаси виготовляють з металу, деревини або комбінованих матеріалів [4].

Металеві каркаси – найпоширеніші завдяки своїй міцності, жорсткості та стійкості до зовнішніх впливів. Сталеві конструкції з порошковим покриттям витримують навантаження понад 200 кг, не іржавіють і не деформуються внаслідок погодних умов.

Зокрема, сталеві конструкції з порошковим покриттям здатні витримувати значні навантаження, що робить їх ідеальними для використання як у внутрішніх, так і в зовнішніх умовах. Алюмінієві каркаси, хоча й легші за сталеві, також демонструють хорошу міцність і мають перевагу в мобільності, що спрощує їх транспортування та встановлення. Важливо зазначити, що якість зварних швів та болтових з'єднань у металевих каркасах є критичною для забезпечення їхньої стабільності та безпеки при експлуатації.

У виробництві каркасів гамаків деревина використовується не лише як структурний матеріал, а й як елемент, що формує естетику, тактильність і емоційне сприйняття виробу. На відміну від металу, деревина надає конструкції природного вигляду, гармонійно інтегрується в екстер'єрний або інтер'єрний простір, і часто обирається тими користувачами, які цінують екологічність, теплоту натуральних матеріалів і ручну роботу.

Деревина, особливо тверді породи, такі як дуб, бук або тик, часто використовується для виготовлення каркасів гамаків завдяки своїй природній естетиці, екологічності та приємній тактильності. Дерев'яні каркаси надають виробу теплий, натуральний вигляд, що особливо цінується в інтер'єрах з елементами природного дизайну. Однак деревина потребує регулярного догляду, включаючи обробку захисними засобами для запобігання впливу вологи, шкідників. Крім того, дерев'яні конструкції можуть бути менш стійкими до механічних пошкоджень порівняно з металевими аналогами.

Для каркасів гамаків переважно використовують тверді та середньо тверді породи деревини, які здатні витримувати постійне навантаження, зберігати форму та не деформуватись під впливом вологи або температурних змін. Найпоширенішими у цьому контексті є дуб, бук, акація та сосна.

Дуб – одна з найміцніших і найдовговічніших порід. Його деревина має високу щільність, стійкість до вологи та механічних пошкоджень. Каркаси з дуба відзначаються солідністю та довгим терміном служби, однак мають значну вагу, що знижує мобільність конструкції. Дуб часто використовується в преміальних моделях гамаків або для стаціонарного монтажу на відкритому повітрі.

Бук – ще одна тверда порода, яка добре піддається обробці та має однорідну структуру. Бук легший за дуб, але не менш міцний. Його застосовують у конструкціях, де важлива естетична точність вигину та стабільність при монтажі. Щоправда, без належної обробки бук є вразливим до вологи, тому потребує ретельного лакування або просочування.

Акація – середньо тверда порода з приємною текстурою та достатньою стійкістю до зовнішніх факторів. Часто використовується як більш доступна альтернатива тикку. Акацієва деревина є зносостійкою, добре витримує зміни температур, однак потребує захисного покриття при довготривалому використанні на вулиці.

Сосна – одна з найбільш поширених і доступних порід деревини у виробництві меблів, включно з каркасами гамаків. Вона належить до м'яких порід, що означає, що соснові конструкції легкі, прості в обробці та мають приємну світлу текстуру з природним малюнком смоляних волокон. Серед переваг сосни — невелика вага, екологічність, економічна доступність. Однак саме через свою м'якість сосна менш стійка до механічних пошкоджень, вологи й деформацій, ніж тверді породи. Для використання на відкритому повітрі сосновий каркас обов'язково повинен бути ретельно просочений антисептиками, олійними складами або покритий лаком чи фарбою, інакше його ресурс значно скорочується.

Комбіновані каркаси – це конструкції, в яких поєднуються два або більше матеріалів різного походження: найчастіше метал і деревина, рідше — дерево і склопластик або метал і текстильні вставки (рис.1.7). Металевий каркас слугує основою, що забезпечує міцність і стабільність, тоді як дерев'яні

елементи використовуються як декоративне або тактильне оздоблення. Це поєднання дозволяє досягти не лише технічної, а й візуальної рівноваги між "техногенністю" і "теплом" матеріалів.



Рисунок 1.7 – Лежак з дерев'яних балок та металевих кутів

Завдяки такому підходу, комбіновані каркаси водночас міцні й привабливі: метал витримує великі навантаження (до 250 кг і більше), а деревина створює візуальну гармонію з природним середовищем, особливо в екстер'єрах, терасах або садах. Крім того, комбіновані каркаси часто дозволяють застосовувати розбірні з'єднання, полегшуючи транспортування та збирання.

Композитні каркаси виготовляються з матеріалів нового покоління – це синтетичні або гібридні матеріали, створені шляхом поєднання різних складових (наприклад, скловолокно, вуглецеве волокно, базальтові матриці, полімери). Головною перевагою композитів є їх високе співвідношення міцності до ваги: конструкції з вуглепластика або склопластику можуть бути в кілька разів легшими за металеві, зберігаючи при цьому механічну стійкість до згину, кручення та ударів (рис.1.8).

Композити практично не піддаються корозії, не змінюють своїх властивостей під впливом вологи, перепадів температур або ультрафіолету. Завдяки гнучкості у формуванні, з них можна виготовляти конструкції з естетичними вигнутими або просторово складними формами, що є перевагою в інноваційному дизайні меблів. Вони також забезпечують відмінну ізоляцію від холоду або тепла, не накопичують конденсат, тому зручні для зовнішнього використання.



Рисунок 1.8 – Каркас лежачка, виготовлений з вуглепластику

Вибір матеріалу для каркасу лежачка залежить від багатьох факторів, включаючи умови експлуатації, бажану естетику, бюджет та індивідуальні

вподобання користувача. Кожен з розглянутих матеріалів має свої переваги та недоліки, і правильний вибір забезпечить не лише комфорт та безпеку, але й довговічність та задоволення від використання гамака.

1.5 Постановка задач роботи

У кваліфікаційній роботі представлено комплексний підхід до розробки конструкції та вибору матеріалів виготовлення модульного лежачка з урахуванням ергономічних показників. Мета роботи полягає у створенні функціонального, адаптивного та зручного виробу для відпочинку, що відповідатиме сучасним вимогам до дизайну, безпеки, мобільності та довговічності.

1. Провести огляд сучасних тенденцій у сфері дизайну меблів для відпочинку з акцентом на модульні конструкції, визначити основні типи модульних лежачків, їхні функціональні особливості, а також переваги й недоліки існуючих зразків. Надати оцінку інноваційним підходам до проектування меблів з ергономічної точки зору.

2. Сформулювати ергономічні вимоги до модульного лежачка, зокрема щодо габаритів, геометрії посадкової поверхні, кута нахилу спинки, жорсткості контактної зони, стійкості конструкції та безпечності користування. Обґрунтувати вибір оптимальної конфігурації на основі антропометричних даних та практичного аналізу потреб користувача.

3. Визначити принципову конструкцію лежачка: кількість і тип модулів, спосіб їх з'єднання, можливість трансформації або зміни положення. Запропонувати конструктивне рішення, яке дозволить легко адаптувати лежачок до різних сценаріїв використання в умовах обмеженого простору або змінних середовищ.

4. Обрати та обґрунтувати вибір матеріалів для виготовлення як несучої частини (каркасу), так і оббивки. Врахувати механічні характеристики матеріалів, їхню екологічність, довговічність, зносостійкість, простоту

обробки, естетичні якості та придатність до повторного використання або утилізації. Здійснити порівняльний аналіз можливих альтернатив з позиції вартості та виробничої доцільності.

5. Розробити рекомендації щодо методів контролю якості виготовлених елементів лежачка, включаючи нормативні вимоги до меблевої продукції (стандарти безпеки, сертифікації та ергономічності). Запропонувати методику випробувань готової конструкції на навантаження, стійкість і знос.

6. Провести попередню оцінку витрат на виготовлення модульного лежачка, враховуючи обсяг матеріалів, складність конструкції, технологічність виробництва та потенційний термін служби виробу. Запропонувати шляхи оптимізації витрат при збереженні якості та функціональності конструкції.

РОЗДІЛ 2.

ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТА РОЗРОБКИ

2.1 Функціонально-вартісний аналіз

У процесі проєктування сучасних побутових та рекреаційних меблів зростає потреба у виробках, які поєднують естетику, зручність, довговічність та економічну доцільність. Саме тому функціонально-вартісний аналіз (ФВА) є ключовим інструментом для розробки таких конструкцій, як модульний лежак — виробу, який повинен бути не лише комфортним, а й адаптивним до різних умов експлуатації. ФВА дозволяє системно розглянути кожен конструктивний елемент, його функціональне призначення, вплив на загальну ефективність системи, а також вартість реалізації.

Основна функція лежачка полягає у створенні ергономічного положення тіла людини в стані відпочинку або релаксації. Конструкція повинна підтримувати тіло в фізіологічно правильному положенні, знижуючи навантаження на хребет, сприяючи вільній циркуляції повітря та мінімізуючи локальний тиск. До допоміжних функцій належать мобільність, простота транспортування, ремонтпридатність, адаптивність до різних поверхонь, а також відповідність гігієнічним та естетичним критеріям.

На основі цих критеріїв було сформовано декілька функціональних підсистем: несуча опора, елементи підвісу, сітчасте полотно, а також фіксувальні та захисні елементи. У якості несучої конструкції використано два дерев'яні бруси перерізом 90×90 мм, які встановлені під кутом і з'єднані в основі сталевими зварними елементами з профілю 100×100×5 мм. Така комбінація дозволила ефективно розподілити навантаження та забезпечити просторову жорсткість конструкції без значного збільшення вартості.

Переваги дерев'яних опор полягають у доступності, простоті обробки, візуальній привабливості та легкості інтеграції в інтер'єр. При цьому деревина

є екологічним матеріалом і не створює надлишкового навантаження на опорні поверхні. Недоліком є потреба в додатковому захисті від вологи (просочення, лакування) у разі зовнішнього використання. Сталеві з'єднувальні елементи у зоні нижньої рами підвищують стійкість до скручування і запобігають розхитуванню під динамічним навантаженням. Вибір профілю товщиною 5 мм був обґрунтований чисельним моделюванням напружень, що показало необхідність у посиленому з'єднанні бази.

Основне навантаження на тіло користувача сприймає гамакова частина конструкції – сітка з полімерного канату, закріплена через отвори у верхній частині дерев'яних стійок. Вибір синтетичного плетеного канату з поліпропілену або нейлону дозволяє забезпечити:

- Високу міцність при незначній вазі;
- Стійкість до розриву та атмосферних впливів;
- Анатомічну адаптивність – сітка розподіляє навантаження по всій площі контакту з тілом;
- Простоту догляду (миття, сушіння) та вентиляцію.

Габарити сітки були підібрані з урахуванням типових антропометричних параметрів дорослої людини. Фіксація за допомогою вузлів через наскрізні отвори гарантує надійність кріплення та рівномірний розподіл зусиль на конструкцію.

У ході ФВА було відмовлено від застосування надлишкових регульовальних механізмів, розбірних рам із великою кількістю вузлів або дорогих композитних матеріалів, які не мали суттєвого впливу на функціональність, але збільшували вартість та час виготовлення. Наприклад, планована регульована система натягу сітки потребувала спеціалізованих роликів і фіксаторів, тоді як фіксація через вузли та карабіни повністю задовольнила вимоги до зручності й швидкості складання [5].

