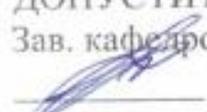


**АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АМГУ»)**

Институт компьютерных и инженерных наук
Кафедра стартовые и технические ракетные комплексы
Специальность 24.05.01 – Проектирование, производство и эксплуатация ракет
и ракетно-космических комплексов
Специализация – Эксплуатация стартовых и технических комплексов и систем
жизнеобеспечения

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Зав. кафедрой


В.В. Соловьев
« » 2025г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

на тему: Модернизация вибростенда для проведения испытаний разгонного
блока.

Исполнитель
студент группы 9111-ос



(подпись, дата)

П.В. Кулеш

Руководитель
профессор, д-р техн. наук



(подпись, дата)

А.Д. Плутенко

Консультант
доцент



(подпись, дата)

К.А. Насуленко

Консультант по БЖД
доцент, канд. техн. наук



(подпись, дата)

А.В. Козырь

Нормоконтроль
старший преподаватель СИТРК



(подпись, дата)

М.А. Аревков

Рецензент

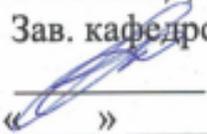


(подпись, дата)

Н.Н. Ворозцкий

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АМГУ»)

Институт компьютерных и инженерных наук
Кафедра стартовые и технические ракетные комплексы

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой
 В.В. Соловьев
« _____ » _____ 2025г.

ЗАДАНИЕ

К выпускной квалификационной работе студента Кулеш Павла Владимировича

1. Тема выпускной квалификационной работы: Модернизация вибрационного стенда для проведения испытаний разгонного блока.

(утверждена приказом от 02.12.2024 № 3236-уч)

2. Срок сдачи студентом законченного проекта 07 февраля 2025 года.

3. Исходные данные: рабочий диапазон температуры окружающей среды: 0...30°. Максимальная продолжительность рабочего цикла установки 30 минут.

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих к разработке вопросов): провести анализ системы термостатирования и кондиционирования; рассчитать мощность системы термостатирования и кондиционирования; безопасность труда; экономический расчет.

5. Перечень материалов приложения: графическая часть, электродинамический вибрационный стенд, чертеж вибратора, типовая схема для вибрационных испытаний, структурная схема вибрационного стенда, средства и методы защиты от шума, составные части усилителя, особенности монтажа кабельной сети, корпус усилителя в двух проекциях, измерительный мост и его модификации, заключительный лист.

6. Консультанты по выпускной квалификационной работе: Насуленко К.А., доцент; консультант по БЖД Козырь А.В., доцент, канд. техн. наук.

7. Дата выдачи задания: 20.01.2025.

Руководитель выпускной квалификационной работы: Плутенко А.Д. профессор,
д-р техн. наук.

Задание принял к исполнению (дата): 20.01.2025

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'A.D. Plutenko', written over the date '20.01.2025'.

РЕФЕРАТ

Дипломная работа содержит 102 страницы, 27 рисунков, 8 таблиц и 22 источника

ВИБРОСТЕНД, НАЗЕМНАЯ КАБЕЛЬНАЯ СЕТЬ, ТЕНЗОРЕЗИСТОР, УСИЛИТЕЛЬ, ВИБРОПРОЧНОСТЬ

В работе представлены результаты модернизации вибростенда, произведен выбор тензорезисторов для тензометрирования по критериям вибропрочности и оценить результаты тензометрирования динамических процессов

