

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інститут інформатики та радіотехніки,
Факультет радіоелектроніки та телекомунікацій

(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра інформаційних технологій електронних засобів

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

бакалавр

(ступінь вищої освіти)

на тему: Дослідження впливу вібрацій моторів квадрокоптеру на місце розташування політного контролеру для різних типів рам

Виконав: студент(ка) 4 курсу, групи РТ-618сп

Спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Інтелектуальні мехатронні та роботехнічні системи

Палівода Д. С.

(прізвище та ініціали)

Керівник Фарафонов О. Ю.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Неласа Г.В.

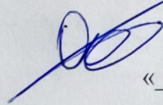
(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Факультет радіоелектроніки та телекомунікацій
Кафедра інформаційних технологій електронних засобів
Ступінь вищої освіти бакалавр
Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(код і найменування)
Освітня програма (спеціалізація) Автоматизація, мехатроніка та робототехніка
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. зав. Каф. ІТЕЗ



Олег Євген Вікторович

« 26 » квітня 2021 року

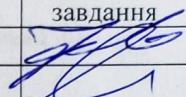
ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА

Паліводи Дмитра Сергійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Дослідження впливу вібрацій моторів квадрокоптеру на місце розташування політного контролеру для різних типів рам
керівник проєкту (роботи) Фарафонов Олексій Юрійович, канд. тех. наук, доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
- затверджені наказом закладу вищої освіти від «26» квітня 2021 року № 159
2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 29 квітня 2021 року
3. Вихідні дані до проєкту (роботи) 3 рами різних типів 5" формфактору
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Загальна частина. 2 Спеціальна частина.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
51 с., 46 рис., 5 табл., 9 посилань, 18 слайдів.

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	Прийняв виконане завдання
Розділи 1-2	Фарафонов О.Ю., доц.	05.04	
Нормоконтроль	Поспєєва І.Є., ст. викладач		

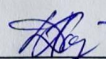
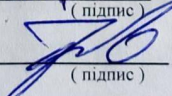
7. Дата видачі завдання «5» квітня 2021 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Аналіз сучасних САПР	26.04.21	
2	Ознайомлення з системою симуляцій	29.04.21	
3	Постановка завдання	01.05.21	
4	Виконання досліджень	05.05.21	
5	Оформлення ПЗ та захист дипломного проєкту	29.05.21	
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			

Студент

Керівник проєкту (роботи)


(підпис)

(підпис)

Палівода Д.С.
(прізвище та ініціали)

Фарафонов О.Ю.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 51 с., 46 рис., 5 табл., 9 посилань, 18 слайдів.

Об'єкт дослідження – 3 різновиди корпусів квадрокоптерів.

Метою досліджень є розробка методики дослідження впливу вібрацій моторів квадрокоптеру на місце розташування політного контролера для різних типів рам за допомогою САПР.

Метод дослідження – чисельне методи, метод кінцевих елементів.

Обрано САПР Solidworks для проведення досліджень, обрано 3D моделі різних типів рам квадрокоптерів. Розроблено методику моделювання дослідження впливу вібрацій моторів квадрокоптеру на місце розташування політного контролера засобами інженерного аналізу. Це надає можливість запобігти появі інженерних помилок та оптимізувати конструкцію рам квадрокоптерів та обрати місця встановлення політного контролера на етапі проєктування і зменшити кількість фізичних випробувань..

Результати досліджень можуть застосовуватися при проєктуванні квадрокоптерів.

КВАДРОКОПТЕР, ДОСЛІДЖЕННЯ ВІБРАЦІЙ, ПОЛІТНИЙ КОНТРОЛЕР, ІНЖЕНЕРНИЙ АНАЛІЗ, ДИНАМІЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ, КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, СИМУЛЯЦІЯ, 3-D МОДЕЛЬ,

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ	8
1.1 Вибір та порівняння САПР	8
1.2 Опис конструкцій, що досліджуються.....	19
1.3 Теоретична частина досліджень	28
1.4 Постановка задачі.....	29
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ДІЇ ВІБРАЦІЙ НА РАМИ КВАДРОКОПТЕРІВ	30
2.1 Методика моделювання дії вібрації SolidWorks	30
2.2 Результати моделювання.....	41
2.2.1 Результати моделювання при 100Гц.....	41
2.2.2 Результати моделювання при 200Гц.....	43
2.2.3 Результати моделювання при 300Гц.....	45
ВИСНОВКИ.....	48
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	50

ВСТУП

Технології розвиваються досить швидко, і дозволяють побачити давно відомі речі під іншим кутом, наочно показати те що часто складно побачити неозброєним оком. Розвиток комп'ютерних технологій значно спростив процес розрахунків та проектування приладів та систем. Якщо раніше потрібно було сидіти над розрахунками тижнями то зараз достатньо записати потрібні формули в програму і досить швидко все обрахувати, а наявність готових потужних математичних бібліотек економить час на реалізації складних алгоритмів. За допомогою систем симуляції реальних об'єктів можна наглядно оцінити та побачити роботу того чи іншого виробу під час різноманітних ситуацій та навантажень.

Безпілотні літальні апарати, чи мультикоптери стають все більш популярними у різноманітних сферах життя. Використовуються літальні апарати з шістьма, вісьма, десятьма гвинтами, однак найпоширенішими у вживанні є апарати з чотирма гвинтами – квадрокоптери. Механічна конструкція мультикоптера надзвичайно проста та надійна. Кожен гвинт має свій електродвигун, зазвичай безколекторний. Кожен двигун під'єднаний до свого контролера (регулятора обертів).

Кожен гвинт забезпечує тягу квадрокоптера, крім того, різниця в кутової швидкості цих гвинтів відповідає за крен, тангаж і Пропелер, рама квадрокоптера та електронна плата польотного контролеру під час польоту піддаються динамічному навантаженню та вібраціям.

Система керується мікропроцесором, який перетворює сигнали з гіроскопів та передавача радіокерування в команди двигунам. Щоб забезпечити рівновагу в повітрі та стабільне зависання, мультикоптер оснащений трьома гіроскопами. Вони контролюють положення апарата по трьом осям. Кожен гіроскоп миттєво реагує на мінімальне відхилення від своєї осі налаштування та подає сигнал на процесор, який в свою чергу, через регулятори ходу контролює оберти електродвигунів, що забезпечує рівновагу апарата в повітрі. Як допоміжний інструмент, іноді також використовується

акселерометр і бародатчик, сигнали від яких дозволяють процесору фіксувати апарат на потрібній висоті.

Дуже важливо визначити рівень вібрацій з подальшим зниженням чи уникненням їх ще на етапі розробки та проектування, і обрати необхідний тип рами з місцем встановлення польотного контролеру.

CAD/CAM/CAE-системи мають призначення для комплексної автоматизації конструювання, проєктування та виготовлення продукції. В них об'єднуються три системи різного призначення, що розроблені на загальній базі, аббревіатури яких розшифровуються так: CAD – Computer Aided Design – це комп'ютерна підтримка конструювання; CAM – Computer Aided Manufacturing – це комп'ютерна підтримка виробництва; CAE – Computer Aided Engineering – це комп'ютерна підтримка інженерного аналізу; PDM – Product Data Management – це системи управління проєктними даними [1, 2].

Таким чином, метою дипломної роботи є дослідження вібрації двигунів квадрокоптеру на місце розташування політного контролеру для різних типів рам. Для реалізації цього відмінно підходять хмарні САПР.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Вибір та порівняння САПР

У даний момент у сучасному виробництві широке поширення одержали системи автоматизованого проектування (САПР, computer aided design), вони дозволяють проектувати технологічні процеси з меншими витратами часу та засобів, зі збільшенням точності спроектованих процесів і програм обробки, що скорочує витрати матеріалів та час обробки, завдяки тому, що режими обробки також розраховуються та оптимізуються за допомогою ЕОМ.

Технічне забезпечення САПР засновано на використанні обчислювальних мереж і телекомунікаційних технологій, персональних комп'ютерів та робочих станцій.

Математичне забезпечення САПР характеризується різноманітністю методів обчислювальної математики, статистики, математичного програмування, дискретної математики, штучного інтелекту. Програмні комплекси САПР відносяться до числа найбільш складних сучасних програмних систем, заснованих на операційних системах Unix, Windows, мовах програмування C, C++, Java і інших, сучасних CASE технологіях, реляційних і об'єктно-орієнтованих системах керування базами даних (СКБД), стандартах відкритих систем і обміну даними в комп'ютерних середовищах [3].

Проектування, при якому всі проектні рішення або їхня частина одержують шляхом взаємодії людини та ЕОМ, називають автоматизованими на відміну від ручного (без використання ЕОМ) або автоматичного (без участі людини на проміжних етапах). Система, що реалізує автоматизоване проектування, являє собою систему автоматизованого проектування (в англomовному написанні CAD System – Computer Aided Design System). САПР (або CAD) звичайно використовуються разом із системами автоматизації інженерних розрахунків і аналізу CAE (Computer-Aided engineering). Дані із CAD- систем передаються в CAM (Computer-Aided manufacturing) – систему автоматизованої розробки програм обробки деталей для верстатів.

CAE – автоматизоване конструювання, використання спеціального програмного забезпечення для проведення інженерного аналізу міцності та інших технічних характеристик компонентів, виконаних у системах автоматизованого проектування. Програми автоматизованого конструювання дозволяють здійснювати динамічне моделювання, перевірку та оптимізацію виробів і засобів їхнього виробництва.

CAM – автоматизоване виробництво. Термін використовується для позначення програмного забезпечення, основною метою якого є створення програм для керування верстатами зі ЧПК (числове програмне керування). Вхідними даними CAM- системи є геометрична модель виробу, розроблена в системі автоматизованого проектування. У процесі інтерактивної роботи із тривимірною моделлю в САМ системі інженер визначає траєкторії руху різального інструменту по заготівлі виробу, які потім автоматично верифікуються, візуалізуються і обробляються постпроцесором для одержання програми керування конкретним верстатом.

Отже, технології CAD, CAM і CAE полягають у автоматизації та підвищенні ефективності конкретних стадій життєвого циклу виробів.

Структура САПР. САПР складається з проектуючої і обслуговуючої підсистем. Проектуючі підсистеми безпосередньо виконують проектні процедури. Прикладами проектуючих підсистем можуть слугувати підсистеми геометричного тривимірного моделювання механічних об'єктів, виготовлення конструкторської документації, схемотехнічного аналізу, трасування з'єднань у друкованих платах.

Обслуговуючі підсистеми забезпечують функціонування проектуючих підсистем, їхню сукупність часто називають системним середовищем (або оболонкою) САПР. Типовими обслуговуваними підсистемами є підсистеми керування проектними даними, керування процесом проектування, користувацького інтерфейсу для зв'язку розробників з ЕОМ, CASE (Computer Aided Software Engineering) для розробки та супроводу програмного забезпечення САПР, навчальні підсистеми для освоєння користувачами технологій, реалізованих у САПР.

На сьогодні створено велику кількість програмно-методичних комплексів для САПР із різними ступенем спеціалізації й прикладною орієнтацією. У результаті автоматизація проектування стала необхідною складовою частиною підготовки інженерів різних спеціальностей.

Проведемо порівняльний аналіз систем САПР: САПР Siemens NX, Програмний комплекс САПР SolidWorks, Autodesk Fusion 360 – комплексний хмарний CAD/CAE/CAM.

Результати порівняльного аналізу відображені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика систем САПР

Назва системи САПР	Дата останньої версії	Вид ліцензії	Учбова версія	Файли імпорту/експорту	Види досліджень
Autodesk Fusion 360	2021	проприетарна	безкоштовна	ACIS, CATIA V5, DXF/DWG, IGES, Parasolid, PDF (export only), STEP, and STL, F3D.	Термальний аналіз, аналіз напруги, частотний аналіз, термальний з напругою, оптимізація форми
CATIA	2018	проприетарна	99 євро	3D XML, CATIA V5, CATIA V4, CATIA V3, DXF, IGES, STEP, and VRML	Термальний аналіз, аналіз напруги
Inventor	2021	проприетарна	безкоштовна	ACIS, CATIA V5, DWG, IGES, JT, Parasolid, STEP.	Термальний аналіз, аналіз напруги, термальний з напругою, аналіз кінематики

Siemens NX	2019	проприетарна	безкоштовна для учбових закладів	ACIS, CATIA V5, CATIA V4, DXF/DWG, IGES, STEP, STL	Термальний аналіз, аналіз напруги, термальний з напругою
SolidWorks	2021	проприетарна	120 євро	ACIS, CATIA V5, DXF/DWG, IGES, Parasolid, PDF (export only), STEP, and STL.	Термальний аналіз, аналіз напруги, частотний аналіз, термальний з напругою, нелінійний аналіз, аналіз на зіткнення, аналіз на прогин

Inventor - це програмне забезпечення для автоматизованого проектування, розроблене Autodesk. У ньому використовується концепція параметричного проектування, що використовується в основному для створення технічних креслень для механічних цілей. Основні можливості Inventor:

- підтримка всіх типів ескізних блоків. Для створення складних об'єктів в програмі застосовують кілька дво- і тривимірних ескізів одночасно. Autodesk Inventor забезпечує коректну зв'язок між елементами моделей одного і декількох ескізів одночасно. Допоміжні інструменти утворюють цілісний функціонал проектування для роботи з геометричними і параметричними моделями. Крім того, програма дозволяє змодельовати компоновку деталей, використовуючи дані з інших САПР;

- бібліотеки та шаблони. Прискорити роботу над проектом допомагають розширені бібліотеки стандартних рішень і елементів об'єктів моделювання. База даних програми налічує близько мільйона різних виробів, які

відповідають вітчизняним і світовим стандартам. Функція пошуку необхідної деталі для окремих вузлів моделей може проводитися автоматично на підставі зазначених параметрів;

- генератори форм і елементів. Автоматизація процесів створення та підбору потрібних компонентів в Autodesk Inventor скорочує час роботи над проектом. Функціонал програми дозволяє генерувати окремі деталі, каркаси, схеми розташування зварювальних швів і т. д.;

- робота зі складними об'єктами. Реалізований диференційований функціонал для роботи з об'єктами, що включають величезну кількість компонентів. За допомогою інструментів програми окремі компоненти можна уявити спрощено або виключити з моделі на певний час. Функція автоматичної генерації окремих елементів і систем складної моделі дозволяє уникнути помилок при роботі з кабельними системами і трубопроводами;

- тестування кінематичних властивостей. У програмі реалізований симулятор кінематики, який дозволяє проводити випробування дослідних зразків, враховуючи повний перелік фізичних властивостей об'єкта, ще на стадії моделювання. Результати випробувань можна уявити за допомогою тривимірних моделей, графіків і документації. Крім того, програма оснащена модулем випробувань об'єктів навантаженнями;

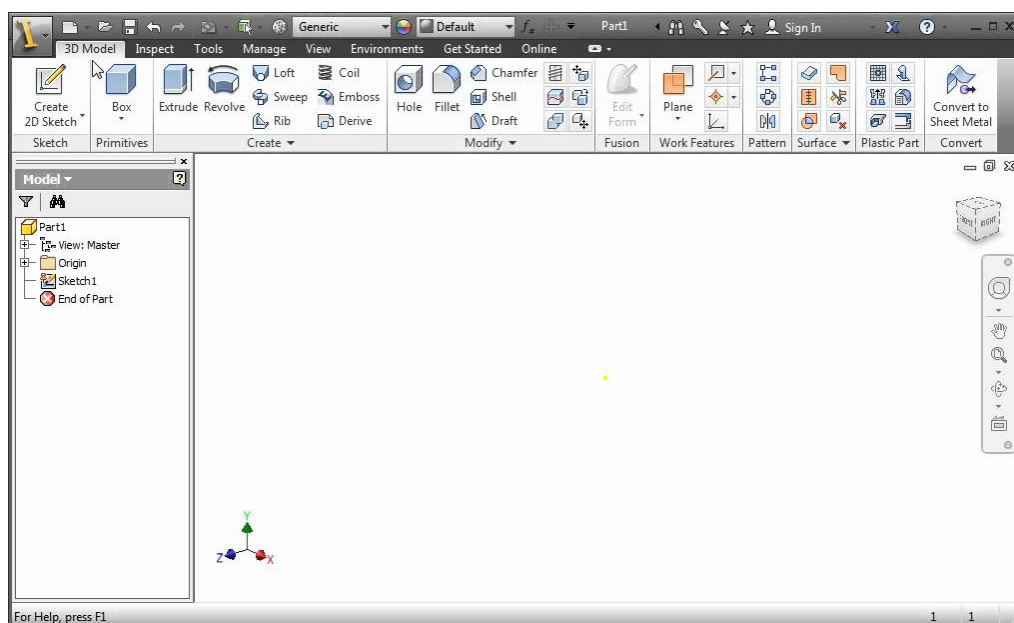


Рисунок 1.1 – Інтерфейс Autodesk Inventor

- візуалізація. За допомогою Autodesk Inventor створюються зображення, наближені до реальних, і навіть відеоролики з реалістичною анімацією. Можливість генерувати матеріал для презентації в самій програмі дозволяє істотно заощадити час.

