

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

Радіотехнічний факультет
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК 62-752

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
С.А. Нелін
(підпис) (ініціали, прізвище)

« 9 » 12 2019 р.

Магістерська дисертація

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка
за освітньою програмою (спеціалізацією) Інтелектуальні технології
мікросистемної радіоелектронної техніки (код і назва спеціальності)

на тему: Система комплексної вібраційної технічної діагностики обладнання

Виконав (-ла): студент (-ка) 2 курсу, групи РІ-81мп
(шифр групи)

Мищенко Богдан Михайлович
(прізвище, ім'я, по батькові)

Мищенко
(підпис)

Науковий керівник С.В. Викар, к.т.н., Навроцький Д.О.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Викар
(підпис)

Консультант з охорони праці к.т.н., доцент Каштанов С.Ф.
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

Каштанов
(підпис)

Рецензент С.В. Викар, Бошчаров Г.Т.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Викар
(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент Мищенко
(підпис)

Київ – 2019 року

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

Факультет (інститут) радіотехнічний факультет
(повна назва)

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною
програмою

За спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка

За освітньою програмою (спеціалізацією) Інтелектуальні технології
мікросистемної радіоелектронної техніки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

С. А. Нелін
(ініціали, прізвище)

02 вересня 2019р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Мищенко Богдана Михайлівна
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Система компенсації вібрацій
технологічного обладнання.

науковий керівник дисертації Навроцький Денис Александрович, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «12» 11 2019 р. № 3881-с

2. Строк подання студентом дисертації 13.12.2019

3. Об'єкт дослідження апарати забезпечення динамічного
згашування коливань.

4. Предмет дослідження (вихідні дані для магістерської дисер-
освітньо-професійною програмою) методи розробки шст
динамічного змінювання калібраж.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити Практизувати
зменшення рівня вібрації. Знайти методи з
гармонічних коливань. Розробити та сконструювати ви
серед для проведення дослідження. Додати дані
вібраційних коливань. Висновки.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного (графічного) матеріалу
Презентація

7. Орієнтовний перелік публікацій Меморандум науково-п
конференція "РТСАС", патент "Україна на конкурс

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	зав. пре
З охорони праці	Каштанов С.Ф., доцент, к.т.н.		

9. Дата видачі завдання 02 вересня 2019 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Прі
1.	<u>Аналіз умов змін рівня вібрації</u>	<u>02.09.2019 - 16.09.2019</u>	
2.	<u>Моделювання динамічного змінювання</u>	<u>16.09.2019 - 30.09.2019</u>	
3.	<u>Корекція та констр. виб. серед</u>	<u>30.09.2019 - 14.10.2019</u>	
4.	<u>Дослідження динамічного змінювання</u>	<u>14.10.2019 - 01.11.2019</u>	
5.	<u>Сторона праці та безпека в КС</u>	<u>01.11.2019 - 15.11.2019</u>	
6.	<u>Статус - проект</u>	<u>15.11.2019 - 30.11.2019</u>	

Студент

Міщенко
(підпис)

Б. М. Міщенко
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

Д. О. Навроцький
(підпис)

Д. О. Навроцький
(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація складається із пояснювальної записки обсягом 96 сторінки та включає 25 ілюстрацій, 22 таблиці, 20 посилань, 5 додатків.

Актуальність теми. Вплив вібраційних коливань на технологічне обладнання і людину-оператора призводить до передчасного виходу з ладу обладнання та погіршення здоров'я людини. Тому, зниження рівня вібрацій є актуальною задачею і є обов'язковою умовою при проектуванні та виготовленні технологічного обладнання.

Мета магістерської дисертації. Вдосконалення методів проектування системи динамічного згашування коливань.

Об'єкт дослідження — апаратне забезпечення динамічного згашування коливань.

Предмет дослідження — методи побудови системи динамічного згашування коливань.

Наукова новизна полягає в розробці методу динамічного згашування вібраційних коливань без контролю фазового зсуву. Динамічне віброзгашування відбувається за рахунок автоматичного підстроювання частоти вібрації віброзгашувача.

Практичне значення одержаних результатів. Проведене дослідження дозволить створити систему динамічного згашування коливань, яку можна використати у випадках, коли неможливо контролювати фазовий зсув віброзгашувача.

Ключові слова: вібрація, віброзгашувач, динамічне віброзгашування, вібраційний стенд.

ABSTRACT

The master's thesis consists of an explanatory note of 96 pages and includes 25 illustrations, 22 tables, 20 references, 5 appendices.

Actuality of theme. The effect of vibrational vibrations on technological equipment and human operator results in premature failure of the equipment and deterioration of human health. Therefore, vibration reduction is an urgent task and is a prerequisite for the design and manufacture of process equipment.

The purpose of the master's thesis. Improvement of design methods for dynamic vibration damping system.

The object of the study is the hardware for dynamic damping.

The subject of research — methods of construction of system of dynamic damping of oscillations.

The scientific novelty is to develop a method of dynamic damping of vibrational vibrations without phase shift control. Dynamic vibration is due to the automatic vibration frequency adjustment of the vibrator.

The practical significance of the results obtained. The study will create a system of dynamic damping, which can be used in cases where it is impossible to control the phase shift of the vibrator.

Keywords: vibration, vibrator, dynamic vibration, vibration stand.

ЗМІСТ

Перелік скорочень.....	6
Вступ.....	7
1 Аналіз методів зменшення рівня вібрацій.....	8
1.1 Огляд технологічних проблем пов'язаних з вібрацією.....	8
1.2 Аналіз методів компенсації вібрацій в технологічному обладнанні.....	11
1.3 Порівняльний аналіз методів компенсації вібрацій в технологічному обладнанні.....	14
2 Моделювання динамічного згашування гармонічних коливань.....	18
3 Обладнання та програмне забезпечення для дослідження динамічного згашування вібраційних коливань.....	23
3.1 Структурна схема.....	23
3.2 Елементи експериментального стенда.....	25
3.3 Розробка конструкції вібраційного стенда.....	28
3.4 Розробка програмного забезпечення для мікроконтролера	34
3.5 Розробка програмного забезпечення для створення бази даних ...	36
4 Дослідження динамічного згашування вібраційних коливань	40
4.1 Методика проведення дослідження вібрацій.....	40
4.2 Аналіз отриманих результатів	41
4.3 Система автоматичного згашування вібраційних коливань	43
5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	46
5.1 Визначення основних потенційно шкідливих та небезпечних виробничих факторів при виконанні науково-дослідної роботи	46

5.2 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії.....	47
5.2.1 Технологічна вібрація.....	47
5.2.2 Електробезпека.....	49
5.2.3 Виробничий шум.....	52
5.2.4 Організація оптимального режиму праці та відпочинку при використанні ЕОМ.....	53
5.2.5 Виробниче освітлення.....	54
5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях.....	56
5.3.1 Обов'язки та дії персоналу при надзвичайних ситуаціях.....	57
5.3.2 Вимоги щодо організації ефективної роботи системи сповіщення персоналу у разі виникнення НС.....	58
5.3.3 Пожежна безпека.....	59
6 Розробка стартап-проекту.....	61
6.1 Опис ідеї проекту.....	61
6.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	62
6.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	63
6.4 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	67
6.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	69
Висновки.....	73
Перелік джерел посилань.....	74
Додаток А. Технічне завдання на магістерську дисертацію.....	77
Додаток Б. Тези з міжнародної науково-технічної конференції РТПСАС-2019.....	83
Додаток В. Патент України на корисну модель.....	87

Додаток Г. Програма для проведення моделювання динамічного згашування гармонічних коливань..... 93

Додаток Д. Програма для проведення апроксимації даних вимірювання частоти вібрації вібродвигуна від напруги на ньому 96

Міщенко Б.М. РІ-81МП, 2019

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ВМ — вібромотор;

МК — мікроконтролер;

ПК — персональний комп'ютер;

НС — надзвичайна ситуація.

Міщенко Б.М. РІ-81МП, 2019

ВСТУП

Технологічне обладнання — це сукупність пристроїв, механізмів, приладів, необхідних для реалізації технологічних процесів. Технологічне обладнання, що використовується в різних галузях промисловості, надзвичайно різноманітне за принципом дії, конструктивними особливостями, типами та розмірами. Однак, незважаючи на це, існують деякі загальні вимоги, дотримання яких при конструюванні обладнання дозволяє забезпечувати вимоги безпеки в процесі його експлуатації. До таких вимог відносять запобігання або зменшення вібраційного впливу, який не тільки шкодить оператору, який працює за технологічним обладнанням, а й самому обладнанню, накопичуючи дефекти у матеріалах конструкції, появі тріщин та руйнуванню. Найчастіше і досить швидко руйнування об'єкта настає при вібраційних впливах за умов резонансу. У випадках коли неможливо захиститися від вібрацій частотним відстроюванням, демпфуванням та віброізоляторами, єдиним способом лишається динамічне згашування коливань, яке полягає у зменшенні рівня вібрацій об'єкта шляхом введення в систему додаткового віброзгашувача.

У даній роботі було проведено дослідження питань, пов'язаних з проектуванням системи компенсації вібрацій, на основі методу динамічного згашування вібраційних коливань.

1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЗМЕНШЕННЯ РІВНЯ ВІБРАЦІЙ

Вібрація — це коливальний пружний рух точки твердого тіла (механічної системи). Під вібрацією розуміють механічні коливання твердого тіла. Найпростішим видом таких коливань є гармонійні коливання, за яких відбувається почергове наростання та спадання в часі (за синусоїдальним законом) значень рухомої точки чи механічної системи [1].

Вібрація характеризується такими параметрами, як:

Амплітуда віброшвидкості (V) м/с:

$$V = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot a \quad (1.1)$$

Амплітуда віброприскорення (W) м/с²:

$$W = (2 \cdot \pi \cdot f)^2 \cdot a \quad (1.2)$$

де, f — частота вібрації, Гц;

a — амплітуда вібропереміщення, м.

Зменшення рівня вібрації досягається шляхом зменшення сили, яка викликає коливання, а саме зрівноваженням мас, зміною маси або жорсткості, зменшенням технологічних допусків при виготовленні і складанні, застосуванням матеріалів з великим внутрішнім тертям. Велике значення має підвищення точності обробки та зниження шорсткості поверхонь, що труться.

1.1 Огляд технологічних проблем пов'язаних з вібрацією

Вібрації виникають зазвичай при роботі машин та механізмів, які мають неврівноважені й незбалансовані частини, що обертаються чи здійснюють зворотно-поступальний рух. До такого устаткування належать оброблювальні верстати, штампувальні та ковальські молоти, електро- та пневмоперфоратори, електроприводи, насосні установки, компресори, механізований інструмент та ін. При роботі даного устаткування вібрація відіграє негативну роль. Знакозмінні напруження, викликані вібрацією сприяють накопиченню пошкоджень в матеріалах, появі тріщин та руйнуванню. Найчастіше і досить швидко руйнування об'єкта настає при

вібраційних впливах за умов резонансу. Якщо в механізмі містяться рухомі з'єднання з проміжком (наприклад кінематичні пари), вібраційний вплив викликає зіткнення поверхонь, які з'єднуються, викликаючи їх руйнування та генерування шуму. В більшості випадків руйнування об'єкта при вібраційному впливі зв'язане з виникненням резонансних явищ. Тому при гармонічному впливі найбільшу небезпеку містять гармоніки, які викликають резонанс.

Вібрація являється джерелом шкідливого шуму, який не тільки шкідливий для людини, але й для техніки, оскільки викликає акустичну втому матеріалу. Вона спотворює основний рух елементів технічного обладнання, механізмів і систем керування, породжуючи нестійкість заданого закону руху, що призводить до відмови всієї системи. Крім того динамічний тиск, що виникає при роботі технологічного обладнання, викликає збільшення тертя в точках опори обертових валів, збільшуючи знос підшипників, створюючи додаткові напруги в окремих частинах технологічного обладнання, що призводить до втоми матеріалу і його руйнуванню. Крім, втоми матеріалу та напружень виникає явище під назвою поступове ослаблення нерухомих з'єднань. Це явище викликає малі відносні зсуви в з'єднаннях деталей технологічного обладнання, що призводить до зміни структури поверхні шарів співставних деталей, їх знос і як результат, зменшення сили тертя в з'єднаннях, що викликає зміну дисипативних властивостей об'єкта, зміщення його власних частот і т.д. Для заміни деталей, які піддаються тривалому впливу вібрацій необхідно проводити технічне обслуговування, що потребує таких ресурсів, як час та фінансові витрати. Вібрації можуть викликати повну відмову технологічного обладнання, якщо не проводити технічне обслуговування.

За способом передачі на тіло людини вібрацію поділяють на загальну, яка передається через опорні поверхні на тіло людини, та локальну, котра

передається через руки людини. У виробничих умовах часто зустрічаються випадки комбінованого впливу вібрації – загальної та локальної.

Вібрація викликає порушення фізіологічного та функціонального станів людини. Стійкі шкідливі фізіологічні зміни викликані вібраційною хворобою. Симптоми вібраційної хвороби проявляються у вигляді головного болю, занімінні пальців рук, болю в кистях та передпліччі, виникають судоми, підвищується чутливість до охолодження, з'являється безсоння. При вібраційній хворобі виникають патологічні зміни спинного мозку, серцево-судинної системи, кісткових тканин та суглобів, змінюється капілярний кровообіг.

Функціональні зміни, пов'язані з дією вібрації на людину – оператора — погіршення зору, зміни реакції вестибулярного апарату, виникнення галюцинацій, швидка втомлюваність [2].

Негативні відчуття від впливу вібрації зникають при прискореннях, що складають 5% прискорення сили ваги, тобто при віброприскоренні $0,5 \text{ м/с}^2$. Особливо шкідливі вібрації з частотами, близькими до частот власних коливань тіла людини, більшість котрих знаходиться в межах 6...30 Гц.

Резонансні частоти окремих частин тіла людини наступні:

- очі - 22... 27 Гц;
- горло - 6... 12 Гц;
- грудна клітка - 2... 12 Гц;
- ноги, руки - 2... 8 Гц;
- голова - 8... 27 Гц;
- обличчя та щелепи - 4... 27 Гц;
- пояснична частина хребта - 4... 14 Гц;
- живіт - 4... 12 Гц.

Отже, вібрація негативно впливає, як на обладнання, так і на людину – оператора, тому зниження рівня вібрацій є обов'язковою умовою при проектуванні та виготовленні технологічного обладнання.

1.2 Аналіз методів компенсації вібрацій в технологічному обладнанні

Для послаблення вібрацій істотне значення має запобігання резонансним режимам роботи з метою виключення резонансу з частотою збуджувальної сили. Власні частоти окремих конструктивних елементів визначаються розрахунковим методом за відомими значеннями маси та жорсткості, або ж експериментально на вібраційних стендах [3].

Зменшити рівень вібрації можна методами частотного відстроювання, вібродемпфування та вбудовуванням додаткових пристроїв в конструкцію засобу, що підлягає захисту від вібрацій (віброізоляція та динамічне віброзгашування).

Під методом частотного відстроювання розуміється ослаблення амплітуди вібрації, шляхом зміни маси, жорсткості та умов збудження системи. При зміні параметрів системи, яка потрапила в резонанс, змінюється її частота власних коливань, і система виходить з резонансу.

Метод вібродемпфування полягає у зменшенні рівня вібрації об'єкта, що захищається, за рахунок перетворення енергії механічних коливань системи в теплову енергію. Вібродемпфуючі властивості матеріалів визначаються величиною коефіцієнта втрат (δ). Збільшення значення коефіцієнта δ забезпечує підвищення ефекта вібродемпфування. Ефективна дія вібродемпфуючих покриттів спостерігається на резонансних частотах несучої металевій конструкції [4].

Залежно від величини модуля пружності (E) вібродемпфуючі покриття розділяються на тверді ($E = 108 \dots 109$ Па) та м'які ($E < 108$ Па).

Корисна дія твердих покриттів виявляється, головним чином, в області низьких та середніх частот, а м'яких — в області високих частот.

До твердих покриттів відносяться тверді пластмаси, руберойд, бітумізована повсть, фольга, гідроізол, склоізол, фольгоізол та ін.

Дія твердих покриттів обумовлена деформаціями матеріалу в напрямку, рівнобіжному робочій поверхні, на яку воно наноситься. Покриття цього типу рекомендується виконувати багат шаровими. Коефіцієнт втрат (δ) багат шарових вібродемпфуючих покриттів знаходиться в межах від 0,15 до 0,4.

До м'яких вібродемпфуючих покриттів відносяться м'які пластмаси, матеріали типу гуми (піноеласт, технічний вініпор), окремі види пластмас та пінопластмас. Дія м'яких покриттів обумовлена деформаціями матеріалу за товщиною. Значення коефіцієнту втрат (δ) таких покриттів знаходяться в межах 0,05...0,5.

Листові м'які вібродемпфуючі покриття застосовують для зниження рівня вібрації при ручній ковці, обробці тонкостінних конструкцій малої твердості та ін.

Для зниження рівня вібрації об'єктів, що мають складну геометричну форму, чи коли неможливо використовувати листові покриття, застосовують вібродемпфуючі мастики. Їх застосовують для зниження вібрації вентиляційних систем, відцентрових компресорів, насосів, трубопроводів. Найвища ефективність покриття з вібродемпфуючої мастики досягається при товщині покриття рівній двом – трьом товщинам демпфованого елемента конструкції. Коефіцієнт втрат (δ) таких мастик лежить в межах від 0,3 до 0,45.

Добре гасять вібрацію мастила, так як усувають поверхневе тертя між деталями конструкції.

Метод динамічного віброзгашування полягає у зменшенні рівня вібрацій об'єкта шляхом введення в систему додаткового віброзгашувача. Віброзгашувач жорстко кріпиться на корпусі віброуючого об'єкта, тому у ньому в кожний момент часу збуджуються коливання, котрі знаходяться в протифазі з коливаннями об'єкта. Згідно з конструктивним принципом існують пружинні, маятникові, ексцентрикові та гідравлічні динамічні

віброгашувачі. Ефективність дії віброгашувача обмежується агрегатами з дискретною вібрацією практично однієї частоти.

Як ударні застосовують віброгашувачі маятникового, пружинного, плаваючого та камерного типу. Як правило, маятникові ударні віброгашувачі використовують для зниження вібраційних коливань з частотою 0,4...2 Гц, пружинні – 2...10 Гц, плаваючі – вище 10 Гц [5].

Віброгашувачі камерного типу найчастіше використовують для зниження вібрації компресорів. Вони встановлюються на всмоктувальній і нагнітальній стороні компресорних трубопроводів.

Віброізоляція – це метод, який дозволяє зменшити передачу вібраційних коливань від джерела збудження до об'єкта за допомогою пристроїв, які поміщені між ними. Додатковий пружний зв'язок перешкоджає передачі вібрації від об'єкта – джерела коливань, до основи або суміжних елементів конструкції.

Ефективність віброізоляції визначається коефіцієнтом передачі $K_{\text{п}}$ (коефіцієнтом амортизації $K_{\text{а}}$), тобто відношенням амплітуди вібропереміщення, віброшвидкості, віброприскорення захищеного об'єкта або діючої на нього сили, до амплітуди тієї ж величини джерела збудження при гармонічній вібрації (1.3). Чим менше це співвідношення, тим вища віброізоляція.

