

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 проєкту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему Дослідження динамічних навантажень та теплових режимів бортової радіоелектронної апаратури

Дейдей Вікторії Станіславівни

(прізвище та ініціали)

проєкту (роботи) Дослідження динамічних навантажень та теплових режимів радіоелектронної апаратури

Виконав: студент(ка) 2 курсу, групи РТз-519м

Спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки

Дейдей В. С.

(прізвище та ініціали)

Керівник Шило Г. М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Зеленьова І. Я.

(прізвище та ініціали)

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

Інститут, факультет Інститут інформатики та радіотехніки,
Факультет радіоелектроніки та телекомунікацій
 Кафедра Інформаційних технологій електронних засобів
 Ступінь вищої освіти магістр
 Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка
(код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) Інтелектуальні технології мікросистемної
радіоелектронної техніки
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Шило Галина
Миколаївна
 « 23 » 12 2020 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Дейдей Вікторії Станіславівни
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Дослідження динамічних навантажень та теплових режимів
бортвої радіоелектронної апаратури

керівник проєкту (роботи) Шило Галина Миколаївна, д.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 12 » 11 2020 року № 326

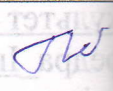
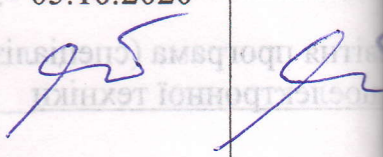

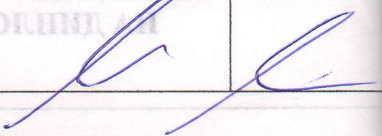
2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 14.12.2020

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Спрощений ескіз конструкції етажерного типу
радіоелектронного пристрою; вимоги до випробувань на механічні та теплові
навантаження

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз предметної області та постановка задачі. Розробка 3D-моделі
пристрою. Дослідження теплових режимів роботи пристрою. Дослідження дії вібрації
на роботу пристрою. Дослідження дії ударних навантажень на роботу пристрою.
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях. Економічний розділ.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

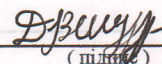
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконання завдання
Основні розділи	Шило Галина Миколаївна, завідувач кафедри інформаційних технологій електронних засобів (ІТЕЗ), д.т.н., доцент	01.10.2020	
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	Якімцов Юрій В'ячеславович, доцент кафедри охорони праці і навколишнього середовища (ОПНС), к.т.н.	05.10.2020	
Економічний розділ	Севастьянов Родіон Вікторович, доцент кафедри підприємництва, торгівлі та біржової діяльності (ПТБД), к.е.н.	05.10.2020	27.11.20 
Нормо-контроль	Поспєєва Ірина Євгеніївна, старший викладач кафедри інформаційних технологій електронних засобів (ІТЕЗ)	01.10.2020	

7. Дата видачі завдання « 01 » 10 2020 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

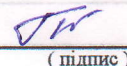
№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примі
1	Аналіз предметної області та постановка задачі	10.10.2020	
2	Вибір САПР	20.10.2020	
3	Розробка методики побудови 3D-моделі пристрою	25.10.2020	
4	Розробка методики проведення досліджень теплових режимів	05.11.2020	
5	Розробка методики проведення досліджень механічних навантажень	10.11.2020	
6	Проведення досліджень бортового пристрою етажерної конструкції у хмарній САПР Fusion 360	15.11.2020	
7	Аналіз результатів моделювання	25.11.2020	
8	Оформлення ПЗ	10.12.2020	
9	Захист дипломної роботи	17.12.2020	

Студент(ка)


(підпис)

Деменко В.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи)


(підпис)

Шило Г.М.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 141 с., 77 рис., 23 табл., 10 додатків, 64 посилання.

Об'єкт дослідження – бортова радіоелектронної апаратури.

Метою досліджень є розробка методики дослідження динамічних навантажень та теплових режимів бортової радіоелектронної апаратури за допомогою хмарних САПР.

Метод дослідження – чисельне методи, метод кінцевих елементів.

Обрано хмарну САПР Fusion 360 для проведення досліджень, розроблено спрощену 3-D модель пристрою бортової радіоелектронної апаратури етажарної конструкції. Розроблено методику моделювання дослідження динамічних навантажень та теплових режимів роботи засобами інженерного аналізу. Ця надає можливість запобігти появі інженерних помилок та оптимізувати конструкцію РЕА на етапі проєктування та зменшити кількість фізичних випробувань..

Результати досліджень можуть застосовуватися при проєктуванні пристроїв бортової радіоелектронної апаратури.

БОРТОВА РАДІОЕЛЕКТРОННА АПАРАТУРА, ГЕОМЕТРИЧНІ І ТЕПЛОВІ МОДЕЛІ, ДРУКОВАНА ПЛАТА, ГЕРМЕТИЧНИЙ БЛОК, ТЕПЛОВИЙ РЕЖИМ, ДИНАМІЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ, КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, СИМУЛЯЦІЯ, 3-D МОДЕЛЬ, ХМАРНІ САПР

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧОК.....	8
ВСТУП.....	9
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	12
1.1 Порівняння можливостей хмарних технологій в САПР.....	12
1.2 Опис блоку конструкції, що досліджується.....	18
1.3 Вимоги до випробувань радіоелектронного пристрою.....	29
1.4 Постановка задачі.....	33
2 РОЗРОБКА 3D-МОДЕЛІ ПРИЛАДУ БОРТОВОЇ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ.....	37
2.1 Створення нового проєкту у середовищі хмарного Fusion 360.....	37
2.2 Методика створення ескізів при побудові моделей.....	39
2.3 Методика створення 3D-моделі основи із стійками блоку бортової радіоелектронної апаратури.....	40
2.4 Методика створення 3D-моделі кришки пристрою бортової радіоелектронної апаратури.....	42
2.5 Методика створення 3D-моделі друкованих плат пристрою бортової радіоелектронної апаратури.....	44
2.6 Методика збірки компонентів пристрою бортової радіоелектронної апаратури.....	45
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ПРИСТРОЮ БОРТОВОЇ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ.....	49
3.1 Обладнання для проведення випробувань теплових режимів.....	49
3.2 Методика моделювання теплових режимів роботи пристрою за допомогою хмарної системи Fusion 360.....	50
3.3 Результати моделювання.....	59
4 ДОСЛІДЖЕННЯ ДІЇ ВІБРАЦІЙ НА РОБОТУ ПРИСТРОЮ БОРТОВОЇ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ.....	67
4.1 Обладнання для проведення випробувань дії вібрацій та акустичного шуму.....	67

4.2 Аналіз можливостей заміни випробувань на акустичні навантаження на вібраційні випробування.....	69
4.3 Методика моделювання дії вібрації на роботу пристрою у Fusion 360.....	74
4.4 Результати моделювання.....	82
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ...	87
5.1 Аналіз потенційних небезпек.....	87
5.2 Заходи по забезпеченню електробезпеки.....	88
5.3 Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці.....	90
5.4 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	96
5.4.1 Заходи з пожежної безпеки.....	96
5.4.2 Заходи з цивільного захисту.....	98
6 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	102
6.1 Опис ідеї.....	102
6.2 Попередня характеристика потенційного ринку та потенційних клієнтів.....	103
6.3 SWOT-аналіз середовища реалізації інноваційного проекту.....	104
6.4 Вибір цільових груп потенційних споживачів.....	105
6.5 Пошук внутрішніх та зовнішніх стейкхолдерів.....	106
6.6 Визначення економічної ефективності роботи.....	109
ВИСНОВКИ.....	122
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	125
ДОДАТОК А.....	132
ДОДАТОК Б.....	133
ДОДАТОК В.....	134
ДОДАТОК Г.....	135
ДОДАТОК Д.....	136
ДОДАТОК Е.....	137
ДОДАТОК Ж.....	138
ДОДАТОК К.....	139

ДОДАТОК Л.....	140
ДОДАТОК М.....	141

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧОК

- CAD – Computer Aided Design – комп’ютерна підтримка конструювання;
- CAM – Computer Aided Manufacturing – комп’ютерна підтримка виробництва;
- CAE – Computer Aided Engineering – комп’ютерна підтримка інженерного аналізу;
- PDM – Product Data Management – системи управління проектними даними;
- САПР – системи автоматизованого програмування і розрахунку;
- ЧПУ (NC) – числове програмне управління (numerical control);
- ВНЗ – вищий навчальний заклад;
- ПК – персональний комп’ютер;
- мм – міліметри;
- Вт – Ватт;
- °C – градус за Цельсієм;
- Гц (Hz) – Герц;
- дБ – децибели;
- g – прискорення вільного падіння ($9,80665 \frac{м}{с^2}$);
- с – секунда;
- ЗІЗ – засоби індивідуального захисту;
- ПЕОМ - персональна електронно обчислювальна машина;
- ВДТ - візуальний дисплейний термінал;
- РЕА – радіоелектронна апаратура.

ВСТУП

Хмарні технології є основою майбутніх технологічних проривів у суспільстві. Вони відкривають до цього часу небачені можливості для штучного інтелекту.

Термін “хмара” не новий, коли йде мова про технології або обчислення. “Хмара” - це метафора для Інтернету. Інтернет, як віртуальний “простір”, який єднає користувачів зі всього світу, ніби хмара. Інформацією обмінюються за допомогою мереж [1].

Хмарні технології і обчислення – це саме те, що стосується спільного користування ресурсами, інформацією та програмним забезпеченням через мережу, через підключення до Інтернету. Інформація та дані зберігаються на віртуальних чи фізичних серверах, котрі контролюються і підтримуються постачальником хмарних обчислень. Користувач хмарних технологій отримує доступ до інформації, що збережена на “хмарі”, через з’єднання Інтернетом[2].

У збереженні та доступі до даних відбулася еволюція. В наш час не має потреби у зберіганні документу на одному конкретному пристрої. Є можливість будь-коли отримати доступ до даних та особистих файлів із будь-якого місця, завдяки надійному підключенню до Інтернету. Все це стало можливо завдяки досягненням в сфері хмарних технологій. Балує вибір сучасний ринок хмарних сховищ [2].

Пропонується безкоштовне місце задля доступу та зберігання будь-якої необхідної інформації різними постачальниками хмарних сховищ. Зберігання даних на компакт-дисках, дискетах, та флеш-накопичувачах USB – вже відходить у минуле. В наш час стають надзвичайно затребувані хмарні постачальники даних. Існують сайти, котрі порівнюють різноманітних постачальників хмарних сховищ у одному місці, що дуже зручно для користувачів [2,3].

Служби хмарного зберігання працюють через підключення до Інтернету та дозволяють користувачам мати доступ та завантажувати дані на будь-який пристрій: смартфон, планшет або ноутбук. Дуже полегшує віддалену роботу

від офісу той факт, що користувачі хмарного сховища можуть працювати із документами одночасно із іншими користувачами [3], що дуже актуально в наш час.

Від хмарного сховища залежать і ціни на користування даними сервісами. Можна безкоштовно отримувати початкові обсяги хмарного сховища, зазвичай. Але необхідно сплачувати додаткову комісію за зберігання, в залежності від послуг, що необхідні [4].

Щоб зрозуміти роботу хмарної системи, вона ділиться на дві частини: передню та кінцеву. Вони підключаються одна до одної завдяки мережі, зазвичай Інтернет. Передня частина – це сторона користувача комп'ютера. Кінцева частина – це «хмарна» частина системи [4,5].

Хмара складається із розміщених різних комп'ютерів, серверів та систем зберігання даних, які містяться на задньому кінці системи хмарних технологій. Система хмарних обчислень може містити будь-яку комп'ютерну програму, від відеоігор до обробки даних. У кожній програмі є свій власний виділений сервер [5].

Центральний сервер керує хмарною системою. Він створюється задля керування трафіком і вимогами користувача, щоб забезпечити нормальну роботу. Сервер дотримується певних правил - протоколів, і використовує спеціальний вид програмного забезпечення, який має змогу мережевими комп'ютерами спілкуватися між собою.

Великі компанії мають потребу у сотнях цифрових пристроїв для зберігання даних. Щоб зберегти інформацію клієнта, для систем хмарних технологій необхідно як мінімум вдвічі більше запам'ятовуючих пристроїв, тому, що такі пристрої періодично виходять із ладу. Хмарна система копіює інформацію для того, щоб зберегти її на інших пристроях. Цей спосіб копіювання даних для резерву, називається надмірністю [5,6].

У компаній - постачальників хмарних послуг, є багато клієнтів, та існує дуже великий попит на місця для зберігання інформації. Фізичний сервер можна легко «обдурити», прийнявши те, що це насправді декілька серверів, кожен із котрих працює у незалежній власній операційній системі. Це є

віртуалізація сервера, котра зменшує потребу у фізичних машинах. Це максимізує вихід із ладу окремих серверів [6].

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 [6,7].

Таким чином, метою дипломної роботи є розробка методики дослідження динамічних навантажень та теплових режимів бортової радіоелектронної апаратури. Для реалізації цього відмінно підходять хмарні САПР.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Порівняння можливостей хмарних технологій в САПР

Автоматизоване конструювання (проектування) (CAD) - це технологія, яка полягає у використанні комп'ютерних систем задля полегшення створення, зміни, аналізу та оптимізації проектів. Отже, будь-яка програма, яка працює із комп'ютерною графікою, так, як і будь-який додаток, що використовується у інженерних розрахунках, належить до систем автоматизованого проектування. До складу засобів CAD входять геометричні програми для роботи із різними формами. Головною функцією CAD є визначення з геометрією конструкції (деталі механізму, архітектурного елемента, електронної схеми, плану будівлі та ін.), тому що геометрія визначає усі наступні етапи життєвого циклу будь-якого виробу. Для цієї мети зараз застосовуються системи розробки робочих креслень та геометричне моделювання. Усі геометричні параметри, що визначені в цих системах, можуть застосовуватися в якості основи задля наступних операцій в системах CAE та CAM. Перевагами засобів CAD є: економія часу, зменшення кількості помилок, що пов'язані із необхідністю визначатися із геометрією конструкції [7,8].

Автоматизоване виробництво (CAM) – це технологія, яка полягає у застосуванні комп'ютерних систем задля планування, керування та контролю операцій виробництва засобами прямого або непрямого інтерфейсу із виробничими ресурсами підприємств. Найбільш широко застосовуваний підхід до автоматизації виробництва - це числове програмне управління (ЧПУ, numerical control – NC). ЧПУ - це використання запрограмованих команд задля керування верстатом, що може різати, шліфувати, згинати, фрезерувати, штампувати і іншими операціями перетворювати заготовки на різні готові деталі. В наш час комп'ютери можуть генерувати великі програми задля верстатів із ЧПУ з застосуванням геометричних параметрів виробів із баз даних CAD та інших додаткових відомостей, які надані оператором. Розвиток

у цій галузі полягає у зменшенні необхідності роботи оператора. Найбільш важлива функція систем автоматизованого виробництва – це програмування роботів, що можуть працювати на різноманітних гнучких автоматизованих ділянках, які обирають та встановлюють інструменти, проводять обробку деталей на верстатах із ЧПУ. Роботи здатні виконувати свої власні завдання, наприклад, збірку, зварювання, перенесення деталей та устаткування по операціям виробництва [9].

Комп'ютерна підтримка інженерного аналізу (CAE) – це використання комп'ютерних систем задля аналізу геометрії CAD, вивчення поведінки виробу, моделювання виробу задля оптимізації та удосконалення його конструкції. Засоби CAE здатні зробити багато різних варіантів аналізу. Існують програми задля кінематичних розрахунків, що здатні визначатися із траєкторією руху та швидкістю ланок у механізмах. Існують програми динамічного аналізу, що здатні застосовуватися задля розрахунків навантажень та зсувів у складних приладах. Програми верифікації та аналізу синхронізації і логіки можуть імітувати роботу складних електронних ланцюгів. Із всіх можливих методів комп'ютерного аналізу зараз найширше у конструюванні застосовується метод кінцевих елементів (finite-element method – FEM). Із його допомогою розраховуються деформації, напруженість, розподіл магнітного поля, теплообмін, потоки рідин і інші показники. При застосуванні методу кінцевих елементів аналітична модель структури - це з'єднання елементів, через що вона розбивається на окремі частини, що вже здатні оброблятися комп'ютером [10].

Отже, технології CAD, CAM і CAE полягають у автоматизації та підвищенні ефективності конкретних стадій життєвого циклу виробів [11].

Проведемо порівняльний аналіз систем хмарних САПР: Хмарна САПР Onshape, 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	Характеристики						
	CAD	CAE	CAM	CAM/CAE модулі	Розрахунки у хмарі або на локальній робочій станції	Можливість роботи у проекті одночасно декільком користувачам	Наявність безкоштовної версії для студентів
Програмний комплекс САПР SolidWorks	+	+	+	Тільки сторонніх розробників	На локальній робочій станції	-	-
Хмарна САПР Onshape	+	+	+	Тільки сторонніх розробників	У хмарі	+	+
Autodesk Fusion 360 – комплексний хмарний CAD/CAE/CAM	+	+	+	Вбудовані та сторонніх розробників	У хмарі	+	+

Примітка: «+» - так, «-» - ні.

SolidWorks – це система автоматизованого проектування, що необхідна для створення 3D-моделей. Програмне забезпечення дозволяє проводити детальний інженерний аналіз виробів, а також формувати інтерактивну документацію. Застосовується у електротехніці, машинобудуванні, меблевому виробництві, промисловому дизайні та ін [12].

Можливості SolidWorks:

- підтримує ГОСТ і ЄСКД;
- відкриває документи Word і Excel ;
- проведення точних інженерних розрахунків;
- налаштування різних фізичних властивостей твердих тіл;
- має спеціалізований модуль задля роботи з масивами;
- експорт/імпорт таких форматів, як DWG, DXF із інших програм;
- використовує бібліотеки стандартних матеріалів, штриховок і текстур;

- наявний інтегрований комплекс автоматизації САПР;
- Solidworks Simulation Flow – модуль для проведення аналізу технологічності продуктів.

Переваги SolidWorks:

- вирішення складних інженерних задач;
- наявна функція перевірки серійних номерів;
- наявна підтримка російської мови інтерфейсу;
- зручне керування даними при перевірці проєкту;
- сприяє збільшенню життєвого циклу виробу;
- офіційний сайт SolidWorks задля софта випускає регулярні оновлення;
- існує можливість запускати активатор від імені адміністратора;
- наявна велика кількість інструментів задля побудови тривимірної моделі будь-якої друкованої плати або виробу.

Недоліки SolidWorks:

- високі системні вимоги;
- існує більше функцій у повній версії SolidWorks Premium Edition.

SolidWorks належить до систем середнього рівня і має відкриту математичну модель [13].

Повністю “хмарна” САПР Onshape розроблена компанією Onshape. Це сервіс для розробки CAD-моделей. При роботі даної САПР стають задіяні і ресурси власного комп’ютеру користувача, і ресурси хмари. Редагувати моделі можливо за допомогою звичайного комп’ютеру або планшету.

Можливості Onshape:

- працює лише в онлайн режимі;
- є доступ до програми через браузер або через мобільні додатки;
- моделювання машинобудівних виробів завдяки повному набору функцій;
- вузька спрямованість на проєктування у машинобудуванні;
- існує повний контроль версій проєктів, які створюються;
- створення власних додатків на основі Oneshap за підтримки мовою FeatureScript.

Переваги Onshape:

- у одному документі можна проєктувати таку кількість деталей, скільки вимагається;
- використовує хмарні документи, а не файли;
- існує миттєвий обмін документами між користувачами.

Недоліки Onshape:

- велика собівартість програмного забезпечення (близько 100 доларів у місяць);
- робота у браузері лише online;
- підтримка обмеженої кількості форматів файлів.

Гібридний інтерфейс Onshape означає, що при роботі програми задіяні і ресурси хмари, і ресурси комп'ютера користувача. Існує і тач-інтерфейс – задля редагування моделей за допомогою планшета або смартфона [14].

Autodesk Fusion 360 – це комплексний інструмент задля параметричного моделювання тривимірних об'єктів. Завдяки інтеграції із хмарними сервісами, існує можливість користування величезною бібліотекою матеріалів, здійснювати усі необхідні розрахунки та працювати над проєктами у спільному режимі із колегами [14,15].

Головною особливістю Fusion 360 у порівнянні із усіма іншими системами 3D-моделювання є дуже тісна інтеграція із сітьовим сховищем Autodesk. Це означає, що усі проєкти, що створюються у програмі, не прив'язані до локальної директорії, а будуть поміщатися у хмарі, доступ до котрої користувач отримає після реєстрації облікового запису [15].

Можливості Autodesk Fusion 360:

- оберт камери огляду на 360 градусів;
- доступ до проєктів у колективному режимі;
- розрахунки теплообміну і втомної міцності;
- повністю налаштовується панель інструментів;
- існує опція Object Snap задля повтору профілю сітки;
- існує функція сканування креслень та реальних об'єктів;
- існує автоматична прив'язка сплайнів до гратчастої поверхні;

- повна інтеграція з серверами Autodesk Create Design Product Software;
- додавання, створення та редагування анімацій із великою кількістю 3D-ефектів;
- регулюються показники глибини різкості, фокусної відстані, типу освітлення та навколишнього середовища.

Переваги Autodesk Fusion 360:

- доступний висновок на 3D-друк;
- сумісність Fusion 360 з Linux і Mac OS;
- експорт проєкту у MP4 ролики;
- дуже часто використовується задля різних стартапів;
- підтримує різні осьові верстати ЧПУ;
- складання деталей безпосередньо у середовищі моделювання;
- має простий та зручний інтерфейс;
- існує якісна анімація динамічного руху;
- існує багато різних блогів та форумів про Autodesk Fusion 360;
- поверхневе редагування усіх вихідних елементів;
- створення додаткової інженерної документації із можливостями уточнень;
- проведення моделювання випробувань на серверах Autodesk;
- існує можливість користування безкоштовною версією для студентів ВНЗ.

Недоліки Autodesk Fusion 360:

- підходить лише для 64-бітових ОС;
- досить тривалий процес завантаження та установки;
- задля активації облікового запису необхідно ввести свою електронну пошту;
- функціонує в режимі пробної версії Trial Free лише 30 днів, після цього потрібна покупка ліцензії Fusion 360.

Autodesk Fusion 360 належить до систем вищого рівня із відкритою математичною моделлю побудови із можливістю наскрізного аналізу моделей за встановленими критеріями [15].

Fusion 360 має дуже зручний користувацький інтерфейс та невелику вартість повної платної версії програмного забезпечення.

На даний момент у Fusion 360 є можливість виконання восьми видів розрахунків, в тому числі тепловий розрахунок, розрахунок на міцність, вібраційну стійкість та інші. Усі параметри та результати розрахунків, які проводяться у даному робочому просторі, корелюються із вихідною моделлю. Отже, при зміні моделі відбувається корекція розрахункових моделей. Розрахунки можуть проводитися як у хмарі, так і на комп'ютері користувача.

САПР Autodesk Fusion 360 є універсальним продуктом для 3D-моделювання, який має потужний функціонал.

Головними особливостями даного продукту можна вважати його універсальність для проєктування, проведення інженерних розрахунків та підготовки деталей до виробництва. Основною перевагою Fusion 360 відносно інших САД/САЕ/САМ систем є вбудовані хмарні технології, які суттєво оптимізують командну роботу і сприяють максимально комфортній підтримці контролю версій. Окрім затребуваності на виробництвах для розрахунків та проєктування, у навчальній діяльності студентів ВНЗ САПР Fusion 360 стає невід'ємною частиною. Зараз при виконанні курсових, дипломних, наукових робіт та досліджень необхідна візуалізація і детальний розбір пристрою, який проєктується, та т. ін. Fusion 360 відмінно порадиться із даними задачами [16].

Таким чином, для дослідження динамічних навантажень та теплових режимів бортової радіоелектронної апаратури даної роботи обирається програма Fusion 360, тому що вона найбільше задовольняє вимогам до проєктування та симуляції радіоелектронних пристроїв.

1.2 Опис блоку конструкції, що досліджується

В ході виконання даної роботи, необхідно дослідити вплив теплових та динамічних навантажень на блок бортової радіоелектронної апаратури з друкованими платами. Даний блок знаходиться у 3-й ступені ракети. Для виконання усіх досліджень необхідно побудувати 3D-модель герметичного блока етажерної конструкції.

Для того, щоб побудувати схему радіоелектронного пристрою застосовують різноманітні мікросхеми, напівпровідникові прилади і інші елементи. Рідше зустрічаються прилади з електронними лампами, електромеханічними блоками і іншими великогабаритними пристроями [17].

Широке розповсюдження при проектуванні приладів отримав модульний метод компоновки. Сутність цього методу наступна. Весь прилад ділиться на окремі закінчені складальні модулі. При даному методі компоновки можливо застосовувати однотипні конструктивні рішення для зазначених складальних одиниць з уніфікованими та стандартизованими елементами конструкції. Дані заходи скорочують вартість і терміни проектування та підготовки виробництва апаратури. Цей метод дозволяє проводити збірку, регулювання і випробування складальних одиниць пристроїв паралельно, в результаті цього суттєво зменшується тривалість виробничого циклу виготовлення бортової радіоелектронної апаратури. При застосуванні блоків однакової конструкції, можна оптимально використати об'єм приладу, що в результаті призводить до скорочення габаритів і маси апаратури.

Під час компоновки приладів, які складаються з малогабаритних елементів, дуже широко застосовуються конструкції з легкозмінними модулями. При виборі варіанту конструкції блоку і компонованні модулів у блок, та взаємне розташування різних конструктивних зон необхідно керуватися технічними вимогами, зробити аналіз основних визначальних факторів, специфічних для розробки саме цих радіоелектронних апаратів (ремонтпридатність, надійність, маса, габаритні розміри, умови експлуатації, теплові режими та ін.) [17,18].

Здебільшого, конструюються блоки прямокутної форми, окрім блоків, які встановлюються в спеціальні відсіки. Форма блоку відхиляється від прямокутної тільки в окремих обґрунтованих технічно випадках, у зв'язку із тим, що таке відхилення дуже ускладнює застосування автоматизованих методів проектування та унеможливорює використання типових технологічних процесів монтажних, складальних і регулювальних робіт, та застосування

продуктивного технологічного обладнання. Все це в цілому збільшує терміни освоєння апаратури та її собівартість [18].

Найбільш складним кроком у процесі проектування блоків є вибір варіанту компоновки модулів у блоці, при забезпеченні мінімальної довжини ланцюгів електричної комутації і необхідних теплових режимів роботи блоків, а також розробка або вибір несучих конструкцій блоку, що в свою чергу забезпечує виконання двох перших вимог.

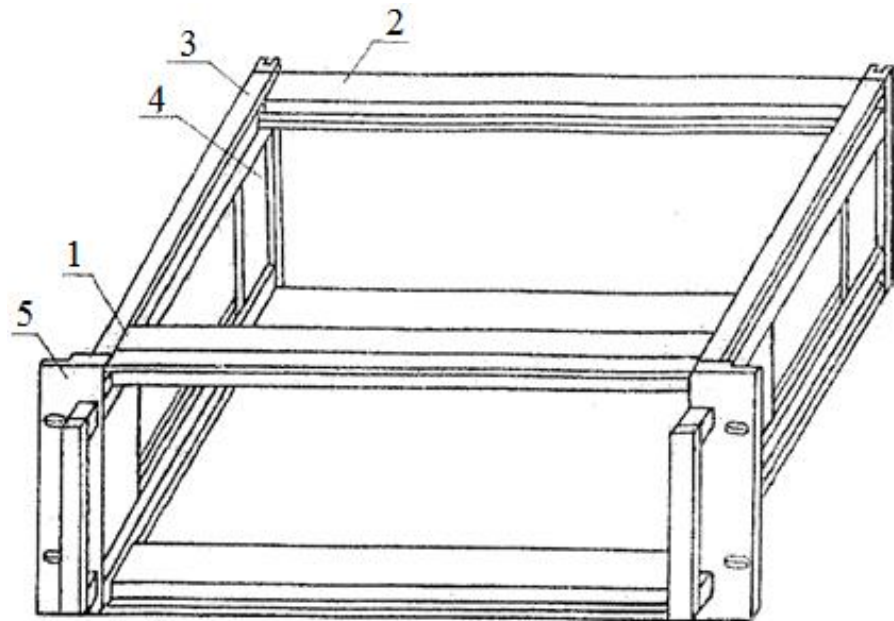
Базові несучі конструкції блоків призначені для розміщення, механічного кріплення, захисту пристроїв від механічних перевантажень та інших зовнішніх впливів модулів, блоків у шафах, стійках та стелажах. Несучі конструкції повинні забезпечувати досить надійне кріплення модулів з електрорадіоелементами і іншими елементами електричної комутації, до того ж мінімальну масу, максимальне застосування однотипних деталей та їх уніфікацію [18].

Базові несучі конструкції за конструктивно-технологічними ознаками можна поділити на такі дві групи:

- литі;
- зварні каркасні.

Литі несучі конструкції забезпечують жорсткість і більшу монолітність конструкції. Виготовляють їх, здебільшого, з алюмінієвих і магнієвих сплавів, які мають хороші ливарні властивості та малу щільність. Литі несучі конструкції в даний час застосовуються дуже рідко. Пов'язано це, в основному, із тим, що їх вартість значно вище, ніж вартість зварних конструкцій: у свою чергу, зварні несучі конструкції забезпечують достатню міцність та жорсткість конструкції, і володіють кращими техніко-економічними показниками [18,19].

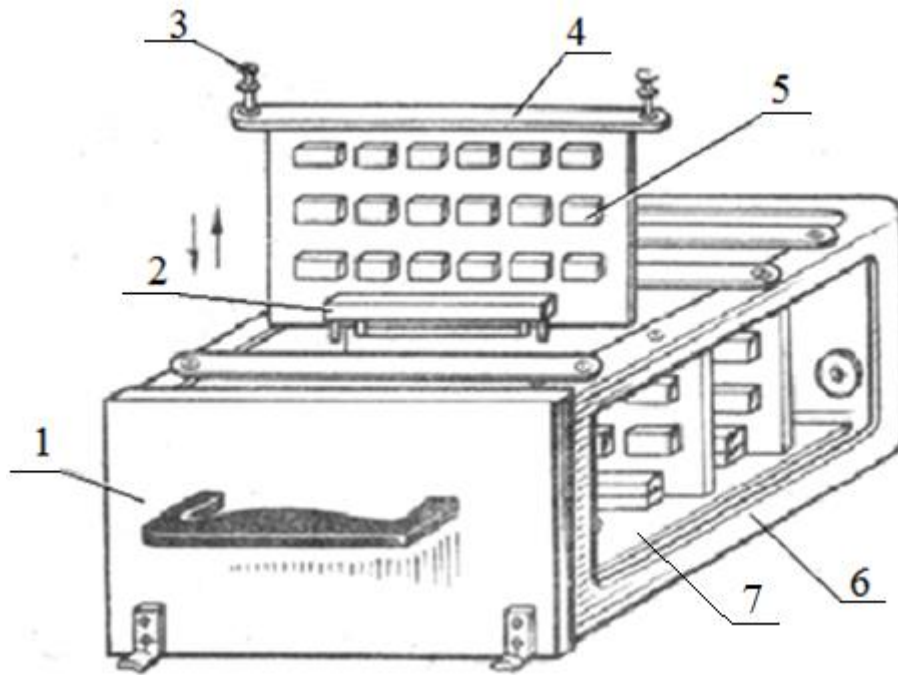
Зварні каркасні несучі конструкції використовують для великогабаритних пристроїв, що складаються з декількох великих модулів. Каркас конструкції зварюють із алюмінію стандартного кутового, квадратного чи круглого профілю. Приклад зварної каркасної несучої конструкції із кутового профілю показаний на рис. 1.1.



1, 2 – передня і задня горизонтальні рейки; 3 – бокова горизонтальна рейка; 4, 5 – передня та задня вертикальні рейки.

Рисунок 1.1 – Приклад базової несучої конструкції зварного каркасного типу

Конструкції даного типу відрізняються способами монтажу модулів з друкованими платами у блоках [19]. Можливе встановлення модулів у блоках в горизонтальному напрямку, при умові, що комутаційна плата розташована вертикально, або встановлення модулів у блоках у вертикальному напрямку, при умові, що комутаційна плата розташована горизонтально. Приклад конструкції блоку з вертикальним встановленням модулів наведений на рис.1.2.



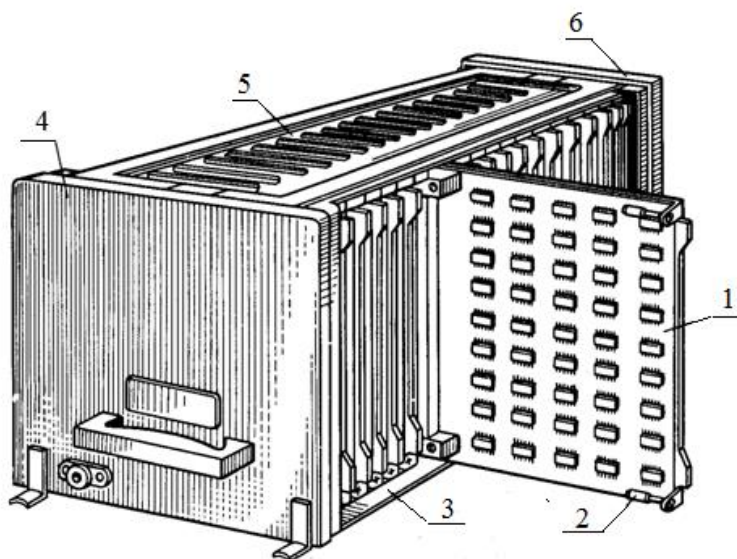
1 – передня панель; 2 – врубний роз’єм; 3 – гвинти; 4 – рейка; 5 – електрорадіоелементи; 6 – рама; 7 – комутаційна друкована плата.

Рисунок 1.2 – Приклад пристрою з вертикальним встановленням модулів

Функціональні вузли конструкцій виготовляються окремими модулями. З одного краю друкованої плати є закріплений врубний роз’єм. З іншого краю плати, що протилежний роз’єму, розміщується пристрій, що закріплює модуль в приладі. Даний пристрій складається із рейки з отворами, куди встановлені невідповідні гвинти. Дані гвинти входять у різьбові отвори на рамі приладу, через що забезпечується дуже міцне закріплення модуля. З двох боків друкованих плат залишається зона, вільна від електрорадіоелементів. Під час встановлення модуля у прилад, дані зони входять у спеціальні напрямні пази на приладі, через що модуль може легко переміщуватися у приладі лише в одному напрямку. Для того, щоб електрично з’єднати між собою модулі, у приладі встановлюються врубні роз’єми з гніздами. Контакти даних роз’ємів з’єднуються між собою комутаційною друкованою платою або джгутом із проводів [19].

Недоліком цієї конструкції є неможливість розташувати перфораційні отвори на нижній кришці корпусу, тому що комутаційна панель перешкоджає здійсненню природній конвекції повітря у блоці.

Тому для блоків з природним повітряним охолодженням, частіше застосовують блоки з горизонтальним встановленням модулів. Конструкція даного блоку показана на рис. 1.3.



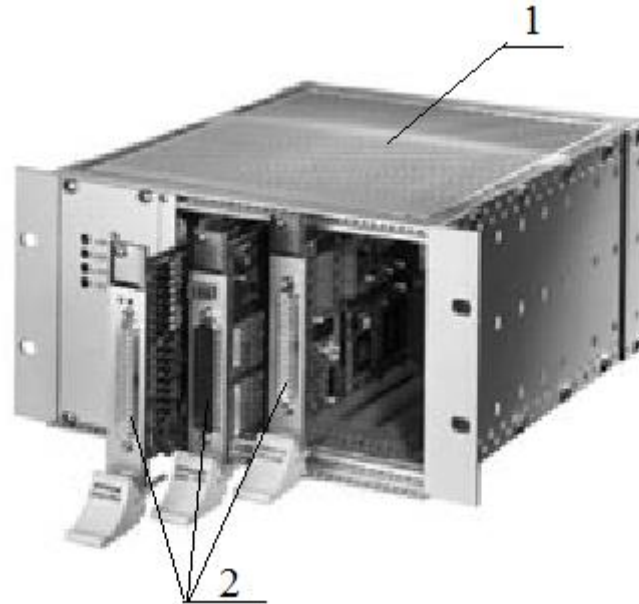
1 – модуль з друкованою платою; 2 – невідповідні гвинти; 3 – рама;
4 – передня панель; 5 – верхня кришка з перфораційними отворами;
6 – задня панель.

Рисунок 1.3 – Приклад пристрою з горизонтальним встановленням модулів

Передня панель прикріплена до каркасу корпусу гвинтами. В деяких випадках, передню панель кріплять на корпусі з допомогою петель, що забезпечує доступ до модулів без зняття панелі, у випадку, коли вона відкинута на петлях. Модулі забезпечені телескопічними направляючими, що, розсовуючись, підтримують модуль у випадку, коли він повністю висунутий із отвору корпусу. Все це дає можливість здійснювати огляд та ремонт модуля, при необхідності, не виймаючи його повністю із корпусу [19].

Конструкція блока, що показана на рис. 1.3 дозволяє суттєво підвищити ефективність охолодження радіоелектронного пристрою природною конвекцією за рахунок розміщення перфораційних круглих отворів по всій площі нижньої кришки корпусу.

Дуже поширеними є конструкції блоків, у котрих кожен модуль має передню панель. Приклад конструкції такого блоку показаний на рис. 1.4.