Autodesk Fusion 360 - це спільна платформа проектування з підтримкою хмарних технологій. Програмний комплекс зумів увібрати в себе кращі риси від інших розробок Autodesk, ставши закінченим і самодостатнім продуктом. Одна з особливостей - хмарний сервіс. Користувачі спільно можуть працювати над проектом, вносити зміни, ділитися розробками і збирати спільну збірку з окремих проектів. Середовище дозволяє пройти всі етапи - від зародження ідеї і ескізу моделі, до інженерного аналізу і виробництва. Будь-який проект починається з ескізу, з тривимірної моделі. В описі програми Fusion 360 зазначено велику кількість можливостей, що надаються користувачеві. Серед них особливу увагу заслуговують:

- моделювання сплайнів. Програма дозволяє моделювати, задаючи точну кривизну або редагуючи вершини «вручну»;
- твердотільне моделювання, Autodesk Fusion 360 дозволяє користуватися звичними інструментами твердотільного моделювання;
- сіткові моделі. Спрощення роботи з даними, відсканованими з матеріальних об'єктів;
- параметричне моделювання. Задання розмірів при створенні ескізів. Будь-яка зміна параметрів веде до зміни зв'язаних елементів;
- бібліотека готових рішень. Велика кількість вже готових компонентів, котрі пришвидшують проектування.

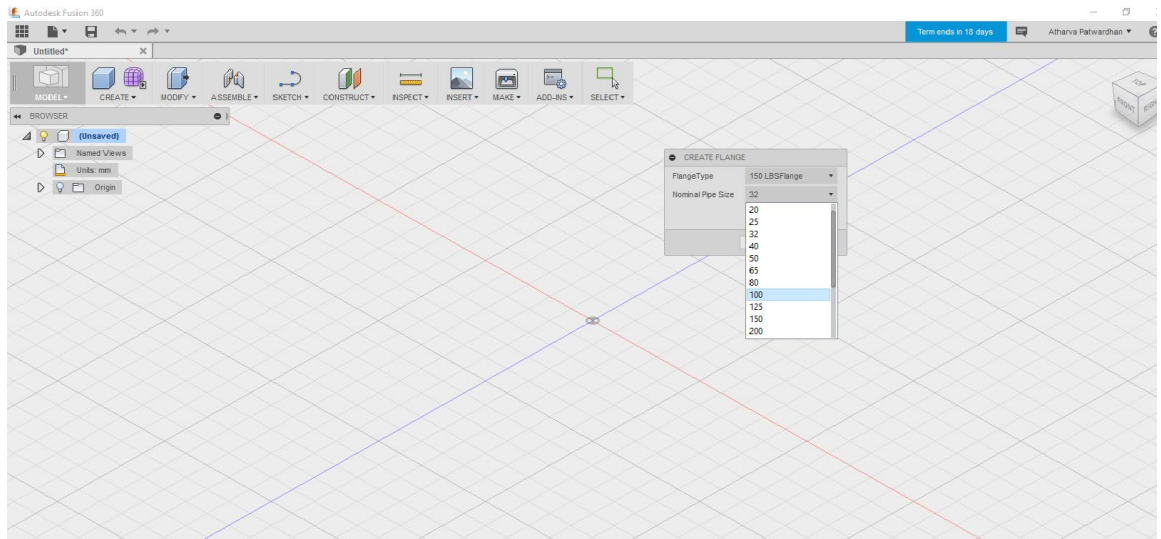


Рисунок 1.2 – Інтерфейс Fusion 360

Fusion 360 підтримує інженерний аналіз моделі для того, щоб розуміти, як майбутній виріб поведе себе в реальних умовах. Для цього в програмі Fusion 360 вже реалізований цілий ряд технологій:

- термальний аналіз і термо-статичний аналіз;
- статичні напруги і вібрації;
- нелінійні напруги;
- моделювання ударних навантажень;
- оптимізація форми. Дозволяє оптимізувати такі параметри, як маса та міцність;
- аналіз болтових з'єднань.

Autodesk Fusion 360 підтримує також і САМ частину, налаштування обладнання та підготовку технічної документації для запуску виробництва. Він дозволяє:

- підготувати керуючу програму ЧПК. Програмний комплекс розробить оптимальні траєкторії для фрези, що дозволяють прискорити та оптимізувати виробництво;
- підготувати модель для 3D-друку. У середовищі можна не тільки спроектувати майбутній виріб, а і підготувати його модель для подальшого друку на 3D-принтері;

- автоматично створити креслення та документацію по створеній деталі, та експортувати дані в файл DWG або PDF. При необхідності креслення можна змінити усередині програми.

CATIA (Computer Aided Three-dimensional Interactive Application) - система автоматизованого проектування французької фірми Dassault Systemes. Це комплексна система автоматизованого проектування, технологічної підготовки виробництва та інженерного аналізу, що включає в себе передовий інструментарій тривимірного моделювання, підсистеми програмної імітації складних технологічних процесів, розвинені засоби аналізу і єдину базу даних текстової та графічної інформації. Система дозволяє ефективно вирішувати всі завдання технічної підготовки виробництва - від зовнішнього (концептуального) проектування до випуску креслень, специфікацій, монтажних схем і керуючих програм для верстатів з ЧПУ.

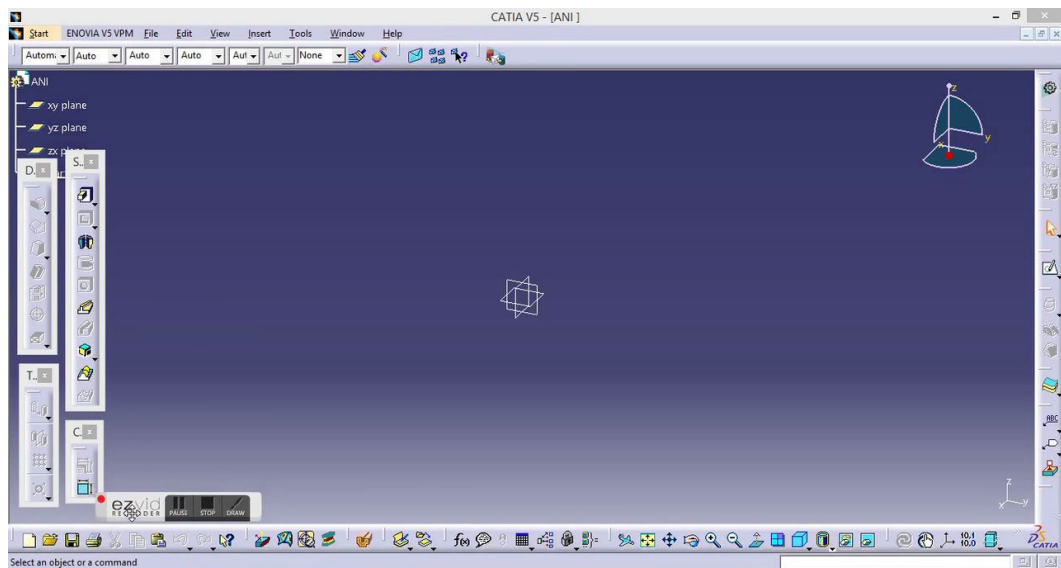


Рисунок 1.3 – Інтерфейс CATIA

Функціональні можливості CATIA на базі платформи Dassault Systèmes:

- середа соціального проектування на базі єдиного джерела перевірених даних і доступу за допомогою функціональних інформаційних 3D-панелей, бізнес-аналітики, паралельної розробки та співпраці всіх учасників (включаючи мобільних співробітників) в режимі реального часу;

- зручне рішення 3DEXPERIENCE з можливостями 3D-моделювання світового рівня допомагає оптимізувати поточну проектну діяльність як професійних, так і непрофесійних користувачів;
- комплексна платформа для розробки продуктів легко інтегрується з існуючими процесами і інструментами. Це дозволяє використовувати потужні і інтегровані спеціалізовані додатки для різних дисциплін на всіх етапах процесу розробки продуктів.

NX від Siemens - це гнучке і потужне інтегроване рішення, для створення і проектування нових виробів. NX підтримує всі стадії розробки виробів: від створення концепту і проектування до виготовлення. Цей набір інструментів дозволяє узгодити роботу в різних сферах, забезпечити цілісність даних, зберегти проектний задум і оптимізувати весь робочий процес.

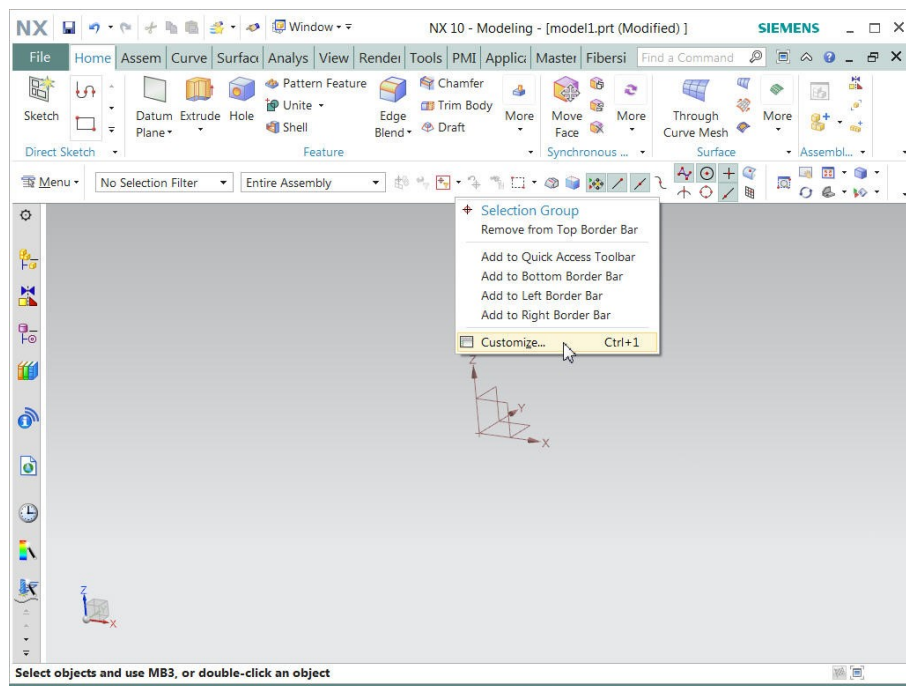


Рисунок 1.4 – Інтерфейс NX

Система NX дозволяє працювати з областями в межах ескізів, завдяки чому виключається потреба в створенні повністю певних контурів, що набагато прискорює роботу. Ще один фактор збільшення швидкості - це нова функція бібліотеки повторного використання даних, яка надає користувачам можливість зберігати профілі і ескізні геометричні характеристики, а потім швидко отримувати їх з бібліотеки і застосовувати там, де це необхідно.

Повторне використання даних - це ключовий напрямок. Починаючи з більш ефективної 2D бібліотеки профілів і методу позиціонування система не тільки стимулює користувачів до повторного застосування даних, але і полегшує створення таких елементів. Система вже має стандартні профілі, що полегшує створення власного набору профілів, які звичайно використовуються як для розміщення геометричних елементів, так і для побудови загальних елементів.

SolidWorks - одна з найбільш часто використовуваних програм САПР у професійних умовах в всьому світі. Програмне забезпечення дозволяє проводити детальний інженерний аналіз виробів, а також формувати інтерактивну документацію.

На 3D моделюванні в SolidWorks слід особливо загострити увагу, адже саме воно є основою проектування будь-якого виробу.

Всього в програмі є три види моделювання:

- твердотільне моделювання. Розробка виробів, що володіють властивостями реальних фізичних об'єктів. Є ідеальним варіантом для візуального представлення проєктованих виробів, а також для 3D друку;
- поверхнєве моделювання. В SolidWorks реалізовано через роботу з кривими і сплайнами. Дозволяє отримати вироби з криволінійною поверхнею і плавними вигинами. Часто застосовується в промисловому дизайні;
- каркасне моделювання. Так зване «скелетне» уявлення 3D моделі, дає уявлення про форму об'єкта, що проєктується.

3D моделювання в програмі відбувається на основі ескізів: на базовій площині будується найпростіша форма, до якої застосовуються різні операції. Основними з них є обертання, видавлювання, виріз, в тому числі по перетину і по траєкторії. Також є можливість заокруглення, дзеркального відображення об'єкта, створення тонкостінних елементів, різьблення і багато іншого. Окремо варто відзначити, що в SolidWorks використовується деревоподібна структура відображення процесу роботи над моделлю. Таким чином, будь-яка дія заноситься в ієрархію і може бути переміщено або змінено без зайвих складнощів.

SolidWorks Simulation надає інтуїтивну середу віртуального тестування, в якій проводяться лінійний статичний, динамічний аналіз і аналіз втоми. Містить потужні, зручні у використанні засоби комплексного фізичного аналізу. Для того щоб в розрахунках напружень враховувався ефект теплового розширення матеріалу, в вихідні дані для лінійного статичного аналізу додається розподіл температур, отримане при статичних або перехідних теплових розрахунках. Якщо виріб в процесі експлуатації піддається вібрації, настійно рекомендується виконати частотний аналіз, який виявить власні частоти і допоможе вжити заходів для того, щоб виріб не входило в резонанс, що різко знижує його довговічність.

