

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

Механіко-машинобудівний

(факультет)

Кафедра конструювання, технічної естетики і дизайну

(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеня бакалавра

(бакалавра, спеціаліста, магістра)

Студента Єтчий Олександр Миколайович

(ПІБ)

академічної групи 132-21ск-2 ММФ

(шифр)

спеціальності 132 Матеріалознавство

(код і назва спеціальності)

спеціалізації _____

(за наявності)

за освітньо-професійною програмою _____

(офіційна назва)

«Промислова естетика і сертифікація матеріалів та виробів»

на тему Вибір раціональних параметрів рами велосипеда зменшеної ваги

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційно ю	
кваліфікаційної роботи	Твердохліб О.М.			
розділів:				
Аналіз стану питання та постановка задач роботи	Твердохліб О.М.			
Функціональний аналіз та моделювання об'єкта розробки	Твердохліб О.М.			
Інженерно- технологічний	Ротт Н.О.			
Експлуатаційний	Федоряченко С.О.			
Рецензент	Богданов О.О.			
Нормоконтролер	Гаркавенко Д.В.			

Дніпро
2024

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

_____ Федоряченко С.О.
(підпис) (прізвище, ініціали)
« _____ » _____ 2024 року

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

студенту Стчій Олександр Миколайович академічної групи 132-21ск-2
(прізвище та ініціали) (шифр)
спеціальності 132 Матеріалознавство
спеціалізації _____
за освітньо-професійною програмою «Промислова естетика і сертифікація
матеріалів та виробів»
на тему Вибір раціональних параметрів рами велосипеда зменшеної ваги
затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 30.04.2024р.
№380-с.

Розділ	Зміст	Термін виконання
Аналіз стану питання та постановка задач роботи	Аналіз стану питання та постановка задач роботи	01.05.2024
Функціональний аналіз та моделювання об'єкта розробки	Проведення функціонально-вартісного аналізу елементів велосипеда. Інженерний розрахунок. Моделювання та аналіз за допомогою МСЕ з використання раціональної топології	15.05.2024
Інженерно-технологічний	Обґрунтування технології виробництва рами велосипеда	30.05.2024
Експлуатаційний	Обрати методи контролю якості рами велосипеда	06.06.2024

Завдання видано _____
(підпис керівника)

Олександр Твердохліб

Дата видачі 30.04.2024

Дата подання до екзаменаційної комісії 19.06.2024

Прийнято до виконання _____

Олександр Стчій.

РЕФЕРАТ

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

РАМА ВЕЛОСИПЕДА, РАЦІОНАЛЬНА ТОПОЛОГІЯ, ГЕНЕРАТИВНИЙ ДИЗАЙН, РЕЖИМИ НАВАНТАЖЕННЯ, НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН, КАРБОН, ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА РАМИ, МЕТОДИ КОНТРОЛЮ.

Об'єкт розроблення – проектування та виготовлення рами велосипеда зменшеної ваги.

Мета роботи – розробка рами велосипеда зменшеної ваги із застосуванням топологічної оптимізації та генеративного дизайну.

У вступі описано призначення елементів велосипеда та матеріали та технології для виготовлення велосипедної рами. Обґрунтовано перелік завдань для досягнення мети дипломного проекту.

У розділі функціонального аналізу та моделювання об'єкта розробки, виконано функціонально-вартісний аналіз рами велосипеда. Розглянуто напружено-деформований стан рами при найважчих режимах роботи в САПР Autodesk Fusion 360, спроектовано за допомогою інструментів генеративного дизайну раціональну форму рами та обґрунтовано вибір матеріалу.

В інженерно-технологічному розділі досліджено матеріали, які використовуються в рамах велосипедів та запропонована технологія виготовлення рами.

У експлуатаційному розділі описано методи контролю якості рами велосипеда та обрано обладнання для проведення випробувань.

Практична значимість кваліфікаційної роботи – пошук шляхів зменшення кількості металу, що споживається машинобудуванням.

Графічна частина проекту складає 19 слайдів презентації.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ РОБОТИ	7
1.1 Властивості рам велосипедів за стилями катання	7
1.2 Типи рам велосипедів	9
1.3 Матеріали рами велосипеда	12
1.4 Методи виготовлення велосипедних рам	18
1.5 Фізичні сили, що діють при їзді велосипедом	20
1.6 Довговічність рами велосипеда	23
1.7 Постановка задачі	24
РОЗДІЛ 2. ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТА РОЗРОБКИ.....	26
2.1 Функціонально-вартісний аналіз.....	26
2.2 Ергономіка рами велосипеда	28
2.3 Інженерний розрахунок рами велосипеда	30
2.4 3D модель рами велосипеда з раціональною топологією.....	34
2.5 Перевірка напружено-деформованого стану рами велосипеда	40
2.6 Висновки до розділу	42
РОЗДІЛ 3. ІНЖЕНЕРНО ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	43
3.1 Загальна характеристика карбону	43
3.2 Технологія виготовлення ниток вуглеволокна	47
3.3 Технологія виготовлення велосипедних рам із карбону	50
3.4 Висновки до розділу	55
4 РОЗДІЛ. ЕКСПЛУАТАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ	56
4.1 Сертифікація рами велосипеда	56
4.2 Випробування на удар (падаюча маса).....	57

4.3	Випробування на удар (падаюча рама) у горизонтальному положенні.....	59
4.4	Втомні випробування від зусиль на педалях	62
4.5	Втомні випробування від горизонтальних зусиль.....	65
4.6	Втомні випробування від вертикальних зусиль.....	67
4.7	Випробувальна система велосипеда KINGPO EN 14764.....	69
4.8	Висновки до розділу	70
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	72
	ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	73

ВСТУП

Проектування велосипеда – базовий процес, який визначає всі його характеристики і як наслідок – його тип, призначення та вартість. Велосипед має складну конструкцію.

Інженерне проектування велосипеда вимагають високих компетенцій у різних областях. Як наслідок, це дорогий і тривалий процес, який можуть дозволити собі далеко не всі компанії, що пропонують велосипеди.

При виборі велосипедної рами важливо враховувати свій стиль катання, бюджет та особисті уподобання

В машинобудуванні скорочення прямих витрат за рахунок економії матеріалу, пов'язано з розмірами серій, де вигреш у кілька грамів на транспортний засіб при виробництві кілька мільйонів одиниць означає зекономлені тонни матеріалу, а при ресурсі роботи в 25 років це ще й величезна економія зусиль велосипедиста.

Програмне забезпечення Autodesk Fusion 360 володіє широкими можливостями в інженерії та промисловому дизайні. Одним з його інструментів є дослідження раціоналізації форми, яка допомагає зменшити вагу досліджуваного об'єкта та заощадити витрати на матеріали.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ РОБОТИ

1.1 Властивості рам велосипедів за стилями катання

Існує безліч різних стилів катання на велосипеді, і для кожного є свій тип рами.

Рами для шосейних велосипедів повинні забезпечувати найбільш швидкий набір швидкості велосипеда при додатку м'язових зусиль велогонника, а також високу стійкість і хорошу керованість. Це досягається збільшеною жорсткістю при малій вазі та відмінними аеродинамічними характеристиками. Рами для шосейних велосипедів мають великий розмір.



Рисунок 1.1 – Рама шосейного велосипеда

Рами для «Крос кантрі» також забезпечують швидкий набір швидкості велосипеда. В умовах пересування по пересіченій місцевості керованість та стійкість велосипеда є пріоритетними. Рама має витримувати довготривалі циклічні навантаження. Основні вимоги - мала вага при високій жорсткості. На рамах для Крос кантрі широко застосовуються амортизатори. Розміри рам можуть змінюватись від середнього до великого.



Рисунок 1.2 – Рама велосипеда «Крос кантрі»

Рама має бути дуже міцною, витримувати великі навантаження протягом тривалого часу. Розміри рами невеликі і менші, ніж для крос кантрі. Вага немає великого значення. В основному використовується конструкція двопідвіси з двома амортизаторами.

Жорсткість рами має важливе значення і досягається за допомогою оригінальних конструктивних рішень у вигляді: монокока - зварювання половинок труб на великій довжині або маленького трикутника з дуже товстих труб. основні вимоги рам для фрірайду та даунхілла – довговічність та висока міцність.



Рисунок 1.3 – Рама велосипеда для фрірайду та даунхілла

BMX (стрит, тріал, дерт). Невеликий розмір рами, які повинні витримувати великі ударні циклічні навантаження. На рамах BMX можуть застосовуватися жорсткі амортизатори з невеликим ходом. Вага рами тут великого значення немає.



Рисунок 1.4 – Рама велосипеда для BMX

1.2 Типи рам велосипедів

Велосипедна рама- Основна частина велосипеда, до якої кріпиться велосипедне обладнання.

У конструкції переднього трикутника рам класичних конструкцій можуть бути передбачені шарніри та роз'єми для влаштування амортизатора.

Існують рами без верхньої труби або з верхньою трубою, що йде поруч із нижньою. Цей варіант рами зазвичай називається жіночим. На такий велосипед можна сісти у спідниці, не порушуючи пристойності, що було важливо у минулому.



Рисунок 1.5 – Ромбоподібна рама велосипеда

Класична рама, що найчастіше зустрічається, в основному на чоловічих дорожніх і шосейних і гірських велосипедах.



Рисунок 1.6 – Відкрита рама велосипеда

Верхня труба розташована близько до нижньої та іноді має вигин ближче до підсідельної труби. Зустрічається на жіночих та дитячих велосипедах.



Рисунок 1.7 –Хвильова рама

Ще один тип відкритої рами, де верхня та нижня труби об'єднані в одну більшого діаметра для збільшення жорсткості. Встановлюється на дитячі, жіночі та складані велосипеди.



Рисунок 1.8 – Рама «Гусяча шия»

Відкрита рама, де верхня та нижня труби йдуть паралельно та мають вигини у верхніх та нижніх частинах. Застосування: дорожні, міські, жіночі та дитячі велосипеди.



Рисунок 1.9 – Змішана рама

Напіввідкрита рама, де верхня здвоєна труба йде від кермової колонки до центру заднього колеса з проміжним кріпленням до підсідельної труби.

Встановлюється на міських, дорожніх, жіночих, дитячих та підліткових велосипедах.



Рисунок 1.10 – Трапецеподібна рама

Верхня труба йде від кермової труби до середньої частини підсідельної з різними варіантами нахилу. Дорожні, міські, жіночі, дитячі, підліткові та інші велосипеди.

Велосипедна рама, як правило, зварена з профілів, що утворюють два так звані трикутники - передній і задній.

Передній трикутник утворений «підсідельною трубою», що з'єднує сидло та каретку; "нижньою трубою", що з'єднує каретку з "кермовий трубою" ("склянкою"); та «верхньою трубою», що з'єднує «кермову трубу» з «підсідельною трубою».

Задній трикутник утворений двома парами труб. Верхня пара йде від «підсідельної труби» до кронштейнам кріплення втулки раднього колеса («дропаути» від англ. dropout; drop – випадати, out – назовні). Нижня пара йде від каретки. Найчастіше ці пари називають «пір'ям».

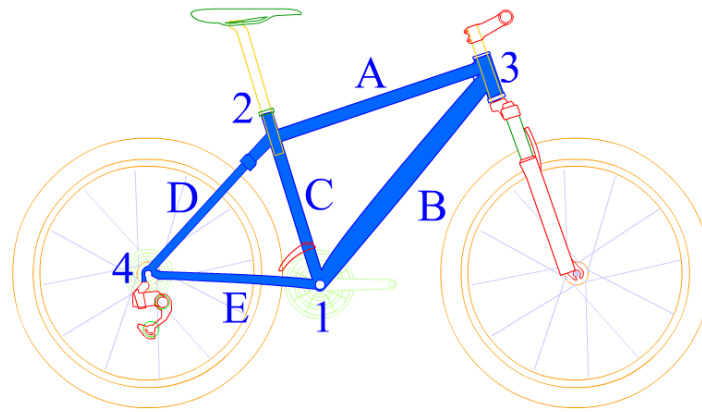


Рисунок 1.11 – Конструкція велосипедної рами

A – верхня труба; B - нижня труба; C - підсідельна труба;

D — верхнє пір'я заднього трикутника; E - нижнє пір'я заднього трикутника;

1 - каретка; 2 - місце з'єднання підсідельної труби з підсідельним штирем;

3 - кермовий стакан; 4 –кронштейни кріплення втулки заднього колеса.

1.3 Матеріали рами велосипеда

Протягом багатьох років сталь була найпоширенішим матеріалом, з якого виготовлялися рами велосипеда. Протягом майже ста років удосконалювалися технології виробництва та підбиралися найбільш підходящі марки сталі для рами велосипеда. Найбільш поширеними марками сталі для виробництва рам є ті, що містять хром та молібден – легуючі елементи. Відповідно вони називаються хром молібденовими. У деяких випадках для виробництва рам використовують інші менш дорогі марки сталі.

Переваги сталевих рам

1. Сталева рама рахунок пружних властивостей металу добре гасить поштовхи і вібрацію на поганій дорозі.

2. При поломці сталеву раму можна відремонтувати і навіть замінити окремі елементи, використовуючи зварювальний апарат.

Недоліки сталевих рам

1. Велика вага - основний недолік сталевої рами за рахунок високої питомої ваги заліза.

2. Схильність до корозії. У процесі експлуатації велосипеда захисне покриття рами пошкоджується і в цих місцях з'являється іржа. Також корозія може з'явитися на внутрішній частині труб рами, тому вимагає регулярного огляду та підфарбовування.

Сплави алюмінію для рами велосипеда.

Алюміній має меншу міцність, ніж хром молібденова сталь чи титан. Однак його широко використовують під час виробництва велосипедних рам. Найголовніша перевага алюмінію перед сталлю у його невеликій вазі, а в порівнянні з титаном він має низьку ціну. Така комбінація властивостей алюмінію дозволяє виготовляти легкі та якісні рами за прийнятну ціну.

Для виготовлення рам велосипедів зазвичай використовують два види алюмінієвих сплавів - 7005 і 6061. Якщо уважно вивчити специфікації велосипедів, то в моделях велосипедів дорожче зустрічається сплав 6061. Але, за своїми характеристиками сплав 7005 міцніший. Чому більшість виробників велосипедів вибирають саме сплав 6061? У таблиці для порівняння вказані характеристики різних сплавів алюмінію 2014, 6061, 7005 та 7075.

Межа міцності на розрив - значення навантаження, перевищивши яке матеріал руйнується.

Відсоток подовження – середня величина подовження деталі, підданої деформації до її поломки.

Межа плинності – значення навантаження, перевищивши яке настає деформація, що не відновлюється.

Твердість по Бринеллю – характеристика твердості матеріалу.

Код Т6 – метал зазнав температурної обробки та загартування.

З таблиці можна побачити, що сплав 2014 міцніший за сплави 6061 і 7005, а сплав 7075 найміцніший. Однак вибір виробників велосипедних рам випав саме на сплави 6061 та 7005. Як відомо, рами велосипеда виготовляються з алюмінієвих

труб шляхом їх зварювання. Сплави 2014 та 7075 набагато гірше обробляються та зварюються. Тому і було обрано 6061 та 7005.

Таблиця 1.1 – Алюмінієві сплави для рам велосипедів

Характеристики алюмінієвих сплавів:					
Сплав	Склад сплаву	Межа міцності, на розрив	Відсоток подовження	Межа плинності	Твердість за Брінеллем
2014-T6	4.5% Мідь. 0.8% Вуглець 0.8% Марганець 0.5% Магній	70000 psi	13%	60000 psi	135
6061-T6	1% магній 0.5% Кремній 0.2% Хром 0.3% Мідь до 0.7% Залізо	45000 psi	17%	40000 psi	95
7005-T6	4.5% Цинк 1.4% Магній 0.45% Марганець, 0.13% Хром	51000 psi	13%	42000 psi	125
7075-T6	5.6% Цинк 2.4% Магній 0.15% Марганець, 1.5% Мідь	83000 psi	11%	73000 psi	150

Що стосується відмінності між ними, то сплав 7005 також важче обробляється через великий вміст добавок. Зі сплавом 6061 легше працювати, а менша міцність перед сплавом 7005 компенсується застосуванням таких технологій, як подвійний і потрійний баттинг, стінки змінної товщини та овальний переріз труб. Це дозволяє зменшити вагу рами та підвищити міцність труб.

Переваги рам з алюмінієвих сплавів

1. Вага - основна перевага. Рами з алюмінієвих сплавів виготовляються з масивніших труб, щоб зрівняти їх міцність зі сталевими, але все одно вони мають набагато меншу вагу в порівнянні зі сталевими.