1 – корпус; 2 – модулі з панелями

Рисунок 1.4 – Приклад приладу з модулями, що мають передню панель

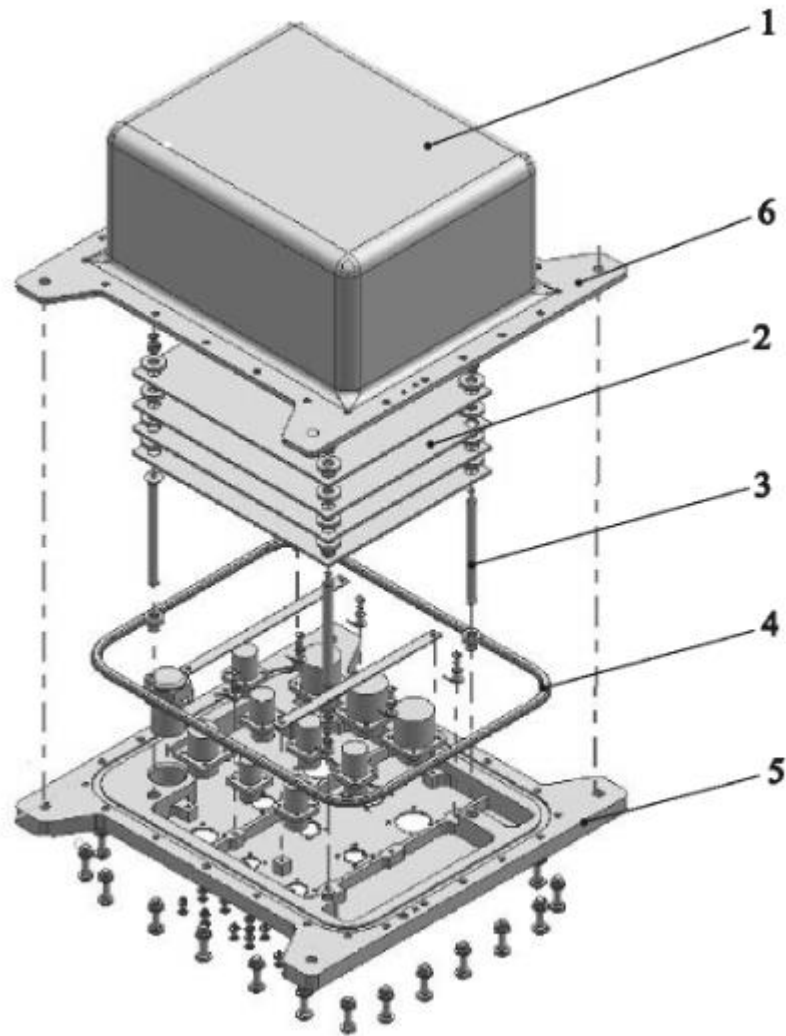
Під час установки модулів в блок, формується лицьова панель блока. На панелях розташовані елементи управління та комутації. У блоках такої конструкції, бічну, верхню і нижню кришки приварюють до каркаса; а задня кришка може бути знімною (кріпитися на гвинтах) або привареною, в залежності від необхідності доступу до приладу під час його виготовлення і експлуатації. Каркас розділяє корпус на окремі секції з боку передньої стінки, кожна секція призначається для встановлення окремого модуля [19].

Отже, базові несучі конструкції різних радіоелектронних апаратів мають дуже прості форми, що утворюються із простих геометричних фігур: паралелепіпедів, циліндричних, конічних і сферичних поверхонь. Під час вибору базових несучих конструкцій для різних блоків радіоелектронних апаратів із природним повітряним охолодженням, частіше обираються зварні

каркасні конструкції з алюмінію квадратного, кутового або круглого профілю. Дані конструкції мають невелику вагу і можуть забезпечити необхідну надійність кріплення функціональних вузлів і інших елементів в блоці конструкції. Від місця розміщення елементів в об'ємі блока залежить і ефективність теплообміну у ньому. Як бачимо, при горизонтальному розміщенні елементів конструкції, перешкод повітряному потоку немає, а тепловий режим приладу суттєво покращується, отже перевага надається таким блокам.

Блоки бортової радіоелектронної апаратури необхідно герметизувати. Для цього використовують ущільнювальні прокладки, які забезпечують герметизацію блоків протягом трьох років та застосовуються при об'ємах, більше, ніж 3 куб. дм. Для продовження герметизації ущільнюючі прокладки змінюють.

Приклад герметизованого блоку з кількома друкованими платами етажерочної конструкції показаний на рис. 1.5. Друковані плати усіх функціональних вузлів зазвичай закріплені кронштейнами на шпильках. Конфігурація панелі є складною, вона містить отвори під з'єднувачі, болти кріплення кожуху і шпильки, паз для ущільнювальної прокладки та заглиблення у корпусі для розміщення вологопоглинача.



1 – кожух; 2 – друковані плати; 3 – шпильки; 4 – ущільнююча прокладка;
5 – панель (основа корпусу), 6 – фланець, що приварений до коробки з листового матеріалу

Рисунок 1.5 - Приклад герметизованого блоку з кількома друкованими платами етажерочної конструкції

Дослідження теплових режимів та динамічних навантажень блоків етажерочної конструкції проводиться на моделі, у котрій враховувалося, що блок має велику кількість конструктивних елементів, у тому числі: друковані плати з електрорадіоелементами, елементи кріплення друкованих плат, з'єднувачі, елементи об'ємного монтажу та інші. Розміри цих елементів можуть відрізнятися у сотні та тисячі разів. Забезпечити достатню точність моделювання теплових процесів та динамічних навантажень у таких

конструкціях сучасні програмні засоби забезпечити не можуть. Тому при моделюванні створювалася теплова модель шляхом виключення:

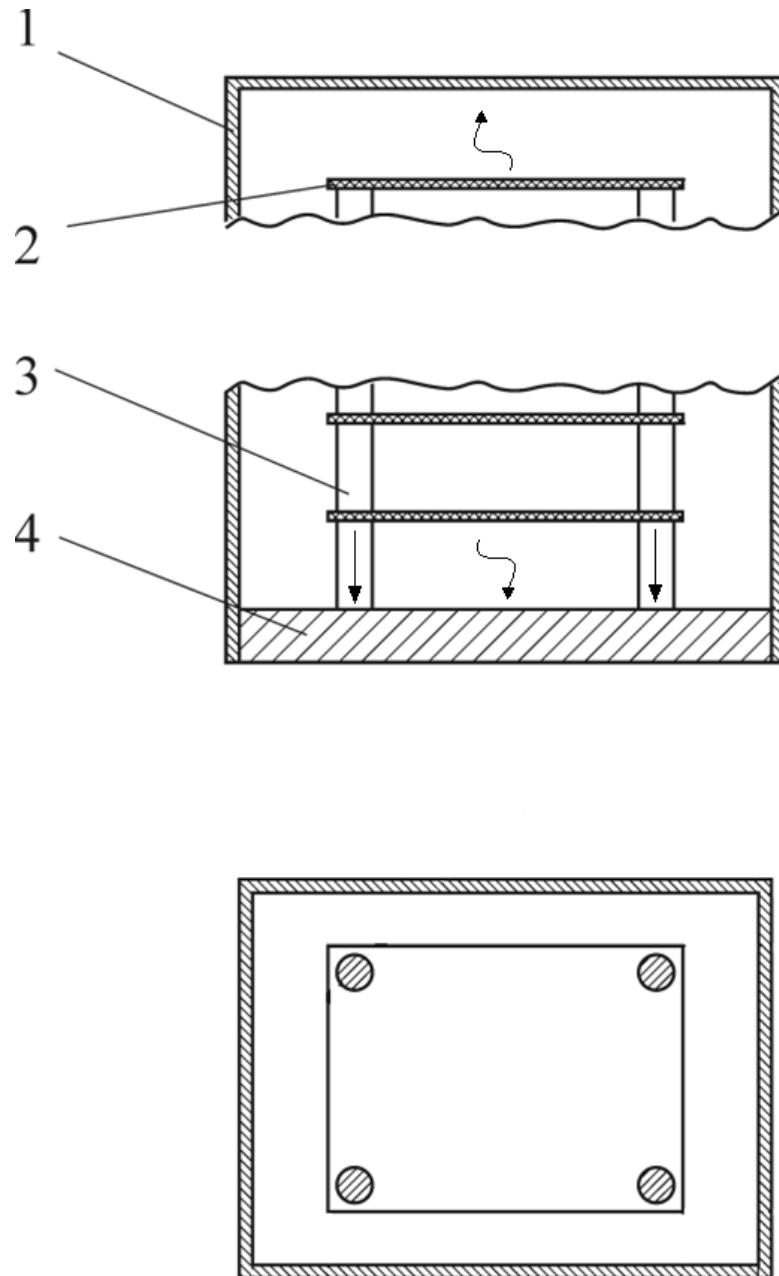
- конструктивних елементів, котрі не впливають на розподіл температур у блоці;

- локальних коливань температур у друкованих платах поблизу електрорадіоелементів;

- елементів кріплення блоків в апаратурі.

Це дозволяє в тепловій моделі не враховувати елементи об'ємного монтажу, з'єднувачі та розглядати рівномірний розподіл потужності по поверхні друкованої плати. Габарити електрорадіоелементів враховуються відповідною відстанню між друкованими платами. У конструкції також відображено, що всі плати мають однакові розміри. Вплив металізації у друкованій платі на теплові процеси враховується анізотропним коефіцієнтом теплопровідності. При моделюванні задається теплообмін між блоком та зовнішнім середовищем лише конвекцією та випромінюванням. Вважається, що вплив на розподіл температур всередині блоку здійснює також теплопередача теплопровідністю по елементам кріплення функціональних вузлів.

Спрощена модель герметичного блока з прийнятими допущеннями наведена на рис.1.6. На рис. 1.6 стрілками позначено основні напрямки відводу тепла до корпусу від плат. У нижній частині корпусу відведення тепла відбувається переважно у бік основи через стійки, а у верхній частині – від верхньої плати конвекцією та випромінюванням до поверхні корпусу.



1 – кришка корпусу; 2 – друкована плата; 3 – стійка; 4 – основа корпусу

Рисунок 1.6 - Спрощена модель герметичного блока з прийнятими допущеннями

Отже, для моделювання пристрою та дослідження теплових режимів та динамічних навантажень бортової радіоелектронної апаратури обирається програмний комплекс Fusion 360. Для проведення даного дослідження обрано етажерний тип конструкції блоку. Також вирішено, що для моделювання пристрою та проведення відповідних досліджень найбільше прийнятний спрощений його вигляд.

1.3 Вимоги до випробувань радіоелектронного пристрою

У процесі експлуатації пристрій бортової радіоелектронної апаратури зазнає впливу різних теплових режимів, піддається дії вібрації та акустичним навантаженням.

Дуже важливо розрахувати та змодельовати різні види навантажень, яким піддається пристрій під час експлуатації задля прогнозування його роботи.

Під випробуванням бортової радіоелектронної апаратури розуміється комплекс контрольно-перевірочних робіт, пов'язаних із виявленням окремих характеристик випробовуваної апаратури, її вузлів і блоків, який включає перевірку: відповідності пристрою технічним завданням і конструкторській документації, працездатності апаратури при впливі на неї граничних механічних і температурних факторів та ін. [20].

За областями використання радіоелектронні апарати можна розділити на три групи: стаціонарну, таку, що транспортується і портативну.

Транспортовані радіоелектронні апарати – апаратура, яка встановлюється і експлуатується на водному, сухопутному, повітряному транспорті та космічних апаратах (радіоелектронні апарати 3-, 4-, 5- і 8-ї груп). Робота цього виду апаратури зумовлює підвищену дію механічних чинників. Кожен вид транспорту має власні вібраційні характеристики. Задля попередження ушкодження такій радіоелектронній апаратурі потрібно, щоб вся вона і її окремі частини мали власні частоти коливань за межами діапазону частот вібрації того транспортного засобу, на котрому вона експлуатується чи перевозиться.

Апаратура, що встановлюється на борту ракет різних класів та різного призначення, знаходиться у найбільш несприятливих умовах з точки зору дії вібрацій, ударів і прискорень. При польоті вібрації ракет носять складний характер, котрий визначається впливом працюючого ракетного двигуна та одночасно аеродинамічних ефектів. Характер вібрацій звичайно безладний, а тому вони охоплюють широкий діапазон частот. Частота вібрацій складає

приблизно 2500 Гц при прискореннях до 20g. Характер цих вібрацій синусоїдальний. В момент запуску ракети та при її польоті на бортову радіоелектронну апаратуру впливає акустичний шум, рівень котрого досягає 150дБ. Акустичний шум малих ракет максимальний в момент старту.

Але випробування на акустичний шум дуже кошовні, та їх складно змодельовати через велику кількість чинників. Тому в розрахунках випробування на акустичний шум заміняють випробуваннями на вібрації.

Вплив різних теплових режимів належить до класу кліматичних впливів. А вплив вібрації та акустичних навантажень належать до механічних факторів динамічного впливу [20].

Випробування – це експериментальне визначення кількісних і якісних характеристик параметрів пристрою шляхом впливу на нього або на його модель спланованого комплексу зовнішніх впливаючих факторів [20, 21].

Експериментальне підтвердження теоретичних розрахунків, прийняття припущень і гіпотез, заданих показників якості бортової радіоелектронної апаратури, в умовах, близьких до експлуатаційних, а також отримання даних, що дозволяють визначати резерви підвищення якості конструкторсько-технологічних рішень і резерви надійності пристроїв відбувається під час випробувань [21].

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 [21].

Температурні умови роботи мають вплив на місце встановлення бортових радіоелектронних апаратів, на розташування джерел зовнішнього підігрівання, а також виділення тепла активними елементами всередині. Потрібно забезпечувати, щоб температура нагріву чутливих радіоелементів знаходилась у допустимих межах. Окрім того, для багатьох матеріалів характерне теплове старіння. Працездатність бортової радіоелектронної апаратури залежить від температурного діапазону роботи, у якому радіоелектронна бортова апаратура повинна виконувати функції у робочому стані. Задля виключення виходу із ладу радіоелектронної апаратури в процесі

зберігання та транспортування у неробочому стані вимагається, щоб вона витримувала температури великого робочого діапазону. Дані граничні температури характеризують тепло- і холодо- стійкість конструкції радіоелектронної апаратури.

Випробування на вплив підвищеної температури проводять із метою визначення здатності виробів бортової радіоелектронної апаратури зберігати свої параметри та зовнішній вигляд у межах технічних умов у процесі та після впливу граничного значення температури.

Випробування на зміну температур здійснюються задля визначення здатності пристроїв протистояти швидкій зміні температур [21,22].

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.

Випробування проводять за одним із таких методів (вибір методу залежить від значення резонансних частот конструкції):

- метод 1 - випробування на вібростійкість при впливі синусоїдальної вібрації;
- метод 2 - випробування на вібростійкість при впливі широкосмугової випадкової вібрації.

Випробування за методом 2 виконують для пристроїв, які мають в заданому діапазоні частот не менше 4-х резонансів, якщо до пристроїв пред'явлені вимоги щодо стійкості до впливу випадкової вібрації [22].

Вібростійкість визначає здатність бортової радіоелектронної апаратури виконувати необхідні функції в увімкненому стані за умови дії вібрацій. Віброміцність - це здатність протистояти руйнівним діям вібрації у неробочому стані та нормально працювати після завершення вібраційних навантажень. Вібрації, які мають вплив на конструкцію бортової радіоелектронної апаратури, характеризуються величиною прискорення (в одиницях g) та діапазоном частот.

У процесі експлуатації радіоелектронні апарати піддаються дії вібрацій від зовнішніх джерел коливань. Дуже небезпечні вібрації, частота котрих близька до власних частот коливань елементів та вузлів конструкції.

Випробування проводять із метою перевірки здатності пристрою протистояти руйнівній дії вібрації та зберігати задані параметри у межах значень, що вказані в стандартах та технічних умовах на пристрої і після її впливу [22].

Під час дії вібрації та акустичних навантажень на елементи конструкції бортової радіоелектронної апаратури, у ній 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 [22].

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. Продуктивність та точність таких систем дозволила використовувати їх не лише для аналізу теплових режимів роботи пристроїв, але й для розрахунків дії вібрації та інших [23].

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. У іншому випадку система приводиться до високого ступеня невизначеності, котру людський розум дозволити не може, але в ній може знаходитися найбільш ефективно технічне вирішення. Зараз людський розум досяг меж застосування у якості головного генератора проектних думок. Все це сталося тому, що людське мислення дуже обмежене кількістю логічних рішень, до аналізу котрих людина здатна. У середньому людина здатна прорахувати наслідки

своїх рішень приблизно на три кроки, а далі лежать рішення із високим ступенем невизначеності. Суттєво розширити ці межі добре дозволяють математичні моделі, які дозволяють будувати досить довгі програмні зв'язки [23].

Проектування перетворилось в програмування, але замість коду застосовуються фізичні параметри середовища, а також самого об'єкту проектування та його експлуатаційні вимоги. Все це дозволяє здійснювати велику кількість операцій у пошуках найбільш оптимального рішення. Але і цей підхід себе майже вичерпав, тому що математичні моделі будуються на загальних представленнях людини про те, як це має бути правильним.

Хмарна система Fusion 360 надає можливість виконувати процеси проектування, моделювання, збірки і симуляції випробувань, що полегшує і прискорює розробку приладів бортової радіоелектронної апаратури.

Для проведення симуляції випробувань у хмарній Fusion 360 за допомогою меню Change Workspace необхідно перейти у середовище SIMULATION.

При завантаженні середовища SIMULATION система Fusion 360 дає запит про те, який саме тип аналізу буде виконуватися: статичний, динамічний або температурний. Користувачу залишається лише обрати необхідний вид випробування.

Середовище SIMULATION системи Fusion 360 дає змогу визначитися із декількома напрямками аналізу. Для кожного із них у браузері програми створюється «гілка» із окремими параметрами матеріалів (Materials), зв'язків (Constraints) та навантажень (Loads). Для того, щоб додати вид аналізу в середовищі SIMULATION існує кнопка STUDY.

Таким чином, для проведення досліджень пристрою бортової радіоелектронної апаратури методика буде розроблятися з урахуванням теплових режимів роботи та дії вібрації і ударних навантажень під час роботи пристрою. Розробку спрощеної моделі пристрою бортової радіоелектронної апаратури та симуляцію теплових режимів роботи та дії вібрації і ударних навантажень під час роботи пристрою можна провести у хмарній системі Fusion 360.

1.4 Постановка задачі

Метою дипломної роботи є розробка методики дослідження динамічних навантажень та теплових режимів бортової радіоелектронної апаратури, що встановлюється на ракетній техніці.

Конструювання і технологія виробництва є окремими частинами складного процесу розробки бортової радіоелектронної апаратури, і в сучасних умовах не можуть виконуватися окремо, без урахування взаємозв'язків між собою і іншими етапами створення приладів. Етапи процесу "розробка - виробництво - експлуатація", технологія і конструювання визначають загальні споживчі властивості радіоелектронної апаратури.

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

- 1) Проаналізувати можливості САПР для моделювання в хмарах;
- 2) Описати конструкцію герметичного пристрою бортової радіоелектронної апаратури;
- 3) Розробити 3D-модель досліджуваного пристрою бортової радіоелектронної апаратури;
- 4) Визначитися із видами випробувань для досліджуваного пристрою бортової радіоелектронної апаратури;
- 5) Розробити методику моделювання дослідження теплових режимів роботи бортової радіоелектронної апаратури;
- 6) Розробити методику моделювання дослідження динамічних навантажень під час роботи бортової радіоелектронної апаратури.

Поява нового технічного виробу у будь-якій галузі – дуже складний і часто суперечливий процес. Особливо це стосується виробів радіоелектронної апаратури, функціонування котрих засновано на дуже широкому спектрі хімічних, фізичних та інших явищ. Нова техніка за результатами останніх науково-технічних досягнень, допомагає розвитку продуктивних сил суспільства та задоволенню вимог у продукції найвищої якості, ніж відомі прототипи чи аналоги. Найважливішим етапом для успішних дій у виробництві нової техніки є прогнозування. В ході науково-дослідних робіт та

дослідно-конструкторських робіт проводиться визначення з головними напрямками досліджень та розробок із метою концентрації зусиль на них [23].

Бортова радіоелектронна апаратура, що розробляється, повинна відповідати конструктивно-технологічним вимогам, тактико-технічним вимогам, експлуатаційним вимогам, економічним вимогам та вимогам надійності. Дані вимоги висуваються до електроарматури, радіоелементів, друкованих плат та інших конструктивних елементів радіоапаратури, а також методам зборки вузлів та модулів. Максимальне задоволення цим вимогам є дуже складною інженерною задачею. Окрім того, дані вимоги повинні відповідати рекомендаціям державних стандартів. До конструктивно-технологічних вимог відносяться: технологічність, мінімальна номенклатура комплектуючих виробів, забезпечення функціонально-вузлового принципу побудови конструкції радіоелектронних апаратів, ремонтпридатність, зручний доступ до вузлів і елементів, забезпечення безпечної роботи оператора, захист від несанкціонованого доступу [24].

Конструктивні характеристики нового пристрою, в тому числі комплектуючі деталі, залежать від умов експлуатації апаратури. Інтенсивність впливу механічних, кліматичних та радіаційних чинників визначають ступінь захисту радіоелектронних апаратів, що значно впливає на її економічні показники, масо-габаритні показники та показники надійності.

Бортова радіоелектронна апаратура встановлюється на вертольотах, літаках та ракетах різного класу, штучних супутниках Землі, керованих снарядах і космічних апаратах [24,25].

Як бачимо, процес експлуатації бортової радіоелектронної апаратури досить складний. На бортову радіоелектронну апаратуру під час роботи діє багато факторів. Реальні випробування пристроїв бортової радіоелектронної дуже складні та коштовні.

Відбулося покращення у зв'язку із розвитком систем автоматизованого комп'ютерного проектування та появою програмних засобів інженерного аналізу, які дозволяють проводити математичне моделювання дії вібрації та температурних режимів у різних пристроях до стадії їх виготовлення [25].

По завершенню процесу комп'ютерного моделювання стають доступними інструменти дослідження моделі бортової радіоелектронної апаратури, які дозволяють отримати необхідну інформацію про дію динамічних навантажень на пристрій, тепловий режим його роботи.

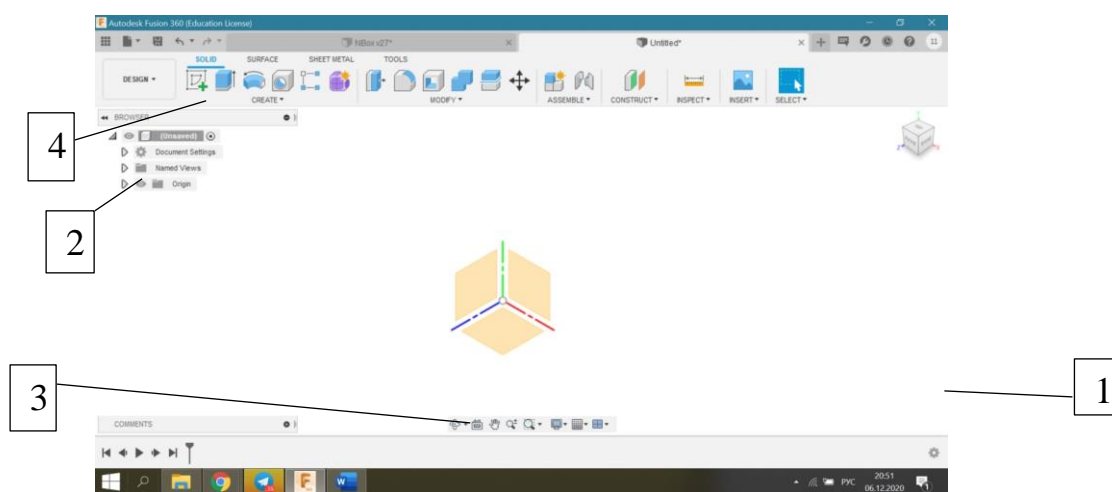
Таким чином, в даній роботі необхідно визначитися із вимогами до проведення симуляцій. Необхідно провести опис конструкції герметичного пристрою бортової радіоелектронної апаратури, розробити 3D-модель герметичного блоку бортової радіоелектронної апаратури – етажерочну конструкцію із 5-ма друкованими платами, розміщеними горизонтально, а також провести дослідження випробувань теплових режимів роботи пристрою, дослідження дії вібрацій на його роботу у програмному хмарному середовищі Autodesk Fusion 360.

2 РОЗРОБКА 3D-МОДЕЛІ ПРИЛАДУ БОРТОВОЇ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ

2.1 Створення нового проєкту у середовищі хмарного Fusion 360

Для проведення моделювання геометричної моделі блоку бортової радіоелектронної апаратури обрано програму хмарного Fusion 360.

Головною особливістю Fusion 360 у порівнянні з іншими системами 3D-моделювання є тісна інтеграція із сітьовим сховищем Autodesk. Це означає, що усі проєкти, що створюються у програмі, не будуть прив'язані до локальної директорії, а будуть знаходитися у хмарі, доступ до котрої користувач отримає після реєстрації свого облікового запису. Інтерфейс Fusion 360 розроблений у відповідності із сучасними тенденціями до мінімізації габаритів та лаконічності. Приклад інтерфейсу головного вікна Fusion 360 наведений на рисунку 2.1.



1— робоча область;

2 — браузер структури об'єкту; 3 — командна стрічка;

4 — панель Change Workspace

Рисунок 2.1 - Інтерфейс головного вікна Fusion 360

Головне вікно програми містить чотири основних фрагменти: робоча область 1, яка представлена сіткою та напрямком заданих координат, браузер

структури об'єкту 2, стрічка команд 3, яка згрупована за основними операціями, та панель Change Workspace 4, що дозволяє відображати об'єкт в усіх площинах, які цікавлять.

Для того, щоб розпочати роботу у програмі, необхідно створити новий проєкт, як це показано на рисунку 2.2. Цікавою особливістю даної системи є її повна універсальність відносно об'єкту, що розробляється: створюючи проєкт, користувач не визначає його цільову приналежність, це відбувається безпосередньо у процесі роботи у програмі. Таким чином, можливо створювати деталі, збірки, візуалізацію, анімацію, симуляцію, виконуючи для створення проєкту один і той же алгоритм дій.

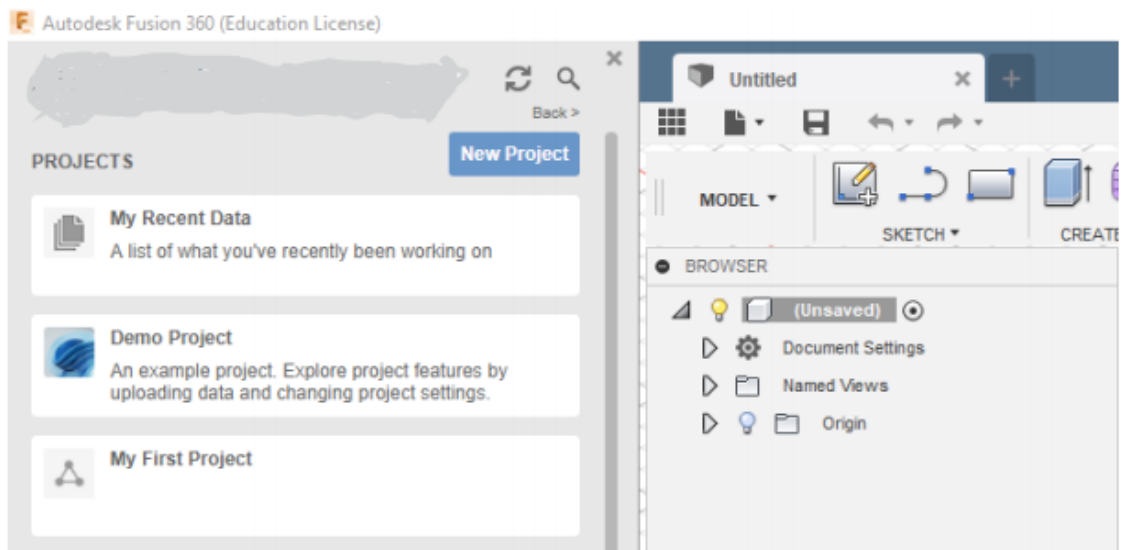


Рисунок 2.2 - Створення проєкту у середовищі Fusin 360

Для того, щоб перейти до відповідного набору інструментів, необхідно визначити об'єкт, що створюватиметься, кнопкою Change Workspace у стрічці. Це показано на рисунку 2.3.

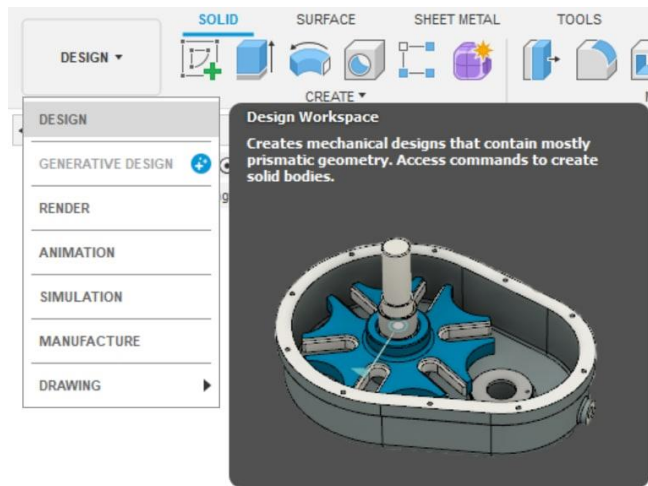


Рисунок 2.3 - Панель Change Workspace

2.2 Методика створення ескізів при побудові моделей

Для створення ескізів при побудові моделей використовується панель інструментів ескізу, яка показана на рисунку 2.4.

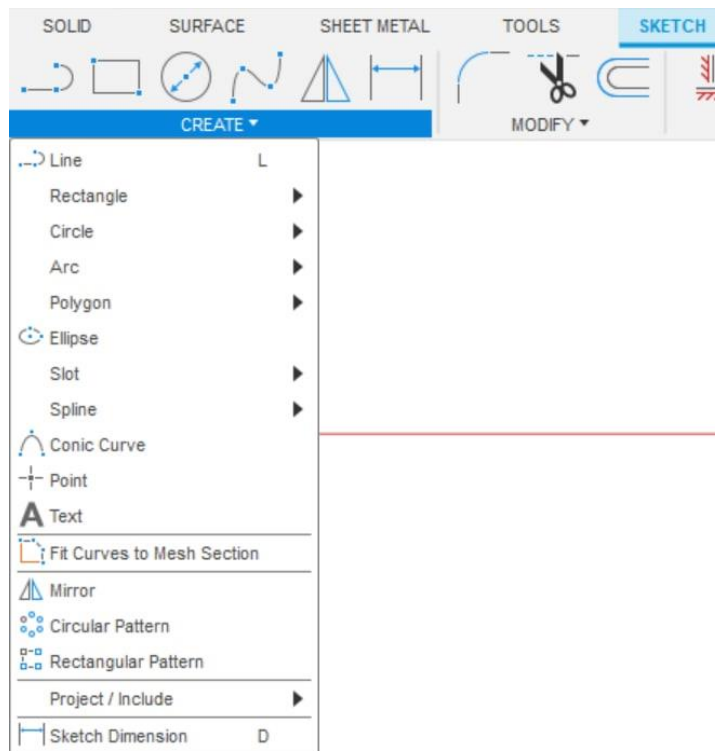


Рисунок 2.4 – Панель інструментів ескізу

Для того, щоб отримати базовий набір команд та робоче середовище для створення моделей, слід обрати пункт Design. На екрані буде представлений відповідний інструментарій команд, які згруповані за основними робочими

задачами: Sketch (для створення ескизу), Create (для генерації об'ємної форми на базі ескизу), Modify (для додавання та редагування додаткових конструктивних елементів), Assemble (для створення збірок), Construct (допоміжна геометрія).

2.3 Методика створення 3D-моделі основи із стійками блоку бортової радіоелектронної апаратури

Для того, щоб детально ознайомитися із функціоналом Fusion 360, розробимо методику створення 3D-моделі блоку бортової радіоелектронної апаратури.

Крок 1. Починається створення ескизу з того, що в меню необхідно зайти у вкладку «Solid» та натиснути кнопку «Create sketch».

Створюємо нижню плиту за допомогою інструментів ескизу, таких як лінія та прямокутник. Після цього даний ескіз витягуємо операцією «Extrude». Дана операція показана на рисунку 2.5.

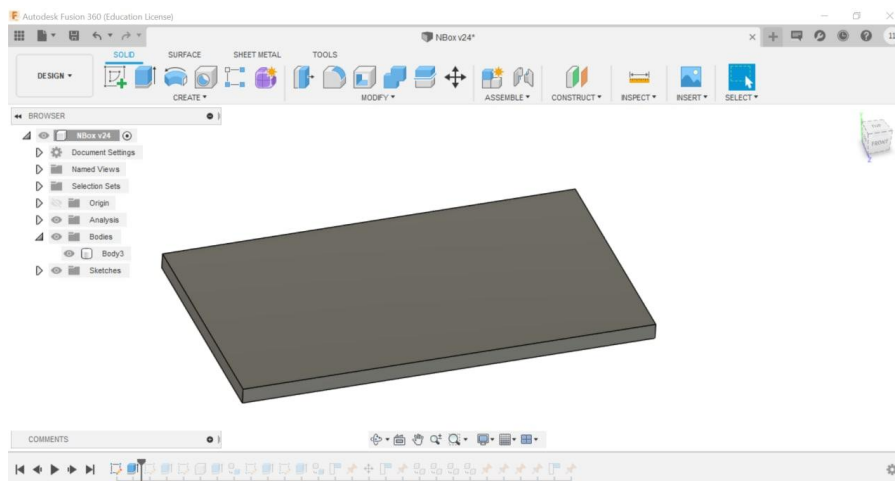


Рисунок 2.5 – Початок створення нижньої плити

Крок 2. Створення ескизу для побудови стійок проводиться за допомогою інструментів ескизу, таких як допоміжні лінії та кола. Дана операція показана на рисунку 2.6.

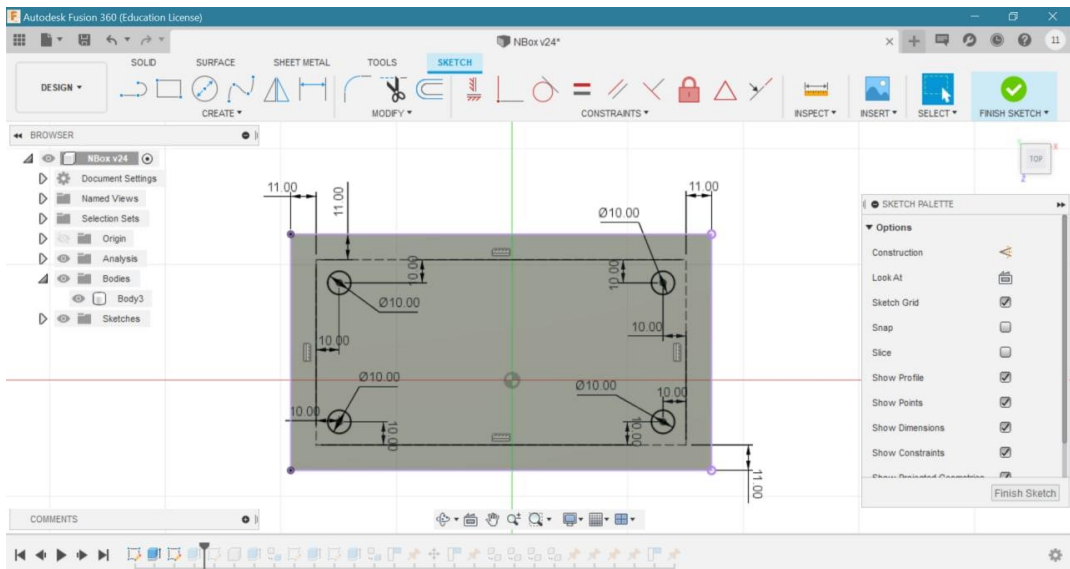


Рисунок 2.6 - Створення ескізу для побудови стійок

Крок 3. Для витягування стійок необхідно зайти у вкладку «Solid» та натиснути кнопку «Extrude». Дана операція показана на рисунках 2.7, 2.8.

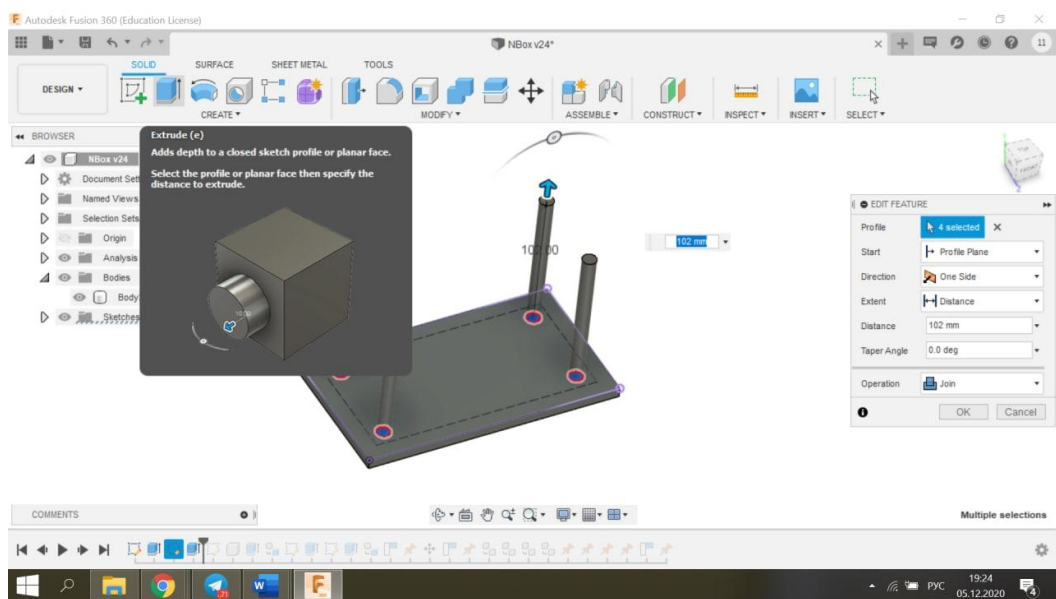


Рисунок 2.7 – Інструмент операції витягування

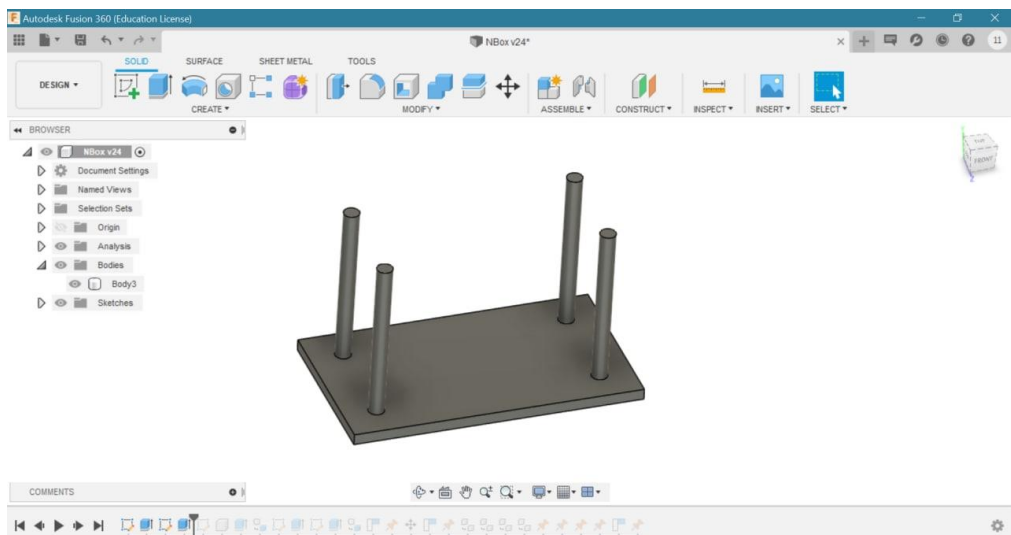


Рисунок 2.8 – Операція витягування стійок

2.4 Методика створення 3D-моделі кришки пристрою бортової радіоелектронної апаратури

Крок 4. Створення ескізу для побудови кришки приладу проводиться за допомогою інструментів ескізу, таких як лінія та прямокутник. Дана операція показана на рисунку 2.9.