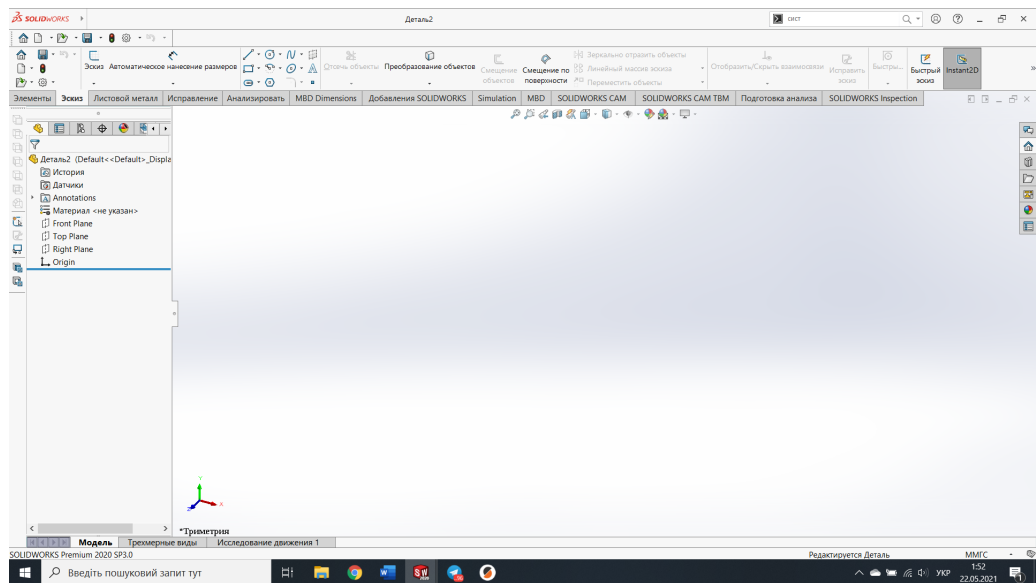


Рисунок 1.5 – Інтерфейс SolidWorks

SolidWorks Simulation дозволяє вирішувати три типи складних завдань: нелінійні статичні, нелінійні динамічні і лінійні динамічні. Лінійні динамічні задачі ґрунтуються на результатах частотного аналізу і полягають у визначенні напружень при вібраційних навантаженнях. Інженери отримують інформацію про вплив динамічних (в тому числі ударних) навантажень і можуть навіть досліджувати реакцію лінійних пружних матеріалів. Засоби нелінійного аналізу надають інженерам відомості про поведінку виробів з різних матеріалів: металу, гуми, пластмас і т.п. При цьому враховуються великі деформації і сила тертя ковзання. У нелінійних динамічних задачах в

розрахунок приймаються діючі в реальному часі змінні навантаження. До можливостей нелінійного статичного аналізу тут додається розрахунок ефекту від ударних впливів. SolidWorks Simulation Premium дозволяє інженерам досліджувати реальну поведінку виробів, не вдаючись до будь-яких спрощень.

1.2 Опис конструкцій, що досліджуються

В ході виконання даної роботи, необхідно дослідити вплив вібрацій моторів квадрокоптеру на місце розташування політного контролера для різних типів рам. Для цього треба спочатку обрати необхідні типи рам та вибрати тривимірні моделі. Моделі корпусів будуть спрощеними для пришвидшення досліджень, однак усі параметри будуть задаватися такими як є насправді.

Кожна рама квадрокоптеру має визначений клас розміру, заснований на найбільшій відстані від двигуна до двигуна, вимірюваної в міліметрах, зазвичай взятої шляхом вимірювання по діагоналі по всій рамі. Каркас розміром менше 150 мм від двигуна до двигуна класифікується як мікро. Рама розміром більше 150 мм між двигуном і двигуном вважається міні. Під час вимірювання нетрадиційної рами багатоконтера, наприклад, гексакоптера або трикоптера, розмір завжди визначатиметься як найбільша відстань між двигунами.

Більшість міні- та мікро- рам вирізані з листа вуглецевого волокна. Вуглецеве волокно - це композиційний матеріал, який складається з багатьох шарів переплетених вуглецевих волокон, які були жорстко зацементовані в матриці зв'язування епоксидної смоли. Популярність вуглецевого волокна як каркасного матеріалу пояснюється його низькою вагою та високою міцністю. Важливо зазначити, що вуглецеве волокно є електропровідним матеріалом. Окрім вуглецевого волокна, наступним найпопулярнішим каркасним матеріалом є поліетилен високої щільності або ПВД. ПВД не настільки міцний, як вуглецеве волокно, тому конструкції, що містять ПВД, як правило, тяжчі. Рами з ПВД більш гнучкі та прості, ніж вуглецеве волокно, що дозволяє поліпшити загальну довговічність. Використання цих матеріалів - чудовий

спосіб підвищити міцність рами, краще захистити компоненти. Для дослідження був обраний саме ПВЩ через його передбачуваність при виконанні досліджень, на відміну від композитного вуглепластику.

Квадрокоптер є найпопулярнішою конструкцією з кількох причин, а саме механічної простоти, кількості двигунів та контролю стійкості, необхідних для польоту, та їх компактних розмірів. Існують інші форми мультикоптерів, які, хоча і нетрадиційні, ідеально підходять для своїх цілей.

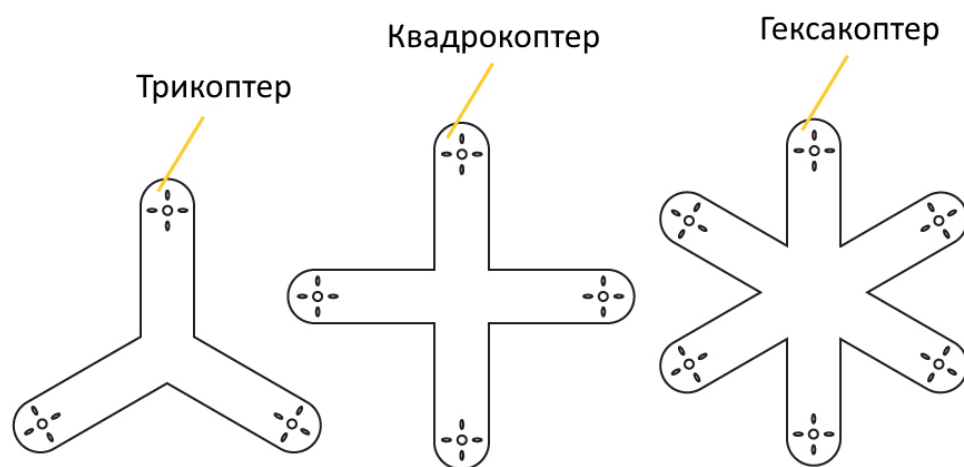


Рисунок 1.6 – Види мультикоптерів

Існує безліч різних видів рам, вони пов'язані з місцем встановлення двигунів та розмірами і формою каретки з електронікою. Далі будуть перераховані основні типи рам.

Х-подібна рама має форму, як і звучить, геометрію Х, до якої на кожному кінці важелів встановлений двигун. Відстань перпендикуляра між центром кожного двигуна дорівнює, отже, квадрокоптеру надається однаковий рівень стійкості на всіх осях.

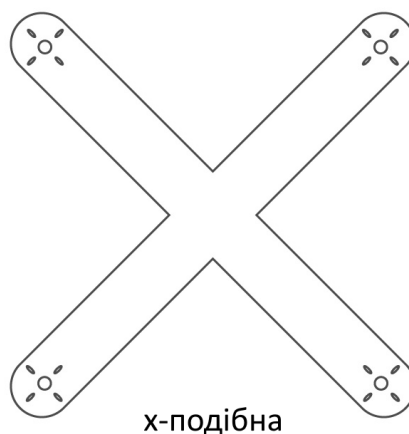


Рисунок 1.7 – X-подібна рама квадрокоптера

Розтягнута X має важелі, розкинуті назовні в сторони. Розтягнута геометрія X є більш поширеною у фрістайлових рамах, тому що часто потрібно більше місця для встановлення екшн-камери та батареї.

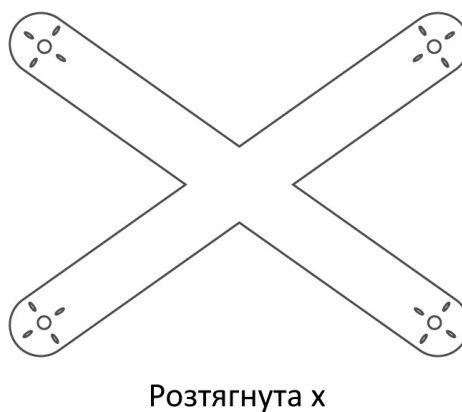


Рисунок 1.8 – Розтягнута X рама квадрокоптера

Н-подібна - ще один вид рами квадрокоптера. У квадрокоптері Н важелі розташовані спереду довгих кареток типу "автобус". Цей вид втрачає популярність через громіздкі розміри та незграбну конфігурацію.

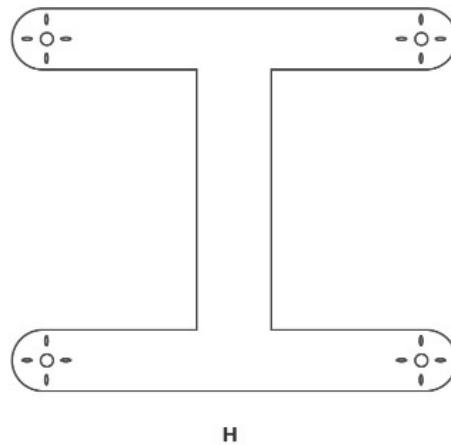


Рисунок 1.9 – Н-подібна рама квадрокоптера

НХ - це новіший варіант Н-подібної рами. Замість того, щоб розміщувати важелі на кінчику та хвості каретки, застосовується справжня конфігурація Х або розтягнута Х.

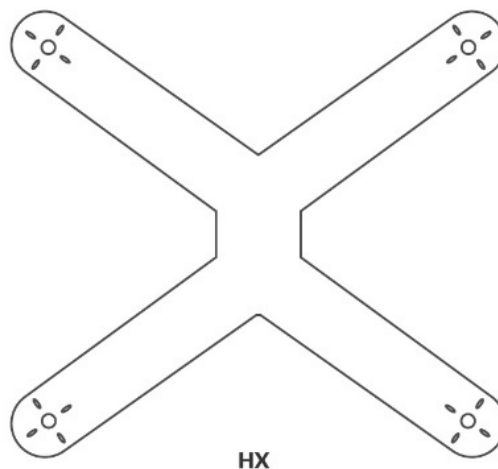


Рисунок 1.10 – NX рама квадрокоптера

Існує також велика кількість гібридних типів рам, котрі складно класифікувати та додати до якоїсь окремої групи, однак вище зазначені рами на сьогодні є найпоширенішими з мікро та міні формфакторів квадрокоптерів. Тож обирати моделі для дослідження було вирішено як раз з них. Були обрані НХ, Х-подібна, та Н-подібні рами. Усі три квадрокоптери мають однакові

габарити, мотори, та матеріал корпусу, що дозволяє порівнювати їх при дослідженнях, їх порівняльна характеристика знаходиться у таблиці 1.2.