Якщо f - частота сили, f_0 - власна частота об'єкта (агрегату), то

$$K_{\text{п}} = \frac{1}{\frac{f^2}{f_0^2} - 1} \quad (1.3)$$

Чим нижча власна частота порівняно з частотою сили, тим вища ефективність віброізоляції. При $f \ll f_0$ сила діє як статична і цілком передається основі. При $f = f_0$ настає резонанс, який супроводжується різким зростанням амплітуди вібрацій. При $f > 2f_0$ режим резонансу не відбувається, значення $K_{\text{п}}$ дорівнює одиниці, а при подальшому збільшенні воно стає менше

одиниці, так як система надає збуджуючій силі більший опір. Внаслідок цього передача вібрацій через віброізоляцію зменшується.

Для віброізоляції обладнання з вертикальною збуджуючою силою застосовують віброізолюючі опори трьох типів: гумові, пружинні та комбіновані.

Пружинні віброізолятори в порівнянні з гумовими мають ряд переваг. Вони можуть застосовуватися для ізоляції коливань як низьких, так і високих частот, довше зберігають постійність пружних властивостей в часі, добре протистоять дії маси і температури, однак можуть пропускати коливання високих частот.

Комбінований віброізолятор являє собою сполучення пружинного віброізолятора з пружною прокладкою, яка передбачена для забезпечення необхідного діапазону коливань, що згашуються [6]. Пружні елементи таких віброізоляторів можуть бути металевими, полімерними, волокнистими, пневматичними, гідравлічними, електромагнітними.

1.3 Порівняльний аналіз методів компенсації вібрацій в технологічному обладнанні

До методів компенсацій вібрацій в технологічному обладнанні можна віднести методи: частотного відстроювання, вібродемпфування, динамічного віброзгашування, віброізоляції. Для порівняння цих методів, потрібно визначити їхні переваги і недоліки та занести їх до табл. 1.1.

Таблиця 1.1 — Переваги та недоліки методів компенсації вібрацій в технологічному обладнанні

Метод	Переваги	Недоліки
Частотне відстроювання	Виключення резонансних режимів роботи, шляхом зміни	На виготовленому обладнанні не можна змінити його масу та жорсткість.

	частоти власних коливання.	
Вібродемпфування	Зменшенні рівня вібрацій об'єкта, що захищається, за рахунок перетворення енергії механічних коливань коливної системи в теплову енергію.	Потрібне нанесення вібродемпфуючих покриттів. Або виготовлення частин конструкції об'єкта, що захищається з вібродемпфуючих матеріалів потрібної жорсткості. Що може бути не сумісним з технічними можливостями об'єкта і може призвести до непридатності технологічного обладнання.
Динамічне віброгашування	Віброгашувач жорстко кріпиться на корпус вібруючого об'єкта, тому в ньому в кожний момент часу збуджуються коливання, котрі знаходяться в протифазі з	Потрібно підбирати параметри віброгашувача для виключення резонансних частот об'єкта, що захищається від вібрації. Подавлення резонансного коливання відбувається лише на

	коливаннями об'єкта.	одній частоті, може призвести до виникнення додаткових резонансних коливань на інших частотах.
Віброізоляція	Зменшення передачі коливань від джерела збудження до об'єкта за допомогою пристроїв, які поміщені між ними.	Встановлюється між двома об'єктами. Обмежений діапазон частот коливань вібрації. Діапазон частоти коливань вібрації залежить від жорсткості віброізолятора.

Технологічне обладнання постачається на виробництво, де воно використовується зібраним. Тому метод вібродемпфування використовувати не раціонально, оскільки виготовляти на замовлення деталі з вібродемпфуючими матеріалами, для кожного технологічного обладнання, а потім розбирати та збирати його для їх встановлення, не доцільно. Оскільки у разі пошкодження вібродемпфуючих деталей їх потрібно виготовляти на замовлення знову, а ефективність даного методу буде знижуватись.

Віброізоляція ефективна для обладнання з вертикальною збуджуючою силою, оскільки можна використати віброізолюючі опори. Проте, коли збуджуюча сила горизонтальна, даний метод менш ефективний. Метод частотного відстроювання ефективний при статичній вібрації, проте не ефективний коли вібрація змінюється динамічно, під час роботи технологічного обладнання. Для надійного захисту від динамічних резонансних вібрацій, які виникають при роботі технологічного обладнання

можна використати метод динамічного віброгашування, який буде більш ефективний ніж метод частотного відстроювання. Частотний діапазон компенсаційної вібрації, можна підібрати за рахунок віброгашувача, який жорстко кріпиться на корпус технологічного обладнання, що не потребуватиме зміни конструктивних особливостей технологічного обладнання, як в методі вібродемпфування та віброізоляції.

Висновки за розділом

Отже, серед проаналізованих методів зменшення рівня вібрацій, було обрано метод динамічного віброгашування, що дозволить динамічно гасити резонансні вібраційні коливання об'єкта, за допомогою протифазної роботи віброгашувача.

2 МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНОГО ЗГАШУВАННЯ ГАРМОНІЧНИХ КОЛИВАНЬ

У даному розділі проведено моделювання динамічного згашування гармонічних коливань, побудована математична модель, з'ясовано вплив фазового зсуву на динамічне згашування, та розглянута можливість динамічного згашування коливань за допомогою зміни частоти згашування.

Для математичного моделювання створена модель, яка буде складатися з пластини (твердого тіла), та двох сил, які будуть впливати на цю пластину (рис. 2.1).

Одна сила буде створювати гармонічні коливання на заданій частоті, а інша гасити їх.

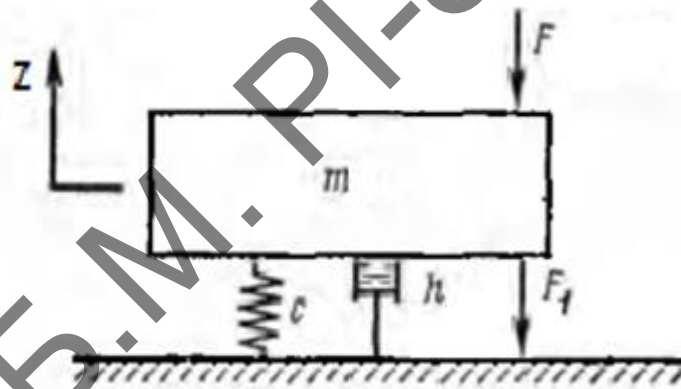


Рисунок 2.1 — Схема моделі динамічного згашування коливань

Припустимо, що пластина з m — масою твердого тіла може створювати прямолінійні коливання під дією F — гармонічної зовнішньої сили. c — коефіцієнта жорсткості системи, h — коефіцієнта демпфування системи, z — переміщення пластини.

Гармонічна зовнішня сила F складається з A — амплітуди зовнішньої сили, ω_1 — циклічної частоти збудження та t — часу збудження, і визначається за формулою:

$$F = A \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) \quad (2.1)$$

Циклічна частота збудження гармонічних коливань розраховується за формулою:

$$\omega_1 = 2 \cdot \pi \cdot f_1 \quad (2.2)$$

де, f_1 — частота збудження в Гц.

Щоб, змоделювати динамічне згашування вібраційних коливань потрібно ввести F_1 — силу компенсації, яка буде протидіяти зовнішній силі за рахунок зміщення φ — фази коливань на π та ω_2 — циклічної частоти:

$$F_1 = A \cdot \sin(\omega_2 \cdot t + \varphi) \quad (2.3)$$

Циклічна частота збудження компенсаційних коливань ω_2 розраховується за формулою:

$$\omega_2 = 2 \cdot \pi \cdot f_2 \quad (2.4)$$

де, f_2 — частота збудження компенсаційних коливань в Гц.

На пластину діє сила інерції $\frac{d^2z}{dt^2} \cdot m$, демпфуюча сила $\frac{dz}{dt} \cdot h$, сила пружності $z \cdot c$, гармонічна зовнішня сила F та сила компенсації F_1 .

Математична модель динамічного згашування коливань має вигляд:

$$\frac{d^2z}{dt^2} \cdot m + \frac{dz}{dt} \cdot h + z \cdot c = F + F_1 \quad (2.5)$$

де, z — переміщення пластини, під дією гармонічної зовнішньої сили F та сили компенсації F_1 , зі зміщенням фазового зсуву φ на π .

Для розв'язку диференційного рівняння (2.5) використано програмне забезпечення Matcad 15 в якому було задано такі вхідні параметри:

- Циклічна частота гармонічної зовнішньої сили $\omega_1 = 628,319$ рад., при $f_1 = 100$ Гц;
- Циклічна частота збудження компенсаційних коливань $\omega_2 = 628,319$ рад., при $f_2 = 100$ Гц;
- Амплітуда зовнішньої сили $A = 1$ Н;
- Коефіцієнт жорсткості $c = 230$ МПа;
- Коефіцієнт демпфування $h = 1,013 \cdot 10^5$ кг/с;
- Фазовий зсув $\varphi = \pi$ рад.

— Маса пластини $m = 0,1$ кг.

Гармонічна сила F з частотою 100 Гц діє на пластину, змушуючи її гармонічно коливатися:

$$\frac{d^2 z_1}{dt^2} \cdot m + \frac{dz_1}{dt} \cdot h + z \cdot c = F \quad (2.6)$$

де, z_1 — переміщення пластини під дією гармонічної зовнішньої сили F .

Далі, щоб загасити гармонічні коливання пластини введено силу компенсації F_1 , яка протидіє впливові сили коливань F за рахунок зміщення фазового зсуву φ на π (2.5).

Програма для проведення моделювання наведена в додатку Г.

Порівняльна характеристика переміщення пластини z_1 та z під дією гармонічної зовнішньої сили та сили компенсації, зі зміщенням фазового зсуву на π зображена на рис.2.2.

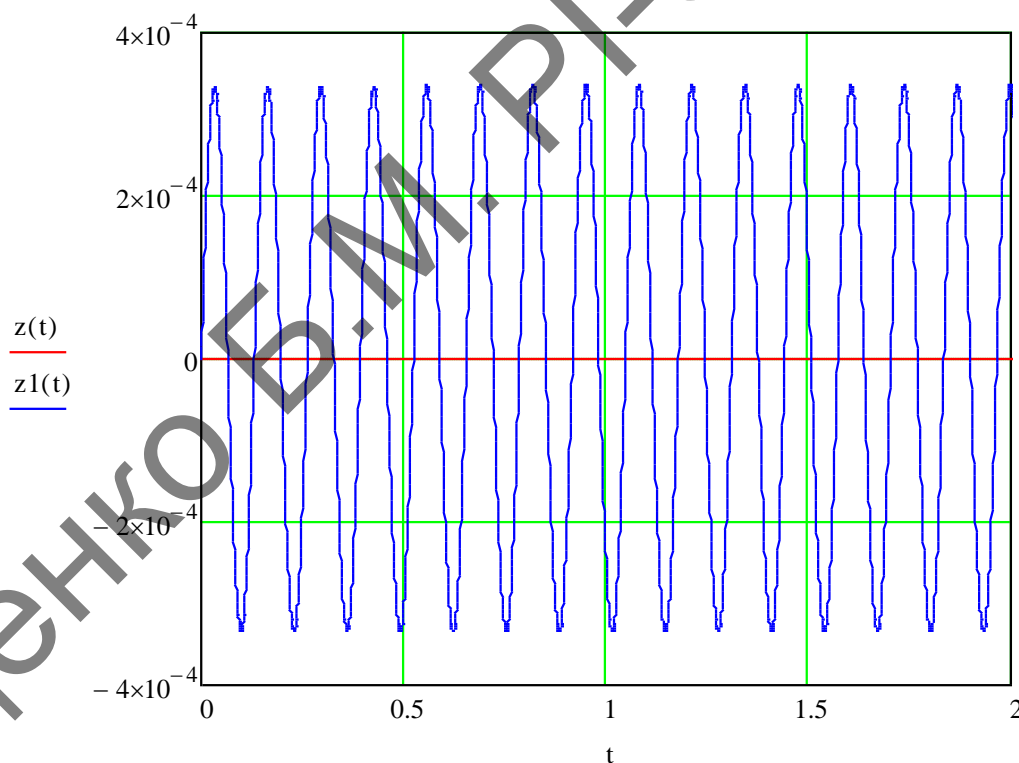


Рисунок 2.2 — Порівняльна характеристика z_1 та z

З рис.2.2 можна зробити висновок, що переміщення $z(t)$ дорівнює 0, отже відбулася компенсація гармонічних коливань завдяки динамічному загашуванню сили компенсації F_1 .

Розглянемо залежність переміщення пластини від зміни фазового зсуву (рис. 2.3), для цього розрахуємо переміщення пластини при фазовому зсуві рівному:

$$\varphi_0 = 0 \text{ рад;}$$

$$\varphi_1 = \pi/2 = 1,571 \text{ рад;}$$

$$\varphi_2 = \pi = 3,142 \text{ рад;}$$

$$\varphi_3 = 3\pi/2 = 4,712 \text{ рад;}$$

$$\varphi_4 = 2\pi = 6,283 \text{ рад.}$$

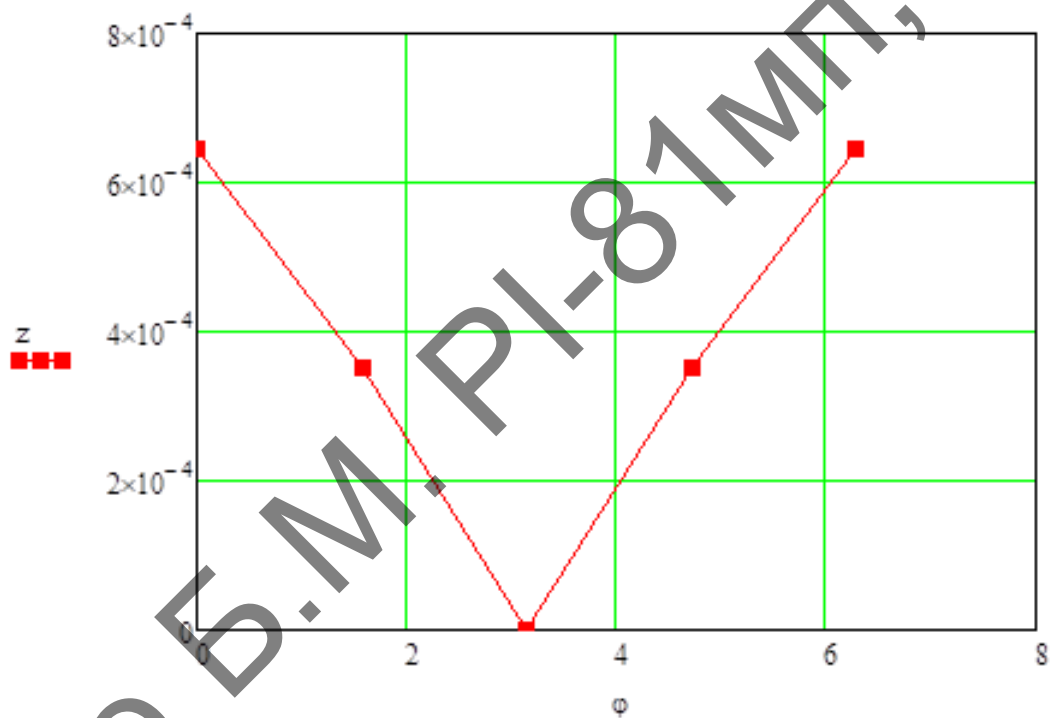


Рисунок 2.3 — Залежність переміщення z від фазового зсуву φ

З рис.2.3 можна зробити висновок, що зміщення фази може, як зменшити переміщення пластини так і збільшити його. Це може призвести до згашування коливань або до їх підсилення.

Оскільки систему динамічного згашування вібраційних коливань з контролем фазового зсуву технічно реалізувати складно, перевіримо, як переміщення пластини залежить від зміни частоти сили компенсації в діапазоні від 50 – 150 Гц (рис. 2.4).

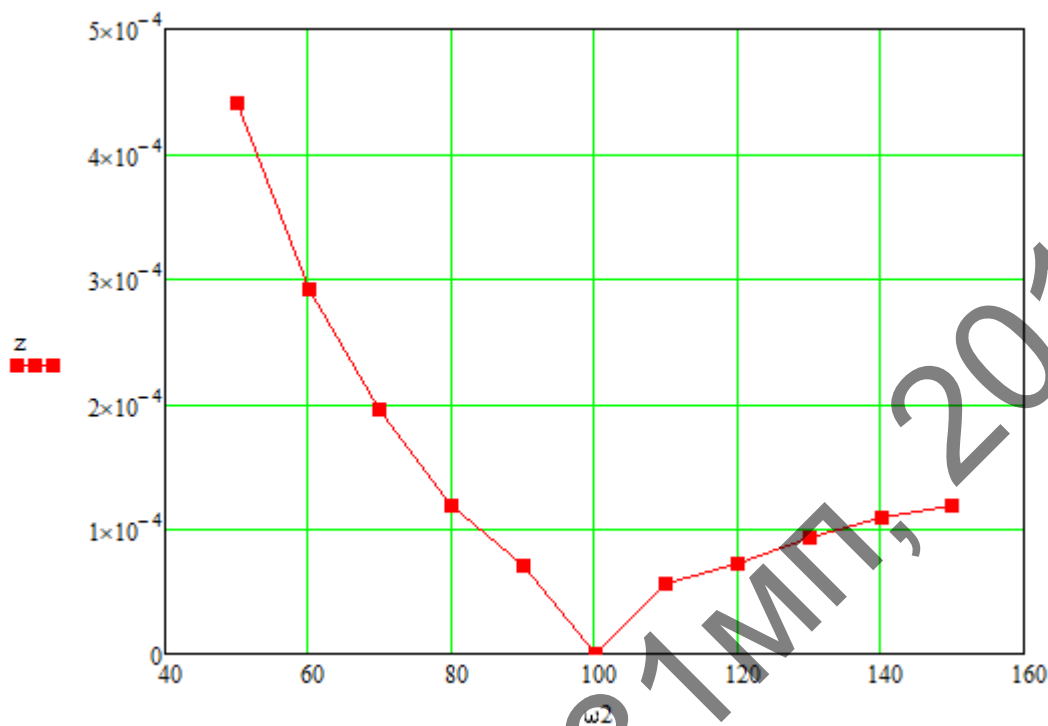


Рисунок 2.4 — Залежність переміщення z від зміни частоти ω_2 сили компенсації F_1

З рис. 2.4 можна зробити висновок, що зі збільшенням частоти ω_2 сили компенсації F_1 , переміщення пластини зменшується.

Висновки за розділом

Протифазний вплив двох сил з однаковими параметрами, що діють на пластину, призводить до повного згашування вібраційних коливань.

Зміна частоти сили компенсації може призвести до динамічного згашування вібраційних коливань без контролю фазового зсуву, проте якість такого згашування буде нижча ніж з контролем фазового зсуву.

3 ОБЛАДНАННЯ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНОГО ЗГАШУВАННЯ ВІБРАЦІЙНИХ КОЛИВАНЬ

У даному розділі розглядається обладнання, конструкція вібраційного стенда, а також програмне забезпечення, яке дозволяє провести експериментальне дослідження динамічного згашування вібраційних коливань.

3.1 Структурна схема

Для проведення експериментального дослідження методу динамічного згашування вібраційних коливань розроблена структурна схема (рис.3.1), на основі, якої побудований вібраційний стенд.