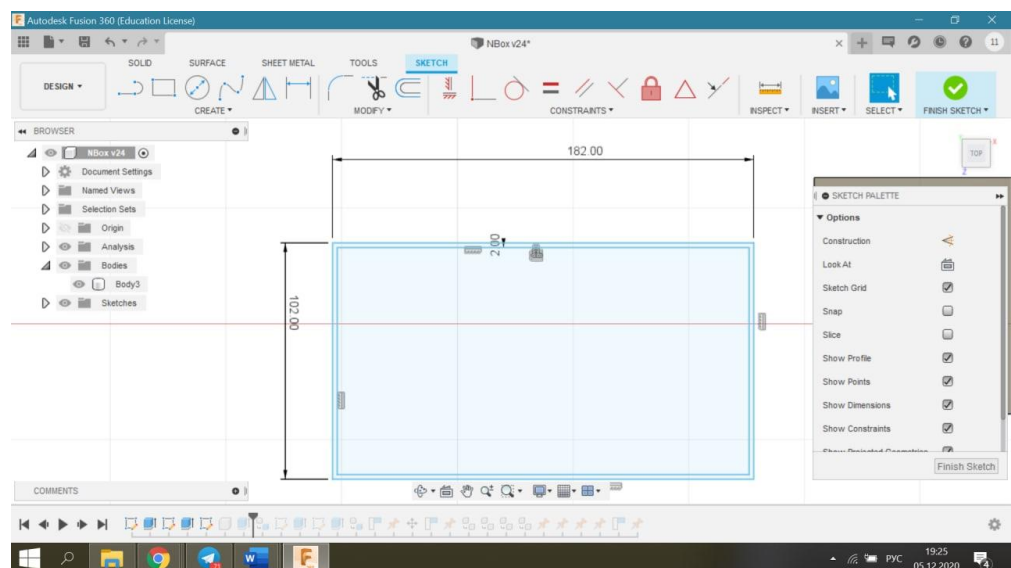


Рисунок 2.9 - Створення ескізу для побудови кришки

Крок 5. Для витягування стінок кришки необхідно зайти у вкладку «Solid» та натиснути кнопку «Extrude». Дана операція показана на рисунку 2.10.

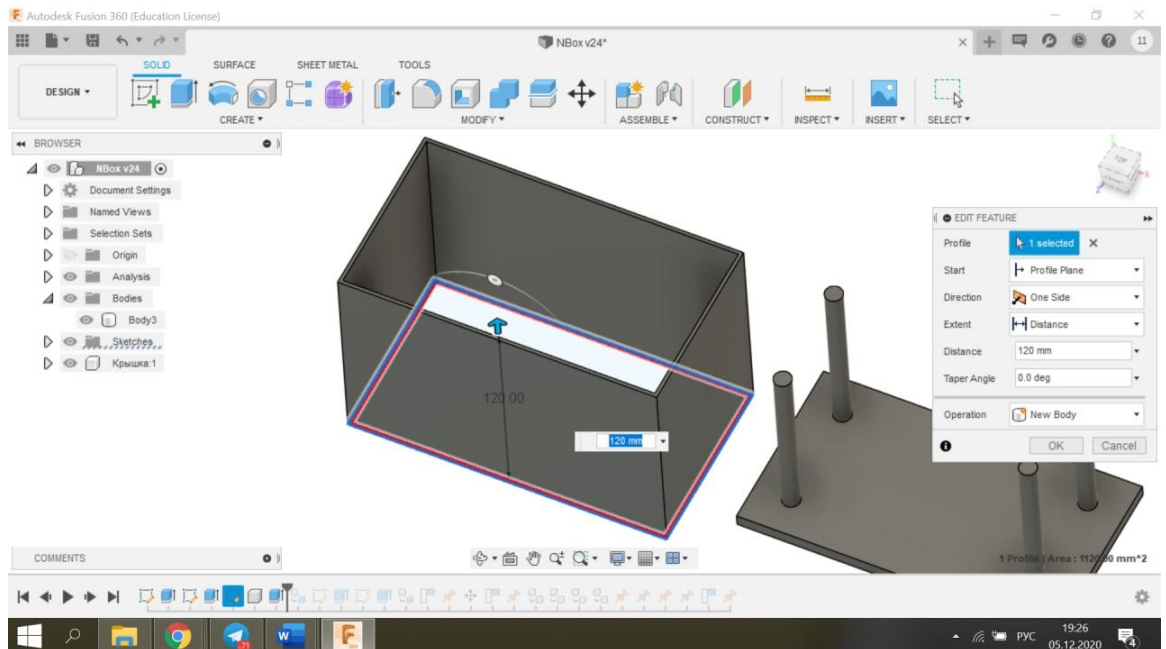


Рисунок 2.10 – Операція витягування стінок кришки

Крок 6. Витягування дна кришки також здійснюється за допомогою вкладки «Solid» та кнопки «Extrude». Дана операція показана на рисунку 2.11.

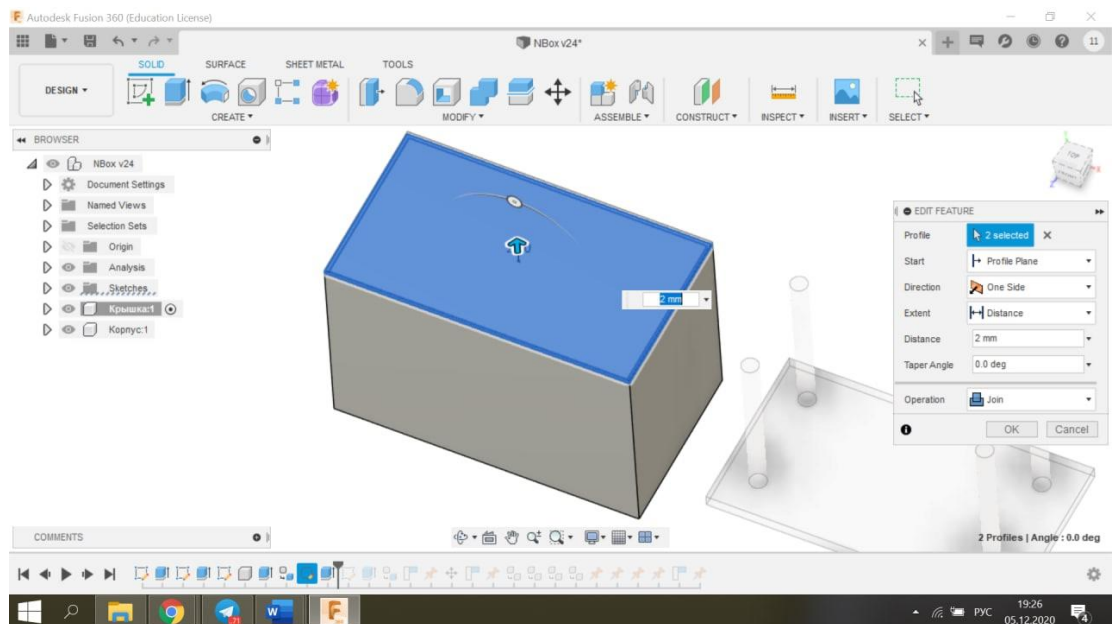


Рисунок 2.11 – Операція витягування дна кришки

2.5 Методика створення 3D-моделі друкованих плат пристрою бортової радіоелектронної апаратури

Крок 7. Створення ескізу для побудови друкованих плат проводиться за допомогою інструментів ескізу, таких як лінії, коло та прямокутник. Дана операція показана на рисунку 2.12.

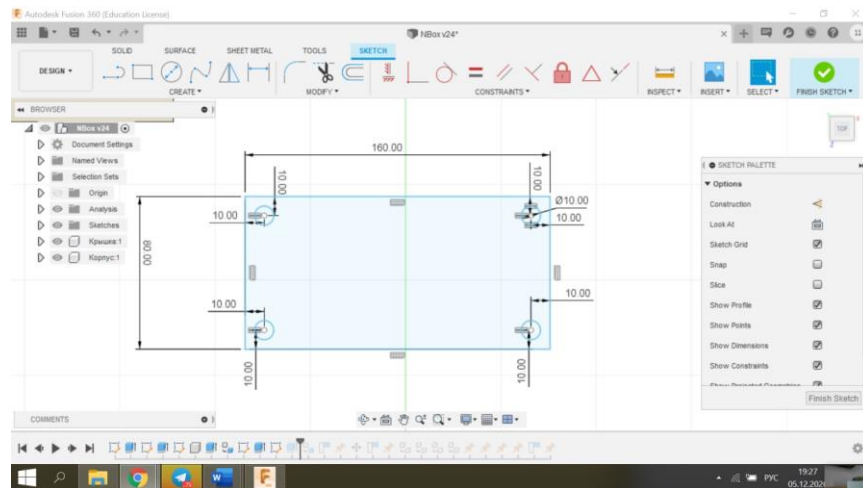


Рисунок 2.12 - Створення ескізу для побудови друкованих плат

Крок 8. Витягування друкованої плати здійснюється за допомогою вкладки «Solid» та кнопки «Extrude». Дана операція показана на рисунку 2.13.

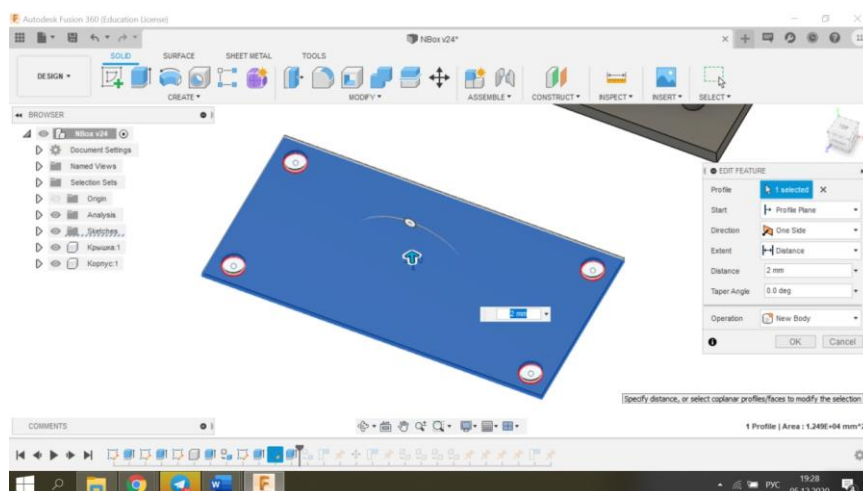


Рисунок 2.13 – Операція витягування друкованої плати

2.6 Методика збірки компонентів пристрою бортової радіоелектронної апаратури

Крок 9. Встановлення друкованої плати на стійки відбувається за допомогою інструмента переміщення у вкладці «Solid» та кнопки «Move». Дана операція показана на рисунках 2.14, 2.15.

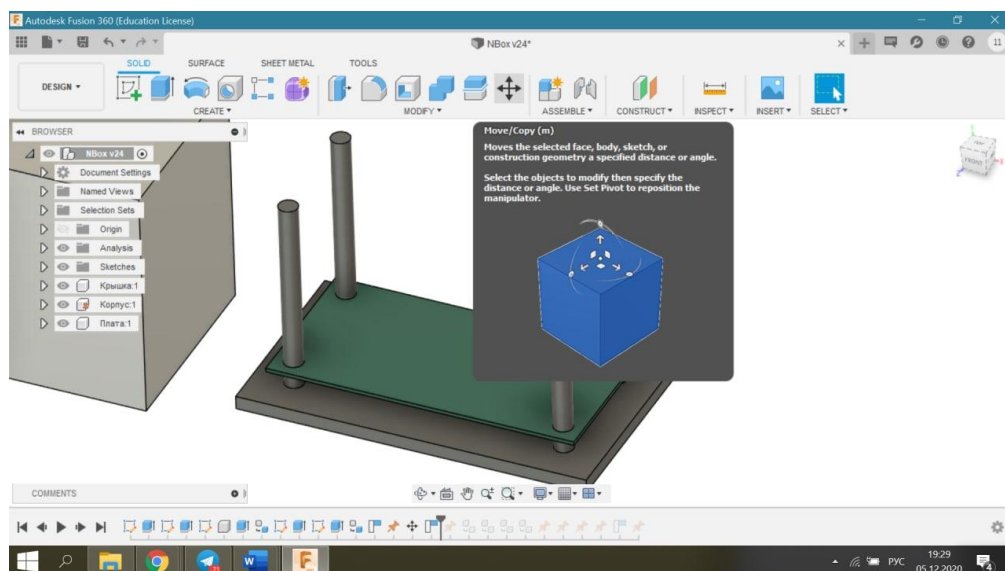


Рисунок 2.14 – Інструмент переміщення «Move»

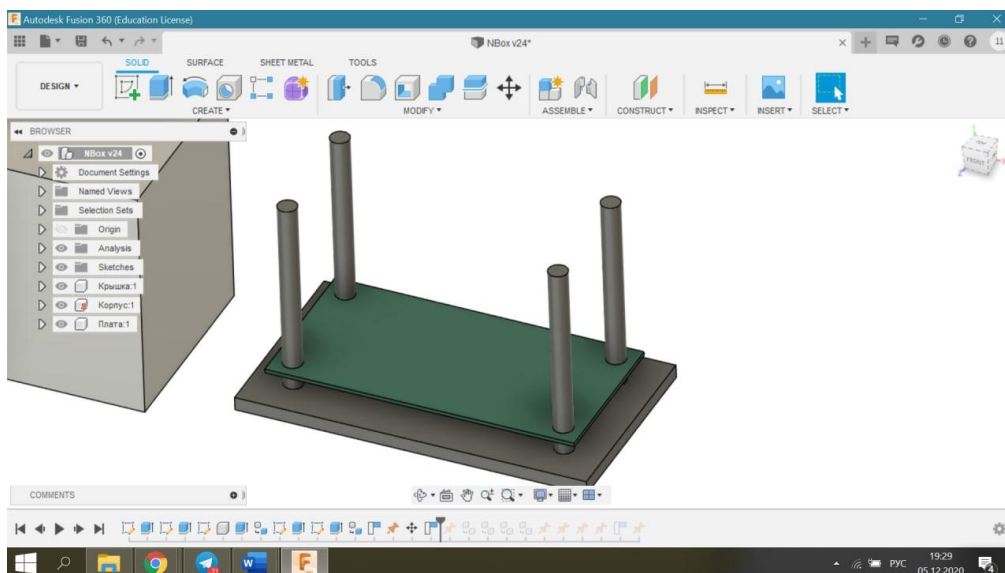


Рисунок 2.15 – Операція встановлення друкованої плати на стійки за допомогою інструмента переміщення

Крок 10. Копіювання друкованої плати здійснюється за допомогою гарячих клавіш **ctrl+c** для копіювання тіла та **ctrl+v** для вставки. Дана операція показана на рисунках 2.16, 2.17.

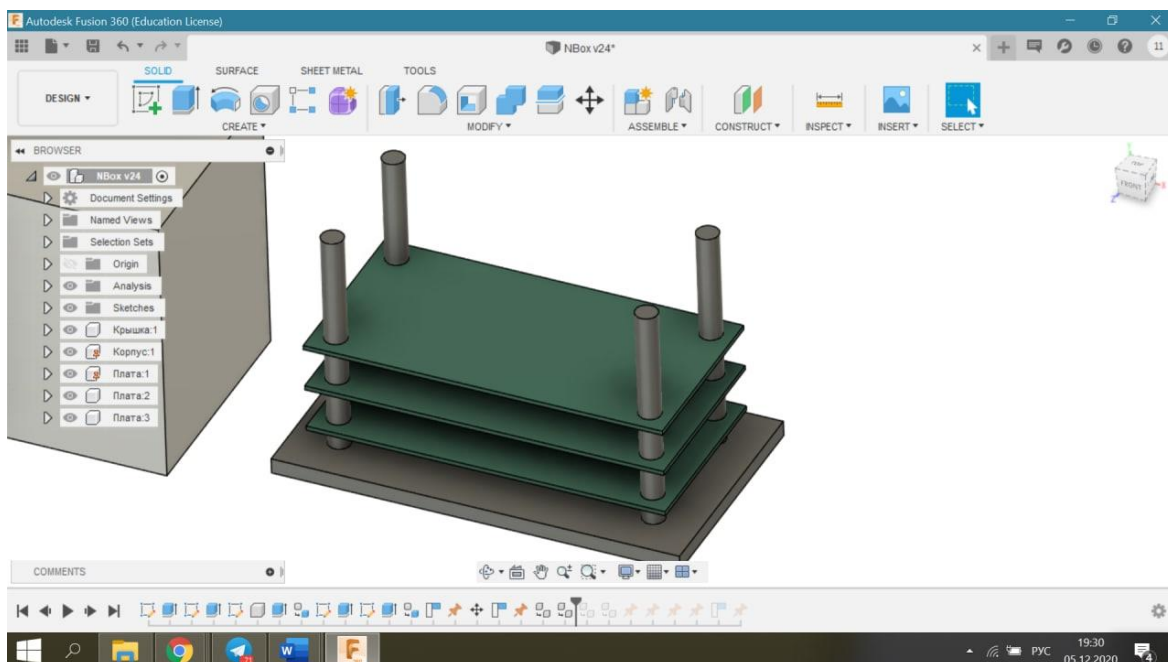


Рисунок 2.16 – Операція копіювання друкованої плати

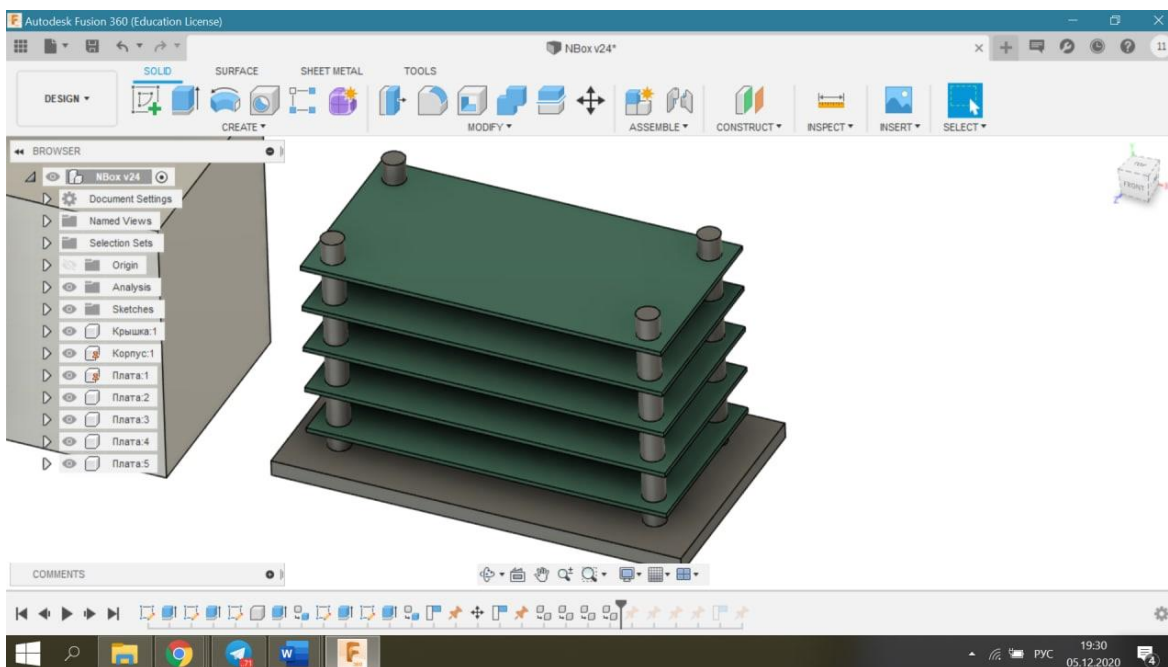


Рисунок 2.17 – Друковані плати, що розміщуються на стійках

Крок 11. Для того, щоб кришка зайняла своє місце у конструкції блоку бортової радіоелектронної апаратури застосовується інструмент переміщення інструмента вирівнювання «Align». Дана операція показана на рисунку 2.18, а

остаточний вигляд моделі блоку бортової радіоелектронної апаратури на рисунку 2.19.

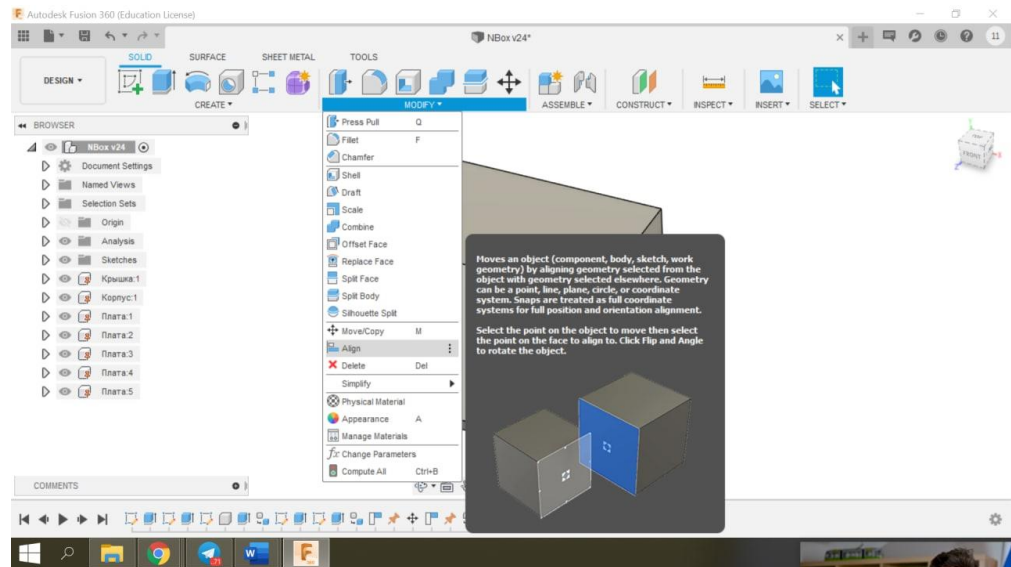


Рисунок 2.18 – Операція вирівнювання положення кришки у конструкції блоку

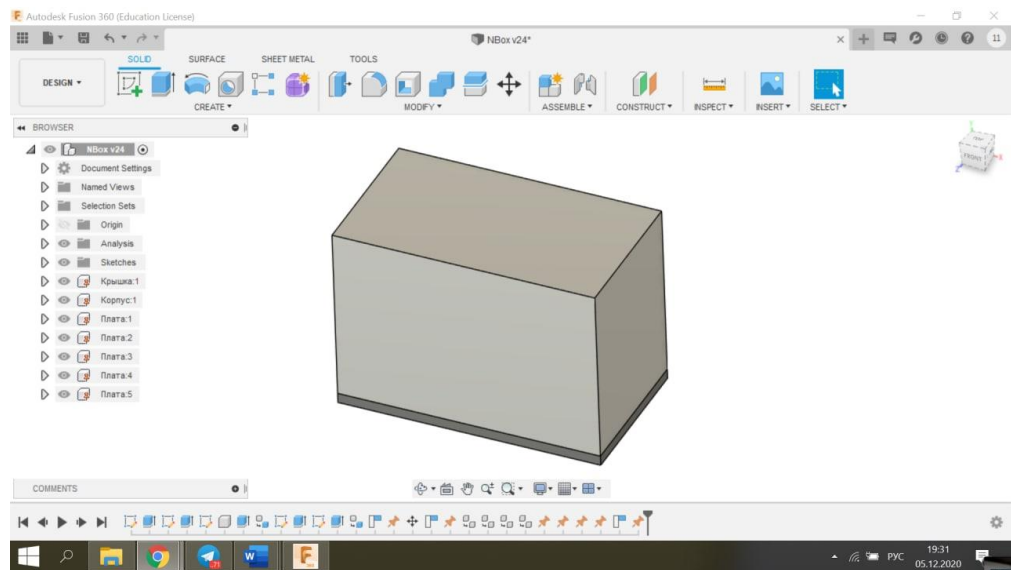


Рисунок 2.19 - Остаточний вигляд моделі блоку бортової радіоелектронної апаратури

Процес створення моделі блоку бортової радіоелектронної апаратури у програмному середовищі Fusion 360 відображується на таймлайні або хронології. Це аналог дерева побудови, на котрому можна відслідкувати усі операції та їх порядок здійснення. Таймлайн створення моделі блоку бортової радіоелектронної апаратури наведений на рисунку 2.20.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ПРИСТРОЮ БОРТОВОЇ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ

3.1 Обладнання для проведення випробувань теплових режимів

Обладнання для проведення випробувань теплових режимів має вигляд універсальних установок, які можуть проводити випробування теплових режимів як знижених, так і підвищених температур.

Існують технічні умови роботи для кожного елемента бортової радіоелектронної апаратури. Необхідно провести перевірку максимального теплового навантаження елементів в залежності від умов їх роботи. Для проведення випробувань теплових режимів у камерах кліматичних випробувань повинно вільно циркулювати повітря. Задля забезпечення цього відстань між стінками камери та виробами повинна бути не менше, ніж 100 мм [26].

Поверхня стінок камери повинна мати коефіцієнт чорноти більше 0,8 ($\epsilon \geq 0,8$) для того, щоб мінімізувати вплив віддзеркалення від стінок камери теплового випромінювання [26].

Об'єм камер обирається в залежності від розмірів апаратури, яка випробовується, згідно із нормами держстандартів.

Тепловий режим у камерах забезпечується завдяки розміщенню нагрівальних елементів на стінках, на дні та двері камери. У якості термочувливих датчиків виступають терморезистори або термопари. Контроль температури та її регулювання здійснюється за допомогою контактних ртутних термометрів, потенціометрів, електронних мостів, спеціальних програмних пристроїв [26].

Зараз найбільш відомі камери «EXCAL» французької компанії «CLIMATS». Саме у цих камерах було вбудовано комп'ютер перший раз у світі у 1987 р. Вигляд даної камери наведено на рисунку 3.1 [26].



Рисунок 3.1 - Камера «EXCAL» класу холод/тепло

В таких камерах можливо реалізувати випробування теплових режимів від -90°C до $+180^{\circ}\text{C}$ [26].

Таким чином, наведену камеру можна використати для проведення випробувань теплових режимів пристрою бортової радіоелектронної апаратури.

3.2 Методика моделювання теплових режимів роботи пристрою за допомогою хмарної системи Fusion 360

В основі розрахунків у хмарній Fusion 360 лежить Autodesk Nastran In-CAD – вбудована у САПР базова система розрахунків методом кінцевих елементів (МКЕ), у основі котрої лежить розрахунковий модуль Autodesk Nastran. У Fusion 360 реалізовано генератор розрахункової сітки, який за замовченням генерує сітку кінцевих елементів у автоматичному режимі. Є також можливість самостійно настроїти параметри генерації сітки та вручну виділити окремі зони, де необхідно задати особливі параметри сітки. При формуванні сіток у великих габаритах обчислювального простору система застосовує адаптивні сітки, де розмір комірок зменшено для дрібних об'єктів або відбувається зміна форми чи напрямку потоку.

Основні етапи методики моделювання теплових режимів у хмарній Fusion 360 в середовищі SIMULATION наведені нижче.

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

Крок 2. Створення проєкту у середовищі «Simulation Workspace» – вибір задачі, із урахуванням теплопередачі у пристрої.

Крок 3. Завдання параметрів оточуючого середовища та матеріалів пристрою.

Крок 4. Завдання температурних умов роботи пристрою – потужності джерела тепла, температури оточуючого середовища.

Крок 5. Завдання базової розрахункової сітки.

Крок 6. Адаптація базової розрахункової сітки для проведення найбільш точних розрахунків.

Крок 7. Запуск процесу симуляції.

Крок 8. Аналіз результатів симуляції – визначення координат, значень максимальної температури нагріву друкованих плат у пристрої та перепад температури на платі та у середині корпусу.

Застосування алгоритму розглянуто на моделі герметичного блоку етажерочної конструкції з кількістю друкованих плат $n = 5$, відстань між платами $h_p = 20$ мм та діаметром стійок $d_c = 10$ мм. Товщина основи корпусу складала $h_o = 7$ мм, а товщина кришки корпусу та плат – $h_k = h_{п} = 2$ мм. Відстань від краю плати до кришки корпусу приймалась рівною $l = 10$ мм. Коефіцієнт чорноти усіх поверхонь складав $\varepsilon = 0,91$. Коефіцієнт теплопровідності стійок та корпусу мав значення $\lambda_k = 140$ Вт/м·К, а коефіцієнт теплопровідності друкованих плат – $\lambda_{п} = 3(40)$ Вт/м·К в аксіальному та радіальному напрямках відповідно. Плати розсіювали потужність $P_1 = 3,0$ Вт, $P_2 = 2,5$ Вт, $P_3 = 2,0$ Вт, $P_4 = 1,5$ Вт, $P_5 = 1,0$ Вт. Температура зовнішнього середовища мала значення $T_c = 50$ °С.

Методика моделювання теплових режимів роботи пристрою бортової радіоелектронної апаратури у системі Fusion 360 розроблена та наведена нижче.

Крок 1. Обираємо режим симуляції випробувань у середовищі «Simulation Workspace» та заходимо в нього. Даний етап показано на рисунку 3.2.

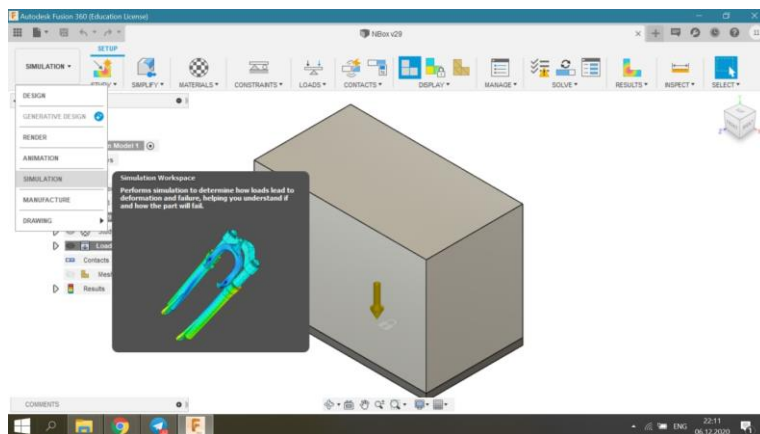


Рисунок 3.2 – Вибір режиму симуляції випробувань та вхід до нього

Крок 2. Здійснюємо вибір дослідження за допомогою інструменту «New simulation study». Даний етап показано на рисунку 3.3.

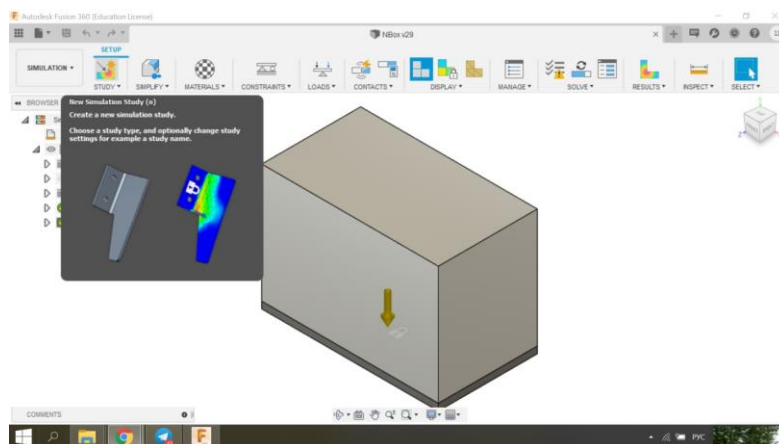


Рисунок 3.3 – Вибір дослідження

Крок 3. Створення дослідження теплових режимів роботи із наявних елементів у дослідженнях. Даний етап показано на рисунку 3.4.

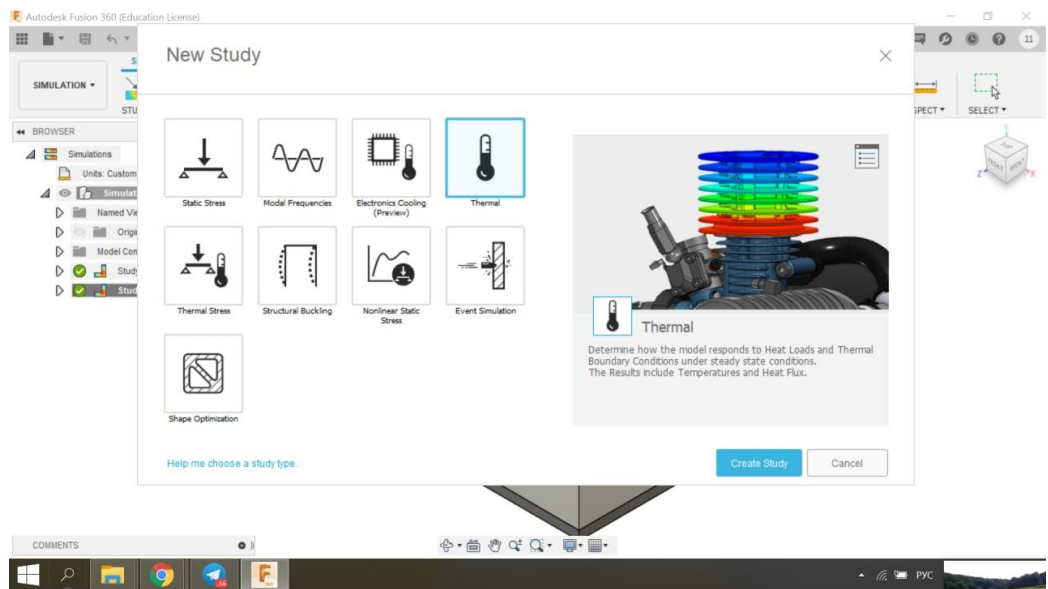


Рисунок 3.4 – Створення дослідження теплових режимів роботи

Крок 4. Перевіряємо матеріали компонентів за допомогою меню «Materials». Даний етап показано на рисунках 3.5, 3.6.

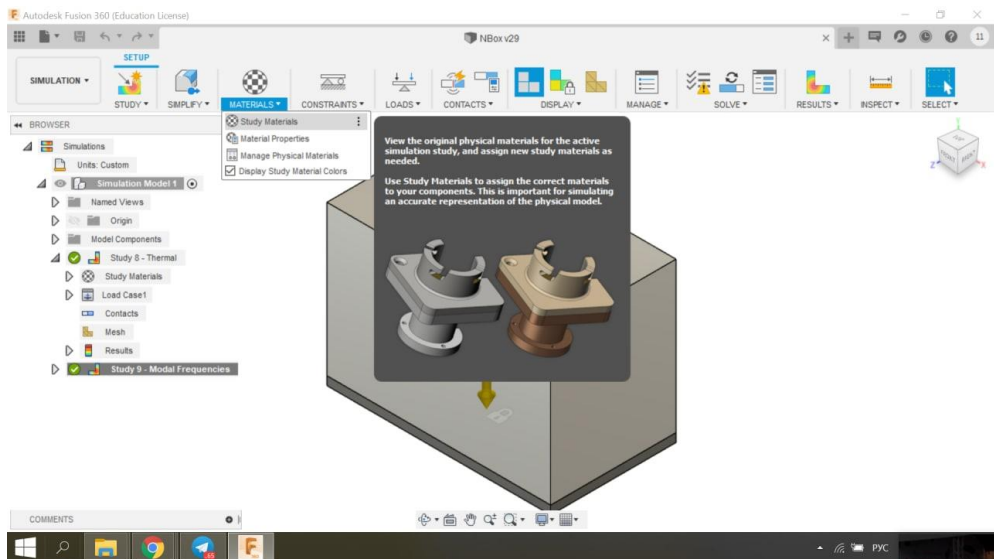


Рисунок 3.5 – Перевірка матеріалів компонентів

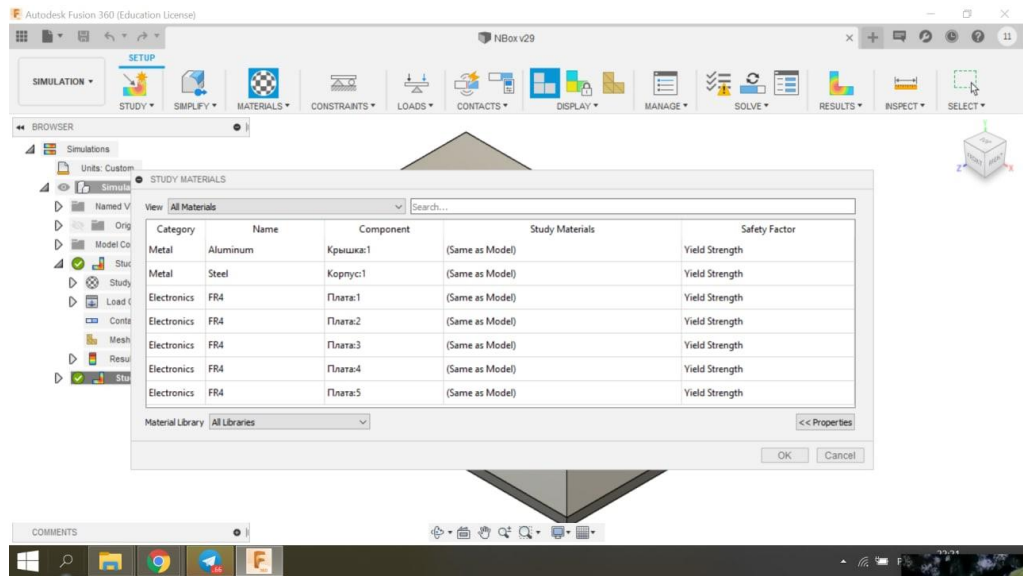


Рисунок 3.6 – Інформація про матеріали компонентів блоку

Крок 5. Вибір термічних навантажень на компоненти блоку бортової радіоелектронної апаратури проводиться у меню «Loads» - «Thermal loads». Початок роботи із даним меню показаний на рисунку 3.7.