2. Через властивості алюмінію протистояти окисленню, рами з нього практично не схильні до корозії. Винятком є їзда на велосипеді взимку, коли дороги обробляються різними реагентами, які можуть взаємодіяти з алюмінієм. 3. Жорсткість. Алюмінієва рама має високу жорсткість, що дозволяє легше керувати велосипедом.

Недоліки:

1. Висока ціна, алюміній завжди був дорожчим за сталі, плюс його зварювання вимагає складного технологічного процесу, через що зростає ціна.

2. Складний ремонт, для зварювання алюмінію потрібен апарат аргонного зварювання – дороге задоволення і не факт, що зварний шов витримає наступні навантаження.

3. Жорсткість рами є і її недоліком: усі вибоїни та нерівності дороги передаються на частини тіла велосипедиста.

Рами зі сплавів титану.

Рами з такого матеріалу зазвичай не виготовляються масово, хоча досить широко застосовуються, особливо у професійному велоспорті.

Титанові компоненти зазвичай встановлюються на велосипеди професіоналів. Конструкції, виготовлені з титану, відрізняються малою втомою матеріалу, високою питомою міцністю, пластичністю та корозійною стійкістю. Титанові компоненти велосипеда не потребують фарбування, тому що не окислюються і завжди мають відмінний зовнішній вигляд. Компоненти з титану мають вагу таку ж, як і високоякісні алюмінієві, а їхня міцність така ж, як у сталі.

Ціна у виробів із титану дуже висока.

Зумовлено це насамперед:

- високою енергоємністю очищення та переробки матеріалу;
- Через певні властивості титану дуже складно з нього формувати деталі;
- технології обробки титану вимагають відпалу у вакуумних печах;
- дорогими механічними методами обробки та зварювання;
- дрібні серії виробництва титанових компонентів збільшують ціну окремо взятої деталі.

Переваги:

1. Висока міцність.
2. При однаковій міцності зі сталлю титан вдвічі легший.
3. Не схильні до корозії.
4. Добре гасять вібрацію від нерівностей дороги.

Недоліки: ціна – основний недолік, який стримує попит на велосипеди з такими рамами.

Рами з композитних матеріалів.

Композитні матеріали почали використовувати у велосипедобудуванні, щоб зменшити вагу велосипеда, не втративши при цьому міцність. Появі карбонових рам сприяло розвиток хімічної промисловості області полімерів.

Карбон - композиційний полімер, що складається зі сплетених ниток у потрібному напрямку, залитий полімерними смолами. Карбону властива висока міцність та жорсткість при невеликій вазі. За своїми характеристиками карбон міцніший за сталі кращих марок.

Основу карбону складають вуглецеві нитки завтовшки від 0,005 до 0,015 мм діаметром. Вони мають велику поздовжню міцність і розірвати їх дуже важко. У той же час бічна міцність ниток невисока і легко ламаються впоперек. Нитки карбону отримують за допомогою обробки органічного волокна впливом високих температур, у процесі чого з нього вигоряють усі домішки та залишається чистий вуглець. Обробка за допомогою температури відбувається у три етапи.

Використання карбону у велосипедах.

1. Початковий матеріал - віскоза або поліакрилонітрил 24 години витримується при температурі 250 ° С в повітряному середовищі. При цьому утворюються молекули полімеру зі здвоєним ланцюгом, так звані сходові структури, схожі при проекції на сходи. Тут пояснюється міцність карбону: на відміну від лінійних полімерів, де щоб зруйнувати макромолекулу, достатньо розірвати один зв'язок, у випадку з карбоном необхідно зруйнувати два і більше хімічних зв'язків у молекулі.

2. Карбонізація - стадія підвищення вмісту вуглецю, при якій волокна нагрівають при температурі 500 - 1500 °С в азотному або аргонному середовищі. У цьому утворюються синтетичні графіні структури.

3. Графітізація - заключна стадія, в результаті якої доводять вміст у волокні вуглецю до значення не менше 99%. Процес обробки проводиться при температурному режимі від 1600 до 2800 °С.

З отриманих у такий спосіб ниток плететься тканина з різними малюнками полотна. Тканина застосовується під час виробництва великих деталей велосипеда. Щоб отримати максимальну міцність, вуглецеву тканину укладають у кілька шарів з різним напрямком плетіння в кожному шарі. Частина велосипеда, що мають форму у вигляді трубок, виготовляють за допомогою намотування ниток на каркас. Потім все заливається полімерними смолами.

За всіх своїх переваг карбон має і недоліки. Він боїться ударів, особливо точкових, у місці отримання удару матеріал починає відшаровуватись і ремонту пошкоджена частина практично не підлягає. Другий непрямий недолік карбону – це його висока ціна.

Пояснюється це високою ціною матеріалів з яких він виготовляється дорогим технологічним процесом, що вимагає спеціального обладнання, а також великий відсоток ручної праці. З карбону роблять: рами, шатуни, виделки, сидла, підсідельні штирі та виноси керма.

Перспективи у карбону як матеріалу для масового і недорогого виробництва велосипедів досить хороші. Як десять років тому алюміній раптом різко витіснив сталь з велосипедобудування, так і карбон чекає свого часу.

Переваги рам з карбону:

1. Мала вага.
2. Міцність.
3. Добре гасять вібрацію.
4. Не схильні до корозії.

Недоліки:

1. Бояться ударів, через крихкість матеріалу.

2. Висока ціна.

1.4 Методи виготовлення велосипедних рам

Перш ніж рама зварена це комплект комплектуючих - труби, дропи, іноді каретка і тп. Підсумкова вартість рами визначається вартістю комплектуючих плюс вартістю роботи. Цікаві обидва аспекти, зупинюся на ключових моментах. Асортимент доступних труб величезний, тут ключовий момент скільки вони коштують. Тонкі труби, що використовуються у велосипедах середнього та вищого сегмента, наприклад Cinelli, дороги. Вони не потрапляють у заданий бюджет. Плюс їхнє зварювання — високотехнологічний процес, теж дорогий. Набагато простіше використовувати товстіші труби, що використовуються в ВМХ велосипедах. Вони дешевші і з ними простіше працювати. Вибір очевидний, його наслідок вага велосипеда – близько 13,5 кг.

Щоб з'єднати між собою труби, з яких складається рама велосипеда, застосовують три основних методи.

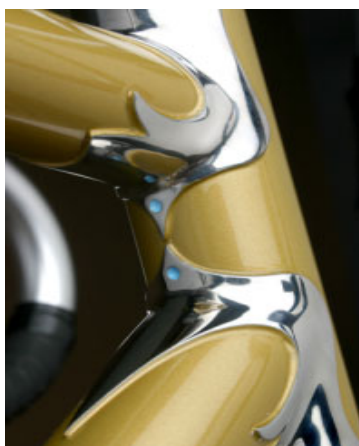


Рисунок 1.12 – Метод Lugged construction

Lugged construction – метод з'єднання труб рами між собою за допомогою спеціальних фігурних вузлів. Метод застосовувався на зорі появи сталевих рам класичної конструкції, іншого тоді просто не існувало. Виготовлення вузлів, за допомогою яких з'єднуються труби, є окремим технологічним процесом.

На велосипедах, що виготовляються на замовлення, такі вузли для оригінальності виконують у вигляді візерунка. Місце, де труба заходить у вузол, пропаюється латунню або сріблом. Основною перевагою такого виду з'єднання є ремонтно-придатність рами: пошкоджену трубу можна завжди замінити. Більшість виробників давно відмовилися від такого методу, але деякі, наприклад, Schwinn і Colnago досі його використовують.



Рисунок 1.12 – Високотемпературне паяння

Для скріплення труб рами при використанні методу високотемпературного паяння використовують припій з відмінних металів від сталі. Проміжки між деталями рами заповнюють розплавленим припоєм попередньо прогрів деталі.

Основним матеріалом для припою є сплав із бронзи та латуні. Паяння виробляється при температурі 800 - 1100 °С. Такі з'єднання витримують великі навантаження та дуже надійні. Інший тип припою для паяння складається зі срібла та другого металу - цинку, міді, нікелю або олова. У нього менша температура плавлення, ніж у бронзово - латунного і тому менше шансів деформувати частини, що з'єднуються.

З-за більшої плинності такий припій краще проникає в пази між деталями, що з'єднуються. Третій вид припою срібно - нікелевий має ще кращі якості, але дорожчий.

Метод скріплення високотемпературною пайкою дозволяє накладати великий шар припою, щоб потім при подальшій обробці згладити кути з'єднання деталей і надати виробу більш естетичного вигляду.



Рисунок 1.12 – TIG - зварювання

TIG - зварювання - дугове зварювання ручним методом за допомогою електродів з вольфраму серед захисного інертного газу, найчастіше аргону, гелію або іншої суміші газів. Зварювання TIG із застосуванням постійного струму використовується на сталевих конструкціях, а на змінному для зварювання алюмінієвих деталей.

Шов за такого способу виходить чистим і рівним. Дозволяє зварювати між собою тонкі деталі, не пропалюючи їх. З-за застосування ручної праці TIG — зварювання досить дороге і вимагає підготовки та досвідченого персоналу.

1.5 Фізичні сили, що діють при їзді велосипедом

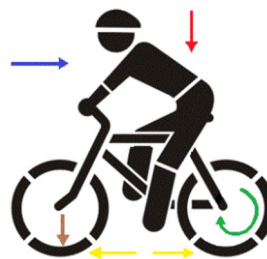


Рисунок 1.13 – Умовне зображення діючих сил

Так як класичний велосипед має два колеса, то велосипедисту для того, щоб він їхав, постійно необхідно підтримувати рівновагу та долати різні сили, що виникають у процесі руху. Те, що конструкція велосипеда нескладна, це не означає, що все так просто. Фізичні сили, що діють при їзді велосипедом, засновані на

фундаментальних законах науки. Розглянемо основні сили, що діють при їзді велосипедом.

1. Сила тяжіння (гравітація), гравітація – одне із чотирьох фундаментальних явищ у природі. Сила, з якою вона діє, прямо пропорційна масі тіла велосипедиста. Чим більша вага велосипедиста, тим сильніша сила гравітації. Вона діє на велосипедиста та компоненти велосипеда перпендикулярно до поверхні землі. Сила її дії зростає при підйомі велосипедом в гору і відповідно зменшується при спуску.

2. Сила опору повітря, аеродинамічні сили, що діють на велосипедиста, в основному складаються з опору повітря і зустрічного або бічного вітру. При середній швидкості та русі по рівній поверхні аеродинамічний опір є найбільшою силою, яка перешкоджає руху вперед. При подальшому збільшенні швидкості аеродинамічний опір стає переважним, і своєю величиною набагато перевершує всі інші сили, які перешкоджають руху вперед.

Двоколісний велосипед при русі не падає, бо той, хто ним їде постійно підтримує рівновагу. Площа опори велосипеда невелика - це пряма, яка проведена через точки торкання коліс велосипеда із землею. Тому велосипед перебуває у стані динамічної рівноваги.

Досягається це за допомогою підрулювання: при нахилі велосипеда людина повертає кермо в той же бік. Після цього велосипед повертає, при цьому відцентрова сила повертає велосипед у початкове вертикальне положення. Процес підрулювання, щоб утримати рівновагу відбувається безперервно, тому рух велосипеда не прямолінійний. Якщо кермо зафіксувати, то велосипед упаде.

Існує залежність швидкості та відцентрової сили. Чим вище швидкість, тим більше значення у відцентрової сили і менше необхідно відхилити кермо підтримки рівноваги.

Щоб повернути, необхідно нахилити велосипед убік так, щоб сума відцентрової сили та сили тяжіння проходила через лінію опори коліс. Якщо це не так, то відцентрова сила перекине велосипед в інший бік. Для полегшення підтримки рівноваги конструкція кермового керування велосипедом має свої

особливості. Вісь кермової колонки нахилена назад, а не розташована вертикально. Вона проходить нижче осі обертання колеса та попереду точки, де колесо велосипеда стосується землі.

Під час гальмування при їзді велосипедом, головне зберігати рівновагу. Гальмування не менш важливий момент, ніж сама їзда, а найшвидше найважливіший, тому що від цього залежить здоров'я велосипедиста. Якщо знати теорію поведінки велосипеда в момент гальмування можна набагато зменшити кількість синців і шишок (на жаль, без цього все одно не обійтись).

З визначенням зрозуміло. В енциклопедіях написано, що "гальмувати - це сповільнювати рух за допомогою гальма". Але ж вся штука полягає в тому, що зазвичай усіх не дуже цікавить чим уповільнювати (хоча і про це треба б згадати). на дорозі.

Можна спробувати розписати багато теоретичних порад на всі можливі ситуації на дорозі, але завжди є винятки з правил і рано чи пізно велосипедист виявляється у тій ситуації, коли рекомендацій не вистачає. Найголовніше, щоб гальмування при їзді велосипедом було доведено до автоматизму, адже в екстрених випадках розмірковувати як зробити правильно і згадувати теорію просто немає часу.

Прийняти правильне рішення допомагає інтуїція, але треба знати деякі теоретичні правила поведінки велосипеда в момент гальмування.

Накат велосипеда залежить від різних факторів: характеристик рами, амортизаторів, діаметра колеса, покриття, тиску в камерах, загальної ваги велосипеда та багатьох інших. Накат не можна виміряти цифрами. Досвідчені велосипедисти можуть його відчутти та оцінити. Для любителів різниця особливо видно, якщо вони змінюють наприклад недорогий велосипед на більш дорогий та високоякісний.

Рама. Є вираз "накатиста рама". Але відчутти різницю між "ненакатистою" і "накатистою" рамою дуже складно, тому що явно помітні особливості характерні тільки дуже дорогим моделям. Рами, виготовлені з дорогих матеріалів, мають властивість поглинати поштовхи та вібрації. Більше подовжені конструкції рам

допомагають велосипедисту зайняти на велосипеді аеродинамічнішу посадку, що позитивно впливає на накат. Але на звичайному велосипеді накат від рами залежить не так значно, як від інших компонентів.

Розмір коліс. Один із головних визначальних факторів, що впливають на накат велосипеда. Колеса великих розмірів на 28 або 29 дюймів проходять відстань швидше, ніж 26 дюймові, тому велосипед з ними більш нахилій. Популярні зараз найнери, з 29 дюймовими колесами мають цю якість.

Протектор шини. Найкраще котиться гладка тонка гума без протектора. Найгірша широка агресивна покришка з високим малюнком протектора.

1.6 Довговічність рами велосипеда

У процесі експлуатації велосипеда на раму діють навантаження, що багаторазово повторюються. Ці циклічні навантаження виникають від нерівностей дорожнього полотна: ями, купини, вибоїни в асфальті та ін. Однак певна кількість циклів навантажень у матеріалі конструкцій викликала деформацію, тріщини та подальше за цим руйнування.

Це характеризується терміном «втомне руйнація». Кількість циклів навантаження, що призводить до руйнування, назвали «втомною довговічністю».

Ті ж дослідження показували, що наявність тріщин, вм'ятин, отворів, зварних швів у найбільш навантажених місцях конструкції знижує довговічність конструкції на порядок. Така тенденція називається "локальна концентрація напруги". Навіть невеликий отвір у конструкції сприяє збільшенню напруги поруч із собою як мінімум у 2 рази, а подряпина достатньої глибини у 5-6 разів. Тріщина підвищує локальну напругу до межі плинності і тому планомірно збільшується зі зростаючою швидкістю.

Такі властивості сплавів з алюмінію змушують конструкторів рам проектувати їх таким чином, щоб напруги в рамі розподілялися максимально рівномірно. Тому в місцях стику труб та зварних швів збільшують товщину труб — так званий баттинг. Також змінюють висоту перерізу труби в площині, якою

вона найбільше навантажена, використовуючи змінний овальний переріз. Для більш рівномірного розподілу навантажень застосовують профільування, гідроформінг, посилення косинками або зварювання рами з листа (технологія монокок).

Сталеві конструкції також відчують явища втоми, але меншою мірою. Стали більш довговічними і мають більшу межу втоми. Вони витримують набагато більше циклів навантажень, але також до певного моменту.

Взагалі, довговічність алюмінієвої рами багато в чому залежить від металу, з якого вона зроблена. Якщо взяти дві рами з різних сплавів, що мають між собою різницю втомного руйнування в 1,5 рази, то одна з них прослужить на 50% довше. Але, якщо на ній кататиметься людина вагою в 1,5 рази більше, то термін служби обох рам буде однаковим. Це діє тільки якщо геометрія двох рам однакова.