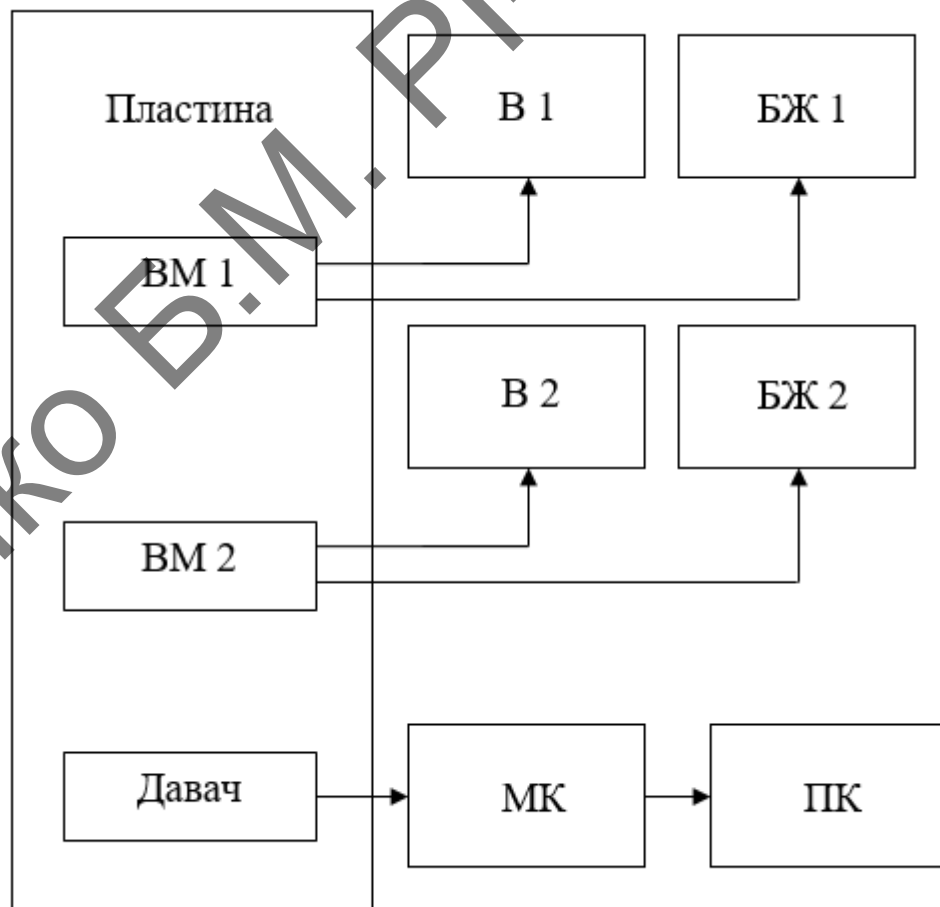


Рисунок 3.1— Структурна схема вібраційного стенда

Експериментальний вібраційний стенд (рис.3.2) містить пластину прямокутної форми виготовлену з фольгованого склотекстоліту, розміри пластини 200x100x2 мм. Посередині пластини розміщено вібромотор ВМ1, який збуджує вібраційні коливання пластини на резонансній частоті 133 Гц при напрузі живлення 1,9 В блока живлення БЖ1, для контролю напруги живлення вібромотора ВМ1 використовується вольтметр Mastech M890G (В1). На зворотному боці пластини, посередині розміщено вібромотор ВМ2, який живиться від блока живлення БЖ2, для контролю напруги живлення вібромотора ВМ2 використовується вольтметр UNI-T UT70A (В2). Вібромотор ВМ2 гасить вібраційні коливання пластини за принципом динамічного згашування вібраційних коливань.

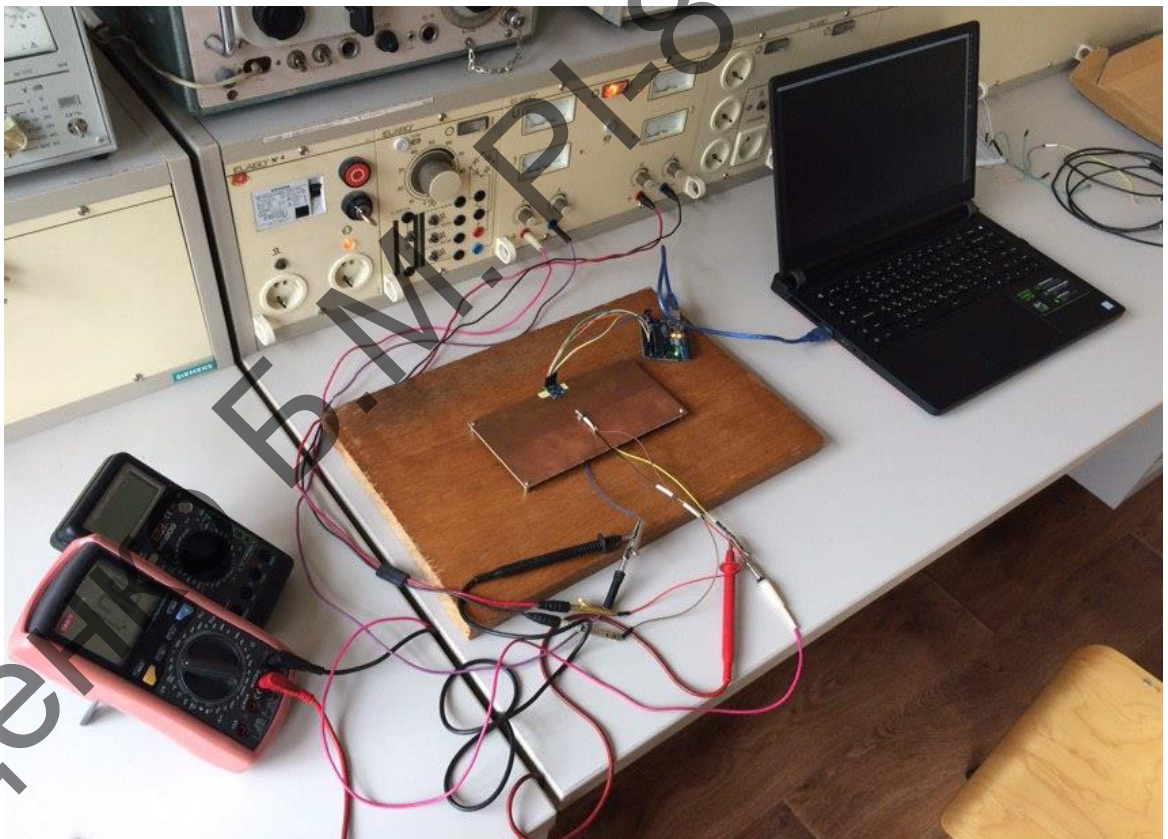


Рисунок 3.2 — Експериментальний вібраційний стенд

Для вимірювання коливань пластини використовується давач вібрацій (акселерометр) GY-61, який вимірює модуль прискорення коливань пластини по трьом осям x, y, z . Мікроконтролер ATMEGA 328P (МК) приймає

данні від датчика та відправляє їх на персональний комп'ютер ПК де вони записуються у файл, потім завдяки програмному забезпеченню Mathcad 15 розраховується середнє квадратичне значення модуля прискорення, та будуються відповідні графіки.

3.2 Елементи експериментального стенда

Для проведення експерименту на вібраційному стенді потрібний мікроконтролер, датчик вібрацій (акселерометр) та два однакових вібратори.

3.2.1 Мікроконтролер ATMEL ATMEGA 328P

Керування датчиком вібрації (акселерометром) здійснюється за допомогою мікроконтролера. Для експерименту було обрано мікроконтролер ATMEL ATMEGA 328P (рис.3.3).

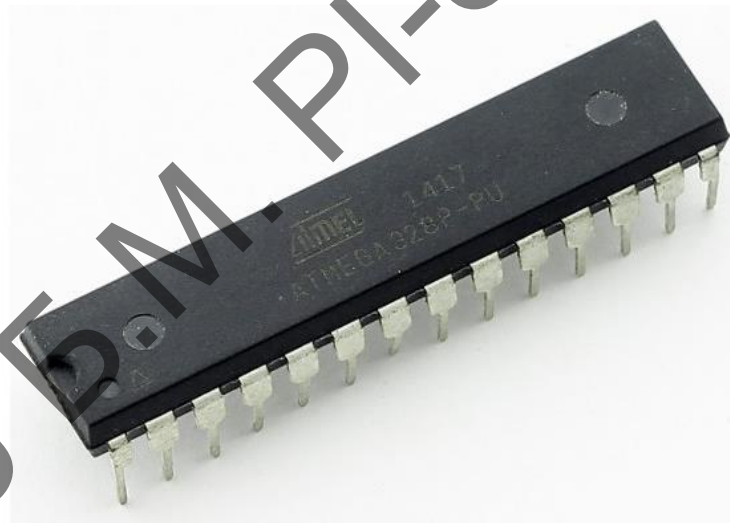


Рисунок 3.3 — Мікроконтролер ATMEL ATMEGA 328P

Даний мікроконтролер вбудований в плату Arduino UNO (рис.3.4), яка містить 14 цифрових і 6 аналогових входів/виходів, 10-бітний аналогово-цифровий перетворювач (АЦП), USB порт для підключення плати до комп'ютера та завантаженню на мікроконтролер скетч-програми.

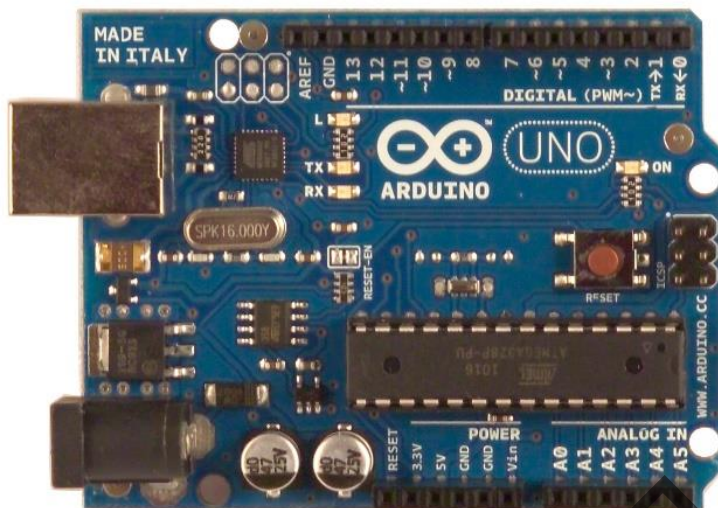


Рисунок 3.4 — Плата Arduino UNO

Arduino UNO містить всю необхідну апаратну частину для проведення експерименту. А ліцензійне програмне забезпечення Arduino дозволить створити необхідну програму для керування акселерометром, і завантажити її до мікроконтролера.

3.2.2 Акселерометр GY-61

Функцію вимірювання прискорення пластини, під дією вібрацій, виконує вібродавач. Вібродавач повинен бути достатньо чутливим для вимірювання низькочастотних вібрацій пластини до 1 кГц. Таким є акселерометр GY-61 (рис.3.5). Який вимірює прискорення по трьом осям x, y, z, з чутливістю 300 мВ/g. Діапазон вимірювання прискорення від -3,6g до +3,6g. Напруга живлення 3 — 5В.

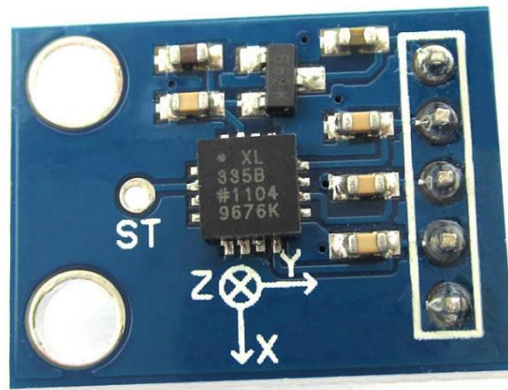


Рисунок 3.5— Акселерометр GY-61

Технічних характеристик даного акселерометра достатньо для проведення експерименту.

3.2.3 Вібротор Z4FC1B1301781

У якості вібротора був обраний вібротор Z4FC1B1301781 (рис.3.6). Напруга живлення якого становить 1,5 — 3,3 В. Частота вібрації 50 — 150 Гц.



Рисунок 3.6 — Вібротор Z4FC1B1301781

Важливим при виборі вібротора, є його стабільна робота, у всьому робочому діапазоні частот і дешевизна, оскільки для експерименту потрібно придбати два однакових вібротора.

3.3 Розробка конструкції вібраційного стенда

Перед початком складання вібраційного стенда (рис.3.7), спочатку спроектуємо його в програмному забезпеченні SOLIDWORKS 2017.

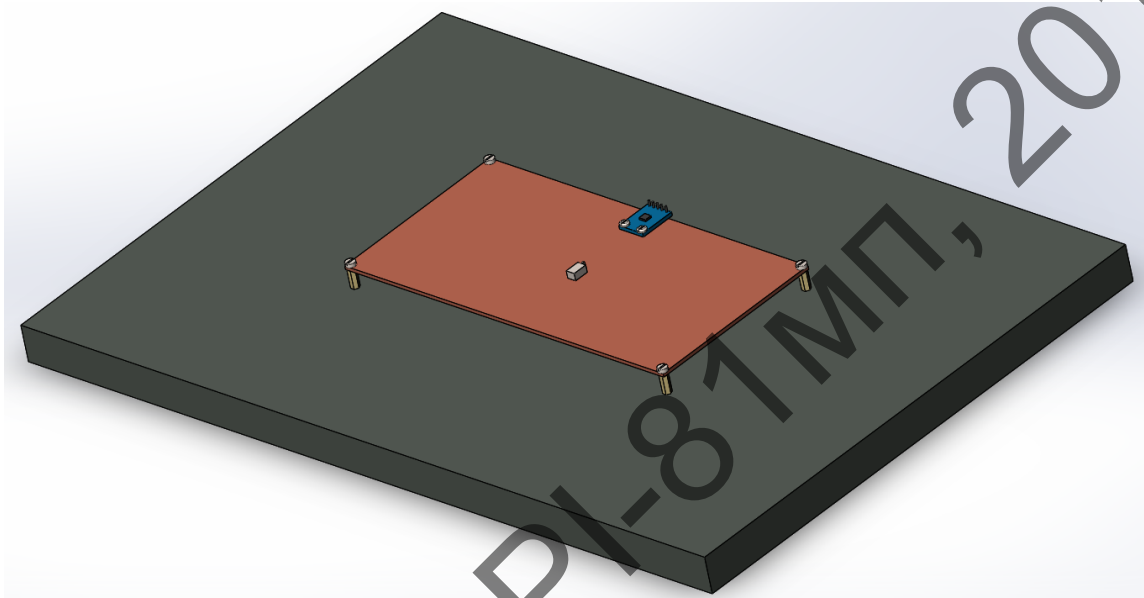


Рисунок 3.7 — Вібраційний стенд

На першому етапі проектування потрібно визначити власну частоту коливань пластини (1) та її габаритні розміри. Для цього використаємо програмне забезпечення Plata 2017.1 (рис.3.8).



Рисунок 3.8 — Програмне забезпечення Plata 2017.1

Введемо в програму розміри пластини 200x100x2 мм, оскільки пластину було обрано з фольгованого склотекстоліту, тому в програмі задаємо механічні характеристики фольгованого склотекстоліту (рис.3.9).

ВВЕСТИ:

розміри плати:

довжина 200 мм

ширина 100 мм

товщина 2 мм

механічні характеристики матеріалу плати:

модуль пружності 21 ГПа

коефіцієнт Пуассона 0.12

густина 1.9 г/см³

коефіцієнт механічних втрат 0.02

межа міцності 345 МПа

межа витривалості 85 МПа

маса рівномірно розподілених по площі плати елементів d г

Продовжити

Рисунок 3.9 — Механічні характеристики

Далі оберемо спосіб закріплення пластини з чотирьох боків, варіант 1 (рис.3.10).

Обрати спосіб закріплення сторін плати:

1 2 3 4 5 6 7

8 9 10 11 12 13 14

— вільна сторона
— обперта сторона
— защемлена сторона

Рисунок 3.10 — Спосіб закріплення пластини

Введемо координати контрольних точок на яких буде проводитись вимірювання (рис.3.11).

Ввести параметри елементів електронної структури
число та координати контрольних точок

ввести число ЕЕС (не більш 50) ввести число контрольних точок

ввести параметри ЕЕС: ввести координати контрольних точок

N	маса		розміри		координати центру	
	m, г	dx, мм	dy, мм	x, мм	y, мм	
1						
2						
3						
4						

N	координати	
	x, мм	y, мм
1	5	95
2	5	5
3	100	0
4	195	95
5	195	5

Рисунок 3.11 — Координати контрольних точок

Перевіримо правильність введених координат контрольних точок (рис.3.12).

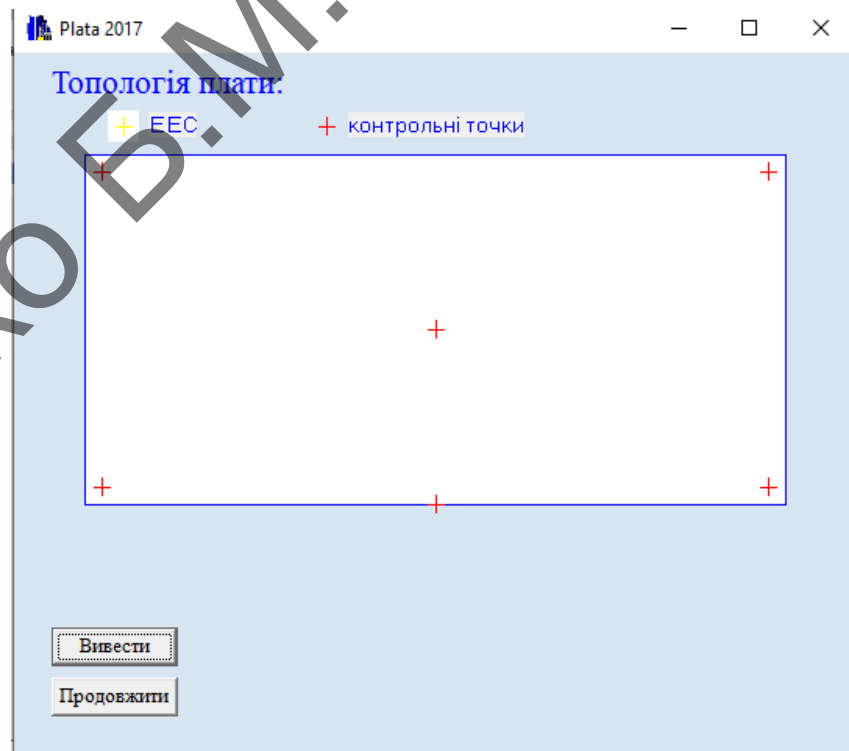


Рисунок 3.12 — Візуальний контроль розміщення контрольних точок

Отримуємо частоту власних коливань пластини 81,5 Гц (рис.3.13).