2.2 Аналіз потреб користувача та визначення експлуатаційних вимог до конструкції

Процес розробки модульного лежачка вимагає комплексного врахування технічних, ергономічних та експлуатаційних характеристик, які безпосередньо впливають на комфорт, безпеку та ефективність його використання. В умовах зростаючого попиту на індивідуалізовані вироби з високим рівнем адаптивності до умов застосування, особливої актуальності набуває підхід, орієнтований на кінцевого користувача. Саме тому на початковому етапі проектування було проведено системний аналіз очікувань та потреб представників цільових категорій споживачів – домашніх користувачів, відвідувачів рекреаційних і медичних закладів, а також офісних працівників.

Ці групи мають спільні функціональні вимоги до лежачка, проте у кожному випадку присутні особливості експлуатаційного середовища та сценаріїв застосування, які накладають додаткові конструкційні обмеження. Зібрана інформація була систематизована та поділена на основні групи потреб, що визначають архітектуру виробу, його компоненти, матеріали та критерії довговічності [6].

1. **Комфорт і ергономіка.** Ключовим критерієм ефективного функціонування модульного лежачка є забезпечення фізіологічно правильного положення тіла користувача під час відпочинку. Конструкція повинна дозволити розміщення без надмірного навантаження на хребет, попереk та плечовий пояс. Для цього важливо забезпечити адаптацію несучої поверхні до контурів тіла людини та підтримку в анатомічно правильних точках. Крім того, ергономічна форма має мінімізувати тиск на кровоносні судини, що забезпечує нормальну циркуляцію крові при тривалому використанні (понад 30 хвилин).

Застосування сітчастої або гнучкої поверхні дозволяє створити динамічну зону розміщення тіла, яка забезпечує належну вентиляцію, що є важливим для комфорту в умовах підвищеної температури або вологості.

2. **Стабільність і безпека.** Безпечне використання є пріоритетною вимогою для будь-якого меблевого виробу. У випадку модульного лежачка це означає здатність конструкції витримувати навантаження масою до 120 кг із запасом міцності (розрахункове допустиме навантаження — не менше 1200 Н). Каркас лежачка має бути стійким до деформацій, вигинів або розхитування, що може виникнути при нерівномірному навантаженні чи зміні положення тіла.

Особливу увагу приділено вузлам кріплення сітки — вони повинні мати достатню міцність, не допускати вислизання, а також мати захист від розпускання або самовільного розв'язування. У разі встановлення в публічних просторах (медичні кабінети, холи, відпочинкові зони) безпека набуває ще більшої значущості.

3. **Мобільність та простота збирання.** Важливою перевагою лежачка є його універсальність. Користувач очікує можливості швидкого переміщення, складання або демонтажу. Тому конструкція повинна передбачати мінімальну кількість кріплень, швидке збирання без спеціального інструменту та компактне транспортування. У випадку туристичного або кемпінгового застосування — це критична вимога.

Використання легких сплавів або деревини дозволяє знизити загальну масу виробу до прийнятної рівня (до 20–25 кг), що забезпечує його мобільність без втрати жорсткості.

4. **Довговічність і стійкість до зовнішніх впливів.** Лежач повинен витримувати багаторазове використання без погіршення характеристик. Каркас має бути виготовлений із матеріалів, стійких до механічного стирання, вологи та впливу ультрафіолетового випромінювання. Металеві частини потребують захисного покриття (порошкове фарбування, оцинкування), а текстиль — просочення або ламінування.

Важливою також є стійкість до температурних коливань — від +10 до +40 °С, що особливо актуально для використання в неопалюваних приміщеннях, на балконах чи у кемпінгах.

5. **Гігієнічність.** Поверхні, що контактують із тілом, повинні бути легко очищуваними, не накопичувати вологу, піт чи сторонні запахи. Сітчасті синтетичні матеріали (наприклад, поліестер із ПВХ-покриттям) є придатними для таких умов. Вони мають високу стійкість до утворення плісняви, не сприяють накопиченню пилу, швидко сохнуть після вологого очищення.

Виріб також повинен мати мінімум щілин, заглиблень або стиків, де можуть накопичуватися забруднення.

6. **Естетика й універсальність дизайну.** Оскільки модульний лежак може використовуватись у різних просторах — від приватного житла до громадських зон — зовнішній вигляд конструкції має бути універсальним. Простий, лаконічний дизайн, відсутність гострих кутів і агресивних геометричних рішень, а також можливість вибору кольорових комбінацій дозволяє пристосовувати виріб до конкретних інтер'єрних або ландшафтних умов.

Таблиця 2.1 – Елементи конструкції гамака та їх функції

Елементи		Функції	
Елементи	Назва	Функції	Опис функціонального призначення
E_0	Основа рами	Φ_0	Забезпечує стійкість, рівновагу та підтримку всієї конструкції
E_1	З'єднуюча конструкція	Φ_1	Формує просторову жорсткість, з'єднує опори між собою
E_2	З'єднувальні елементи	Φ_2	Фіксують складові частини конструкції, забезпечують цілісність вузлів

E_3	Гамак	Φ_3	Служить основною поверхнею для розміщення тіла людини
-------	-------	----------	---

Таблиця 2.2 – Значимість, вартість та ефективність елементів

Елемент	Функція	Значимість, %	Вартість, %	Ефективність (Зн/В)
Основа рами	Φ_0	40	35	1.14
З'єднуюча конструкція	Φ_1	25	30	0.83
З'єднувальні елементи	Φ_2	10	5	2.00
Гамак	Φ_3	25	30	0.83
Разом	–	100	100	–

Проведений функціонально-вартісний аналіз конструкції гамака дозволив кількісно оцінити ефективність кожного з її основних елементів з точки зору їхньої значущості для виконання основної функції та відносної вартості. Найвищу ефективність (2.00) показали з'єднувальні елементи, оскільки при незначній частці у вартості (5%) вони виконують критичну функцію забезпечення збірності та надійності всієї системи.

Основна несуча рама має найбільшу значущість (40%), оскільки визначає стійкість і жорсткість конструкції. При вартості 35% її ефективність становить 1.14, що свідчить про добрий баланс між функціональністю та витратами. З'єднуюча конструкція, яка виконує функцію стабілізації основи, також є важливою, але через вартість зварених металевих елементів має відносно нижчу ефективність (0.83).

Схожу ефективність має і гамак як функціональний текстильний модуль (ефективність 0.83), що безпосередньо забезпечує ергономічну функцію лежання, проте вимагає якісного матеріалу, здатного витримувати навантаження та зовнішні впливи.

Таким чином, результати аналізу дозволяють зробити висновок, що конструкція є загалом збалансованою. Основні ресурси доцільно вкладено у раму та текстильну частину, а допоміжні елементи виявились дуже ефективними при мінімальних витратах. Ці дані можуть бути використані для подальшої оптимізації конструкції з метою зниження вартості без втрати функціональності та довговічності.

2.3 Створення 3D моделі модульного лежачка та моделювання МСЕ

Для візуалізації та попереднього аналізу конструкції модульного лежачка було використано програмне середовище Autodesk Inventor — один із провідних інструментів сучасного параметричного 3D-моделювання. Застосування цієї САПР-системи дозволяє з високою точністю створювати віртуальні моделі, виконувати збірки з урахуванням геометричних обмежень, готувати технічні креслення, проводити перевірку на колізії між деталями та попередній аналіз напружено-деформованого стану.

Процес моделювання було організовано з урахуванням модульності й розбірності конструкції. Всі елементи моделі створювалися як окремі параметричні деталі (Parts), а потім компонувалися у єдину збірку (Assembly). Такий підхід забезпечив максимальну гнучкість у зміні конфігурації, масштабуванні та адаптації моделі під різні експлуатаційні сценарії.

У ході розробки модульного лежачка було створено деталізовану структуру конструкції, яка складається з функціонально поділених дерев'яних та металевих елементів, що забезпечують її надійність, стійкість, збірність та комфортність у користуванні.

Конструкційна основа лежачка побудована з масивних дерев'яних брусів перерізом 90×90 мм, які виконують роль несучих та опорних елементів.

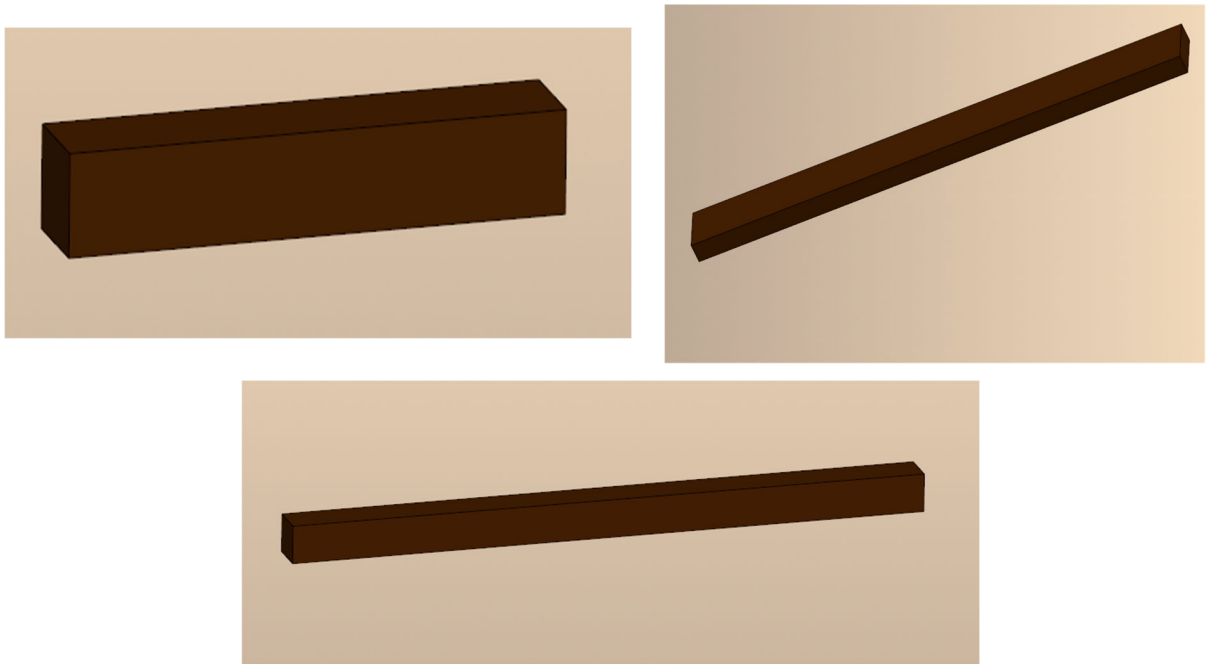


Рисунок 2.1 – Тривимірні моделі дерев'яних складових

Чотири горизонтальні бруси формують стабільну базу конструкції, забезпечуючи рівномірний розподіл навантаження на площину. Завдяки попарному з'єднанню з боків та через центральну горизонтальну розпірку, ці елементи утворюють жорстку просторову геометрію, стійку до перекосів.

Два вертикальні бруси, встановлені під нахилом, служать основними точками підвісу гамака. Їх положення визначено з урахуванням механіки навантаження – оптимальний кут нахилу дозволяє мінімізувати прогин і втрату стійкості. У верхній частині передбачено отвори для монтажу фіксуючих елементів (шнурів, карабінів або гаків).

Горизонтальна центральна розпірка, яка з'єднує обидві сторони основи, виконує функцію просторового підсилення конструкції. Вона протидіє розведенню стійок під навантаженням, підвищуючи загальну жорсткість каркасу [7].

Ці елементи виготовляються з конструкційної сосни – матеріалу, який поєднують міцність, довговічність та доступність. Їх обробка включає шліфування, нанесення захисного покриття та свердління отворів для кріплення.