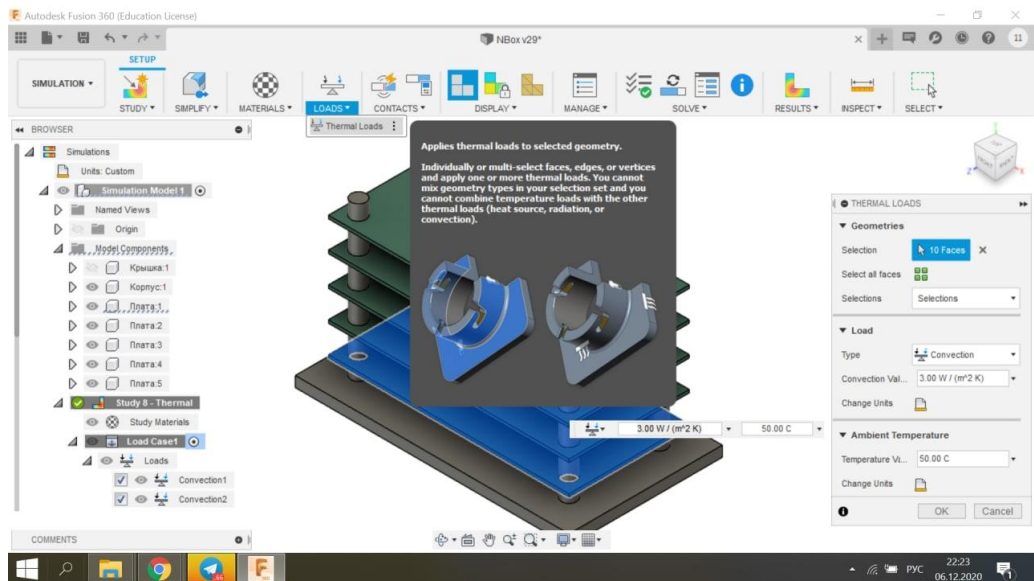


Рисунок 3.7 – Меню вибору термічних навантажень на компоненти блоку бортової радіоелектронної апаратури

За допомогою даного меню обираються термічні навантаження на друковані плати, кришку та основу корпусу блоку бортової радіоелектронної апаратури, що показано на рисунках 3.8, 3.9, 3.10.

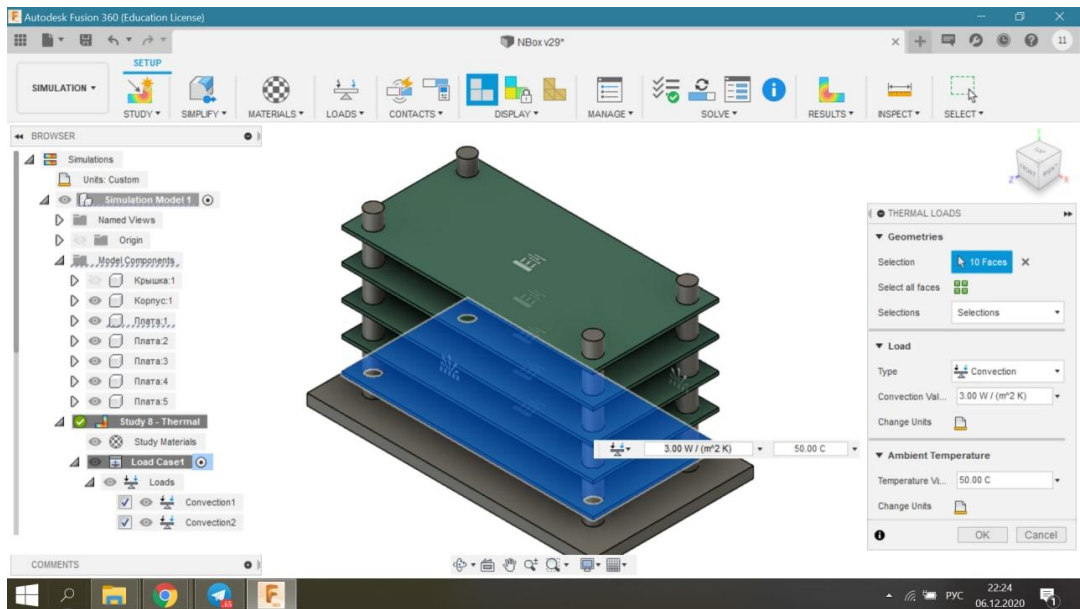


Рисунок 3.8 – Вибір термічного навантаження на друковану плату

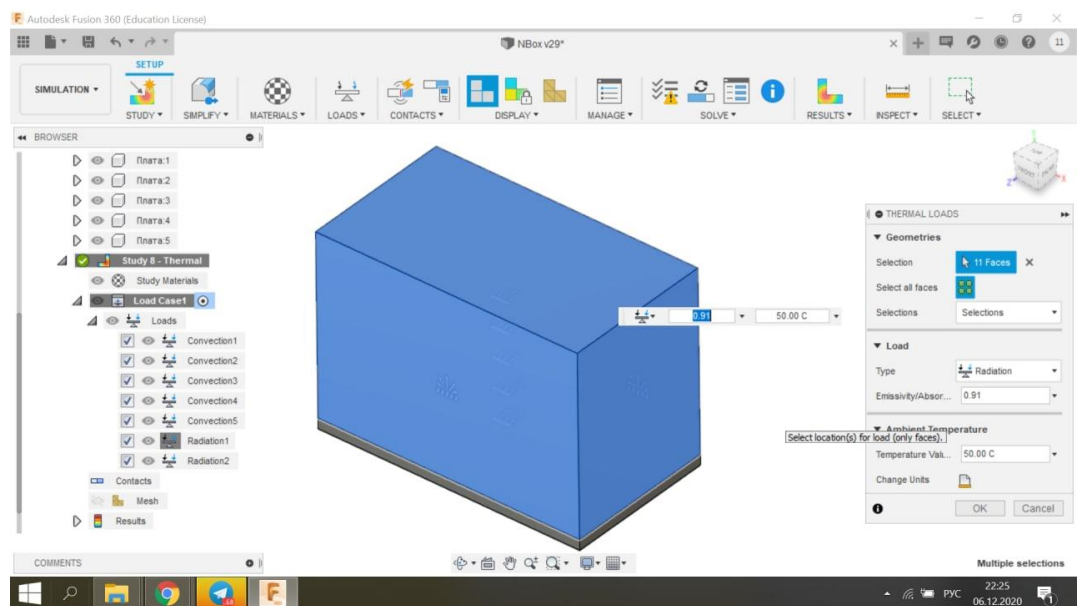


Рисунок 3.9 – Вибір термічного навантаження на кришку блоку

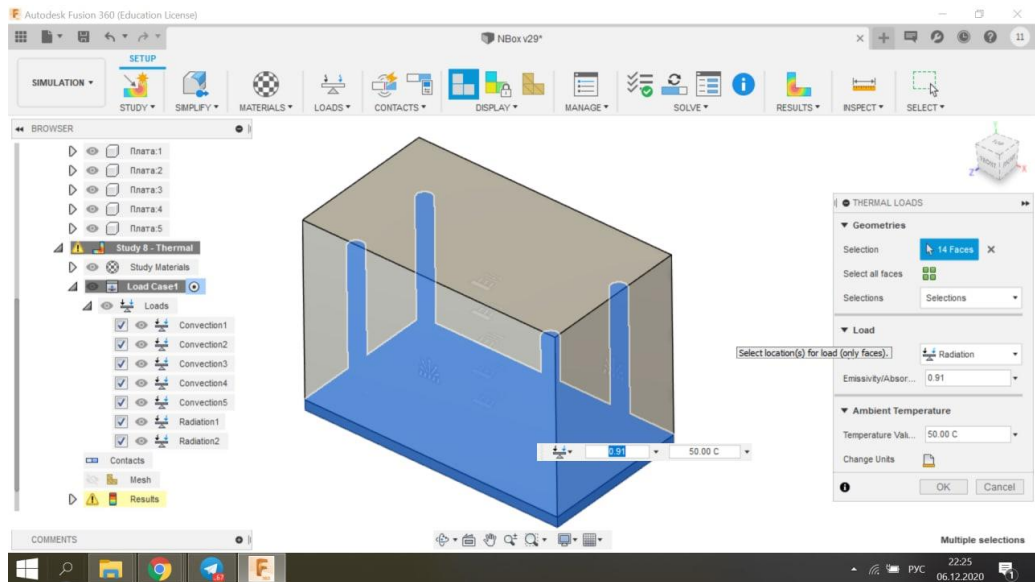


Рисунок 3.10 – Вибір термічного навантаження на основу блоку корпусу

Крок 6. Включення режиму дослідження проводиться за допомогою інструменту «Solve» на панелі інструментів. Даний етап показаний на рисунку 3.11.

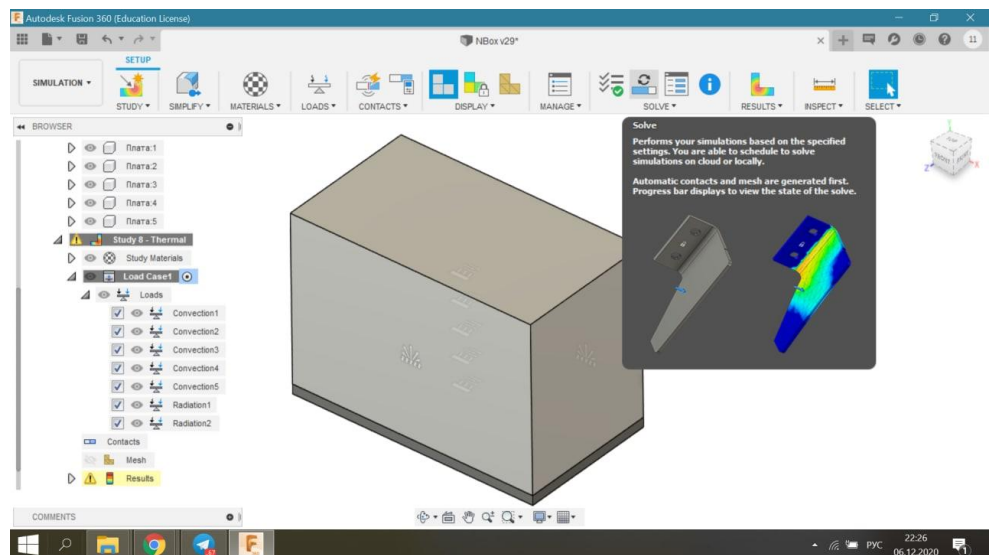


Рисунок 3.11 – Включення режиму дослідження

Крок 7. Очікування рішення після запуску режиму дослідження можна спостерігати в режимі online. Даний процес виглядає так, як наведено на рисунку 3.12.

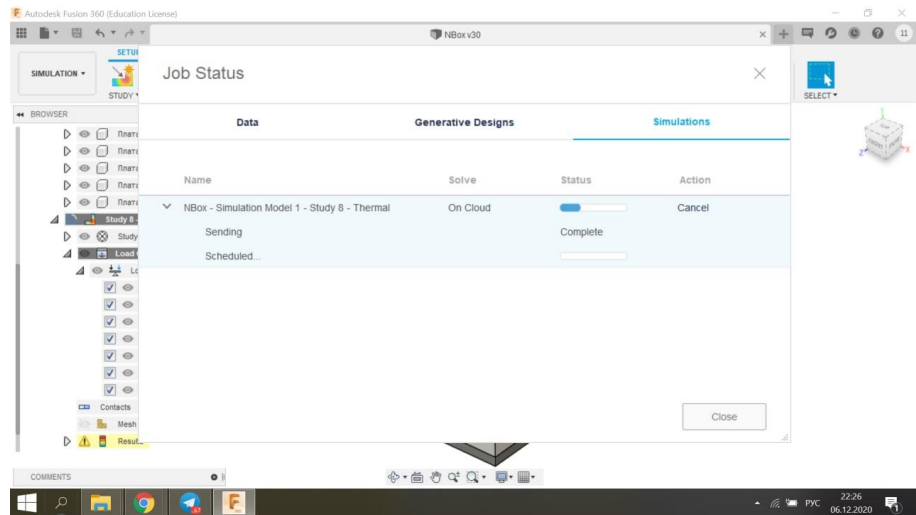


Рисунок 3.12 – Очікування рішення після запуску режиму дослідження

Крок 8. По завершенню досліджень, на екрані можна спостерігати інформацію про завершення рішення випробувань, які наведені на рисунку 3.13.

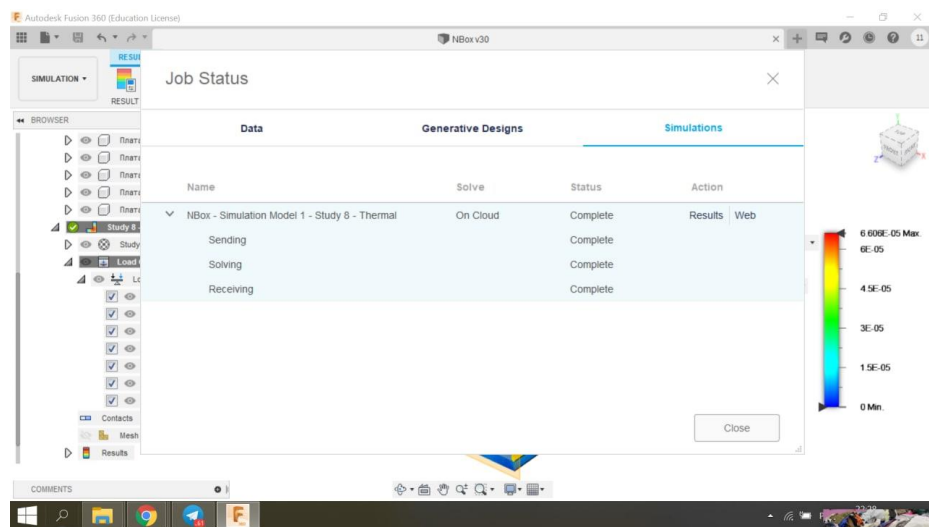


Рисунок 3.13 – Завершення рішення випробування

Крок 9. Для того, щоб отримати результат, необхідно включити режим перерізу за допомогою меню «results» - «finish results». Даний етап показано на рисунку 3.14.

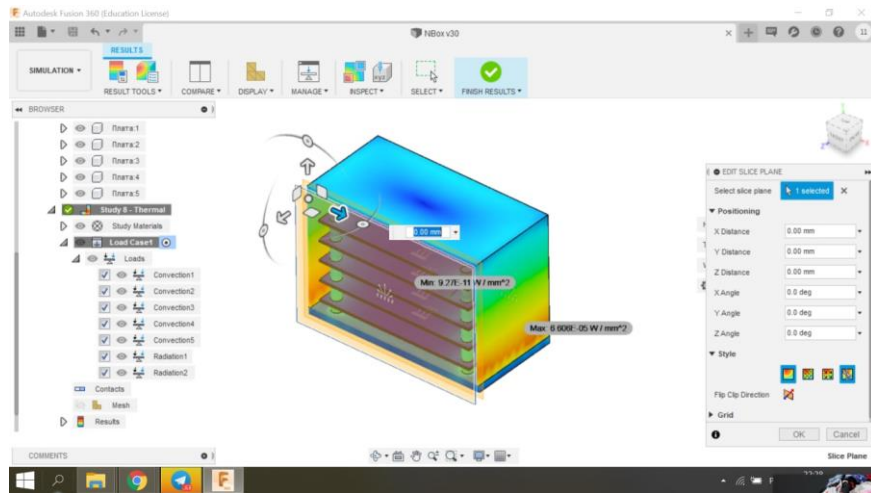


Рисунок 3.14 – Ввімкнення режиму перерізу

Крок 10. Вибір режиму відображення результатів випробування на екрані відбувається за допомогою меню «results» - «finish results». Даний етап показано на рисунку 3.15.

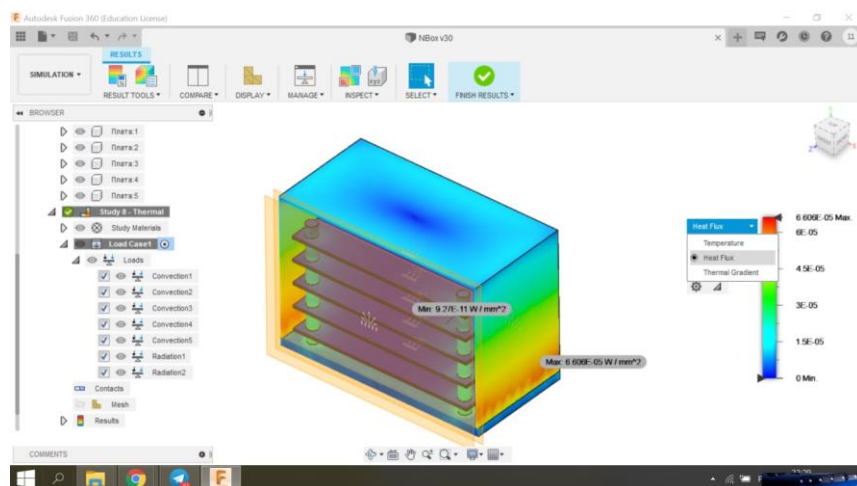


Рисунок 3.15 – Вибір режиму відображення результатів випробування

Таким чином, розроблено методику моделювання теплових режимів в хмарній САПР, що надає можливість оцінити максимальну температуру в середині блока, на кожній друкованій платі та визначити перепад температур. Такий підхід забезпечує попередніми даними для проведення інтенсифікації тепловідводу у середині пристрою.

3.3 Результати моделювання

Результати моделювання теплового режиму роботи блоку бортової радіоелектронної апаратури у програмному середовищі Fusion 360 мають кінцевий вигляд, що представлений на рисунках 3.16 – 3.28.

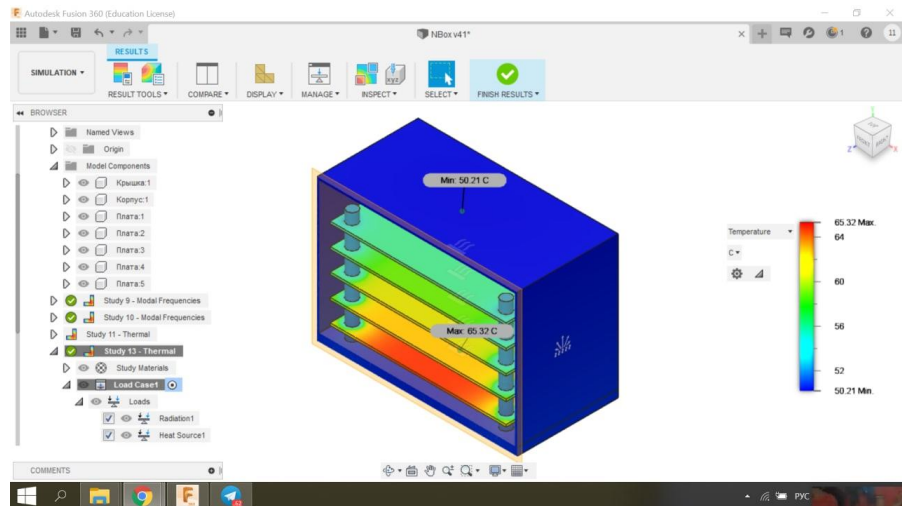


Рисунок 3.16 - Розподіл температур всередині блока

Максимальні та мінімальні значення температур на кожній з плат (по порядку від низу до верху конструкції блока) наведені на рисунках 3.17 – 3.21.

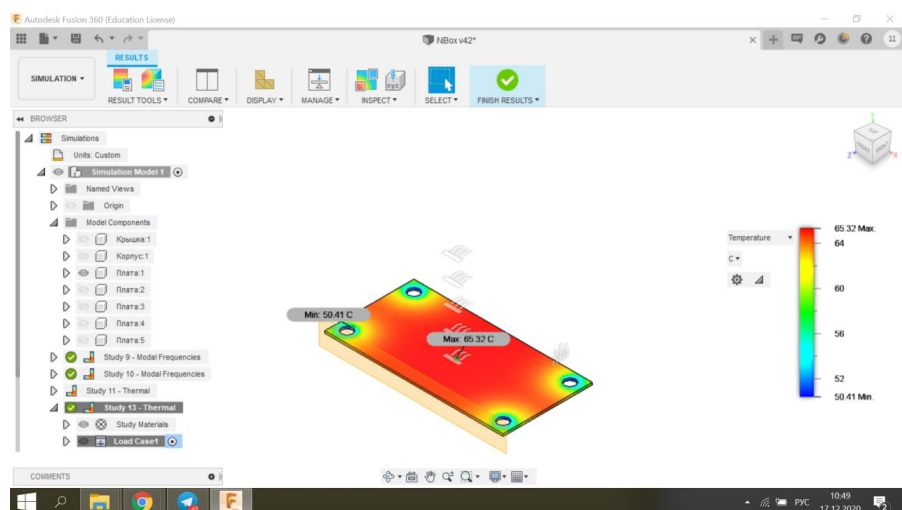


Рисунок 3.17 - Максимальні та мінімальні значення температур на платі № 1 (нижня плата)

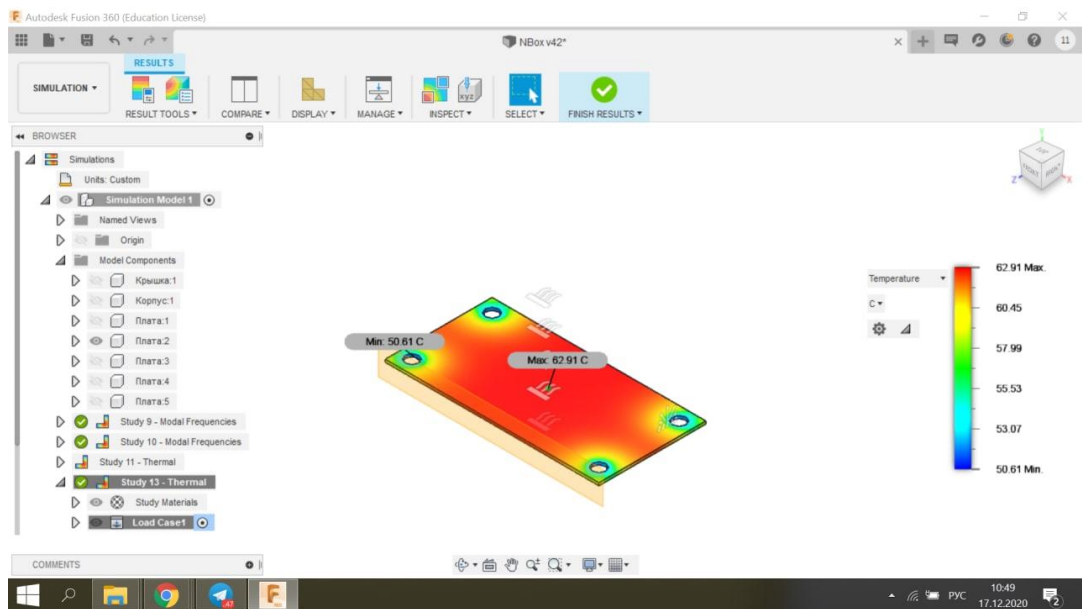


Рисунок 3.18 - Максимальні та мінімальні значення температур на платі № 2 (друга плата знизу)

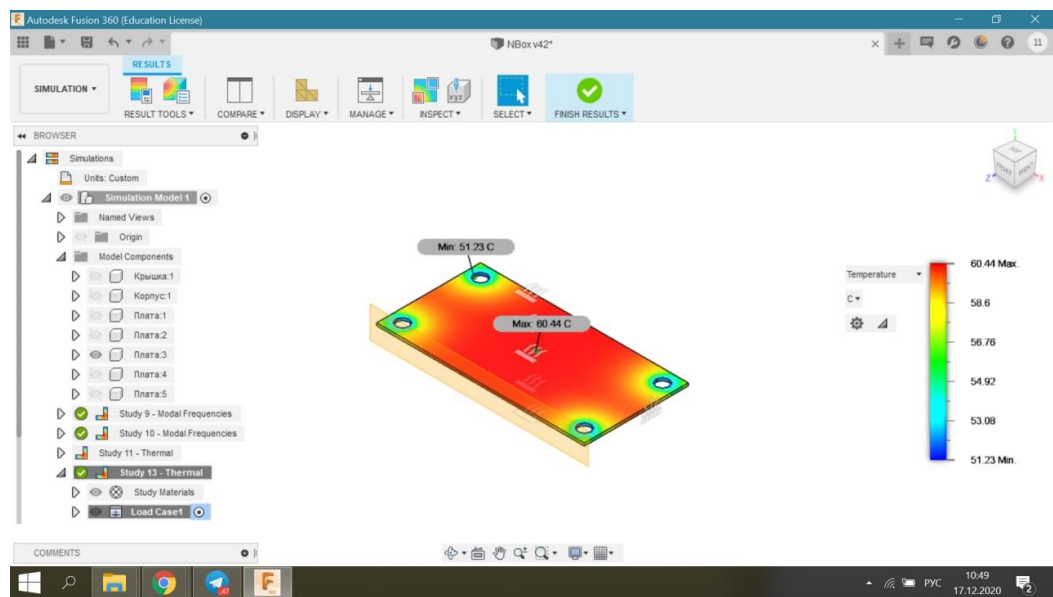


Рисунок 3.19 - Максимальні та мінімальні значення температур на платі № 3 (середня плата)

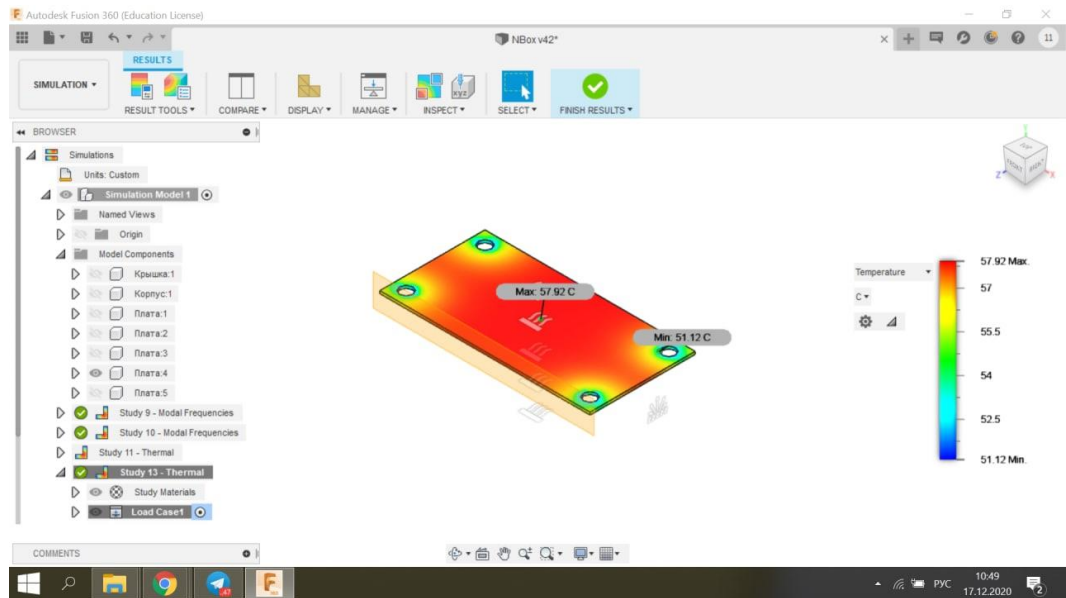


Рисунок 3.20 - Максимальні та мінімальні значення температур на платі № 4 (четверта плата знизу)

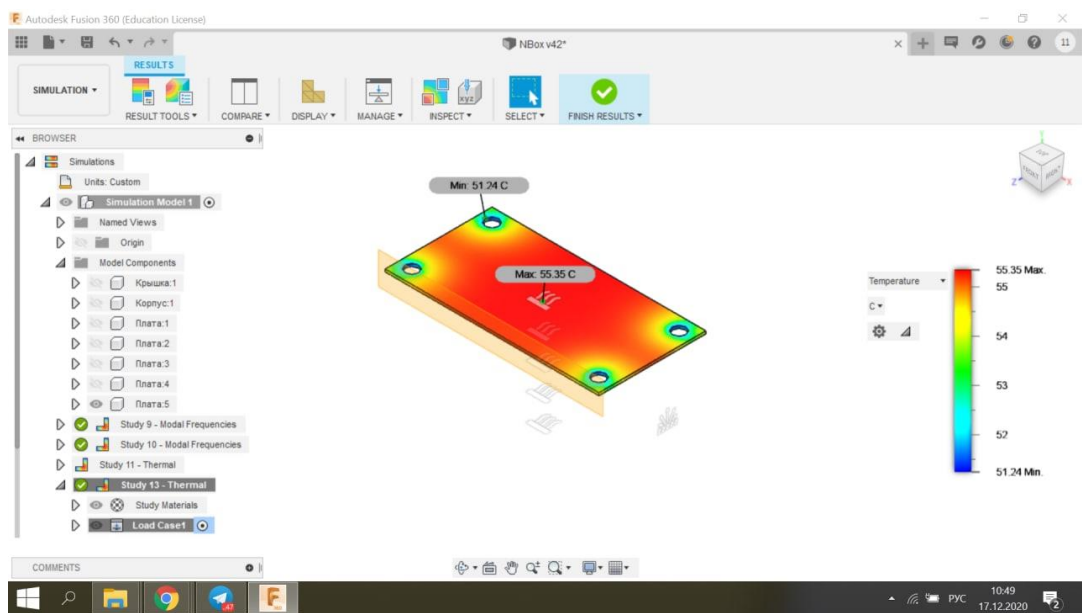


Рисунок 3.21 - Максимальні та мінімальні значення температур на платі № 5 (верхня плата)

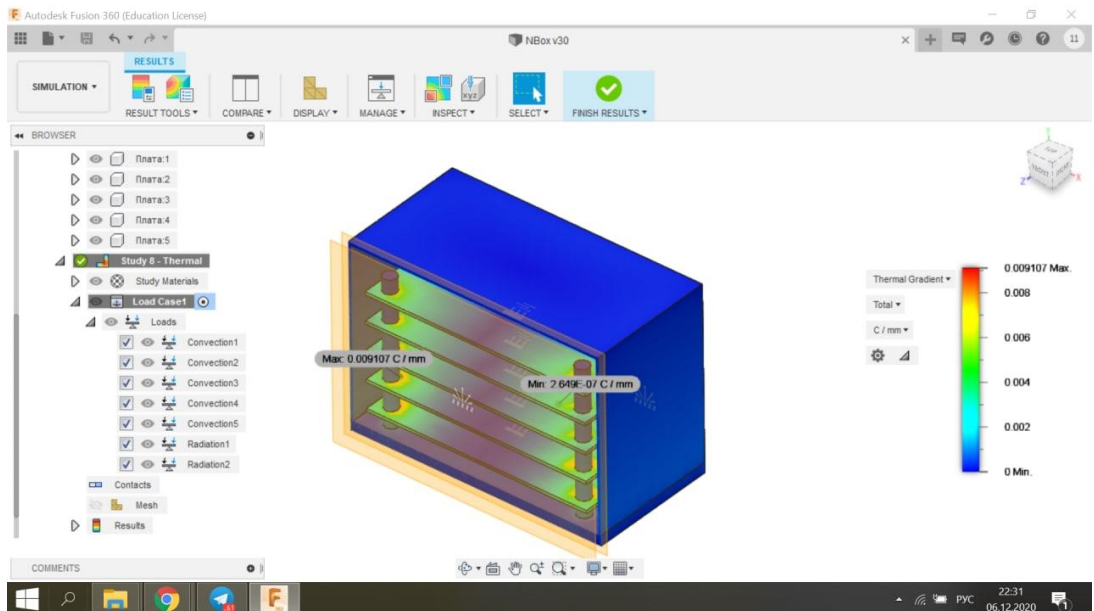


Рисунок 3.22 – Температурний градієнт розподілу всередині блока

Максимальні та мінімальні значення температурного градієнту на кожній з плат (по порядку від низу до верху конструкції блока) наведені на рисунках 3.23 – 3.27.