ПОЧАТКОВІ ПАРАМЕТРИ:
частота власних коливань $f_0 = 81.5$ Гц

ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ДЕФОРМАЦІЙ ПЛАТИ
при вібраційних та ударних впливах
ВВЕСТИ:

при дії вібрації:

частоту вібрації Гц
амплітуду зміщення основи мм
тривалість дії вібрації годин

при дії ударів:

тривалість ударного імпульсу мс
перевантаження при ударі g
кількість ударів
код ударного імпульсу:

1 - синусоїдальний; 2 - прямокутний

Продовжити

Рисунок 3.13 — Результати розрахунку

Отримана частота 81,5 Гц входить в діапазон робочих частот вібромотора 50 — 150 Гц. Отже, змінювати розміри пластини не потрібно.

Пластину потрібно закріпити жорстко з чотирьох боків, на 4 гвинта М3х6, до чотирьох стійок (7), а стійки в свою чергу до важкої, масивної платформи (3), за допомогою 4 гвинтів М3х30 щоб уникнути негативного впливу платформи на результати вимірювання (рис.3.14).

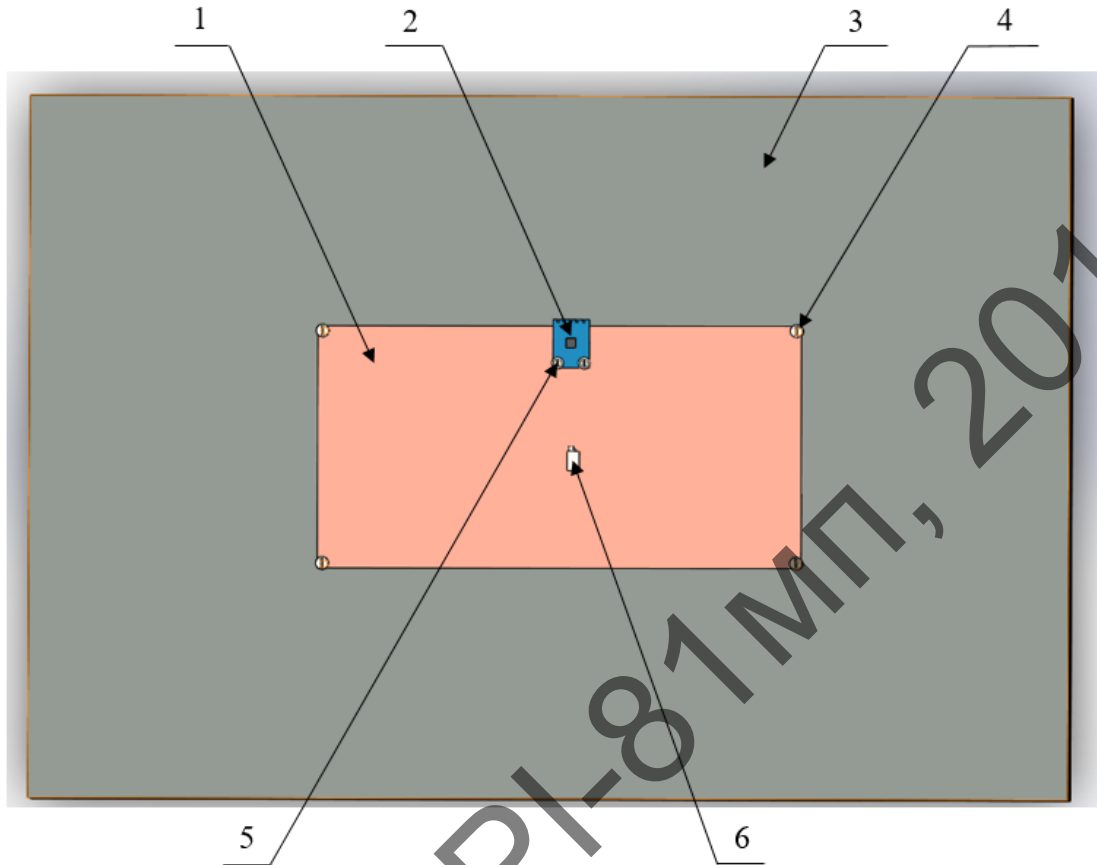


Рисунок 3.14 — Вібраційний стенд вид зверху

Акселерометр 2 було розміщено у місці найбільшої амплітуди коливань пластини. Вібромотор 6 та 8 закріплено з обох боків пластини, посередині (рис. 3.15), щоб вібрації розподілялися рівномірно по поверхні пластини.

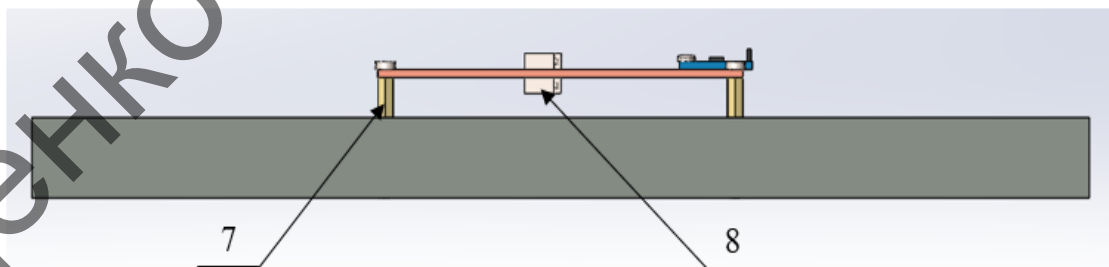


Рисунок 3.15 — Вібраційний стенд вид збоку

За результатами проектування був виготовлений вібраційний стенд (рис.3.16 та рис. 3.17).



Рисунок 3.16 — Виготовлений вібраційний стенд від зверху

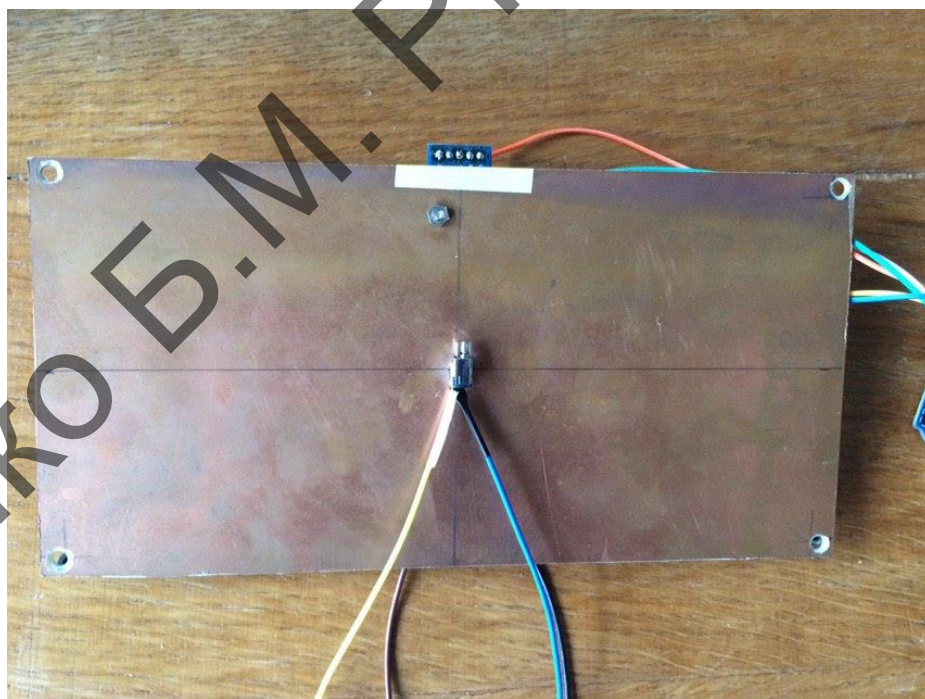


Рисунок 3.17 — Виготовлений вібраційний стенд від знизу

Виготовлений вібраційний стенд придатний для проведення експериментального дослідження динамічного згашування коливань без контролю фазового зсуву.

3.4 Розробка програмного забезпечення для мікроконтролера

Для проведення виміральної частини експерименту необхідно запрограмувати мікроконтролер (МК) ATMEL ATMEGA 328P на прийом даних з вібродавача (акселерометра) GY-61. Для цього необхідно скористатися програмним забезпеченням Arduino та написати в ньому програмний код, який буде зчитувати з давача зміну напруги по трьом осям x,y,z та перераховувати її у модуль прискорення.

Насамперед, потрібно відкрити три аналогових порти A5, A4, A3, які відповідають трьом каналам акселерометра x, y, z.

```
const int xPin = A5;
```

```
const int yPin = A4;
```

```
const int zPin = A3;
```

Для конвертації отриманого значення з бітів в вольти необхідно кожне значення, яке знято з аналогового входу розділити на 1024 і помножити на 5 В. Щоб це реалізувати необхідно спочатку об'явити максимальне допустиме значення на аналоговому вході 5 В.

```
const float Vmax = 5.0;
```

Далі необхідно відкалібрувати кожну вісь акселерометра і визначити константи, які будуть відповідати нульовому прискоренню.

```
const float x0 = 1.64
```

```
const float y0 = 1.62;
```

```
const float z0 = 1.61;
```

Чутливість давача згідно datasheet становить 300 мВ/g [7]. Проте для більш точного вимірювання необхідно провести калібрівку і визначити чутливість для кожної осі окремо. Методика проведення калібрівання наведена [8].

```
const float sens_x = 0.39;
```

```
const float sens_y = 0.31;
```

```
const float sens_z = 0.36;
```

Для передачі даних з давача на комп'ютер ініціалізуємо послідовне з'єднання і задаємо максимальну швидкість передачі даних в 2000000 біт/с. Така велика швидкість передачі даних необхідна, щоб мінімізувати втрату даних, під час передачі.

```
void setup() {  
  Serial.begin(2000000);  
}
```

Зчитаймо дані з акселерометра по трьом осям x, y, z.

```
void loop() {  
  unsigned int value_x = analogRead(xPin);  
  unsigned int value_y = analogRead(yPin);  
  unsigned int value_z = analogRead(zPin);
```

Переведем отримані дані з вольтів (В) в прискорення (g) за допомогою формули:

$$g = \left(\frac{V_x \cdot V_{\max}}{1024 - x_0} \right) / S_x \quad (4.1)$$

де: V_x — отримане значення з давача;

V_{\max} — максимальна напруга на аналоговому вході мікроконтролера 5 В;

x_0 — константа яка відповідає 0 прискоренню $x_0 = 1,64$; $y_0 = 1,62$; $z_0 = 1,61$;

S_x — чутливість акселерометра $S_x = 0,39$; $S_y = 0,31$; $S_z = 0,36$;

Задаємо формулу для розрахунку модуля прискорення по трьом осям

x, y, z:

$$M = \sqrt{G_x \cdot G_x + G_y \cdot G_y + G_z \cdot G_z} \quad (4.2)$$

де: G_x — прискорення по осі x;

G_y — прискорення по осі y;

G_z — прискорення по осі z.

```
float Gx = (value_x * Vmax / 1024.0 - x0) / sens_x;
```

```
float Gy = (value_y * Vmax / 1024.0 - y0) / sens_y;
```

```
float Gz = (value_z * Vmax / 1024.0 - z0) / sens_z;
```

```
float M = (sqrt (Gx * Gx + Gy * Gy + Gz * Gz));
```

Виведем отримані данні, для візуального контролю в моніторинг COM порта програмного забезпечення Arduino.

```
Serial.println(String(M)); }
```

3.5 Розробка програмного забезпечення для створення бази даних

Для проведення експерименту необхідно розробити програмне забезпечення, яке буде створювати три текстові файли з миттєвими значеннями прискорення.

Для створення програми, яка буде реалізовувати поставлену задачу скористаємось програмним середовищем Microsoft Visual Studio.

На першому етапі створення програми потрібно підключити необхідні бібліотеки.

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Timers;
using System.IO.Ports;
namespace ConsoleApp_Files
{
class Program
{
```

На другому етапі реалізуємо створення трьох текстових файлів по 10000 значень у кожному, які надходять з COM порту. Після закінчення запису, файли зберігаються на комп'ютері.

```
const int numAll = 30000;
static SerialPort mySerialPort;
```

```

static List<string> ListLinesUART = new List<string>();
static string path = AppDomain.CurrentDomain.BaseDirectory;
static string fileName = "WriteLines";
static string fileEx = ".txt";
static int countFiles = 3; // кількість файлів
static void Main(string[] args)
{
    startUART();

    while (ListLinesUART.Count < numAll)
    {
        ;
    }
    string[] lines = ListLinesUART.ToArray();
    int sLen = lines.Length / countFiles;
    for (int i = 0; i < countFiles; i++)
    {
        string[] myLines = new string[sLen];
        Array.Copy(lines, (i * sLen), myLines, 0, sLen);
        System.IO.File.WriteAllLines(path + @"\" + fileName + "_" +
            i.ToString() + fileEx, myLines);
    }
}

```

Після того як програма записала необхідну кількість миттєвих значень, потрібно вивести на екран стоп-слово «ОК», яке символізуватиме завершення запису.

```

    Console.WriteLine("OK");
    Console.ReadKey();
}
static void startUART()
{

```

Необхідно також вказати налаштування COM порту, його номер та швидкість передачі даних, які повинні збігатися з налаштуванням попередньо написаної програми для мікроконтролера, оскільки ці дві програми використовуються одночасно.

```

        mySerialPort = new SerialPort("COM4");
        mySerialPort.BaudRate = 2000000;
        mySerialPort.Parity = Parity.None;
        mySerialPort.StopBits = StopBits.One;
        mySerialPort.DataBits = 8;
        mySerialPort.Handshake = Handshake.None;
        mySerialPort.DataReceived += new
        SerialDataReceivedEventHandler(DataReceivedHandler);
        mySerialPort.Open();
    }