1.7 Постановка задачі

Проектування велосипеда – базовий процес, який визначає всі його характеристики і як наслідок – його тип, призначення та вартість. Велосипед має складну конструкцію. Інженерне проектування велосипеда вимагають високих компетенцій у різних областях. Як наслідок, це дорогий і тривалий процес, який можуть дозволити собі далеко не всі компанії, що пропонують велосипеди.

Для досягнення мети дипломної роботи потрібно вирішити наступні задачі дослідження:

- 1) аналіз і опис умов експлуатації, робочого процесу, критерії працездатності та факторів, що впливають на конструкцію рами велосипеда;
- 2) обрати раціональні матеріали для виготовлення рами велосипеда зменшеної ваги
- 3) виконати 3D модель з раціональною топологією форми рами велосипеда у САПР Autodesk Fusion 360
- 4) за допомогою інженерних розрахунків знайти діючі навантаження в елементах рами;

- 5) виконати напружено-деформований аналіз методом скінченних елементів;
- 6) обґрунтування технології виготовлення рами велосипеда;
- 7) запропонувати методи сертифікації та контролю якості виробу.

Для зменшення ваги конструкції та енергії на рух велосипеда інженери проводять дослідження в сфері раціональної топологічної форми рами. Одним із шляхів для вирішення цієї задачі добре підходить програмне забезпечення Autodesk Fusion 360, в якому є функція «Генеративного дизайну».

РОЗДІЛ 2. ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТА РОЗРОБКИ

При виборі велосипедної рами важливо враховувати свій стиль катання, бюджет та особисті уподобання. Ось кілька факторів, які слід враховувати при виборі велосипедної рами:

- Рами велосипедів зазвичай виготовляються із сталі, алюмінію, карбону чи титану. Сталь міцна та недорога, але вона також важка. Алюміній легкий і міцний, але він дорожчий за сталі. Карбон легкий і жорсткий, але найдорожчий з представлених матеріалів. Титан міцний, легкий та стійкий до корозії, але він також найдорожчий.

- Рама велосипеда повинна підходити вам за розміром, щоб було зручно їздити. Розмір рами зазвичай вимірюється довжиною підсідельної труби.

- Геометрія рами – це кут і розташування різних труб рами. Геометрія рами впливає на керуваність та комфорт велосипеда.

- Призначення велосипеда, якщо ви плануєте їздити на ньому бездоріжжям, вам знадобиться міцна рама з широкими шинами, якщо ви плануєте їздити містом, вам підійде більш легка та маневрена рама.

Проектування велосипеда – базовий процес, який визначає всі його характеристики і як наслідок – його тип, призначення та вартість. Велосипед має складну конструкцію. Інженерне проектування велосипеда вимагають високих компетенцій у різних областях. Як наслідок, це дорогий і тривалий процес, який можуть дозволити собі далеко не всі компанії, що пропонують велосипеди.

2.1 Функціонально-вартісний аналіз

Одним із шляхів вдосконалення будь-якого об'єкта на всіх етапах його життєвого циклу є функціонально-вартісний аналіз.

Функціонально-вартісний аналіз – це метод комплексного техніко-економічного дослідження об'єкта з метою розвитку його корисної функції в

оптимальному співвідношенні між її значимістю для споживачів і вартістю її реалізації.

Традиційно вартість продукту пов'язана з елементами продукту. Однак витрати на елементи продукту не можна порівнювати з оцінкою з погляду споживача, оскільки вони мислять не з погляду елементів продукту, а з погляду потреб (вимог), або ефектів (функцій). Для оцінки якості продукту з погляду користі, або важливості необхідний перехід до розбивки витрат на функції.

Функціональні витрати являють собою очікувані або реальні загальні витрати (споживання ресурсів) на реалізацію функції продукту, сума всіх функціональних витрат, своєю чергою, ідентична загальній вартості продукту.

Дані про витрати зазвичай доступні тільки для деталей або збірок продукту, але не для функцій. Частка вартості кожного елемента продукту в реалізації функцій продукту може бути систематично розроблена за допомогою матриці функціональних витрат. Для цього до рядків вносяться елементи продукту та їхня вартість, а до стовпців матриці - функції, а вміст поля заповнюється пропорційними значеннями елементів під час реалізації функцій. Потім можна розрахувати функціональні витрати з використанням вартості і відповідних витрат на елементи продукту [7].

Визначення функцій велосипеда:

1. Основні функції:

- переміщення користувача з точки А до точки Б;
- забезпечення стійкості та маневреності;
- забезпечення комфортної посадки.

2. Додаткові функції:

- забезпечення безпеки (гальма, світлові прилади);
- зручність використання (регульоване сидіння, кошик);
- естетичний вигляд.

Для кожної функції потрібно визначити, які елементи велосипеда забезпечують її виконання та які витрати пов'язані з їх виробництвом та експлуатацією. В таблиці 2.1 наведені основні компоненти велосипеда, функції, які

вони виконують, а також їх відносна вартість і важливість, в останньому стовпчику завдяки діленню відносної важливості на ціну знаходиться ефективність кожної складової частини досліджуваного об'єкта.

Таблиця 2.1 – Функціональний аналіз велосипеда

№	Складові стріли	Функції	Важливість	Ціна	Ефективність
1.	Рама и вилка	забезпечують стійкість та маневреність.	35%	50%	0,7
2.	Колеса	забезпечують переміщення та стійкість	35%	20%	1,75
3.	Гальма	забезпечують безпеку.	10%	10%	1
4.	Привідна система (педалі, ланцюг, зірки)	забезпечують переміщення	10%	10%	1
5.	Сидіння	забезпечує комфорт.	5%	5%	1
6.	Світлові прилади	забезпечують безпеку.	5%	5%	1

На основі функціонально-вартісного аналізу можна зробити висновки про те, де і як можна знизити витрати. Проаналізувавши можемо сказати, що рама велосипеда має зовсім велику вартість, по цій причині його ефективність має найменший показник – 0,7. Щоб збільшити ефективність рами потрібно зменшити її ціну, а це можливо зробити завдяки зменшенню ваги та технології виготовлення.

2.2 Ергономіка рами велосипеда

Ергономіка рами велосипеда стосується того, як дизайн рами впливає на комфорт, продуктивність і безпеку велосипедиста. Вона включає в себе кілька аспектів, таких як геометрія рами, матеріали, розмір і форма труб, а також налаштування велосипедних компонентів.

Ретельно підібрана ергономіка рами дозволяє зменшити втому, підвищити ефективність педалювання і забезпечити кращий контроль над велосипедом. При виборі велосипеда важливо враховувати свої фізичні параметри, стиль їзди і особисті переваги, щоб знайти оптимальну раму для комфортних і безпечних поїздок.

Розмір рами велосипеда є одним із найважливіших факторів, який впливає на комфорт, продуктивність і керованість під час їзди. Правильний вибір розміру рами залежить від кількох параметрів, включаючи зріст велосипедиста, довжину ніг, тип велосипеда і його призначення. Залежність розміру рами для шосейних велосипедів від зросту показана на рисунку 2.1.

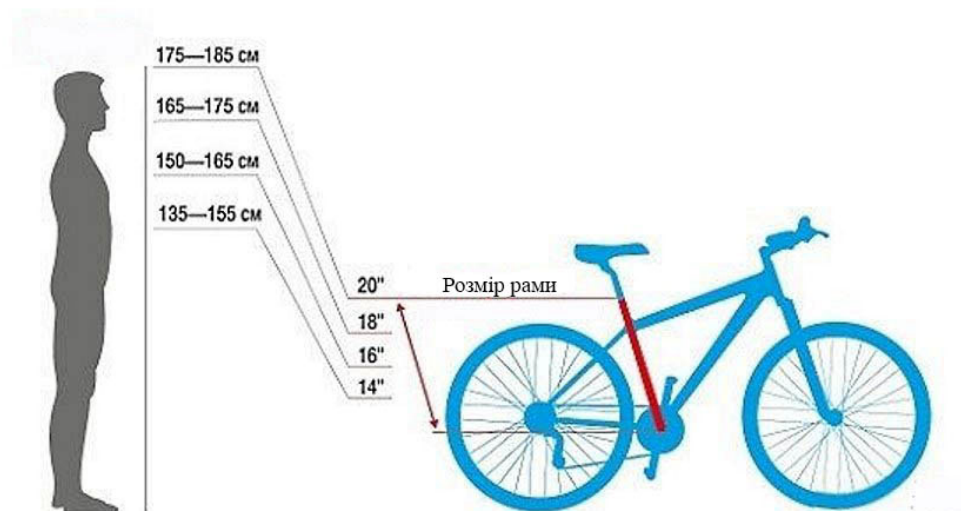


Рисунок 2.1 – Вибір розмірів рами відповідно зросту

Навіть з правильно підбраною рамою можуть знадобитися додаткові налаштування для досягнення ідеального комфорту такі як: регулювання висоти сідла, регулювання керма. Регулювання висоти сідла має забезпечити легке педалювання і комфорт (рисунок 2.2), а висота і кут нахилу керма впливають на комфорт рук і спини (рисунок 2.3).

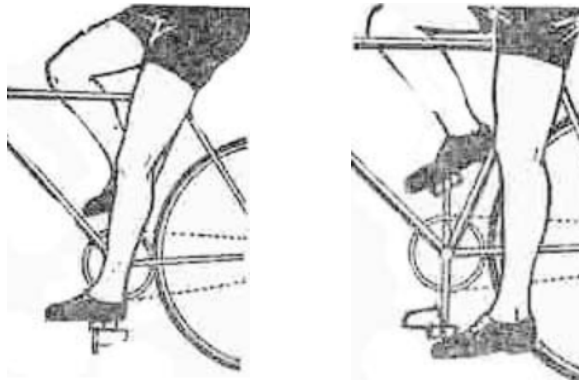


Рисунок 2.2 – Регулювання висоти сидіння

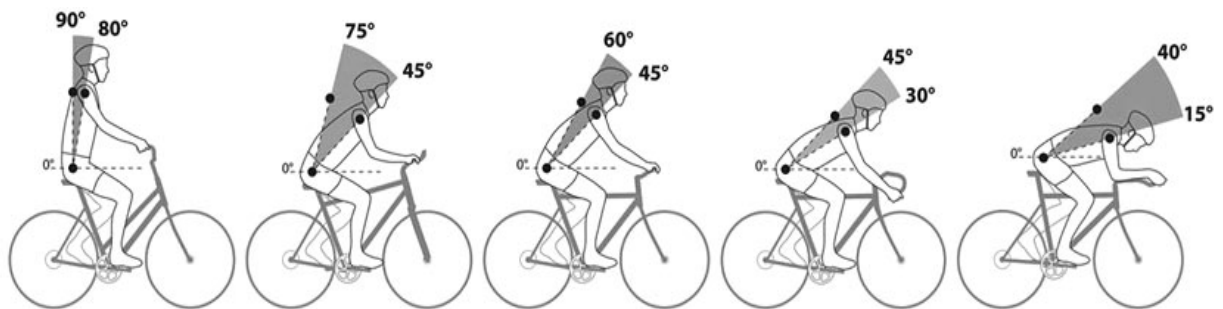


Рисунок 2.3 – Регулювання висоти та нахилу керма від зросту та стилю їзди

Вибір правильного розміру рами є важливим кроком для забезпечення комфортних і безпечних поїздок на велосипеді.

2.3 Інженерний розрахунок рами велосипеда

Інженерний розрахунок рами велосипеда включає кілька етапів, таких як визначення навантажень, розрахунок напруг і деформацій, а також перевірку на міцність.

На першому етапі для розрахунку навантажень а також рацій зусиль в стержнях рами створимо спрощену розрахункову схему.

Вихідні дані:

- Вага велосипедиста: 80 кг;
- Додаткове навантаження (удари, гальмування та ін.): 20 кг.

Розрахунок сили

$$F = 80 \text{ кг} + 20 \text{ кг} = 100 \text{ кг}$$

$$F = 100 \times 9.81 = 981 \text{ Н}$$

Максимальний згинальний момент M може бути визначений як:

$$M = F \times L$$

де L – довжина прольоту рами (наприклад, 0.5 м).

$$M = 981 \times 0.5 = 490.5 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Якщо сприйняти геометрію труби рами: діаметр труби: 40 мм, товщина стінки: 2 мм, то розрахунок моменту інерції труби:

$$I = \frac{\pi}{64} \times (D^4 - d^4) = \frac{\pi}{64} \times (0.04^4 - 0.036^4) \approx 1.18 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4$$

де $D=40\text{мм}$, $d= D-2*2\text{мм}=36 \text{ мм}$.

Тоді максимальна напруга σ :

$$\sigma = \frac{M * c}{I}$$

де c – відстань від нейтральної осі до зовнішньої поверхні труби (0.02 м).

$$\sigma = \frac{490.5 \times 0.02}{1.18 \times 10^{-8}} \approx 83.05 \text{ МПа}$$

Так як отримана напруга (83.05 МПа) менша за допустиму напругу наприклад для алюмінію 6061 (95 МПа), то можна робити висновок що рама витримає задане навантаження. Але це дуже спрощений розрахунок.

Для більш детального аналізу для розрахунку навантажень а також реакцій зусиль в стержнях рами створимо спрощену розрахункову схему.

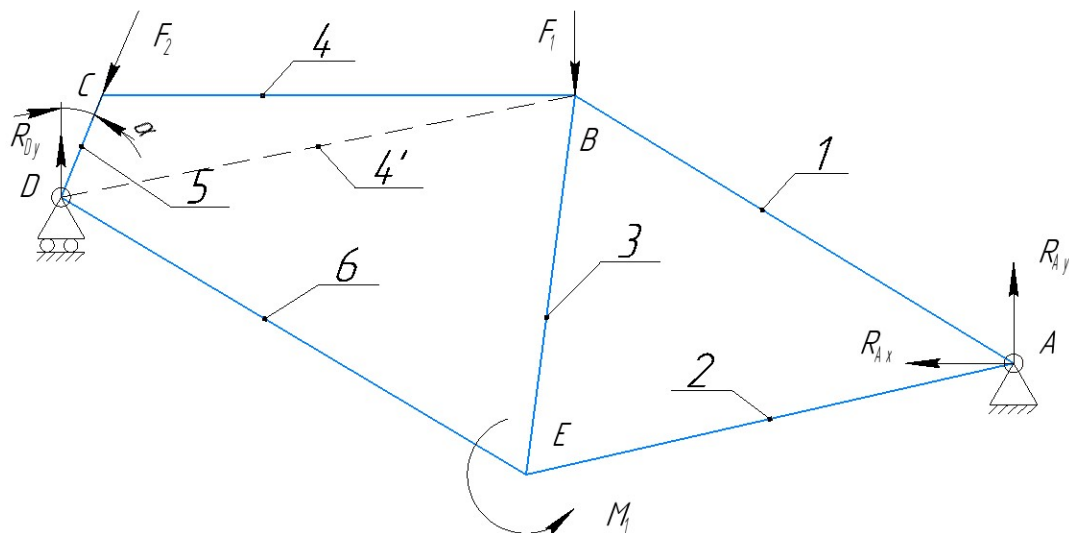


Рисунок 2.4 – Спрощена розрахункова схема рами велосипеда

Зовнішні навантаження для даної розрахункової схеми визначались за умови що 65% ваги велосипедиста припадає на сідло та 35% на руль, але таких режимів велика кількість.

Спочатку потрібно знайти реакції в опорах за допомогою векторних рівнянь:

Метод вирізування вузлів є одним із поширених методів статичного розрахунку плоских статично визначених ферм. Він ґрунтується на принципі рівноваги сил, що діють на вирізаний вузол ферми.

Послідовність розрахунку методом вирізаний вузлів:

1. Як об'єкт рівноваги вибирається вузол ферми, в якому сходиться не більше двох невідомих стрижневих зусиль.

2. Вузол ферми подумки вирізається зі складу ферми, а дія стрижнів, що додаються до нього, і зовнішніх навантажень замінюється внутрішніми силами в цих стрижнях.

3. Для вирізаного вузла складаються рівняння статичної рівноваги проєкцій сил на вибрані осі або в векторному вигляді.

4. З отриманої системи рівнянь визначаються невідомі зусилля у стрижнях.

Переваги методу:

- простота та зрозумілість;
- не вимагає знання моментів інерції перерізів стрижнів;
- підходить для розрахунку ферм із будь-яким видом опор.

Недоліки методу:

- не застосовується для розрахунку статично невизначених ферм;
- кількість невідомих зусиль у стрижнях, які можна визначити за один крок, обмежена двома;
- у разі великої кількості невідомих зусиль розрахунок може стати громіздким.