Цель работы – провести сравнительный анализ и определить расчетные характеристики параметров вибростенда. Осуществить выбор тензорезисторов для тензометрирования по критериям вибропрочности и оценить результаты тензометрирования динамических процессов.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- 1) Произведен сравнительный анализ различных типов вибрационных стендов;
- 2) Определены расчетные характеристики вибростенда;
- 3) Описаны принципы выбора тензорезисторов по критериям вибропрочности;
- 4) Проведен расчет вибропрочности;
- 5) Написан регламент проведения работ и порядок проведения ТО.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ | 9 |
| ВВЕДЕНИЕ | 11 |
| 1 ОБЩАЯ ЧАСТЬ | 13 |
| 1.1 Испытательные стенды и их проектирование | 13 |
| 1.2 Вибрационные испытания изделий РКТ | 14 |
| 1.2.1 Условия испытаний и применяемое испытательное оборудование. | 16 |
| 1.2.2 Вибрационные стенды | 17 |
| 1.2.2.1 Основные параметры вибрационных стендов | 19 |
| 1.3 Анализ и выбор вибростенда | 21 |
| 1.3.1 Электродинамический вибрационный стенд | 22 |
| 1.3.2 Расчет основных параметров стенда | 23 |
| 1.4 Вывод по основной части | 30 |
| 2 СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ | 31 |
| 2.1 Основные технические требования, предъявляемые к наземной кабельной сети | 31 |
| 2.1.1 Требования к кабелям при механических воздействиях | 31 |
| 2.1.2 Требования к проведению испытаний кабелей на воздействие вибрации | 32 |
| 2.2 Выбор тензорезисторов для тензометрирования по критериям вибропрочности | 33 |
| 2.2.1 Проволочные тензорезисторы | 34 |
| 2.2.2 Фольговые тензорезисторы | 37 |
| 2.3 Особенности монтажа КС с учётом вибрационного фактора | 38 |
| 2.3.1 Способы установки тензорезисторов на объекте исследования | 38 |
| 2.3.2 Материалы, используемые для наклейки тензорезисторов | 39 |
| 2.3.2.1 Герметики | 41 |
| 2.4 Схемы включения тензорезисторов в измерительный мост с учётом | |

| | |
|---|----|
| высокочастотной вибрации | 42 |
| 2.5 Расчёт напряженного состояния в точке по показаниям тензорозеток | 45 |
| 2.6 Обработка показаний трехэлементной прямоугольной розетки . | 47 |
| 2.7 Оценка результатов тензометрирования динамических процессов | 49 |
| 2.8 Вывод по основной части | 54 |
| 3 ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ЧАСТЬ | 55 |
| 3.1 Назначение, состав и принцип действия вибросистемы | 55 |
| 3.1.1 Вибратор | 56 |
| 3.1.1.1 Назначение, состав и стандартные функции | 56 |
| 3.1.1.2 Силовой и сигнальный входы | 57 |
| 3.1.1.3 Принцип работы | 57 |
| 3.1.2 Усилитель | 59 |
| 3.1.2.1 Назначение и функции | 59 |
| 3.1.2.2 Конструкция усилителя | 61 |
| 3.1.3 Программное обеспечение для информирования полученных результатов | 66 |
| 3.2 Требования к проведению вибродинамических испытаний | 69 |
| 3.2.1 Общие требования к проведению испытаний | 69 |
| 3.2.2 Требования к помещению | 69 |
| 3.2.3 Требования к персоналу | 71 |
| 3.3 Меры безопасности при работе со стендом | 72 |
| 3.3.1 Меры безопасности перед проведением работ | 73 |
| 3.3.2 Меры безопасности во время проведения работ | 73 |
| 3.3.3 Меры безопасности после проведения работ | 74 |
| 3.4 Действия персонала при работе с установкой | 74 |
| 3.4.1 Действия персонала перед началом работ с установкой | 74 |
| 3.4.2 Действия персонала во время выполнения работ на установке | 75 |
| 3.4.3 Действия персонала после окончания испытаний | 76 |

| | | |
|---------|--|----|
| 3.4.4 | Действия персонала при возникновении аварийных ситуаций | 76 |
| 3.5 | Техническое обслуживание | 78 |
| 3.5.1 | Ежедневное ТО | 78 |
| 3.5.1.1 | Техническое обслуживание усилителя | 78 |
| 3.5.1.2 | Техническое обслуживание вибратора | 79 |
| 3.5.2 | Ежемесячное ТО | 79 |
| 3.5.2.1 | Техническое обслуживание усилителя | 79 |
| 3.5.2.2 | Техническое обслуживание вибратора | 80 |
| 3.5.3 | Полугодовое ТО | 81 |
| 3.5.3.1 | Техническое обслуживание усилителя | 81 |
| 3.5.3.2 | Техническое обслуживание вибратора | 81 |
| 3.5.4 | Годовое ТО | 81 |
| 3.5.4.1 | Техническое обслуживание усилителя | 81 |
| 3.5.4.2 | Техническое обслуживание вибратора | 81 |
| 3.6 | Транспортирование и хранение | 82 |
| 3.6.1 | Правила транспортирования | 82 |
| 3.6.2 | Правила хранения | 82 |
| 3.7 | Выводы по эксплуатационной части | 83 |
| 4 | ОХРАНА ТРУДА И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ | 84 |
| 4.1 | Нормирование шума | 85 |
| 4.2 | Сравнение уровня шума, возникающего во время испытаний, с предельно допустимыми нормами. | 87 |
| 4.3 | Способы и методы защиты от шума | 88 |
| 4.4 | Выводы по разделу охраны труда и окружающей среды | 92 |
| 5 | ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ | 93 |
| 5.1 | Покупные комплектующие и материалы | 93 |
| 5.2 | Фонд оплаты труда | 94 |
| 5.3 | Страховые взносы | 94 |
| 5.4 | Расходы на эксплуатацию ПЭВМ и другого оборудования | 95 |
| 5.5 | Амортизация технических средств | 96 |