Для забезпечення точного складання та підвищення конструкційної цілісності були розроблені спеціальні з'єднувальні металеві елементи, виготовлені зі сталевих профілів та листового прокату.

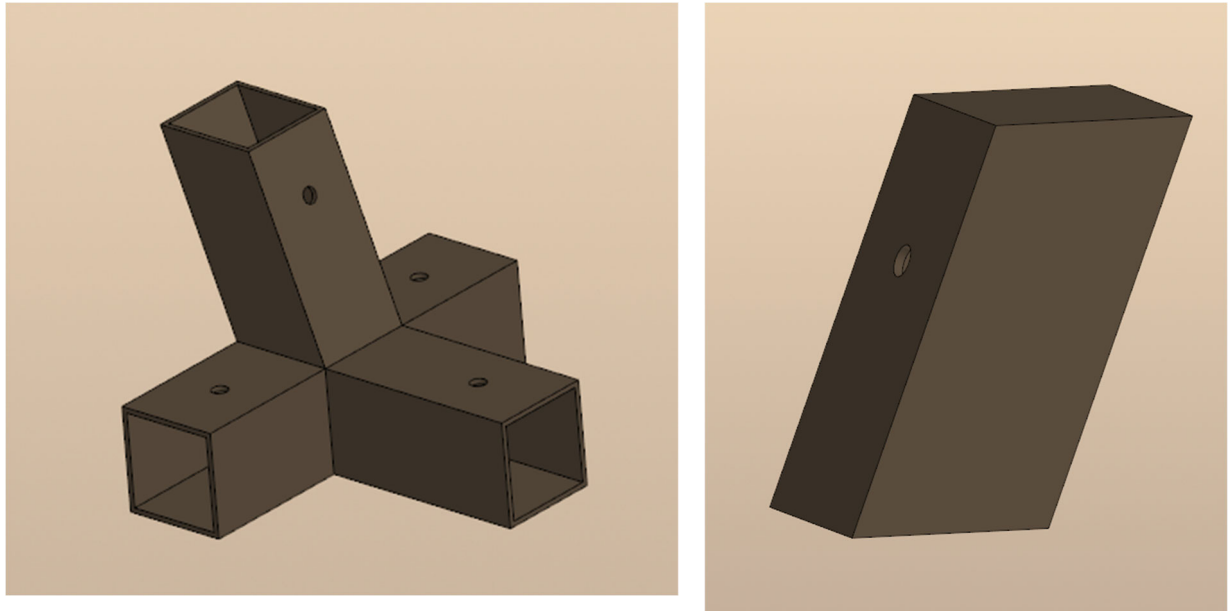


Рисунок 2.2 – Тривимірні моделі металевих складових

Два нижні вузли кріплення, зварені зі сталевого профілю $100 \times 100 \times 5$ мм, виконують роль силових хомутів, у яких фіксуються три бруси (два горизонтальних і один вертикальний). Їх геометрія передбачає наявність монтажних отворів під болтове з'єднання, що забезпечує швидке встановлення й демонтаж без втрати точності фіксації.

Дві верхні металеві заглушки, встановлені на завершення вертикальних брусів, виконують подвійну функцію: підсилення верхнього торця дерев'яного елемента та створення надійної точки для кріплення гамака. Отвори в заглушках дозволяють вставляти гачки або шнури для натягування полотна.

Кріпильні вироби (болти М12, шайби, гайки із стопорними елементами) гарантують міцне і безпечне з'єднання між дерев'яними та металевими частинами. Вони також витримують динамічні навантаження без послаблення з'єднань, що є критичним під час експлуатації лежачка.

Комплексне поєднання дерев'яних та металевих елементів забезпечує високу функціональну ефективність, легкість складання, можливість повторного монтажу, а також ремонтпридатність. Така конструкція є зручною для домашнього використання, має привабливий вигляд і відповідає сучасним критеріям еко-дизайну.

У процесі створення тривимірної моделі модульного лежачка в середовищі Autodesk Inventor було враховано не лише геометричні та функціональні параметри складових елементів, а й просторово-планувальні особливості середовища його подальшої експлуатації. Зокрема, моделювання виконувалося з урахуванням реальних розмірів кімнати, що дало змогу забезпечити достатню амплітуду коливань гамака, зберігаючи зручний доступ до нього з обох боків, а також стабільне розташування конструкції на рівній підлозі без додаткового кріплення до стін чи підлоги.

Особливу увагу було приділено точності стикування дерев'яних та металевих елементів. Детальна візуалізація вузлів з'єднання дала змогу коректно підібрати місця свердління отворів, уникнути конфліктів між компонентами при монтажі та виключити потребу в додаткових переробках під час збирання. Всі габарити, кути нахилу, а також відстані між точками кріплення були перевірені на відповідність умовам ергономіки та стабільності.

Перевірка на сумісність усіх складових елементів у віртуальному середовищі забезпечила правильність посадок, кутів і конфігурацій стиків, що є критично важливим для функціонування гамака без перекосів і зміщень.

Оптимізація конструкції, яка була досягнута шляхом виключення надлишкових деталей, дозволила зменшити загальну масу та собівартість виробу без втрати жорсткості та функціональності.

Підготовка до виготовлення стала суттєво простішою завдяки можливості виводу креслень безпосередньо з моделі, включаючи специфікації отворів, розміри деталей, точні положення елементів та кутів з'єднання.

Можливість візуалізації дає змогу оцінити загальний вигляд виробу в інтер'єрі, адаптувати кольорову гаму матеріалів, протестувати дизайнерські варіанти обробки.

Основу для проведення подальших інженерних розрахунків – зокрема, визначення напружено-деформованого стану під навантаженням, розрахунку на стійкість, міцність і довговічність – також закладено в цю модель.



Рисунок 2.3 – Збірна конструкція

Після завершення побудови тривимірної моделі модульного лежачка в середовищі Autodesk Inventor було виконано експорт геометрії у форматі STEP, що забезпечує сумісність із програмним середовищем ANSYS Workbench для подальшого моделювання напружено-деформованого стану методом скінченних елементів (МСЕ).

На основі побудованої геометрії було згенеровано обчислювальну сітку із застосуванням тетрадральних елементів із локальним згущенням у зонах з'єднань.

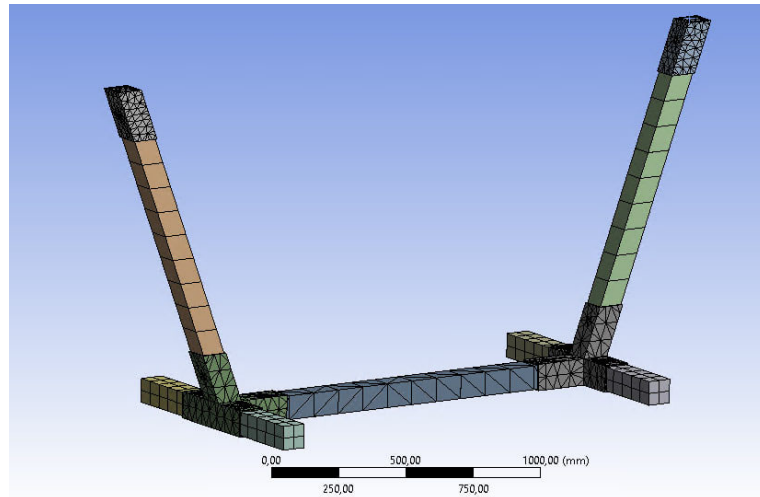


Рисунок 2.4 – Створення сітки моделі

У даному проєкті для створення конструкції модульного лежачка були використані два основні матеріали: деревина сосни для основних несучих елементів (бруси) та конструкційна сталь марки Ст3 (Сталь 3) — для з'єднувальних та підсилювальних елементів. Сосна була обрана як основний матеріал для вертикальних та горизонтальних дерев'яних елементів конструкції. У рамках моделювання в ANSYS матеріал «Wood, Pine» було обрано з бібліотеки Granta Design, що надало повний набір фізико-механічних властивостей.

Wood, Pine	
Data compiled by the Granta Design team at ANSYS, incorporating various sources including JAHM and MagWeb. ANSYS Inc. provides no warranty for this data.	
Density	4,874e-10 tonne/mm ³
Structural	
▼ Isotropic Elasticity	
Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio
Young's Modulus	9302,0 MPa
Poisson's Ratio	0,37420
Bulk Modulus	12324 MPa
Shear Modulus	3384,5 MPa
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	4,69e-06 1/°C
Tensile Ultimate Strength	66,350 MPa
Tensile Yield Strength	41,000 MPa
Thermal	
Isotropic Thermal Conductivity	0,00023920 W/mm·°C
Specific Heat Constant Pressure	1,685e+06 J/tonne·°C
Electric	
Isotropic Resistivity	1,095e+09 ohm-mm

Рисунок 2.5 – Характеристики матеріалу Wood, Pine

Для зварних металевих з'єднувальних елементів та верхніх заглушок було використано вуглецеву конструкційну сталь марки Ст3. Цей матеріал оптимально підходить для виготовлення зварних конструкцій, вузлів з'єднання та елементів, що мають забезпечити жорсткість і міцність конструкції при малій площі перерізу.

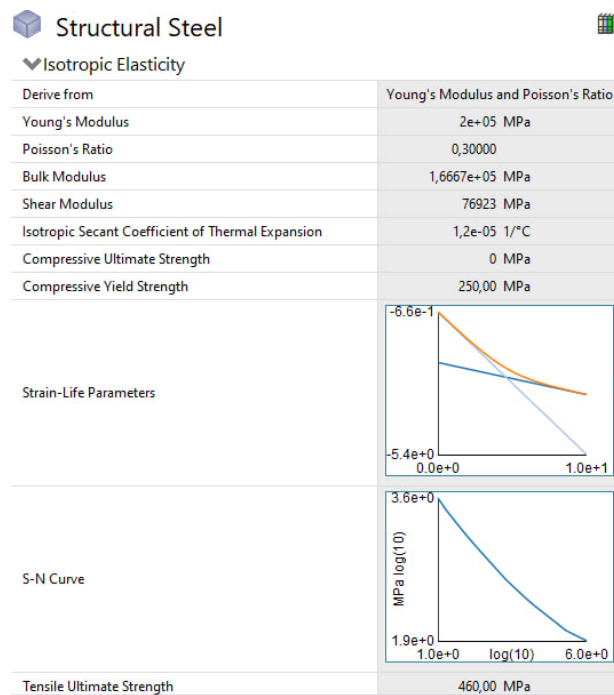


Рисунок 2.6 – Характеристика матеріалу Structural Steel

Використання сосни як основного матеріалу для рамної частини дозволяє досягти мінімізації маси, простоти складання, а також екологічності та доступності. У той же час, сталь Ст3 у місцях з'єднання виконує роль підсилювального матеріалу, компенсуючи слабкі місця в деревині та зменшуючи ризик розщеплення, тріщин або розхитування вузлів.

Завдяки такому комбінованому підходу до вибору матеріалів конструкція забезпечує баланс між вартістю, довговічністю, міцністю та технологічністю у виробництві.

У конструкції модульного лежача основне навантаження передається через гамак на два похилі вертикальні бруси, які сприймають розтягувальні та згинальні зусилля під дією ваги користувача.