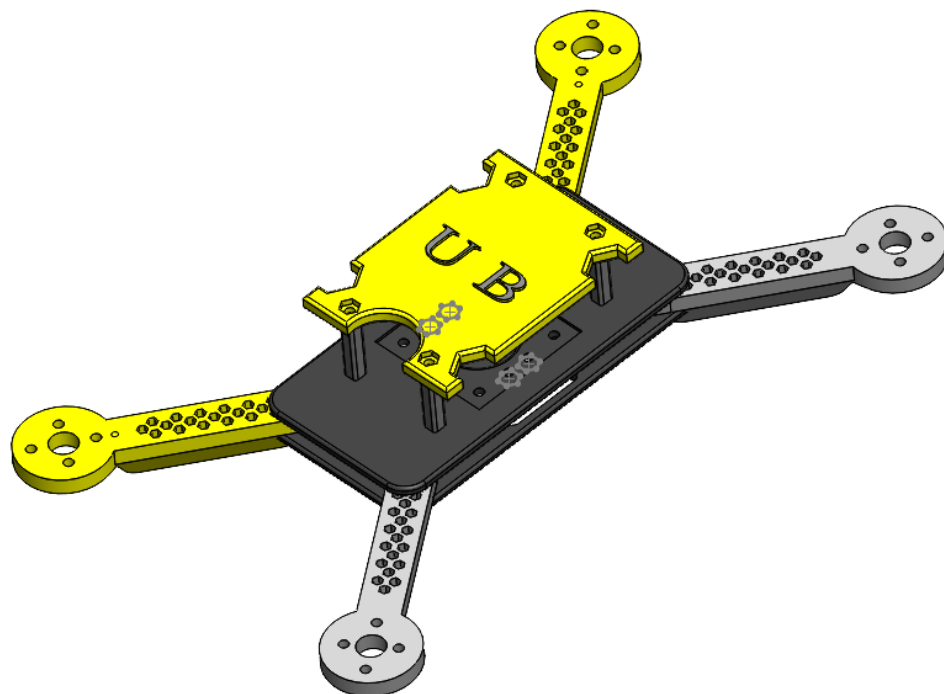


Рисунок 1.11 – НХ рама обрана для дослідження

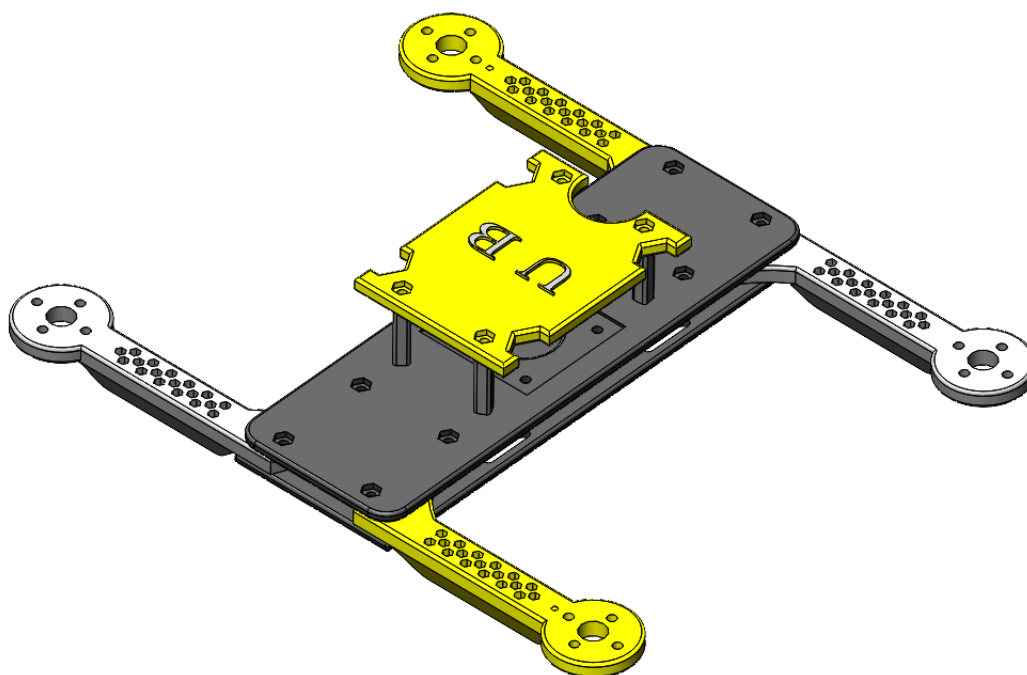


Рисунок 1.12 – Н рама обрана для дослідження

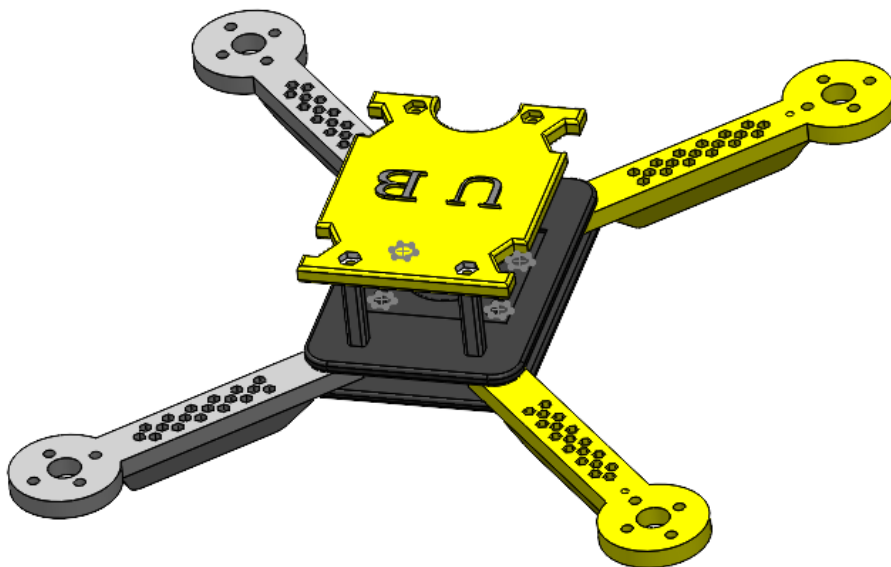


Рисунок 1.13 – Х рама обрана для дослідження

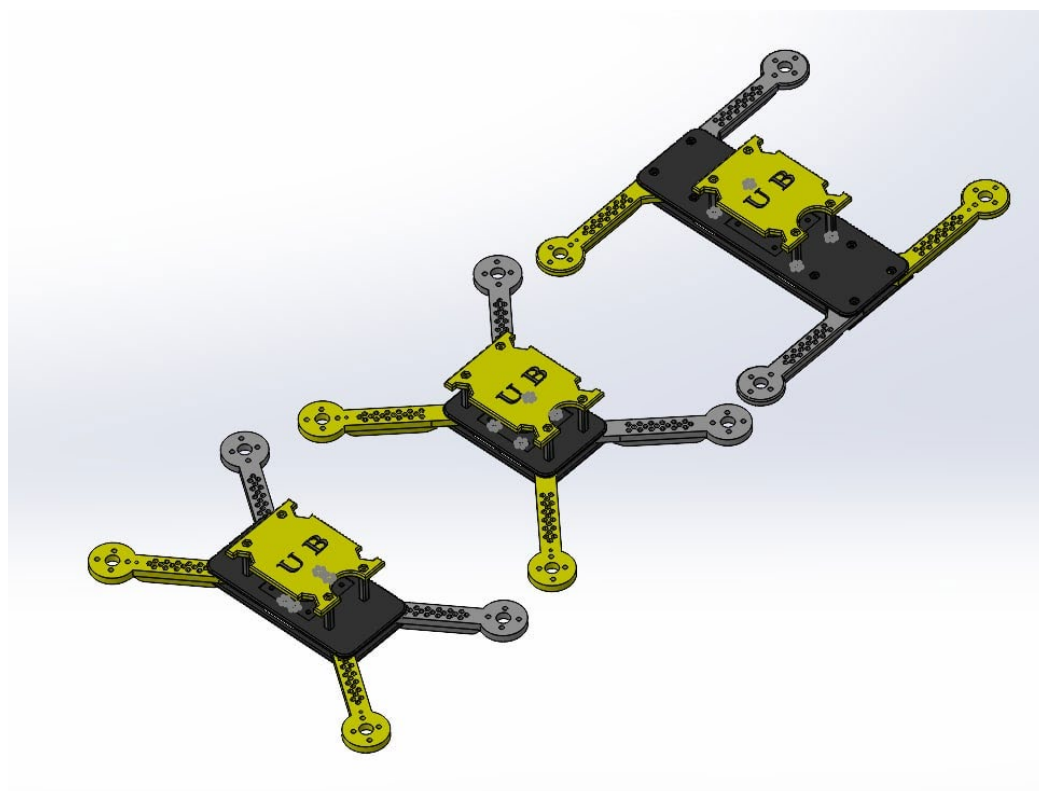


Рисунок 1.14 – Порівняльний вигляд обраних рам

Таблиця 1.2 – Порівняльна характеристика обраних рам

Тип вибраної рами	Матеріал	Вага, грами	Відстань від моторів по діагоналі, мм
Х-подібна	Поліетилен	99	250
Н-подібна	високої	143	265
НХ-подібна	щільності	110	246

Так як двигуни квадрокоптерів є основною причиною вібрацій, то у нашому дослідженні треба приділити увагу їх вибору. Для квадрокоптерів цих габаритів підходять схожі двигуни типорозмірів: 2206-2208. Зазвичай використовуються безколекторні двигуни, так як вони легші, та служать більше за рахунок того що немає тертя з колектором. Основним параметром двигунів для квадрокоптерів є KV - кількість оборотів в хвилину на вольт, чим більше число, тим сильніше буде крутитися дзвін двигуна і тим менше можна встановити пропелер. У мікро дронів завжди дуже великий KV, він може бути 8500, а може і 15000KV. Для розмірів 2206-2208 KV знаходиться у діапазоні 1900-2600.

Також важливий і крутний момент, він головним чином визначається:

- розміром статора: чим більше, тим більше крутного моменту;
- матеріалом: тип магнітів, якість мідних обмоток;
- конструкцією двигуна: так як повітряний зазор, кількість полюсів тощо.

Мотор KV не має нічого спільного з крутним моментом, але це пов'язано до постійного крутного моменту. Крутний момент і константа крутного моменту - це дві різні речі. Двигуни високого KV мають вищу постійну величину крутного моменту, що означає, що їм потрібен більший струм, щоб генерувати однакову кількість крутного моменту в порівнянні з двигуном нижчої KV. Двигуни з високим крутним моментом забезпечують більш швидку зміну частоти обертання та швидший час відгуку. Але двигуни з високим крутним моментом також відчувають себе різкішими та більш

роботоздатними, тоді як двигуни з меншим крутним моментом, як правило, відчують себе більш плавними та м'якими. Сьогодні багатьох операторів частіше, ніж будь-коли, турбують проблеми коливань та вібрацій, і це питання можна простежити до сучасних двигунів з високим крутним моментом і високою потужністю.

Кожен мотор створює як підйом, так і крутний момент навколо центру обертання, а також опору, протилежну напрямку руху. Квадрокоптери зазвичай мають два ротори, що обертаються за годинниковою стрілкою і два проти годинникової стрілки. Управління польотом забезпечується незалежним регулюванням швидкості, а отже і підйому та крутного моменту кожного ротора. Нахил регулюється за допомогою зміни центру тяги, з похибкою, регулюючи чистий крутний момент.

Якщо всі чотири ротора обертаються з однаковою кутовою швидкістю, при цьому два обертаються за годинниковою стрілкою і два проти годинникової стрілки, то чистий крутний момент навколо осі повороту дорівнює нулю, що означає, що хвостовий ротор, як на звичайних вертольотах, не потрібен. Нищпорення викликається невідповідністю рівноваги в аеродинамічних моментах.

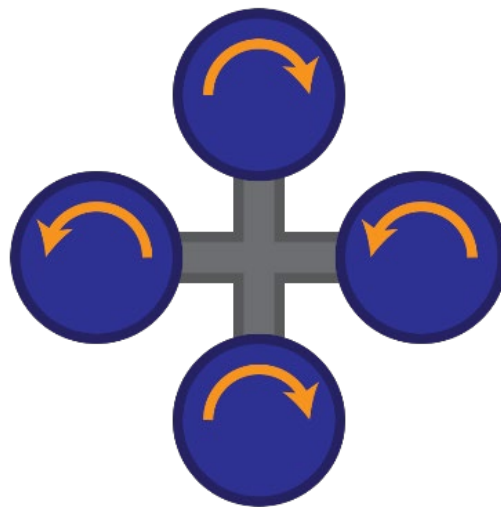


Рисунок 1.15 – Схема зависання квадрокоптеру

Квадрокоптер зависає або регулює свою висоту, застосовуючи однакову тягу до всіх чотирьох роторів, показано на рисунку 1.14.

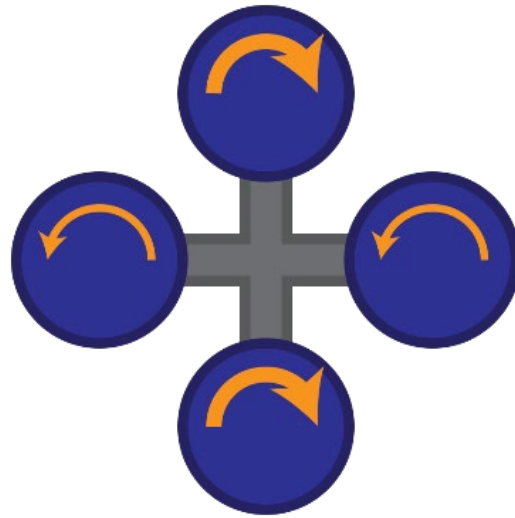


Рисунок 1.16 – Схема нишпорення квадрокоптеру

Квадрокоптер регулює нишпорення, застосовуючи більшу тягу до роторів, що обертаються в одному напрямку, показано на рисунку 1.15.

На рисунку 1.16 квадрокоптер регулює свій крок або вал, застосовуючи більшу тягу до одного ротора (або двох сусідніх роторів) і меншу тягу до діаметрально протилежного ротора.

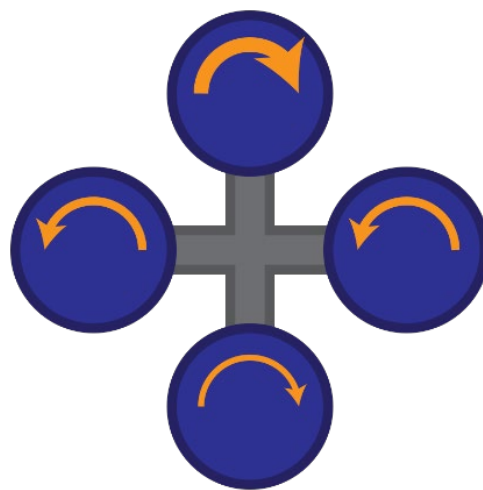


Рисунок 1.17 – Схема завалення квадрокоптеру

1.3 Теоретична частина досліджень

У процесі експлуатації квадрокоптер зазнає впливу дії вібрації. Дуже важливо розрахувати та змодельовати різні види навантажень, яким піддається пристрій під час експлуатації задля прогнозування його роботи.

Під випробуванням розуміється комплекс контрольно-перевірочних робіт, пов'язаних із виявленням окремих характеристик випробовуваної техніки, її вузлів і блоків, який включає перевірку: відповідності пристрою до працездатності при впливі на неї граничних механічних факторів [4].

Через нерівномірну дію двигунів характер вібрацій зазвичай безладний, а тому вони охоплюють широкий діапазон частот. Частота вібрацій від мотора складає приблизно від 80 Гц до 350 Гц. Характер цих вібрацій синусоїдальний.

Вплив вібрації належить до механічних факторів динамічного впливу [5]. Випробування – це експериментальне визначення кількісних і якісних характеристик параметрів пристрою шляхом впливу на нього або на його модель спланованого комплексу зовнішніх впливаючих факторів [5, 6].

Випробування із використанням моделей здійснюються методами фізичного та математичного моделювання. Застосування даних методів дозволяє відмовитися від ряду дуже складних фізичних випробувань зразків реальних пристроїв або їх макетів [6].

Випробування на вібростійкість проводять із метою перевірки здатності пристроїв виконувати свої функції та зберігати свої параметри у межах значень, що вказані у стандартах та технічних умовах на пристрої в умовах впливу вібрації.

Віброміцність - це здатність протистояти руйнівним діям вібрації у неробочому стані та нормально працювати після завершення вібраційних навантажень.

Під час дії вібрації на елементи конструкції, у неї виникають динамічні та статичні деформації, через те що будь-який елемент конструкції - це коливна система, яка має розподілене та зосереджене навантаження. Ударно-вібраційні навантаження дуже впливають на елементи конструкції бортової

радіоелектронної апаратури через точки їх кріплення. Деталі кріплення елементів є демпферами, які послаблюють дію джерела вібрацій [7].

Процес отримання реальних результатів випробувань вимагає фізичного моделювання роботи бортових радіоелектронних апаратів, що пов'язано з великими матеріальними витратами і тривалими термінами експериментальних досліджень. Із появою комп'ютерних програмних засобів інженерного аналізу змінилася ситуація при проектуванні радіоелектронних апаратів, що дозволило моделювати фізичні процеси в елементах конструкцій різних радіоелектронних апаратів.

Необхідно дуже чітко розуміти, що обмеження при проектуванні утворюють можливість вироблення стійких принципів та рекомендацій до проектування. Це, в свою чергу, обмежує поле можливих рішень.

1.4 Постановка задач

Метою дипломної роботи є дослідження впливу вібрацій моторів квадрокоптеру на місце розташування політного контролера для різних типів рам. Проблематикою роботи є дія вібрації на політний контролер, що може завдавати перешкоди роботі електроніки, та акселерометрам в цілому. Тому по результатам дослідів можна визначити оптимальне місцерозташування електроніки та тип використовуємої рами.

Для досягнення поставленої мети, необхідно вирішити задачі, що перераховані нижче.

- 1) Проаналізувати та порівняти можливості САПР для дослідження;
- 2) Описати досліджувані рами квадрокоптерів;
- 3) Обрати 3D-моделі досліджуваних пристроїв;
- 4) Розробити методику моделювання дослідження режимів вібрації роботи квадрокоптеру;

Для дослідження було обрано 3 типи рам зі схожими характеристиками. Матеріал рам однаковий, товщина пластин теж. Діагоналі від моторів

визначають усі 3 типи як 5 дюймові квадрокоптери. Матеріалом для рам був обраний поліетилен високої щільності. За вагою рами відрізняються незначно.

Кожна рама буде завдаватися дії вібрацій на трьох обраних частотах: 100Гц, 200Гц, 300Гц. Що приблизно відповідатиме звичним режимам використання квадрокоптера. Кожен дослід буде проводитися з використанням усіх чотирьох моторів одночасно, використання квадрокоптеру у режимі взльота чи утримання. Обґрунтувати обрання цього режиму роботи можна тим, що у цьому режимі максимальна дія кожного мотору, що і дає максимальні вібрації.

Завдяки покращенням систем автоматизованого комп'ютерного проектування та появою програмних засобів інженерного аналізу, які дозволяють проводити математичне моделювання дії вібрації можна проаналізувати не виконуючи польові дослідження, що пришвидшує етап розробки та будування мультикоптерів, чи квадрокоптерів в цілому [8].

По завершенню процесу комп'ютерного моделювання стають доступними інструменти дослідження моделей рам квадрокоптерів, які дозволяють отримати необхідну інформацію про дію вібрацій на корпус.

Таким чином, в даній роботі необхідно визначитися із вимогами до проведення симуляцій. Необхідно провести опис використовуваних конструкцій квадрокоптеру, а також провести дослідження випробувань режимів вібрації, на його роботу у програмному середовищі SolidWorks.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ДІЇ ВІБРАЦІЙ НА РАМИ КВАДРОКОПТЕРІВ

2.1 Методика моделювання дії вібрації SolidWorks

Кроки методики моделювання дії вібрацій у SolidWorks в модулі Simulation наведено нижче.

Крок 1. Створення 3D-моделі або відкриття вже існуючої моделі з інших САПР – створення тривимірної геометрії пристрою або імпортування вже існуючої.

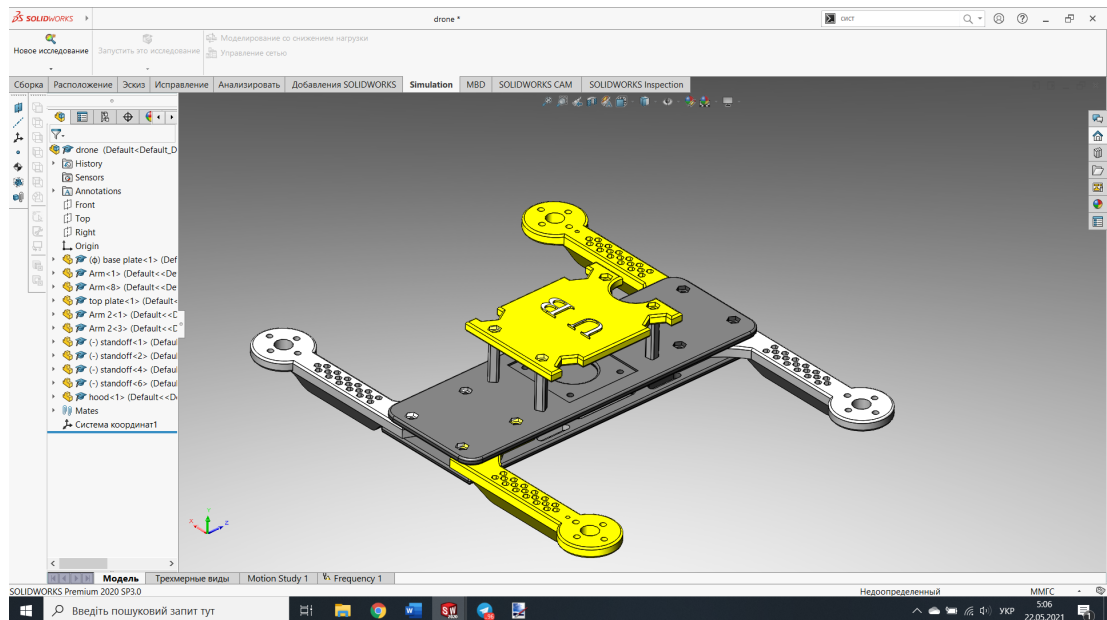


Рисунок 2.1 Відкриття моделі у середовищі SolidWorks

Крок 2. Додання модуля «Simulation» – додання модулю симуляції до панелі керування.