| | | |
|--------------------------------|----------------------------------|-----|
| 5.6 | Прямые расходы на электроэнергию | 96 |
| 5.7 | Расходы на аренду помещений | 97 |
| 5.8 | Накладные расходы | 97 |
| 5.9 | Определение полных расходов | 98 |
| 5.10 | Выводы по экономической части | 98 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | | 100 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ | | 101 |

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

- БКС – бортовая кабельная сеть;
- ВИП – виброизмерительные преобразователи;
- ВДИ – вибродинамические испытания;
- ГЖ – горючая жидкость;
- ГЗП – грузозахватные приспособления;
- ГО – гражданская оборона;
- КД – конструкторская документация;
- ЛА – летательный аппарат;
- ЛВЖ – легковоспламеняющаяся жидкость;
- НТД – нормативно-техническая документация;
- НКС – наземная кабельная сеть;
- НР – накладные расходы;
- ПС – предельные спектры;
- ПЭВМ – персональная электронно-вычислительная машина;
- ПФ – пенсионный фонд;
- ПУЭ – правила устройства электроустановок;
- РКТ – ракетно-космическая техника;
- РБ – разгонный блок;
- СПУ – спектр плотности ускорения;
- СИЗ – средства индивидуальной защиты;
- СПСЧ – специализированная пожарно-спасательная часть;
- СОУТ – специальная оценка условий труда;
- СТО – стандарт организации;
- ТЗ – техническое задание;
- ТО – техническое обслуживание;
- ТУ – технические условия;
- ФОТ – фонд оплаты труда;
- ФОМС – фонд обязательного медицинского страхования;

ФСС – фонд социального страхования;
ЧЭ – чувствительный элемент;
ЧС – чрезвычайная ситуация;
ЭВМ – электронная вычислительная машина;
ЭДВС – электродинамические вибростенды.

ВВЕДЕНИЕ

Ракетно-космическая техника (РКТ) представляет собой область с особыми характеристиками, которые необходимо учитывать при проектировании, эксплуатации и испытаниях. Из-за значительной сложности и специфики РКТ воспроизводство конструкции после запуска эксплуатации представляется крайне затруднительным. Это обусловлено высокой степенью специализации и техническими требованиями к каждому продукту.

Конструкция РКТ должна поддерживать свою функциональность на всех этапах эксплуатации, начиная с запуска и заканчивая завершением проекта. Исследования и испытания компонентов РКТ имеют критическое значение, поскольку условия нагрузки влияют на внешний вид, внутреннюю структуру деталей и общую архитектуру всей системы. Проведение испытаний для подтверждения прочности и надежности оборудования требует немалых временных и финансовых затрат, что связано с высокими требованиями к надежности и безопасности. Для успешного тестирования необходимо наличие специализированных испытательных баз, современные методики испытаний, а также высококвалифицированные кадры и опытные тестировщики.

С учетом вышеупомянутых факторов проектирование и тестирование РКТ требуют тщательного подхода на всех этапах жизненного цикла. Важно акцентировать внимание на разработке и использовании автоматизированных испытательных стендов для имитации различных воздействий. Это предполагает интеграцию современных цифровых контроллеров, мощных измерительных систем и эффективных данных, чтобы сократить время проведения испытаний.