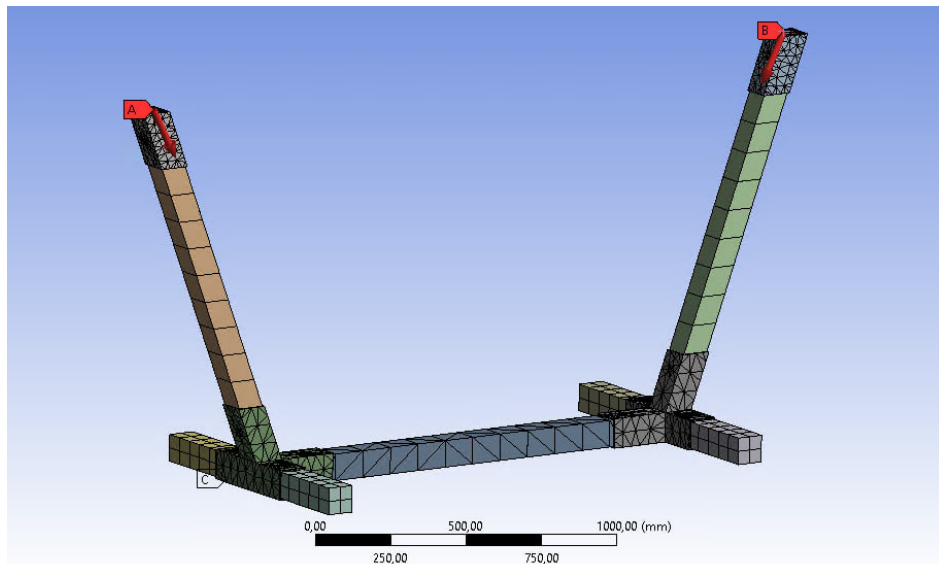


Рисунок 2.7 – Розподіл навантажень на конструкцію

Ці зусилля далі передаються на металеві з'єднувальні елементи, що утворюють жорсткий вузол із горизонтальними опорними брусами. Нижні бруси, у свою чергу, розподіляють вертикальні й горизонтальні складові сили на підлогу, забезпечуючи стійкість всієї конструкції. Центральна горизонтальна розпірка працює на стиск і запобігає розходженню вертикальних стійок під навантаженням, зменшуючи кутову деформацію каркасу. Завдяки такій схемі навантаження рівномірно розподіляється між усіма опорними елементами, що забезпечує стабільну роботу конструкції в експлуатації.

Результати моделювання напружено-деформованого стану конструкції модульного лежачка при навантаженні, що еквівалентне масі користувача 300 кг мають дуже цікаві показники. Максимальне значення напруження становить лише 0,55 МПа, що значно нижче границі плинності як дерев'яних (41 МПа для сосни), так і металевих елементів (250 МПа для сталі 3). Це свідчить про великий запас міцності та повну відсутність ризику руйнування конструкції під робочим навантаженням. Найвищі значення напружень спостерігаються в зонах контакту між вертикальними брусами та металевими з'єднувальними елементами, що є очікуваним, з огляду на концентрацію навантаження.

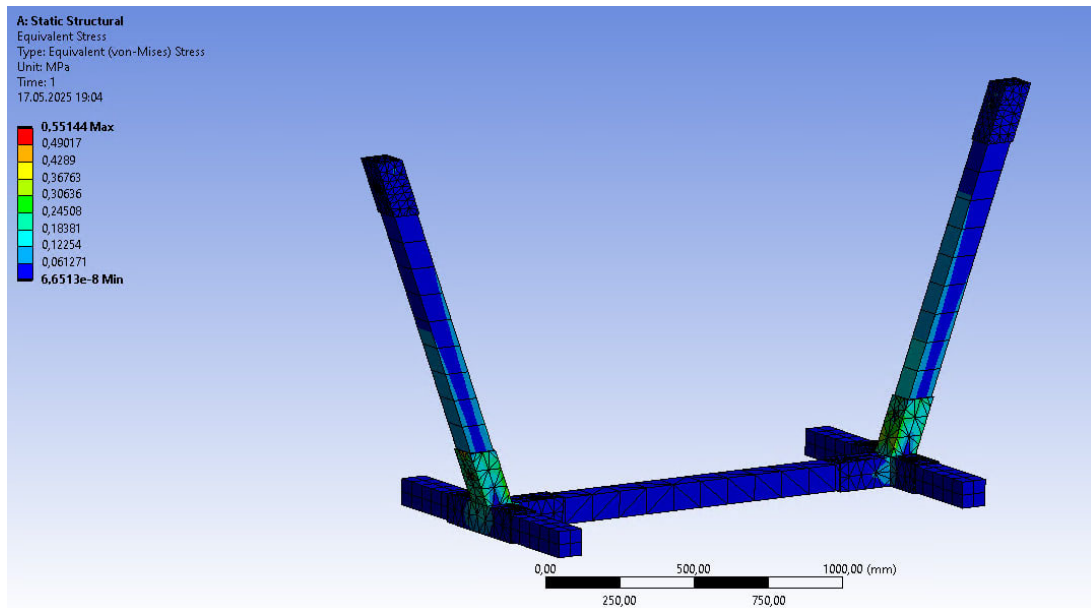


Рисунок 2.8 – Результати моделювання МСЕ, еквівалентні напруження

Максимальне переміщення (прогин) складає 0,166 мм і зосереджується у верхніх частинах вертикальних дерев'яних брусів, до яких кріпиться гамак. Такий рівень деформації є вкрай низьким і не впливає на ергономіку або стабільність лежачка. Рівномірний градієнт деформації також свідчить про належну жорсткість з'єднань та відсутність надмірної гнучкості в конструктивних елементах.

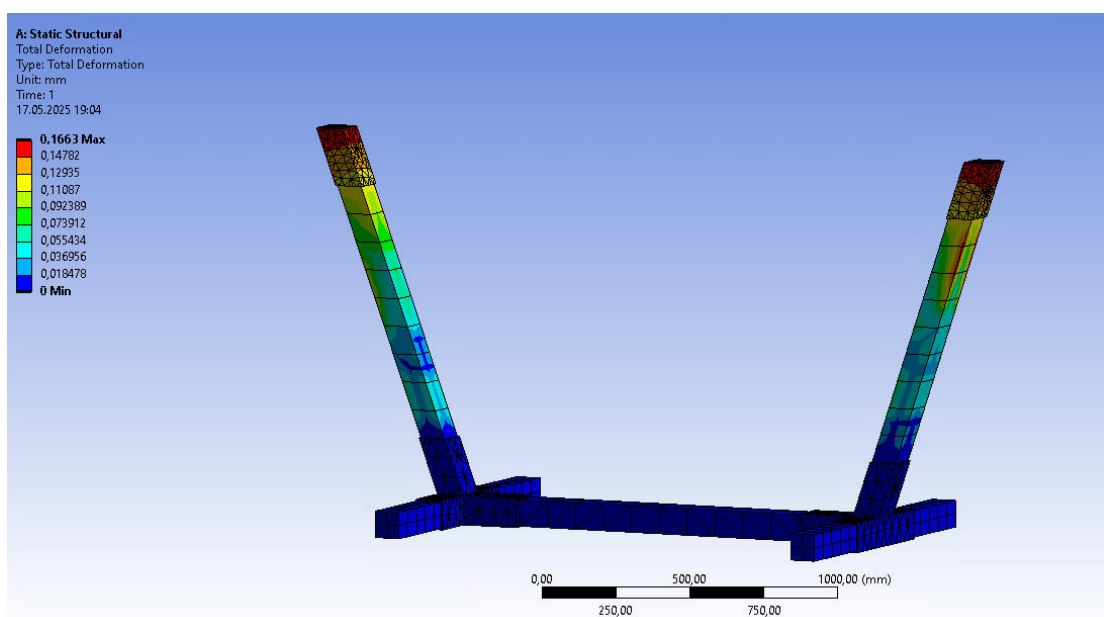


Рисунок 2.9 – Результати моделювання МСЕ, загальна деформація

Результати моделювання засвідчують високу надійність та структурну ефективність розробленої конструкції модульного лежачка при навантаженні до 300 кг. Обрані матеріали – сосна (для дерев'яних елементів) та сталь 3 (для з'єднувальних вузлів) – демонструють оптимальне поєднання жорсткості, міцності та допустимої деформації. Конструкція зберігає цілісність і геометричну стабільність навіть при значному навантаженні, що дозволяє рекомендувати її для серійного виготовлення та практичного застосування.

2.4 Визначення ергономічних характеристик моделі

У процесі розробки модульного лежачка одним із ключових аспектів, що визначають його споживчу цінність, є відповідність конструкції ергономічним вимогам. Ергономіка у контексті меблевого проектування передбачає гармонійне поєднання функціональності, зручності використання, безпеки та адаптації до індивідуальних потреб користувача. Застосування ергономічних підходів дозволяє не лише підвищити комфорт, а й знизити навантаження на опорно-руховий апарат, запобігти виникненню втоми при тривалому користуванні та зробити виріб універсальним для широкого кола користувачів [8].

1. **Розміри конструкції.** Конструкція модульного лежачка була спроектована з урахуванням типових габаритів для одноосібного користування. Загальна довжина конструкції складає 2000 мм, що дозволяє комфортно розмістити користувача в положенні лежачи. Ширина конструкції 1000 мм гарантує достатній простір для плечей та збереження рівноваги, навіть при зміні положення тіла. Такі розміри відповідають середнім антропометричним параметрам дорослої людини.

2. **Нахил опорних стійок.** Опорні стійки встановлені під кутом приблизно 60 градусів до горизонтальної площини. Це забезпечує не лише ефективний розподіл навантаження між вертикальними та горизонтальними елементами, але й створює природну геометрію кріплення для гамака. Завдяки

цьому досягається оптимальний кут підвісу сітки, що сприяє комфортному розміщенню тіла користувача з правильним розподілом навантаження на спину та тазову зону.

3. **Висота посадки.** При натягу сітки під навантаженням приблизно 300 кг, висота точки сидіння становить близько 400–450 мм. Такий рівень є ергономічно зручним для сидіння й вставання без значного зусилля. Особливо це важливо для користувачів похилого віку або осіб з порушеннями опорно-рухового апарату. Це рішення дозволяє зменшити напруження у суглобах нижніх кінцівок та поперекового відділу.

4. **Контактна поверхня гамака.** В якості поверхні для лежання використано гнучку сітчасту структуру з нейлонових волокон, що забезпечує рівномірний розподіл ваги тіла. Така структура сприяє природній вентиляції, попереджає локальне перегрівання тіла та не допускає утворення точок надлишкового тиску. Це особливо важливо при тривалому перебуванні користувача у стані спокою. Поверхня є гіпоалергенною та легко очищується.

5. **Просторові обмеження.** Під час проектування було враховано розміри приміщення, у якому планується експлуатація виробу. Забезпечено відступи від стін та інших меблів не менше 300 мм з кожного боку. Це дозволяє уникнути зіткнень під час коливальних рухів та забезпечує безпечний простір для доступу до гамака. Також враховано висоту стелі для можливості комфортного розгойдування.

6. **Амплітуда коливань.** Розрахунки та спостереження показали, що амплітуда поперечних коливань у середньому становить 200–250 мм при масі користувача до 300 кг. Це забезпечує достатній комфорт при легкому гойданні, не створюючи небезпеки перекидання або втрати рівноваги. Конструкція основи, сформована з чотирьох масивних брусів, гарантує стабільність та амортизацію коливальних рухів без прогинів чи зсувів.

Таким чином, проведений аналіз ергономічних характеристик підтвердив відповідність модульного лежачка вимогам зручності, безпеки та інклюзивності. Комплексний підхід до проектування – з урахуванням

антропометрії, функціонального зонування та поведінкових сценаріїв користувачів – дозволив створити конструкцію, яка одночасно відповідає функціональним та естетичним запитам. Ергономічна складова, у свою чергу, суттєво підвищує загальну якість виробу та його конкурентоспроможність на ринку рекреаційних і побутових меблів.