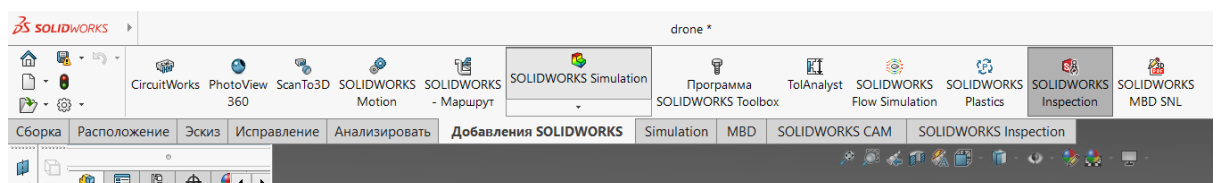


Рисунок 2.2 Додання модуля «Simulation»

Крок 3. Створення дослідження у модулі «Simulation» – вибір частотного аналізу.

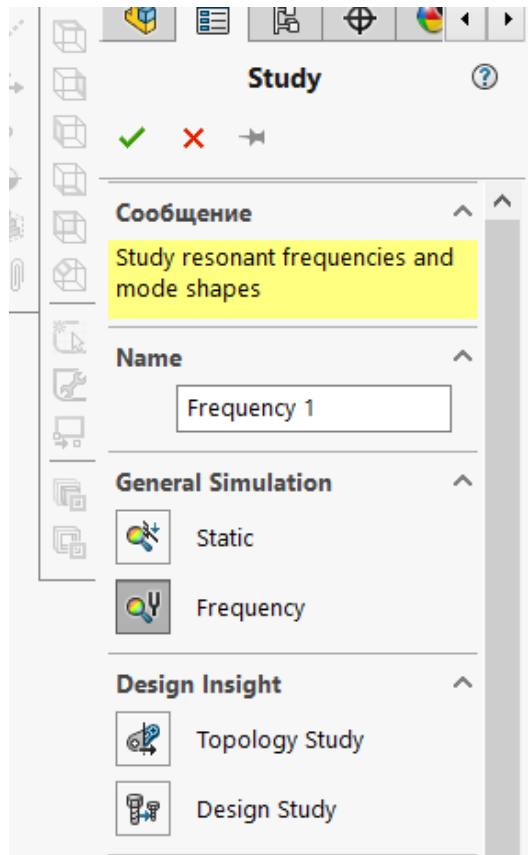


Рисунок 2.3 Вибір частотного аналізу серед інших досліджень

Крок 4. Задання необхідних обмежень та матеріалів.

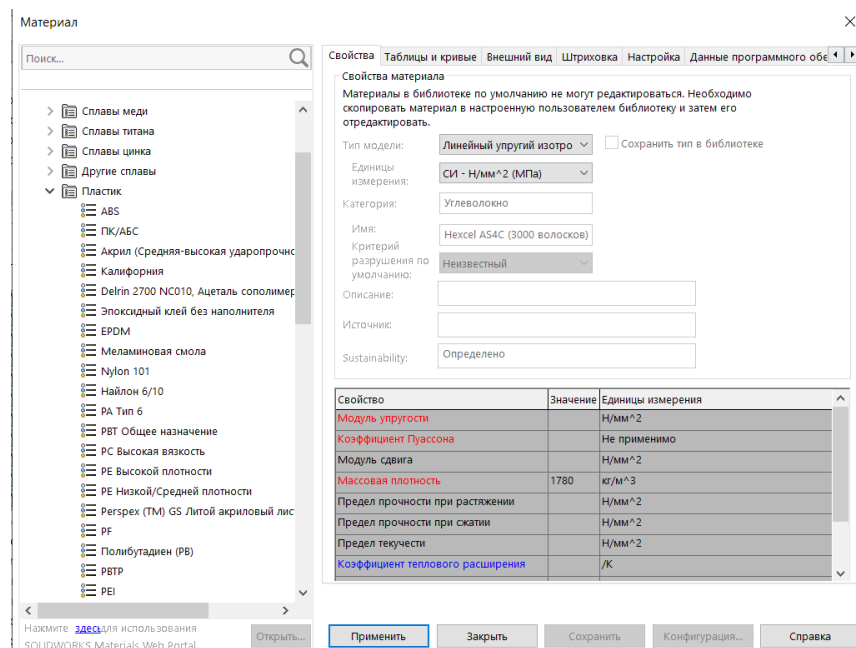


Рисунок 2.4 Обрання матеріалу

Свойство	Значение	Единицы измерения
Модуль упругости	1070	Н/мм ²
Коэффициент Пуассона	0.4101	Не применимо
Модуль сдвига	377.2	Н/мм ²
Массовая плотность	952	кг/м ³
Предел прочности при растяжении	22.1	Н/мм ²

Рисунок 2.5 Властивості поліетилену високої щільності

Крок 5. Задання вібраційних умов роботи пристрою – гравітації та частоти вібрації. Обирається кількість мод, та верхній діапазон частот.

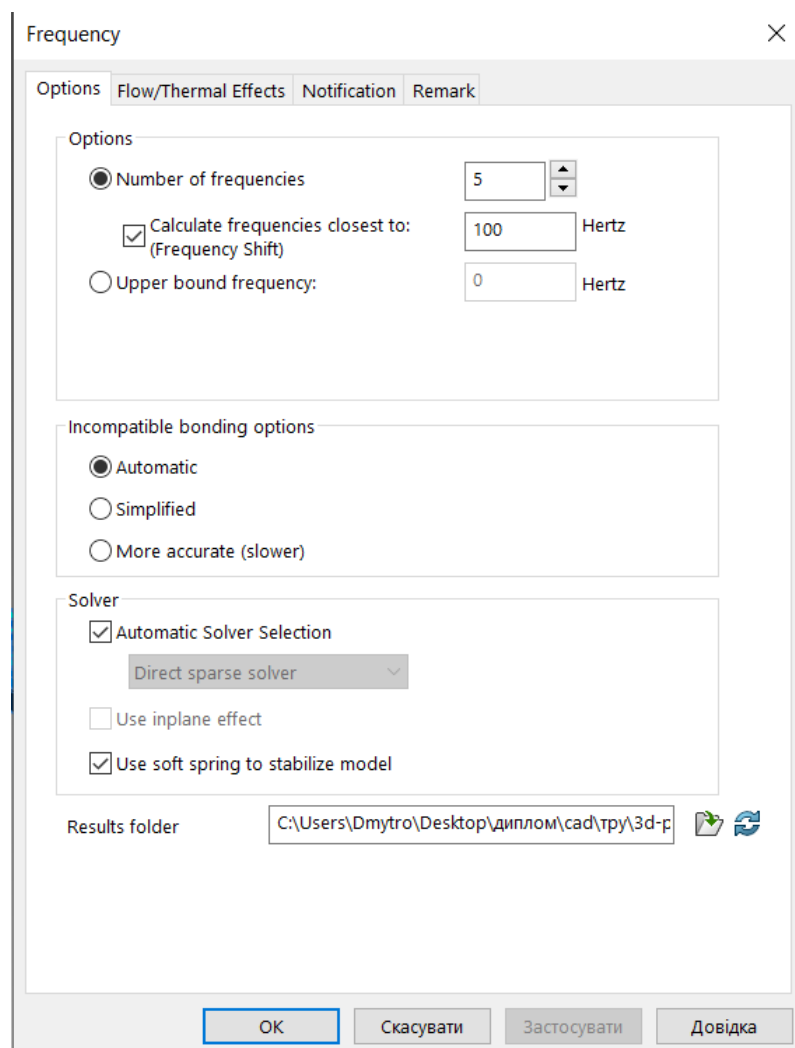


Рисунок 2.6 Налаштування частот

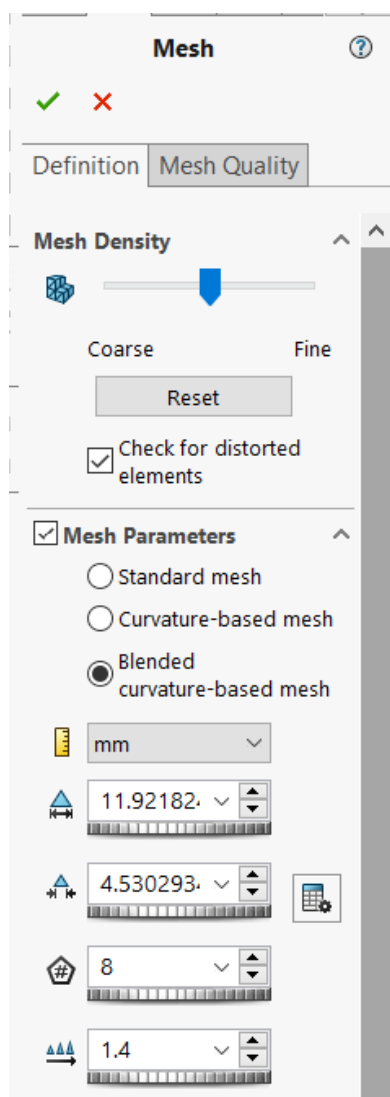


Рисунок 2.9 Створення розрахункової сітки

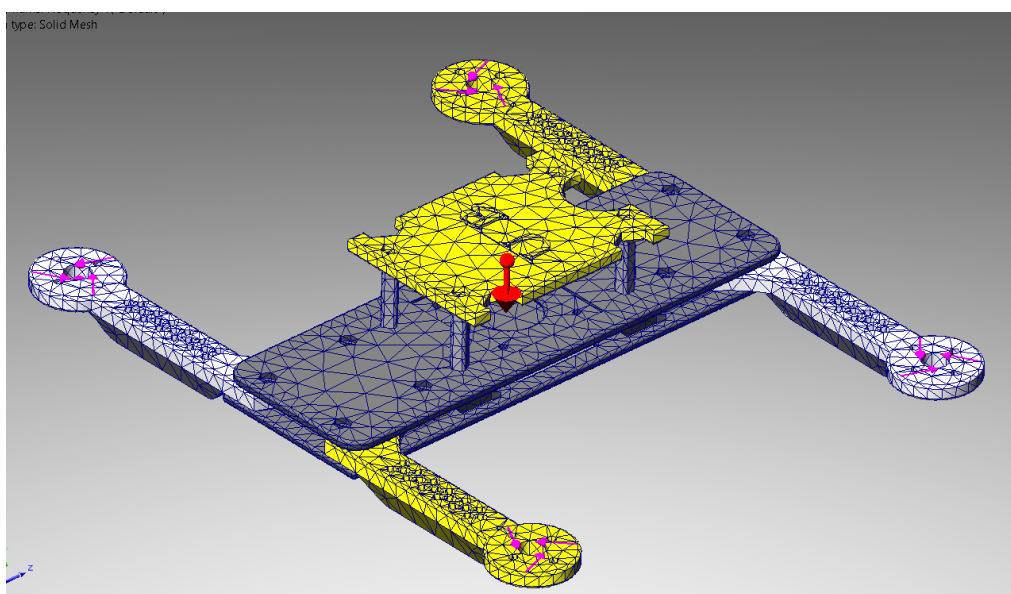


Рисунок 2.10 Розрахункова сітка

Крок 8. Запуск процесу симуляції.

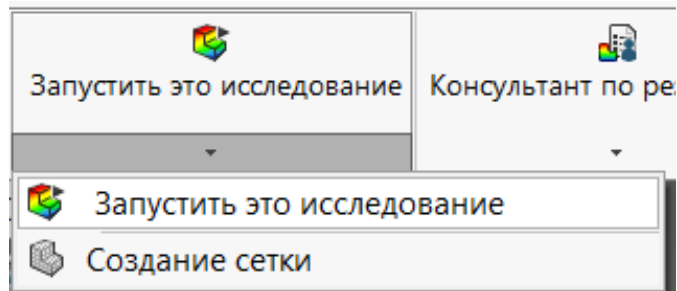


Рисунок 2.11 Увімкнення симуляції

Крок 9. Аналіз результатів симуляції – визначення максимальних відхилень рами.

Використання алгоритму розглянуто на моделі рами квадрокоптеру Н-подібного типу.

Результати моделювання дії вібрації на Н-подібну раму квадрокоптера у програмному середовищі SolidWorks мають кінцевий вигляд, котрий представлений на рисунках 2.11, 2.12, 2.13, 2.14, 2.15, на представлених рисунках максимальні деформації можна простежити за червоним кольором, а мінімальні за синім.