В условиях стремительного научного прогресса возрастает необходимость в новых технологиях и лабораторном оборудовании. Использование таких устройств в различных условиях требует их устойчивости к разнообразным внешним воздействиям. Устройства должны сохранять свои характеристики в рамках заданных параметров, как в процессе, так и после

воздействия внешней среды. Одними из ключевых воздействий являются механические и климатические факторы, такие как вибрация и удары, которые могут существенно повлиять на производительность устройств. Современное испытательное оборудование, предназначенное для выявления воздействия вибрации и ударов на металлы, играет ключевую роль в обеспечении качества и надежности продукции в металлургической отрасли.

Настоящий дипломный проект посвящен созданию вибрационной среды для испытаний разгонного блока (РБ).

1 ОБЩАЯ ЧАСТЬ

В настоящем дипломном проекте определяются основные положения и требования к экспериментальной отработке (ЭО) космического аппарата (КА) и его составных частей (СЧ).

Экспериментальная проверка космических аппаратов и их компонентов включает в себя тестирование на воздействие вибраций. Вибрация может привести к повреждениям, уменьшению ресурса работы двигателей, колебаниям корпуса, а так же механическим повреждениям оборудования и сбоям в его работе.

Вибрационные испытания проводятся для оценки работоспособности и надежности проектируемых летательных аппаратов (ЛА). Состояние и характеристики компонентов ЛА анализируются на основе результатов этих испытаний. Если обнаруживается несоответствие некоторых характеристик, проводятся доработки элементов ЛА в соответствии с требованиями технического задания.

Для обеспечения связи между измерительно-преобразовательной, управленческой аппаратурой на стороне оператора и агрегатами испытательного стенда, средствами измерения и управления, находящимися на объекте испытаний в качестве передаточного звена, выступает наземная кабельная сеть (НКС).

1.1 Испытательные стенды и их проектирование

Испытательный стенд представляет собой техническое устройство, предназначенное для размещения объекта испытания, создания воздействия, сбора данных и управления процессом испытаний. Обычно такие стенды делятся на три основные части: исполнительную, информационно-управляющую и систему энергопитания. В исполнительной части находятся объект испытания и системы, которые генерируют различные эксплуатационные воздействия. Информационно-управляющая часть включает системы управления и измерения, которые передают информацию о параметрах

как объекта испытания, так и самого стенда. Важно отметить, что стенды также оснащены системами энергопитания.

Проектирование испытательных стендов – это комплексная задача, требующая внимательного подхода к разработке технического задания, проектных предложений, эскизов и технических проектов, а также выбора компоновочной схемы, которая обеспечит необходимые проектные характеристики. Существует несколько подходов к проектированию стендов, среди которых выделяются индивидуальный и комплексный (системный).

Индивидуальный подход сосредоточен на решении конкретных задач, связанных с контролем определенных параметров летательных аппаратов (ЛА), исходя из специфических потребностей предприятия. В то время как комплексный (системный) подход предполагает разработку стендов с учетом широких задач, направленных на обеспечение необходимого уровня качества ЛА на протяжении всего его жизненного цикла. В таком случае формируется система взаимосвязанных стендов, предназначенных для отработки, испытания и контроля различных систем проектируемого ЛА на всех его этапах.

1.2 Вибрационные испытания изделий РКТ

Вибрация космических аппаратов (КА) может стать причиной усталостных разрушений конструкционных элементов, сократить срок службы двигателей и вызвать колебания корпуса. Вибрационные нагрузки способны привести к повреждению оборудования, нарушению его функционирования, а в некоторых случаях – к разрушению. Особую опасность представляет резонансная вибрация, которая может вызвать разрывы проводов, нарушение герметичности и даже короткое замыкание между компонентами. Разрушение может происходить из-за различных факторов, таких как превышение критического уровня амплитуд вибраций или накопление усталостных деформаций.

При испытаниях необходимо в краткие сроки воспроизвести заданные спектральные характеристики вибраций в широком диапазоне частот с высокой точностью. Для решения этих задач применяются вибрационные стенды.