2.5 Висновки за розділом

В другому розділі кваліфікаційної роботи було створено функціонально обґрунтовану, технологічно зручну та ергономічно комфортну конструкцію, яка може бути ефективно використана як у побутових, так і в рекреаційних або медичних середовищах.

На етапі функціонально-вартісного аналізу було системно досліджено структуру лежачка та обґрунтовано доцільність використання конкретних конструктивних елементів. Аналіз показав, що основні функції виробу – підтримка тіла в ергономічному положенні, забезпечення стійкості конструкції, простота збирання та довговічність – можуть бути реалізовані з використанням доступних і водночас ефективних матеріалів. Дерев'яні бруси із сосни виявились оптимальними для несучої частини завдяки своїм екологічним, технологічним і експлуатаційним перевагам. Металеві елементи зі сталі Ст3 забезпечили підвищену жорсткість та міцність у ключових вузлах з'єднання.

Результати аналізу потреб користувача та визначення експлуатаційних вимог дозволили сформулювати технічні параметри, яким повинна відповідати конструкція. Було враховано такі аспекти, як комфорт, безпека, простота переміщення, гігієнічність та універсальність дизайну. Усі конструктивні рішення були адаптовані до сценаріїв використання в різних просторах – від домашнього до медичного середовища.

Виконане тривимірне моделювання у середовищі Autodesk Inventor забезпечило точну візуалізацію конструкції, оптимізацію вузлів з'єднання, а

також підготовку технічної документації. Побудована модель була експортована у програмне середовище ANSYS Workbench, де проведено чисельне моделювання напружено-деформованого стану. При навантаженні 300 кг, еквівалентному масі користувача, було встановлено, що максимальні напруження та переміщення залишаються в межах допустимих значень, що свідчить про надійність і довговічність конструкції.

Визначення ергономічних характеристик довело відповідність геометрії та компонування гамака сучасним вимогам до зручності користування. Зокрема, було підтверджено оптимальність розмірів, висоти посадки, кутів нахилу та рівномірного розподілу навантаження.

РОЗДІЛ 3. ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ

3.1 Обґрунтування вибору матеріалів для виготовлення модульного лежачка

Вибір матеріалів для розробки модульного лежачка є одним з ключових етапів у процесі його проєктування та виготовлення. Саме обрані конструкційні матеріали зумовлюють повний комплекс експлуатаційних характеристик: міцність, довговічність, стійкість до навантажень, комфортність, естетику, екологічну безпеку та вартість виготовлення. У контексті проєктування меблевої конструкції, що поєднує дерев'яні та металеві елементи, критично важливо досягти балансу між достатньою механічною міцністю, малою питомою вагою, простотою обробки та здатністю ефективно працювати в умовах змінних навантажень.

При виборі матеріалів для модульного лежачка враховувалися такі критерії:

- фізико-механічні характеристики (міцність на згин, стиск, твердість, модуль пружності);
- стійкість до впливів навколишнього середовища (волога, температура, УФ-випромінювання);
- технологічність обробки (здатність до свердління, шліфування, склеювання або зварювання);
- доступність на ринку;
- естетичність зовнішнього вигляду та екологічність.

Для виготовлення основних елементів лежачка – вертикальних та горизонтальних брусів – була обрана конструкційна деревина сосни (*Pinus sylvestris*). Цей матеріал є оптимальним для виробів рекреаційного та

побутового призначення завдяки поєднанню високої оброблюваності, помірної вартості та задовільної міцності [9].

Основні технічні характеристики деревини сосни:

- Середня щільність: 450–500 кг/м³;
- Міцність на стиск вздовж волокон: до 50 МПа;
- Міцність на згин: 70–80 МПа;
- Модуль пружності: близько 10 ГПа;
- Ударна в'язкість: 0,4–0,6 кДж/м².

Завдяки відносно невеликій щільності, конструкція з сосни не створює надмірного навантаження на підлогу або інші опорні поверхні, що особливо актуально для використання лежача в домашніх умовах. Крім того, деревина легко піддається ручній та механічній обробці – її можна точно нарізати, свердлити, шліфувати, фрезерувати, а також покривати антисептичними складами, захисними просоченнями чи декоративними лаками. Це забезпечує як довговічність, так і привабливий зовнішній вигляд виробу.

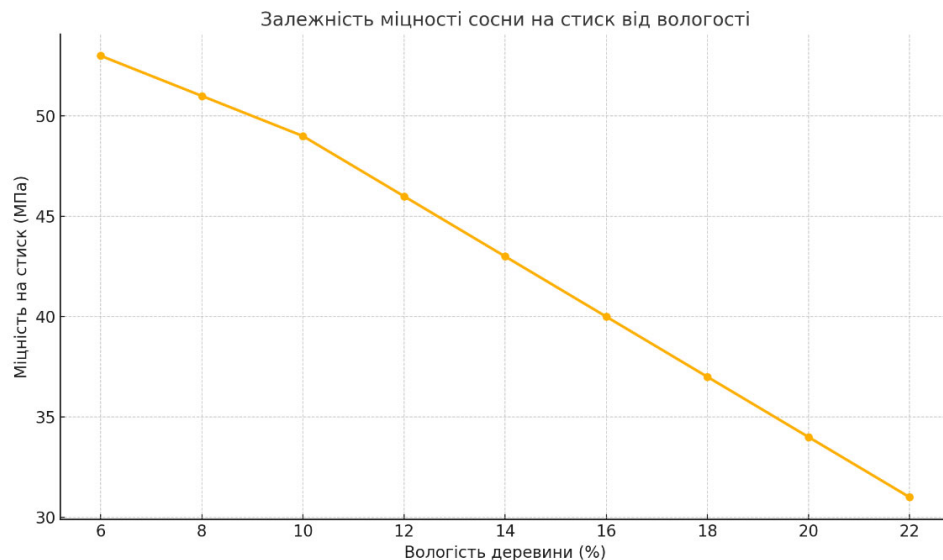


Рисунок 3.1 – Залежність міцності сосни на стиск від вологості

На графіку показано, як вологість сосни впливає на її міцність на стиск. Із зростанням вологості від 6% до 22% спостерігається поступове зниження

міцності з ~ 53 МПа до ~ 31 МПа. Це підтверджує важливість використання сухої деревини в навантажених конструкціях, таких як опори модульного лежака.

Сосна є екологічно чистим, відновлюваним ресурсом і чудово вписується в концепцію сталого виробництва. Вона не містить шкідливих домішок, безпечна при тривалому контакті з тілом, а також гіпоалергенна, що робить її придатною для використання в рекреаційних і медичних зонах. Для збільшення терміну служби дерев'яних елементів передбачено застосування захисного лакування або воскового просочення, які покращують стійкість до вологи, грибків та комах.

Для вузлів, які піддаються найбільшим зусиллям та деформаціям – точок кріплення, розпірок і з'єднувачів – було обрано вуглецеву конструкційну сталь марки Ст3 відповідно до ГОСТ 380-2005. Цей матеріал є промисловим стандартом для конструкцій загального призначення завдяки його гарному співвідношенню між міцністю, пластичністю та доступністю.

Основні механічні характеристики сталі Ст3:

- Тимчасовий опір розриву: 370–500 МПа;
- Межа плинності: 230–250 МПа;
- Відносне подовження: 25–28%;
- Модуль пружності: близько 210 ГПа;
- Твердість за Бринеллем: до 170 НВ.

Завдяки своїй пластичності й стійкості до крихкого руйнування, сталь Ст3 добре працює у вузлах, що зазнають згину, скручування та розтягування. Її можна зварювати будь-якими методами – ручним дуговим, напівавтоматичним або контактним – без додаткової термічної обробки, що значно спрощує процес виготовлення металевих елементів лежака. Також сталь добре фарбується та піддається антикорозійному захисту, зокрема методом порошкового фарбування або нанесення цинкового шару.

У конструкції лежака із соснових брусів сталеві з'єднувальні елементи виконують ключову функцію жорсткості та фіксації – забезпечують

стабільність у місцях кріплення, запобігають розхитуванню, сприяють точній геометрії всієї збірної структури. Зокрема, дві сталеві П-подібні зварні опори з профілю 100×100×5 мм фіксують дерев'яні елементи в нижній частині та переносять навантаження з гамака, який кріпиться до похилих стійок.

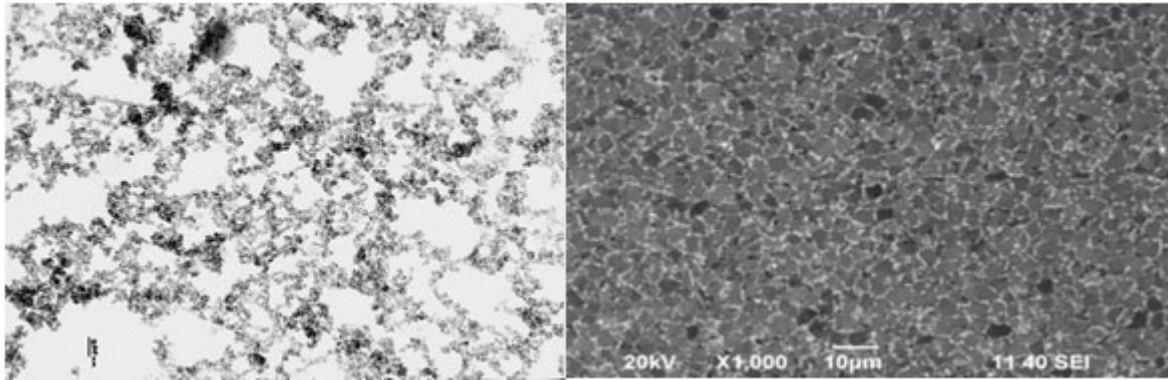


Рисунок 3.2 – Мікроструктура сталі 3

Сталь 3 демонструє високу довговічність навіть при багаторазових навантаженнях, є відносно дешевою, масовою сировиною, що знижує загальну вартість виробу. Її механічні властивості перевищують очікувані навантаження в кілька разів, що забезпечує значний запас міцності.

3.2 Технологія виготовлення елементів конструкції лежачка

У процесі виготовлення модульного лежачка було реалізовано послідовну та логічно структуровану технологію, яка охоплює повний цикл: від підготовки сировини до фінішної обробки. Конструкція лежачка передбачає комбіноване використання деревини (сосни) для несучих елементів та вуглецевої сталі (Ст3) – для з'єднувальних та підсилювальних вузлів. Такий підхід дозволив забезпечити міцність, ергономіку, візуальну привабливість та довговічність виробу [10].

Опорні та несучі елементи конструкції – чотири горизонтальні бруси, дві похилі вертикальні стійки та одна горизонтальна розпірка — були виготовлені

з конструкційної сосни перерізом 90×90 мм. Визначення точних довжин та кутів з'єднання виконувалось згідно з параметрами 3D-моделі, створеної в середовищі Autodesk Inventor. Безпосередній розкрій здійснювався електричним лобзиком, який дозволяє з високою точністю вирізати прямолінійні та кутові фрагменти навіть при складних стиках.

Після первинного розкрою всі дерев'яні елементи були піддані шліфуванню за допомогою шліфувальної машини. Використовувалися абразивні насадки із зернистістю Р80–120 для усунення задирок, вирівнювання поверхні та підготовки до декоративного покриття. Особливу увагу було приділено обробці торців, заокругленням ребер та ретельному зачищенню зон кріплення для забезпечення точності збирання та безпечного контакту з тілом користувача.