    private static void DataReceivedHandler(object sender,
    SerialDataReceivedEventArgs e)
    {
        SerialPort sp = (SerialPort)sender;
        string strFromPort = sp.ReadLine();
        if (Double.TryParse(strFromPort, out d))
        {
            ListLinesUART.Add(d.ToString());
        }
        else Console.WriteLine("  Error!!!");
        Console.WriteLine(strFromPort);
        if (ListLinesUART.Count >= numAll) mySerialPort.Close();
    }
}
}
}

```

Висновки за розділом

Отже, спроектований та виготовлений вібраційний стенд дозволить провести експериментальне дослідження динамічного згашування вібраційних коливань, а написані на персональному комп'ютері два програмних забезпечення дозволять виміряти миттєве значення модуля прискорення та створити базу даних для розрахунків та подальшого аналізу результатів експерименту.

На протязі проведення експерименту було створено базу даних, яка містить 1620000 миттєвих значень модуля прискорення. Що дозволяє досить точно проаналізувати широкий діапазон вібрацій пластини під впливом вібромоторів.

Міщенко Б.М. РІ-81МН, 2019

4 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНОГО ЗГАШУВАННЯ ВІБРАЦІЙНИХ КОЛИВАНЬ

У даному розділі наведена методика та аналіз проведеного експериментального дослідження динамічного згашування вібраційних коливань на вібраційному стенді.

4.1 Методика проведення дослідження вібрацій

На першому етапі експеримента необхідно встановити залежність частоти від напруги на вібромоторі ВМ1. Для цього до ненавантаженого вібромотора ВМ1 підключимо частотомір і визначимо частоти при напругах: 1,5В; 1,7В; 2В; 2,2В; 2,5В; 3В; 3,3В. Зняті експериментальні значення були лінійно апроксимовані (рис.4.1). Апроксимація даних вимірювання частоти вібрації вібродвигуна від напруги на ньому наведена в додатку Д.

На другому етапі експеримента потрібно встановити залежність середньоквадратичного значення модуля прискорення від частоти вібрації вібромотора ВМ1, що імітує зовнішній механічний вплив. Для цього змінюємо напругу живлення на вібромоторі ВМ1 в діапазоні від 1,5В до 2,2 В. За допомогою розробленого програмного забезпечення записуємо отримані дані з вібродавача (акселерометра) в текстовий файл для аналізу і розрахунку середньоквадратичного значення модуля прискорення (рис. 4.2).

На третьому етапі експеримента потрібно встановити на вібромоторі ВМ1 напругу живлення 1,9 В за допомогою БЖ1, для симуляції зовнішнього механічного впливу на частоті резонансу пластини 133 Гц. Вібромотор ВМ2 використано в якості динамічного віброзгашувача. Змінюючи напругу на вібромоторі ВМ2 в діапазоні від 1,5 В до 2,2 В, що відповідає зміні частоти вібрації від 110 Гц до 150 Гц, згашуємо коливання пластини, яка вібрує під дією вібромотора ВМ1. За допомогою розробленого програмного забезпечення записуємо отримані дані з акселерометра в текстовий файл, для

аналізу і розрахунку середньоквадратичного значення модуля прискорення (рис. 4.3).

Оскільки при передачі даних з акселерометра на мікроконтролер, а з мікроконтролера на комп'ютер відбувається втрата миттєвих значень віброприскорення через асинхронність передачі даних, необхідно накопити достатню кількість миттєвих значень модуля прискорення, провести 3 послідовних вимірювання по 10000 значень, для кожного значення напруги вібродвигуна, і знайти середньоквадратичне значення модуля прискорення.

4.2 Аналіз отриманих результатів

Для аналізу отриманих даних з акселерометра потрібно визначити середньоквадратичне значення модуля прискорення M за формулою:

$$M = \sqrt{\frac{\sum G^2}{N}} \quad (4.3)$$

де: G — миттєві значення модуля прискорення;

N — кількість миттєвих значень модуля прискорення ($N = 10000$);

Апроксимована залежність частоти від напруги на вібродвигуні (рис. 4.1) є лінійною, ця залежність необхідна для керування частотою обертів вібродвигунів.

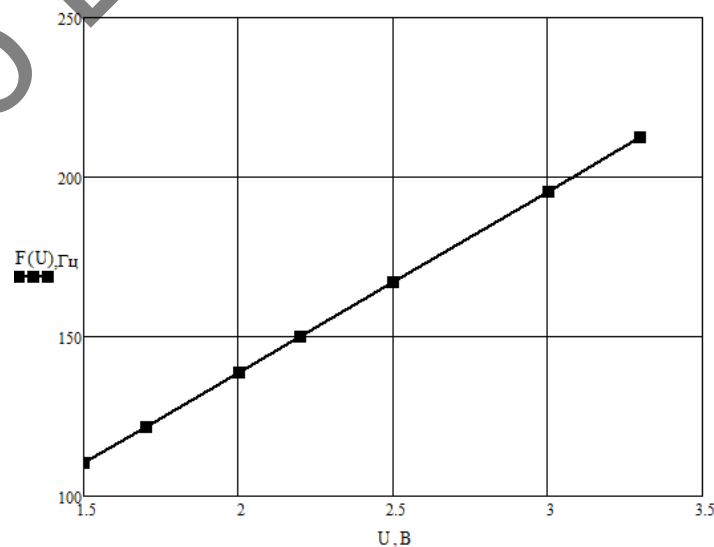


Рисунок 4.1 — Апроксимована залежність частоти від напруги на вібродвигуні

Змінюючи частоту вібратора ВМ1 було отримано залежність середньоквадратичного значення модуля прискорення від частоти вібратора ВМ1, що імітує зовнішній механічний вплив (рис. 4.2).

Частота змінюється в діапазоні від 110 Гц до 150 Гц, резонанс знаходиться на частоті 133 Гц, що відповідає напрузі живлення 1,9 В.

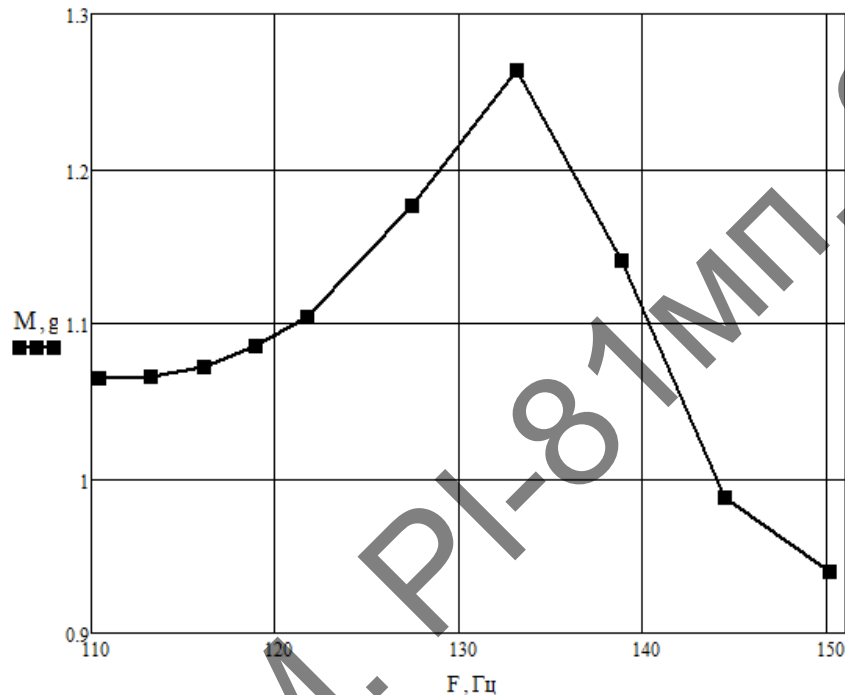


Рисунок 4.2 — Залежність середньоквадратичного значення модуля прискорення від частоти вібратора (ВМ1), що імітує зовнішній механічний вплив

Проаналізувавши отримані дані з третього етапу експерименту (рис. 4.3) можна зробити висновок, що динамічне згашування коливань на частоті резонансу 133 Гц відбулося з 1,26г до 1,16г.

Для розрахунку відсоткової різниці S, зменшення резонансу, використаємо формулу:

$$S = \frac{(M-M_1)}{M} \cdot 100\% = \frac{(1.26-1.16)}{1.26} \cdot 100\% = 7,5\% \quad (4.4)$$

де: M — початкове значення модуля прискорення;

M1 — зменшене значення модуля прискорення;

Отже, резонанс на частоті 133 Гц зменшився на 7,5%.

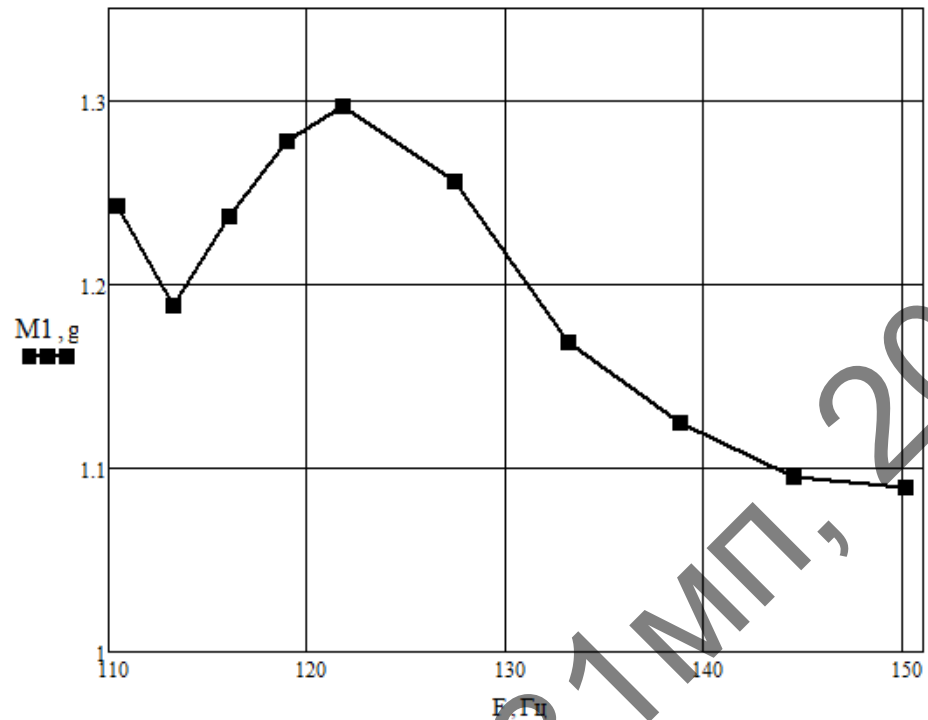


Рисунок 4.3 — Залежність середньоквадратичного значення модуля прискорення від частоти вібратора (BM2)

Експеримент підтвердив можливість динамічного згашування вібраційних коливань, зміною частоти вібрації без контролю фази віброзгашувача. Низький відсоток згашування коливань 7,5% можна пояснити тим, що зміна частоти віброзгашувача відбувалося в ручному режимі.

Для покращення результату, потрібно автоматизувати зміну параметрів коливань віброзгашувача.

4.3 Система автоматичного згашування вібраційних коливань

Система автоматичного згашування вібраційних коливань (рис.4.4) дозволить підвищити якість згашування коливань. Така система складається з мікроконтролера, вібродвигуна (віброзгашувача) та акселерометра.

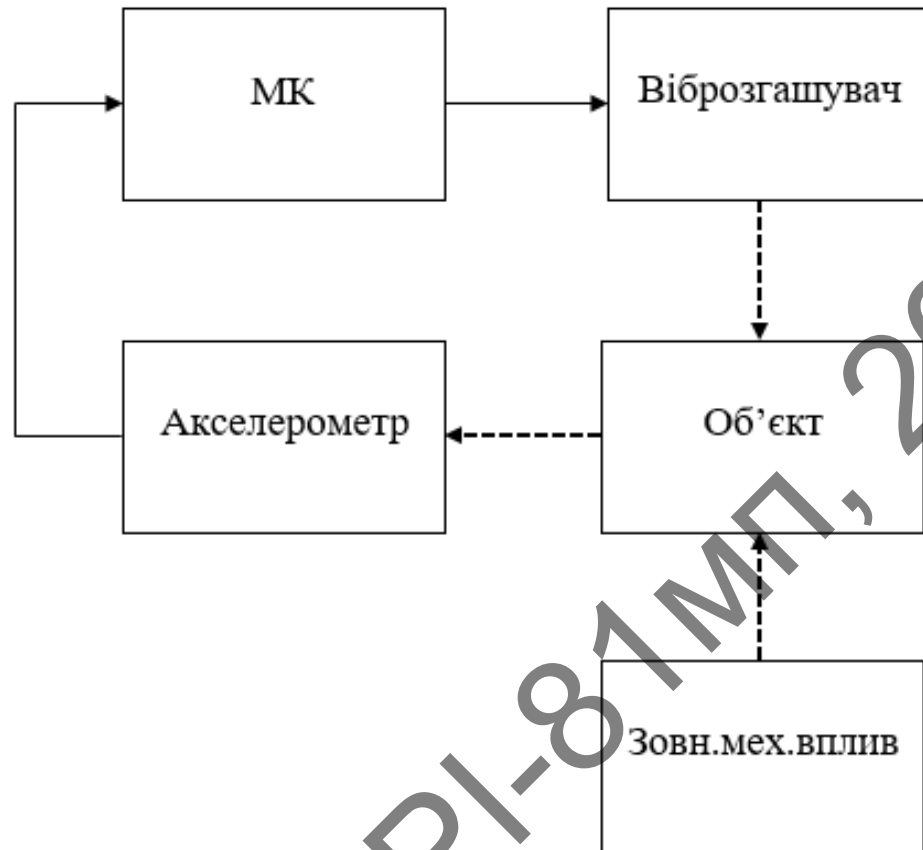


Рисунок 4.4 — Блок-схема роботи системи автоматичного згашування вібраційних коливань

Система працює наступним чином. Акселерометр фіксує зміну амплітуди коливань об'єкта, що піддається зовнішньому механічному впливу і надсилає дані до мікроконтролера. Мікроконтролер аналізує амплітуду коливань об'єкта що вібрує і відповідно до того змінює швидкість обертання ексцентрика вібродвигуна, що в свою чергу призводить до згашування зовнішнього механічного впливу об'єкта, що вібрує.

Система автоматичного згашування вібраційних коливань дозволяє з більшою точністю регулювати частоту вібрації вібродвигуна (вібродгашувача), тому вона більш ефективна ніж система з ручним регулюванням частоти вібрації вібродгашувача, яка використовувалась в експерименті.

Висновки за розділом

Отже, експериментальне дослідження підтвердило можливість динамічного згашування вібраційних коливань, зміною частоти вібрації без контролю фази віброзгашувача. Проте ефективність такої системи низька. Для поліпшення ефективності згашування вібраційних коливань, запропонована система автоматичного згашування вібраційних коливань, яка дозволить з більшою точністю регулювати частоту вібрації віброзгашувача, а автоматизація даної системи дозволить швидше реагувати на зміну резонансної частоти об'єкта що вібриє, тим самим підвищуючи якість та ефективність динамічного віброзгашування.

Міщенко Б.М. РІ-81МН, 2019

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У даному розділі визначенні основні потенційно шкідливі та небезпечні виробничі фактори при виконанні науково-дослідної роботи, що мають місце при проектуванні та виготовленні вібраційного стенду. Основним нормативним документом, що регламентує рівень вібрації, є ДСН 3.3.6-039-99 "Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації" [9].

Оскільки магістерська дисертація передбачає проведення експериментальних досліджень на виготовленому вібраційному стенді, то у цьому розділі запропоновані технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії при виконанні науково-дослідної роботи. А також визначені основні заходи з безпеки у надзвичайних ситуаціях.

5.1 Визначення основних потенційно шкідливих та небезпечних виробничих факторів при виконанні науково-дослідної роботи

При проведенні повного циклу робіт експериментальних досліджень потенційно – небезпечними та шкідливими факторами можуть бути:

- можливість ураження електричним струмом;
- механічні шуми, які пов'язані з роботою вібродвигунів та вентиляційної системи комп'ютера;
- значна напруга зорових органів і пов'язане з цим перевтомлення користувача при роботі за ПК;
- значне навантаження на пальці і кисті рук, що при відсутності профілактики і медичного контролю, може викликати професійні захворювання;
- тривале перебування в одному й тому ж самому положенні сидячи, що викликає застійні явища в організмі людини;
- надмірний вплив вібрацій під час роботи за вібраційним стендом, може викликати вібраційну хворобу.

Оброблення отриманих у ході експерименту результатів проводиться за допомогою персонального комп'ютера (ПК). При роботі за персональним комп'ютером людина піддається впливу іонізуючого, інфрачервоного й ультрафіолетового випромінювань екрана монітора, рівні яких повинні відповідати вимогам ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми. Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» [10].

5.2 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії

5.2.1 Технологічна вібрація

Згідно з ДСН 3.3.6-039-99 "Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації". Вібрація, яка діє на людину, на робочих місцях стаціонарних машин чи передається на робочі місця, які не мають джерел вібрації відносять до технологічної вібрації. Загальну технологічну вібрацію за місцем дії поділяють на такі типи:

- на постійних робочих місцях виробничих приміщень підприємств;
- на робочих місцях складів, їдалень, побутових, чергових та інших виробничих приміщень, де немає джерел вібрації;
- на робочих місцях заводоуправлінь, конструкторських бюро, лабораторій, учбових пунктів, обчислювальних центрів, медпунктів, конторських приміщень, робочих кімнат та інших приміщень для працівників розумової праці.

Гігієнічна оцінка вібрації, яка діє на людину у виробничих умовах,

здійснюються за допомогою таких методів:

- частотного (спектральною) аналізу її параметрів;
- інтегральної оцінки по спектру частот параметрів, що всмоктуються;
- дози вібрації.

За напрямком дії загальну вібрацію характеризують з урахуванням осей ортогональної системи координат (X_3, Y_3, Z_3) як діючу у вертикальному (перпендикулярному опорним поверхням тіла) напрямку — вісь Z_3 , горизонтальному повздовжньому (спина-груди) напрямку — вісь X_3 , та горизонтальному поперечному (плече-плече) напрямку — вісь Y_3 .

За напрямком дії локальну вібрацію характеризують з урахуванням осей ортогональної системи координат (X, Y, Z): як діючу вздовж осі X , що паралельна осі місця захвату джерела вібрації (держака, кермового колеса, важелів керування, які тримають у руках та ін.) як діючу вздовж осі Z (паралельна передпліччю руки працюючого) та осі Y , що перпендикулярна повідношенню до осей X , та Y .

За часовими характеристиками загальні та локальні вібрації поділяють на: – постійні, для яких величина віброприскорення або віброшвидкості змінюється менше ніж у 2 рази (менше 6 дБ) за робочу зміну; – непостійні, для яких величина віброприскорення або віброшвидкості змінюється не менше ніж у 2 рази (6 дБ і більше) за робочу зміну.

При дії постійної локальної та загальної вібрації параметром, що нормується, є середньоквадратичне значення віброшвидкості (V) та віброприскорення (a) або їх логарифмічні рівні у дБ в діапазоні октавних смуг із середньо геометричними частотами: 8,0; 16,0; 31,5; 63,0; 125,0; 250,0; 500,0; 1000,0 Гц - для локальної вібрації; та 1,0; 2,0; 4,0; 8,0; 16,0; 31,5; 63,0 Гц або в діапазоні 1/3 октавних смуг 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,5; 16,0; 20,0; 25,0; 31,5; 40,0; 50,0; 63,0; 80,0 Гц - для загальної вібрації.

Гранично допустимі рівні постійної та непостійної загальної вібрації при тривалості дії протягом 8 годин наведені у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 — Гранично допустимі рівні загальної технологічної вібрації

Середньо геометричні частоти смуг, Гц	Гранично допустимі рівні по осях Xз, Yз, Zз							
	віброприскорення				віброшвидкості			
	м/с ²		дБ		м/с 10 ⁻²		дБ	
	1/3 окт.	1/1 окт.	1/3 окт.	1/1 окт.	1/3 окт.	1/1 окт.	1/3 окт.	1/1 окт.
1,6	0,09		49		0,9		105	
2,0	0,08	0,14	48	53	0,63	1,3	102	108
2,5	0,071		47		0,45		99	
3,15	0,063		46		0,32		96	
4,0	0,056	0,1	45	50	0,22	0,45	93	99
5,0	0,056		45		0,18		91	
6,3	0,056		45		0,14		89	
8,0	0,056	0,1	45	50	0,11	0,22	87	93
10,0	0,071		47		0,11		87	
12,5	0,09		49		0,11		87	
16,0	0,112	0,20	51	56	0,11	0,20	87	92
20,0	0,140		53		0,11		87	
25,0	0,18		55		0,11		87	
31,5	0,224	0,40	57	62	0,11	0,20	87	92
40,0	0,280		59		0,11		87	
50,0	0,355		61		0,11		87	
63,0	0,45	0,80	63	68	0,11	0,20	87	92
80,0	0,56		65		0,11		87	
Коректовані еквіваленти коректовані рівні		0,1		50		0,2		92

Рівні технологічних вібрацій під час проведення наукового дослідження на вібраційному стенді, не перевищують гранично допустимі рівні віброприскорення (табл. 5.1).

5.2.2 Електробезпека

Електроустаткування в приміщенні лабораторії відноситься до I, II та III класу за електрозахистом, I — системний блок живлення; II — вимірювальні

прилади; III — обладнання у вібраційному стенді, згідно до вимог ДСТУ ІЕС 61140:2015 "Захист проти ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання" воно має робочу ізоляцію і підключається до мережі живлення за допомогою трьох контактних вилок, при цьому один з контактів підключений до заземленого виводу розетки. Підключення устаткування виконано відповідно до вимог ПБЕ, ПУЕ та ДНАОП 0.00-1.21-98 [11].

Приміщення лабораторії нежарке, сухе, відноситься до класу приміщень без підвищеної небезпеки поразки персоналу електричним струмом, оскільки відносна вологість повітря не перевищує 75%, температура не більш 35С°, відсутні хімічно агресивні середовища, а також можливість одночасного дотику до металевих частин електрообладнання з одного боку, та до заземлених металоконструкцій будівлі з іншого боку (ОНТП24-86, ПУЕ та ДНАОП 0.00-1.21-98).

Живлення електроприладів всередині приміщення здійснюється від трифазної мережі з глухо-заземленою нейтраллю та зануленням (система заземлення TN-S), напругою 220В та частотою 50 Гц із використанням автоматів струмового захисту. Передбачено захисне відключення напруги живлення мережі при аварійному режимі роботи електроустаткування.

Таблиця 5.2 — ПУЕ-2017

t (сек)	до 0,1	0,2	0,5	0,7	0,9	>1 сек. до 5 сек.
$U_{\text{доп.дот.}}$, В	500	400	200	130	100	65

В таблиці 5.2 приведені граничнодопустимі значення напруги дотику від часу дії при аварійному режимі роботи електрообладнання напругою до 1000 В згідно з вимогами ПУЕ-2017 [12].

Виконаємо розрахунок електромережі в робочому приміщенні на вимикаючу здатність автоматів максимального струмового захисту.

Розрахунок на вимикаючу здатність, включає визначення значення струму К.З. і перевірку його кратності стосовно номінального струму пристроїв максимального струмового захисту.