Основные параметры вибрационных процессов, измеряемых для определения характеристик РКТ, представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Основные параметры вибрационных процессов, измеряемых для определения характеристик РКТ

| Основные измеряемые параметры | Математическое описание | Обозначение |
|--|--|--|
| Моногармоническая вибрация | | |
| Виброперемещение | $x(t) = X_0 \sin(\omega t + \varphi)$ | X_0 – амплитуда виброперемещения |
| Виброскорость | $v(t) = V_0 \cos(\omega t + \varphi)$ | $V_0 = \omega X_0$ |
| Виброускорение | $a(t) = A_0 \sin(\omega t + \varphi)$ | $A_0 = \omega^2 X_0$; ω, φ – круговая частота и фаза колебания |
| Полигармоническая вибрация | | |
| Размах колебаний | $x(t) = \frac{X_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} X_n (n\omega t + \varphi_n)$ | $X_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}; n = 1, 2, 3 \dots$; $a_n = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \cos n\omega t dt$; $b_n = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \sin 2n\omega t dt$ $pgi_n = atctg(\frac{b_n}{a_n})$ |
| Широкополосная случайная вибрация | | |
| Дисперсия | $D_x = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int [x(t) - m_x]^2 dt$ | $m_x(t) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int x(t) dt$ |
| | Для стационарного эргодинамического процесса $D_x = \bar{x}^2(t) [\bar{x}(t)]^2$ | - |
| Среднеквадратическое отклонение | $\sigma_x = \sqrt{D_x}$ | - |
| Спектральная плотность ускорения | $S(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} R(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau$ | $R(\tau) = M[x(t) + x(t + \tau)]$ – корреляционная функция; M – математическое ожидание |
| Акустическая вибрация (шум) | | |
| Среднеквадратическое значение звукового давления | $p = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt}$ | $p(t)$ – мгновенное значение звукового давления; T – время интегрирования |

| | | |
|--|---|--|
| Уровень акустической мощности (мощности звука) | $UMЗ = \lg\left(\frac{W}{W_0}\right)$ $= 20 \lg\left(\frac{\bar{p}}{p_0}\right)$ $+ 101 \lg\left(\frac{2\pi R^2}{S_0}\right)$ | W - определяемая акустическая мощность машин; W_0 - акустическая мощность, принимаемая за опорную; \bar{p} - среднее измеренное звуковое давление; $p_0 = 2 \cdot 10^{-3} \frac{H}{M^2}$; $S_0 = 1 M^2$ |
|--|---|--|

1.2.1 Условия испытаний и применяемое испытательное оборудование

Воздействие вибраций различного характера на изделия авиационной и ракетно-космической техники на этапах жизненного цикла может стать причиной механических дефектов и ухудшения параметров. Поэтому необходимо проведение лабораторно-стендовых испытаний с использованием специальных средств испытаний.

Существует множество требований и классификаций вибростендов для испытаний различных изделий, соответствующих рекомендациям МЭК, а также отечественным и международным стандартам. Для проведения испытаний на гармоническую, случайную и смешанную вибрации важно использовать вибростенды, обеспечивающие воспроизводимость результатов и учет особенностей характеристик испытуемых изделий, включая удобство управления заданным испытательным режимом.

К вибростендам предъявляются требования касательно точности измерений, поддержания ускорения и перемещения на постоянном уровне при динамическом регулировании, а также уровня поперечных составляющих вибрации и спектральной плотности ускорения. Также важны требования к местам установки и методам крепления виброизмерительных преобразователей (ВИП) и конструкции приспособлений для крепления изделий.

Для выполнения этих требований используются вибрационные установки – многокомпонентные комплексы, состоящие из подсистем задания, воспроизведения, управления и измерения, а также анализа и регистрации параметров вибрации. Основным элементом такой установки является

вибратор, отвечающий за воспроизведение заданных колебаний. В зависимости от принципа действия вибраторов применяются различные способы задания испытательного режима. Наибольшее распространение получили электродинамические, электрогидравлические и механические вибраторы. Первые два типа используются в современных вибрационных системах, где генераторы электрических сигналов служат в качестве задающих устройств. Электродинамические вибраторы обеспечивают более высокие частоты (5-10000 Гц), чем электрогидравлические (0-1000 Гц). Механические вибраторы предназначены для испытаний на фиксированных частотах.

Одним из основных недостатков всех вибрационных систем является зависимость их передаточной функции от частоты и нагрузки, что усложняет точное воспроизведение параметров вибрации на широком диапазоне частот. Для реализации методов испытаний необходимо применять специальные средства для компенсации изменений передаточной функции.