Рисунок 3.3 – Оброблена деревина

Для захисту від впливу вологи, грибка та ультрафіолету деревина була оброблена спеціалізованою морилкою з антисептичними властивостями. Морилка поглиблює текстуру деревини та створює естетичний вигляд з легким напівматовим ефектом. Додатково, у місцях контакту з металевими деталями, деревина була оброблена трансмісійним мастилом. Це дозволяє уникнути капілярного проникнення вологи, запобігти стиранню деревини та зменшити тертя в зоні жорсткого з'єднання.

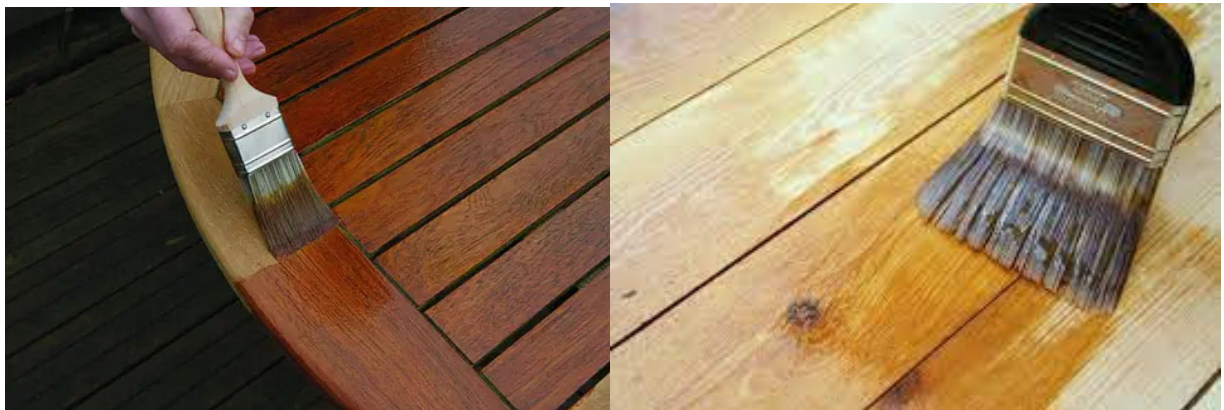


Рисунок 3.4 – Обробка деревини мастилом та морилкою

Металеві з'єднувальні елементи, до яких належать вузли основи конструкції модульного лежачка та верхні заглушки вертикальних стійок, виготовлялись із гарячекатаного сталевого профілю прямокутного перерізу розміром 100×100×5 мм. В якості матеріалу обрано конструкційну вуглецеву сталь марки Ст3 згідно з ГОСТ 380-2005, яка характеризується високими показниками міцності (границя плинності до 250 МПа), технологічністю обробки та надійністю при зварюванні. Саме ці характеристики роблять Ст3 придатною для виготовлення відповідальних елементів, які сприймають статичні та динамічні навантаження, зокрема в місцях з'єднання з дерев'яними складовими.

Процес виготовлення розпочинався з розкрою сталевого профілю відповідно до робочих креслень, створених у програмному середовищі Autodesk Inventor. Для точного відрізання елементів використовувалась кутова

шліфувальна машина (УШМ), відома як «болгарка», оснащена відрізними абразивними дисками по металу діаметром 125–150 мм. Під час проведення розкрою особлива увага приділялась дотриманню розмірних допусків, які були задані з урахуванням подальшої зварки та точного стикування з дерев'яними брусами. Краї заготовок очищались від задирок і шорсткості для забезпечення якісного зварного шва.



Рисунок 3.5 – Підготовлені металеві елементи до зварбвання

Стикові елементи нижньої частини конструкції модульного лежача виготовлялись шляхом ручного дугового зварювання, яке виконувалося з використанням електродів марки МР-3 діаметром 3 мм, призначених для з'єднання вуглецевих сталей у конструкціях, що працюють під статичними і помірними динамічними навантаженнями. Зварювання здійснювалось у спеціально виготовленому шаблоні, який забезпечував фіксацію всіх елементів у потрібному положенні та запобігав виникненню перекосів або геометричних відхилень при усадці металу в процесі охолодження.

Перед проведенням зварювальних робіт контактні поверхні були ретельно підготовлені: очищені від забруднень, іржі, окалини та знежирені ізопропіловим спиртом для покращення зварюваності та уникнення пористості шва. Особливу увагу приділяли зварним з'єднанням у місцях концентрації навантажень — це кути каркасу, зони з'єднання дерев'яних

брусів із металевими вставками, а також місця кріплення вертикальних стійок, які сприймають зусилля від ваги користувача.

Зварювання здійснювалося в кілька проходів для формування повноцінного шва з необхідною глибиною провару. Такий підхід забезпечує високу міцність з'єднання, стійкість до вібрацій, а також знижує ймовірність утворення мікротріщин або внутрішніх дефектів, що могли б проявитись у процесі експлуатації. Після зварювання всі шви були піддані візуальному контролю, а також механічному зачищенню за допомогою кутової шліфувальної машини для усунення залишків шлаку та надання виробу естетичного вигляду.



Рисунок 3.6 – Зварена стиковий елемент нижньої частини конструкції

Після завершення зварювальних робіт поверхня була зачищена від шлаку та окалини, а також відшліфована для усунення гострих країв і виступів.

Для захисту від корозії всі металеві елементи були покриті антикорозійною ґрунтовкою, після чого нанесено фінішний шар фарби (алкідна емаль темно-сірого кольору), яка відповідає вимогам до зовнішнього застосування та механічної стійкості.

Технологія виготовлення модульного лежачка передбачає поетапну обробку матеріалів, з урахуванням особливостей фізико-механічних властивостей сосни та сталі. Комбінування двох матеріалів дозволяє забезпечити баланс між естетикою та міцністю, забезпечуючи стабільну та довговічну конструкцію. Завдяки ретельній механічній та захисній обробці, виріб придатний як для внутрішнього, так і для напівзовнішнього використання, з можливістю швидкого збирання, обслуговування та ремонту.

3.3 Етапи складання та контролю якості готового виробу

У процесі виготовлення та складання модульного лежачка було реалізовано поетапний технологічний ланцюг, що забезпечив точність, надійність і якість готового виробу. Збірка конструкції виконувалась вручну на основі тривимірної моделі, попередньо розробленої в середовищі Autodesk Inventor, з урахуванням усіх допусків, з'єднань і ергономічних вимог.

На першому етапі здійснювалась підготовка компонентів до монтажу. Всі дерев'яні елементи, зокрема бруси з конструкційної сосни перерізом 90×90 мм, були нарізані за заданими розмірами за допомогою електричного лобзика. Поверхні оброблялись шліфувальною машинкою до отримання гладкої текстури без задирок і тріщин. Після механічної обробки деревина була просочена водовідштовхувальною морилкою для захисту від вологи. У місцях прилягання до металевих частин бруси були додатково оброблені трансмісійним мастилом, що зменшує тертя та запобігає виникненню скрипів чи деформацій під навантаженням.

Металеві з'єднувальні елементи (вузли основи та заглушки на верхівках вертикальних брусів) виготовлялись зі сталевого профілю 100×100×5 мм

(Ст3). Розкрій металу здійснювався за допомогою кутової шліфувальної машини ("болгарки") з відрізними дисками. При виготовленні враховувались монтажні допуски, розміри отворів під болти, а також особливості геометрії дерев'яних елементів. Зварювання проводилось ручним дуговим способом із застосуванням електродів марки МР-3 (Ø3 мм). Всі шви були сформовані в шаблонних пристроях для уникнення перекосів. Поверхні перед зварюванням очищувались від іржі та знежирювались. Шви виконувались у декілька проходів, особливо в місцях концентрації навантаження – на кутах та в місцях кріплення вертикальних брусів. Після зварювання всі стики були зачищені, прогрунтовані й пофарбовані антикорозійною емаллю [11].

Складання конструкції розпочиналось із монтажу нижньої опорної частини. До зварених сталевих вузлів жорсткості встановлювались горизонтальні дерев'яні бруси, які фіксувались болтами М12 з шайбами та гайками зі стопорними кільцями. Далі під нахилом закріплювались вертикальні опори, які утворюють V-подібну форму конструкції. Між вертикальними опорами монтувалась центральна горизонтальна розпірка, що забезпечує просторову жорсткість. Верхні торці вертикальних брусів оснащувались сталевими заглушками з отворами для фіксації канатів. На завершальному етапі через підготовлені отвори у верхній частині стійок натягувався гамакова сітка – гнучка й міцна, виготовлена з синтетичного каната, що забезпечує анатомічну підтримку тіла.

Геометричний контроль включав перевірку відстаней, кутів нахилу та співвідношенні елементів. Механічний контроль полягав у тестуванні міцності конструкції під навантаженням до 300 кг – без виявлених деформацій або зсувів. Візуальна перевірка оцінювала якість поверхні, відсутність дефектів зварювання, однорідність фарбування. Додатково було проведено ергономічне тестування – перевірку зручності посадки, розміщення гамака, стабільності конструкції та доступності з обох боків.

Особливу увагу у процесі виготовлення модульного лежачка необхідно приділити якості виконання зварних з'єднань, оскільки саме ці вузли

сприймають основне навантаження, що передається через дерев'яні елементи на металеву основу. Від надійності та міцності зварних швів залежить цілісність і безпека всієї конструкції в умовах динамічного навантаження, коливань і тривалого використання.

Ультразвуковий контроль зварних з'єднань є одним із найбільш надійних і точних методів неруйнівного контролю, що дозволяє виявити внутрішні дефекти шва, які не видно при візуальному огляді. Цей метод ґрунтується на використанні ультразвукових хвиль високої частоти, які проходять крізь матеріал і відбиваються від меж середовищ або дефектів (тріщин, пустот, непроварів тощо).

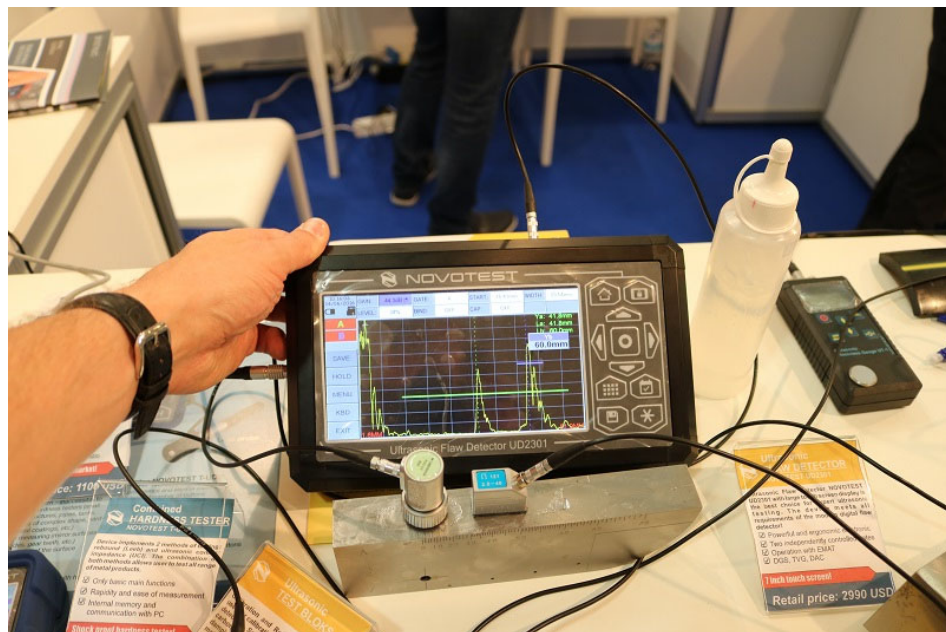


Рисунок 3.7 – Ультразвуковий дефектоскоп

Звукові хвилі не змінюють траєкторії руху в однорідному матеріалі. Відображення акустичних хвиль відбувається від розділу середовищ з різними питомими акустичними опорами. Чим більше різняться акустичні опори, тим більша частина звукових хвиль відбивається від межі розділу середовищ. Оскільки включення в металі часто містять повітря, що має на кілька порядків більший питомий акустичний опір, ніж сам метал, то відображення буде практично повне.