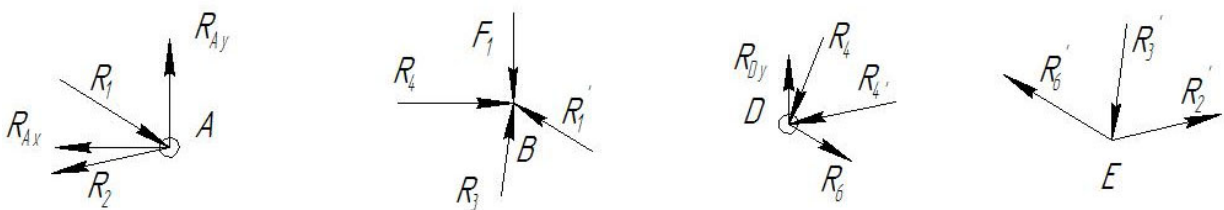


Рисунок 2.5 – Статичний розрахунок рами велосипеда методом вирізання вузлів

Але враховуючи що режимів навантаження рами велосипеда велика кількість, тому для рішення цієї задачі доцільно використовувати методи аналізу, такі як метод скінчених елементів, топологічної оптимізації та генеративного дизайну за допомогою Autodesk Fusion 360.

2.4 3D модель рами велосипеда з раціональною топологією

Для створення 3D-моделі об'єкта була обрана САПР Autodesk Fusion 360.

Метод топологічної оптимізації - це інноваційний підхід до проектування та оптимізації структурних систем, який використовує обчислювальні методи визначення найбільш ефективної топології (форми) об'єкта з урахуванням заданих навантажень, граничних умов і обмежень. Цей метод часто застосовується в інженерних та архітектурних галузях, де важливо створити легкі, міцні та оптимальні конструкції. Його перевага полягає у здатності автоматично знаходити оптимальні форми, що дозволяє заощадити матеріали та ресурси при збереженні необхідної міцності та функціональності структури.

Застосування раціональної топологічної деталей може мати такі цілі:

- Зниження ваги, що є одним з основних аспектів топологічної оптимізації - знаходження мінімально необхідного обсягу матеріалу для забезпечення необхідної міцності та жорсткості. Це може призвести до зниження маси деталей, що важливо в авіаційній, автомобільній та інших галузях.
- Мінімізація вартості виробництва, оптимізація форми деталі може призвести до ефективнішого використання матеріалів, що має знизити витрати на виробництво.

Процес топологічної оптимізації деталей включає завдання початкової геометрії корпусу, визначення навантажень, яким він піддається, а також визначення обмежень. Потім з використанням чисельних методів, таких як метод скінчених елементів (МСЕ) аналізується поведінка корпусу за заданих умов.

Наступні дії включають розрахунок топологічної чутливості і оновлення геометрії деталі, щоб поліпшити її продуктивність. Процес повторюється ітеративно до досягнення оптимальної форми корпусу, що відповідає заданим критеріям оптимізації.

Топологічна оптимізація деталей корисна у різних галузях, включаючи автомобільне виробництво, авіацію, морську індустрію, і навіть у дизайні упаковок і конструкцій. Метод допомагає отримати раціональну форму та структуру елементів, що у свою чергу сприяє підвищенню ефективності та зниженню витрат.

Метод топологічної оптимізації вимагає початкової заданої геометрії, тому більш доцільно скористатись інструментами генеративного дизайну, які працюють за схожим принципом. Хоча генеративний дизайн та топологічна оптимізація мають різні акценти, вони можуть взаємодіяти та доповнювати один одного в процесі створення оптимізованих та інноваційних рішень, їхнє спільне використання може бути ефективним способом створення інноваційних та оптимізованих дизайнів, особливо в галузі створення складних інженерних систем.

Генеративний дизайн (Generative Design) є підходом до проектування, який використовує алгоритми та програмне забезпечення для створення варіативних, багатозначних чи еволюціонуючих результатів. Цей метод часто застосовується в архітектурі, промисловому дизайні, графічному дизайні та інших сферах, де важливим є створення інноваційних, оптимізованих та адаптивних рішень.

Генеративні системи можуть використовуватися для оптимізації дизайну за певними критеріями або для еволюції дизайнерських рішень через серію ітерацій. Застосування генеративного дизайну може суттєво скоротити час проектування, дозволяючи швидко генерувати, оцінювати та оптимізувати різні варіанти дизайну. Цей підхід також може сприяти інноваціям та створенню унікальних форм та рішень, які могли б бути важко досягти традиційними методами. Одним з лідерів в сфері генеративного дизайну є хмарне САПР Autodesk Fusion 360.

Autodesk Fusion 360 об'єднує CAD, CAM і CAE функціональність в одному програмному забезпеченні. Включає інструменти для симуляції напруги, термічних аналізів та інших фізичних процесів.

Використання методу кінцевих елементів у поєднанні з продуктами Autodesk дозволяє значно підвищити ефективність і точність інженерних розрахунків, що є критично важливим для сучасного проектування і аналізу складних систем та конструкцій.

Постановка задачі для інструментів генеративного дизайну таких як, точки кріплення коліс, сідла та руля велосипеда (зелений колір), а також (червоним кольором) відмічена зона заднього колеса та вісь для педалів та рульової вилки в якій не можуть розміщуватись інші частини механізму (Рисунок 2.6).

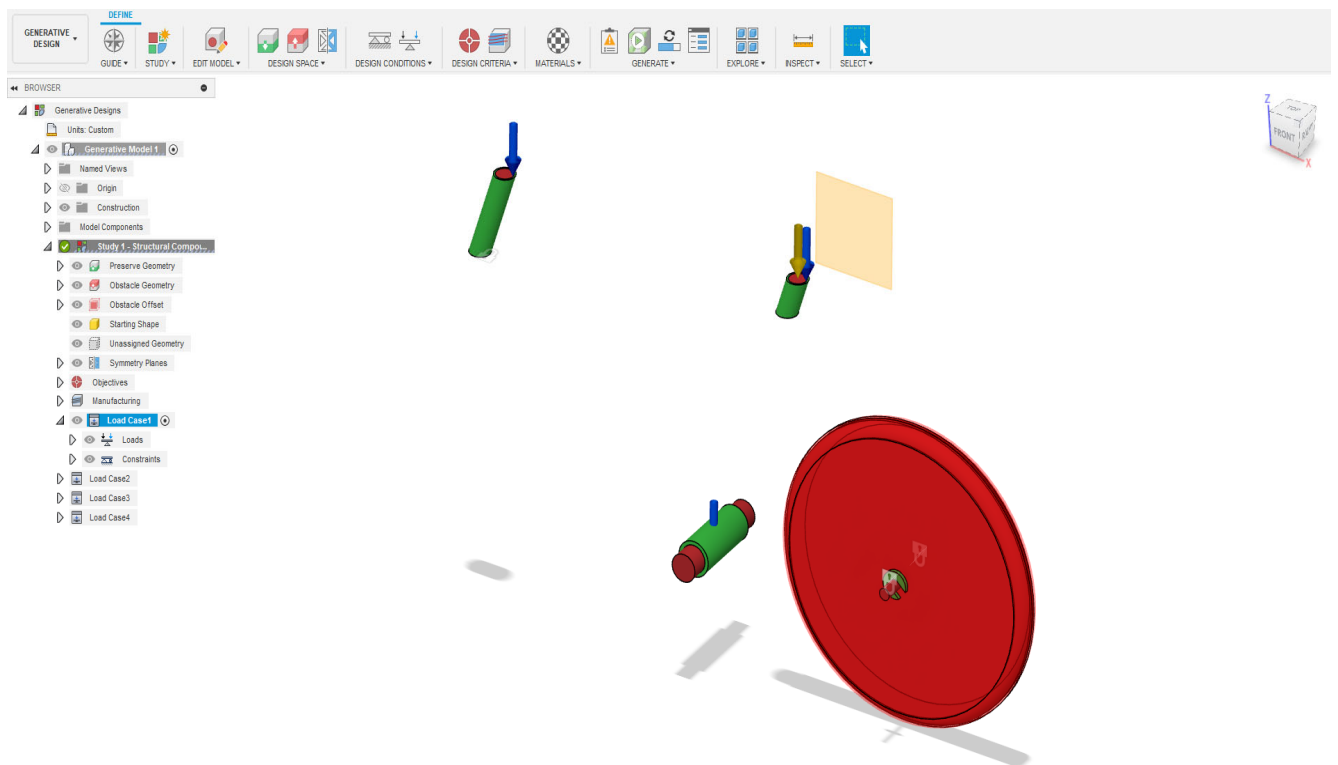


Рисунок 2.6 – Початкова геометрія для генеративного дизайну

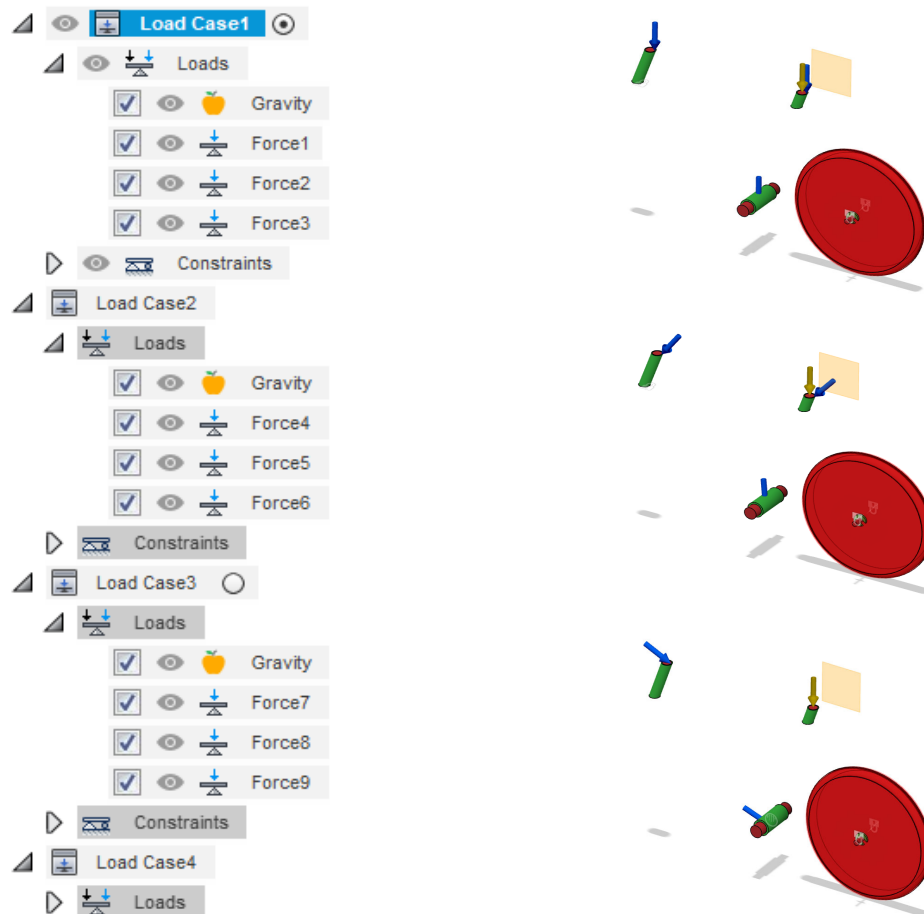


Рисунок 2.7 – Завдання декількох режимів навантаження раму велосипеда

В роботі було задано декілька режимів навантаження від рівномірного сидіння та нахилів велосипедиста в різні боки так і режим коли він привстає та спирається на педалі велосипеда, що призводить до нерівномірного розподілу зусиль в точках кріплення. Далі було задано цільову функцію генерування 3D моделі: мін вага та фактор безпеки (аналог коефіцієнту запасу міцності) >3 (Рисунок 2.8).

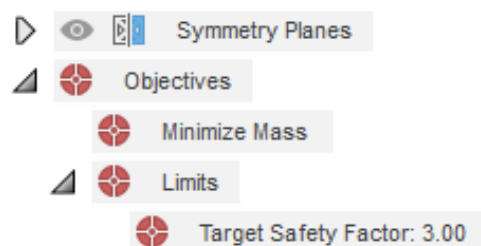


Рисунок 2.8 – Цільова функцію генеративного дизайну

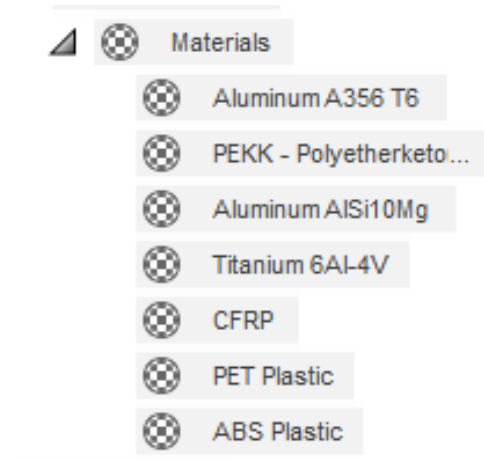


Рисунок 2.9 – Діалогове вікно вибору матеріалів

В діалоговому вікні вибору матеріалів для генеративного дизайну обрано декілька матеріалів таких як РЕЕК пластик з додаванням 30% вуглецевого волокна, алюміній, титан, карбон (CFRP) та PET ABC пластики (Рисунок 2.9).

В результаті роботи інструментів генеративного дизайну було отримано 3D моделі рами велосипеда, деякі з них представлено на рисунку 2.10.

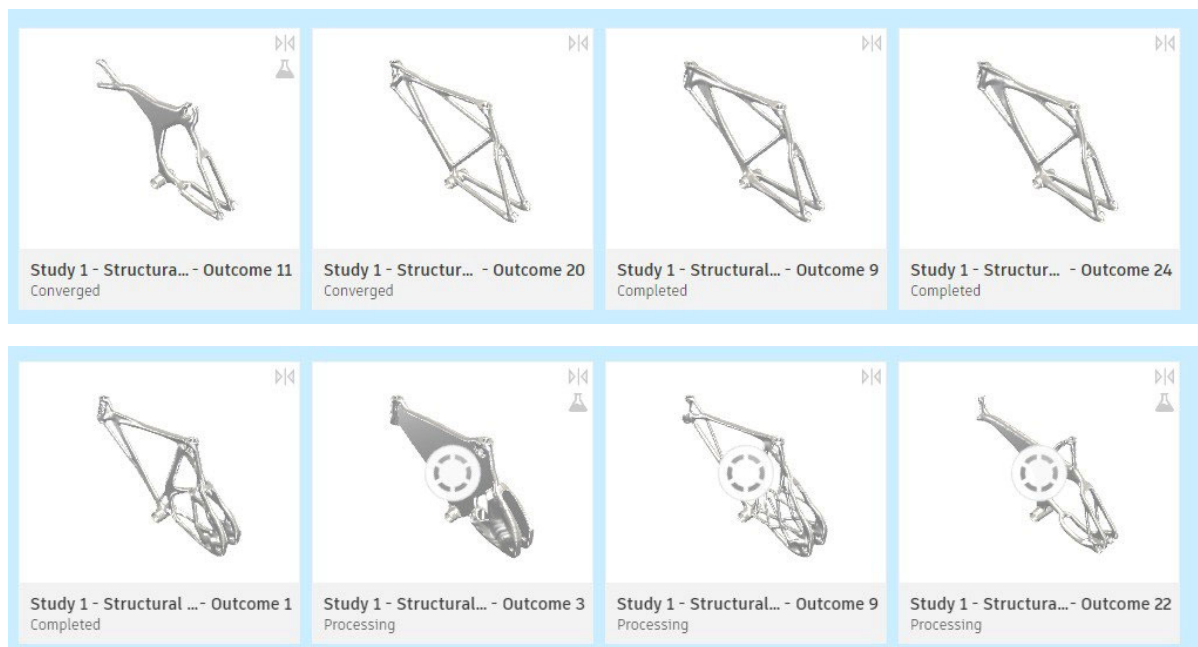


Рисунок 2.10 – Вікно 3D моделей корпусу промислових ваг, отриманих інструментами генеративного дизайну

Далі постає задача обрати раціональний варіант дизайну рами велосипеда який задовольняє як параметрам міцності так і з естетичної точки зору. В цьому випадку зручно скористатися залежністю за діаграмою залежності запасу міцності від ваги конструкції (Рисунок 2.9). Де ми бачимо що PET ABC пластики мають найменший коефіцієнт запасу міцності, а титан має найбільший коефіцієнт запасу міцності. А найбільш успішними є варіанти які сама програма рекомендує найбільш вдалі результати позначкою «клас» з пальцем до гори, це 2 варіанти з карбону та один з алюмінію.