Вибрационные испытания играют важную роль в тестировании летательных аппаратов и их компонентов, проводя с использованием специального оборудования, включающего вибрационные стенды, установочные системы и приборы для определения параметров вибрации.

1.2.2 Вибрационные стенды

Вибрационный стенд – это устройство, включающее генератор механических колебаний, управляющую панель для настройки и автоматического контроля испытаний, а также приборы для мониторинга и измерения параметров колебательного процесса, системы подвески и энергопитания. Такие стенды способны изменять амплитуды колебаний в процессе испытаний, автоматически управлять установкой и проводить испытания разными методами, в том числе шестиосевое нагружение летательных аппаратов (ЛА).

Структурная схема вибрационного стенда приведена на рисунке 1.1.

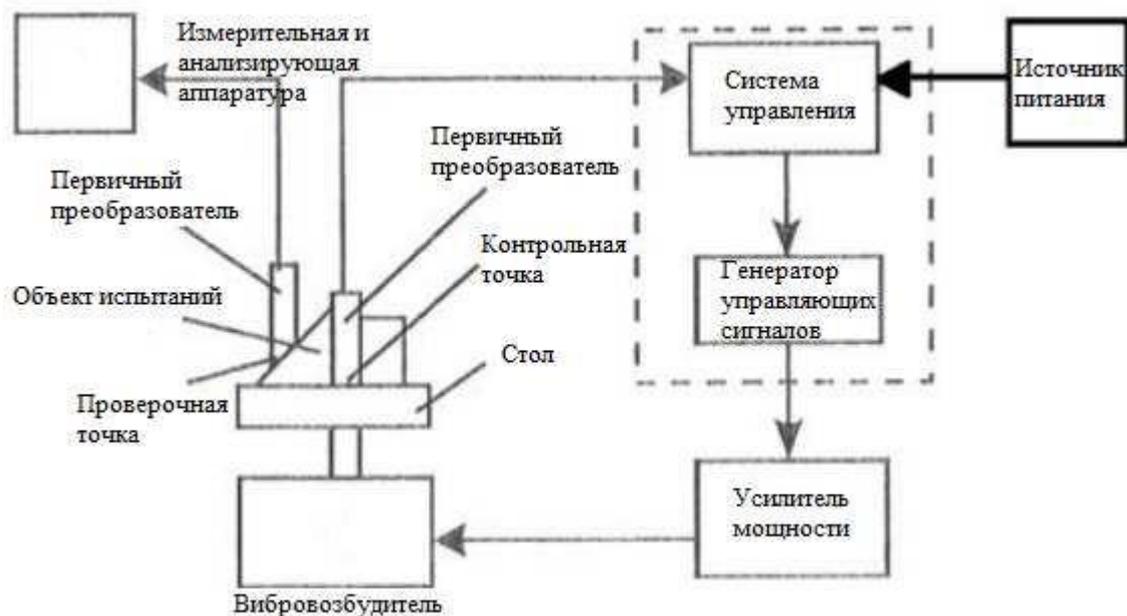


Рисунок 1.1 – Структурная схема вибрационного стенда

Вибростенд состоит из неподвижной и подвижной систем, где подвижная система осуществляет вибрационное движение, обеспечивая сбор информации о воздействии вибрации на тестируемые изделия.

Система подвески и вибростол: обеспечивает устойчивое равновесие и ориентацию подвижной части относительно неподвижной. Испытуемое изделие устанавливается и фиксируется на вибростоле для передачи вибрации.

Виброизмерительные преобразователи: предназначены для получения данных о воздействии вибрации. Они устанавливаются в двух или более специфических точках: в контрольной точке для измерения параметров вибрации изделия и измерительной точке для подведения итогов испытаний.

Система управления: сигнал с виброизмерительного преобразователя в контрольной точке передается в систему управления, которая поддерживает заданные параметры вибрации на необходимом уровне.

Вид управления: в технических условиях (ТУ) на изделие определяется вид управления, который включает сигнал с одной или нескольких точек, а также допуск на значение управляющего сигнала в контрольной точке. Рекомендуется устанавливать допуск равным $\pm 15\%$.

Таким образом, вибростенд является ключевым оборудованием для

проведения испытаний на воздействие вибрации на изделия, что позволяет оценить их работоспособность и долговечность в условиях вибрации. Технические условия управления системой предоставляют указания по методикам и допускам при выполнении испытаний.