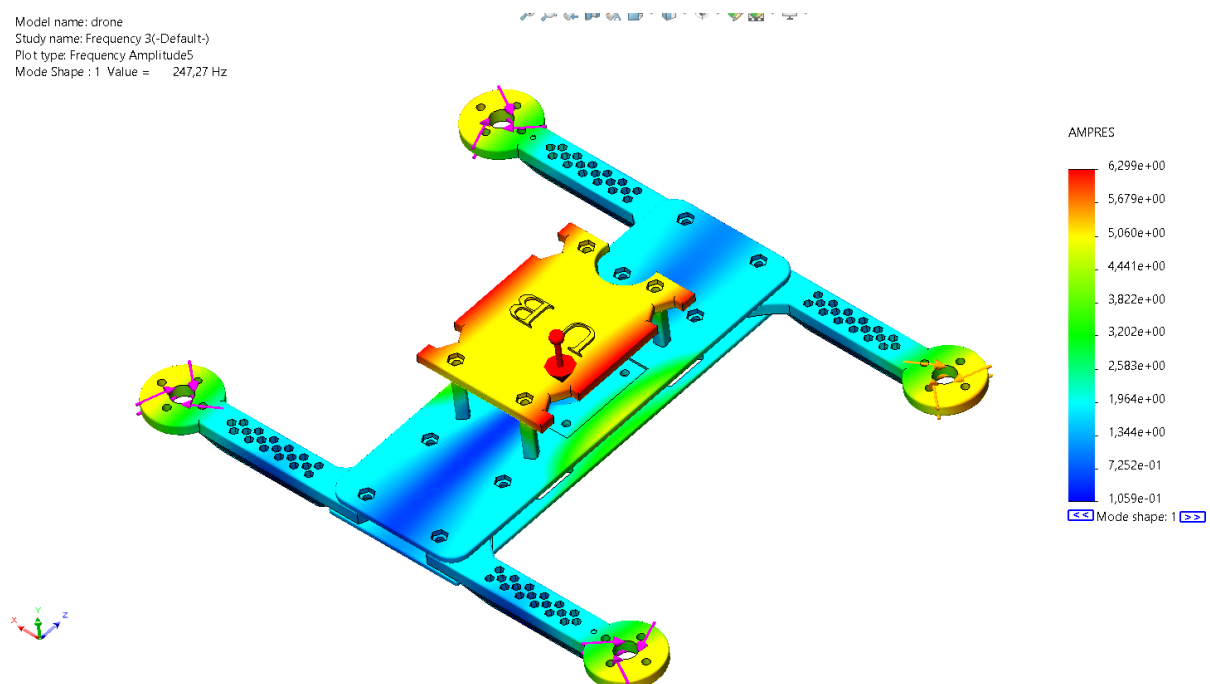


Рисунок 2.12 1 режим вібрації 247Гц

Model name: drone
Study name: Frequency 3(-Default-)
Plot type: Frequency Amplitude1
Mode Shape : 2 Value = 255,46 Hz

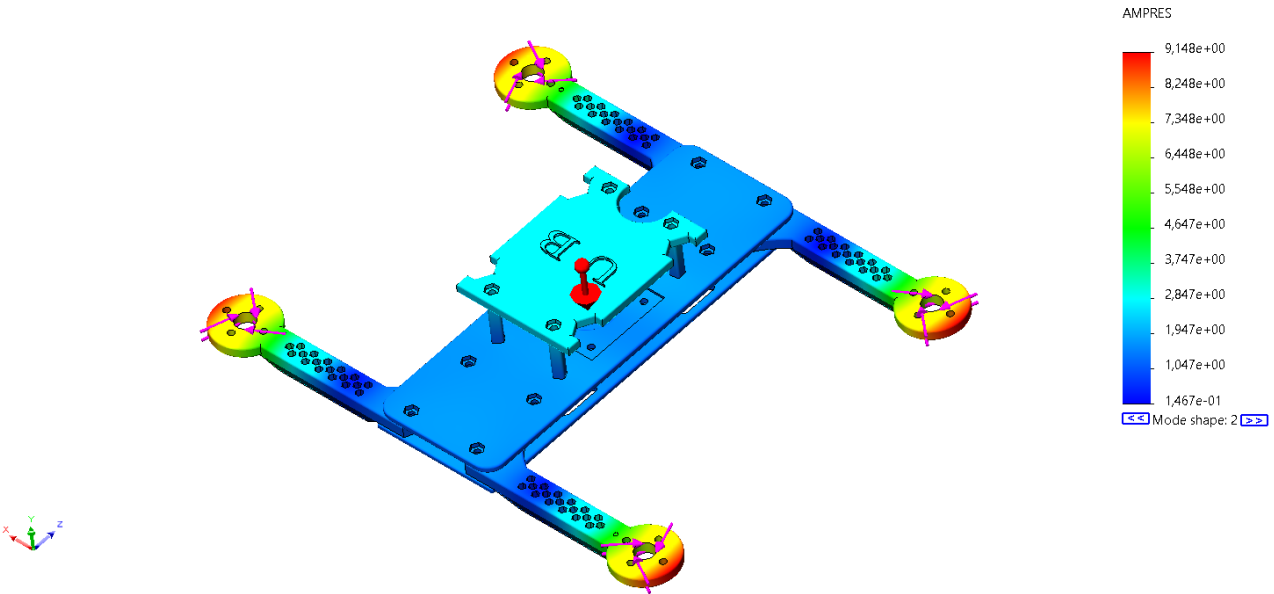


Рисунок 2.13 2 режим вібрації 255Гц

Model name: drone
Study name: Frequency 3(-Default-)
Plot type: Frequency Amplitude1
Mode Shape : 3 Value = 268,32 Hz

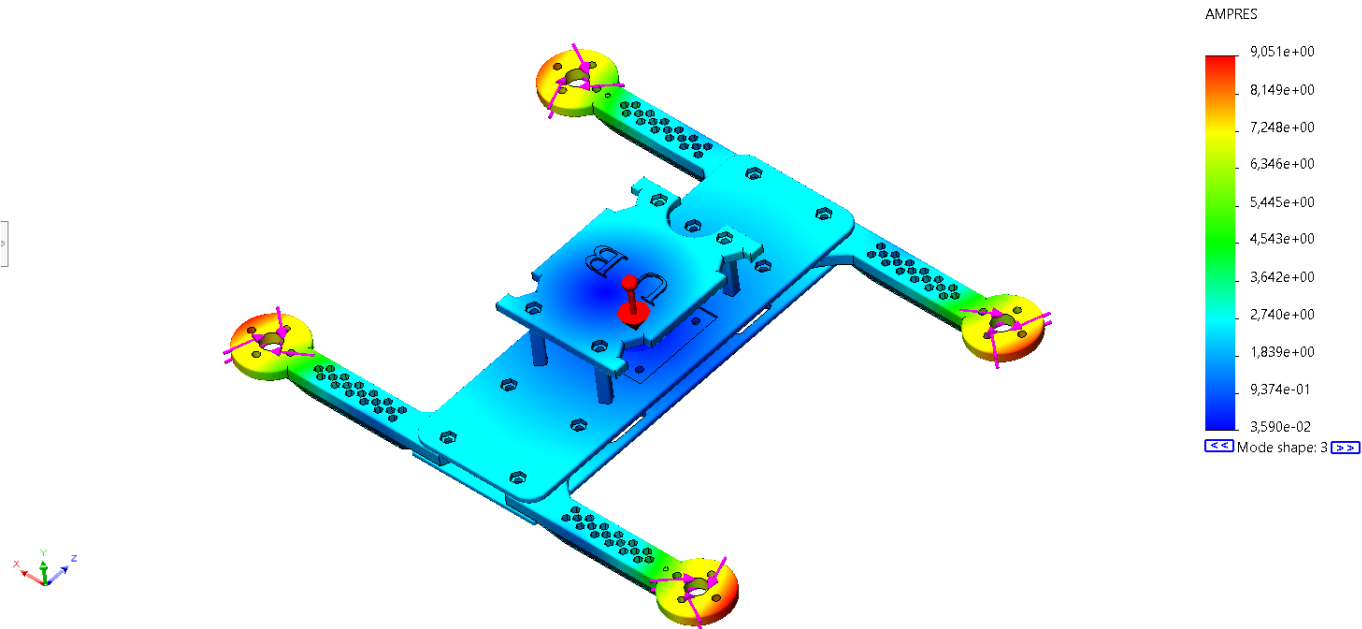


Рисунок 2.14 3 режим вібрації 268Гц

Study name: Frequency 3(-Default-)
 Plot type: Frequency Amplitude1
 Mode Shape : 4 Value = 272,03 Hz

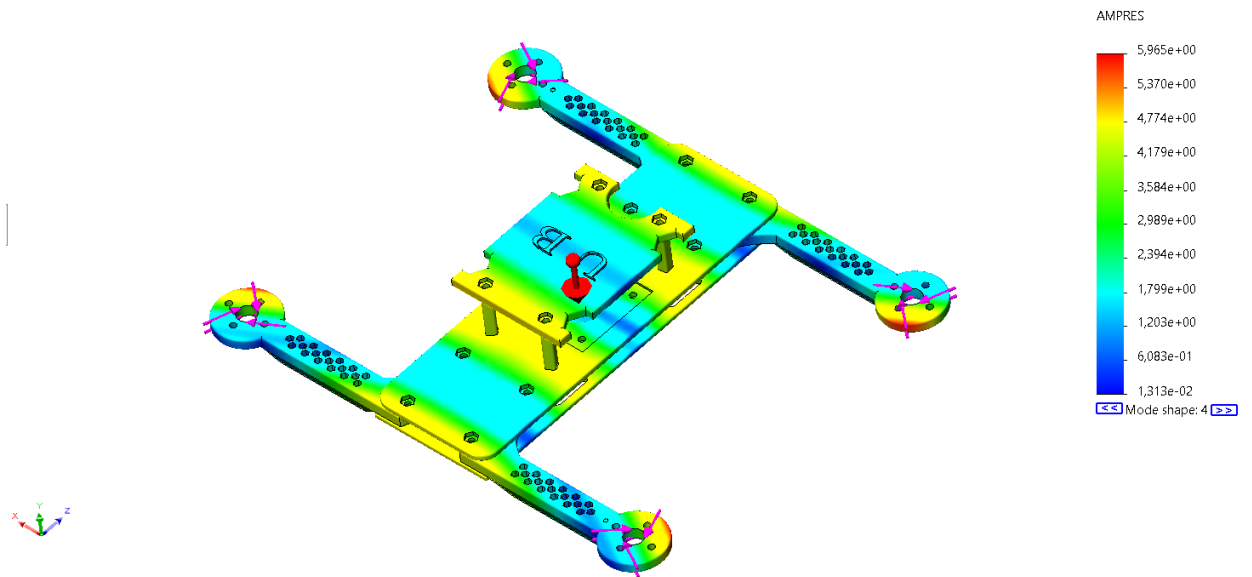


Рисунок 2.15 4 режим вібрації 272Гц

Model name: drone
 Study name: Frequency 3(-Default-)
 Plot type: Frequency Amplitude1
 Mode Shape : 5 Value = 317,44 Hz

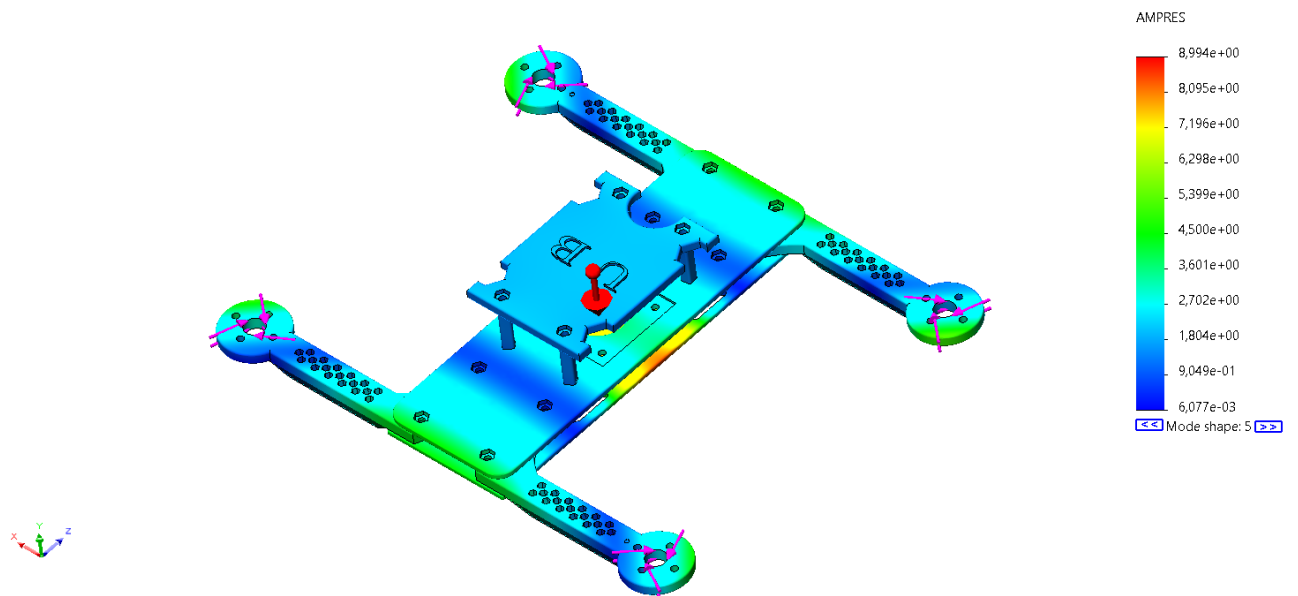


Рисунок 2.16 5 режим вібрації 317Гц

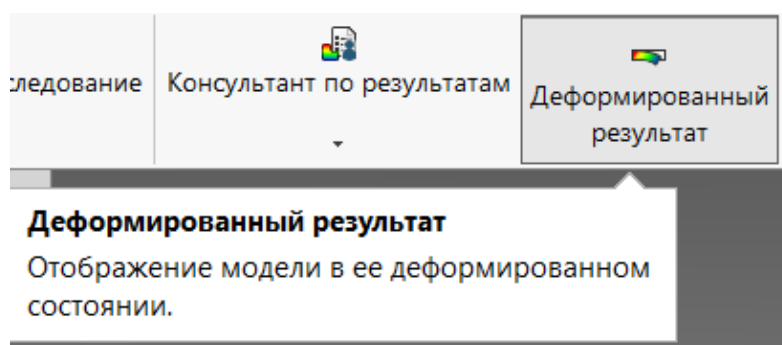


Рисунок 2.17 Ввімкнення реальних деформацій

Для кращого розуміння як саме модель деформується існує режим деформованого результату, цей режим гіперболізує дійсний результат, рисунки 2.17 та 2.18.

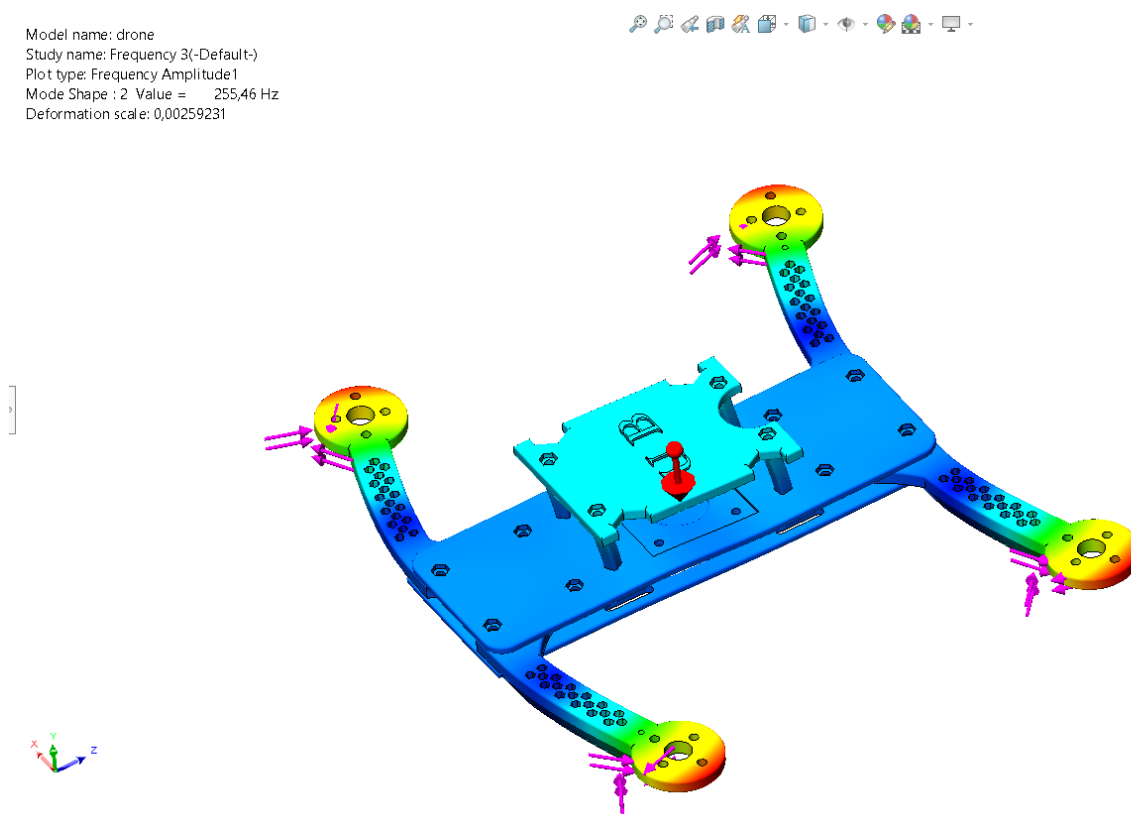


Рисунок 2.18 Відображення деформованого результату

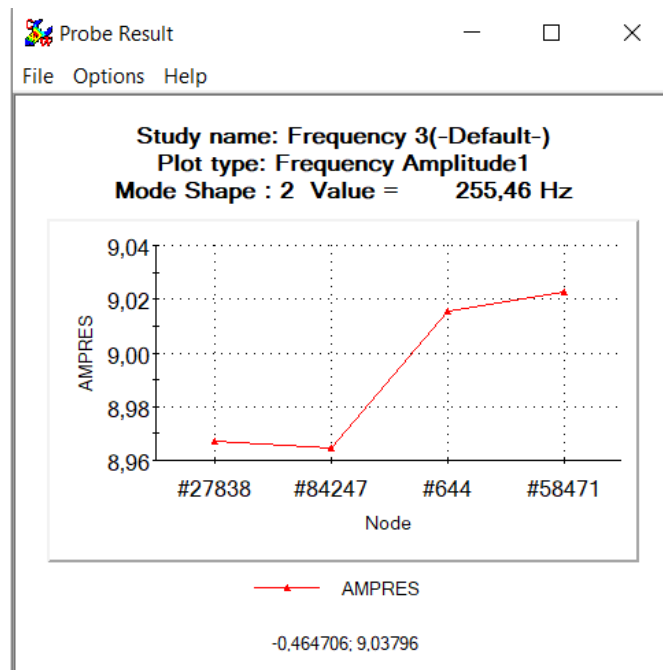


Рисунок 2.19 Зондування крайніх точок важелів

Завдяки інструменту зондування, можна визначити результуючий результуючу амплітуду за окремими точками моделі, чи за трикутниками розрахункової сітки [9]. Рисунок 2.19, горизонталь це номери клітин розрахункової сітки, котрі обрані для зондування, а вертикаль це результуюча амплітуда. За результатами даного дослідження можна порівняти вплив дії вібрації різної частоти на раму квадрокоптера.