Рисунок 2.11 – Діаграма залежності фактору безпеки від ваги

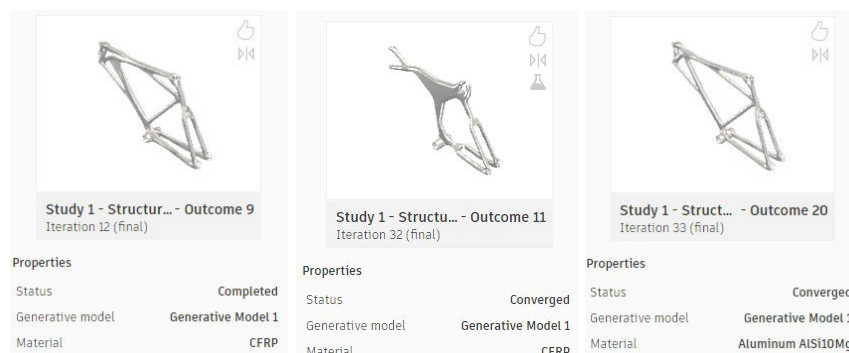


Рисунок 2.12 – 3D модель обраних варіантів рами велосипеда

2.5 Перевірка напружено-деформованого стану рами велосипеда

Метод кінцевих елементів (МКЕ) є потужним інструментом для аналізу напружено-деформованого стану матеріальних тіл під дією зовнішніх навантажень. Цей метод дозволяє чисельно вирішувати диференціальні рівняння з частинними похідними, які описують фізичні явища, такі як механіка деформованого твердого тіла, теплообмін, гідродинаміка і електродинаміка. МКЕ особливо ефективний для складних інженерних завдань, де традиційні аналітичні методи можуть бути непридатними через складність або нелінійність моделі. □ Реальний об'єкт поділяється на велику кількість малих, взаємозалежних елементів (кінцевих елементів). Це може бути виконано у вигляді маленьких кубів, тетраедрів, призм або інших геометричних фігур.

Математичні рівняння дозволяють прогнозувати поведінку кожного елемента. Потім комп'ютер складає все окремі поведінки для прогнозування поведінки об'єкта в цілому.

Сімейство продуктів Autodesk надає повний набір програмних інструментів моделювання і розрахунку МСЕ для інженерних розрахунків і аналізу, які легко можна застосовувати на будь-якому етапі процесу розробки виробів. Від аналізу механічної напруги, вібрації і руху до обчислювальної гідродинаміки, лиття пластмас під тиском і аналізу комплексних фізичних процесів - у всіх областях програмне забезпечення для моделювання та розрахунку МСЕ від компанії Autodesk надає швидкий, точний і інноваційний підхід для вирішення найскладніших проектних завдань.

В даній роботі використано Autodesk Fusion 360. Данне програмне забезпечення представляє собою комплексний хмарний CAD / CAE / CAM інструмент в якому поєднані всі процеси розробки проекту в рамки одного програмного продукту (CAD-програми (computer aided design) - системні комплекси для проектування, в україномовній аббревіатурі - САПР (система автоматизованого проектування. CAE (computer-aided engineering) програми призначені для вирішення різних інженерних завдань: розрахунків, аналізу та

симуляції фізичних процесів. САМ (Computer-aided manufacturing) - підготовка технологічного процесу виробництва виробів).

Використання методу кінцевих елементів у поєднанні з продуктами Autodesk дозволяє значно підвищити ефективність і точність інженерних розрахунків, що є критично важливим для сучасного проектування і аналізу складних систем та конструкцій.

Розуміння того, як рама велосипеда буде вести себе в реальному середовищі заощадить час та гроші. Використання інструментів інженерного аналізу НДС дозволить виявити найбільш уразливі місця.

Виконаємо розрахунок рами велосипеда методом скінченних елементів у програмі Autodesk Fusion 360 за наступним алгоритмом:

- тип аналізу: статичний;
- тип сітки: сітка на твердому тілі;
- задаємо граничні умови: зафіксована геометрія;

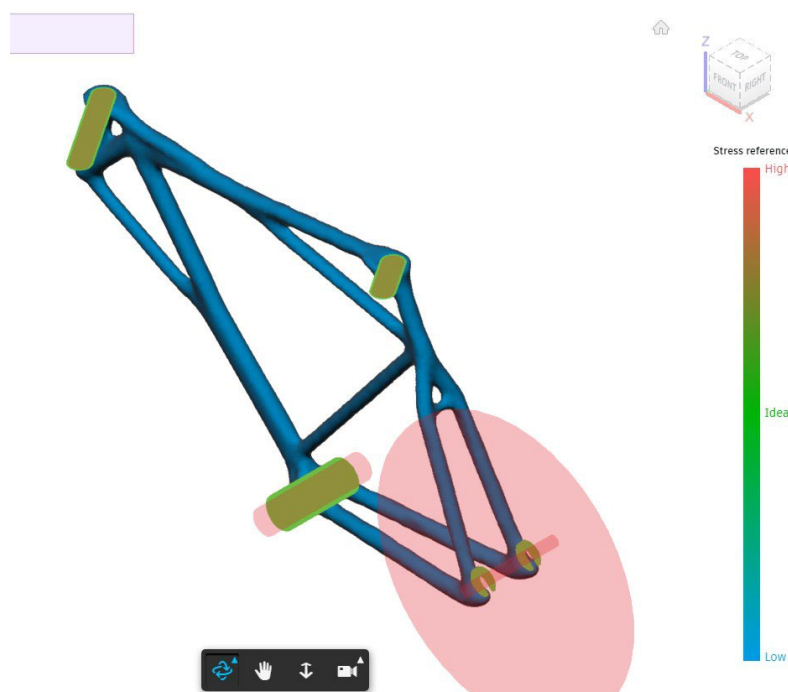


Рисунок 2.13 – Епюра фактору безпеки

2.6 Висновки до розділу

Рама велосипеда, виготовлений із стандартного вуглецевого волокна тієї ж товщини, що й алюмінієвий, матиме на 31 відсоток більшу жорсткість, ніж алюмінієвий, і водночас важитиме на 50 відсотків менше та матиме на 60 відсотків більшу міцність.

Деталь із вуглепластику має у 2–5 разів більшу міцність, ніж алюмінієва деталь тієї ж ваги. Деталь, виготовлена із стандартного карбону тієї ж товщини, що й алюмінієва, буде на 60% міцніша і вдвічі легша. Алюміній має більшу пластичність, що робить його менш схильним до пошкоджень від раптових ударів, а карбон може раптово зламатися під напругою або тиском.

РОЗДІЛ 3. ІНЖЕНЕРНО ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Загальна характеристика карбону

Рами велосипедів зазвичай виготовляються із сталі, алюмінію, карбону чи титану. Сталь міцна та недорога, але вона також важка. Алюміній легкий і міцний, але він дорожчий за сталі. Карбон легкий і жорсткий, але найдорожчий з представлених матеріалів. Титан міцний, легкий та стійкий до корозії, але він також найдорожчий. За результатами моделювання напружено-деформованого стану рам з раціональною топологією створених за допомогою генеративного дизайну найбільш удалими виявилися рами з карбону.

Вуглепластик (або карбонові композити) – це композитний матеріал, в якому вуглеволокна є армуючим матеріалом, а полімерна матриця (наприклад, епоксидна смола) є сполучною речовиною. В результаті виходить матеріал, який поєднує високу міцність вуглеволокон і міцність полімерної матриці. Композитні матеріали почали використовувати у велосипедобудуванні, щоб зменшити вагу велосипеда, не втративши при цьому міцність. Появі карбонових рам сприяло розвиток хімічної промисловості області полімерів.

Карбон – це композитний матеріал на основі волокон вуглецю, пов'язаних між собою смолою. Характеристики цього матеріалу суттєво відрізняються від будь-яких металів, оскільки карбон має принципово інше походження та будову. Карбону властива висока міцність та жорсткість при невеликій вазі. За своїми характеристиками карбон міцніший за сталі кращих марок.

Рами з карбону можуть бути цілісні (монококові) та складові, в яких карбонові труби з'єднані металевими деталями. Монококові рами міцніші, за рахунок єдності матеріалу досягається більша жорсткість і при цьому легкість рами. Карбон дуже пластичний матеріал, тому монококові рами можуть мати найрізноманітнішу форму. Також є комбіновані рами, що мають металевий каркас. Вони мають дуже високі ходові характеристики, але містять у собі як всі плюси і металу, і карбону, так і всі мінуси.

На жорсткість та міцність вуглепластика впливає кілька факторів. Перший – це кількість смоли, що скріплює волокна: чим її менше, тим міцніше. Другий – це кількість шарів. Якщо шарів багато і вони розташовані у різних напрямках – міцність збільшується. На велосипеді з карбоною рамою стрибок «бані-хоп» зробити простіше, бо така рама легша. Карбон - єдиний матеріал, де жорсткість може збільшуватися не тільки у певних місцях, а й у певних напрямках (за рахунок розташування волокон вуглецю), тому карбонові рами часто застосовують у професійному велоспорті.

Основу карбону складають вуглецеві нитки завтовшки від 0,005 до 0,015 мм діаметром. Вони мають велику поздовжню міцність і розірвати їх дуже важко. У той же час бічна міцність ниток невисока і легко ламаються впоперек.

Вуглецеві нитки чудово працюють на розтяг, але мають низьку міцність на вигин, тобто вони анізотропні, міцні лише в одному напрямку, тому їх використання виправдане лише у вигляді полотна [4].

З цих ниток сплітаються тканини. Вони можуть мати різний рисунок плетіння (ялинка, рогожа та ін.).

Для надання ще більшої міцності тканини з ниток вуглецю кладуть шарами, щоразу змінюючи кут напрямку плетіння. Шари скріплюються за допомогою епоксидних смол.

Тканина застосовується під час виробництва великих деталей велосипеда. Щоб отримати максимальну міцність, вуглецеву тканину укладають у кілька шарів з різним напрямком плетіння в кожному шарі. Частина велосипеда, що мають форму у вигляді трубок, виготовляють за допомогою намотування ниток на каркас. Потім все заливається полімерними смолами.

Вуглецеве волокно йде на виготовлення високоміцного полімерного композитного матеріалу - вуглепластику або, як його ще називають, карбон та карбонопластик. Для цього волокно змішують із сполучним полімером.

Полімерна смола є рідкою або твердою речовиною, яка може тверднути і зв'язувати вуглецеві нитки разом. Вона може бути термореактивною або термопластичною, залежно від того, чи можна його розплавити та змінити форму

чи ні. Термореактивні смоли, такі як епоксидна, поліефірна або вінілефірна смола, більш поширені для вуглецевого волокна, оскільки вони мають більш високу міцність і довговічність.

Пластик, армований вуглецевим волокном, має міцність, порівнянну зі сталлю, і вага, порівнянна з пластиком. Таким чином, співвідношення міцності та ваги у нього набагато вище, ніж у сталі. Це робить його привабливим матеріалом для використання там, де важлива міцність, а вага має бути зведена до мінімуму.

Таблиця 3.1 – Порівняльна таблиця властивостей матеріалів

Матеріал	Густина, кг/мм ³	Міцність на розтяг, МПа	Модуль Юнга, ДПа	Удельна міцність, е*10 ³ , км	Пітомий модуль, Е*10 ⁶ , км
Вуглепластик	1450 – 1600	780 – 1800	120 – 130	53 - 112	9 - 20
Високоміцна сталь	7800	1400	210	18	2,7
Алюмінієвий сплав	2700	500	75	18	2,7
Титановий сплав	4400	1000	110	28	2,5

Цей матеріал має низку видатних фізичних властивостей, які роблять його популярним у різних галузях.

Вуглепластик має дуже високу міцність на розрив завдяки вуглеволокнам. Типові значення міцності на розрив можуть досягати 3,5 ГПа (гігапаскалів) та вище.

Модуль пружності вуглепластику може досягати 230-600 гПа, що значно вище, ніж у багатьох інших матеріалів, таких як алюміній або сталь. Це означає, що вуглепластик має високу жорсткість і чинить опір деформаціям під навантаженням.

Щільність вуглепластику становить близько 1,5-2,0 г/см³, що значно нижче щільності сталі (близько 7,8 г/см³) та алюмінію (близько 2,7 г/см³). Це робить

вуглепластик дуже легким матеріалом, що особливо важливо в авіації, автоспорті та інших галузях, де важлива вага конструкції.

Вуглепластик може витримувати високі температури, але це також залежить від типу полімерної матриці. Температурний діапазон експлуатації вуглепластика зазвичай становить від -50°C до 120°C , а при використанні спеціальних високотемпературних матриць може досягати 300°C і вище.

Демпфуюча здатність вуглепластика визначається в основному розсіюванням енергії в матриці, що супроводжується переходом істотно залежить від рівня навантаження, структури армування матеріалу та робочої температури. Якщо односпрямовані вуглепластики мають рівень демпфуючої здатності вздовж волокон механічної енергії в теплову, хімічну та електричну, і 0,5... 1,0 %, то в діагонально-армованому вуглепластику вона зростає в 5-7 разів.

Зростання механічних втрат зі збільшенням температури пояснюється зниженням модуля зсуву вуглепластика, що пов'язано зі значними фізичними змінами, що відбуваються в полімерних сполучних при підвищенні температури. Зі зменшенням модуля зсуву спостерігається монотонне підвищення коефіцієнта механічних втрат.

Теплофізичні характеристики вуглепластиків залежать від типу волокон, типу та об'ємного вмісту матриці, вмісту пір у матриці, температури випробувань. Для різних вуглепластиків вони не різняться і перебувають у наступних діапазонах:

- для коефіцієнтів теплопровідності 0,5...1,0 Вт/м*С;
- для коефіцієнтів термічного розширення $(-1,5...0,5)*10^{-6}/^{\circ}\text{C}$;
- для коефіцієнта теплоємності 0,8 ... 1,5 ккал / кг * ° С.

За всіх своїх переваг карбон має і недоліки. Він боїться ударів, особливо точкових, у місці отримання удару матеріал починає відшаровуватись і ремонту пошкоджена частина практично не підлягає. Другий непрямий недолік карбону – це його висока ціна.

Пояснюється це високою ціною матеріалів з яких він виготовляється дорогим технологічним процесом, що вимагає спеціального обладнання, а також

великий відсоток ручної праці. З карбону роблять: рами, шатуни, виделки, сідла, підсідельні штирі та виноси керма.

Перспективи у карбону як матеріалу для масового і недорогого виробництва велосипедів досить хороші. Як десять років тому алюміній раптом різко витіснив сталь з велосипедобудування, так і карбон чекає свого часу.

Плюси карбону:

- низька вага;
- міцність та довговічність (при правильній експлуатації);
- можливість посилення рами як у будь-якому місці, так і у будь-якому напрямку; незвичайні форми рами.

Мінуси карбону:

- висока ціна,
- для непрофесійних рам – небезпека поломки при неправильному проектуванні,
- нестійкість до ударів, внаслідок яких може зруйнуватись вся рама;
- небезпека корозії у металевих вузлах складових та комбінованих рам.

3.2 Технологія виготовлення ниток вуглеволокна

Нитки карбону отримують за допомогою обробки органічного волокна впливом високих температур, у процесі чого з нього вигоряють усі домішки та залишається чистий вуглець. Найчастіше використовуваним вихідним полімером для вуглеволокна є полиакрилонитрил (PAN). Також використовуються такі матеріали, як віскоза та пек (бітумне вуглецеве волокно). Виготовлення вуглеволокна включає кілька етапів, починаючи з виробництва вихідного полімеру і закінчуючи процесами карбонізації і графітизації.



Рисунок 3.1 – Вуглецеве волокно

Обробка за допомогою температури відбувається у три етапи:

1. Початковий матеріал - віскоза або поліакрилонітрил 24 години витримується при температурі 250°C в повітряному середовищі. При цьому утворюються молекули полімеру зі здвоєним ланцюгом, так звані сходові структури, схожі при проекції на сходи. Тут пояснюється міцність карбону: на відміну від лінійних полімерів, де щоб зруйнувати макромолекулу, достатньо розірвати один зв'язок, у випадку з карбоном необхідно зруйнувати два і більше хімічних зв'язків у молекулі.

2. Карбонізація - стадія підвищення вмісту вуглецю, при якій волокна нагрівають при температурі $500 - 1500^{\circ}\text{C}$ в азотному або аргонному середовищі. У цьому утворюються синтетичні графіні структури.