1.2.2.1 Основные параметры вибрационных стендов

Технические и эксплуатационные параметры вибростендов:

1. Диапазон воспроизводимых частот виброускорения: Это диапазон значений, в котором указаны точностные характеристики вибростенда. Он определяет, какие частоты могут быть эффективно воспроизведены в процессе испытаний.

2. Диапазон воспроизводимых виброускорений (виброперемещений, виброскоростей): Этот параметр устанавливает область значений, в пределах которой указаны точностные характеристики вибростенда. Пределы воспроизведения определяются как наименьшее и наибольшее значения, которые может воспроизводить стенд.

3. Резонансные частоты вибровозбудителя: Эти частоты важны для определения точных параметров испытания. Первый высокочастотный резонанс отражает частоту собственных колебаний конструкции подвижной системы, в то время как низкочастотный резонанс определяет частоту собственных колебаний подвижной системы на упругих подвесках.

4. Предельная вынуждающая сила: Это максимальная величина синусоидального силового вибрационного возмущения, создаваемого вибровозбудителем. Значение этой силы используется для определения возможного ускорения на столе вибровозбудителя:

$$F_{\max} = (M_a + M_e + M_{nn} + M_{npr})n_{\max}g, \quad (1.1)$$

где M_a – масса испытуемого аппарата;

M_e – масса подвижной части вибровозбудителя;

M_{nn} – масса переходного приспособления;

$M_{прт}$ – присоединенная масса подвески.

5. Пределная статическая нагрузка: Это показатель грузоподъемности вибровозбудителя, указывающий на максимальную силу, приложенную вдоль его оси, и обусловленную жесткостью подвижной системы. Данный параметр важен, так как определяет, какая максимальная нагрузка может быть приложена без риска появления остаточных деформаций;

6. Коэффициент гармоник виброускорения: Этот коэффициент отражает степень смещения формы кривой вибрационного ускорения рабочего стола вибровозбудителя от синусоидальной. Он позволяет оценивать нелинейные искажения формы вибрационного ускорения, что критично для обеспечения точности испытаний;

7. Коэффициент неравномерности распределения виброускорения: Данный коэффициент определяет уровень расхождения движения вибростола от его плоскопараллельного положения. Он важен для оценки равномерности распределения виброускорения в различных точках системы;

8. Коэффициент поперечных составляющих виброускорения: Этот коэффициент характеризует наличие ускорения в направлениях, перпендикулярных основному направлению вибрации. Оценка поперечных составляющих имеет большое значение, учитывая, что колебания в системе подвески стола не всегда строго однонаправленны;

9. Диаметр рабочего стола вибровозбудителя: Это физический размер рабочего стола, на котором размещается испытуемое изделие;

10. Масса подвижной системы: Определяется как суммарный вес всех подвижных элементов конструкции вибровозбудителя, включая массу конструктивных элементов упругих подвесок;

11. Напряжённость магнитного поля: Это наибольшая величина магнитного поля, измеряемая на уровне стола вибровозбудителя.

Эти параметры позволяют оценить работу вибростенда, его нагрузочные характеристики и гарантируют необходимую точность и надежность проводимых испытаний и измерений.

Модернизация вибростендов является важным направлением развития, которое нацелено на улучшение технологий испытаний и более точную симуляцию реальных условий вибрации. Основные тенденции модернизации включают:

- Расширение диапазонов частот и усилий: Это позволяет проводить испытания в более широком спектре частот и амплитуд вибрации;
- Снижение уровня внешних полей: Уменьшение электромагнитного поля и вибрационного шума минимизирует влияние внешних факторов на испытания;
- Автоматизация процессов: Автоматизация процедур испытания и определения параметров вибраций обеспечивает более точное и удобное управление испытательным процессом;
- Разработка комплексного оборудования: Это оборудование позволяет проводить испытания изделий на вибрационные нагрузки одновременно с воздействием других факторов, таких как температура, давление, влажность и инерционные ускорения;
- Создание совершенных вибростендов: Их задача заключается в тестировании и контроле виброизмерительной аппаратуры, что обеспечивает необходимую точность и надежность измерений.

Эти аспекты модернизации способствуют повышению эффективности и точности испытаний, что является критически важным в области авиационной и ракетно-космической техники.