List Modes

Study name: Frequency 3

Mode No.	Frequency(Rad/sec)	Frequency(Hertz)	Period(Seconds)
1	1 553,7	247,27	0,0040441
2	1 605,1	255,46	0,0039145
3	1 685,9	268,32	0,0037269
4	1 709,2	272,03	0,003676
5	1 994,5	317,44	0,0031502

Buttons: Close, Save, Help

Рисунок 2.20 Використовувані частоти

2.2 Результати моделювання

2.2.1 Результати моделювання при 100Гц

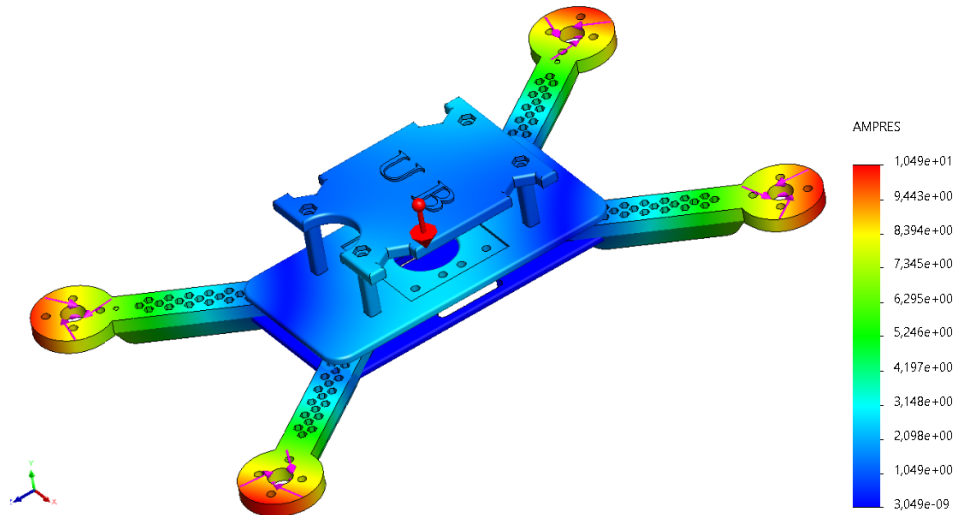


Рисунок 2.21 Дослідження НХ-подібної рами на частоті 100Гц

За результатами дослідження НХ-подібної рами на частоті 100Гц, зображено на рисунку 2.21., можна помітити, що максимальні вібрації залишаються у місці розташування моторів, незначні вібрації переходять на середину важелів та на центр верхньої пластини, нижня пластина та пластина на стійках отримують мінімальні навантаження. Максимальне значення результуючої амплітуди $9.443e$, а мінімальне $3.049e-9$.

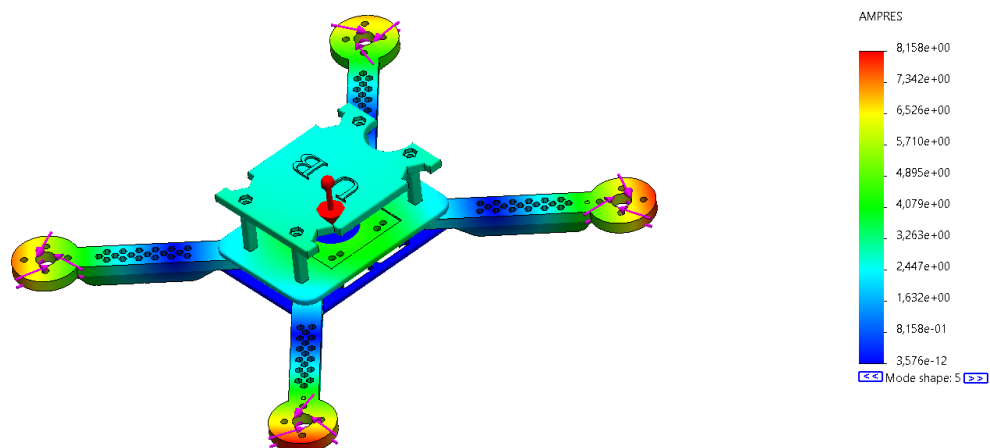


Рисунок 2.22 Дослідження Х-подібної рами на частоті 100Гц

За результатами дослідження Х-подібної рами на частоті 100Гц, зображено на рисунку 2.22., можна помітити, що максимальні вібрації все так же залишаються у місці розташуванні моторів, вібрації вже менше переходять на важелі, ніж у минулому прикладі. Нижня пластина залишається місцем на котре найменш впливають вібрації. В даному типі рами верхня пластина більше завдана зміщенням, пластина на стійках теж зазнала впливу вібрацій. Максимальне значення результуючої амплітуди $8.158e-12$, а мінімальне $3.576e-12$.

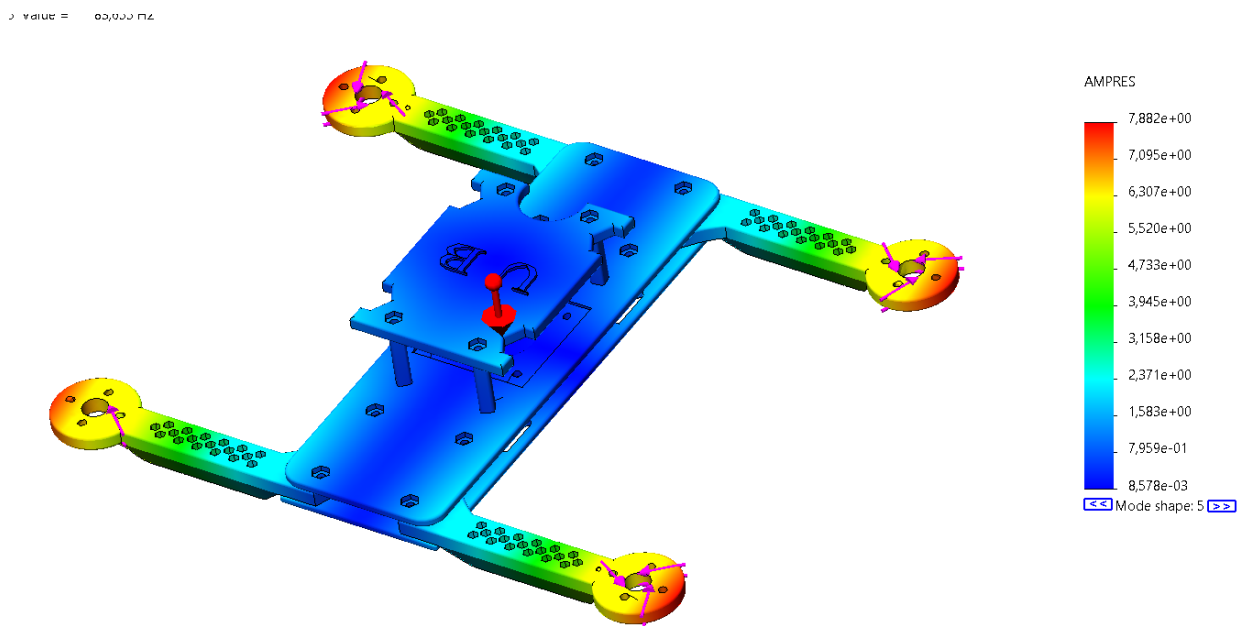


Рисунок 2.23 Дослідження Н-подібної рами на частоті 100Гц

Результати дослідження Х-подібної рами на частоті 100Гц, зображено на рисунку 2.23., видно, що максимальні вібрації, як і у минулих прикладах залишаються у місці розташуванні моторів, вібрації плавно переходять по важелям. Усі три пластини корпусу є найбільш спокійними місцями на рамі. Максимальне значення результуючої амплітуди $7.882e-3$, а мінімальне $8.578e-3$.

Порівнявши три рами на частоті в 100Гц було помічено, що важелі з місцями встановлення моторів є епіцентрами вібрацій. Х-подібна рама виявилась у цьому випадку найбільш не стабільною.

Таблиця 2.1 Порівняння максимуму та мінімуму результуючої амплітуди рам при 100Гц

Тип рами	Максимальна амплітуда	Мінімальна амплітуда
НХ-подібна	9.443e	3.049e-9
Х-подібна	8.158e	3.576e-12
Н-подібна	7.882e	8.578e-3

2.2.2 Результати моделювання при 200Гц

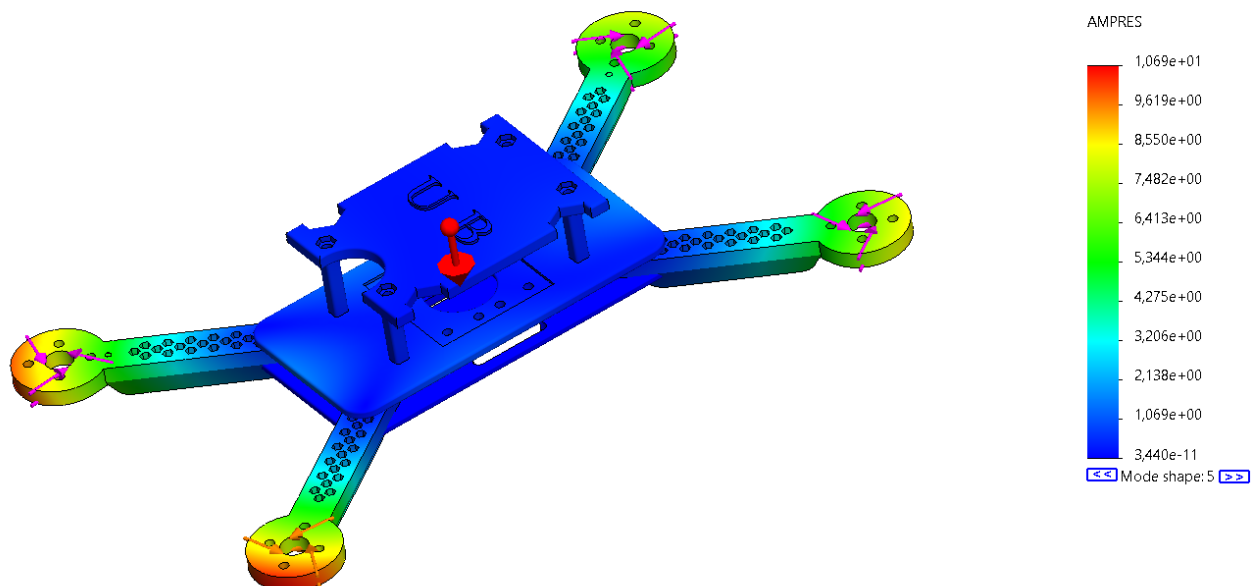


Рисунок 2.24 Дослідження НХ-подібної рами на частоті 200Гц

При дослідженні НХ-подібної рами на частоті 200Гц, зображено на рисунку 2.24., максимальні вібрації залишаються у місці розташуванні моторів, незначні вібрації переходять на середину важелів. Три пластини корпусу зазнають мінімальних вібрацій. Максимальне значення результуючої амплітуди 9.619e, а мінімальне 3.440e-11.

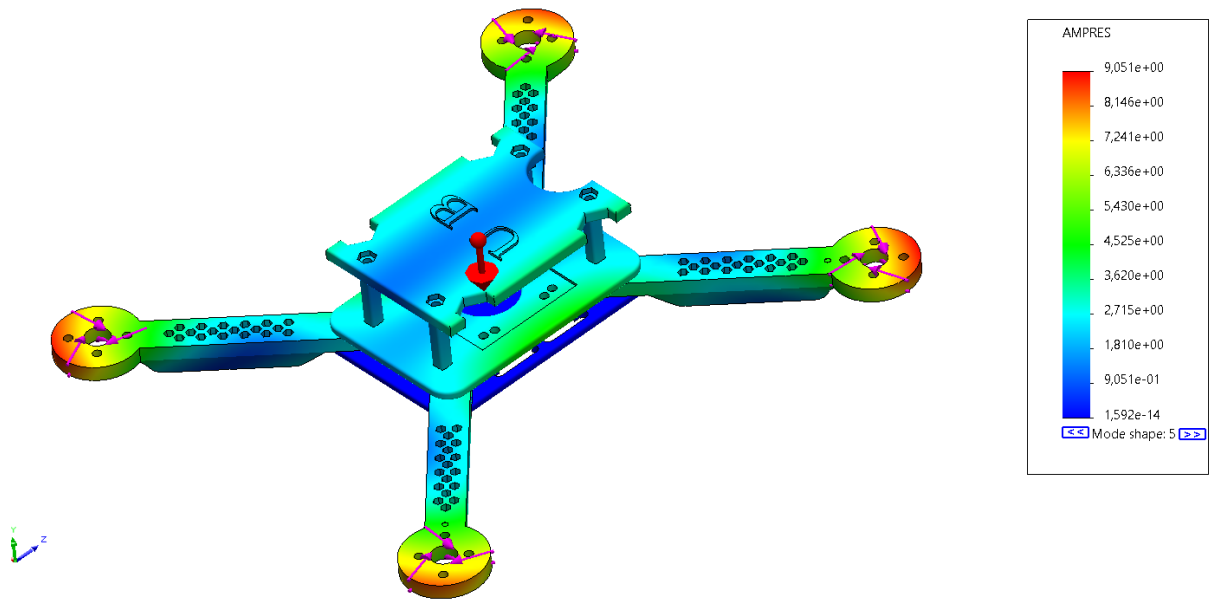


Рисунок 2.25 Дослідження Х-подібної рами на частоті 200Гц

За результатами дослідження Х-подібної рами на частоті 200Гц, зображено на рисунку 2.25., можна зазначити, що максимальні вібрації припадають на епіцентр вібрації, на місце розташування моторів. Вібрації повільно переходять на важелі, а з них передають вібрації на верхню пластину, та пластину на стійках. Нижня пластина залишається найспокійнішим місцем в усій конструкції. Максимальне значення результуючої амплітуди $9.051e$, а мінімальне $1.592e-14$.