3. Графітізація - заключна стадія, в результаті якої доводять вміст у волокні вуглецю до значення не менше 99%. Процес обробки проводиться при температурному режимі від 1600 до 2800°C .

Процес виробництва вуглецевого волокна складний і включає кілька етапів.

По-перше, необхідно зробити сировину для отримання полімеру. Наприклад, віскозу, цей полімер створюється в результаті хімічного процесу об'єднання мономерів («ланок», що становлять полімерний ланцюг) з каталізатором, який викликає процес полімеризації.

По-друге, отриманий полімер скручують у довгі волокна, використовуючи один із кількох можливих методів. Ці волокна промиваються і розтягуються. Процес розтягування допомагає вирівняти молекули у волокні для отримання міцнішого готового продукту, а також дозволяє волокну досягти бажаного діаметру.

Третій етап називається стабілізацією, при якому волокна нагріваються за відносно низької температури (200 - 300°C) у присутності кисню. Цей крок викликає зміну хімічних зв'язків усередині волокон, що дозволяє досягти кращих результатів процесу карбонізації.

Після стабілізації волокна карбонізуються, що потребує їх нагрівання до температури 1000 - 3000°C, цього разу без присутності кисню (щоб запобігти займанню). Отримані в результаті окремі вуглецеві волокна зазвичай мають діаметр близько 5-10 мкм. Для порівняння, середнє людське волосся має товщину від 60 до 80 мкм.

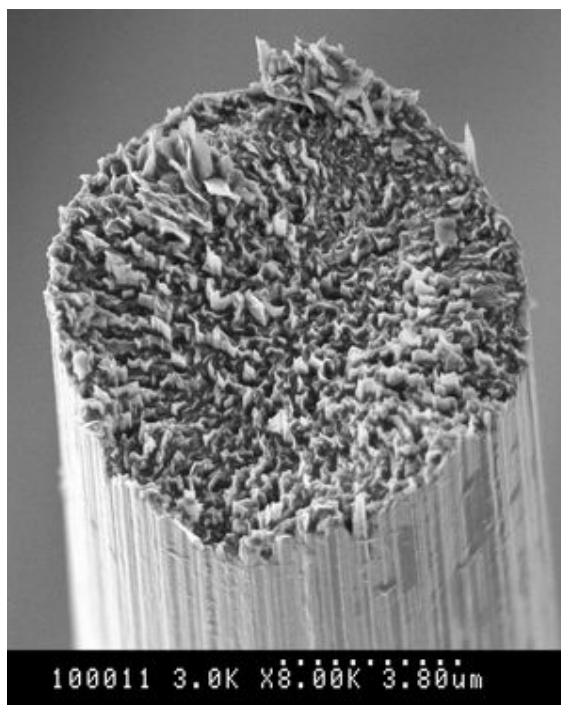


Рисунок 3.2 – Мікрофотографія вуглецевого волокна після обвуглювання

Потім поверхню вуглецевих волокон обробляють, піддаючи їх впливу певних газів або кислот. В результаті відбувається травлення поверхні, що

підвищує здатність зв'язуватися зі смолою при використанні в композитних матеріалах.

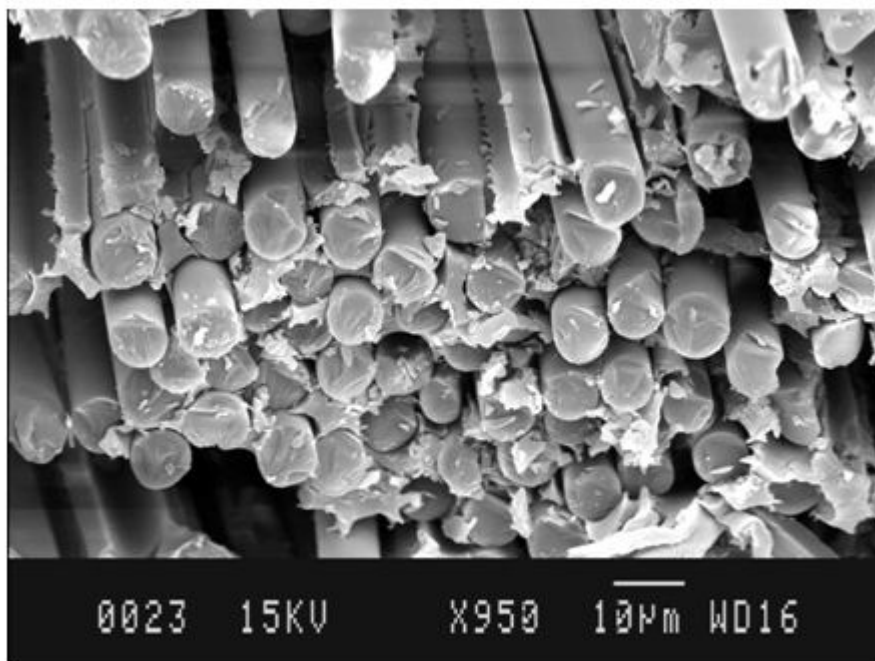


Рисунок 3.3 – Мікрофотографія углеродного волокна

Нарешті, вуглецеві волокна піддаються калібруванню, тобто нанесення захисного покриття для запобігання пошкодженню волокон у подальшому виробничому процесі.

На останньому етапі вони будуть скручені у великі та маленькі рулони залежно від потреб у упаковці чи транспортуванні. Переплетені нитки вуглеволокна можна використовувати для виготовлення різних виробів

3.3 Технологія виготовлення велосипедних рам із карбону

Щоб перетворити пряжу на високоміцні (високомодульні) вуглецеві композити, які використовують виробники велосипедів, нитки або тчуть, або укладають паралельно (односпрямовано), а потім стискають між роликami, що просочують волокна каталізованими смолами епоксидного типу. На матеріал наноситься антипригарний папір або поліетиленова плівка, яку потім зберігають у

рулонах. У цей момент годинник для попередньо просоченого матеріалу починає цокати, тому що, як тільки смола змішується з каталізатором, він повільно починає отверждатися, тому його необхідно використовувати негайно або помістити в холодильне сховище, щоб уповільнити цей процес. Вуглецевий матеріал, виготовлений таким способом, залишається липким (як клейка стрічка) протягом певного часу, що має вирішальне значення для нашарування та формування волокон у процесі формування.

Попередньо просочений вуглецевий матеріал складений таким чином, що він не затвердіє повністю, поки не нагріється до певної температури, після чого смола стає в'язкою, щоб забезпечити правильне зчеплення між шарами та прискорити каталітичний процес. Після завершення епоксидні матеріали перетворюються на пластик, який практично інертний і не може бути повторно розплавлений у вихідний стан, як більш поширені термопласти.

Карбон для рами накладається на оправлення з пінополістиролу. Прозорий пластик, що покриває оправлення, є камерою, яка під час циклу затвердіння перебуватиме під тиском, притискаючи вуглець до внутрішньої частини форми. (рисунок)



Рисунок 3.4 – Карбон для рами велосипеда накладається на оправлення з пінополістиролу.

Існує кілька способів формування карбону, але більшість провідних виробників сьогодні використовують аналогічні методи. Форми виготовляються з великих сталевих пластин, які поділяються навпіл. Передні трикутники зазвичай виготовляються цільними. Маятники складніше формувати, і вони зазвичай складаються з двох частин, які з'єднуються разом під час другої операції.



Рисунок 3.5 – М'яка та податлива готова заготовка акуратно поміщається у форму та транспортуються у нагрівальний прес для циклу затвердіння.



Рисунок 3.6 – Процес виймання готової рами із прес-форми після циклу затвердіння

Для кожного розміру рами потрібна своя форма, хоча більшість дизайнерів намагаються використовувати один маятник для всього розміру. Більшість виробників велосипедів говорять, що вартість прес-форм становить від 40 000 до 80 000 доларів за модель, залежно від складності конструкції рами. Термін служби форм становить від одного до трьох років, залежно від того, яке зусилля знадобиться для їх поділу після затвердіння деталей.

Щоб отримати максимально міцний та легкий виріб, попередньо просочений вуглець розрізається на велику кількість фігур, які нанесені на карту та пронумеровані, щоб робітники могли розмістити їх у правильному місці та порядку. Щоб полегшити цей процес, виробник рам відливає оправлення (зазвичай із пінополістиролу), трохи меншого розміру, але ідентичну готовій рамі. Навколо оправки обмотується тонкий нейлоновий надувний мішок, на який потім монтажники прикріплюють карбонові смужки. Коли весь вуглець нанесений на виправлення, її обережно укладають у форму. Половинки закриваються та подаються в нагрітий прес. Нейлонова камера знаходиться під тиском, що змушує шари вуглецю з'єднуватися разом з внутрішньою частиною форми, в той час як прес проходить цикл нагрівання, який може тривати більше години. Коли форма досить охолоне, робітники піддягають і розбивають її на частини – і якщо все йде добре, рама знімається з мінімальним шліфуванням та очищенням.

Перевага карбону за співвідношенням міцності та ваги над будь-яким іншим матеріалом для виготовлення каркасів незаперечна. Європейський постачальник Dextrcraft Composites у своєму офіційному документі «Вуглець у порівнянні з алюмінієм» стверджує, що компонент, виготовлений із стандартного вуглецевого волокна тієї ж товщини, що й алюмінієвий, забезпечуватиме на 31 відсоток більшу жорсткість, ніж алюмінієвий, і водночас важитиме 50 відсотків менше та мають на 60 відсотків більше сили. Високомодульний вуглець може значно підвищити ці показники. Карбонові шосейні велосипеди і деякі гоночні машини XC наближаються до цих цифр, але реальність така, що виробники гірських гірських велосипедів помиляються в консервативній стороні, що призводить до меншої

економії ваги - близько одного фунта між порівнянними карбоновими і алюмінієвими рамами.

Процес формування шарів, що використовується для виготовлення рам, хоча і вимагає багато часу, але дає можливість зміцнити або полегшити конструкцію при необхідності, що непрактично, або неможливо з алюмінієм. На відміну від металів, з яких спочатку необхідно сформувати корисні конструкції і точно підігнати їх перед складанням у кінцевий продукт, одному рулону вуглецевого волокна можна надати будь-яку кількість форм і використовувати для виготовлення каркасу будь-якого розміру. Хороша карбонова рама має правильні розміри, без необхідності зміни розмірів підсідельної труби або різьблення в місцях розташування підшипників, що добре підходить для створення рам з подвійною підвіскою, де навіть незначні зміщення можуть завдати шкоди. Додаткова міцність карбону та повторюваність процесу формування знизили гарантійне повернення для більшості виробників велосипедів. Працівники мають бути обережними та уважними, але не обов'язково кваліфікованими. Зазвичай складання відбувається у приміщеннях з кондиціонуванням повітря, а виробничий процес безпечний від початку до кінця.

Зворотною стороною виробництва карбонових рам є те, що вартість матеріалів починається приблизно з 20 доларів США за фунт, а початкові витрати на прес-форми, проектування та контрольні випробування дуже високі. Тривалий процес укладання нудний, і його потрібно робити правильно. Укладання - це робота початкового рівня з високою плинністю кадрів, через що фабрикам складно утримувати досвідчених працівників.

Ходять численні чутки про вплив токсичних хімікатів, пов'язаних з виробництвом вуглецю, але, на мій досвід, більшість працівників наражаються на невеликий ризик. Деякі смоли епоксидного типу, використовувані виготовлення високоміцних вуглецевих композитів, вступають у реакцію зі шкірою людини. Після змішування та впровадження у вугілля ці ефекти незначні, але вони накопичуються. Тривалий вплив на шкіру може зрештою викликати гіперчутливість та алергічні реакції. Пластикових рукавичок достатньо, щоб

захистити робітників і запобігти впливу вологи, масел або бруду на укладання. Дрібні виробники купують попередньо просочені вуглецем матеріали, з якими цілком безпечно поводитися. Однак більші виробники рам, такі як Giant Bicycles, купують вуглець у сухому вигляді і, щоб мати під рукою свіжу партію для кожного виробничого циклу, при необхідності попередньо просочують власний вуглець. Зрозуміло, що персонал цеху змішування, який готує ці хімікати та керує обладнанням, наражається на підвищений ризик зараження.

3.4 Висновки до розділу

Карбон, або вуглепластик, є композитним матеріалом, в якому вуглеволокна є армуючим елементом, а полімерна матриця (наприклад, епоксидна смола) служить сполучною речовиною. Цей матеріал має низку видатних фізичних властивостей, які роблять його популярним у виробництві велосипедних рам.

Вуглеволокно найчастіше використовується як армуючий матеріал у композитах, тоді як вуглепластик - це кінцевий композитний матеріал, який може бути сформований у різні форми та використовується для створення готових виробів.

Вуглеволокно виробляється з полімерних волокон (наприклад, поліакрилонітрилу), які зазнають термічного процесу карбонізації. Вуглепластик проводиться шляхом просочення вуглеволокон полімерною смолою та подальшої полімеризації (затвердіння) смоли.

4 РОЗДІЛ. ЕКСПЛУАТАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Сертифікація рами велосипеда

В Україні Вимоги до безпеки двоколісних велосипедів регулюються ДСТУ EN ISO 4210-2:2019 «Велосипеди. Вимоги щодо безпеки двоколісних велосипедів. Частина 2. Вимоги до міських та екскурсійних, молодіжних, гірських та перегонових велосипедів» та ДСТУ EN ISO 4210-6:2019 «Велосипеди. Вимоги щодо безпеки двоколісних велосипедів. Частина 6. Методи випробування рами та вилки», затверджених наказом №40 від 27.02.2019р. Державного підприємства "Український науково-дослідний та навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості" та підтверджують міжнародні стандарти: EN ISO 4210-2:2014, IDT; ISO 4210-2:2014, IDT та ISO 4210-6:2014, IDT; ISO 4210-6:2014, IDT.

Міжнародний стандарт розроблений у зв'язку зі зростанням попиту в усьому світі та з метою гарантувати, що велосипеди, виготовлені відповідно до цього стандарту, будуть настільки безпечними, наскільки це практично можливо. Випробування розроблені для забезпечення міцності та довговічності окремих деталей, а також велосипеда в цілому, з вимогою високої якості на протязі всього життєвого циклу та обліку аспектів безпеки, починаючи зі стадії проектування.

Область застосування стандарту обмежена міркуваннями безпеки. Зокрема, уникають стандартизації компонентів. Якщо велосипед призначено для використання на дорогах загального користування, застосовують національні правила.

Серія стандартів ISO 4210 складається з наступних частин під назвою «Велосипеди. Вимоги безпеки для велосипедів»:

- Частина 1. Терміни та визначення;
- Частина 2. Вимоги до міських, трекінгових (гібридних), підліткових, гірських та гоночних велосипедів;
- Частина 3. Загальні методи випробувань;
- Частина 4. Методи випробувань гальмівної системи;

- Частина 5. Методи випробувань кермового керування;
- Частина 6. Методи випробувань рами та виделки;
- Частина 7. Методи випробувань коліс та ободів;
- Частина 8. Методи випробувань педалей та системи приводу;
- Частина 9. Методи випробувань сідла та підсідельного штиря.

У стандарті ISO 4210-6 регламентовані випробування наступні рами:

- Випробування на удар (падаюча маса) у вертикальному та горизонтальному положенні;
- Втомні випробування від зусиль на педалях;
- Втомні випробування від горизонтальних і вертикальних зусиль.

4.2 Випробування на удар (падаюча маса)

Виробникам рам допускається проводити випробування з макетною вилкою, встановленою на місце штатного переднього штепселя.

Якщо рама може трансформуватися для використання чоловіками або жінками у вигляді видалення ланки рами, випробування проводять з віддаленою ланкою.

Для вилки, обладнаної пружним елементом, необхідно проводити випробування при довжині вилки у вільному ненавантаженому стані. Якщо система задньої підвіски вбудована у раму, слід зафіксувати підвіску у положенні, що відповідає навантаженню від ваги велосипедиста 80 кг. Для підліткових велосипедів - зафіксувати підвіску у положенні, що відповідає вазі велосипедиста 40 кг. Якщо конструкція підвіски не дозволяє її фіксацію в потрібному положенні, замінюють пружинно-амортизаторний вузол жорстким зв'язком відповідної довжини з кріпленнями на кінцях, що відповідають кріпленням пружинно-амортизаторного вузла.

Встановлюють ролик масою не більше 1 кг і з розмірами, що відповідають вказаним на рисунок 1, у вилку. Твердість контактуючої поверхні ролика – не менше 60 HRc. Якщо замість штатної вилки використовують макетну вилку, її

стрижень повинен мати закруглене закінчення, еквівалентне формою ролика. Встановлюють з'єднання рама-вилка або рама-стрижень у вертикальне положення з кріпленням до жорсткої основи за допомогою точок кріплення на задній вилці, як показано на рисунку 4.1.