Вихідні дані для розрахунку:

- а) $U_{\phi} = 220 \text{ В}$ - фазова напруга ;
- б) $r_{\phi} = 2,3 \text{ Ом}$ - активний опір фазного проводу;
- в) $r_{\text{н}} = 2,4 \text{ Ом}$ - активний опір нульового проводу;
- г) $r_{\text{т}}/3 = 0,84 \text{ Ом}$ - розрахунковий опір трансформатора потужністю 250 Вт.
- д) номінальний струм спрацьовування автомата захисту ($I_{\text{ном}}$) = 25А.

Струм однофазного К.З. визначається за формулою:

$$I_{\text{к.з}} = \frac{U_{\phi}}{(r_{\phi} + r_{\text{н}} + \frac{r_{\text{т}}}{3})} = \frac{220}{2,3 + 2,4 + 0,84} = 40 \text{ А} \quad (5.2)$$

Кратність струму однофазного короткого замикання стосовно номінального струму спрацьовування автоматів максимального струмового захисту для їх надійної роботи має задовольняти умові:

$$K_{\text{кр}} = \frac{I_{\text{к.з}}}{I_{\text{ном}}} = \frac{40}{25} = 1,6 > 1,4 \text{ при } (I_{\text{спр}} < 100 \text{ А}) \quad (5.3)$$

З розрахунків видно, що при однофазному К.З. автомат струмового захисту буде надійно спрацьовувати.

При однофазному К.З. нульовий дріт і з'єднані з ним корпуси електроустановки за час спрацьовування максимального струмового захисту знаходяться під напругою ($U_{\text{пр.}}$):

$$U_{\text{пр}} = I_{\text{к.з}} \cdot r_{\text{н}} = 40 \cdot 2,4 = 96 \text{ В} \quad (5.4)$$

Ця напруга менша $U_{\text{доп}} = 500 \text{ В}$ ($t_{\text{ді}} < 0,1 \text{ сек.}$) згідно ПУЕ-2017.

З метою зниження $U_{\text{пр.}}$ як у нормальному, так і в аварійному режимі варто використовувати повторне заземлення нульового дроту.

5.2.3 Виробничий шум

Для умов, що розглядаються в магістерській дисертації і характеру роботи, можна класифікувати як роботу програміста обчислювальної машини у лабораторії для теоретичних робіт та обробки даних, рівні шуму визначені ДСН 3.3.6.037–99 "Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку" [13]. Допустимі рівні звуку і рівні звукового тиску в октавних смугах частот представлені у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 — Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного (непостійного) широкосмугового (тонального) шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах частот із середньо геометричними значеннями (Гц)									Допустимий рівень звуку (ДБА)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Інженер технічної лабораторії	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Джерелами шуму в умовах робочого приміщення, що розглядається в роботі є вентилятори охолодження внутрішніх систем персонального комп'ютера (вентилятори блоку живлення, радіатора процесора та відеокарти) і вібромотори, які використовуються для створення вібрацій, під час проведення досліджень на вібраційному стенді.

Фактичний рівень звукового тиску у науково-дослідній лабораторії:

- рівень звуку, створюваний внутрішніми елементами ПК дорівнює 30 дБ;
- рівень звуку вібромоторів на низьких частотах дорівнює 45 дБ.

Даний рівень звуку, потенційних джерел шуму, значно нижче допустимих норм, таким чином умови праці у робочому приміщенні повністю відповідають існуючим санітарним вимогам.

5.2.4 Організація оптимального режиму праці та відпочинку при використанні ЕОМ

"Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями" встановлює норми щодо забезпечення охорони праці користувачів ПК. Дотримання вимог цих правил може значно знизити наслідки несприятливої дії на працівників шкідливих та небезпечних факторів, які супроводжують роботу з відеодисплейними матеріалами, зокрема можливість зорових, нервово-емоційних переживань, серцево-судинних захворювань.

Для того щоб забезпечити точне та швидке зчитування інформації в зоні найкращого бачення, площина екрана монітора виставлена перпендикулярно нормальній лінії зору. При цьому передбачена можливість переміщення монітора навколо вертикальної осі в межах $\pm 30^\circ$ (справа наліво) та нахилу вперед до 85° і назад до 105° з фіксацією в цьому положенні. Клавіатура розміщена на поверхні столу на відстані 100...300 мм від краю. Кут нахилу клавіатури до столу обрано в межах від 5° до 15° так, що зап'ястя на долонях рук розташовуються горизонтально до площини столу. Таке положення клавіатури зручне для праці обома руками.

Робочі місця з ПК розташовано від стіни з вікнами на відстані не менше 1,5 м, від інших стін — на відстані 1 м, відстань між собою - не менше ніж 1,5 м. Причому так, щоб природне світло падало збоку, переважно зліва. Для захисту від прямих сонячних променів, які створюють прямі та відбиті відблиски з поверхні екранів ПК передбачені сонцезахисні жалюзі.

Штучне освітлення робочого місця, обладнаного ПК, здійснюється системою загального рівномірного освітлення. Як джерело штучного освітлення мають застосовуватись люмінесцентні лампи ЛБ.

Вимоги до освітлення приміщень та робочих місць під час роботи з ПК: освітленість на робочому місці повинна відповідати характеру зорової роботи, який визначається трьома параметрами: об'єктом розрізнення – найменшим розміром об'єкта, що розглядається на моніторі ПК; фоном, який характеризується коефіцієнтом відбиття; контрастом об'єкта і фону;

- необхідно забезпечити достатньо рівномірне розподілення яскравості на робочій поверхні монітора, а також в межах навколишнього простору;
- на робочій поверхні повинні бути відсутні різкі тіні;
- в полі зору не повинно бути відблисків (підвищеної яскравості поверхонь, які світяться та викликають осліплення);
- величина освітленості повинна бути постійною під час роботи;

Тривалість регламентованих перерв під час роботи з ПК становить 15 хвилин через кожні дві години роботи.

Для зниження нервово-емоційного напруження, втомленості зорового аналізатора, для поліпшення мозкового кровообігу і запобігання втомі доцільно деякі перерви використовувати для виконання комплексу вправ, які передбачені ДСанПіН 3.3.2.007-98.

5.2.5 Виробниче освітлення

Приміщення в якому працюють з ЕОМ мають бути оснащені природним і штучним освітленням відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [14]. Природне освітлення має здійснюватись через світлові прорізи, які орієнтовані переважно на північ чи північний схід і обладнані регульовальними пристроями відкривання та жалюзями, завісками, зовнішніми козирками.

Робота користувачів комп'ютерів характеризується значним напруженням зорового аналізатора, тому виключно важливе значення має забезпечення раціонального освітлення робочих місць. Зоровий дискомфорт може бути викликаний:

- неправильною орієнтацією робочого місця відносно світлових отворів (вікон);
- неадекватними світловими характеристиками світильників (та/або) неправильним їх просторовим розташуванням відносно робочих місць;
- засліплюючою дією яскравих предметів, що знаходяться в полі зору користувача (пряма блискість);
- дзеркальним відбиттям на екрані предметів з високою яскравістю, що знаходяться за спиною користувача (відбита блискість);
- неправильним розподілом яскравості в полі зору користувача;
- засвіченням екрана прямим чи розсіяним світлом світильників або небосхилу через світлові отвори.

У забезпеченні максимально комфортних умов зорової роботи вагома роль належить оптимізації кількісних та якісних показників освітлення.

Нормований рівень освітленості на робочому столі в зоні розташування документа становить 300—500 лк.

Розташовувати робочі місця з відеотерміналами необхідно таким чином, щоб в поле зору користувача не потрапляли вікна або випромінюючі світло поверхні світильників.

Для обмеження прямої блискості від джерел природного (вікна) та штучного (світильники) освітлення необхідно, щоб яскравість їх поверхонь, що перебувають у полі зору користувача ВДТ не перевищувала 200 кд/м², яскравість же відблисків на екрані ВДТ не повинна перевищувати 40 кд/м².

При дослідженні штучного освітлення треба аналогічно природному освітленні порівняти фактичне значення з нормованим. Нормоване значення освітлення для адміністративно-управлінських приміщень при загальній освітленості по ДБН В.2.5-28-2018 при використанні люмінесцентних ламп $E_n = 400$ люкс.

Значення фактичного освітлення E_ϕ може розраховуватися за допомогою методу коефіцієнта використання світлового потоку по формулі:

$$E_\phi = \frac{F_L \cdot \eta_B \cdot N \cdot n}{S \cdot K_3 \cdot Z} = \frac{3120 \cdot 0,5 \cdot 6 \cdot 3}{45 \cdot 1,5 \cdot 1,1} = 378 (\text{люкс}) \quad (5.5)$$

де: F_L - світловий потік лампи, лм (для люмінесцентних ламп потужністю 40 Вт – $F_L = 3120$ лм);

η_B - коефіцієнт використання світлового потоку ($\eta_B = 0,4..0,6 = 0,5$);

$N = 6$ – кількість світильників, шт;

$n = 3$ – кількість ламп у світильнику, шт;

$S = 45 \text{ м}^2$ – площа приміщення, м^2 ;

K_3 – коефіцієнт запасу, $K_3 = 1,5..2$; $K_3 = 1,5$

$Z = 1,1$ – коефіцієнт нерівномірності освітлення.

Допустиме відхилення фактичного освітлення від нормативного є $+20\%..-10\%$.

Отже, усі вимоги до освітлення робочого місця відповідають параметрам освітлення приміщення, де проводиться дослідження.

5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях

Безпека у надзвичайних ситуаціях (БНС) регламентується планами локалізації та ліквідації наслідків аварійних ситуацій (ПЛАС). Основними складовими ПЛАС є розробка технічних рішень та організаційних заходів, щодо оповіщення, евакуації та дії персоналу при надзвичайних ситуаціях, а також визначення основних заходів з пожежної безпеки.

5.3.1 Обов'язки та дії персоналу при надзвичайних ситуаціях

У разі виявлення ознак НС працівник, який їх помітив, повинен:

— негайно повідомити про це засобами зв'язку органи ДСНС, вказати при цьому адресу кількість поверхів, місце виникнення НС, наявність людей, а також своє прізвище;

— повідомити про НС керівника, адміністрацію, пожежну охорону підприємства;

— організувати оповіщення людей про НС;

— вжити заходів щодо евакуації людей та матеріальних цінностей;

— вжити заходів щодо ліквідації наслідків НС з використанням наявних засобів.

Керівник та пожежна охорона установи, яким повідомлено про виникнення пожежі, повинні :

— перевірити, чи викликано підрозділи ДСНС;

— вимкнути у разі необхідності струмоприймачі та вентиляцію;

— у разі загрози життю людей негайно організувати їх евакуацію та їх рятування, вивести за межі небезпечної зони всіх працівників, які не беруть участь у ліквідації НС;

— перевірити здійснення оповіщення людей про НС;

— забезпечити дотримання техніки безпеки працівниками, які беруть участь у ліквідації НС;

— організувати зустріч підрозділів ДСНС, надати їм допомогу у локалізації та ліквідації пожежі.

Після прибуття підрозділів ДСНС та Державної пожежної охорони повинен бути забезпечений безперешкодний доступ їх до місця, де виникла пожежа.

5.3.2 Вимоги щодо організації ефективної роботи системи сповіщення персоналу у разі виникнення НС

Розміри зон оповіщування, черговість оповіщування та час початку оповіщування людей в окремих зонах визначаються, виходячи з умов забезпечення безпечної та своєчасної евакуації людей у разі виникнення НС.

Оповіщування про НС та управління евакуацією людей здійснюється одним з наступних способів або їх комбінацією:

- поданням звукових і (або) світлових сигналів в усі виробничі приміщення будівлі з постійним або тимчасовим перебуванням людей;
- трансляцією текстів про необхідність евакуації, шляхи евакуації, напрямки руху й інші дії, спрямовані на забезпечення безпеки людей;
- трансляцією спеціально розроблених текстів, спрямованих на запобігання паніці й іншим явищам, що ускладнюють евакуацію;
- розміщенням знаків безпеки на шляхах евакуації згідно з ДСТУ ISO 6309 [15];
- ввімкненням евакуаційних знаків "Вихід";
- ввімкненням евакуаційного освітлення та світлових покажчиків напрямку евакуації.

Кількість оповіщувачів, їх розміщення та потужність повинні забезпечувати необхідну чутність у всіх місцях постійного чи тимчасового перебування людей.

У місцях, де є небезпека механічного ушкодження оповіщувачів, повинен бути забезпечений їх захист, що не порушує працездатності оповіщувачів. Встановлення звукових та мовних оповіщувачів у виробничих приміщеннях повинно виключати можливість концентрації та нерівномірного розподілу звуку.

Оповіщувачі повинні підключатися до мережі без роз'ємних пристроїв і не мати регуляторів гучності. Сигнали оповіщення про пожежу повинні відрізнятися від сигналів іншого призначення. Комунікації системи

оповіщення людей про пожежу можуть проектуватися суміщеними з радіотрансляційної мережею будівлі.

Електропостачання, заземлення, занулення, вибір та прокладання мереж оповіщення приймаються згідно з вимогами до систем пожежної сигналізації за ДБН В.2.5-56-2014 [16].

5.3.3 Пожежна безпека

Відповідно до ДСТУ Б.В.1.1-36:2016 "Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою" робоче приміщення науково-дослідної лабораторії містить тверді горючі та важкогорючі речовини і матеріали, і належить до категорії В приміщень з вибухопожежною та пожежною небезпекою (тверді горючі і важкогорючі речовини та матеріали, речовини і матеріали, які при взаємодії з водою, киснем, повітря або один з одним здатні тільки горіти) [17].

Згідно ДНАОП 0.00-1.32-01. "Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок" клас робочого приміщення відповідає класу П-Па робочих зон з вибухо- та пожежонебезпеки, тобто простір приміщення містить тверді горючі речовини або матеріали, що нездатні переходити у зважений стан [18].

Джерелами загоряння можуть бути електричні іскри, коротке замикання, перевантаження електропроводки, несправність апаратури, паління в приміщенні. Тому для запобігання пожежі в приміщенні проводяться пожежно-профілактичні заходи: застосування запобіжників в електричних мережах, використання пилонепроникних сполучних і розподільних коробок, використовується лише електрообладнання закритого типу, внутрішній простір якого відділений від зовнішнього середовища оболонкою, а також проводиться інструктаж з техніки пожежної безпеки.

Відповідно до ДСТУ 3675-98 та ISO 3941-2007 "Первинні засоби пожежегасіння" у науково-дослідницькій лабораторії (клас пожежонебезпеки

"Е") знаходяться два вогнегасника: вуглекислотний типу "ОУ-5" і порошковий "ОП-2" [19].

"ОУ-5" розташований на висоті 1,5 м від підлоги поруч із вихідними дверима.

Предбачаються наступні заходи з метою забезпечення пожежної безпеки:

- постійний контроль стану засобів пожежогасіння;
- застосування автоматичних установок пожежної сигналізації;
- організація за допомогою технічних засобів, включаючи автоматичні, своєчасного оповіщення та евакуації людей;
- контроль за станом ізоляції струмоведучих дротів;
- заборонено паління в приміщенні;
- неприпустимість знаходження у приміщенні горючих і вибухонебезпечних речовин;
- допуск до роботи осіб, які в установленому порядку пройшли навчання, інструктаж і перевірку знань з пожежної безпеки.

У приміщенні виконані всі вимоги НАПБ А.01.001–2004 "Правил пожежної безпеки України" [20].

Висновки за розділом