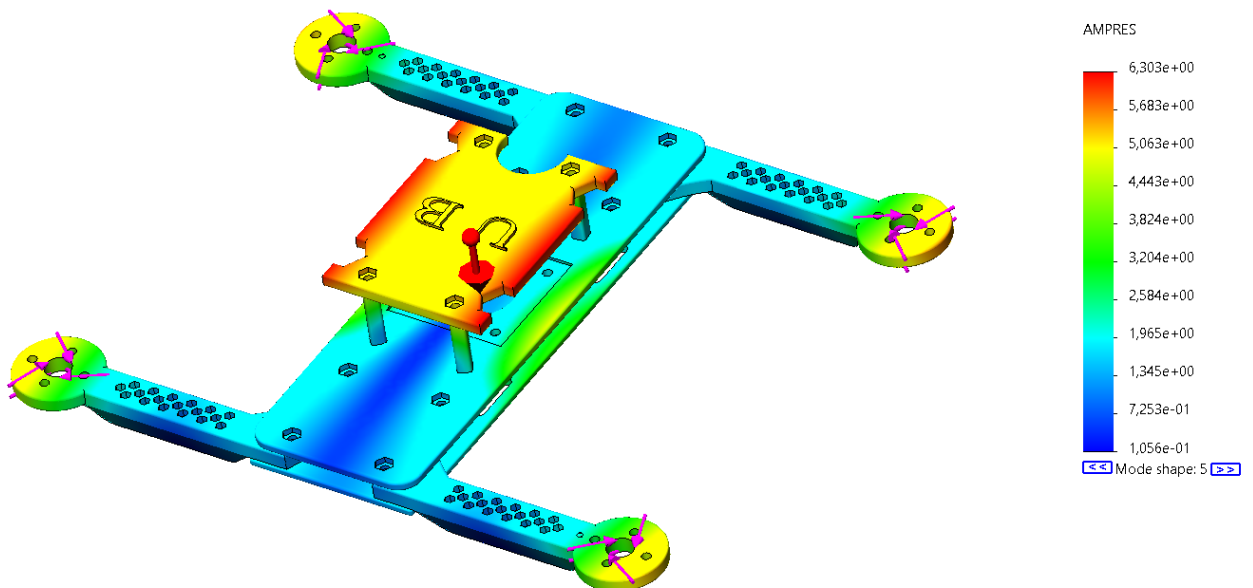


Рисунок 2.26 Дослідження Н-подібної рами на частоті 200Гц

Результати дослідження Х-подібної рами на частоті 200Гц, зображаються на рисунку 2.26.. На частоті в 200Гц максимальних вібрацій отримала пластина на стійках. Місця встановлення моторів теж добре видно, як місця з дією вібрації. Верхня пластина зазнає ураження вібрацій уздовж своєї довгої сторони, а по центру отримуємо спокійну зону. Максимальне значення результуючої амплітуди $6.303e$, а мінімальне $1.056e$.

Дослідивши три рами на частоті в 200Гц було помічено, що на цій частоті найкраще себе показала НХ-подібна рама, а Н-подібна отримала значні вібрації на пластину на стійках.

Таблиця 2.2 Порівняння максимум та мінімуму результуючої амплітуди рам при 200Гц

Тип рами	Максимальна амплітуда	Мінімальна амплітуда
НХ-подібна	$9.619e$	$3.440e-11$
Х-подібна	$9.051e$	$1.592e-14$
Н-подібна	$6.303e$	$1.056e$

2.2.3 Результати моделювання при 300Гц

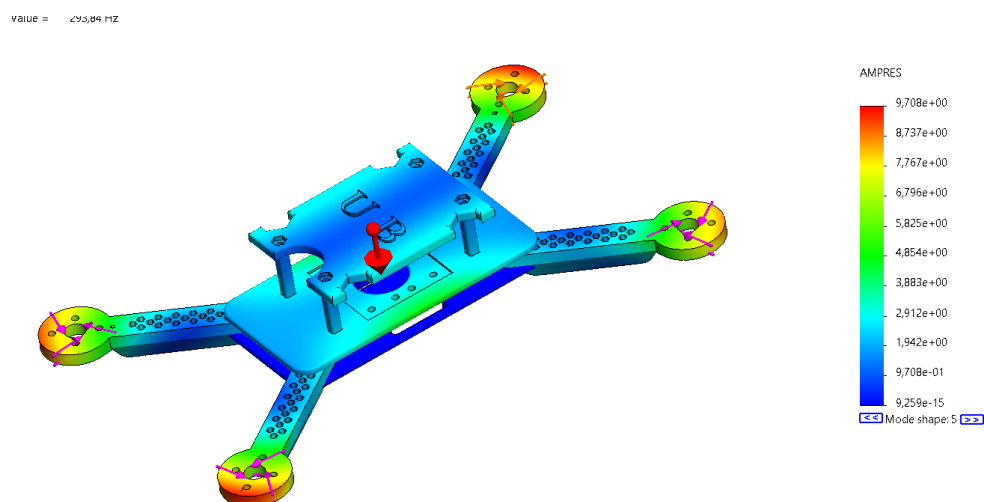


Рисунок 2.27 Дослідження НХ-подібної рами на частоті 300Гц

Дослідження НХ-подібної рами на частоті 300Гц, зображено на рисунку 2.27., показало, що максимальні вібрації залишаються у місці розташуванні

моторів, вібрації ледь переходять на важелі. Нижня пластина є найбільш спокійною. А верхня пластина приймає на себе вібрації. Максимальне значення результуючої амплітуди $9.708e$, а мінімальне $9,25e-15$.

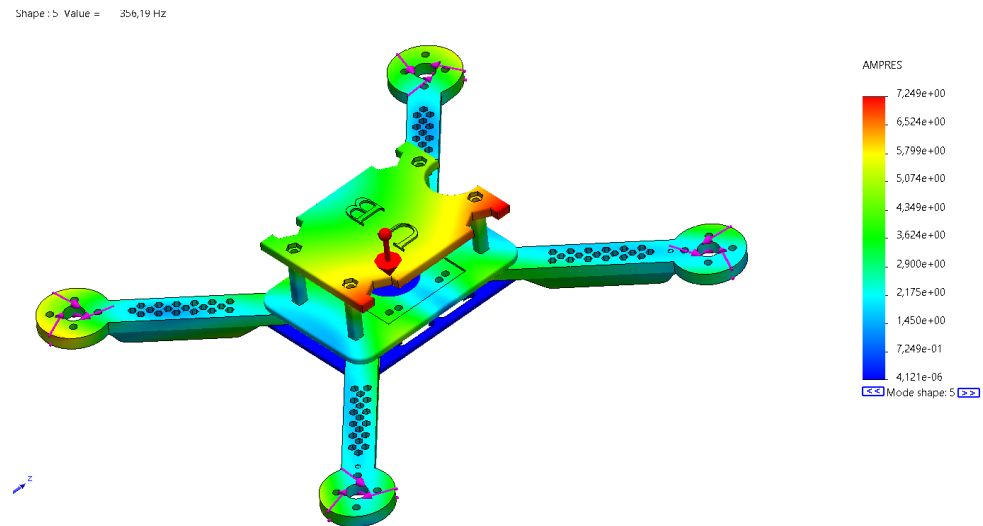


Рисунок 2.28 Дослідження Х-подібної рами на частоті 300Гц

Дослідження Х-подібної рами на частоті 300Гц, рисунок 2.28., можна побачити, що вібрації плавно розподіляються по важелях, та переходять на верхню пластину. Максимум помічен на пластині на стійках. Нижня пластина залишається найспокійнішим місцем в усій конструкції. Максимальне значення результуючої амплітуди $7.249e$, а мінімальне $4.121e-6$.

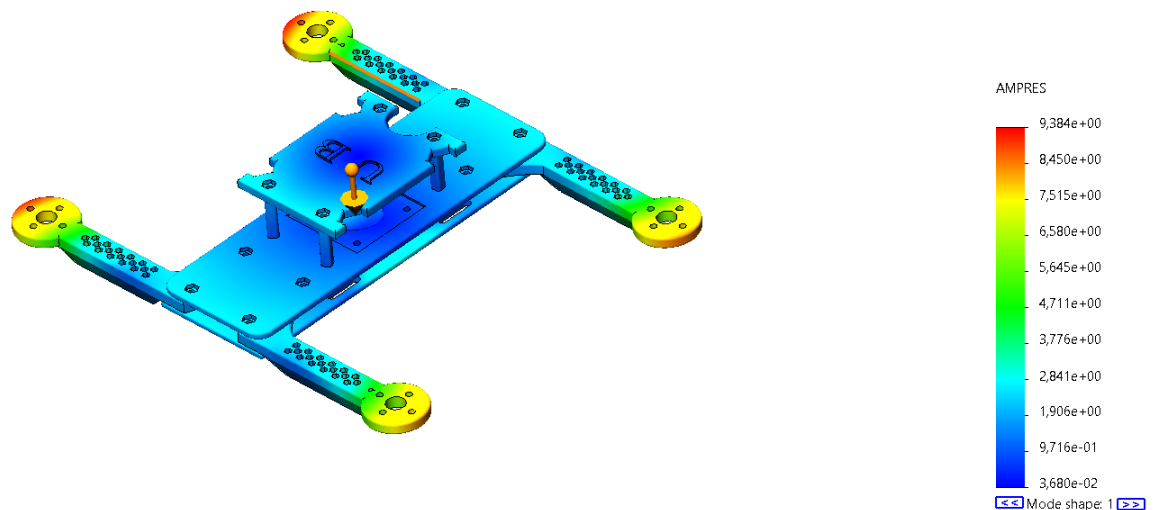


Рисунок 2.29 Дослідження Н-подібної рами на частоті 300Гц

Результати дослідження Н-подібної рами на частоті 300Гц, зображуються на рисунку 2.29.. На частоті в 300Гц вібрації видно на кінцях важелів, там де встановлюються мотори, та на початку і середині нижній пластини. Середина нижньої пластини приймає незначну результуючу амплітуду. Верхня пластина є найспокійнішим місцем від вібрацій. Максимальне значення результуючої амплітуди $9.384e$, а мінімальне $3.680e-2$.

Таблиця 2.3 Порівняння максимуму та мінімуму результуючої амплітуди рам при 300Гц

Тип рами	Максимальна амплітуда	Мінімальна амплітуда
НХ-подібна	$9.708e$	$9,25e-15$
Х-подібна	$7.249e$	$4.121e-6$
Н-подібна	$9.384e$	$3.680e-2$

Провівши дослідження трьох рам на частоті в 300Гц було визначено, що на цій частоті найкраще себе показала НХ-подібна рама, а Н-подібна отримала значні вібрації на середину нижньої пластини.

ВИСНОВКИ

Істотною перевагою SolidWorks відносно інших CAD/CAE/CAM систем є вбудованість великої кількості досліджень та бібліотек матеріалів, що суттєво оптимізують час на роботу, і сприяють комфортному проектуванню. Під час виконання досліджень, наукових, дипломних та курсових робіт необхідна візуалізація та детальний розбір пристрою, деталі, вузла та ін. І SolidWorks відмінно підходить задля вирішення даних задач. Він має спрощену роботу з дослідженнями, для того щоб провести дослідження не потрібно описувати багато фізичних явищ, багато чого вже вбудовано в саме дослідження, але усе одно дає точні розрахунки. SolidWorks має зручний та сучасний інтерфейс, а самі інструменти нагадують інші САПР, тож таким чином, дане програмне забезпечення повністю задовольняє вимогам до навчання, дозволяє реалізувати багато різних студентських розробок. В дипломному проєкті була створена методика дослідження вібрацій у SolidWorks Simulation.

В ході виконання дипломної роботи було проведено дослідження впливу вібрацій моторів квадрокоптеру на місце розташування політного контролеру для різних типів рам. Була створена методика роботи при дослідженні вібрацій квадрокоптеру.

Було обрано три схожі за параметрами рами для досліджень. Матеріалом досліджуємих рам став поліетилен високої щільності. Кожна з рам була проаналізована на трьох різних частотах: 100Гц, 200Гц та 300Гц. Що відповідало частоті роботи обраних моторів.

У ході роботи аналізувалась результуюча амплітуда, по якій ми можемо побачити ті місця на котрі припадає максимальна дія вібрації. В результаті було встановлено на які з обраних рам припадає максимальна дія вібрації, а на які мінімальна. Виявлено, що найкраще себе показала гібридна рама – НХ-подібна. На усіх трьох досліджуємих частотах вона зазнавала найменших вібрацій у центрі корпусу, що позитивно буде впливати на встановлення контролеру. Методом симуляції за допомогою програмного забезпечення

SolidWorks Simulation було визначено, що в усіх трьох рамах та при усіх трьох діапазонах частот найспокійнішою, тією частиною корпусу, котра зазнає мінімальним вібраціям виявилась нижня пластина. Проаналізувавши результати досліджень було отримане найбільш підходяще місце для встановлення електроніки, політного контролеру зокрема, краще усього закріплювати його на нижній пластині, а на верхні пластини вже краще закріпити акумулятор, на котрий ніяк вже не буде діяти вібрація.

Перспективами розвитку цієї теми є продовження досліджень на інші типи рам, збільшення діапазону частот за рахунок зміни моторів, та зміна використовуваних матеріалів квадрокоптера. Перспективи розвитку цієї теми великі через актуальність роботи, бо тому що вібрації моторів впливають на політний контролер, та на акселерометри, котрі і керують утриманням квадрокоптеру у правильному положенні, тож чим краще встановлен та закріплен політний контролер залежить і правильне керування. Окрім правильного місця встановлення електроніки, можна використовувати і демпфери, як зазвичай і роблять на практиці, однак для кращого результату краще комбінувати декілька методів позбавлень від зайвих вібрацій.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Третьяк О. В. Засоби та системи автоматизації наукових досліджень: підручник для студентів вищ. навч. закладів / О. В. Третьяк, Ю. В. Бойко. ; за ред. О. В. Третьяка. – К. : ВПЦ "Київський університет", 2007. – 319 с.
2. Шевченко О.С. Переваги використання хмарних технологій при вивченні CAD/CAM/CAE систем / Шевченко О.С., Шило Г.М., Куляба-Харитоновна Т.І., Огренич Є.В., Дейдей В.С. // Тиждень науки-2020. Факультет радіоелектроніки та телекомунікацій. Збірник тез доповідей щорічної науково-практичної конференції серед студентів, викладачів, науковців, молодих учених і аспірантів 13–17 квітня 2020 року. – Запоріжжя, 2020. – С. 56-58.
3. Норенков И. П. Основы автоматизированного проектирования: учебник для студентов вузов / И. П. Норенков. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э.Баумана, 2002. – 336 с.
4. Тимченко А. А. Основы системного проектирования та системного аналізу складних об'єктів: основи САПР та системного проектування складних об'єктів; підручник / А. А. Тимченко. ; за ред. В. І. Бикова. – 2-е вид. – Київ : Либідь, 2003. – 272 с.
5. Белоусов Е.Л. Конструирование блоков бортовой авиационной аппаратуры связи / Белоусов Е. Л., Ушкар М. Н. – Нижний Новгород: НГТУ, 2005. – 237 с.
6. Корнійчук А. І. Комп'ютеризоване проектування елементів систем управління: посібник для студентів вузів / А. І. Корнійчук, Ю. О. Подчашинський. – Житомир : ЖІТІ, 2001. – 455 с.
7. Бабак В. П. Супутникова радіонавігація / В. П. Бабак, В. В. Конін, В. П. Харченко. – К. : Техніка, 2004. – 328 с.
- 25 Билибин К. И. Основы проектирования приспособлений. / Билибин К. И. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 52 с.
8. Болдин А. Н. Основы автоматизированного проектирования: учебное пособие для студ. вузов / А. Н. Болдин, А. Н. Задиранов. – Москва : МГИУ, 2006. – 104 с.

9. Алямовский А. А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation / А. А. Алямовский. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 464с.