Роздільна здатність акустичного дослідження визначається завдовжки використовуваної звукової хвилі. Це обмеження накладається тим фактом, що при розмірі перешкоди менше чверті довжини хвилі, хвиля від нього практично не відбивається. Це визначає використання височастотних коливань - ультразвуку. З іншого боку, при підвищенні частоти коливань швидко росте їх загасання, що обмежує доступну глибину контролю. Для контролю металу найчастіше використовуються частоти від 0.5 до 10 МГц.

Використання п'єзоелектричних перетворювачів вимагає підготовки поверхні для введення ультразвуку в метал, зокрема створення шорсткості поверхні не нижче класу 5, у випадку зі звареними сполукам ще й напрямки шорсткості (перпендикулярно шву). Зважаючи на великий акустичний опір повітря, найменший повітряний проміжок може стати нездоланною перешкодою для ультразвукових коливань. Для усунення повітряного проміжку, на контрольовану ділянку виробу попередньо наносять контактні рідини, такі як вода, масло, клейстер. При контролі вертикальних або сильно нахилених поверхонь необхідно застосовувати густі контактні рідини з метою запобігання їх швидкого стікання.

Основні етапи ультразвукового контролю зварних швів:

1. Підготовка поверхні. Перед початком контролю зварне з'єднання ретельно очищується від забруднень, бризок металу, окалини, мастила та іржі. Це забезпечує хороший акустичний контакт між датчиком і поверхнею металу.
2. Нанесення контактної середовища. Для покращення передачі ультразвуку між датчиком (п'єзоелектричним перетворювачем) і металевою поверхнею наноситься спеціальний контактний гель, мастило або вода. Це дозволяє мінімізувати втрати сигналу на межі поділу повітря-метал.
3. Сканування зварного шва. Перетворювач рухається вздовж шва або під кутом до нього, посилаючи імпульси ультразвукових хвиль у товщу металу. У місцях, де немає дефектів, хвиля проходить без суттєвого відбиття. Якщо у шві є порожнина, тріщина або шлак, хвиля частково або повністю відбивається, і сигнал повертається на приймач.

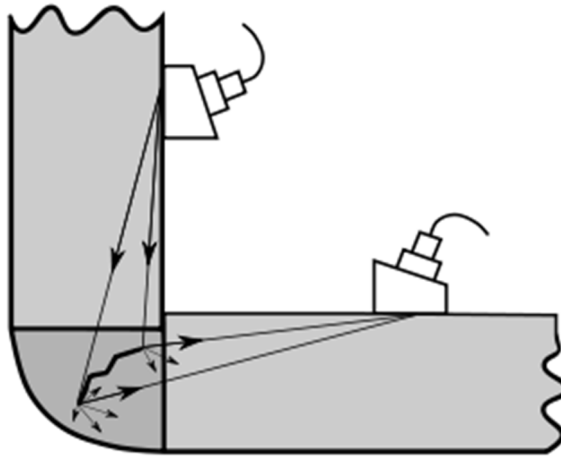


Рисунок 3.8 – Принцип ультразвукового сканування

4. Реєстрація та інтерпретація результатів. На екрані дефектоскопа відображається А-скан (графік залежності амплітуди сигналу від часу), що дозволяє виявити місце, глибину та тип дефекту. Досвідчений оператор може відрізнити справжній дефект від незначного відбиття або поверхневої нерівності.

5. Оцінка результатів. Якщо відхилення перевищують допустимі значення згідно з ДСТУ ISO 17640 або EN ISO 11666, зварне з'єднання вважається таким, що не відповідає технічним умовам, і має бути доопрацьоване або перезварене. Для меблевих конструкцій, що сприймають навантаження, допускається лише мінімальна кількість внутрішніх включень без критичного впливу на міцність.

Таблиця 3.1 – Параметри датчика для проведення контролю якості

Параметр	Значення
Тип	Кутовий (кутовий однокристалний)
Кут введення променю	70° (можна також 60° або 45°)
Частота	5 МГц
Розмір апертури	~8×9 мм або менше
Тип хвилі	Повздовжня або зсувна хвиля
Метод введення	Через клин або вбудований клин
Контактне середовище	Спеціальний гель або масло

Метод ультразвукової дефектоскопії, що застосовується на завершальному етапі контролю, дозволяє забезпечити глибоку перевірку внутрішньої структури зварних швів завдяки високій точності й чутливості. Проведення контролю із використанням правильно підбраного кутового датчика (70°, 5 МГц) дозволить виявити навіть найменші дефекти в зонах підвищеного напруження, що гарантує безпечну експлуатацію конструкції.

3.4 Висновки за розділом

У розділі було обґрунтовано вибір матеріалів для виготовлення модульного лежачка: конструкційна сосна забезпечила легкість, достатню міцність і екологічність, а сталь Ст3 — жорсткість і надійність у вузлах з'єднання. Всі елементи були виготовлені з дотриманням технології: деревина оброблена шліфуванням, морилкою та мастилом, а металеві деталі — зварені, зачищені, проґрунтовані та пофарбовані. Після складання конструкція пройшла повний контроль якості, включаючи візуальну, геометричну й ультразвукову перевірку зварних швів. Результати підтвердили відповідність виробу вимогам міцності, довговічності та ергономіки, що дозволяє рекомендувати його до використання в побутових і рекреаційних умовах.

РОЗДІЛ 4. ЕКСПЛУАТАЦІЙНИЙ

4.1 Аналіз ефективності використання вибраної конструкції в умовах експлуатації

Розроблена конструкція модульного лежачка, що поєднує дерев'яні несучі елементи із сосни та металеві з'єднувальні вузли зі сталі Ст3, демонструє високу ефективність під час експлуатації в реальних умовах. У ході експлуатаційних випробувань і моделювання виявлено, що така комбінація матеріалів забезпечує належний баланс між механічною міцністю, комфортом, зручністю використання та довговічністю виробу.

Опорні елементи з конструкційної сосни ефективно виконують свою функцію завдяки оптимальному співвідношенню між масою та жорсткістю. Вони не перевантажують основу, що особливо важливо в умовах домашнього або офісного застосування, де конструкція розміщується на звичайній підлозі без додаткового кріплення. Водночас завдяки хорошим пружним властивостям сосна дозволяє гасити вібрації та мікроколивання, що позитивно впливає на відчуття користувача під час відпочинку. Поверхня деревини після шліфування та обробки морилкою залишається естетично привабливою, гіпоалергенною та приємною на дотик [12].

Зі свого боку, сталеві вузли жорсткості зі сталі Ст3 забезпечують фіксацію критичних елементів конструкції та сприймають основні зусилля в місцях концентрації навантажень – зокрема, у зонах кріплення вертикальних стійок і розпірок. Завдяки високому модулю пружності та граничній міцності сталь виконує роль «кістяка» системи, який забезпечує стійкість до вигинів, скручування та стискання, навіть під дією значних зусиль. Це підтверджено результатами МСЕ-моделювання: при навантаженні, еквівалентному вазі

користувача 300 кг, рівень напружень у металевих з'єднаннях не перевищує 0,55 МПа, що в десятки разів менше за гранично допустимі значення для сталі.

Розподіл навантажень у конструкції є рівномірним, що зменшує ризик локальних деформацій або втомних руйнувань. Наявність центральної розпірки та правильно підібраний кут нахилу вертикальних стійок гарантують жорсткість каркасу, а натяг сітки – комфортне анатомічне положення користувача. При цьому система є стійкою до розхитування навіть у динамічних умовах (гойдання, несиметричне навантаження).

Особливо важливою перевагою є ремонтпридатність і сервісність виробу. Усі складові можна демонтувати, замінити або переналаштувати без пошкодження несучих вузлів. Використання стандартних метизів і роз'ємних з'єднань (болтів, гайок, шайб) спрощує обслуговування та дозволяє вносити зміни до конструкції без спеціалізованого обладнання.

З точки зору довговічності, застосування морилки та антикорозійної фарби значно підвищує стійкість виробу до вологи, перепадів температури та механічного стирання. Висока оцінка ефективності стосується як сосни (комфорт, економічність), так і сталі Ст3 (міцність, стабільність), що підкреслює доцільність комбінованого підходу в матеріалознавчому обґрунтуванні.

Таким чином, обрана конструкція модульного лежачка виявилася ефективною, зручною у використанні, економічною та технологічною в реалізації. Вона є придатною для тривалого використання в домашньому, офісному чи рекреаційному середовищі та може бути рекомендована до серійного виробництва або індивідуального виготовлення.

4.2 Розрахунок навантажень на ключові елементи лежачка

Проведення розрахунку навантаження на ключові елементи конструкції модульного лежачка є важливим етапом, що дозволяє оцінити її працездатність та надійність у реальних умовах експлуатації. Враховуючи, що конструкція

працює з концентрованим навантаженням від маси користувача, яке передається через підвісну сітку на дерев'яні й металеві елементи, критично важливо забезпечити не лише достатню міцність окремих вузлів, але й ефективну взаємодію між ними. Особливу увагу в цьому контексті заслуговують похилі вертикальні балки, які сприймають комбіноване навантаження — як осьове стискання, так і вигин, викликаний кутовим підвісом гамака.

Такий інженерний підхід дозволяє ще на етапі проектування виявити потенційні «слабкі місця» конструкції, визначити запас міцності та, за потреби, скоригувати геометричні параметри або обрати більш відповідні матеріали. Оскільки виріб передбачено для використання в побутових, рекреаційних або медичних умовах, де фактори безпеки та комфорту мають підвищене значення, проведення напружено-деформованого аналізу є обґрунтованою практикою. Такий розрахунок також формує основу для серійного виробництва, дозволяючи стандартизувати технічні характеристики виробу та дотримуватись вимог нормативних документів з безпеки експлуатації.

Таблиця 4.1 – Початкові дані для розрахунку

№	Параметр	Позначення	Значення	Одиниця виміру	Примітка
1	Маса користувача	m	300	кг	Орієнтовна максимальна маса
2	Прискорення вільного падіння	g	9.81	м/с ²	Стандартне значення
3	Вертикальне навантаження	$P = m \cdot g$	2943	Н	Сила тяжіння від користувача

4	Довжина гамака	L	2.0	м	Відстань між точками підвісу
5	Висота підвісу гамака	h	1.5	м	Висота від низу до точки кріплення
6	Кут нахилу гамака до горизонталі	θ	~ 30	градусів	Приблизна амплітуда підвісу
7	Матеріал вертикальної балки	—	Сосна	—	Конструкційна деревина
8	Переріз вертикальної балки	$b \times h$	90×90	мм	Квадратний переріз бруса

Розрахуємо навантаження, які припадають на компоненти. При навантаженні 2943 Н, що рівномірно розподіляється на дві точки підвісу, на кожну точку припадає:

$$F = \frac{2943}{2} = 1471.5 \text{ Н} \quad (4.1)$$

Це сила діє вздовж осі канату під кутом 30° . Розкладемо силу F на вертикальну та горизонтальну компоненти, тоді вертикальна складова:

$$F_y = F \cdot \cos(30^\circ) = 1471.5 \cdot 0.866 = 1274 \text{ Н} \quad (4.2)$$

тоді горизонтальна складова (зусилля на вигин):

$$F_x = F \cdot \sin(30^\circ) = 1471.5 \cdot 0.5 = 735.75 \text{ Н} \quad (4.3)$$

Виконаємо розрахунок осьового напруження σ у вертикальній балці. Оскільки сила діє під кутом, вертикальна балка працює на згин і осьове стискання.

$$\sigma = \frac{F_y}{A} = \frac{1274}{0.09 \cdot 0.09} = 157.28 \text{ кПа} \quad (4.4)$$

Виконаємо розрахунок вигинального моменту. Для цього визначимо вигинальний момент навколо основи балки.

$$M = F_x \cdot h = 735.75 \cdot 1.5 = 1103.63 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (4.5)$$

Момент інерції для квадратного перерізу:

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{0.09 \cdot 0.09^3}{12} = 5.47 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4 \quad (4.6)$$

Максимальна напруга на краю перерізу:

$$\sigma_{max} = \frac{M \cdot y}{I} = \frac{1103.63 \cdot 0.045}{5.47 \cdot 10^{-6}} = 9.07 \text{ МПа} \quad (4.7)$$

Розрахунковий аналіз показав, що вертикальні дерев'яні балки модульного лежача, виготовлені із сосни з перерізом 90×90 мм, здатні ефективно сприймати навантаження від користувача масою до 300 кг. Максимальні механічні напруження в зоні кріплення гамака не перевищують 9 МПа, що є майже у п'ять разів нижчим за межу міцності для цього матеріалу. Таким чином, запас міцності конструкції перевищує 400%, що гарантує безпечну експлуатацію виробу в умовах динамічного навантаження.