Таким чином, у науково–дослідницькій лабораторії забезпечуються технічні та організаційні заходи з пожежної безпеки та безпеки у надзвичайних ситуаціях. Усі вимоги до освітлення робочого місця відповідають параметрам освітлення приміщення, де проводиться дослідження. Рівень звуку, потенційних джерел шуму, значно нижче допустимих норм, таким чином умови праці у робочому приміщенні повністю відповідають існуючим санітарним вимогам. Рівні технологічних вібрацій під час проведення наукового дослідження на вібраційному стенді, не перевищують гранично допустимі рівні. Організований оптимальний режим праці та відпочинку при використанні ЕОМ.

6 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Даний розділ має на меті проведення маркетингового аналізу стартап-проекту задля визначення принципової можливості його ринкового впровадження та можливих напрямів реалізації цього впровадження.

6.1 Опис ідеї проекту

В межах цього підрозділу аналізується зміст ідеї, можливі напрямки застосування, основі вигоди які може отримати користувач товару та відмінності від існуючих аналогів та заміників (табл.6.1).

Таблиця 6.1 — Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка системи компенсації вібрації в технологічному обладнанні	Бізнес (верстати для виготовлення продукції)	Система компенсації вібрацій дозволяє зменшити рівень резонансних вібрацій в технологічному обладнанні, що дозволяє збільшити термін дії технологічного обладнання, та захистити користувача від наслідків впливу вібрацій
	Державні та приватні підприємства, заводи по виготовленню продукції	

Перевагою системи компенсації вібрацій є:

- робота в широкому діапазоні частот;
- простота кріплення на корпус технологічного обладнання;
- динамічне відслідковування резонансних частот та їх подавлення.

В якості конкурента даній ідеї компенсації рівня вібрацій можна розглянути (табл. 6.2):

- віброізолюючі опори OB-31МП від компанії GB TRADE;
- антивібраційні кріплення Vibrofix Techno від компанії Vibrofix;

Таблиця 6.2 — Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	Методи конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Віброопори OB-31МП	Антивібраційні кріплення Vibrofix Techno			
1	Технологічність	✓	✓	✓			✓
2	Екологічність	✓					✓
3	Висока продуктивність	✓					✓
4	Ергономічність	✓		✓			✓
5	Економічність			✓	✓		
6	Надійність	✓	✓			✓	

Розроблювана система оснащена вібромотором, який створюватиме компенсаційні вібрації, давачем вібрацій, який фіксуватиме рівень вібрації в технологічному обладнанні та мікроконтролером, який оброблюватиме інформацію, що надходить від давача, а потім змінюватиме частоту, з якою вібрує вібромотор створюючи тим самим компенсацію резонансних частот.

6.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проводиться аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту.

Для забезпечення компенсації вібрацій необхідна технологія яка забезпечить компенсацію вібрацій технологічного обладнання. При виборі технології потрібно обрати між технологією динамічного віброгашування та віброізоляцією (табл.6.3).

Таблиця 6.3 — Технологічна здійсненність проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технології	Доступність технології
1	Система компенсації вібрацій	Динамічне віброгашування	Так	Так
2		Віброізоляція	Так	Ні
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: динамічне віброгашування				

Провівши аудит технологій, які допоможуть зменшити рівень вібрацій в технологічному обладнанні, було обрано технологію динамічного віброгашування, що дозволить зменшити рівень вібрацій об'єкта шляхом введення в систему додаткового віброгашувача. Віброгашувач жорстко кріпиться на корпус вібруючого об'єкта, в кожний момент часу збуджуючи коливання, котрі знаходяться в протифазі з коливаннями об'єкта, тим самим зменшуючи резонанс на резонансній частоті. Віброізоляція в основі, якої віброізоляційний матеріал, який встановлюється між двома об'єктами. Загашування вібрацій відбувається у обмеженому діапазоні частот, діапазон частот залежить від жорсткості віброізолятора, дана технологія менш ефективна на резонансній частоті, ніж динамічне віброгашування.

6.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Проведемо аналіз ринкового середовища: складемо таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл.6.4, 6.5).

Таблиця 6.4 — Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Новий функціонал пристрою конкурентів	Впровадження нового функціоналу чи технології у систему компенсації вібрацій, аналогічного до розроблюваного у цьому проекті	Вихід з ринку

Таблиця 6.5 — Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Новий функціонал у проекті що розробляється	Додавання нових технологій та можливостей у проект, що розроблюється	Розроблення цього функціоналу

Проведемо аналіз пропозиції: визначимо загальні риси конкуренції на ринку (табл.6.6).

Таблиця 6.6 — Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
Тип конкуренції – монополістична	Одне підприємство майже зайняло усю нішу	Значний
За рівнем конкурентної боротьби – національне	Дане підприємство відомо по усьому світу	Значний
За галузевою ознакою – внутрішньогалузева	Конкуренція виконується в	Значний

	рамках однієї галузі	
Конкуренція за видами товарів – невідомо		
За характером конкурентних переваг – цінова	Товар даного підприємства має дуже високу вартість	Значний
За інтенсивністю – невідомо		

Проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції у галузі (табл.6.7).

Таблиця — 6.7 Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Віброізолюючі опори GB TRADE OB-31MP. Антивібраційні кріплення Vibrofix Techno	Розробники пристроїв для бездротової передачі даних	Невідомо	Невідомо	Невідомо
Висновки	Маючи монопольне положення на ринку розробник цього пристрою не буде приділяти уваги розробці конкретно цього пристрою	Є можливість виходу на ринок	Невідомо	Невідомо	Невідомо

За результатами аналізу можна зробити висновок, що працювати на даному ринку можна, незважаючи на конкурентну ситуацію. Для поширення продукту він повинен володіти рядом факторів, які відрізняють його від існуючого конкурента.

Перелічимо фактори конкурентоспроможності (табл.6.8).

Таблиця 6.8 — Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Ефективність	Дана розробка найбільш ефективна для подавлення вібрацій на резонансних частотах.
2	Універсальність	Можливість гасити вібрацію на заданій частоті, у широкому діапазоні частот.
3	Швидкодія	Пристрій нічим не поступається в плані швидкодії у конкурентів

Проведемо аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл.6.9).

Таблиця 6.9 — Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів – конкурентів у порівнянні з проектом, що розробляється						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Ефективність	20							✓
2	Універсальність	17						✓	
3	Швидкодія	15				✓			

Проведемо SWOT-аналіз стартап-проекту (табл.6.10).

Таблиця 6.10 — SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: ефективність; універсальність; швидкодія;	Слабкі сторони: невідома компанія; Відсутність стартового капіталу;
Можливості: розширення функціоналу завдяки новим технологіям;	Загрози: Продукти-замінники;

З огляду на SWOT-аналіз можна прийти до висновку, що нема потреби розробляти альтернативи ринкового впровадження цього проекту.

6.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку, а саме опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 6.11).

Таблиця 6.11 — Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота виходу у сегмент
1	Компанії по виробництву технологічного обладнання	Готові	Високий	У сегменті не значна конкуренція	Легко

2	Підприємства які готові модернізувати і удосконалювати своє технологічне обладнання	Готові	Високий	У сегменті не значна конкуренція	Легко
Цільові групи обрано: компанії по виробництву технологічного обладнання, підприємства які використовують технологічне обладнання					

Для роботи в обраних сегментах ринку сформуємо базову стратегію розвитку (табл. 6.12).

Таблиця 6.12 — Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції	Базова стратегія ринку
1	Диференційований маркетинг	Ефективність, універсальність, швидкодія	Стратегія спеціалізації

Виберемо конкурентну поведінку (табл.6.13).

Таблиця 6.13 — Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопроходець» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Так	Так	Ні	Заняття конкурентної ніші

Розробимо стратегію позиціонування, що полягає формуванні ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект (табл.6.14).

Таблиця 6.14 — Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
1	Універсальність	Підтримування технологічності пристрою, та розширення частотного діапазону	Ефективність розробки. Найбільш ефективний для подавлення вібрацій на резонансних частот	Немає

6.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Сформуємо маркетингову концепцію товару, який отримає споживач (табл. 6.15), та опишемо три рівні моделі товару (табл. 6.16).

Таблиця 6.15 — Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1	Подавлення вібрацій на резонансних частотах.	Зменшення вібрацій за рахунок динамічного віброгашування.	Універсальність; швидкодія; ефективність;

Таблиця — 6.16 Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
1. Товар за задумом	Динамічне гасіння вібрацій.
2. Товар у реальному виконанні	Ефективність
	Універсальність
	Швидкодія
	Якість: висока
	Пакування: коробка
3. Товар із підкріпленням	Марка: vibro
	До продажу: невідомо
	Після продажу: невідомо

Товар буде захищатися від копіювання маркою бренду.

Визначимо цінові межі, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на товар (табл.6.17).

Таблиця 6.17 — Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар
1	до 20 тис. ум. од.	До 15 тис ум. од.	Високий	5000 – 20000 ум. од.

Визначимо оптимальну систему збуту (табл.6.18).

Таблиця 6.18 — Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник до товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Невідома	Інтернет-магазин	Невідома	Інтернет-магазин

Розробимо концепцію маркетингових комунікацій (табл.6.19).

Таблиця 6.19 Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Невідома	Інтернет, магазини електроніки	Можливість проекту	Донести про можливість проекту	Донесення про можливість і та сильні сторони проекту

Висновки за розділом

За результатами проведеного аналізу можна зробити висновок, що є можливість ринкової комерціалізації проекту оскільки на ринку є попит на таку продукцію.

ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз методів зменшення рівня вібрацій, серед розглянутих методів був обраний метод динамічного згашування вібраційних коливань.
2. Проведене моделювання гармонічних вібраційних коливань і встановлено, що зміна частоти сили компенсації може призвести до динамічного гасіння коливань без контролю фазового зсуву.
3. Спроектований та побудований вібраційний стенд для проведення наукового дослідження.
4. Створено та реалізовано два програмних забезпечення, для проведення вимірювання динамічного згашування коливань без контролю фазового зсуву.
5. Проведене експериментальне дослідження динамічного згашування коливань без контролю фазового зсуву. Експеримент довів можливість динамічного згашування коливань без контролю фазового зсуву. Згасити вібраційні коливання вдалося на 7,5%.
6. Отримані результати свідчать про те, що динамічно згашувати вібраційні коливання без контролю фазового зсуву можливо, і доцільно використовувати, коли не можливо контролювати фазу коливань віброзгашувача. Проте, якщо потрібно підвищити ефективність даного методу, потрібно використовувати систему автоматичного згашування коливань.
7. Створений стартап-проект, який дозволить комерціалізувати і реалізувати даний метод на ринку сучасних систем вібраційного захисту.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Параметри та види вібрації [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://pidruchniki.com/1181092038290/bzhd/vibratsiya> — Назва з екрану.
2. Я. О. Серіков основи охорони праці [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://blanki-ua.com.ua/dogovor/3597/index.html?page=14> — Назва з екрану.
3. Захист від вібрацій [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://buklib.net/books/29894/> — Назва з екрану.
4. Методи зниження вібрації на виробництві [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://studme.com.ua/10310208/bzhd/metody_snizheniya_vibratsii_proizvodstve.htm — Назва з екрану.
5. Заходи й засоби захисту працюючих від дії вібрації [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://helpiks.org/6-63472.html> — Назва з екрану.
6. Загальні методи зниження вібрацій [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://studopedia.com.ua/1_395121_zagalni-metodi-znizhennya-vibratsiy.html — Назва з екрану.
7. Datasheet GY-61 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://arduino.ru/lib/4a11b1f0a0f94516992658cc53c53e23.pdf> — Назва з екрану.
8. Как подключить акселерометр к Arduino [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.kakprosto.ru/kak-918549-kak-podklyuchit-akselerometr-k-arduino> — Назва з екрану.
9. ДСН 3.3.6-039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації (ДСН 3.3.6-039-99). — Дата введення 1999-12-1. — К.: Держспоживстандарт України, 1999. — 39 с.

10. ДСанПіН 3.3.2.007-98. Державні санітарні правила і норми. Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин (ДСанПіН 3.3.2.007-98). — Дата введення 1998-12-10. — К.: Держспоживстандарт України, 1998. — 30 с.
11. ДНАОП 0.00-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (ДНАОП 0.00-1.21-98). — Дата введення 1998-02-20. — К.: Держспоживстандарт України, 1998. — 18 с.
12. ПУЕ–2017. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (ПУЕ–2017). — Дата введення 2017-07-21. — К.: Держспоживстандарт України, 2017. — 613 с.
13. ДСН 3.3.6.037–99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку (ДСН 3.3.6.037–99). — Дата введення 1999-12-1. — К.: Держспоживстандарт України, 1999. — 34 с.
14. ДБН В.2.5-28-2018. Природне і штучне освітлення (ДБН В.2.5-28-2018). — Дата введення 2019-03-01. — К.: Держспоживстандарт України, 2018. — 137 с.
15. ДСТУ ISO 6309. Протипожежний захист (ДСТУ ISO 6309). — Дата введення 2007-10-01. — К.: Держспоживстандарт України, 2008. — 9 с.
16. ДБН В.2.5-56-2014. Система протипожежного захисту (ДБН В.2.5-56-2014). — Дата введення 2015-07-01. — К.: Держспоживстандарт України, 2015. — 134 с.
17. ДСТУ Б.В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою (ДСТУ Б.В.1.1-36:2016). — Дата введення 2017-01-01. — К.: Держспоживстандарт України, 2015. — 34 с.
18. ДНАОП 0.00–1.32–01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок (ДНАОП 0.00–1.32–01). —

Дата введення 2001-06-21. — К.: Держспоживстандарт України, 2001. — 80 с.

19. ISO 3941–2007. Международный стандарт. Первинні засоби пожежегасіння.

20. НАПБ А.01.001–2004. Правил пожежної безпеки України (НАПБ А.01.001–2004). — Дата введення 2014-12-30. — К.: Держспоживстандарт України, 2004. — 86 с.