Встановлюють ударник масою 22,5 кг над роликом, закріпленим у вушках вилки або закругленим кінцем стрижня макетної вилки і вимірюють колісну базу. Піднімають ударник на висоту над роликом малої маси і відпускають його для удару по ролику або сталевому стрижню макетної вилки в точці, що знаходиться на лінії, що з'єднує центри коліс, у протилежному напрямку нахилу вилки або стрижня макетної вилки. Значення висоти скидання ударника вказані у таблиці 1. Ударник відскакує, і це вважається нормальним. Коли ударник займе нерухомий стан на ролику чи стрижні макетної вилки, вимірюють колісну базу ще раз.

Якщо вилка зламається, проводять випробування з макетною вилкою.

Таблиця 4.1 - Висота скидання ударника

Тип велосипеда	Міські та трекінгові (гібридні) велосипеди	Підліткові велосипеди	Гірські велосипеди	Гоночні велосипеди
Висота скидання h1 мм	180	180	360	212

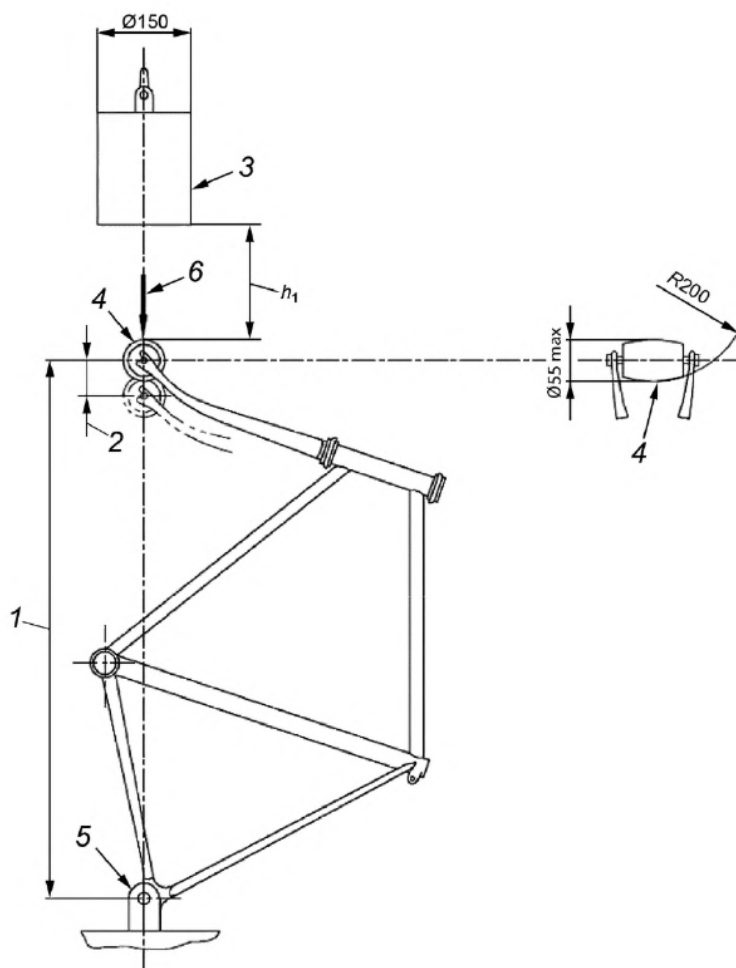


Рисунок 4.1 – Схема випробувань на удар (падаюча маса) у вертикальному положенні

h_1 - Висота скидання ударника; 1 – колісна база; 2 – залишкова інформація; 3 – ударник масою 22,5 кг; 4 – ролик малої маси (максимальна маса- 1 кг); 5 – жорстка опора точок кріплення задньої осі; 6 – напрямок удару спереду назад

4.3 Випробування на удар (падаюча рама) у горизонтальному положенні

Виробники комплектного велосипеда проводять випробування зі штатною передньою вилкою.

Для виробників рам, у тому випадку, якщо немає можливості встановити штатну вилку, випробування допускається проводити з рамою, в якій встановлена

вилка, що задовольняє вимогам випробувань кударним вилки, викладеним в ISO 4210-2:2014.

Якщо рама може трансформуватися для використання чоловіками або жінками у вигляді видалення ланки рами, випробування проводять з віддаленою ланкою.

Якщо встановлена вилка, обладнана пружним елементом, її довжина при випробуваннях перед ударом повинна відповідати ненавантаженому стану. Якщо пружинно-амортизаторний вузол можна заблокувати, він має бути заблокований у ненавантаженому положенні. Якщо пружинно-амортизаторний вузол не може бути заблокований, слід використовувати одну з наступних альтернативних процедур:

- зафіксувати вилку в її подовженому стані за допомогою зовнішньої фіксації, або
- замінити вилку жорсткою вилкою, щодо якої встановлено відповідність вимогам

До ударних випробувань вилки, викладених у ISO 4210-2:2014, пункт 4.9.5, що має довжину, що відповідає навантаженню від велосипедиста масою 80 кг (у разі підліткового велосипеда — 40 кг), що сидить у нормальній позиції для руху, коли велосипед оснащений вилкою з пружним елементом.

Якщо система задньої підвіски вбудована в раму, необхідно зафіксувати підвіску в положенні, яке відповідає навантаженню від ваги велосипедиста 80 кг (для підліткових велосипедів - 40 кг), що знаходиться на сидінні велосипеда. Якщо конструкція підвіски не дозволяє її фіксацію у потрібному положенні, слід замінити пружинно-амортизаторний вузол жорстким зв'язком відповідної довжини з кріпленнями на кінцях, що відповідають кріпленням пружинно-амортизаторного вузла.

Проводять випробування на зібраному вузлі, аналогічному використовуваному для випробування ISO 4210-2:2014, пункт 4.8.2, або, у випадку виробника рами, що не виготовляє вилки, з тією самою рамою, зібраною з вилкою.

Встановити вузол рама-вилка, як показано на рисунок 2, використовуючи точки кріплення задньої осі так, щоб була можливість повороту навколо задньої осі

у вертикальному напрямку. Слід оперти передню вилку на плоску сталеву ковадло так, щоб рама знаходилася у своєму нормальному положенні. Надійно закріплюють вантаж масою M_1 на підсідельному штирі (див. рисунок 4.2), щоб центр ваги вантажу знаходився на відстані 75 мм по осі штиря сідла від точки його входу в раму, а також вантажі з масами M_2 та M_3 (див. таблицю 4.2) верхній частині штиря керма та каретки педалей відповідно, як показано на рисунок 4.2.

Вимірюють колісну базу із трьома закріпленими на своїх місцях вантажами. Повертають зібраний вузол навколо задньої осі доти, поки висота від ролика малої маси до сталеві ковадла не досягне значення h_2 , і потім відпускають вузол для його падіння на сталеву ковадло.

Повторюють випробування, а потім знову вимірюють колісну базу з трьома закріпленими на своїх місцях вантажами та роликом, що спирається на сталеве ковадло.

Таблиця 4.2 – Значення висоти скидання вантажу та розподіл вантажів на підсідельному штирі, верхній частині штиря керма та каретці педалей

Тип велосипеда	Міські та трекінгові (гібридні)	Підліткові велосипеди	Гірські велосипеди	Гоночні велосипеди
Маса 1, підсідельний штир M_1 , кг	50	40	30	30
Маса 2, верхня частина штиря керма M_2 , кг	10	10	10	10
Маса 3, каретка педалей M_3 , кг	30	20	50	50
Висота скидання h_2 мм	200	200	300	200

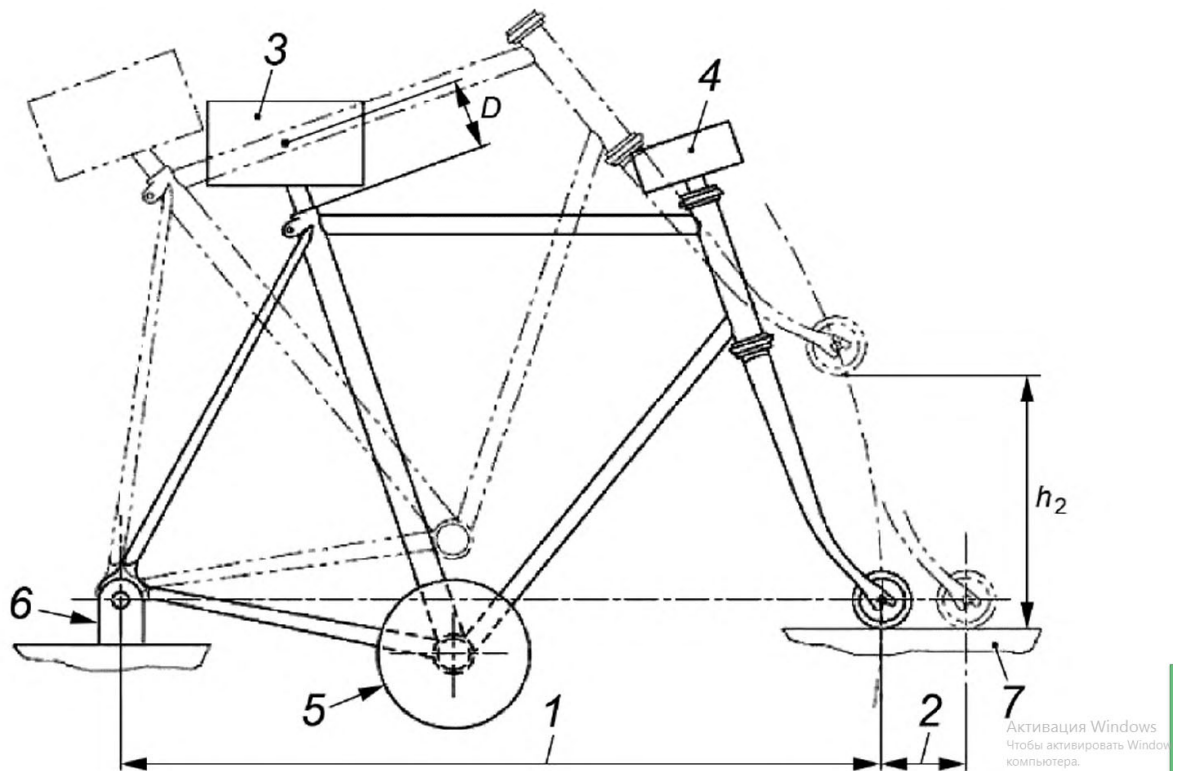


Рисунок 4.2 – Рама з вилкою у зборі. Випробування на удар (рама, що падає)
 1 – колісна база; 2 – залишкова деформація; 3 – маса 1 (M_1);
 4 – маса 2 (M_2); 5 – маса 3 (M_3); 6 – жорстке кріплення точок встановлення
 задньої осі; 7 – сталеве ковадло; D – розмір до центру ваги (75 мм); h_2 – висота
 скидання

4.4 Втомні випробування від зусиль на педалях

Цьому випробуванню піддають рами всіх типів. При випробуваннях рами з вбудованою підвіскою, що має шарнірні з'єднання, необхідно відрегулювати пружину, пневмоелемент або амортизатор для отримання максимально жорсткої характеристики, а у разі пневмоелемента, в якому відсутня можливість регулювання тиску, - замінити вузол підвіски на жорсткий зв'язок, забезпечивши її еквівалентність штатному вузлу відношенні кріплення на кінцях та бічній жорсткості. Для рам з вбудованою підвіскою, в яких розмір ланцюга між центрами охоплення зірочок не визначається осями каретки і заднього колеса, а пружно змінюється в певних межах, слід переконатися, що будь-які амортизатори

відрегульовані на мінімальний опір для того, щоб забезпечити адекватні умови випробування рами .

Для випробування використовують нові раму звилкою у зборі із встановленими стандартними підшипниками рульової колонки. Переднявилка може бути замінена макетноювилкою і, принаймні, такою ж жорсткістю, як оригінальнавилка. Якщо рама може трансформуватися для використання чоловіками або жінками у вигляді видалення ланки рами, випробування проводять з віддаленою ланкою.

Необхідно змонтувати зібрану раму на підставі, як показано на рисунок 3 з оригінальною або макетноювилкою, зафіксованою з використанням місць кріплення осі до жорсткої основи на висоті R_w (рівній радіусу колеса/шини ± 30 мм) зі маточкою, що вільно повертається на осі. Фіксують за допомогою осі задні місця для її кріплення на жорсткій вертикальній опорі такої ж висоти, як і жорстка передня опора для передньоївилки, забезпечивши можливість повороту навколо осі, що є віссю заднього колеса, і одночасно жорсткість у бокових напрямках, а нижнє кріплення опори повинно являти собою шаровий шарнір.

Встановлюють педальний вузол, провідну зірочку і ланцюг у зборі або, що краще, міцну жорстку конструкцію, що замінює, в каретку педалей, як показано на рисунок 2 і описано в перерахуваннях а) і в) нижче.

а) Якщо використовується збірка педальний вузол/зірочка ланцюга, повертають обидва коліна вперед і вниз до кута 45° до горизонталі (точність в межах $\pm 2^\circ$) і встановлюють передню частину ланцюга на середню із трьох зірочок, на меншу зірочку з двох або на єдину зірочку. Встановлюють задню частину ланцюга на задню каретку перпендикулярно до її осі.

б) Якщо використовується адаптер (як показано на рисунок 3), слід переконатися, що зібрана конструкція вільно повертається навколо осі каретки педалей і що обидва важелі, що імітують шатуни, мають довжину 175 мм (L) і обидва нахилені вперед і вниз до кута 45° до горизонталі (точність не більше $\pm 2^\circ$). Фіксують положення важелів, що імітують шатуни, вертикальним важелем (що імітує зірочку) і тягою, яка має кульові шарніри на обох кінцях і яка кріпиться до

задньої осі перпендикулярно до осі задньої каретки. Довжина вертикального важеля (R_c) повинна становити 75 мм, а вісь тяги повинна бути паралельна вертикальній площині, що проходить через центр симетрії рами, та відстояти від неї на 50 мм.

Кожен шпindelь педалі піддають (або еквівалентний компонент адаптера) циклічному впливу зусиль F спрямованих вниз на відстані 150 мм від центральної лінії рами у вертикальній поперечній площині з нахилом $7,5^\circ$ (точність в межах $\pm 0,5^\circ$) до поздовжньої центральної площини рами, як показано в таблиці 3 і на рисунок 3. Під час застосування цих випробувальних зусиль необхідно переконатися в тому, що зусилля на «шпindelі педалі» впало до 5% або менше від пікового зусилля, перш ніж починати додаток випробувального зусилля на інший «шпindelь педалі».

Прикладають випробувальні зусилля у кількості 100 000 циклів, де один цикл складається із докладання та зняття двох випробувальних зусиль.