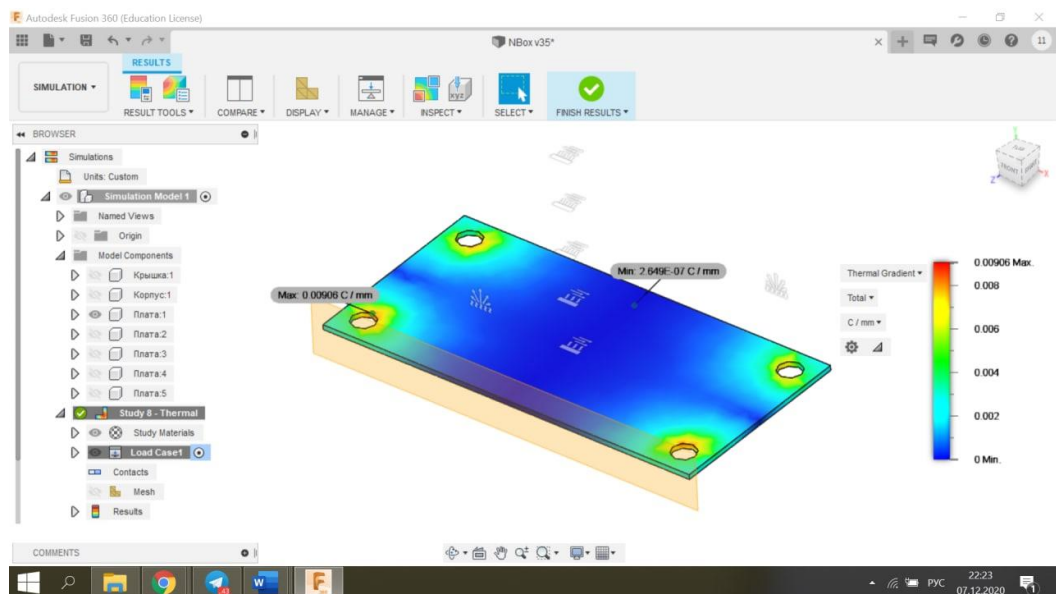


Рисунок 3.23 - Максимальні та мінімальні значення температурного градієнту на платі № 1 (нижня плата)

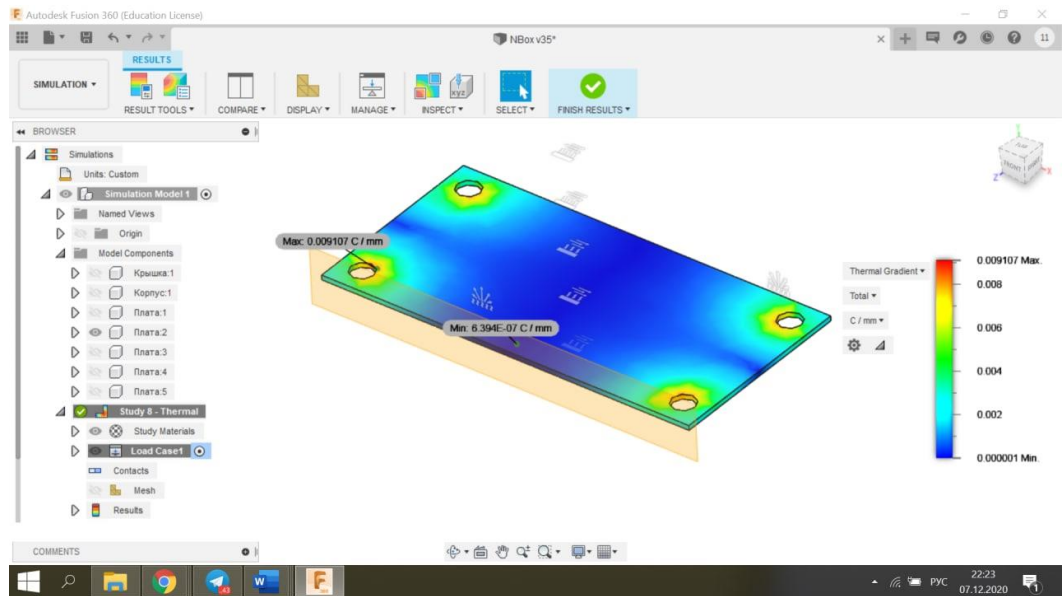


Рисунок 3.24 - Максимальні та мінімальні значення температурного градієнту на платі № 2 (друга плата знизу)

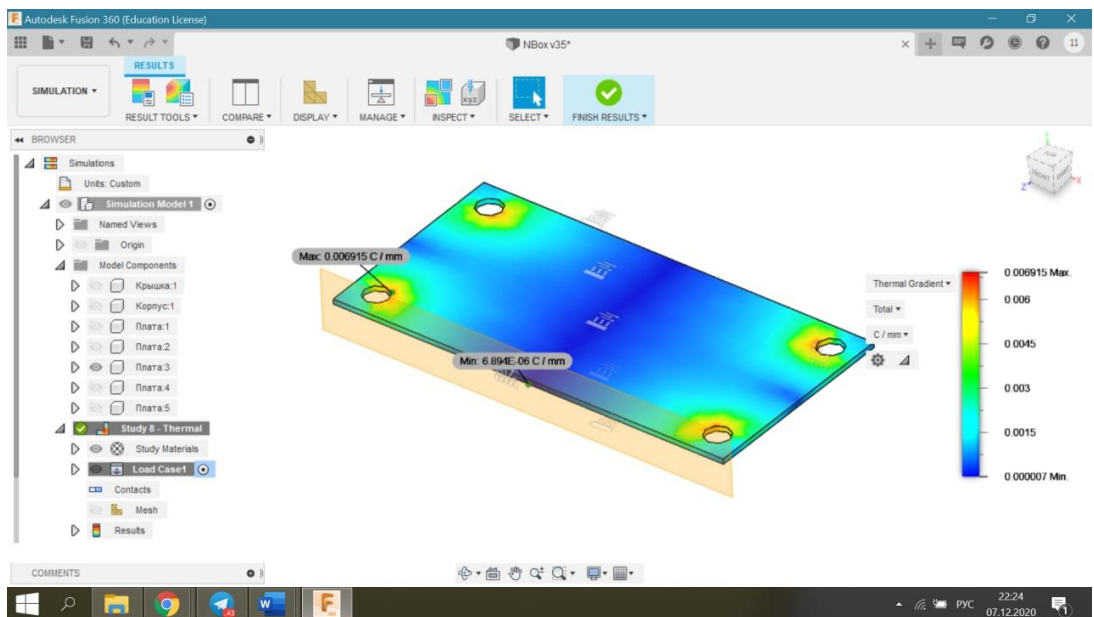


Рисунок 3.25 - Максимальні та мінімальні значення температурного градієнту на платі № 3 (середня плата)

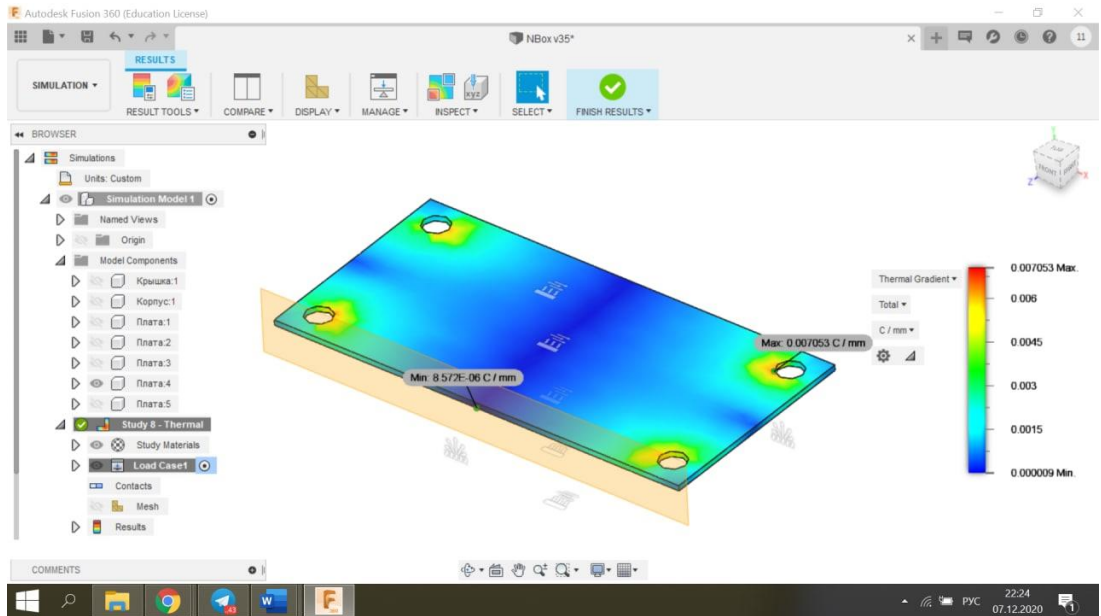


Рисунок 3.26 - Максимальні та мінімальні значення температурного градієнту на платі № 4 (четверта плата знизу)

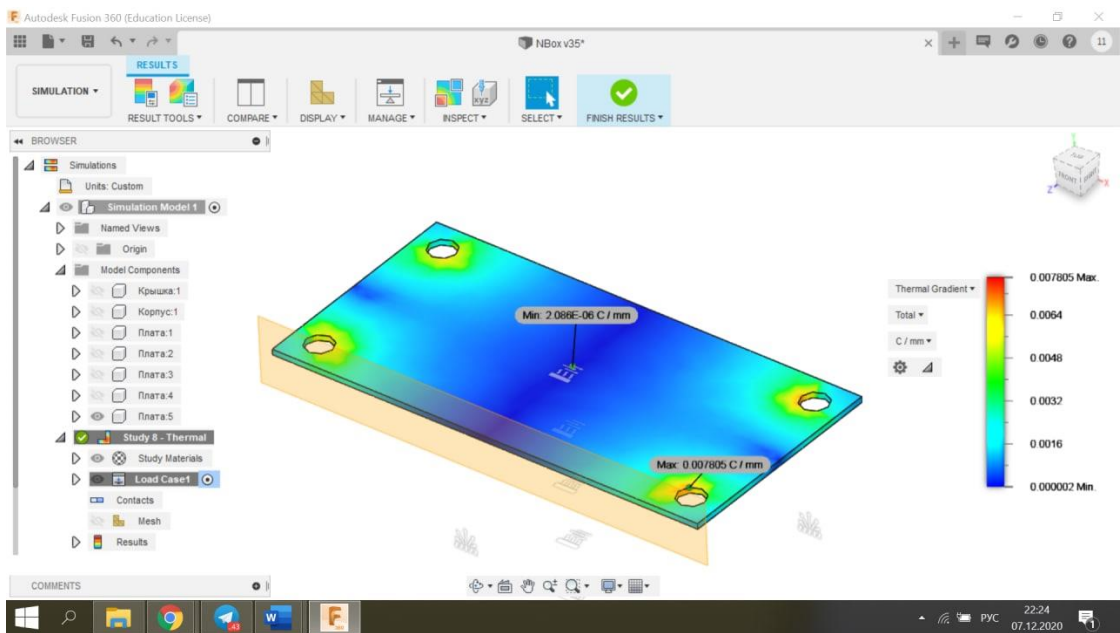


Рисунок 3.27 - Максимальні та мінімальні значення температурного градієнту на платі № 5 (верхня плата)

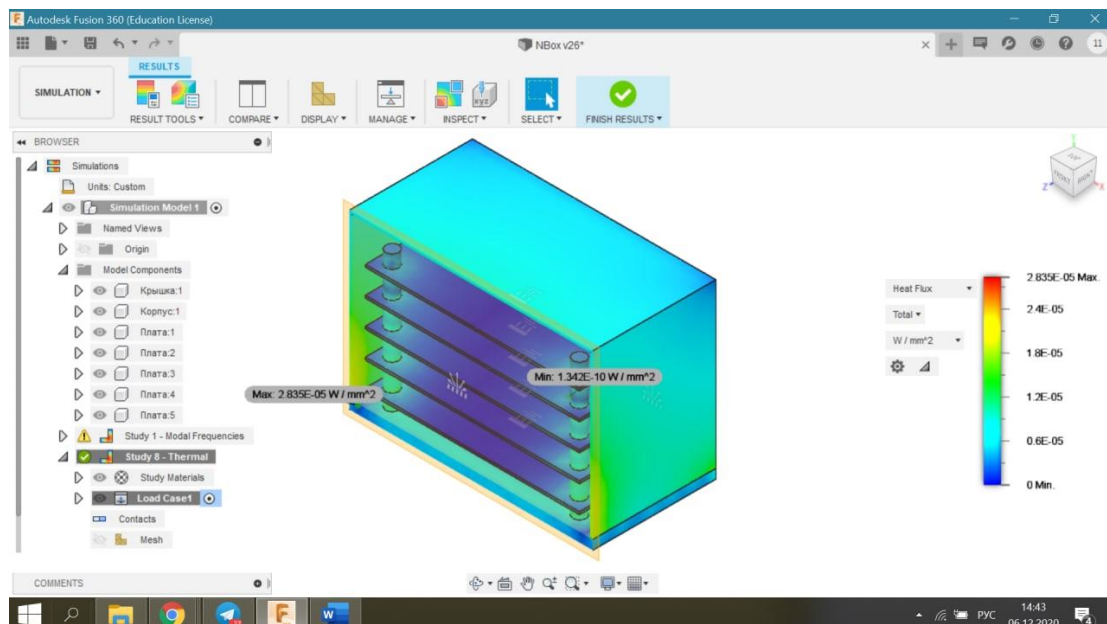


Рисунок 3.28 – Тепловий потік всередині блоку

За результатами даного дослідження можна порівняти теплові режими роботи всіх п'яти плат, що входять до конструкції блоку пристрою бортової радіоелектронної апаратури. Результати даного порівняння наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Порівняння теплових режимів роботи друкованих плат блоку пристрою бортової радіоелектронної апаратури за результатами випробувань у програмному середовищі Fusion 360.

Розташування плати за порядком від низу до поверхні блоку	Мінімальне значення температури на платі, °C	Максимальне значення температури на платі, °C	Значення температурного градієнту на платі, °C/мм	Значення потужності теплового потоку на платі, Вт/мм ²
1	50,41	65,32	0,009050	$2,835 \cdot 10^{-5}$
2	50,51	62,91	0,009107	-
3	51,23	60,44	0,006915	-
4	51,12	57,92	0,007053	-
5	51,24	55,35	0,007805	$1,342 \cdot 10^{-10}$

Таким чином, дослідження теплових режимів проводилося за допомогою хмарного САПР Fusion 360. Аналізувалась максимальна температура плат. В результаті встановлено, що максимальне значення температури плат залежить від потужності розсіювання та розміщення плат.

Теплопередача від верхньої (зовнішньої) поверхні плати відбувається конвекцією та випромінюванням до поверхні корпусу із значно меншою температурою, що покращує тепловідвід та, як наслідок, зниження температури верхньої плати. Тепловідвід конвекцією та випромінюванням від внутрішньої поверхні плат здійснюється у просторі з більш високою температурою, що обумовлює підвищення температури цих плат. В процесі дослідження також з'ясовано, що температури корпусу практично однакові. Тому при оптимізації розміщення плат у блоці доцільно враховувати лише перепад температури у блоці, котрий визначається різницею максимальної температури у блоці та температурою основи корпусу.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ ДІЇ ВІБРАЦІЙ НА РОБОТУ ПРИСТРОЮ БОРТОВОЇ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ

4.1 Обладнання для проведення випробувань дії вібрацій та акустичного шуму

Під час експлуатації та транспортування бортова радіоелектронна апаратура піддається дії вібрацій від зовнішніх джерел коливань. Найбільш небезпечними є вібрації, частота котрих наближується до власних частот коливань елементів та вузлів конструкції. Вібрації, які впливають на конструкцію бортової радіоелектронної апаратури, характеризуються величиною прискорення (у одиницях g) та діапазоном частот.

Бортова радіоелектронна апаратура, яка встановлюється на борту ракет різного призначення та класів, перебуває у найбільш несприятливих умовах із точки зору дії ударів, прискорень та вібрацій. Вібрації ракет при польоті мають дуже складний характер, який визначається спільно впливом двигуна ракети, що працює, та аеродинамічних ефектів. У бортової радіоелектронної апаратури характер вібрацій здебільшого безладний, а тому вона охоплює досить широкий діапазон частот. Частота вібрацій може складати до 2500 Гц при прискореннях до 20g. Характер цих вібрацій синусоїдальний. В момент запуску ракети та при її польоті, на бортову радіоелектронну апаратуру має вплив акустичний шум, рівень якого може досягати до 150 дБ. У малих ракет акустичний шум максимальний в момент старту.

Явище акустичного шуму від зовнішніх джерел характеризується потужністю коливань джерела звуку, тиском звуку, спектром звукових частот, силою звуку. Дія акустичного шуму піддає механічним навантаженням у рівному ступені практично всі елементи конструкції бортової радіоелектронної апаратури. Вплив акустичного шуму більш руйнівний за інших рівних умов, ніж вплив ударно-вібраційних навантажень на бортову радіоелектронну апаратуру.

Дія вібрації на елементи бортової радіоелектронної апаратури все одно знижує надійність роботи. Отже, дослідження дії вібрації на бортову

радіоелектронну апаратуру з метою зменшення її впливу, тісно пов'язані із дослідженням підвищення надійності у роботі даного виду апаратури.

Для проведення випробувань найбільше розповсюдження здобули в даний момент вібростенди компаній Bruel & Kjaer (виробництво Данії) та ВЕДС (виробництво Росії). На даних стендах можливо проводити випробування ударної вібростійкості, широкосмугової випадкової вібрації, односкладової гармонічної вібрації та інші види вібраційних випробувань. Приклад вібростенду наведений на рисунку 4.1.

Керування даними вібростендами може бути різним. Вібростенди містять ряд віброустановок, що побудовані за модульним принципом [26].



Рисунок 4.1 – Вібростенд серії ВЕДС

Вплив вібраційних навантажень на пристрої досліджують на електродинамічних та механічних вібростендах. У вібростендах розміщуються та закріплюються відповідно до технічних вимог, пристрої, котрі необхідно дослідити. Задається необхідний режим гравітації та частоти. Параметри вібрації вимірюють за допомогою віброметрів або вимірювальних віброперетворювачів.

Акустичні камери призначені для випробувань пристроїв авіаційно-космічної техніки під час впливу акустичних навантажень у широкому діапазоні частот. На рисунку 4.2 зображено акустичну камеру РК-1500, що

знаходиться у Центральному аерогідродинамічному інституті імені професора М. Є. Жуковського [27].



Рисунок 4.2 – Акустична камера РК-1500

В акустичних камерах для випробувань забезпечується вплив на пристрої випадкового акустичного шуму у діапазоні частот 125...10000 Гц. Також задається необхідний рівень звукового тиску. Для проведення випробування пристрої закріплюються за допомогою еластичних розтяжок у робочій зоні камери. Під час проведення випробування перевіряються необхідні параметри. Стійкість пристроїв до дії акустичного шуму можна проаналізувати за зміною вихідного сигналу, за рівнем віброшумів, зміні контактної опору та ін.

4.2 Аналіз можливостей заміни випробувань на акустичні навантаження на вібраційні випробування

Враховуючи те, що вплив акустичного шуму більш руйнівний за інших рівних умов, ніж вплив ударно-вібраційних навантажень на бортову радіоелектронну апаратуру, та дії акустичного шуму піддаються у рівному ступені практично всі елементи конструкції бортової радіоелектронної

апаратури. Отже, дослідження впливу акустичного шуму є дуже актуальним питанням.

Звук, як фізичне явище є механічним коливальним рухом часток пружного середовища, що розповсюджується – рідини, газу, твердого тіла – із малими амплітудами. Коливання часток середовища умовно називаються звуковими хвилями. Звукові хвилі є носіями звукової енергії. Загальна кількість енергії, котру джерело звуку випромінює у навколишній простір за одиницю часу, характеризує звукову потужність джерела. Найбільш часто для кількісної оцінки звукових величин обирається децибел.

Децибел не є фізичною величиною, а математичне поняття Бел - це десятковий логарифм відношення двох потужностей. Якщо відомі дві потужності W_1 та W_2 , то їх відношення, що виражається в белах, визначається за допомогою формули :

$$N_B = \lg W_2 / W_1 \quad (4.1)$$

Відповідно децибел:

$$N_{dB} = 10 \lg W_2 / W_1 \quad (4.2)$$

Фізична природа потужностей, що порівнюються, може бути будь-якою – електромагнітною, акустичною, електричною, важливо лише те, щоб обидві величини були представлені у однакових одиницях, наприклад у ваттах, міліваттах та ін.

У акустиці за аналогом із електротехнікою визначення децибел базується на відношенні двох потужностей:

$$L_w = 10 \lg W_2 / W_1, \quad (4.3)$$

де W_2 та W_1 - потужності двох джерел звуку або інтенсивності звуку :

$$L_j = 10 \lg J_2 / J_1 \quad (4.4)$$

Інтенсивність звука пов'язана із звуковим тиском та коливальною швидкістю через залежність :

$$J_j = P * V \quad (4.5)$$

Якщо звукові хвилі розповсюджуються у вільному просторі, то:

$$V = P / (p * c), \quad (4.6)$$

де p – густина середовища;

c – швидкість звуку у середовищі;

P – звуковий тиск.

Якщо підставити цей вираз у (3) отримаємо:

$$J = P^2 / (\rho \cdot c) \quad (4.7)$$

Тоді (2) виглядатиме:

$$J_j = 10 \lg P_2^2/P_1^2 = 20 \lg P_2/P_1 \quad (4.8)$$

Таким чином, в децибелах відношення двох інтенсивностей, яке виражене через звуковий тиск, дорівнює:

$$L_p = 20 \lg P_1/P_0 \quad (4.9)$$

Відповідно до міжнародних угод за нульовий рівень звукового тиску (P_0) прийнято $2,04 \times 10^{-5}$ Па.

В технічних завданнях на розробку апаратури акустичні навантаження, зазвичай, характеризуються :

- інтегральним рівнем звукового тиску у заданій смузі частот, відносно порогового (нульового) значення звукового тиску $P_0 = 2 \times 10^{-5}$ Па, що вираховується за формулою $L_p = 20 \lg P/P_0$, у дБ (4.10)

- тривалістю дії.

Виходячи з формули (4.10) легко вирахувати значення звукового тиску у заданому діапазоні частот, котре діє на стінки та плати пристрою.

Наприклад, для значення в 140 дБ :

$$20 \lg P/P_0 = 140$$

$$\lg P/P_0 = 7$$

$$P = P_0 \times 10^7 = 2 \times 10^{-5} \times 10^7 = 2 \times 10^2 \text{ Па}$$

У зв'язку із тим, що визначенню фізична величина в Па відповідає Н/м^2 , то, знаючи площу пристрою або плати, на котрі впливає звуковий тиск, легко визначити навантаження у Н за формулою:

$$G = P \cdot S, \quad (4.11)$$

де P – звуковий тиск, в Па;

S – площа стінки пристрою або плати, в м^2 .

Якщо відомі навантаження, режим випробування, що еквівалентний акустичним навантаженням, смуги частот їх впливу та тривалість, то є змога відтворювати на вібростенді послідовним впливом вібрації на кожну із сторін пристрою.

В якості прикладу, розглянемо акустичні навантаження, що задаються у технічному завданні для пристрою та проведемо розрахунок еквівалентних вібраційних навантажень, що виражаються у g.

Для прикладу, у пристрою задаються наступні акустичні навантаження., що наведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Задані акустичні навантаження для пристрою

Середня октавна частота октавного діапазону, Гц	Рівні звукового тиску, дБ
31,5	120
63	127
125	135
250	139
500	134
1000	138
2000	124
Тривалість, с	40

Найбільш критичними до дії акустичних навантажень є плати із електрорадіоелементами. Отже, нехтуючи деякими властивостями поглинання стінок корпусу пристрою, обираємо величину навантажень, що діють на плати.

Габаритні розміри плат 160x140 мм, площа – 0,024 м² .

Тоді на кожній заданій частоті навантаження на плати, що вираховуються за формулами (4.10) и (4.11), будуть складати:

31,5 Гц-120дБ-20Па-0,44Н

63 Гц-127дБ-44,7Па-0,98Н

125 Гц-135дБ-112,4Па-2,47Н

250 Гц-139дБ-178,2Па-3,92Н

500 ц-134дБ-100,2Па-2,22Н

1000 Гц-138дБ-150Па-3,3Н

2000 Гц-124дБ-31,6Па-0,69Н

Знаючи навантаження, що діють на плати та їх масу за формулою (4.12), визначаємо максимальні прискорення, що впливають на плати.

$$F=m * a \quad (4.12)$$

Для плати, що знаходиться найближче до корпусу пристрою та сприймає найбільший звуковий тиск з $m = 0,18$ кг розраховуються прискорення, що виражені у g . Після нескладних розрахунків для кожної із частот отримаємо:

31,5 Гц-0.24 g

63 Гц-0.55 g

125 Гц-1.4 g

250 Гц-2.2 g

500 Гц-1.24 g

1000 Гц-1.8 g

2000 Гц-0.39 g

Результати розрахунків наведені у таблиці 4.2, котра містить режими вібраційних навантажень, що еквівалентні акустичним, що задаються у технічному завданні.

Таблиця 4.2 - Розраховані еквівалентні режими

Середня октавна частота октавного діапазону, Гц	Перевантаження, g
31,5	0,24
63	0,55
125	1,4
250	2,2
500	1,24
1000	1,8
2000	0,39
Тривалість, с	40

Таким чином, наведена методика перерахунків акустичних навантажень у еквівалентні вібраційні може бути використана для експериментальних досліджень на вібростенді при випробуваннях, що імітують акустичний вплив.

А також заміни моделювання акустичних навантажень на вібраційні для хмарних САПР, які не мають функціональних можливостей проведення симуляції даних випробувань (наприклад, Fusion 360).

4.3 Методика моделювання дії вібрації на роботу пристрою у Fusion 360

Етапи методики моделювання дії вібрацій у хмарній Fusion 360 в середовищі SIMULATION наведено нижче.

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

Крок 2. Створення проєкту у середовищі «Simulation Workspace» – вибір задачі, із урахуванням дії вібрації у пристрої.

Крок 3. Завдання необхідних обмежень та матеріалів пристрою.

Крок 4. Завдання вібраційних умов роботи пристрою – гравітації та частоти вібрації.

Крок 5. За необхідності завдання базової розрахункової сітки.

Крок 6. Адаптація базової розрахункової сітки для проведення найбільш точних розрахунків.

Крок 7. Запуск процесу симуляції.

Крок 8. Аналіз результатів симуляції – визначення максимальних відхилень друкованих плат у пристрої.

Застосування алгоритму розглянуто на моделі герметичного блоку етажерочної конструкції з кількістю друкованих плат $n = 5$, відстань між платами $h_p = 20$ мм та діаметром стійок $d_c = 10$ мм. Товщина основи корпусу складала $h_o = 7$ мм, а товщина кришки корпусу та плат – $h_k = h_{\pi} = 2$ мм. Відстань від краю плати до кришки корпусу приймалась рівною $l = 10$ мм.

Методика моделювання дії вібрації на роботу пристрою бортової радіоелектронної апаратури у системі Fusion 360 розроблена та наведена нижче.

Крок 1. Обираємо режим симуляції випробувань у середовищі «Simulation Workspace» та заходимо в нього. Даний етап показано на рисунку 4.3.

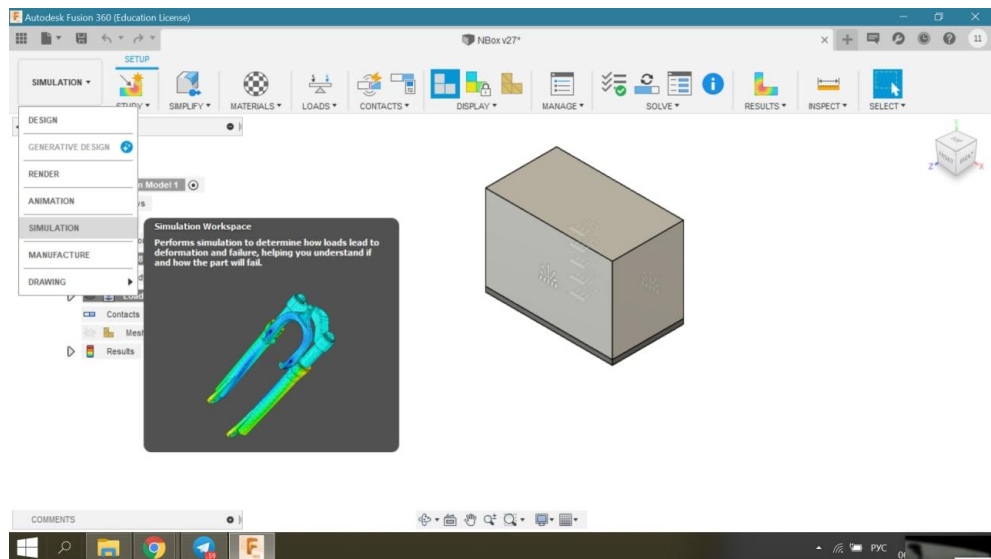


Рисунок 4.3 - Вибір режиму симуляції випробувань та вхід до нього

Крок 2. Здійснюємо вибір виду дослідження за допомогою інструменту «New simulation study». Даний етап показано на рисунку 4.4.

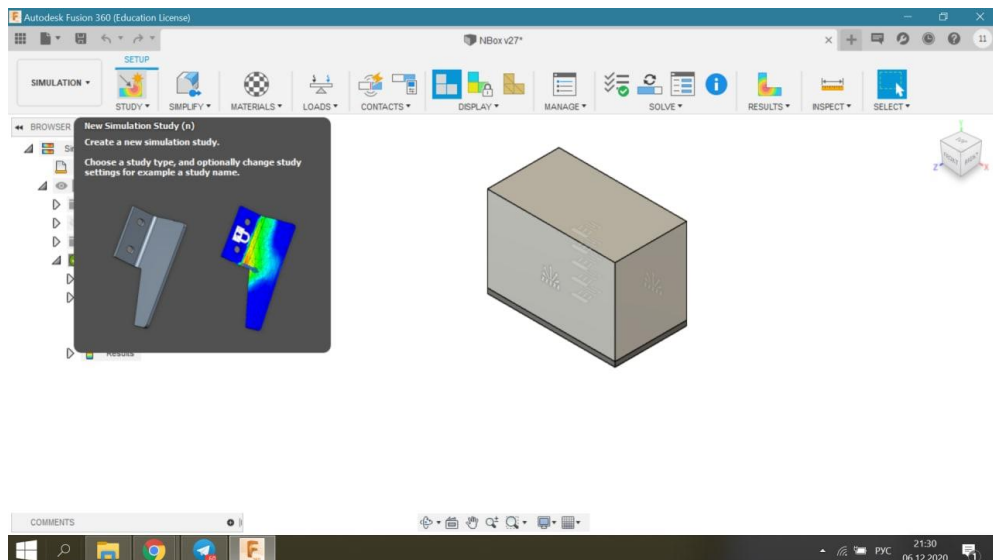


Рисунок 4.4 - Вибір виду дослідження

Крок 3. Створення дослідження дії вібрації на роботу блоку бортової радіоелектронної апаратури із наявних елементів. Даний етап показано на рисунку 4.5.



Рисунок 4.5 - Створення дослідження дії вібрації на роботу блоку бортової радіоелектронної апаратури із наявних елементів

Крок 4. Необхідно вибрати обмеження для того, щоб закріпити низ моделі блоку бортової радіоелектронної апаратури, що досліджується. Для цього в меню «Constraints» обирається опція «Structural constraints». Даний етап показано на рисунку 4.6.

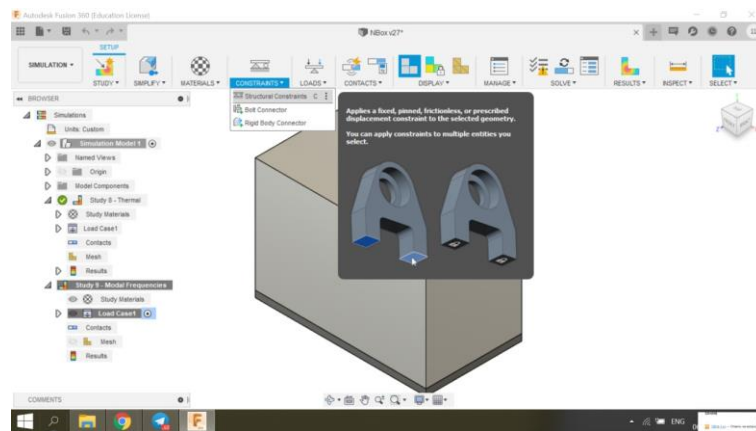


Рисунок 4.6 – Вибір обмежень для закріплення низу моделі блоку бортової радіоелектронної апаратури

Крок 5. Обернувши модель обираємо нижню грань блоку бортової радіоелектронної апаратури у якості обмеження. Даний етап показаний на рисунку 4.7.

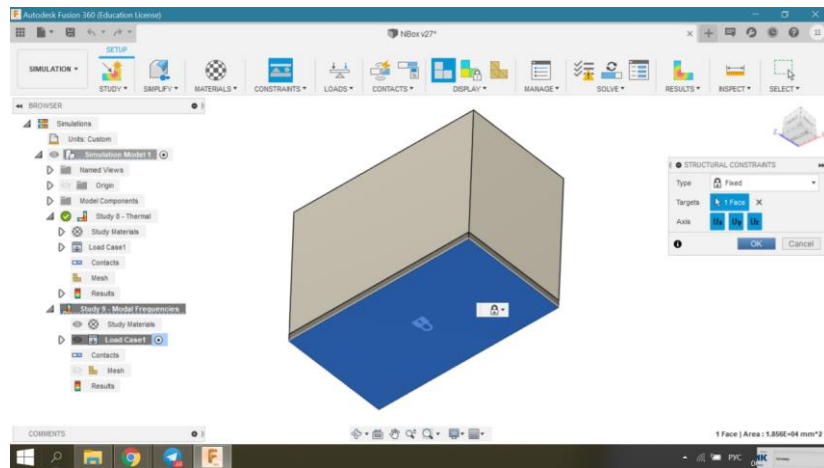


Рисунок 4.7 - Нижня грань блоку бортової радіоелектронної апаратури обирається у якості обмеження при випробуваннях

Закріплений блок бортової радіоелектронної апаратури перед початком випробувань має вигляд, що показаний на рисунку 4.8.

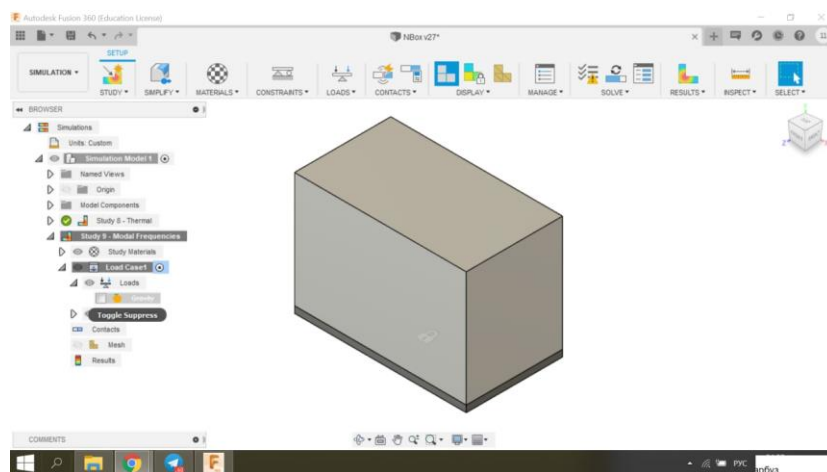


Рисунок 4.8 – Вигляд закріпленого блоку бортової радіоелектронної апаратури перед початком випробувань

Крок 6. Ввімкнення режиму гравітації відбувається за допомогою кнопки «loads» на панелі зліва, ставиться галочка навпроти опції «Gravity». Даний етап показано на рисунку 4.9.

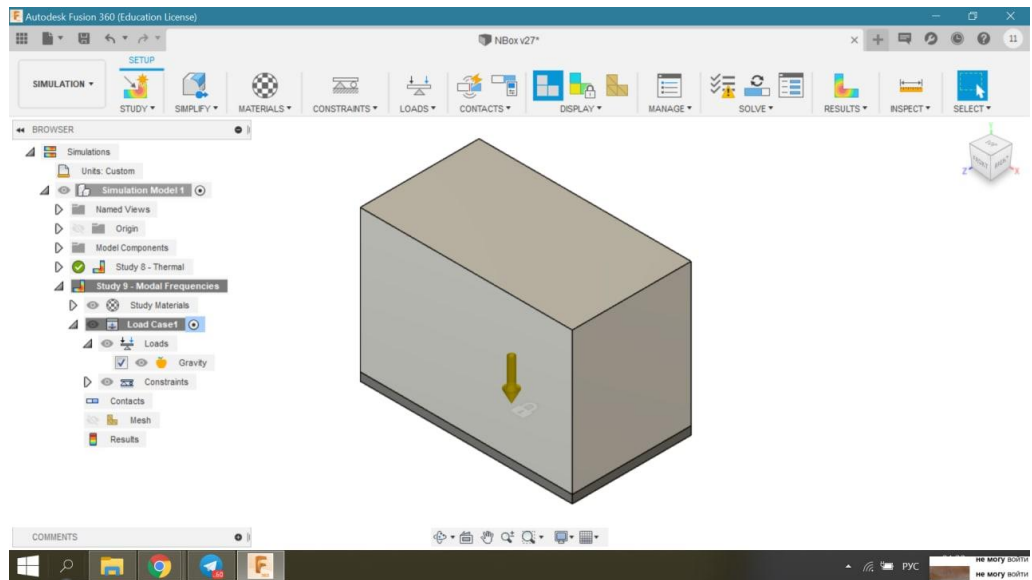


Рисунок 4.9 – Ввімкнення режиму гравітації

Крок 7. Перевірка матеріалів компонентів здійснюється за допомогою меню «Materials». Даний етап показано на рисунках 4.10, 4.11.

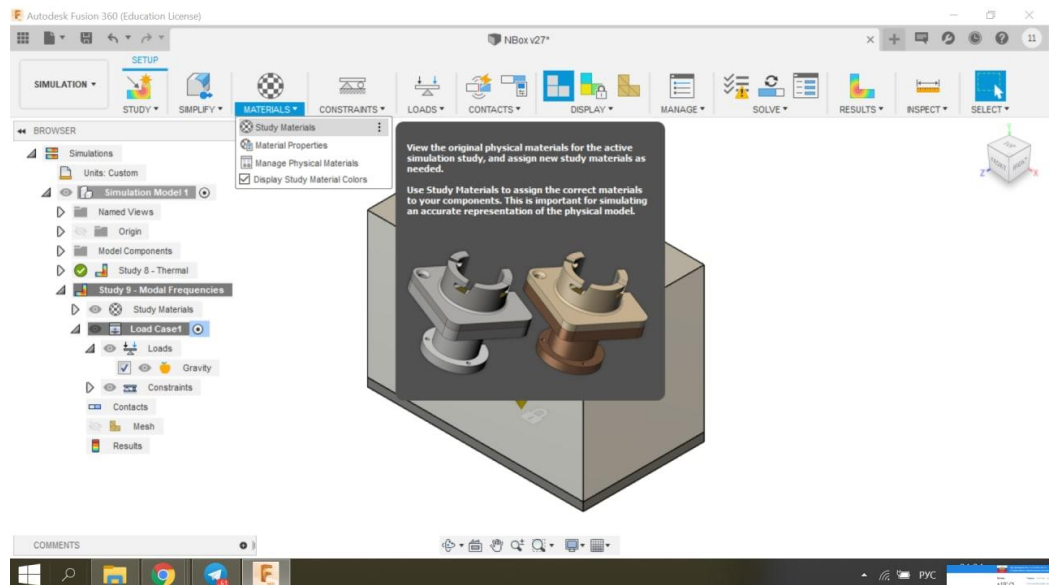


Рисунок 4.10 - Перевірка матеріалів компонентів

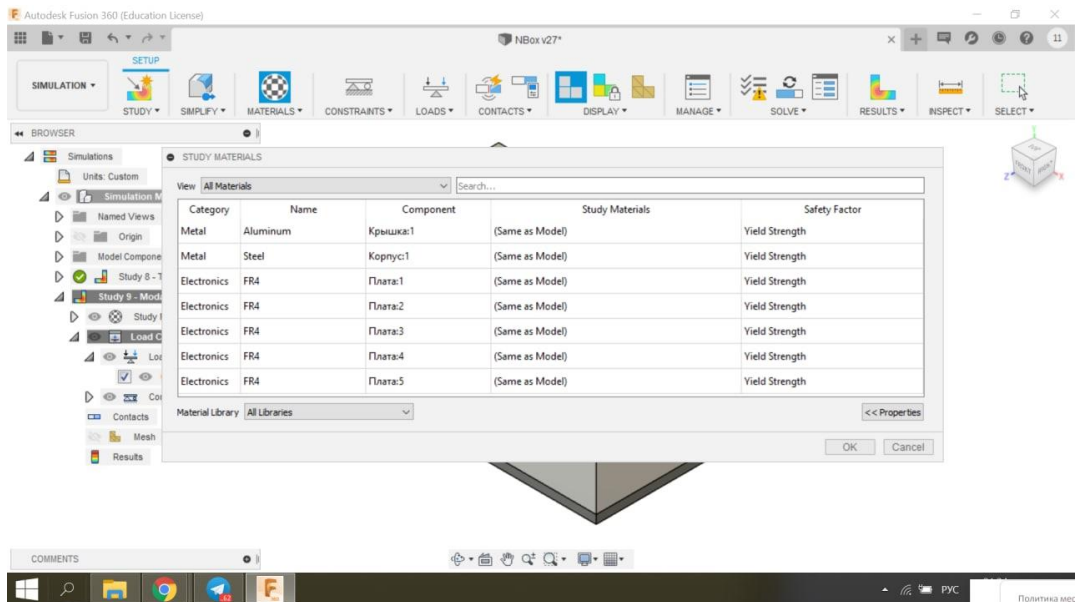


Рисунок 4.11 - Інформація про матеріали компонентів блоку

Крок 8. Включення режиму дослідження проводиться за допомогою інструменту «Solve» на панелі інструментів. Даний етап показаний на рисунку 4.12.