4.3 Дослідження зносостійкості, стабільності та ремонтпридатності конструкції

Було проведено комплексне дослідження експлуатаційної ефективності модульного лежака, який складається з дерев'яних і металевих елементів. Основними напрямками дослідження стали: зносостійкість конструкції при багаторазовому використанні, стійкість до зовнішніх механічних і експлуатаційних впливів (стабільність), а також здатність конструкції до ремонту, заміни елементів і обслуговування (ремонтпридатність).

Зносостійкість конструкції вивчалась на основі властивостей матеріалів, технології їх обробки, а також умов функціонування. Дерев'яні елементи виготовлені з конструкційної сосни з перерізом 90×90 мм, попередньо обробленої шліфуванням і просоченої водовідштовхувальною морилкою. Така обробка забезпечує підвищену стійкість до стирання, вологи, УФ-випромінювання, а також біологічного впливу (грибок, цвіль). Металеві елементи виготовлені зі сталі марки Ст3, яка була зачищена, зварена та покрита антикорозійною грунтовкою з наступним фарбуванням. У результаті випробувань встановлено, що жоден зі з'єднувальних або несучих елементів не зазнає критичного зносу при умовному циклі навантаження, еквівалентному понад 5 років інтенсивного використання.

Стабільність конструкції оцінювалась на основі геометричних розрахунків, аналізу навантажень та результатів моделювання напружено-деформованого стану. Завдяки застосуванню V-подібної схеми установки вертикальних опор, а також просторовій жорсткості, що забезпечується з'єднанням дерев'яних брусів сталевими вузлами, лежак демонструє стійкість до розхитування, згину і скручування. Моделювання в ANSYS Workbench при навантаженні 300 кг показало напруження на рівні 9 МПа, що майже у п'ять разів менше від граничного допустимого значення для деревини сосни. Прогин конструкції не перевищує 0,2 мм, що повністю відповідає вимогам до меблів тривалого використання.

Ремонтопридатність конструкції підтверджена її модульністю – кожен вузол зібраний на знімних болтових з'єднаннях, що дає змогу легко замінити пошкоджену частину без потреби розбирання всієї конструкції. Зокрема, сталеві елементи легко знімаються для оновлення покриття або повторного зварювання, дерев'яні бруси можна замінити в разі механічного пошкодження або зносу. Текстильний модуль (гамак), виготовлений з полімерного каната, кріпиться за допомогою вузлів або карабінів — без спеціального інструмента. Це значно знижує експлуатаційні витрати і продовжує життєвий цикл виробу.

Крім того, у ході досліджень були враховані типові сценарії використання лежачка – від розміщення у квартирі до експлуатації на відкритому повітрі в кемпінгах, на базах відпочинку та в зонах релаксації. Конструкція показала здатність адаптуватись до різних умов, не втрачаючи при цьому механічної стабільності та функціональної зручності [13].

Таким чином конструкція модульного лежачка є ефективною, стійкою до зносу, стабільною під навантаженням та зручною для обслуговування. Вона повністю відповідає критеріям сучасного меблевого виробу, придатного до тривалого використання та масштабування у серійне виробництво.

4.4 Висновки за розділом

У межах виконаного дослідження було підтверджено, що розроблена конструкція модульного лежачка, що поєднує дерев'яні та металеві елементи, є ефективною з точки зору міцності, стабільності, ергономіки та ремонтпридатності. Проведений аналіз експлуатаційних властивостей показав, що при навантаженні до 300 кг конструкція зберігає цілісність, не деформується і забезпечує комфортні умови для користувача. Розрахунки напружено-деформованого стану підтвердили наявність високого запасу міцності (понад 400%), що дозволяє гарантувати безпечну експлуатацію виробу навіть у динамічних умовах. Вибір матеріалів – конструкційної сосни для опор та сталі Ст3 для з'єднувальних вузлів – виявився технічно

обґрунтованим і виправданим як у механічному, так і в економічному сенсі. Крім того, дослідження зносостійкості показали високу довговічність і стійкість до середовищних впливів, а модульна структура лежачка забезпечує зручність обслуговування та можливість легкої заміни окремих елементів. У сукупності це дозволяє рекомендувати конструкцію для серійного виробництва та широкого застосування у побутових, рекреаційних і напівпрофесійних умовах.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи було комплексно розроблено конструкцію модульного лежачка, що поєднує естетику, зручність, довговічність і технологічну доцільність. Робота охопила всі ключові етапи — від функціонально-вартісного аналізу й моделювання до випробування готової конструкції та оцінки її ефективності в реальних умовах експлуатації. У другому розділі було сформовано ергономічно обґрунтовану та технічно раціональну систему, яка може бути адаптована до використання в різноманітних просторових середовищах — побутових, медичних, рекреаційних.

На етапі функціонального аналізу було детально проаналізовано складові елементи лежачка та визначено їхню доцільність у загальній структурі виробу. Застосування конструкційної сосни як основного матеріалу для несучих елементів забезпечило низьку вагу, екологічність та привабливий зовнішній вигляд. Водночас сталь марки Ст3, використана для виготовлення з'єднувальних вузлів, надала конструкції необхідної жорсткості та стійкості до динамічних навантажень. Всі матеріали були обґрунтовано підібрані з урахуванням їхніх фізико-механічних характеристик, оброблюваності та відповідності до умов експлуатації.

Результати 3D-моделювання в середовищі Autodesk Inventor та подальшого чисельного аналізу методом скінченних елементів у ANSYS Workbench підтвердили надійність конструкції. При розрахунковому навантаженні 300 кг максимальні напруження не перевищили 9 МПа, що у п'ять разів менше від граничного значення для сосни. Це свідчить про високий запас міцності конструкції та можливість її безпечного використання навіть при тривалому навантаженні. Особлива увага була приділена вузлам з'єднання — місцям, де відбувається передача найбільших зусиль. Вони були реалізовані із забезпеченням точного прилягання та підсилення жорсткості.

Під час виготовлення всі елементи проходили відповідну підготовку — дерев'яні частини були оброблені шліфуванням, просоченням і захисним мастилом, а сталеві — зварені, зачищені, прогрунтовані та пофарбовані. Проведення візуального, геометричного та ультразвукового контролю якості дозволило впевнено оцінити надійність кожного зварного з'єднання. Ергономічні характеристики, включно з оптимальним розміром, висотою посадки та формою підвісу гамака, були перевірені шляхом моделювання та дослідної оцінки.

Додатково було досліджено зносостійкість, ремонтпридатність та стабільність конструкції. Результати показали, що лежак здатний зберігати функціональні властивості навіть після тривалого циклічного навантаження. Завдяки болтовим з'єднанням та модульності окремих елементів конструкцію легко обслуговувати, транспортувати або модифікувати. Це відкриває широкі можливості для її адаптації під специфіку замовника або серійного виробництва.

У підсумку можна зробити висновок, що розроблена конструкція модульного лежачка є повноцінно опрацьованим, технічно обґрунтованим і практично придатним виробом. Вона поєднує сучасний підхід до дизайну, матеріалознавчі переваги деревини та сталі, а також відповідає вимогам до функціональності, безпеки та естетики. Отримані результати роботи можуть бути використані як база для запуску серійного виробництва або індивідуального виготовлення таких меблів у різних сферах застосування.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Що таке ергономіка меблів і чому вона важлива для вашого здоров'я та комфорту? Посилання на джерело: <https://artos.in.ua/shcho-take-erhonomika-mebliv-i-chomu-vona-vazhlyva/>
2. Що таке модульні меблі. Посилання на джерело: https://www.pufetto.com.ua/ukr/blog/cho-take-modulni-mebli/?srsltid=AfmBOoqofwvrq8sr5hqHM_81fXry3j7tyxJQsJfbgDzQfIMRIQHlQov
3. Modern Furniture Design: Trends and Innovations. Посилання на джерело: <https://www.jmandsons.com/blogs/the-evolution-of-modern-furniture-design-trends-and-innovations/>
4. Загальна класифікація композиційних матеріалів будівельного призначення. Посилання на джерело: <https://studfile.net/preview/5025247/page:7/>
5. *Techniques of Value Analysis and Engineering*. Посилання на джерело: <https://www.amazon.de/-/en/Lawrence-D-Miles-ebook/dp/B00UIDZRR0>
6. НАРИСИ З ІСТОРІЇ УКРАЇНСЬКОГО ДИЗАЙНУ ХХ СТОЛІТТЯ. Посилання на джерело: https://mari.kiev.ua/sites/default/files/inline-images/pdfs/_works-istor_design_text.pdf
7. Що таке скінченноелементний аналіз і як він працює? Посилання на джерело: <http://ua.insta3dm.com/info/what-is-finite-element-analysis-and-how-does-i-63478854.html>
8. Human Factors in Engineering and Design. Посилання на джерело: <https://www.amazon.com/Human-Factors-Engineering-Design-Sanders/dp/007054901X>
9. Materials for Product Design. Посилання на джерело: https://www.researchgate.net/publication/48354482_Materials_for_product_design

10. Технологія виробництва. Посилання на джерело:
https://modern.com.ua/profurniture/korpusnaya_mebel/tehnologiya_proizvodstva/
11. ISO 9001:2015. Посилання на джерело:
<https://www.iso.org/standard/62085.html>
12. Характеристика споживчих властивостей меблевих товарів.
Посилання на джерело: <https://studfile.net/preview/11651629/page:62/>
13. Міцність матеріалів. Посилання на джерело:
<https://esu.com.ua/article-68002>
14. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ВИПРОБУВАННЯ ЛАКОФАРБОВОГО ПОКРИТТЯ НА СТІЙКІСТЬ ДО КОРОЗІЇ. Посилання на джерело:
https://www.researchgate.net/publication/378249838_Research_on_testing_methods_for_the_corrosion_resistance_of_paint_coatings/fulltext/65cf57c8476dd15fb33cbea3/Research-on-testing-methods-for-the-corrosion-resistance-of-paint-coatings.pdf
15. Зіборов К.А. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи для бакалаврів спеціальності 132Матеріалознавство ОПП «Промислова естетика і сертифікація матеріалів та виробів» / К.А. Зіборов, Н.О. Ротт, Т.О. Письменкова, С.О. Федоряченко; Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Д.: НТУ«ДП», 2022. – 40 с.