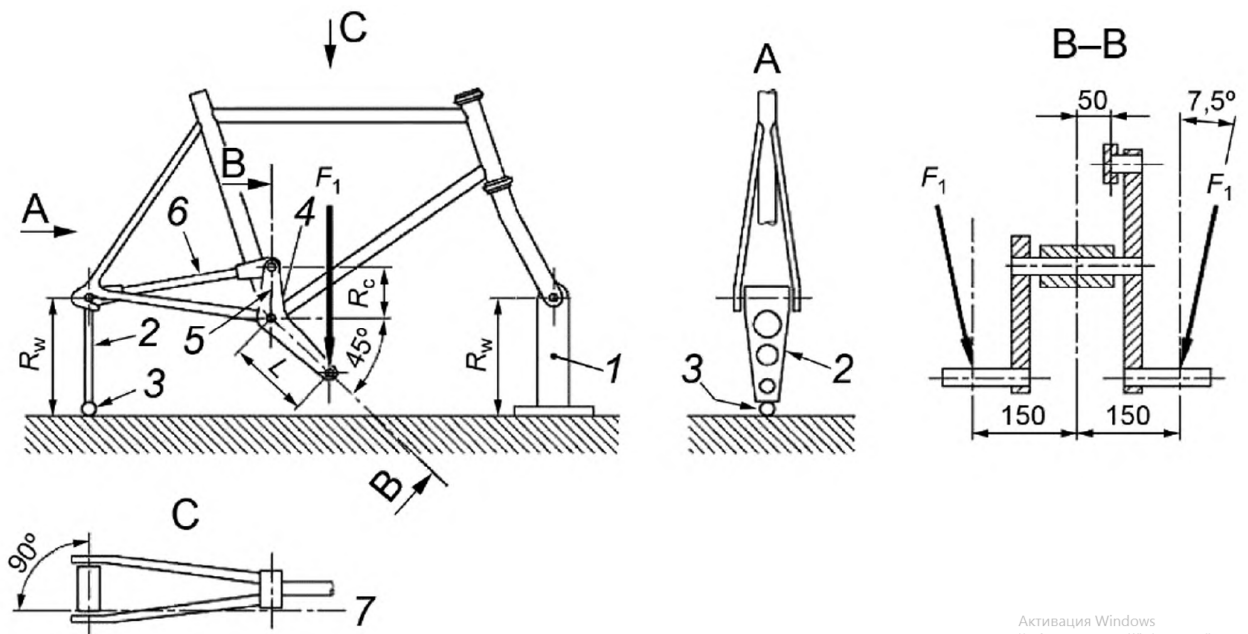


Рисунок 4.3 – Схема втомних випробувань від зусиль на педалях

R_w -висота стійки кріплення осі до жорсткої основи; R_c - Довжина вертикального

важеля (75 мм); L - Довжина важеля, що імітує шатун;

7 – стійка кріплення передньої осі; 2 - вертикальна зв'язок;

3-кульовий шарнір; 4 – адаптер у зборі;
5 – вертикальний важіль; 6 – тяга; 7 – вісь тяги

Таблиця 4.3 - Зусилля на шпинделі педалі

Тип велосипеда	Міські та трекінгові (гібридні) велосипеди	Підліткові велосипеди	Гірські велосипеди	Гоночні велосипеди
Зусилля F1 Н	1000	1000	1200	1100

4.5 Втомні випробування від горизонтальних зусиль

Якщо рама може трансформуватися для використання чоловіками або жінками у вигляді видалення ланки рами, випробування проводять з віддаленою ланкою.

Не обов'язково використовувати оригінальну вилку, якщо будь-яка підмінна вилка має ту ж довжину, як у штатної вилки, і правильно встановлена в підшипниках кермової колонки. Для вилки з пружним елементом слід зафіксувати підвіску в положенні, що відповідає навантаженню від ваги велосипедиста 80 кг (для підліткових велосипедів 40 кг), що знаходиться на сидінні велосипеда, або регулювання пружинно-амортизаторного вузла, або за допомогою зовнішніх фіксуючих пристроїв.

При випробуваннях рами з вбудованим пружним елементом і шарнірними з'єднаннями - зафіксувати частини рами, що рухаються, в положенні, що відповідає навантаженню від ваги велосипедиста 80 кг, що знаходиться на сидінні велосипеда. Це може бути досягнуто або блокуванням системи підвіски в потрібному положенні або, якщо система підвіски не дозволяє блокування, заміною системи підвіски жорстким зв'язком з довжиною, що відповідає стислому стану. Слід переконатися, що осі передньої та задньої втулок горизонтальні і розташовані в лінію, як показано на рисунку 4.4. Для рам із вбудованим пружним елементом, в яких розмір ланцюга між центрами охоплення зірочок не визначається осями

каретки педалей і заднього колеса, а пружно змінюється в певних межах, переконатися в тому, що будь-які амортизатори відрегульовані на мінімальний опір для того, щоб забезпечити адекватні умови випробування рами.

Якщо рама з вбудованим пружним елементом має регульовані кронштейни або важелі для зміни опору велосипеда силам, що виникають в контакті з опорною поверхнею, або зміни положення велосипеда, необхідно розташувати ці регульовані компоненти так, щоб забезпечити максимальні зусилля в рамі.

Монтують раму в її нормальному положенні та закріплюють з використанням дропаутів задньої вилки так, щоб це не обмежувало раму у напрямку повороту (тобто переважно використовуючи задню вісь), як показано на рисунку 4.4. Переконаються, що осі кріплення передньої та задньої втулок горизонтальні та розташовані на одній лінії.

Забезпечують циклічну дію динамічних горизонтальних сил F_2 у передньому напрямку і F_3 у зворотному напрямку на дропаути передньої вилки при кількості циклів C_1 (як зазначено в таблиці 4.4 та на рисунку 4.4, при цьому передня вилка обмежена у русі у вертикальному напрямку, але може вільно рухатися вперед/назад під дією прикладених сил.

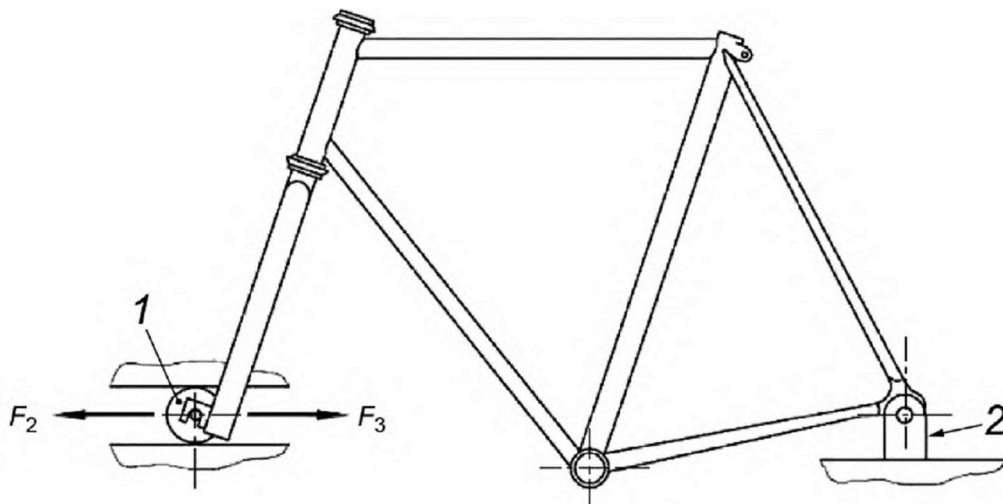


Рисунок 4.4 – Схема втомних випробувань
від горизонтальних зусиль

1 - напрямний ролик, що вільно обертається; 2 – жорстка шарнірна опора
для точок кріплення задньої осі

Таблиця 4 – Зусилля та кількість циклів навантаження дропаутів передньої вилки

Тип велосипеда	Міські та трекінгові (гібридні) велосипеди	Підліткові велосипеди	Гірські велосипеди	Гоночні велосипеди
Зусилля у передньому напрямку F2, Н	450	450	1200	600
Зусилля у задньому напрямку F3, Н	450	450	600	600
Кількість випробувальних циклів С1	100 000	100 000	50 000	100 000

4.6 Втомні випробування від вертикальних зусиль

Монтують раму в її нормальному положенні та закріплюють з використанням задньої вилки так, щоб це не обмежувало раму у напрямку повороту (тобто переважно використовуючи задню вісь), як показано на рисунок 4.5. Встановлюють відповідний ролик на місце передньої осі для забезпечення зсуву рами вперед/назад під впливом випробувальних зусиль.

Вставляють відповідну частину підсідельного штиря на мінімально допустиму глибину в трубу рами або еквівалентної деталі, що замінює підсідельний штир, на глибину 75 мм у верхню частину рами рами і закріплюють відповідно до інструкцій виробника за допомогою штатного затиску. Надійно прикріплюють горизонтальний спрямований назад стрижень (див. рисунок 4.5) до верхньої частини деталі, що замінює так, щоб його довжина (рисунок 5, розмір h3) забезпечувала положення точки Н в позиції, еквівалентній центру затиску сидла, коли велосипед відрегульований на максимальну рекомендовану висоту сидла конкретної рами або якщо інформація про максимальну висоту сидла відсутня, розмір h3 повинен бути 250 мм.

Забезпечують циклічну дію динамічних вертикальних сил P4 в точці, розташованій в 70 мм позаду перетину повнотілого сталевого стержня і

горизонтального, спрямованого назад стрижня Е, як показано на рисунок 5, у кількості 50 000 циклів. Значення зусиль наведено у таблиці 4.5.

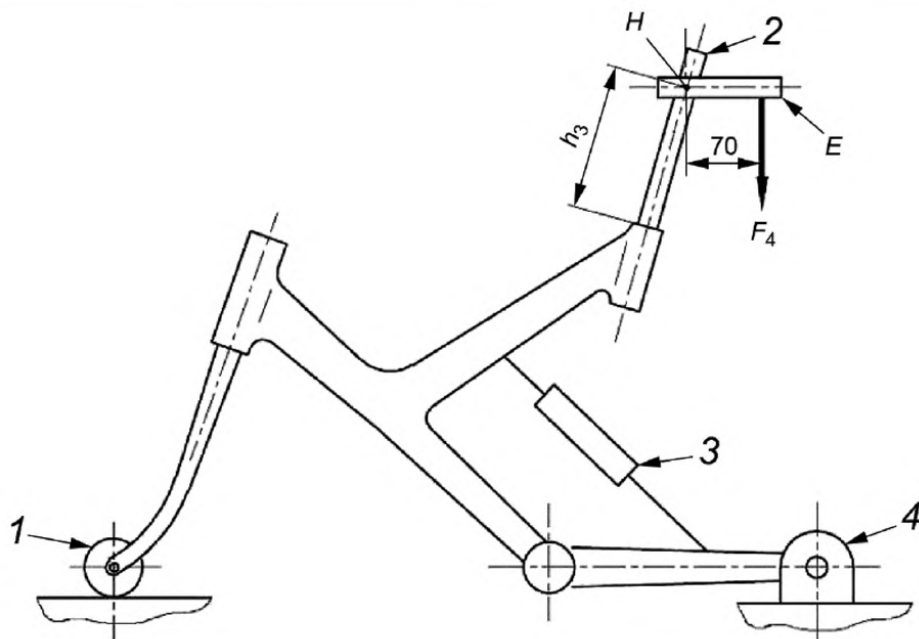


Рисунок 4.5 – Схема втомних випробувань
від вертикальних зусиль

Е - горизонтальний, спрямований назад стрижень;

Н - позиція, еквівалентна центру затиску сидла велосипеда;

1 - ролик, що вільно обертається; 2 – сталевий стрижень;

3 – заблокований вузол підвіски або жорсткий зв'язок для розміру ланцюга між центрами охоплення зірочок, що визначається центрами осей;

4 – жорстке шарнірне кріплення точки встановлення задньої осі

Таблиця 4.5 - Зусилля на підсідельному штирі

Тип велосипеда	Міські та трекінгові (гібридні) велосипеди	Підліткові велосипеди	Гірські велосипеди	Гоночні велосипеди
Зусилля у передньому напрямку F1, Н	1000	500	1200	1200

4.7 Випробувальна система велосипеда KINGPO EN 14764

Випробувальна машина KINGPO EN 14764 використана для того, щоб зімітувати здатність велосипеда витримати удар земної перепони коли вона стикається перепони поїхати. Електричні збори велосипеда піддаються тесту удару відповідно до методу визначеного у статті 27,1 GB 3565-2005 з силою удару 80 j (наприклад, вертикальне падіння ваги 22,5 кг від висоти 360 мм).

Якщо рама обладнана з вилкою поглинаючи удару, то збори будуть випробувані для вільної довжини передньої вилки в розвантаженому стані. Якщо амортизуючи весну можна замкнути, вона слід замкнути до розвантаженої довжини. Якщо рама обладнана заднім демфером, демфер прикріплена до еквіваленту вершника 75 кг на кораблі тесту. Якщо прилад демфера не дозволяє замкнути, то тверде з'єднання однакового розміру можна використовувати замість вилки демфера передньої або заднього демфера, і з'єднання на обох кінцях це як з фронту демфера або заднього демфера.

Параметри:

1. Режим контролю та діяльності: управління дотиканням;
2. Висота підняття ваги: 0~400mm регульована;
3. Ошибка виміру висоти: ± 1 mm;
4. Точність ваги: $\pm 0.2\%$;
5. Швидкість підняття ваги: 0~150mm/min регульоване;
6. Підняття ваги: електричний;

7. Твердість ролика та голови удару: HRC 60 або більше;
8. Вес ролика: 1кг;
9. Вес тесту: 22.5кг, нержавіюча сталь.



Рисунок 4.6 – Випробувальна система велосипеда KINGPO EN 14764
електрична (Китай)

4.8 Висновки до розділу

Досліджено методи контролю якості та сертифікації рами велосипеда.

За основу перевірки якості взято контроль за ДСТУ EN ISO 4210-2:2019 «Велосипеди. Вимоги щодо безпеки двоколісних велосипедів. Частина 2. Вимоги

до міських та екскурсійних, молодіжних, гірських та перегонних велосипедів» та ДСТУ EN ISO 4210-6:2019 «Велосипеди. Вимоги щодо безпеки двоколісних велосипедів. Частина 6. Методи випробування рами та вилки», затверджених наказом №40 від 27.02.2019р. Для виконання регламентованих випробувань за ДСТУ запропоновано використання «Випробувальної системи велосипеда KINGPO EN 14764».

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Проведено аналіз і опис умов експлуатації, робочого процесу, критерії працездатності рами велосипеда.

Проведено функціонально-вартісний аналіз велосипеда та по результатах аналізу визначено деталь для дослідження – раму велосипеда.

За допомогою інструментів програмного забезпечення Autodesk Fusion 360, з генеративного дизайну отримали 3-D модель з раціональною топологією рами зменшеної ваги.

Перевірено за допомогою методу скінчених елементів, що пластиковий корпус промислових витримує номінальне навантаження, із збереженням експлуатаційних властивостей

Запропоновано матеріал та описано технологію виготовлення рами велосипеда.

Рама велосипеда, виготовлена із стандартного вуглецевого волокна тієї ж товщини, що й алюмінієва, матиме на 31 відсотків більшу жорсткість, ніж алюмінієва, і водночас важитиме на 50 відсотків менше та матиме на 60 відсотків більшу міцність.

Алюміній має більшу пластичність, що робить його менш схильним до пошкоджень від раптових ударів, а карбон може раптово зламатися під напругою або тиском.

Обрано та досліджено методи сертифікації та контролю якості рами велосипеда.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи для магістрів спеціальності 132 Матеріалознавство / Кирило ЗІБОРОВ, Сергій ФЕДОРЯЧЕНКО, Тетяна ПИСЬМЕНКОВА, Наталія РОТТ. Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Д.: НТУ «ДП», 2023. – 37 с.
2. Навчальні матеріали з Autodesk Inventor Fusion 2012. - Текст: електронний. - URL: <http://labs.autodesk.com/> (Дата звернення 01.05.2024)
3. Dieci; Sectors of use of telescopic loaders – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.dieci.com/en/> (Дата звернення 01.05.2024)
4. Funktionskosten-Analyse – [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://meport.net/index.php?content=/.lo_met_mngt/method_body_short_info.php&met_hodId=a8decbbfbfdeb007ed552d5143c947dcd&versionId=ae196ca4f4a36406db9f3beb2c852ba7&displayMode=show (Дата звернення 15.05.2024)
5. Мацюк І.М. Аналіз плоского важільного механізму. Методичні вказівки до виконання домашнього завдання з ТММ для студентів, що навчаються за освітньою програмою «Промислова естетика і сертифікація виробничого обладнання» спеціальності 132 «Матеріалознавство» / І.М. Мацюк, Е.М. Шляхов; Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Д. : НТУ «ДП», 2019. – 40 с.
6. Fusion 360: Tutorial: Shape optimization analysis – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://help.autodesk.com/view/fusion360/ENU/?guid=SIM-SHAPE-OPTIMIZATION> (Дата звернення 15.05.2024)
7. Гарнець В. М. Конструкційне матеріалознавство / В. М. Гарнець, В. М. Коваленко. – К.: Либідь, 2007. – 384 с
8. What is hardness testing? – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.metalinspeclabs.com/post/what-is-hardness-testing> (Дата звернення 06.06.2024)

9. Sheldon Brown's Bicycle Headset Dimension Crib Sheet – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://sheldonbrown.com/headsets.html> (Дата звернення 06.06.2024)

10. Cycles — Screw threads used to assemble freewheels on bicycle hubs – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:6698:ed-2:v1:en> (Дата звернення 06.06.2024)

11. Santa Cruz Bicycles - Test Lab [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.pinkbike.com/news/santa-cruz-bicycles-test-lab.html> (Дата звернення 06.06.2024)

12. ДСТУ EN ISO 4210-2:2019 (EN ISO 4210-2:2014, IDT; ISO 4210-2:2014, IDT) Велосипеди. Вимоги щодо безпечності двоколісних велосипедів. Частина 2. Вимоги до міських та екскурсійних, молодіжних, гірських і перегонових велосипедів [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0040774-19#Text> (Дата звернення 06.06.2024)