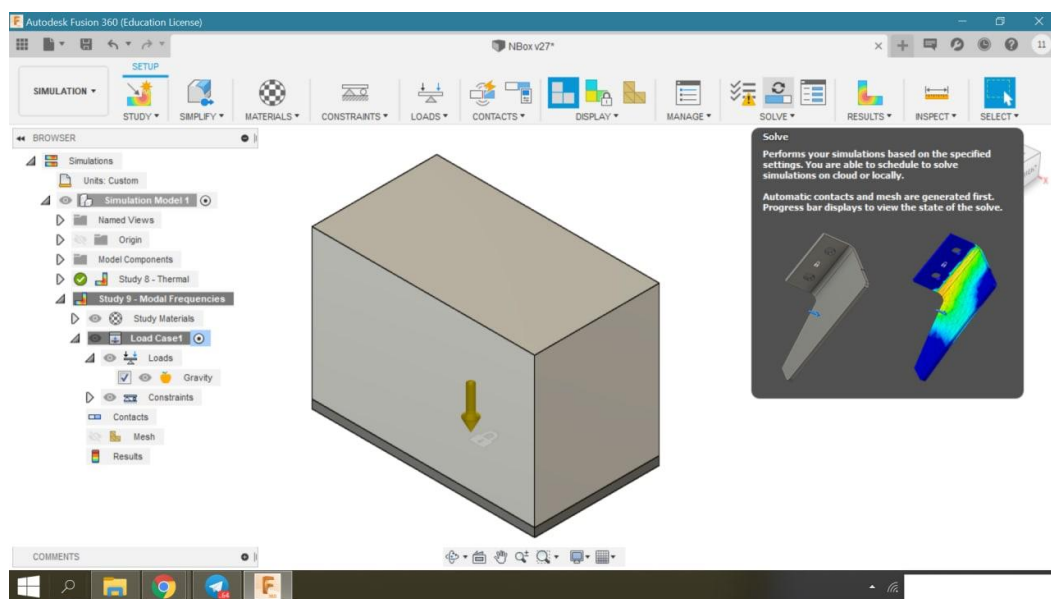


Рисунок 4.12 - Включення режиму дослідження

Крок 9. Запуск режиму дослідження здійснюється обранням необхідного дослідження у загальному списку. А також задається необхідна частота вібрації. Даний етап показано на рисунках 4.13, 4.14.

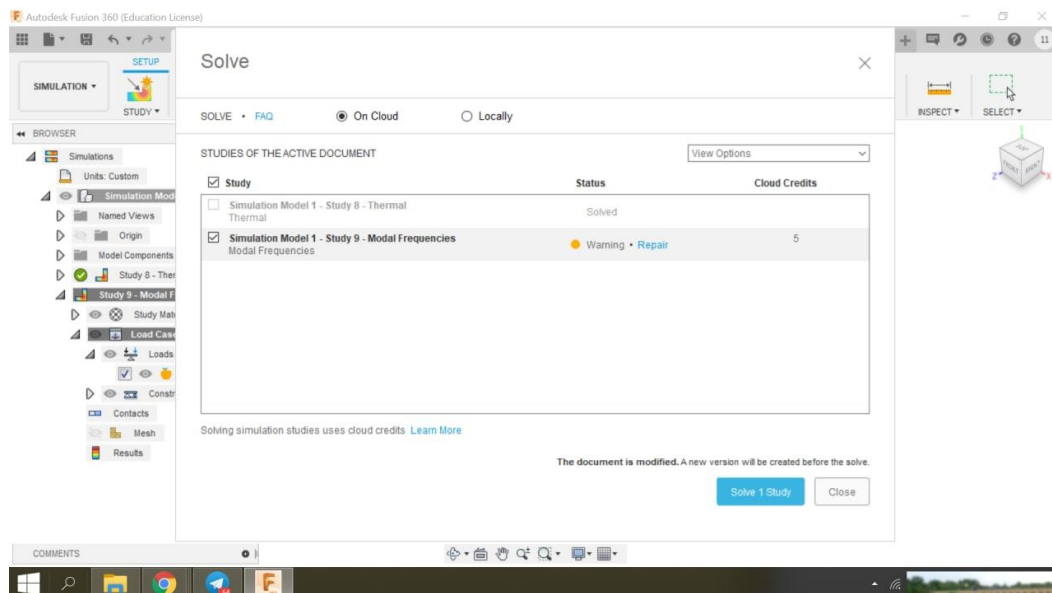


Рисунок 4.13 – Запуск режиму дослідження

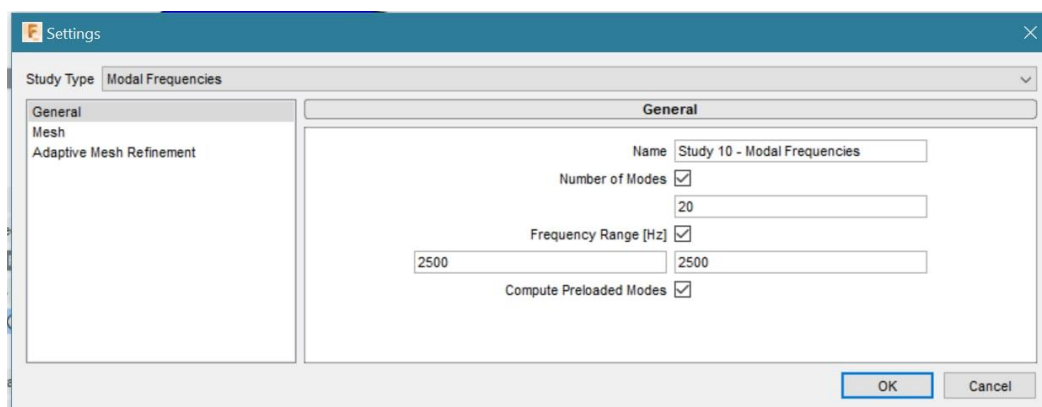


Рисунок 4.14 – Вибір частоти дослідження

Крок 10. Очікування рішення після запуску режиму дослідження можна спостерігати в режимі online. Симуляцію можна вирішувати локально або хмарно. При хмарному вирішенні, спочатку відбувається процес відправлення даних на сервер, а потім лише відбувається вирішення та отримання результатів. Даний процес хмарного вирішення виглядає так, як наведено на рисунку 4.15.

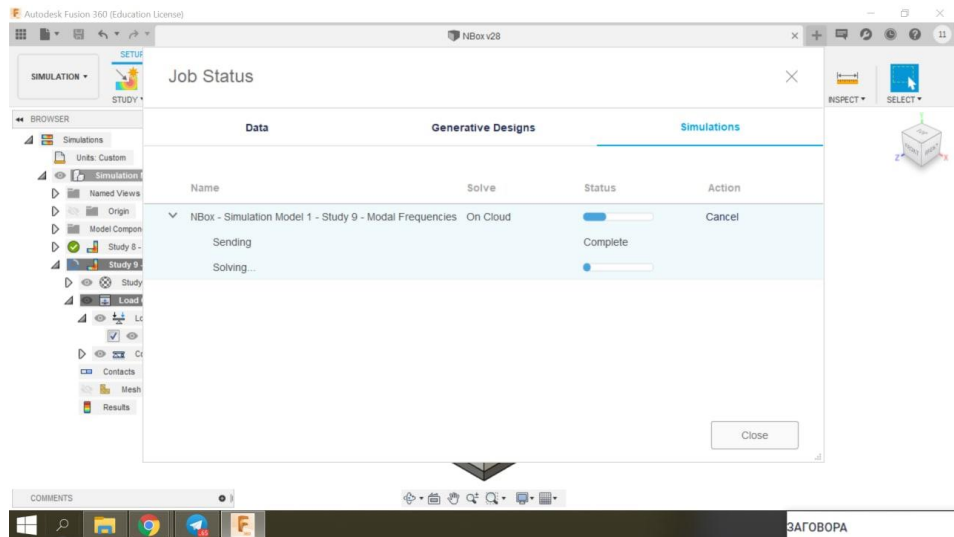


Рисунок 4.15 – Очікування хмарного рішення після запуску режиму дослідження

Крок 11. По завершенню досліджень, на екрані можна спостерігати інформацію про завершення рішення випробувань, яка наведена на рисунку 4.16.

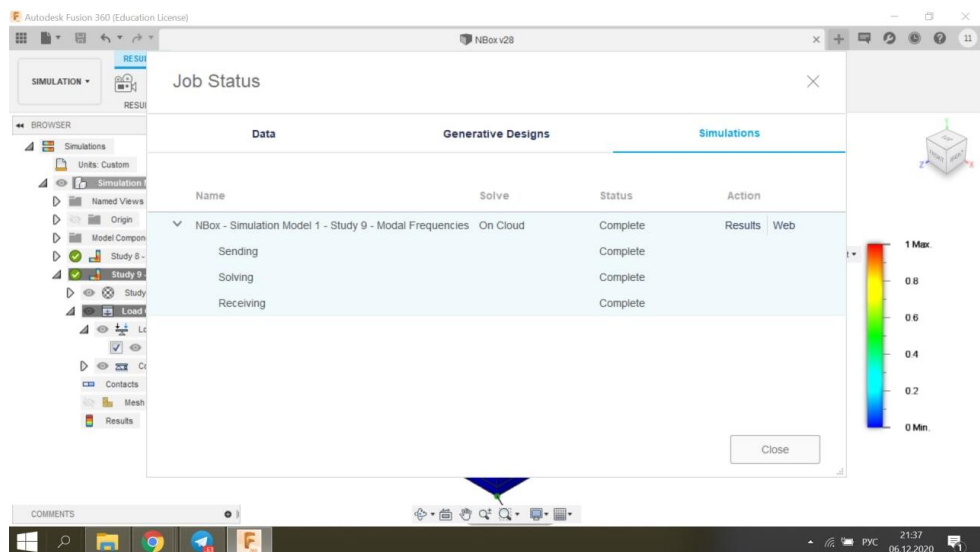


Рисунок 4.16 - Завершення рішення випробування

Крок 12. Для того, щоб побачити, що відбувається всередині, необхідно обрати переріз за допомогою меню «results», інструменту «inspect». Даний етап показано на рисунку 4.17.

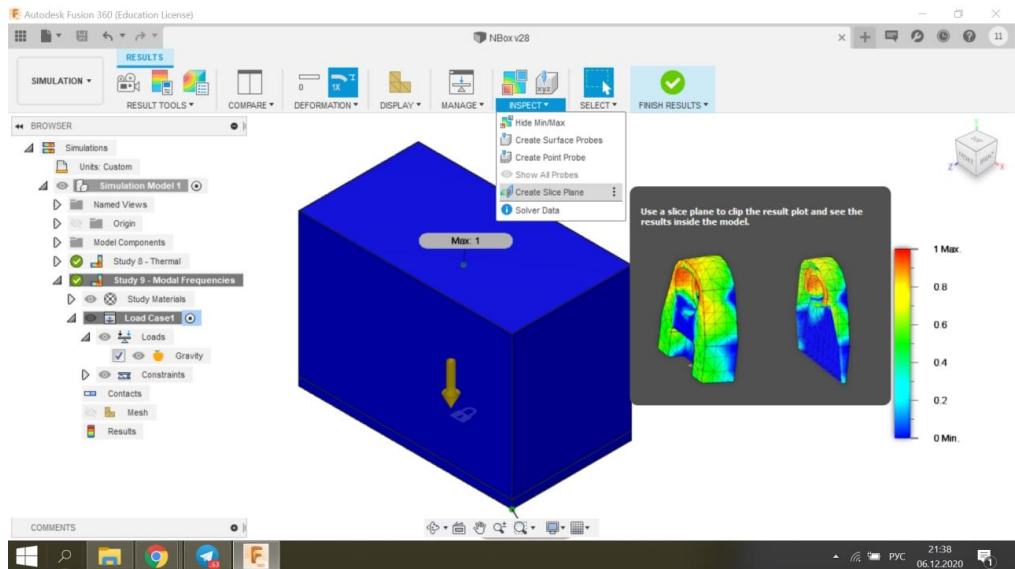


Рисунок 4.17 – Вибір перерізу

Крок 13. Вибір грані для перерізу здійснюється за допомогою меню «results». Даний етап показано на рисунку 4.18.

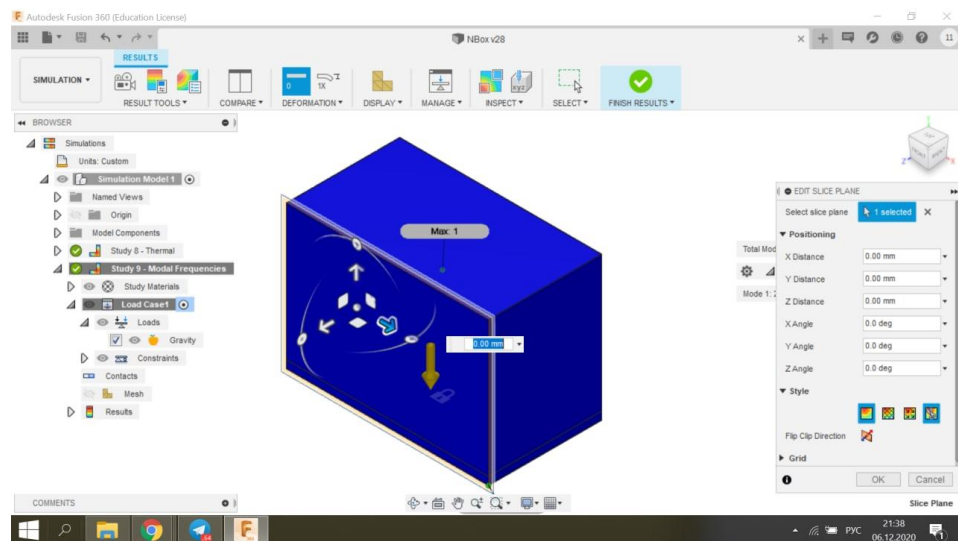


Рисунок 4.18 – Вибір грані для перерізу

4.4 Результати моделювання

Результати моделювання дії вібрації на роботу блоку бортової радіоелектронної апаратури у програмному середовищі Fusion 360 мають кінцевий вигляд, що представлений на рисунках 4.19, 4.20, 4.21, 4.22.

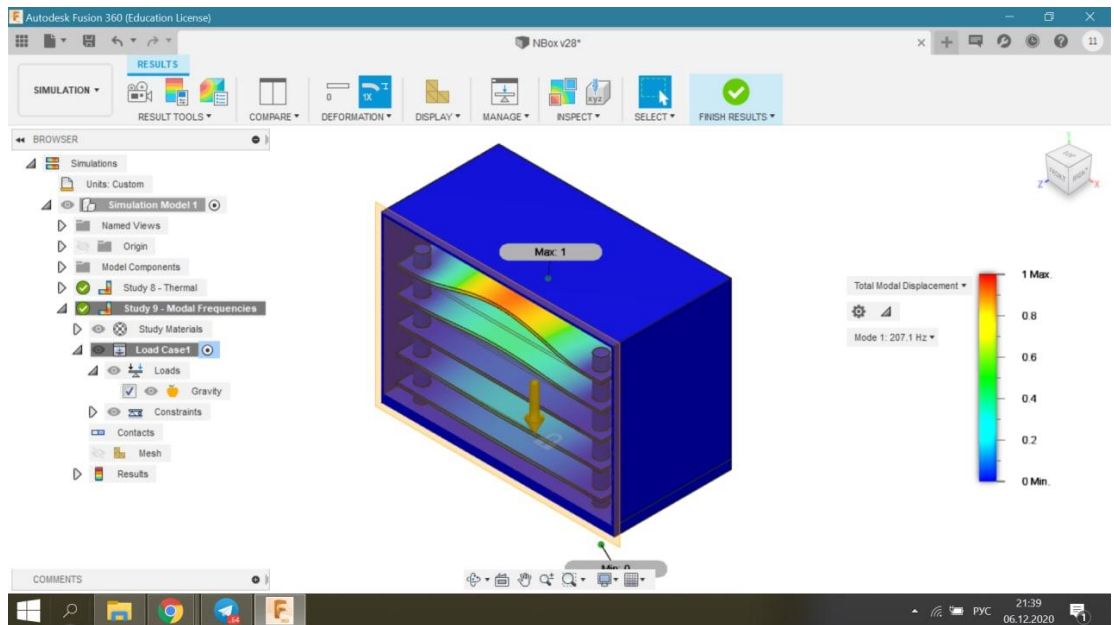


Рисунок 4.19 – Результат впливу вібрації з частотою 207,1 Hz на блок бортової радіоелектронної апаратури

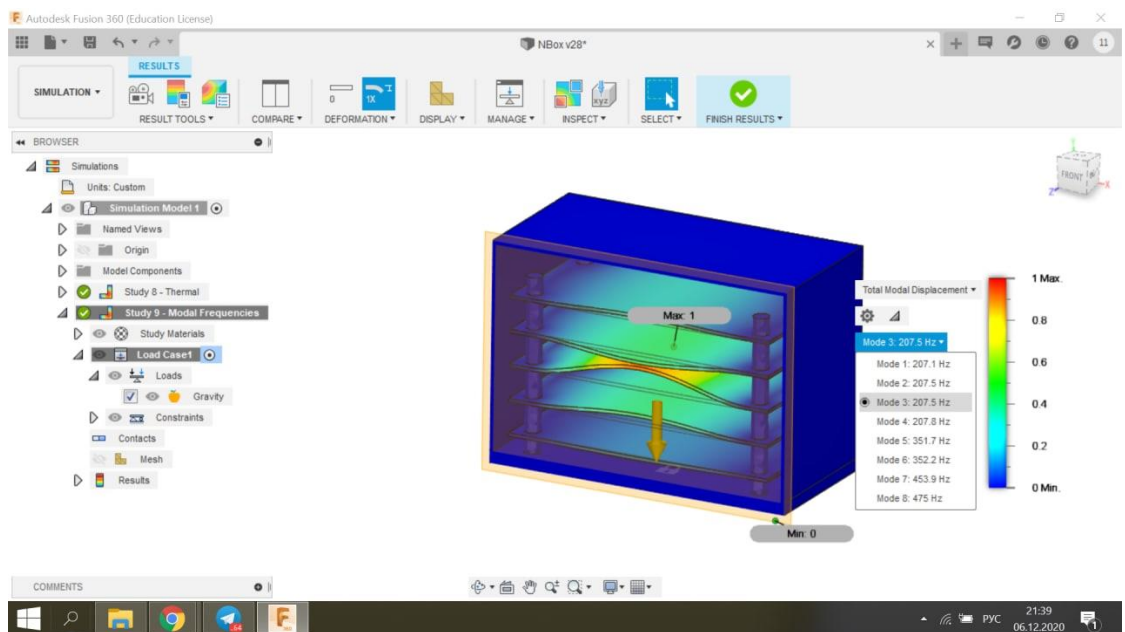


Рисунок 4.20 – Результат впливу вібрації з частотою 207,5 Hz на блок бортової радіоелектронної апаратури

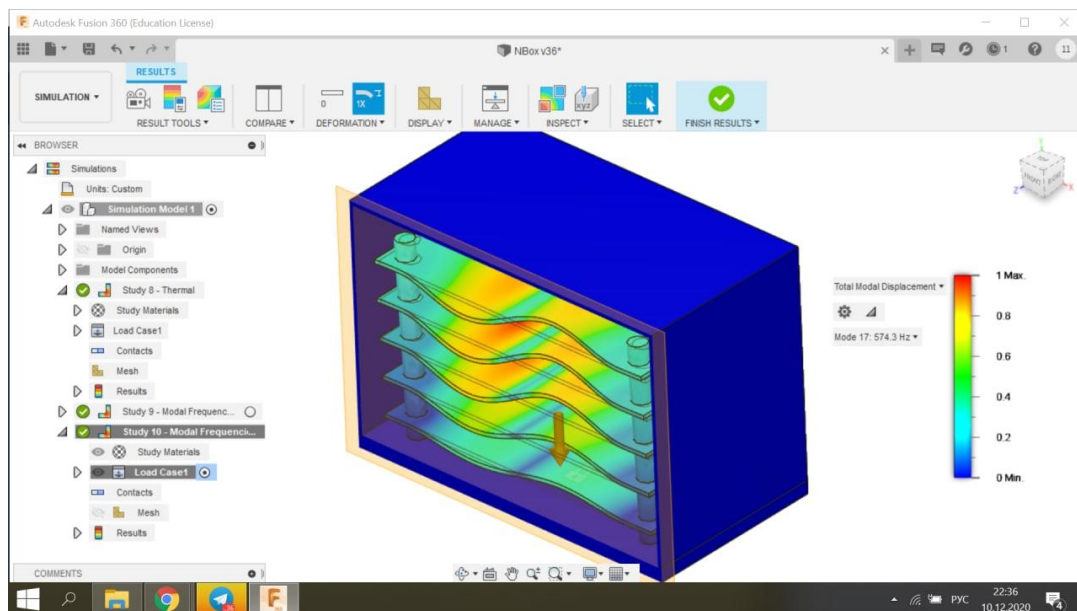


Рисунок 4.21 – Результат впливу вібрацій з частотою 574,3 Hz на блок бортової радіоелектронної апаратури

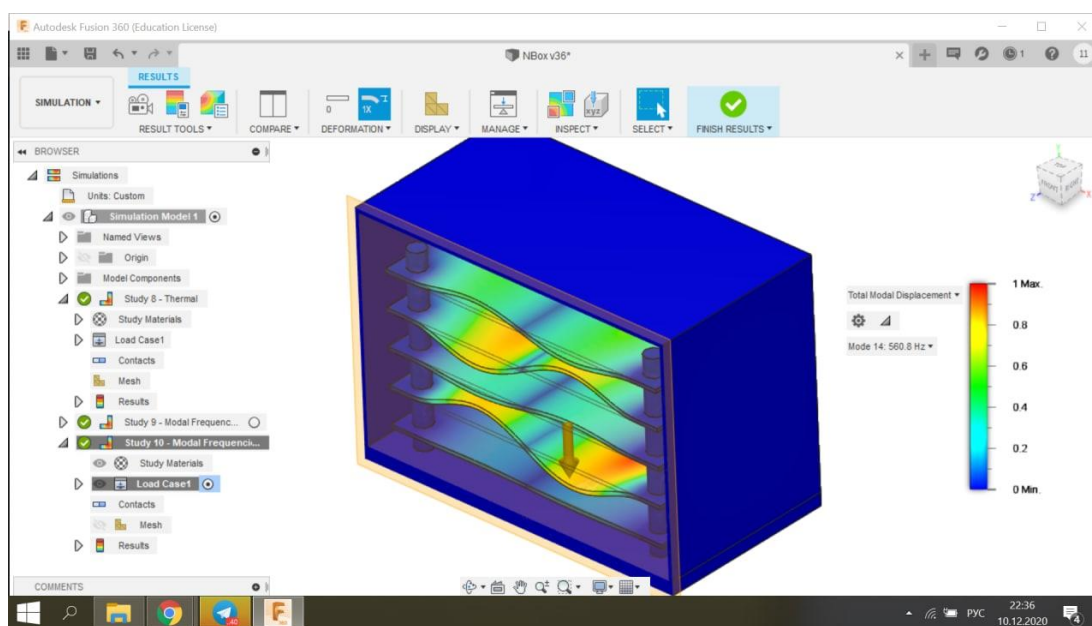


Рисунок 4.22 – Результат впливу вібрацій з частотою 560,8 Hz на блок бортової радіоелектронної апаратури

За результатами даного дослідження можна порівняти вплив дії вібрації різної частоти на роботу всіх п'яти плат, що входять до конструкції блоку пристрою бортової радіоелектронної апаратури. Результати даного порівняння наведені у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Порівняння впливу дії вібрації на роботу пристрою бортової радіоелектронної апаратури за результатами випробувань у програмному середовищі Fusion 360

Розташування плати за порядком від низу до поверхні блоку	Відхилення друкованої плати при заданій частоті прикладеної вібрації до блоку, мм			
	207,1 Hz	207,5 Hz	574,3 Hz	560,8 Hz
1	0	0	0,4	0,2
2	0,2	0,4	0,8	1
3	0	1	0,9	0,2
4	0,6	0,6	1	0,8
5	1	0,2	0,8	0,5

Як видно із результатів порівняння дії різних режимів вібрації на роботу пристрою бортової радіоелектронної апаратури, друковані плати в блоці зазнають різних відхилень. Але ці відхилення не перебільшують 1мм. Так, при дії вібрації з частотою 207,1 Hz найбільше відхилялась друкована плата № 5 (верхня плата пристрою) – на 1 мм. При дії вібрації частотою 207,5 Hz найбільше відхилялась друкована плата № 3 (середня плата пристрою) – на 1 мм. Під час дії вібрації частотою 574,3 Hz найбільше відхилялась друкована плата № 4 (друга плата зверху) – на 1 мм. А при дії вібрації частотою 560,8 Hz найбільше відхилялась друкована плата № (друга плата знизу) – на 1 мм.

Важливим показником для визначення вібростійкості друкованих плат є здатність їх відновлювати свою форму та розміри після закінчення дії вібрацій. Даний показник характеризує залишкова деформація, яка з'являється під час перевищення механічного напруження у твердому тілі. Це відповідає границі пружності матеріалу. Напруження може бути будь-якого виду, і стиснення/розтягування, і зсуву, отже і залишкова деформація може бути, як зсуву, так і стиснення/розтягування.

Залишкова деформація зазвичай виражається і у абсолютних величинах (значення абсолютного стиснення/видовження), і у відносних величинах (збільшення лінійних розмірів або довжини, що виражається у відсотках від початкових лінійних розмірів або початкової довжини).

Вид деформації, яка не викликає зміни об'єму, є складовою залишковою деформації та називається пластичною деформацією. Границя пружності – це властивість матеріалу, максимальне навантаження, після зняття якого залишкова деформація не виявляється при розвантаженні.

Границя міцності для матеріалу FR4 згідно із довідникових даних складає ≥ 415 МПа.

В даному випадку розрахуємо відносне лінійне подовження для плат за формулою 4.13:

$$\varepsilon = \Delta l / l, \quad (4.13)$$

де Δl – зміна лінійного розміру, мм,

l – початковий лінійний розмір, мм.

Максимальне відхилення плати складає 1 мм, отже для плати довжиною 160 мм та шириною 80 мм відносне лінійне подовження складатиме:

$$\varepsilon_1 = 1/160 = 0,00625 \%$$

$$\text{та } \varepsilon_2 = 1/80 = 0,0125 \%.$$

Допуск на залишкову відносну деформацію зазвичай приймають в межах до $\varepsilon = 0,05$ %. Значення границі пружності, яке отримують при даній залишковій відносній деформації, має назву умовної границі пружності.

Як бачимо, у даному випадку, відхилення плат не є критичними, плати відновлюють свої розміри після завершення дії вібрацій. Деформація не є залишковою, адже $\varepsilon_1 < 0,05$ та $\varepsilon_2 < 0,05$.

Таким чином, друковані плати зазнають відхилень в межах 1 мм при різних частотах вібрації, але в цілому на конструкцію даного пристрою вібрації впливають мало. Конструкція пристрою бортової радіоелектронної апаратури під час впливу вібрацій не руйнується, зберігає свій вигляд та працездатність після завершення дії вібрацій на пристрій.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Аналіз потенційних небезпек

Необхідно провести аналіз можливих небезпек на робочому місці, у робочій зоні при дослідженні та розробці задач прикладного характеру, які розглядаються у роботі. Аналіз потенційних небезпек складається із визначення потенційно небезпечних або шкідливих чинників, пошуку причин їх появи і з'ясування всіх можливих наслідків впливу на людину за наступною схемою: «небезпека → причина → небажані наслідки» [28]. Прояви небезпеки найчастіше пов'язані із порушенням правил охорони праці або особистої безпеки. Отже, на робочому місці виконавця робіт – користувача ПК, існують такі небезпеки:

- потенційні небезпеки фізичного характеру, наприклад, незадовільна організація робочого місця, яка пов'язана з недостатнім урахуванням вимог ергономіки, з нераціональним розташуванням технологічного обладнання і захаращеністю робочої зони у процесі роботи з персональним комп'ютером, що може викликати створення небезпеки фізичного травмування;

- потенційні небезпеки психофізіологічного характеру, наприклад, емоційне та розумове перевантаження внаслідок недотримання зміни режимів праці і відпочинку, яке визиває стомлення, зниження працездатності або підвищене психофізіологічне навантаження;

- потенційні небезпеки санітарно-гігієнічного характеру, наприклад, підвищений рівень шуму, незадовільний рівень освітленості, підвищений рівень електромагнітних полів від монітору комп'ютера, порушення вимог до організації та обладнання робочих місць користувачів ПК і вимог до режиму праці і відпочинку, що викликає зниження працездатності, підвищене стомлення, і профзахворювання;

- потенційні небезпеки, які пов'язані із порушеннями правил пожежної безпеки, наприклад, відсутність або неправильний вибір типу і необхідної кількості первинних засобів гасіння пожеж (вогнегасників), коротке

замикання, котре може призвести до виникнення пожежі, несправність електрообладнання;

- потенційні небезпеки, які пов'язані із різними проявами наслідків надзвичайних ситуацій, наприклад, несправність електрообладнання, що може призвести до ураження струмом та фізичних ушкоджень, коротке замикання, що може призвести до виникнення пожежі;

- потенційні небезпеки, які пов'язані із проявом наслідків надзвичайних ситуацій, наприклад, невідповідність персоналу адекватно діяти в умовах надзвичайних ситуацій, що може призвести до травмувань та навіть до летальних випадків [28].

5.2 Заходи по забезпеченню електробезпеки

Приміщення, у котрих перебувають виконавці роботи, належать до приміщень без підвищеної небезпеки ураження електричним струмом. Обладнання, котре використовується у цих приміщеннях є споживачем електроенергії та живиться від змінного струму 220 В від мережі із заземленою нейтраллю, і відноситься до електроустановок до 1000 В закритого виконання [29]. За способом захисту людини від ураження електричним струмом дане приміщення відповідає згідно з ГОСТ 12.2.007.0-75 (2001) «ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности» І (стаціонарні комп'ютери) та ІІ (освітлювальні прилади, кондиціонери, опалювальні пристрої, ноутбуки, сканери) класу захисту [29]. Згідно «Правилам улаштування електроустановок» (далі «ПУЕ») виконані наступні групи заходів з електробезпеки.

Конструктивні заходи забезпечують захист від випадкового дотику до струмопровідних частин завдяки їх ізоляції і захисним оболонкам. Згідно із ГОСТ 12.1.009-76 (1999) «ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения» у приладах ІІ класу захисту використовується подвійна ізоляція - електрична ізоляція, яка складається з робочої і додаткової ізоляції [30]. У зв'язку із тим, що згідно з НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила устройства электроустановок. Электрооборудование специальных установок» офісні

приміщення у більшості відносяться до класу пожежонебезпечної зони II-III (приміщення, у котрих містяться тверді горючі речовини), тому передбачений ступінь захисту ізоляції обладнання IP44 [31].

Схемо-конструктивні заходи призначаються для забезпечення захисту від ураження електричним струмом при дотику до металевих оболонок, які можуть опинитися під напругою в результаті аварій. Згідно з ГОСТ 12.1.030-81 (2001) «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление» у приміщеннях влаштовується занулення [32]. Експлуатація електроустановок і електроустаткування проводиться відповідно до НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок» (далі «ПБЕЕ») [33] та НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» (далі «ПБЕЕС») [34].

Неприпустимим є розташування приміщень, що призначені для роботи з ВДТ у підвалах і цокольних поверхах. Забороняється розташування вибухонебезпечних приміщень категорії А і Б (НАПБ Б.03.002-2007 «Нормы определения категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной безопасности») і виробництв із мокрими технологічними процесами поряд із приміщенням, де розташовані ЕОМ (ПЕОМ), а також над цими приміщеннями, або під ними. Виробничі приміщення для роботи з ВДТ не повинні межувати із приміщеннями, у котрих рівень шуму та вібрації перевищує гранично допустимі значення [35]. Приміщення для проведення досліджень повинно відповідати вищезазначеним вимогам.

Для виключення можливого ураження електричним струмом користувачів ПК, у роботі передбачено:

– організаційні заходи (проведення навчання із правил електробезпеки, перевірка знань та атестація персоналу на другу або третю групу із електробезпеки, згідно НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці») [36];

– технічні заходи (враховуючи, що електроживлення електрообладнання приміщення з ПК здійснюється від мережі змінного струму напругою 220 В та частотою 50 Гц. Відповідно до вимог «ПУЕ», електрообладнання у

приміщенні з ПК, характеризується, як електроустановки до 1000 В, тому згідно вимог пункту 1.7 «ПУЕ», величина опору контуру захисного заземлення електрообладнання приміщення з ПК в будь-яку пору року не перевищує – 4Ом.

Відповідно до вимог директиви ЕС 90/270 ЕЕС повинні бути виконані основні вимоги до моніторів. Дані вимоги жорстко регламентують безпечні умови роботи і захист здоров'я осіб, котрі працюють із комп'ютерами:

- символи на екрані чіткі та добре розрізняються;
- зображення позбавлене блимання;
- яскравість та/або контрастність легко регулюються;
- екрани вільні від відблисків та відбиття;
- випромінювання знижені до надзвичайно малих рівнів [37].

5.3 Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці

Об'ємо-планувальні рішення будівель та приміщень для роботи із ПЕОМ та ВДТ ЕОМ мають відповідати вимогам до виробничих приміщень для експлуатації ПЕОМ та ВДТ ЕОМ відповідно до державних санітарних правил і норм роботи із візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ДСанПІН 3.3.2.007-98 пункт 2.

Розміщення робочих місць із ПЕОМ та ВДТ ЕОМ у підвальних приміщеннях та на цокольних поверхах заборонено[38].

Площа на одне робоче місце повинна становити не менше, ніж 6,0 м², а об'єм не менше, ніж 20,0 м³ [38].

Приміщення для роботи з ВДТ повинні бути освітлені штучно і природньо відповідно до СНиП II-4-79 [39].

Природне освітлення повинно здійснюватися через світлові прорізи, котрі орієнтовані переважно на північ або північний схід та повинно забезпечувати коефіцієнт природньої освітленості (КПО) не нижче, ніж 1,5% [39].

Виробничі приміщення для роботи з ВДТ не повинні межувати з приміщеннями, у котрих рівні вібрації та шуму перевищують гранично

допустимі значення за СН 3223-85 [40], СН 3044-84 [41], ГР 2411-81, ГОСТ 12.1.003-83 [42].

Звукоізоляція огорожувальних конструкцій приміщень із наявністю ВДТ повинна забезпечувати параметри шуму, котрі відповідають вимогам ГОСТ 12.1.003-83 [42], СН 3223-85 [43], ГОСТ 12.1.012-90 [44].

Приміщення для роботи із ВДТ повинні бути обладнані системами кондиціонування повітря, опалення, чи припливно-витяжною вентиляцією згідно до СНиП 2.04.05-91 [45]. Нормовані параметри іонного складу повітря, мікроклімату, вмісту шкідливих речовин повинні відповідати вимогам СН 4088-86 [46], СН 2152-80, ГОСТ 12.1.005-88 [48], ГОСТ 12.1.007-76 та [49].

Покриття підлоги має бути матовим із коефіцієнтом відбиття рівним 0,3-0,5. Поверхня підлоги повинна бути неслизькою, рівною, з антистатичними властивостями.

Для оздоблення інтер'єру приміщень ВДТ забороняється використовувати полімерні матеріали (шпалери, що миються, деревинно-стружкові плити, шаруватий паперовий пластик, рулонні синтетичні матеріали та інше), котрі виділяють в повітря небезпечні хімічні речовини.

Приміщення із наявністю ВДТ повинні бути оснащені аптечками першої медичної допомоги. У приміщеннях із наявністю ВДТ необхідно щоденно робити вологе прибирання.

Є певні вимоги до режимів праці та відпочинку при роботі із ВДТ ЕОМ та ПЕОМ, котрі наведені в ДСанПІН 3.3.2.007-98 пункт 3 [38].

Під час організації праці, котра пов'язана із застосуванням ВДТ ЕОМ та ПЕОМ, задля збереження здоров'я працівників, підтримки працездатності та запобігання професійних захворювань слід передбачити внутрішньозмінні перерви за регламентом задля відпочинку. Внутрішньозмінні режими праці та відпочинку повинні передбачати додаткові нетривалі перерви у ті періоди, котрі передують появі суб'єктивних та об'єктивних ознак втоми та зниження працездатності. Під час виконання робіт, котрі належать до різних видів трудової діяльності, за основну роботу із

ВДТ ЕОМ і ПЕОМ потрібно вважати ту, котра займає не менше, ніж 50% часу.

Протягом робочої зміни повинні бути передбачені:

- перерви задля вживання їжі та відпочинку (обідні перерви);
- перерви задля особистих потреб та відпочинку (згідно із трудовими нормами);
- додаткові перерви, котрі передбачені для деяких окремих професій із урахуванням особливостей їх трудової діяльності [38].

Тривалість обідньої перерви визначається діючим законодавством про працю та Правилами внутрішнього трудового розпорядку підприємства (установи, організації) [38].

Внутрішньозмінні режими праці та відпочинку при роботі із ПЕОМ та ВДТ ЕОМ розроблені із врахуванням напруженості, важкості та характеру трудової діяльності, диференційовано задля кожної окремої професії [38].

За характером здійснення трудової діяльності розрізняють три професійні групи у відповідності до діючого класифікатору професій (ДК 003-95 (v0257217-95, va257217-95, vb257217-95) та Зміна N 1 до ДК 003-95 (v0314217-98).