Міщенко Б.М. РІ-81МП, 2019

ДОДАТОК А**ПОГОДЖЕНО**

Керівник магістерської дисертації:

ст.викл. Навроцький Д.О.

Підпис _____ Дата _____

ЗАТВЕРДЖЕНОЗавідувач кафедри
радіоконструювання та виробництва
радіоапаратури:

д.т.н., професор Нелін Є.А.

Підпис _____ Дата _____

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИСЕРТАЦІЮ**

з теми: «Система компенсації вібрацій технологічного обладнання»

Міщенко Б.М. Р181МП, 2019

1 ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ

Підставою для виконання є завдання на магістерську дисертацію (МД).

2 ВИКОНАВЦІ

Керівник – ст. викл. Навроцький Денис Олександрович.

Виконавець – студент групи РІ-81мп Міщенко Богдан Миколайович.

3 МЕТА ВИКОНАННЯ МД І ПРИЗНАЧЕННЯ

Метою МД є вдосконалення методів проектування системи динамічного згашування коливань.

4 ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Апаратне забезпечення динамічного згашування коливань.

5 ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Методи побудови системи динамічного згашування коливань.

6 ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ МД

1. Блехман И.И. Вибрационная механика. М., – 1994. – 400 с.
2. Болотин В.В. Вибрации в технике. М., – 2015. – Т. 1. – 727 с.
3. Челомей В.Н. Вибрации в технике. М., – 2014. – Т. 3. – 205 с.
4. Шаффер М. Защита от шума и вибраций в системах ОВК. М.: АВОК-ПРЕСС, 2009. – 220 с.
5. Колесников К.С. Вибрации в технике. // Ред. Ф.М. Диментберг, К.С. Колесников. – М.: Машиностроение, 1980. – 544 с.

7 ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ МД

Оформлення документації оформлюється згідно ДСТУ 3008-2015.

1. Розробити вібраційний стенд для проведення дослідів та вимірювань.

2. Написати програмне забезпечення низького рівня для отримання сигналів з давачів під'єднаних до мікроконтролера та надсилання їх до ПК.
3. Написати програмне забезпечення високого рівня для створення бази даних.
4. За допомогою розробленої системи дослідити компенсацію вібрацій у технологічному обладнанні.

ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ

- Графік, що ілюструє отримані результати, і які допоможуть оцінити компенсацію вібрацій на технологічне обладнання.
- Програмне забезпечення низького рівня, яке буде керувати мікроконтролером та надсилати дані до комп'ютера.
- Програмне забезпечення високого рівня, яке буде створювати базу даних.
- За допомогою вібраційного стенду дослідити систему компенсації вібрацій в технологічному обладнанні.
- Результати дослідження компенсації вібрацій в технологічному обладнанні.

9 ОРІЄНТОВАНИЙ ЗМІСТ МД:

Завдання на магістерську дисертацію

Анотація (двома мовами)

Зміст

Вступ

1 Аналіз методів зменшення рівня вібрацій

1.1 Огляд технологічних проблем пов'язаних з вібрацією

1.2 Аналіз методів компенсації вібрацій в технологічному обладнанні

1.3 Порівняльний аналіз методів компенсації вібрацій в технологічному обладнанні

2 Моделювання динамічного згашування гармонічних коливань

3 Обладнання та програмне забезпечення для дослідження динамічного згашування вібраційних коливань

3.1 Структурно-логічна схема

3.2 Елементи експериментального стенда

3.3 Розробка конструкції вібраційного стенда

3.4 Розробка програмного забезпечення для мікроконтролера

3.5 Розробка програмного забезпечення для створення бази даних

4 Дослідження динамічного згашування вібраційних коливань

4.1 Методика проведення дослідження вібрацій

4.2 Аналіз отриманих результатів

4.4 Методика проведення дослідження вібрацій

5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

6 Розробка стартап-проекту

Висновки

Перелік джерел посилань

Додатки

10 МАТЕРІАЛИ, ЯКІ ПРЕДСТАВЛЯЮТЬСЯ ПО ЗАКІНЧЕННЮ МД

- Завдання.
- Технічне завдання.
- Пояснювальна записка.

11 ЕТАПИ МД І ТЕРМІНИ ЇХ ВИКОНАННЯ

Робота виконується в 6 етапів, що представлено в табл.1.

Таблиця 1 — Етапи розробки МД

№	Назва етапу	Термін виконання	Форма звітності
1	Аналіз методів зменшення рівня вібрацій		Розділ 1
2	Моделювання динамічного згашування гармонічних коливань		Розділ 2
3	Обладнання та програмне забезпечення для дослідження динамічного згашування вібраційних коливань		Розділ 3
4	Дослідження динамічного згашування вібраційних коливань		Розділ 4
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях		Розділ 5
6	Розробка стартап-проекту		Розділ 6
7	Оформлення ПЗ та представлення результатів		Захист

12 ПОРЯДОК РОЗГЛЯДУ ТА ПРИЙМАННЯ МД

Визначають порядок приймання МД:

- Представлення поточних результатів науковому керівнику.
- Представлення завершеної МД кафедрі.
- Попередній захист МД.
- Захист МД на засіданні ЕК.

Виконавець: _____

(підпис)

(розшифровка підпису)

Науковий керівник: _____

(підпис)

(розшифровка підпису)

Міщенко Б.М. РІ-81МП, 2019

ДОДАТОК Б**Тези з міжнародної науково-технічної конференції РТПСАС-2019****ДИНАМІЧНЕ ГАСІННЯ КОЛИВАНЬ БЕЗ КОНТРОЛЮ ФАЗИ****ВІБРОЗГАСИВАЧА***Мищенко Б.М., Новосад А.А.**Національний технічний університет України**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,**м. Київ*

Вплив вібрацій характерний для бортової радіоелектронної апаратури. Знакозмінні напруження, викликані вібрацією сприяють накопиченню дефектів у матеріалах, появі тріщин та руйнуванню. Найчастіше і досить швидко руйнування об'єкта настає при вібраційних впливах за умов резонансу. У випадках коли неможливо захиститися від вібрацій частотним відстроюванням, демпфуванням та віброізоляторами, єдиним способом лишається динамічне гасіння коливань, яке полягає у зменшенні рівня вібрацій об'єкта шляхом введення в систему додаткового віброзгасувача [1].

Віброзгасувач жорстко кріпиться на корпусі вібруючого об'єкта, тому у ньому в кожний момент часу збуджуються коливання, котрі знаходяться в протифазі з коливаннями об'єкта [2]. В реальних системах динамічного гасіння, регулювання частоти коливань з точністю до фазового зсуву є складною задачею. Особливо, якщо частота динамічного впливу змінюється. Тому, пропонується створення системи динамічного гасіння коливань в якій контролюються параметри коливання радіоелектронного вузла. Віброзгасувач, керується зміною частоти, без контролю фази. Для експериментальної перевірки можливості створення такої системи, було проведене дане дослідження.

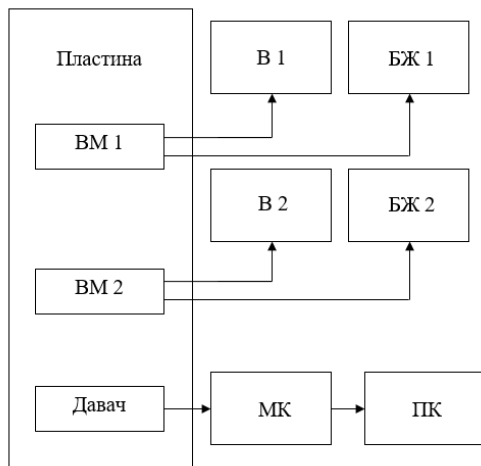


Рисунок 1. Структурна схема вібраційного стенда

Експериментальний вібраційний стенд (рис.1) містить пластину прямокутної форми виготовлену з фольгованого склотекстоліту, розміри пластини 200x100x2 мм. Посередині пластини розміщено вібромотор (ВМ1), який збуджує вібраційні коливання пластини на резонансній частоті 133 Гц при напрузі живлення 1,9 В блока живлення (БЖ1), для контролю напруги

живлення вібромотора (ВМ1) використовується вольтметр Mastech M890G (В1). На зворотному боці пластини, посередині розміщено вібромотор (ВМ2), який живиться від блока живлення (БЖ2), для контролю напруги живлення вібромотора (ВМ 2) використовується вольтметр UNI-T UT70A (В2). Вібромотор (ВМ2) гасить вібраційні коливання пластини за принципом динамічного гасіння коливань. Для вимірювання коливань пластини використовується давач вібрацій (акселерометр) GY-61, який вимірює модуль прискорення коливань пластини по трьом осям x,y,z. Мікроконтролер ATMEL ATMEGA 328P (МК) приймає данні від давача та відправляє їх на персональний комп'ютер (ПК) де вони записуються у файл, потім завдяки програмному забезпеченню Mathcad 15 розраховується середнє квадратичне значення модуля прискорення, та будуються відповідні графіки.

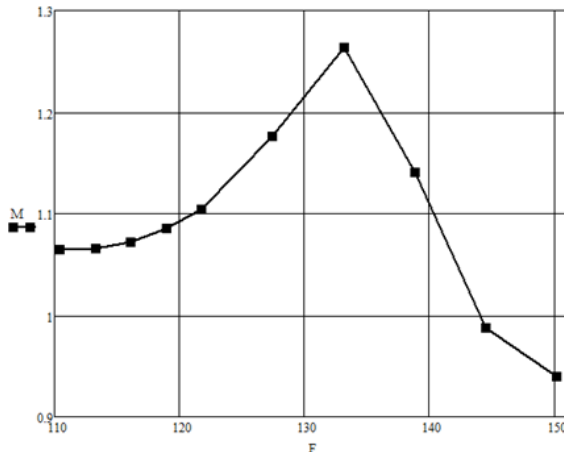


Рисунок 2. Залежність модуля прискорення від частоти вібратора (BM1)

напруги лінійно і змінюється в діапазоні від 110 Гц до 150 Гц, резонанс знаходиться на частоті 133 Гц при напрузі живлення 1,9 В.

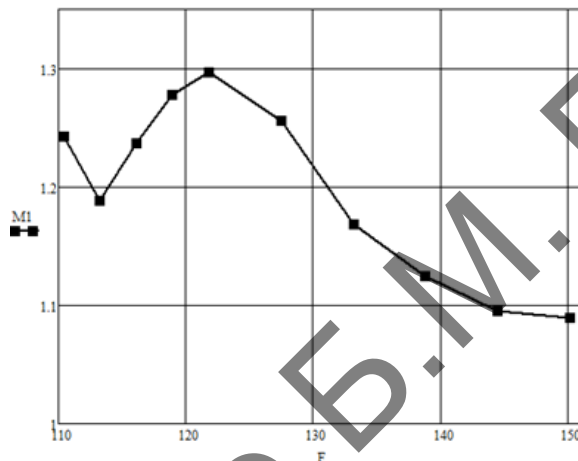


Рисунок 3. Залежність модуля прискорення від частоти вібратора (BM2)

(BM2) в діапазоні від 1,5 В до 2,2 В, що відповідає зміні частоти вібрації від 110 Гц до 150 Гц, знято залежність модуля прискорення від частоти (рис. 3).

З отриманих результатів можна зробити висновок, що динамічне гасіння коливань на частоті резонансу 133 Гц відбулося на 7,5 %. Експеримент підтвердив можливість динамічного гасіння вібрацій, зміною частоти без контролю фази згашувача. Низький відсоток згашування коливань 7,5 % можна пояснити тим, що регулювання фази

На першому етапі експеримента потрібно встановити залежність частоти вібрації пластини від напруги на вібраторі (BM1). Для цього змінюємо напругу живлення на вібраторі (BM1) в діапазоні від 1,5 В до 2,2 В. Проаналізувавши отримані дані можна зробити висновок, що частота залежить від

На другому етапі експеримента було встановлено напругу 1,9 В на вібратор (B1) за допомогою БЖ1, для симуляції зовнішнього механічного впливу на частоті резонансу 133 Гц. Вібратор (BM2) було використано в якості динамічного віброзгашувача. Змінюючи напругу на вібраторі

відбувалося в ручному режимі. Для покращення результату, потрібно використати автоматичне регулювання фази коливань.

Перелік посилань

1. Гелль П.П. Конструирование радиоэлектронной аппаратуры / Гелль П.П., Иванов-Есипович Н.К. // Энергия— 1972. — 232 с.
2. Карамышкин В.В. Динамическое гашение колебаний / Карамышкин В.В. // Машиностроение — 1988. — 108 с.

Анотація

Розглянутий метод динамічного гасіння коливань за допомогою зміни частоти без контролю фази на прикладі експериментального вібраційного стенда. Представлена методика проведення експерименту та графічне відображення отриманих даних.

Ключові слова: динамічне гасіння коливань, вібрація, вібраційний стенд.

Аннотация

Рассмотренный метод динамического гашения колебаний с помощью изменения частоты без контроля фазы на примере экспериментального вибрационного стенда. Представленная методика проведения эксперимента и графическое отображение полученных данных.

Ключевые слова: динамическое гашение колебаний, вибрация, вибрационный стенд.

Abstract

The method of dynamic damping of oscillations by means of frequency change without phase control on the example of an experimental vibration stand is considered. The technique of conducting the experiment and graphical representation of the obtained data are presented.

Keywords: dynamic vibration damping, vibration, vibration stand.

ДОДАТОК В

Патент України на корисну модель

Реферат

Корисна модель належить до вібраційної техніки і може бути використана в машинобудуванні для вібраційних випробувань виробів.

Вібраційний стенд, що містить корпус прямокутної форми, робочу платформу, давач вібрацій (акселерометр), мікроконтролер, та два вібробуджувачі.

Корисна модель дозволяє створити систему контролю вібрацій, та виводити з резонансу віброуючу платформу.

Міщенко Б.М. РІ-81МП, 2019

Вібраційний стенд

Корисна модель належить до вібраційної техніки і може бути використана в машинобудуванні для вібраційних випробувань виробів.

Найбільш близьким до запропонованого є вібраційний стенд [Патент UA 104898 C2, МПК B06B 1/04, 2006.01], який містить корпус прямокутної форми, робочу платформу та вібробудувач [1].

Недоліком такого вібростенда є малий частотний діапазон збуджувальних вібрацій. Відсутні вимірювальні давачі, немає системи для контролю вібрацій.

В основу корисної моделі поставлено задачу створити вібраційний стенд з системою контролю вібрацій, який містить вимірювальний давач (акселерометр), два вібробудувачі та мікроконтролер.

Поставлена задача вирішується тим, що в корпус 1 вібраційного стенду прикріплено робочу платформу 5, на лицьовій поверхні платформи встановлений вібродавач (акселерометр) 4 та вібробудувач 2, а на зворотньому боці платформи встановлений додатковий вібробудувач 6. Вібродавач (акселерометр) 4 та вібробудувачі 2 та 6 під'єднані до мікроконтролера 3.

Вібраційний стенд фіг.1 та фіг.2 складається з корпусу прямокутної форми 1, двох вібробудувачів 2 і 6, мікроконтролера 3, давача вібрацій (акселерометра) 4, робочої платформи 5.

Стенд працює наступним чином.

Спочатку за допомогою мікроконтролера 3 вмикаємо вібробудувач який знаходиться на лицьовій поверхні 2, платформа 5 починає вібрувати з змінною частотою. Потім вмикаємо вібродавач (акселерометр) 4, який фіксує вібрації на пластині і відправляє ці дані на мікроконтролер 3, у разі різкого підвищення амплітуди сигналу (резонансу), запрограмований мікроконтролер 3 вмикає додатковий вібробудувач 6, що прикріплений на

зворотній частині робочої платформи, тим самим виводить пластину з резонансної зони.

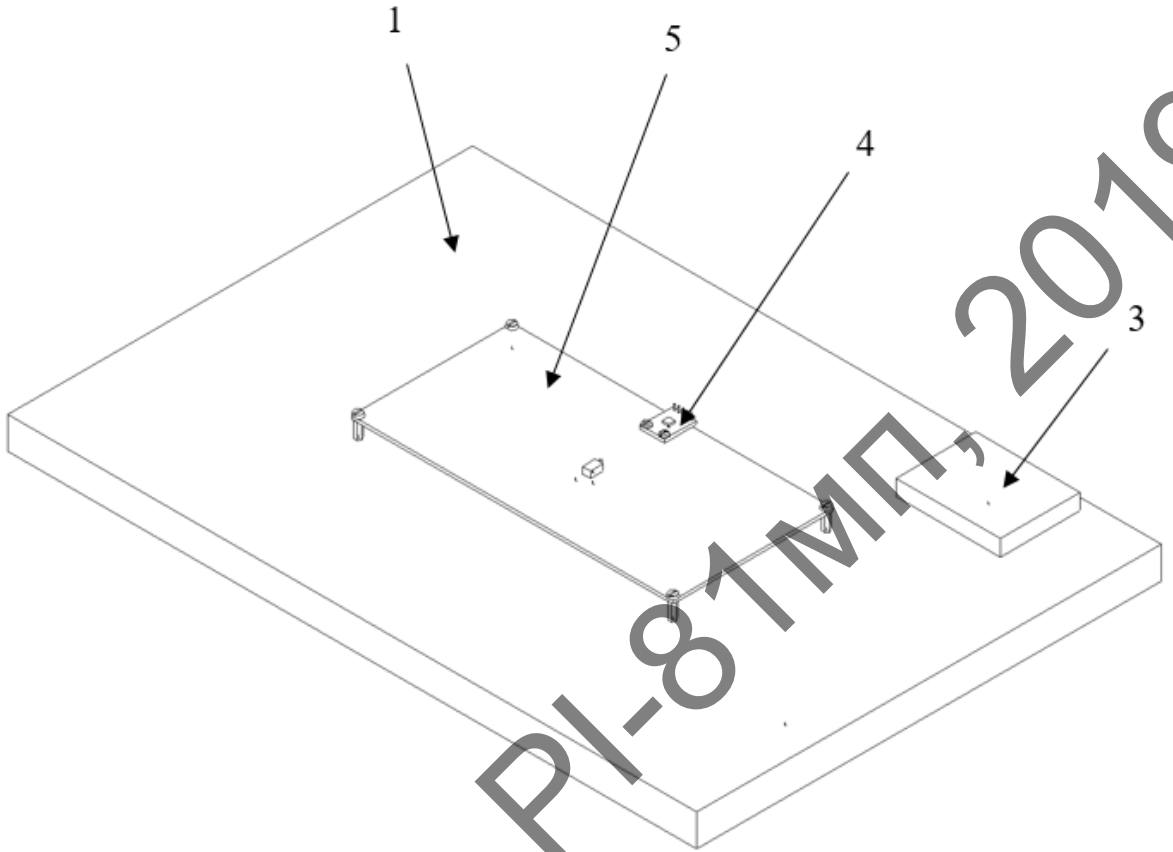
Міщенко Б.М. РІ-81МП, 2019

Джерела інформації

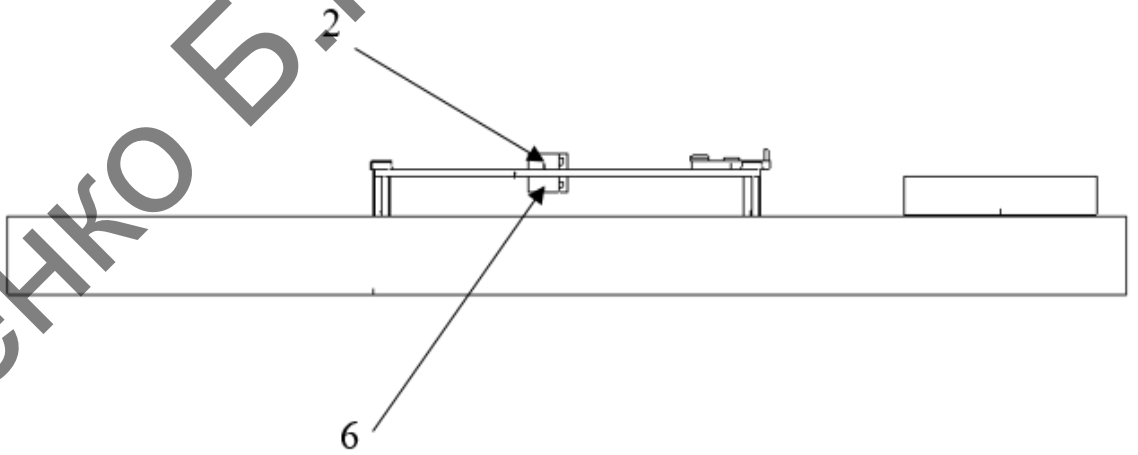
1. Вібраційний стенд : пат.104898 Україна : МПК В 06В 1/04 (2006.01).
№ а 2012 01333; заявл. 08.02.2012 ; опубл. 25.03.2014, Бюл. № 6.

Міщенко Б.М. РІ-81МП, 2019

Вібраційний стенд



Фіг. 1



Фіг.2

Формула корисної моделі

Вібраційний стенд, що містить корпус прямокутної форми, робочу платформу та вібробудувач, який **відрізняється** тим, що містить датчик вібрацій (акселерометр), мікроконтролер, два вібробудувачі.

Заявник Міщенко Б.М.

Міщенко Б.М. РІ-81 МП, 2019

ДОДАТОК Г

Програма для проведення моделювання динамічного згашування
гармонічних коливань

$$f1 := 100$$

$$f2 := 100$$

$$\omega1 := 2 \cdot \pi \cdot f1 = 628.319$$

$$\omega2 := 2 \cdot \pi \cdot f2 = 628.319$$

$$\varphi0 := 0$$

$$\varphi1 := \frac{\pi}{2} = 1.571$$

$$\varphi2 := \pi = 3.142$$

$$\varphi3 := \frac{3 \cdot \pi}{2} = 4.712$$

$$\varphi4 := 2\pi = 6.283$$

$$\delta_{\text{AA}} := 0.02$$

$$c_{\text{AA}} := 230$$

$$m_{\text{AAV}} := 0.1$$

$$A_{\text{AAA}} := 1$$

$$h := 1.013 \times 10^{-5}$$

$$t := 0, 0.001..5$$

Given

$$\frac{d^2}{dt^2} z1(t) \cdot m + \frac{d}{dt} z1(t) \cdot h + z1(t) \cdot c = A \cdot \sin(\omega1 \cdot t)$$

$$z1(0) = 0$$

$$z1'(0) = 0$$

$$z1 := \text{Odesolve}(t, 5)$$

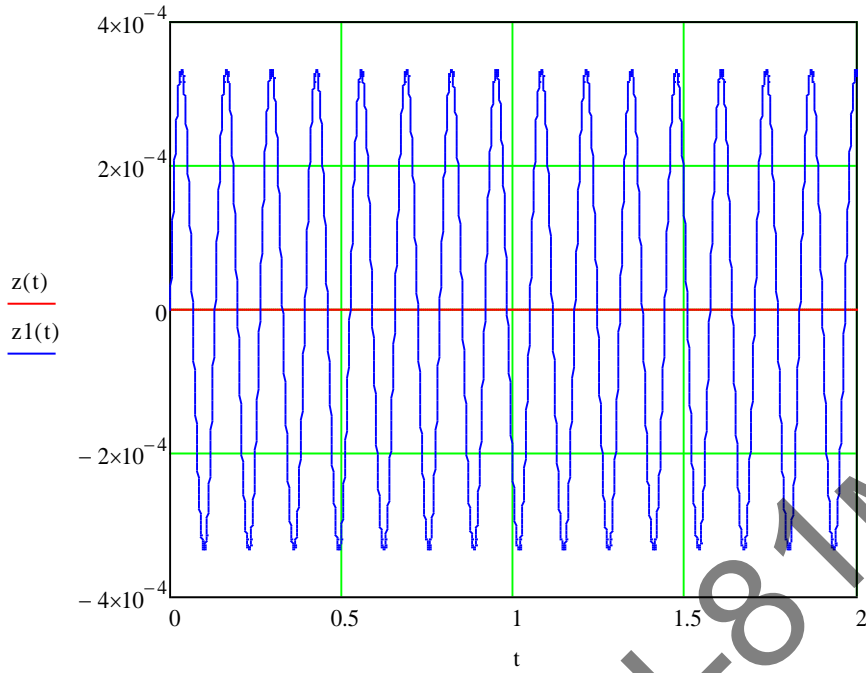
Given

$$\frac{d^2}{dt^2} z(t) \cdot m + \frac{d}{dt} z(t) \cdot h + z(t) \cdot c = A \cdot \sin(\omega1 \cdot t) + A \cdot \sin(\omega2 \cdot t + \varphi2)$$

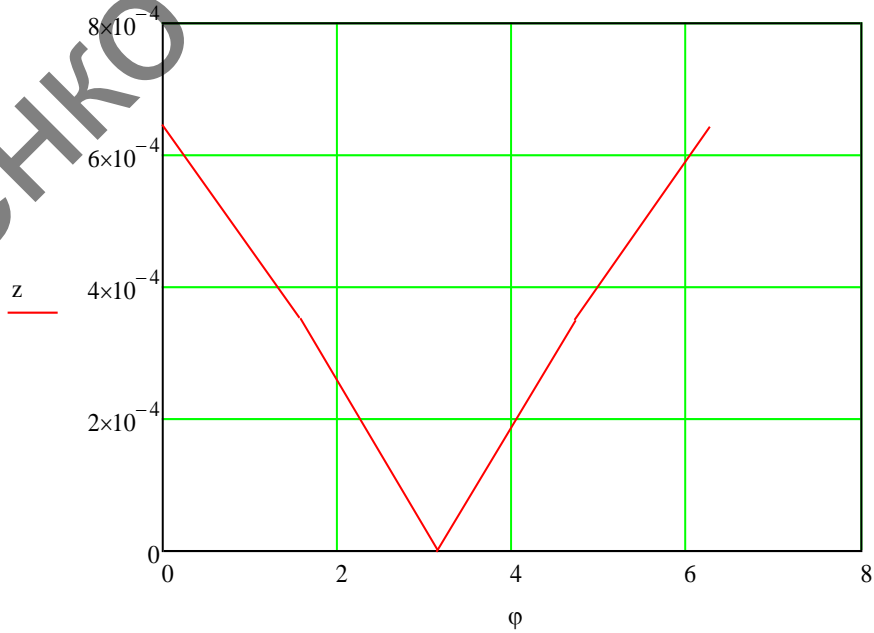
$$z(0) = 0$$

$$z'(0) = 0$$

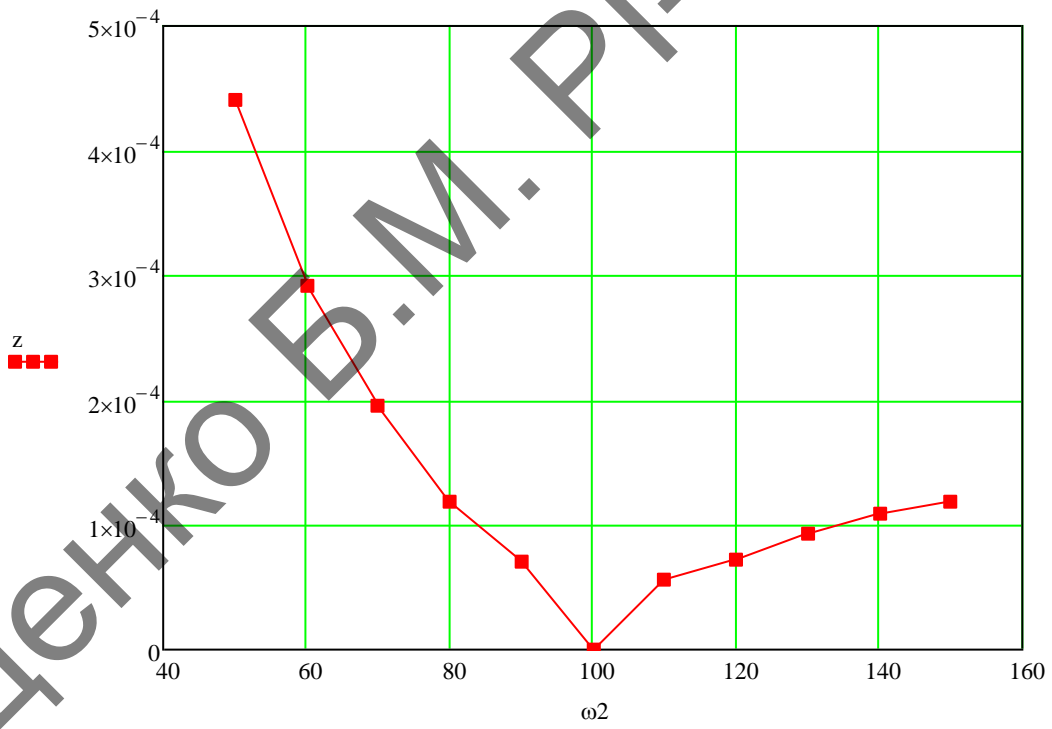
```
z := Odesolve(t,5)
```



$$z := \begin{pmatrix} 0.000646243 \\ 0.000352588 \\ 0 \\ 0.000352588 \\ 0.000646243 \end{pmatrix} \quad \varphi := \begin{pmatrix} 0 \\ \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \\ \varphi_4 \end{pmatrix}$$



$\omega_2 :=$	$z :=$
50	0.00043996
60	0.00029087
70	0.00019547
80	0.00011882
90	6.998807e-005
100	0
110	5.634809e-005
120	7.194015e-005
130	9.353768e-005
140	0.000109316
150	0.0001178787



Міщенко Б.М. РІ-81МП, 2019

ДОДАТОК Д

Програма для проведення апроксимації даних вимірювання частоти
вibraції вібродвигуна від напруги на ньому

$$U := \begin{pmatrix} 1.5 \\ 1.7 \\ 2 \\ 2.2 \\ 2.5 \\ 3 \\ 3.3 \end{pmatrix} \quad F1 := \begin{pmatrix} 57.3 \\ 119 \\ 123.4 \\ 124 \\ 125 \\ 128 \\ 130 \end{pmatrix}$$

$$F := \text{line}(U, F1)$$

$$F = \begin{pmatrix} 56.768 \\ 25.267 \end{pmatrix}$$

$$F(U) := 56.768 \cdot U + 25.267$$