Група 1 - розробники програм (інженери-програмісти) – здійснюють свою роботу головним чином із відеотерміналом і документацією за необхідності, а також при інтенсивному обміні інформацією із ЕОМ та дуже високою часткою прийняття рішень. Дана робота характеризується концентрацією уваги при нервово-емоційнім напруженні, дуже інтенсивною творчою розумовою працею із підвищеним напруженням зору, робочою позою у вимушеному стані, навантаженням на кисті верхніх кінцівок, загальною гіподинамією. Робота здійснюється у режимі діалогу із ЕОМ у повільному темпі та періодичним пошуком помилок за умови дефіциту часу.

Група 2 - оператори електронно-обчислювальних машин - здійснюють роботу, котра пов'язана із обліком інформації, що одержана із ВДТ за попереднім запитом, або тієї інформації, котра надходить із нього. Ця робота пов'язана із здійсненням іншої роботи, супроводжується перервами, різними по тривалості, та характеризується, як робота із невеликими фізичними

зусиллями, напруженням зору, нервовим напруженням середнього ступеня і здійснюється у вільному темпі.

Група 3 - оператор комп'ютерного набору - виконує одноманітні за характером роботи із клавіатурою та документацією, під час роботи є нетривалі переключення погляду на екран дисплея, введення даних здійснюється із високою швидкістю, дана робота характеризується як фізична праця із нервово-емоційним напруженням, підвищеним навантаженням на кисті верхніх кінцівок на фоні гіподинамії із напруженням зору [50].

При 8-годинній денній робочій зміні устанавлюються наступні внутрішньозмінні режими праці і відпочинку під час роботи із ЕОМ в залежності від характеру праці:

- для розробників програм з використанням ЕОМ, необхідно призначати перерву задля відпочинку, що триває 15 хвилин через кожен годину роботи із ВДТ;

- для операторів з використанням ЕОМ, необхідно призначати перерви задля відпочинку, що тривають 15 хвилин через кожні дві години;

- для операторів комп'ютерного набору необхідно призначати перерви задля відпочинку, що тривають 10 хвилин після кожної години роботи із ВДТ [50].

В усіх тих випадках, коли виробничі обставини не дають змоги використовувати регламентовані перерви, загальна тривалість безперервної роботи із ВДТ не повинна бути більшою за 4 години [50].

При 12-годинній робочій зміні перерви мають встановлюватися у перші 8 годин роботи, як і при 8-годинній робочій зміні, а під час останніх 4-х годин роботи, через кожен годину, протягом 15 хвилин [50].

Для зменшення негативного впливу монотонності доцільно застосовувати зміну змісту роботи - чергування операцій усвідомлення тексту та числових даних, чергування редагування текстів та вводу даних [50].

Задля зниження втоми зорового аналізатору, нервово-емоційного напруження, подолання несприятливих наслідків гіподинамії, поліпшення мозкового кровообігу, запобігання втомі, доцільно деякі види перерв використовувати задля виконання комплексу вправ [50].

Працівники із ВДТ ЕОМ і ПЕОМ проходять обов'язкові медичні огляди: попередні - при улаштуванні на роботу та періодичні – під час трудової діяльності відповідно до наказу МЗ України N 45 від 31.03.94 р. Періодичні медичні огляди повинні проводитися раз у два роки комісією, яка складається із терапевта, невропатолога і офтальмолога [51].

Важливими критеріями оцінки здатності до роботи із ПЕОМ та ВДТ ЕОМ повинні бути основні показники стану органів зору: показники рефракції, акомодатції, гострота зору, стан бінокулярного апарату ока та інше. Необхідно враховувати загальний стан організму. Жінки, котрі працюють із ПЕОМ та ВДТ, оглядаються лікарем акушером-гінекологом обов'язково один раз у два роки [51].

Існують наступні протипоказання із боку органів зору:

- відсутність бінокулярного зору;
- гострота зору із корекцією не нижче, ніж 0,5 на одному оці та 0,2 - на другому оці;
- лагофталм;
- рефракція: гіперметропія вище 4,0 Д, міопія вище 6,0 Д, астигматизм (будь якого виду) вище 3,0 Д;
- захворювання зорового нерву та сітки;
- хронічні захворювання переднього відрізка очей;
- глаукома [51].

Загальні протипоказання:

- органічні захворювання центральної нервової системи із суттєво вираженими порушеннями функцій;
- вроджені аномалії органів із вираженою недостатністю їх функцій;
- ендокринні захворювання із вираженими порушеннями функцій ендокринних залоз;
- хронічні форми психічних захворювань та психогенні стани, при котрих хворі мають підлягати обов'язковому нагляду у психоневрологічних диспансерах, епілепсія із пароксизмальними порушеннями. В разі виражених форм пограничних психічних захворювань

питання про придатність людини до відповідних робіт вирішується комісією психоневрологічної установи;

- хронічні форми хвороб нервової системи;
- злоякісні пухлини (якщо немає абсолютних протипоказань, після лікування питання про придатність до роботи вирішується індивідуально);
- всі захворювання систем крові і органів кровотворення будь-якої стадії;
- хронічні захворювання легенів із вираженою недостатністю легенів і серця;
- гіпертонічна хвороба III стадії;
- активні форми туберкульозу;
- тяжкий ступінь бронхіальної астми із вираженими функціональними порушеннями кровообігу та дихання;
- виразкова хвороба шлунку та дванадцятипалої кишки із хронічним рецидивуючим перебігом;
- цироз печінки та активний хронічний гепатит;
- хронічні захворювання нирок із проявами ниркової недостатності;
- колагенози;
- вертебро-неврологічні захворювання (радикулярні синдроми шийного та попереково-крижового рівня);
- звичайні викидні, аномалії плода у анамнезі жінок, котрі планують народження дітей;
- вагітність і період лактації;
- порушення менструальної функції, котрі супроводжуються матковими кровотечами [51].

У разі виявлення хронічних неспецифічних захворювань (виразкова хвороба шлунку та 12-палої кишки, гіпертонічна хвороба, хронічні захворювання гепатобіліарної, бронхолегеневої системи і ін.), працівники із ПЕОМ та ВДТ ЕОМ беруться на диспансерний облік задля здійснення систематичного лікарського обстеження і лікування [51].

Виконаємо розрахунок повітрообміну у приміщенні, де працює одна людина за комп'ютером.

Вирішення: кількість CO₂, що виділяє одна людина $G = 23$ л/год. Визначаємо допустиму концентрацію CO₂. Тоді $x_v = 1$ л/м³ та місткість CO₂ в зовнішньому повітрі для великих міст $x_n = 0,5$ л/м³. Визначаємо необхідний повітрообмін за формулою (5.1):

$$L = nG / (x_n - x_v), \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (5.1)$$

де L , м³/год – необхідний повітрообмін;

G , г/ч – кількість шкідливих речовин, що виділяються у повітря приміщення;

n – кількість людей у приміщенні;

x_v , мг/м³ – гранично допустима концентрація шкідливості у повітрі робочої зони приміщення, відповідно ГОСТ 12.1.005-88;

x_n , мг/м³ – максимально можлива концентрація тієї ж шкідливості у повітрі населених міст (ГН 2.1.6.1338- 03).

Тоді отримаємо: $L = 23 \cdot 1 / (1 - 0,5) = 46$ м³/ год.

Відповідь: $L = 46$ м³ /год.

5.4 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

5.4.1 Заходи з пожежної безпеки

Розробка заходів з пожежної безпеки здійснюється з урахуванням аналізу речовин та матеріалів, котрі використовуються при роботі та відповідно до ДБН 21.10.04-05 "Виробничі будівлі". Змінення № 1 (національне) (Наказом Держбуду України від 21.10.2004 года № 195, набуло чинності з 1 квітня 2005 року) для обчислювальних центрів, у котрих встановлено ПК, встановлена категорія пожежної, вибухової та вибухопожежної небезпеки класу D [52]. Згідно із ГОСТ 27331-87 Пожежна техніка. Класифікація пожеж» клас пожежі даного приміщення – А, Е. Де А — горіння твердих речовин, Е — горіння електроустановок, котрі перебувають під напругою електричного струму [53].

Задля запобігання механічних травмувань необхідно, щоб виконувалися вимоги ДСТУ ISO 6309:2007 «Протипожежний захист. Знаки безпеки. Форма і колір». Згідно із ДСТУ ISO 6309:2007 встановлено застосування сигнальних кольорів та знаків безпеки, котрі призначені задля привернення уваги працівників до безпосередньої небезпеки, попередження про можливу небезпеку, з метою забезпечення безпеки, а також для отримання необхідної інформації. Сигнальні кольори застосовують для знаків безпеки поверхонь пристроїв, конструкцій та елементів виробничого устаткування, котрі є джерелами небезпеки для працівників, поверхонь огорожень та інших захисних пристроїв. Знаки безпеки контрастно виділяються та перебувають в полі зору людей, для котрих вони призначаються [54].

Для гасіння можливої пожежі доцільно використовувати два вогнегасники - вуглекислотний ВВК-1,4 та порошковий ОП-5 вогнегасники згідно із ДСТУ 4297:2004. «Пожежна техніка. Технічне обслуговування вогнегасників. Загальні технічні вимоги» [55].

Однією із найважливіших завдань пожежної безпеки є захист будівельних конструкцій від руйнування та забезпечення їх достатньої міцності за умови впливу високих температур під час пожежі. В залежності від меж вогнестійкості будівельних конструкцій обчислювальних центрів та частин будинків іншого призначення, в котрих передбачено розташування ПК, III ступень вогнестійкості згідно із ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» [56].

Обладнання лабораторії обчислювальних центрів має відповідати вимогам Правил пожежної безпеки в Україні, та повинно бути виконано відповідно до ПУЕ та ДСТУ 7237:2011: «Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту».

Задля виявлення пожеж і загорань у приміщенні має бути встановлена система автоматичної пожежної сигналізації, оснащена димовими пожежними сповіщувачами [57].

Приміщення оснащується системою автоматичної пожежної сигналізації відповідно до вимог ДБН В.2.5-56: 2014 "Системи протипожежного захисту" (на зміну ДБН В.2.5-56:2010, ДБН 2.04.05-91

(розділи 5 і 22) із димовими пожежними сповіщувачами і переносними вуглекислотними вогнегасниками [58] у відповідності до «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників» (наказ МВС України 15.01.2018 № 25), із урахуванням граничнодопустимих концентрацій вогнегасної рідини у відповідності до вимог Правил пожежної безпеки в Україні [59].

У відповідності до протипожежних норм, будівля повинна бути обладнана пожежними кранами. Пожежні крани розміщуються у вбудованих шафах, що мають отвори для провітрювання та пристосовані для опломбування і візуального огляду без їх розкривання; об'єднані вони з господарсько-питним водопроводом. Пожежні шафи розташовуються в коридорі, повинні бути вільними підходи до засобів пожежогашіння [59].

5.4.2 Заходи з цивільного захисту

Класифікація засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) встановлюється у відповідності до ДСТУ 7239:2011. Залежно від призначення вони розділяються на 10 класів. Дані класи засобів захисту наведені нижче.

Клас 1. Засоби захисту голови: захисні шоломи та підшоломники; захисні каски; капелюхи, кепки, кепі із захистом та без, шапки, косинки, берети, сітки для волосся із козирком та без, накомарники.

Клас 2. Засоби захисту органів слуху: звукозахисні шоломи; вушні затички та аналогічні засоби; протишумові навушники; протишумові захисні пристрої із електронним приймачем; протишумові навушники, котрі можна кріпити до касок та шоломів; протишумові захисні пристрої із наявним телефонним зв'язком.

Клас 3. Засоби захисту обличчя та очей: захисні окуляри від лазерного, рентгенівського, інфрачервоного, ультрафіолетового випромінювання і від яскравого світла; захисні окуляри із світлофільтрами; захисні окуляри і екрани від механічних ушкоджень, бризок, пилу, хімічних речовин та ін.; екрани для обличчя; маски і щитки задля дугового зварювання.

Клас 4. Засоби захисту органів дихання: ізолювальні пристрої, фільтрувальні пристрої та ін.

Клас 5. Засоби захисту рук, плеча та передпліччя: захисні рукавички; захисні рукавиці; рукавички та рукавиці, котрі захищають від:

- а) механічних ушкоджень;
- б) хімічних речовин;
- в) мікроорганізмів;
- г) іонізуючого випромінювання і радіоактивних речовин;
- д) електричного струму;
- е) статичної електрики;
- ж) вібрації;
- з) холоду та знижених температур;
- і) спеки та теплових випромінювань.

Клас 6. Одяг спеціальний захисний (спецодяг): комбінезони, напівкомбінезони, костюми, куртки, штани, шорти, сорочки, халати, жилети, жакети, кофти, сукні, спідниці, плащі, напівплащі, фартухи, накидки; захисний одяг від хімічних ушкоджень; захисний одяг від механічних ушкоджень; захисний одяг від статичної електрики; захисний одяг від електричних ушкоджень; захисний одяг під час зварювання; захисний одяг від інфрачервоного випромінювання та розплавлених бризок металу; утеплений одяг; теплозахисний одяг; захисний одяг від радіоактивного ураження; костюми ізолювальні; фартухи для захисту від рентгенівського випромінювання; газонепроникний одяг; рятувальні жилети; пилонепроникний одяг; світловідбивний одяг та доповнення до нього; сигнальний одяг флуоресцентний; захисні покривки із поліхлорвінілового пластикату, котрі вдягаються зверху на основний одягу задля додаткового захисту від контактного забруднення токсичними, радіоактивними речовинами і розчинами лугів та кислот.

Клас 7. Засоби захисту ніг та стегон: напівчоботи, чоботи; черевики до литок або гомілок; тапочки; туфлі; унти; калоші; наколінники; щитки; щитки; водонепроникне взуття; взуття із жаростійкою підошвою; взуття задля захисту від нафтопродуктів та нафти, жирів, олив, лугів, кислот; взуття від

знижених температур; взуття, котре запобігає ковзанню; вібростійкі чоботи та черевики; антиелектростатичне взуття, чоботи і черевики; електроізолювальні черевики, чоботи, калоші, боти; взуття із додатковим захистом пальців від удару; захисні черевики задля роботи із ланцюговими пилками; взуття стьобане задля захисту від дрібного скла; черевики на дерев'яній підошві; взуття, котре можна швидко розстібнути або розв'язати; знімні шипи і пластини; змінні підошви.

Клас 8. Засоби захисту від падіння із висоти: оснащення, призначене задля попередження падіння; пояси запобіжні; запобіжні пристрої, котрі гасять кінетичну енергію та гальмують із повним оснащенням з усім приладдям; страхувальне та стримувальне обладнання, оснащення із усім приладдям.

Клас 9. Засоби захисту шкіри: захисні мазі, гелі, креми; репаративні засоби; очисники шкіри.

Клас 10. Засоби захисту комплексні [60].

Використання засобів індивідуального захисту обумовлюється необхідністю забезпечення ефективного захисту людини у виробничих умовах та тоді, коли безпеку виконуваних робіт неможливо забезпечити конструкцією обладнання, архітектурно-планувальними рішеннями, організацією виробничих процесів і засобами колективного захисту. Накопичений досвід фахівці із промислової гігієни та профзахворювань дає змогу вважати, що у системі захисту від шкідливих виробничих чинників використання засобів індивідуального захисту є останнім та найбільш ненадійним методом, котрий повинен застосовуватися лише тоді, коли використання надійніших способів захисту неможливе; або можливе — але не дає змоги зменшити шкідливу дію до безпечних рівнів [61].

Підготовка протигазу до використання починається із визначення необхідного розміру лицьової частини [61].

Розмір лицьової частини протигазів ГП-5, ГП-5М, ПП-4, ПП-5 та ПП-46 визначається за величиною вертикального обхвату голови шляхом вимірювання її по замкнутій лінії, котра проходить через маківку, щоки і

підборіддя. Результати вимірювань округлюють до 0,5 см (таблиці 5.1 і 5.2) [61].

Підбір масок протигазів ГП-7, ГП-7В і ГП-7ВМ здійснюється за величиною вертикального і горизонтального обхватів голови. Їх визначають за допомогою виміру голови по замкненій лінії, котра проходить через лоб, потилицю та скроні. Результати вимірювань округлюють до 0,5 см (таблиця 5.3) [61].

Таблиця 5.1 – Розміри лицьових частин протигазів ГП-5 і ГП-5М

Шолом-маска	Розміри шолом-масок та відповідні їм вертикальні обхвати голови, см				
	0	1	2	3	4
ГП-5 (ШМ-62У)	До 63	63,5-65,5	66-68	68,5-70,5	71 і більше
ГП-5М (ШМ-62МУ)	До 63	63,5-65,5	66-68	68,5 і більше	-

Таблиця 5.2 – Підбір лицьових частин ізолюючих протигазів ІП-4, ІП-5 і ІП-46

Шолом-маска	Розміри шолом-масок та відповідні їм вертикальні обхвати голови, см			
	1	2	3	4
ІП-4 (ШИП-26)	До 63,5	64-67	67,5-69,5	70 і більше
ІП-5 (ШИП-М)	До 64	64,5-68,5	69 і більше	-
ІП-46 (ШВСМ)	60,5-63,5	63,5-66,5	66,5-68,5	68,5-71,5

Таблиця 5.3 – Підбір масок протигазів ГП-7, ГП-7В і ГП-7ВМ залежно від суми вертикального та горизонтального обхватів голови

Шолом-маска	Розміри шолом-масок та відповідні їм суми вертикального та горизонтального обхватів голови, см		
	1	2	3
ГП-7 (МБ-1-80)	118,5-123,5	124-128,5	129-131,5 і більше

6 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

6.1 Опис ідеї

Застосування CAD / CAM / CAE-систем дозволяє зменшити витрати часу і коштів на проєктування, планування та виготовлення складних інженерних виробів, підвищує якість та технічний рівень результатів проєктування, зменшує витрати на натурне моделювання та проведення випробувань.

Симуляція випробувань дозволяє прогнозувати поведінку виробів бортової радіоелектронної апаратури в реальному середовищі шляхом віртуального тестування CAD-моделей у програмі Fusion 360 із застосуванням хмарних технологій зберігання проєктів. Опис ідеї даної роботи наведено у таблиці 6.1.

Таблиця 6. 1 - Опис ідеї дипломної роботи

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для споживачів (користувачів)
Створення віртуальної 3-D моделі пристроїв бортової радіоелектронної техніки та симуляція випробувань у CAD / CAM / CAE-системі Fusion 360	3D-моделювання складних і дорогих приладів та виробів	Економія матеріалів, людської праці та часу на виготовлення реальних приладів
	Віртуальне тестування приладів шляхом симуляції різних режимів випробувань на моделях	Економія на здійсненні реальних випробувань, можливість перевірити різні режими роботи без руйнування реальної моделі
	Порівняння та вибір оптимальної конструкції приладу до етапу його реального виготовлення	Можливість обрати оптимальну конструкцію та матеріал для виготовлення приладу дослідним шляхом

Позитивними результатами даної роботи є покращення, удосконалення, виявлення недоліків та оптимізація конструкції виробу без проведення реальних дорогих випробувань на реальних моделях приладів.

6.2 Попередня характеристика потенційного ринку та потенційних клієнтів

Проаналізуємо потенційний ринок для даної ідеї, ринкові можливості запуску для її реалізації. Результати цього аналізу наведені у таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 - Попередня характеристика потенційного ринку

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Головні конкуренти – інші CAD / CAM / CAE-системи та виконавці робіт в цих системах (SolidWorks, Onshape та інші)	CAD – комп'ютерна підтримка конструювання
		CAM – комп'ютерна підтримка виробництва
		CAE – комп'ютерна підтримка інженерного аналізу
2	Динаміка ринку	Зростає
3	Наявність обмежень для входу	1. Дані програмні продукти мають досить кошовну платну версію для повної роботи програми 2. Необхідна висока кваліфікація виконавців роботи
4	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Програмні продукти мають бути ліцензовані

Визначимо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та сформуємо орієнтований перелік вимог до послуг для кожної групи. Попередня характеристика потенційних клієнтів наведена у таблиці 6.3.

Таблиця 6. 3 – Попередня характеристика потенційних клієнтів

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів (користувачів)
1	Здійснення комп'ютерного моделювання виробів та приладів	Науковці, інженерно-технічні працівники, працівники державних та приватних підприємств	Створення комп'ютерних моделей необхідної продукції (виробів, приладів)	Рішення повинно бути максимально зручним та зрозумілим
2	Проведення різних видів випробувань на віртуальних моделях приладів, симуляція різних видів роботи приладів	Науковці, інженерно-технічні працівники, працівники державних та приватних підприємств	Симуляція різних необхідних видів випробувань на віртуальних моделях приладів (виробів) із заданими характеристиками	Максимальне відтворення різних видів роботи приладів та навантажень на них
3	Інженерний аналіз отриманих результатів, можливість обробки даних	Науковці, інженерно-технічні працівники, працівники державних та приватних підприємств	Отримання необхідних результатів у максимально зручному вигляді та формі	Зручна обробка результатів моделювання та симуляції
4	Зберігання проєктів та можливість користуватися ними одночасно декільком виконавцям	Науковці, інженерно-технічні працівники, працівники державних та приватних підприємств	Зручний інтерфейс та доступ до даних проєкту	Швидкий та зручний доступ для роботи із програмним продуктом із будь-якого пристрою

6.3 SWOT-аналіз середовища реалізації інноваційного проєкту

Проведемо SWOT-аналіз середовища реалізації інноваційного проєкту, базуючись на характеристиках проєкту. Результати SWOT-аналізу наведені у таблиці 6.4.

Таблиця 6. 4 - SWOT- аналіз

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
<ul style="list-style-type: none"> - Зручне використання програмного продукту можливе з великої кількості пристроїв. - Кожен з користувачів може відкрити даний сервіс у зручний для себе спосіб з максимальною зручністю. - Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс з простим доступом до найважливіших функцій даного продукту. - Можливість одночасно працювати над одним проектом кільком користувачам. - Максимальне відтворення віртуальним чином реальних умов роботи приладів. 	<ul style="list-style-type: none"> - Необхідність підключення до інтернету для роботи з програмним продуктом. - Коштовність повної версії програмного продукту зі всіма можливостями.
Можливості:	Загрози:
<ul style="list-style-type: none"> - Збільшення видів випробувань, які можливо провести із застосуванням даної програми. - Наявність безкоштовної версії для користування студентами ВНЗ. - Удосконалення інтерфейсу та тенденція до використання різних мов у його оформленні. - Можливість моделювати різні прилади (вироби) та порівнювати різні види випробувань для них. 	<ul style="list-style-type: none"> - Залежність від швидкості інтернету. - Поява іншого аналогічного продукту з тими ж можливостями, але більш дешевого. - Безпека від комп'ютерних вірусів та сторонніх втручань, адже зберігаються всі дані у «хмарі»

6.4 Вибір цільових груп потенційних споживачів

Ринкова стратегія проєкту передбачає визначення стратегії охоплення ринку, для чого необхідно здійснити опис цільових груп потенційних споживачів. Вибір цільових груп потенційних споживачів даного проєкту із їх описом наведено у таблиці 6.5.

Таблиця 6. 5 - Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Науковці	Потреба у розрахунках та симуляції різних видів навантажень на виробу (прилади) для наукового пошуку кращого рішення	Великий	Існує декілька конкурентів, які надають схожі, але менш швидкі та менш результативні рішення.	Швидкодія, зручний користувацький інтерфейс, наявність безкоштовної версії для студентів ВНЗ, можливість доступу із будь-якого пристрою та можливість роботи декільком користувачам одночасно в одному і тому ж самому проекті
2	Інженерно-технічні працівники, працівники державних та приватних підприємств	Потреба у моделюванні, симуляції та розрахунках різних видів навантажень на прилади (вироби) для обрання найкращого виконання приладу (виробу)	Великий	Існує декілька конкурентів, які надають схожі, але менш швидкі та менш результативні рішення.	Швидкодія, зручний користувацький інтерфейс, наявність безкоштовної версії для студентів ВНЗ, можливість доступу із будь-якого пристрою та можливість роботи декільком користувачам одночасно в одному і тому ж самому проекті
Які цільові групи обрано: обираємо науковців та інженерно-технічних працівників, працівників державних та приватних підприємств					

6.5 Пошук внутрішніх та зовнішніх стейкхолдерів

В кожному проекті, без залежності від його структури, масштабу, цілей, є зацікавлені сторони, котрі поділяються на дві категорії: зовнішні і внутрішні. Зовнішні зацікавлені сторони зовні впливають на хід проекту або можуть знаходитися під його впливом. Внутрішні стейкхолдери - це організації або

особи, котрі знаходяться всередині проєкту [62]. Таким чином, на проєкт мають вплив:

- зовнішнє оточення проєкту, зовнішнє оточення компанії, а також внутрішнє середовище компанії, в рамках котрої реалізується проєкт;

- його внутрішні зацікавлені сторони, які беруть участь у реалізації проєкту.

Переваги управління стейкхолдерами наступні:

- визначення основних зацікавлених сторін та розуміння ставлення їх до проєкту;

- проєкт матиме спільне бачення та більшу ясність серед ключових впливових осіб на нього;

- об'єднання людей, враховуючи їх досвід і знання задля спільного розв'язання проблем;

- визначеність із стратегією проєкту задля отримання конкурентної переваги;

- зниження рівнів ризику проєкту [62].

Взаємодія стейкхолдерів відіграє дуже важливу роль у всіх інноваційних процесах, вдале та вчасне залучення стейкхолдерів у проєкт сприяє забезпеченню ресурсами та зростанню ділової і інноваційної активності. Внесок та стимул внутрішніх та зовнішніх стейкхолдерів для даного проєкту відображено у таблицях 6.6, 6.7.

Таблиця 6.6 - Внесок та стимул внутрішніх стейкхолдерів

Тип	Характеристика	Вклад	Стимул
Наукові співробітники (Scientists)	Фізична особа або організація, котра виконує завдання розробки, аналізує вимоги, проектування, тестування під час всього життєвого циклу.	Інновації; час; технології; знання; професійні навички.	Можливість здійснення експериментів на сучасному обладнанні; доступ до найбільш сучасних технологій проектування; винагорода; підвищення кваліфікації.
Команда проекту (Project Team)	Тимчасова група фахівців, що створена на час виконання проекту.	Професійні навички; час; залученість до діяльності.	Достовірна та актуальна інформація; покращення робочої атмосфери; досвід у виконанні інноваційних проектів; задоволення від роботи; винагорода.
Галузеві фахівці (Industry Specialists)	Група фахівців із основної тематики проекту.	Кваліфікація; знання.	Укомплектована матеріально-технічна база; безпечні умови праці; удосконалена конструкторська документація; винагорода.
Інвестори та акціонери (Investors and Shareholders)	Інвестор є фізичною або юридичною особою, котра вкладає позикові, власні або інші залучені кошти у інвестиційні проекти. Акціонер є фізичною або юридичною особою, котра є також власником акцій акціонерного товариства.	Інвестиції.	Безпека інвестицій; дивіденди; зростання капіталу.
Керівники (топ менеджмент) (Project Management)	Керівники організації вищого рівня, котрі постійно несуть відповідальність за ефективне управління даною організацією.	Керівництво проектом; підтримка прийняття рішень.	Влада; винагорода; престиж.

Таблиця 6.7 - Внесок та стимул зовнішніх стейкхолдерів

Тип	Характеристика	Вклад	Стимул
Замовник (Customer)	Фізична особа або організація, котра отримує послугу або продукт.	Гроші; вимоги до продукту проекту; вимоги до проекту; активи організаційного процесу.	Потенційно можливий прибуток; інтелектуальна власність; якісний продукт.
Споживачі продукту проекту (Consumers)	Об'єкт (фізична або юридична особа), котра є користувачем або покупцем результатів проекту.	Зворотний зв'язок; уточнення вимог до продукту проекту; попит.	Продукт проекту; якість; цінність.
Підрядні організації (Contractors)	Фізична особа або організація, котра укладає угоду з замовником про поставки послуги або товару.	Своєчасне виконання замовлення; довіра.	Довгострокове партнерство; своєчасна оплата.
Урядові органи (Government agencies)	Державна організація, котра здійснює законодавче супроводження виконання проекту.	Залучення до проекту; лобювання результатів проекту.	Розвиток регіону; податки.
Наглядова рада (фасилітатор) (Business Analysts)	Фізична особа або організація, котра забезпечує вдалу групову комунікацію.	Корекція; контроль.	Винагорода; підвищення ефективності у реалізації проекту.
Ділові партнери (Partners)	Фізична особа або організація, котра укладає угоду із власником задля отримання права на використання об'єкту інтелектуальної власності.	Гроші.	Виробництво інноваційно затребуваних продуктів; прибуток.

6.6 Визначення економічної ефективності роботи

Задля того, щоб розрахувати економічну ефективність, необхідно обрати конкретну методику розрахунків економічної ефективності із багатьох існуючих, ту, котра більшою мірою відповідає проектуванню і випробуванням

3D-моделі. Для дослідницької дипломної роботи необхідно розробити наступні напрямки:

- розробити етапи проведення всієї дослідницької роботи;
- призначити трудомісткість усіх етапів, кількість виконавців на кожному із етапів, тривалість проведення етапів;
- розробити план–графік виконання роботи, котрий визначає терміни та послідовність виконання робіт;
- розрахувати витрати для проведення дослідницької роботи.

Розробка етапів проведення дослідницької роботи за темою «Дослідження динамічних навантажень та теплових режимів бортової радіоелектронної апаратури» наведена в таблиці 6.8.

Таблиця 6.8 – Етапи і зміст паралельного і послідовного виконання робіт

Етапи виконання робіт	Зміст виконання робіт
Планування і аналіз вимог	Отримання замовлення на розробку. Розробка, уточнення і затвердження технічного завдання. Створення часової діаграми проекту, із вказанням термінів початку і закінчення розробки кожного модуля, усіх частин проекту і усього проекту взагалі.
Проектування 3D-моделі	Проектування необхідного пристрою відповідно до технічного завдання.
Налаштування	Налаштування програмного забезпечення задля проведення випробувань
Проведення випробувань	Проведення випробувань 3D-моделі у хмарній системі CAD, CAM, CAE Fusion 360
Комплексування	Визначення наявної ефективності. Складення документу, котрий детально описує саму розробку: <ul style="list-style-type: none">- вимоги замовника;- розгляд усіх задач та проблем;- необхідна інформація.

Загальна трудомісткість розробки 3D-моделі визначається у людино-днях при п'ятиденному робочому тижні та становить 17 людино-днів.

Трудомісткість кожного етапу визначається відповідно до загальної трудомісткості розробки 3D-моделі та питомої ваги кожного з етапів у загальній трудомісткості. Питома вага трудомісткості етапів наведена у таблиці 6.9.

Таблиця 6.9 - Питома вага трудомісткості етапів

№ з/п	Стадії розробки	Зміст роботи	Розробники	Кількість, люд	Питома вага, %
1	Аналіз вимог і планування	Отримання замовлення на розробку. Розробка, уточнення та затвердження технічного завдання. Відтворення часової діаграми проекту, із указанням термінів початку та закінчення розробки кожного модуля, усіх частин проекту і усього проекту разом.	Інженер - конструктор	1	8%
2	Проектування 3D-моделі	Проектування необхідного пристрою згідно технічного завдання.	Інженер - конструктор	1	27%
3	Налаштування	Налаштування програмного забезпечення задля проведення випробувань	Інженер - конструктор	1	10%
4	Проведення випробувань	Проведення випробувань 3D-моделі у системі CAD, CAM, CAE Fusion 360.	Інженер - конструктор	1	35%
5	Комплексування	Визначення наявної ефективності. Складення документу, котрий детально описує саму розробку: - вимоги замовника; - розгляд усіх задач та проблем; - необхідна інформація.	Інженер - конструктор	1	20%
Всього				1	100%

Трудомісткість кожного етапу визначається за формулою (6.1):

$$T_i = T_{заг} \frac{\%T_i}{100\%} \quad (6.1)$$

де:

T_i - трудомісткість і-го етапу, дні;

$T_{заг}$ - загальна трудомісткість розробки, дні;

Таблиця 6.10 – Розрахунок тривалості етапів дипломної роботи

Назва етапів	Трудомісткість етапів		Виконавці		Тривалість етапів Тці, днів
	Ті, люд.- дн.	% від суми	Спеціальність	Кількість, люд.	
Планування та аналіз вимог	1,36	8%	Інженер - конструктор	1	1,30
Проектування 3D-моделі	4,59	27%	Інженер - конструктор	1	4,37
Налаштування	1,7	10%	Інженер - конструктор	1	1,62
Проведення випробувань	5,95	35%	Інженер - конструктор	1	5,67
Комплексування	3,4	20%	Інженер - конструктор	1	3,24
Всього	17	100%		1	16,19

Розрахуємо основну, додаткову заробітну плату та відрахування на фонд оплати праці.

Витрати на соціальне страхування складаються із планового фонду зарплати усіх категорій працівників. Розрахунок заробітної плати здійснюється на основі даних про трудомісткість, що розраховано раніше. Місячний посадовий оклад інженера-конструктора складає 9000 грн. При цьому посадові оклади розраховані виходячи з мінімальної зарплати 5000 грн (на 01.09.2020).

Надбавки, премії, доплати за положеннями беруться у відповідності до закону України «Про оплату праці» [63].

Зарплата за 1 людину-день визначається за формулою (6.3):

$$Z_{1ч-д} = \frac{O_{мі}}{21} \quad (6.3)$$

де:

$Z_{1ч-д}$ - зарплата за 1 чоловіко-день, грн/день;

$O_{мі}$ - місячний посадовий оклад і-го виконавця, грн;

21-середня кількість робочих днів протягом місяця, днів.

Зарплата за один чоловіко-день складає:

$$Z_{1ч-д} = \frac{9000}{21} = 428,57 \text{ грн/день}$$

Розрахунок основної заробітної плати виробничого персоналу за посадовими окладами або тарифними ставками розраховується за формулою (6.4):

$$Z_{оснi} = Z_{1ч-д} \cdot T_i \quad (6.4)$$

де:

$Z_{осн}$ - основна зарплата і-го виконавця у відповідності із трудомісткістю на даному етапі, грн;

T_i - трудомісткість на даному етапі і-го виконавця, чоловіко-днів.

Для першого етапу основна заробітна платня буде складати:

$$Z_{осн1} = 428,57 \cdot 1,36 = 582,86 \text{ грн.}$$

Додаткова зарплата визначається за формулою (6.5):

$$Z_{д} = Z_{осн} * \frac{\%Z_{д}}{100} \quad (6.5)$$

де :

$Z_{д}$ – додаткова зарплата, грн;

$Z_{осн}$ – основна зарплата, грн;

$\% Z_{д}$ – відсоток додаткової зарплати від основної, %, обираємо 30%.

Для першого етапу додаткова зарплата складає:

$$Z_{д} = 582,86 * \frac{30}{100} = 174,86 \text{ грн.}$$

Для інших етапів розрахунок проводиться аналогічно, а результати заносяться до таблиці 6.9.

Повну заробітну плату розраховується за формулою (6.6):

$$Z_n = Z_{осн} + Z_{д} \quad (6.6)$$

де :

Z_n – повна зарплата виконавців, грн.

$$Z_n = 582,86 + 174,86 = 757,71 \text{ грн.}$$

Для інших етапів розрахунок проводиться аналогічно, а результати заносяться до таблиці 6.9.

Нарахування на фонд оплати праці (ФОП) визначаються за формулою (6.7):

$$B_{cc} = Z_n * \frac{\%B_{cc}}{100} \quad (6.7)$$

де :

V_{cc} – відрахування на соціальне страхування, грн;

$Z_{п}$ – повна зарплата працівників, грн;

$\%V_{cc}$ – відсоток відрахувань на соціальне страхування.

Відсоток на ФОП складає 22%.

$$V_{cc} = 757,71 * \frac{22\%}{100\%} = 166,70 \text{ грн.}$$

Для інших етапів розрахунок проводиться аналогічно, а результати заносяться до таблиці 6.11.

Таблиця 6.11 – Розрахунок основної, додаткової заробітної плати і відрахувань на соціальне страхування

Назва роботи	Виконавці	Трудомісткість, чол-дні	Місячний посадовий оклад або зарплата за тарифними ставками, грн	Зарплата за 1 чол-день, грн/день	Основна зарплата за посадовими окладами або тарифними ставками, грн	Додаткова зарплата, грн	Повна зарплата, грн	Нарахування на ФОП, грн
Планування та аналіз вимог	Інженер - конструктор	1,36	9000	428,57	582,86	174,86	757,71	166,70
Проектування 3D-моделі	Інженер - конструктор	4,59	9000	428,57	1967,14	590,14	2557,29	562,60
Налаштування	Інженер - конструктор	1,7	9000	428,57	728,57	218,57	947,14	208,37
Проведення випробувань	Інженер - конструктор	5,95	9000	428,57	2550,00	765,00	3315,00	729,30
Комплексування	Інженер - конструктор	3,4	9000	428,57	1457,14	437,14	1894,29	416,74
Всього	1	17	9000	428,57	7285,71	2185,71	9471,43	2083,71

Розрахунок за наступною статтею калькуляції розрахунку витрат на проведення дослідницької роботи - це розрахунок витрат на спеціальне обладнання.

У зв'язку із тим, що у більшості випадків для розробки 3D-моделі пристрою та симуляції його роботи, використовується існуюче спеціальне комп'ютерне обладнання, яке призначене і для інших цілей, в дану статтю витрат включається тільки сума амортизації за час використання цього обладнання за даною темою.

Амортизаційні відрахування визначаються за формулою (6.8):

$$A = \frac{B_0 * H_a * T}{100 * 12 * 8 * 21} \quad (6.8)$$

де :

A – амортизаційні відрахування, грн;

B_0 – балансова вартість, грн;

H_a – норма амортизації на повне відновлення спеціального обладнання, 60%;

T – час використання спеціального обладнання за темою, годин.

Норми амортизаційних відрахувань на комп'ютерну техніку становлять 60%.

$$A = \frac{12997 * 60\% * 129,52}{100 * 12 * 8 * 21} = 501,00 \text{ грн.}$$

Розрахунок вартості спеціального комп'ютерного обладнання та суми витрат на проведення дослідницької роботи наведено у таблиці 6.12.

Таблиця 6.12 – Розрахунок вартості спеціального комп'ютерного обладнання та суми амортизації на проведення дослідницької роботи

Назва обладнання	Кількість обладнання, одиниць	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн	Норма амортизації, %	Час використання обладнання, год	Сума амортизації, грн
Комп'ютер	1	12997	12997	60%	129,52	501,00
Всього	1	12997	12997	60%	129,52	501,00

Розрахунок наступної статті калькуляції – розрахунок витрат на силову енергію. Витрати на електроенергію визначаються, виходячи із встановленої потужності обладнання, часу його роботи за даною темою та вартістю кіловат-години електроенергії. Використання електроенергії буде мати місце на етапі створення 3D-моделі, симуляції випробувань, оформленні результатів. При розрахунку витрат електроенергії враховується коефіцієнт корисної дії: ККД=0,75...0,96.

Обирається коефіцієнт корисної дії рівним 0,86.

Розрахунок вартості витрат електроенергії проводиться за формулою (6.9):

$$BEE = M \cdot T \frac{1}{K_e} \cdot N \quad (6.9)$$

Розрахунок вартості електроенергії проводиться за формулою (6.10):

$$V_{елек} = BEE \cdot Ц \quad (6.10)$$

де :

BEE – витрати електроенергії, кВт*год;

$Ц$ – ціна однієї кіловат-години, грн;

T – час використання обладнання, год;

M_i – потужність обладнання, кВт;

$V_{елек}$ – вартість електроенергії, грн;

N – кількість обладнання, штук;

K_e – коефіцієнт використання електроенергії.

Для першого етапу витрати на електроенергію та її вартість на розробку продукту складають:

$$BEE = 0,22 \cdot 129,52 \cdot \frac{1}{0,86} * 1 = 33,13 \text{ кВт/год}$$

$$V_{елек} = 33,13 * 6,99 = 231,58 \text{ грн.}$$

Для наступних етапів розрахунок проводиться аналогічно, а результати занесені до таблиці 6.13.

Таблиця 6.13 – Розрахунок витрат і вартості електроенергії на проведення дослідницької роботи

Назва обладнання	Встановлена потужність, кВт	Кількість обладнання, одиниць	Час використання обладнання, год	Витрати електроенергії, кВт/год	Ціна 1кВт, грн/кВт	Вартість електроенергії, грн
Комп'ютер	0,22	1	129,52	33,13	1,68	231,58
Всього	0,22	1	129,52	33,13	1,68	231,58

До накладних витрат належать витрати на загальне управління і загальногосподарські потреби (зарплата апарату управління та ін.), утримання та експлуатацію будівель. Накладні витрати включаються у вартість розробки дослідницької роботи непрямым шляхом в інтервалі 10...100% від основної зарплати виконавців. Слід відзначити, що мінімізація накладних витрат

повинна мати стійку та постійну тенденцію, тому що це призводить до зниження витрат на розробку.

Розрахунок накладних витрат проводиться за формулою (6.11):

$$NB = \frac{Z_o * \%NB}{100\%}, \quad (6.11)$$

де :

NB – загальновиробничі витрати, грн.;

%NB – процент загальновиробничих витрат, %;

Z_o – основна заробітна платня виконавців, грн.

$$NB = \frac{7285,71 * 10\%}{100\%} = 728,57 \text{ грн.}$$

Мінімальна величина планового прибутку повинна забезпечити внесок у місцевий та державний бюджети необхідних платежів, а також утворення фонду економічного стимулювання організації.

Величина планового прибутку визначається при продажі результатів моделювання та симуляції випробувань пристрою, та дорівнює 20% попередніх статей калькуляції.

Розрахунок проводиться за формулою (6.12):

$$P_{пл} = S_{пл} \frac{\%P_{пл}}{100\%} \quad (6.12)$$

де :

P_{пл} – плановий прибуток, грн;

S_{пл} – повна калькуляція кошторисної вартості робіт по розробці програмного продукту, грн;

%P_{пл}.- відсоток планового прибутку.

$$P_{пл} = 12840,38 \frac{20\%}{100\%} = 2568,08 \text{ грн.}$$

Ціна моделювання випробувань включає суму кошторисної вартості робіт по розробці методик 3D-моделювання та випробувань і планового прибутку, та розраховується за формулою (6.13):

$$C_{прог} = S_{пл} + P_{пл} \quad (6.13)$$

де : P_{пл} - плановий прибуток

S_{пл} - кошторисна вартість робіт по розробці методик 3D-моделювання та випробувань, грн.

Калькуляція кошторисної вартості дослідницької роботи наведена у таблиці 6.14.

Для теоретичних досліджень у більшості випадків важко чи навіть неможливо розрахувати економічний ефект, тому доцільно визначити їх техніко-економічну ефективність із врахуванням наступних показників:

- а) складності розробки;
- б) важливості дослідження;
- в) результативності та можливості використання.

Важливість теоретичного дослідження оцінюють за його призначенням:

- а) рішення проблемних питань;
- б) пошук принципово нових технологічних та конструктивних рішень

[62].

Таблиця 6.14 – Калькуляція кошторисної вартості дослідницької роботи

Витрати (назва статей калькуляції)	Сума витрат, грн	Питома вага до загальної суми, %
1. Основна зарплата виробничого персоналу	7285,71	56,0%
2. Додаткова зарплата виробничого персоналу	2185,71	16,8%
3. Нарахування на ФОП	2083,71	16,0%
4. Сума амортизації обладнання	501,00	3,8%
5. Витрати на силову електроенергію	231,58	1,8%
6. Накладні витрати	728,57	5,6%
Всього витрат	13016,30	100%
7. Плановий прибуток	2568,08	20%
8. Ціна дослідницької роботи	15585,10	120%

Складність виконання роботи визначається порівнянням отриманих результатів даного дослідження із результатами відомих аналогічних досліджень, а також із обліком трудових та грошових витрат на їх проведення [64].

Результативність науково-дослідної роботи можна визначити за повнотою рішень поставлених задач: отриманий результат відповідає плановому, задовільний (часткове рішення) чи негативний [64].

Аналіз залежності між цими показниками й витратами на їх досягнення дає можливість кількісної оцінки техніко-економічної ефективності теоретичних науково-дослідних робіт за формулою (6.14):

$$K_{\text{НДР}} = \frac{J^n \cdot R \cdot T \cdot \gamma}{B_{\text{НДР}} \cdot t_{\text{НДР}}}, \quad (6.14)$$

де $K_{\text{НДР}}$ – рівень ефективності дослідження (коефіцієнт техніко-економічної ефективності науково-дослідної роботи);

$J = 2$ – важливість роботи. Таке значення обирається, тому що результати роботи є базовим матеріалом задля моделювання та симуляції режимів роботи пристрою бортової радіоелектронної апаратури та рекомендуються задля подальшого розвитку радіоелектроніки;

$R = 2$ – результативність роботи. Обирається таке значення, тому що всі поставлені дослідницькі задачі виконано;

$T = 1$ – технічна складність виконання науково-дослідної роботи, тому що при виконанні розрахунків використовувався фізичний та фізичний рушії САД-систем.

$B_{\text{НДР}} = 15585,10$ грн – витрати на проведення науково-дослідницької роботи;

$t_{\text{НДР}} = 17$ днів – час проведення науково-дослідницької роботи;

$n = 1$ – показник використання результатів науково-дослідницької роботи;

γ - питома вага одного балу, 1000 грн.

При значенні $K_{\text{НДР}} \geq 1$, дослідницька робота вважається ефективною. Наприклад, для науково-дослідницьких робіт, у котрих $B_{\text{НДР}} < 30$ тис. грн. та $t_{\text{НДР}} \leq 2$ років, можна використати значення $J=2..6$; $R=2..6$; $T=1..4$ (таблиця 6.15) [64].

Таблиця 6.15 – Значення оцінних факторів

Оцінні фактори	J	R	T	n
Припустимі значення	2...6	2...6	1...4	1...8
Прийняті значення	2	2	1	2

Отже, розрахунок $K_{\text{НДР}}$ виглядатиме:

$$K_{\text{НДР}} = (2^1 * 2 * 1 * 1000) / (15585,10 * 0,047) = 5,46. \quad (6.14)$$

Таким чином, після розрахунку (6.14) отримано рівень ефективності даного дослідження $K_{\text{НДР}} = 5,46$. Оскільки це значно більше 1, то можна зробити висновок, що дана дослідницька робота є ефективною.

ВИСНОВКИ

Істотною перевагою Fusion 360 відносно інших CAD/CAE/CAM систем є вбудовані хмарні технології, що суттєво оптимізують командну роботу, а також сприяють комфортній підтримці контролю версій. Для розрахунків та проєктування у навчальній діяльності САПР Fusion 360 є важливою частиною. Під час виконання досліджень, наукових, дипломних та курсових робіт необхідна візуалізація та детальний розбір пристрою, деталі, вузла та ін. Як бачимо, Fusion 360 відмінно підходить задля вирішення даних задач. Таким чином, дане програмне забезпечення повністю задовольняє вимогам до навчання, дозволяє реалізувати багато різних студентських розробок.

В ході виконання даної роботи проаналізовано функціональні характеристики хмарної системи автоматизованого проєктування Autodesk Fusion 360 для рішення задач розробки 3D-моделі досліджуваного пристрою бортової радіоелектронної апаратури та розробки методики моделювання дослідження теплових режимів роботи та динамічних навантажень бортової радіоелектронної апаратури.

Розроблено методику моделювання дослідження теплових режимів роботи та динамічних навантажень бортової радіоелектронної апаратури у середовищі Fusion 360. У якості прикладу розроблено 3D-модель пристрою бортової радіоелектронної апаратури з покроковим аналізом процесу побудови даної моделі. Розглянута методика застосування Fusion 360 для проведення дослідження динамічних навантажень та теплових режимів бортової радіоелектронної апаратури. У результаті цього задіяний основний функціонал Fusion 360 та складено алгоритм ведення проєкту на базі даної САПР.

Проведено аналіз можливостей хмарного середовища Fusion 360 та виявлено ряд переваг:

- доступний висновок на 3D-друк;
- сумісність Fusion 360 з Linux і Mac OS;
- експорт проєкту у MP4 ролики;
- дуже часто використовується задля різних стартапів;

- підтримує різні осьові верстати ЧПУ;
- складання деталей безпосередньо у середовищі моделювання;
- має простий та зручний інтерфейс;
- існує якісна анімація динамічного руху;
- існує багато різних блогів та форумів про Autodesk Fusion 360;
- поверхневе редагування усіх вихідних елементів;
- створення додаткової інженерної документації із можливостями уточнень;
- проведення моделювання випробувань на серверах Autodesk;
- існує можливість проведення 8-ми варіантів інженерних розрахунків;
- існує можливість користування безкоштовною версією для студентів ВНЗ.

Розроблено методику дослідження теплових режимів бортової радіоелектронної апаратури за допомогою хмарного САПР Fusion 360. Аналізувалась максимальна температура плат. В результаті встановлено, що максимальне значення температури плат залежить від потужності розсіювання та розміщення плат. Теплопередача від верхньої (зовнішньої) поверхні плати відбувається конвекцією та випромінюванням до поверхні корпусу із значно меншою температурою, що покращує тепловідвід та, як наслідок, зниження температури верхньої плати. Тепловідвід конвекцією та випромінюванням від внутрішньої поверхні плат здійснюється у просторі з більш високою температурою, що обумовлює підвищення температури цих плат. В процесі дослідження також з'ясовано, що температури корпусу практично однакові. Тому при оптимізації розміщення плат у блоці доцільно враховувати лише перепад температури у блоці, котрий визначається різницею максимальної температури у блоці та температурою основи корпусу.

Розроблено методику дослідження динамічних навантажень бортової радіоелектронної апаратури за допомогою хмарного САПР Fusion 360 на прикладі дії вібраційних навантажень. відхилення плат не є критичними, плати відновлюють свої розміри після завершення дії вібрацій. Деформація не є залишковою, адже $\varepsilon_1 < 0,05$ та $\varepsilon_2 < 0,05$.

Таким чином, друковані плати і зазнають відхилень в межах 1 мм при різних частотах вібрації, але в цілому на конструкцію даного пристрою вібрації впливають мало. Конструкція пристрою бортової радіоелектронної апаратури під час впливу вібрацій не руйнується, зберігає свій вигляд та працездатність після завершення дії вібрацій на пристрій.

За результатами роботи опубліковано статтю «ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ВИВЧЕННІ CAD/CAM/CAE СИСТЕМ» у збірнику тез доповідей щорічної науково-практичної конференції серед студентів, викладачів, науковців, молодих учених і аспірантів 13–17 квітня 2020 року «ТИЖДЕНЬ НАУКИ-2020. Факультет радіоелектроніки та телекомунікацій».

Розроблені методики, методи та програмне забезпечення Fusion 360 впроваджено в навчальному процесі Запорізького національного технічного університету з дисципліни «Сучасні інформаційні технології у проєктуванні та виробництві РЕА» спеціальності «Телекомунікації та радіотехніка».

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Курітник І. П. Безпроводна трансляція інформації/ І. П. Курітник, М. Карпінський. – Тернопіль : Тайп, 2010. – 376 с.
2. Хелд Г. Технологии передачи данных/ Г. Хелд. – 7-е изд. – Санкт-Петербург : Питер, 2003. – 720 с.
3. Математичне забезпечення інформаційно-керуючих систем: підручник для студ. вищ. навч. закладів / [А. М. Гуржій, З. В. Дудар, В. М. Левикін, Б. В. Шамша]. – Х. : Компанія СМІТ, 2006. – 448 с.
4. Погорілий С. Д. Комп'ютерні мережі. Апаратні засоби та протоколи передачі даних: підручник для студентів вищ. навч. закладів / С. Д. Погорілий, Д. М. Калита. ; за ред. О. В. Третяка. – К. : ВПЦ "Київський університет", 2007. – 455 с.
5. Програмно-інформаційні засоби формування систем знань навчального призначення: посібник / [О. Є. Стрижак, В. Ю. Величко, Л. С. Глоба та ін.] ; за ред. О. Є. Стрижака. – Київ : Інститут обдарованої дитини, 2014. – 144 с.
6. Третяк О. В. Засоби та системи автоматизації наукових досліджень: підручник для студентів вищ. навч. закладів / О. В. Третяк, Ю. В. Бойко. ; за ред. О. В. Третяка. – К. : ВПЦ "Київський університет", 2007. – 319 с.
7. 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.
8. ADEM CAD/CAM/TDM : черчение, моделирование, механообработка / [Быков А. В., Силин В. В., Семенников В. В., Феоктистов В. Ю.]– СПб. : БХВ-Петербург, 2003. – 320 с.
9. Автоматизированные системы управления и приборы автоматики: всеукраинский межвед. науч.-техн. сборник. Вып. 163. – Харьков : ХНУРЭ, 2013. – 108 с.

10. Болдин А. Н. Основы автоматизированного проектирования: учебное пособие для студ. вузов / А. Н. Болдин, А. Н. Задиранов. – Москва : МГИУ, 2006. – 104 с.
11. Ли К. Основы САПР (CAD/CAM/CAE) / К. Ли. – СПб. : Питер, 2004. – 560с.
12. Алямовский А. А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation / А. А. Алямовский. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 464с.
13. Колесов Ю. Б. Моделирование систем. Практикум по компьютерному моделированию: учеб. пособие для вузов / Ю. Б. Колесов, Ю. Б. Сениченков. – СПб. : БХВ-Петербург, 2007. – 352 с.
14. Тимченко А. А. Основи системного проектування 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.
15. Стремнев А. Ю. Работа с 3D моделями в системе Fusion 360 — от концепции до воплощения. / Стремнев А. Ю. // CAD/CAM/CAE Observer. – 2016. - № 5(105). - С. 47–53.
16. 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.
17. Шило Г. Н. Проектирование радиаторов с оптимальными массогабаритными параметрами / Шило Г.Н., Гапоненко Н.П., Огренич Е.В. // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2011. - № 1-2. – С. 30–33.
18. Шило Г. М. Дослідження масогабаритних і теплових характеристик герметичних блоків радіоелектронної апаратури / Шило Г.М. , Сиротюк О.В. , Савелло О.Є., Лопатка Ю.А., Арешкін Є.К., Гапоненко М.П. // Радіоелектроніка. Інформатика. Управління. – 2013. - №2. – С.42 – 47.
19. Крищук В. М., Звіт про науково-дослідну роботу. Інформаційні технології проектування теплонавантажених радіоелектронних апаратів / [Крищук В. М., Шило Г.М., Гапоненко М. П., Огренич Є. В., Каспирович Н. О., Міщенко М. В., Ложневська Т. Ю., Лопатка Ю. А., Арешкін Є. К., Барановський Р. Ю., Перепилиця А. М.] – Запоріжжя: ЗНТУ, 2014. – 110 с.

20. Белоусов Е.Л. Конструирование блоков бортовой авиационной аппаратуры связи / Белоусов Е. Л., Ушкар М. Н. – Нижний Новгород: НГТУ, 2005. – 237 с.
21. Корнійчук А. І. Комп'ютеризоване проектування елементів систем управління: посібник для студентів вузів / А. І. Корнійчук, Ю. О. Подчашинський. – Житомир : ЖІТІ, 2001. – 455 с.
22. Бабак В. П. Супутникова радіонавігація / В. П. Бабак, В. В. Конін, В. П. Харченко. – К. : Техніка, 2004. – 328 с.
23. Ткачов В. В. Технічні засоби автоматизації: навчальний посібник / В. В. Ткачов, В. П. Чернишев, М. М. Одновол. – Дніпропетровськ : НГУ, 2008. – 177 с.
24. Арабов Д. И. Комплексное макетирование узлов вычислительной техники с использованием инфраструктуры цифрового производства (FAB-LAB) в условиях сквозного обеспечения качества. / Арабов Д. И., Верясова А. Ю., Гриднев В. Н. // Тр. межд. симп. Надежность и качество. – 2016. - № 1. – С. 189–192.
25. Билибин К. И. Основы проектирования приспособлений. / Билибин К. И. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 52 с.
26. В. В. Аврутов, І. В. Випробування приладів і систем. Види випробувань та сучасне обладнання : навчальний посібник / В. В. Аврутов, І. В. Аврутова, В. М. Попов. — Київ : НТУУ «КПІ», 2009. – 64 с.
27. Аврутов В. В. Испытания инерционных приборов: Учебное пособие. – К.: НТУУ «КПИ им. Игоря Сикорского», 2016. – 295 с.
28. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» у дипломних роботах студентів освітнього ступеню «Магістр» та освітніми програмами: «Безпека інформаційних і комунікаційних систем», «Системи технічного захисту інформації, автоматизація її обробки», 125 – «Кібербезпека» / [Укл.: О.В. Коробко]. – Запоріжжя: каф. ОПіНС, НУ «Запорізька політехніка», 2020 – 28 с.
29. ГОСТ 12.2.007.0-75 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Изделия электротехнические. Общие требования безопасности (с Изменениями N 1, 2, 3, 4). – Режим доступа до стандарту:
<http://docs.cntd.ru/document/1200008440>.

- 30.ГОСТ 12.1.009-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ).
Электробезопасность. Термины и определения. – Режим доступа до стандарту:
<http://docs.cntd.ru/document/5200278>.
- 31.НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. - Режим доступа до НПАОП:
<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.
- 32.ГОСТ 12.1.030-81 (2001) «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление». – Режим доступа до стандарту:
<http://docs.cntd.ru/document/5200289>.
- 33.НПАОП 40.1-1.01-97 Правила безпечної експлуатації електроустановок. – Режим доступа до НПАОП:
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0011-98#Text>.
- 34.НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. – Режим доступа до НПАОП:
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0093-98#Text>.
- 35.НАПБ Б.03.002-2007. Нормы определения категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. – Режим доступа до НАПБ:
https://dnaop.com/html/32382_4.html.
- 36.НПАОП 0.00–4.12.05. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці. – Режим доступа до НПАОП:
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0231-05#Text>.
- 37.План імплементации Директивы Ради 90/270/ЄЕС від 29 травня 1990 року. – Режим доступа до Плану:
https://minjust.gov.ua/m/str_45891.
- 38.ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електроннообчислювальних машин» – режим доступа до ДСанПіН:
<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0007282-98#Text>.
- 39.СНиП II-4-79 Естественное и искусственное освещение. – Режим доступа до СНиП:

<https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293851/4293851763.pdf>.

40.ДНАОП 3223-85. СН 3223-85 (ДНАОП 0.03-3.14-85) Санітарні норми допустимих рівнів шуму на робочих місцях. – Режим доступу до ДНАОП:

<https://dnaop.com/html/43077/doc->

[%D0%94%D0%9D%D0%90%D0%9E%D0%9F_3223-85](https://dnaop.com/html/43077/doc-%D0%94%D0%9D%D0%90%D0%9E%D0%9F_3223-85).

41.ДНАОП 3044-84. СН 3044-84 (ДНАОП 0.03-3.12-84) Санітарні норми вібрації робочих місць. – Режим доступу до ДНАОП:

<https://dnaop.com/html/43248/doc->

[%D0%94%D0%9D%D0%90%D0%9E%D0%9F_3044-84](https://dnaop.com/html/43248/doc-%D0%94%D0%9D%D0%90%D0%9E%D0%9F_3044-84).

42.ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности (с Изменением N 1). – Режим доступу до стандарту:

<http://docs.cntd.ru/document/5200291>.

43.ДНАОП 3223-85. СН 3223-85 (ДНАОП 0.03-3.14-85) Санітарні норми допустимих рівнів шуму на робочих місцях. – Режим доступу до ДНАОП:

<https://dnaop.com/html/43077/doc->

[%D0%94%D0%9D%D0%90%D0%9E%D0%9F_3223-85](https://dnaop.com/html/43077/doc-%D0%94%D0%9D%D0%90%D0%9E%D0%9F_3223-85).

44.ГОСТ 12.1.012-90 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования. – Режим доступу до стандарту:

<http://docs.cntd.ru/document/5200329>.

45.СНиП 2.04.05-91*У. Отопление, вентиляция и кондиционирование. – Режим доступу до СНиП:

<https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294854/4294854695.pdf>.

46.СН 4088-86. Санитарные нормы микроклимата производственных помещений. – Режим доступу до СН:

<https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293786/4293786335.htm>.

47.СН 2152-80. Санитарно-гигиенические нормы допустимых уровней ионизации воздуха производственных и общественных помещений. – Режим доступу до СН:

https://dnaop.com/html/2296/doc-%D0%93%D0%9D_2152-80.

- 48.ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1). – Режим доступа до стандарту:
<http://docs.cntd.ru/document/1200003608>.
- 49.ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности (с Изменениями N 1, 2). – Режим доступа до стандарту:
<http://docs.cntd.ru/document/5200233>.
- 50.ДК 003-95 "Класифікатор професій". – Режим доступа до ДК:
<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v257u217-95#Text>.
- 51.Наказ МЗ України N 45 від 31.03.94 р. – Режим доступа до Наказу:
http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/REG345.html.
- 52.ДБН 21.10.04-05 "Виробничі будівлі". – Режим доступа ДБН:
<https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2018/10/KATALOG-NOVIY-2018.pdf>.
- 53.ГОСТ 27331-87. Пожарная техника. Классификация пожаров. – Режим доступа до стандарту:
<http://docs.cntd.ru/document/gost-27331-87>.
- 54.ДСТУ ISO 6309:2007. (ISO 6309:1987, IDT) ПРОТИПОЖЕЖНИЙ ЗАХИСТ. Знаки безпеки. Форма та колір. – Режим доступа до стандарту:
http://nmcpz.ho.ua/document/biblio_01/dstu_ISO_6309_2007.pdf.
- 55.ДСТУ 4297:2004. Пожежна техніка. Технічне обслуговування вогнегасників. Загальні технічні вимоги. – Режим доступа до стандарту:
https://dnaop.com/html/2503/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3_4297_2004.
- 56.ДБН В.1.1.7-2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. – Режим доступа до ДБН:
<https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-88>.
- 57.ДСТУ 7237:2011: «Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту». – Режим доступа до стандарту:
http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=30045.

- 58.ДБН В.2.5-56: 2014 "Системи протипожежного захисту". – Режим доступу до ДБН:
<https://dokumen.tips/documents/-25-56-2014-.html>.
- 59.«Правила експлуатації та типових норм належності вогнегасників» (наказ МВС України 15.01.2018 № 25). – Режим доступу до Правил:
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text>.
- 60.ДСТУ 7239:2011. Система стандартів безпеки труда средства индивидуальной защиты. – Режим доступу до стандарту:
http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=51051.
- 61.Стеблюк М. І. Цивільна оборона та цивільний захист: навч. посіб. для вузів / М. І. Стеблюк. – К. : Знання, 2013. – 487 с.
- 62.Бойчик І. М. Економіка підприємств : навч посібник / І. М. Бойчик, П. С. Харів, М. І. Хопчан. – Львів: В-во «Сполом», 2009. – 212 с.
- 63.Закон України «Про оплату праці». – Режим доступу до Закону:
https://ips.ligazakon.net/document/view/Z950108?an=1&ed=2012_05_17.
- 64.Економіка підприємства: підручник: / [За ред. С.Ф. Покропивного]. – Вид. 2-ге, – К.: КНЕУ, 2013. – 528 с.

ДОДАТОК А

Метою дипломної роботи є розробка методики дослідження динамічних навантажень та теплових режимів бортової радіоелектронної апаратури

Під час виконання даної роботи, необхідно вирішити наступні задачі:

- 1) Проаналізувати можливості САПР для моделювання в хмарах;
- 2) Описати конструкцію герметичного пристрою бортової радіоелектронної апаратури;
- 3) Розробити 3D-модель досліджуваного пристрою бортової радіоелектронної апаратури;
- 4) Визначитися із видами впробувань для досліджуваного пристрою бортової радіоелектронної апаратури;
- 5) Розробити методику моделювання дослідження теплових режимів роботи бортової радіоелектронної апаратури;
- 6) Розробити методику моделювання дослідження динамічних навантажень під час роботи бортової радіоелектронної апаратури.

ДОДАТОК Б

Порівняльна характеристика систем САПР

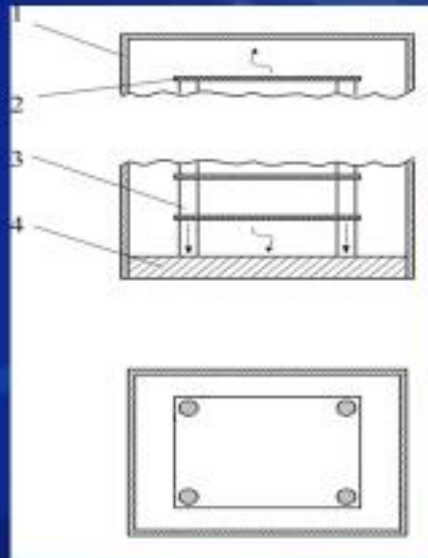
Назва системи САПР	Характеристики						
	CAD	CAE	CAM	CAM/ CAE модулі	Розрахунки у хмарі або на локальній робочій станції	Можливість роботи у проєкті одночасно декільком користувачам	Наявність безкоштовної версії для студентів
Програмний комплекс САПР SolidWorks	+	+	+	Тільки сторонніх розробників	На локальній робочій станції	-	-
Хмарна САПР Onshape	+	+	+	Тільки сторонніх розробників	У хмарі	+	+
Autodesk Fusion 360 – комплексний хмарний САПР CAD/CAE/CAM	+	+	+	Вбудовані та сторонніх розробників	У хмарі	+	+

Примітка: «+» - так, «-» - ні.

ДОДАТОК В

Спрощена модель герметичного блоку з прийнятими допущеннями

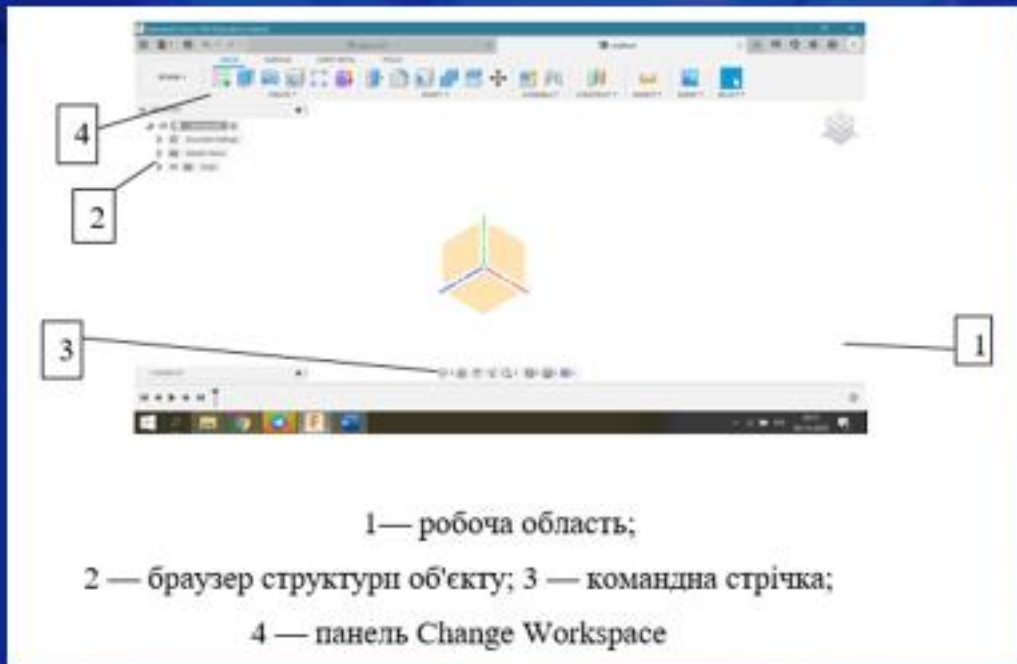
На рисунку стрілками позначено основні напрямки відводу тепла до корпусу від плат. У нижній частині корпусу відведення тепла відбувається переважно у бік основи через стійки, а у верхній частині – від верхньої плати конвекцією та випромінюванням до поверхні корпусу.



- 1 – кришка корпусу;
- 2 – друкована плата;
- 3 – стійка;
- 4 – основа корпусу

ДОДАТОК Г

Приклад інтерфейсу головного вікна Fusion 360



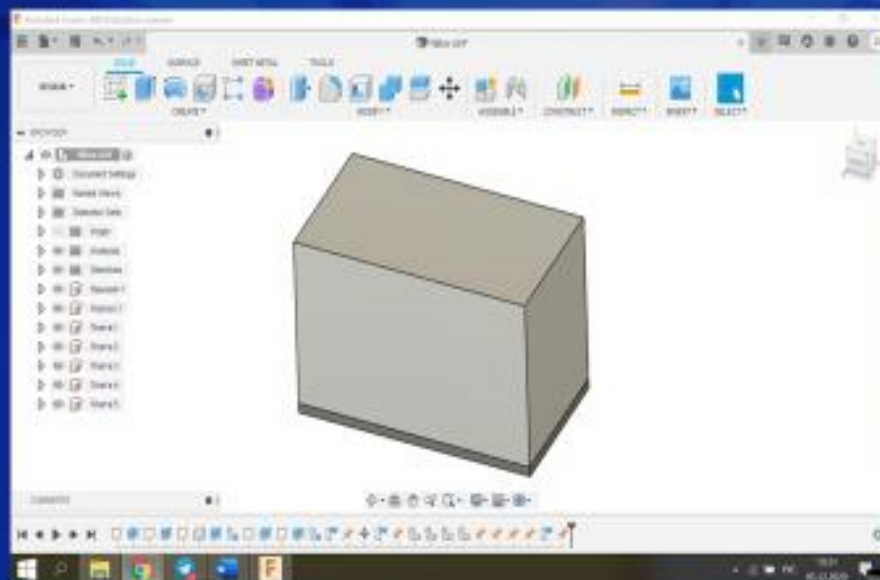
ДОДАТОК Д

МЕТОДИКА МОДЕЛЮВАННЯ ПРИСТРОЮ БОРТОВОЇ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ

1. Моделювання основи пристрою зі стійками.
2. Моделювання кришки пристрою.
3. Моделювання друкованої плати.
4. Збірка всіх елементів пристрою бортової радіоелектронної апаратури.

ДОДАТОК Е

Остаточний вигляд моделі блоку бортової радіоелектронної апаратури



ДОДАТОК Ж

Методика моделювання теплових режимів у хмарній Fusion 360 в середовищі SIMULATION

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

Крок 2. Створення проєкту у середовищі «Simulation Workspace» – вибір задачі, із урахуванням теплопередачі у пристрої.

Крок 3. Завдання параметрів оточуючого середовища та матеріалів пристрою.

Крок 4. Завдання температурних умов роботи пристрою – потужності джерела тепла, температури оточуючого середовища.

Крок 5. За необхідності завдання базової розрахункової сітки.

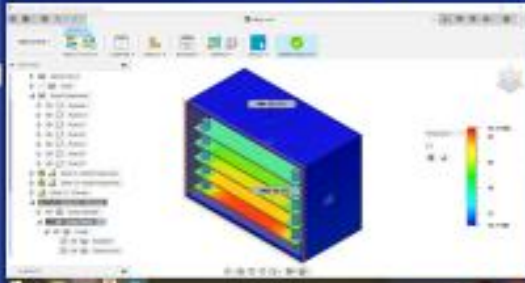
Крок 6. Адаптація базової розрахункової сітки для проведення найбільш точних розрахунків.

Крок 7. Запуск процесу симуляції.

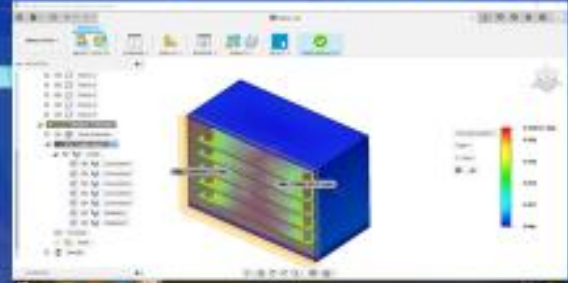
Крок 8. Аналіз результатів симуляції – визначення максимальної температури нагріву друкованих плат у пристрої.

ДОДАТОК К

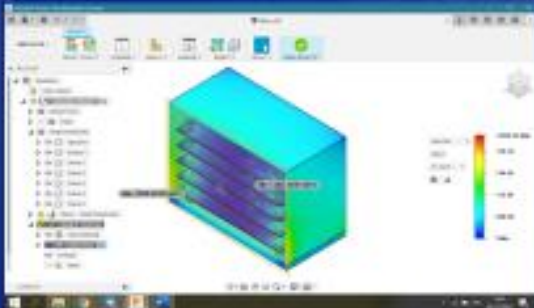
Результати моделювання теплового режиму роботи блоку бортової радіоелектронної апаратури



Розподіл температур всередині блоку



Температурний градієнт розподілу всередині блоку



Тепловий потік всередині блоку



Максимальні та мінімальні значення температур на платі № 1 (нижня плата)

ДОДАТОК Л

Методика моделювання дії вібрації на роботу пристрою у хмарній Fusion 360 в середовищі SIMULATION

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

Крок 2. Створення проєкту у середовищі «Simulation Workspace» – вибір задачі, із урахуванням дії вібрації у пристрої.

Крок 3. Завдання необхідних обмежень та матеріалів пристрою.

Крок 4. Завдання вібраційних умов роботи пристрою – гравітації та частоти вібрації.

Крок 5. За необхідності завдання базової розрахункової сітки.

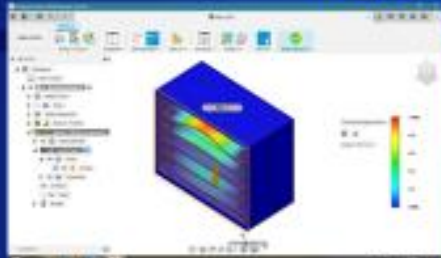
Крок 6. Адаптація базової розрахункової сітки для проведення найбільш точних розрахунків.

Крок 7. Запуск процесу симуляції.

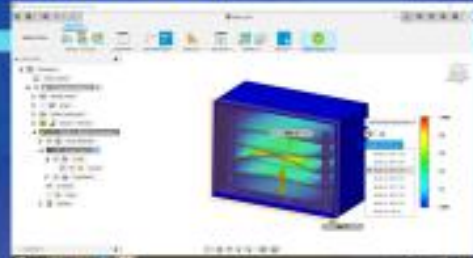
Крок 8. Аналіз результатів симуляції – визначення максимальних відхилень друкованих плат у пристрої.

ДОДАТОК М

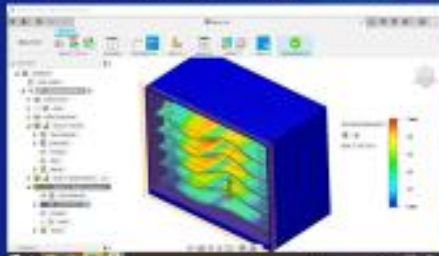
Результати моделювання дії вібрації на роботу блоку бортової радіоелектронної апаратури у програмному середовищі Fusion 360



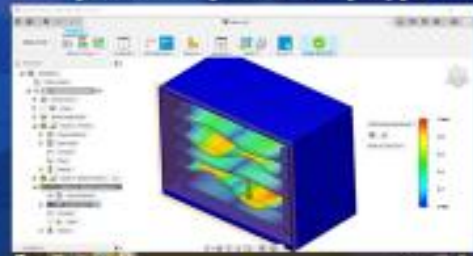
Результат впливу вібрації з частотою 207,1 Hz на блок бортової радіоелектронної апаратури



Результат впливу вібрації з частотою 207,5 Hz на блок бортової радіоелектронної апаратури



Результат впливу вібрації з частотою 574,3 Hz на блок бортової радіоелектронної апаратури



Результат впливу вібрації з частотою 560,8 Hz на блок бортової радіоелектронної апаратури