1.3 Анализ и выбор вибростенда

Для получения и анализа основных динамических характеристик разгонного блока (РБ) наиболее эффективными являются электродинамические и электрогидравлические вибрационные стенды.

В таблице 1.2 представлены частотные диапазоны основных вибрационных стендов.

Таблица 1.2 – Частотные диапазоны основных вибрационных стендов

| Тип стенда | | Частотный диапазон, Гц |
|---------------------|--------------|------------------------|
| Электродинамический | стационарный | 5-5000 |
| | переносной | до 10000-15000 |
| Механический | | до 300 |
| Пневматический | | до 200 |
| Гидравлический | | 0-500 |
| Пьезоэлектрический | | Свыше 15000 |
| Магнитострикционный | | 10000-30000 |
| Электромагнитный | | до 400 |

Применение ЭДВС включает исследование динамических характеристик сложных технических систем, материалов, а также анализ вибропрочности и виброустойчивости деталей и приборов. Также они используются для калибровки вибродатчиков.

1.3.1 Электродинамический вибрационный стенд

Схема электродинамического вибрационного стенда представлена на рисунке 1.2.

Электродинамические вибраторы делятся на стационарные и переносные (портативные).

Стационарные вибраторы в основном используются для определения динамических характеристик сложных технических систем, материалов, вибропрочности и виброустойчивости деталей и оборудования, а также для калибровки вибродатчиков.

Портативные вибраторы, массой до 50–60 кг, предназначены для вибровозбуждения громоздких механических конструкций с целью определения их собственных частот, форм колебаний или частотных характеристик.

Преимущества электродинамических вибрационных стендов:

- Большой частотный диапазон: могут создавать колебания как на высоких, так и на низких частотах;

- Линейная зависимость силы от тока: это позволяет управлять силой колебаний в зависимости от заданной программы во время работы стенда;
- Создание различных типов вибраций: возможна генерация синусоидальных и случайных вибраций сложной формы;
- Удобство и надежность в эксплуатации: электродинамические вибраторы обычно компактны и экономичны в использовании;
- Минимальные нелинейные искажения: способность воспроизводить различные типы вибраций (гармонические, случайные) с высокой точностью;
- Точное воспроизведение случайных вибраций: возможность осуществлять воспроизведение случайных вибраций в широком диапазоне частот.

Эти характеристики делают электродинамические вибрационные стенды особенно привлекательными для применения в научных исследованиях и испытаниях в области авиационной и ракетно-космической техники.

1.3.2 Расчет основных параметров стенда

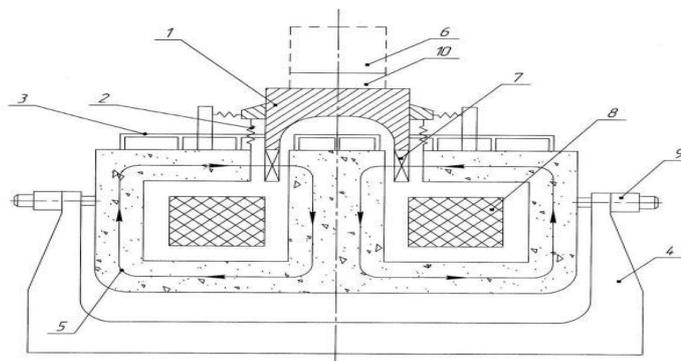


Рисунок 1.2 – Схема электродинамического вибрационного стенда

Катушка подмагничивания 8, по которой течёт постоянный ток, порождает в магнитопроводе 5 постоянный магнитный поток, прорезающий воздушный зазор магнитопровода. В этом зазоре расположена цилиндрическая подвижная катушка 7, пропускающая через себя переменный ток разной частоты. Подвижная катушка жёстко крепится на рабочий стол вибровозбудителя 1 и держится в нужном положении с помощью гибких подвесок 2.

Постоянный магнитный поток, взаимодействуя с переменным магнитным полем, порождает силу, перемещающую подвижную катушку и жёстко соединённый с ней рабочий стол. Направление её перемещения зависит от изменения направления тока. Вынуждающая сила F прямопропорциональна магнитной индукции в кольцевом зазоре магнитопровода B , длине проводника катушки l и силе тока I :

$$F = BI l. \quad (1.2)$$

Подвижная катушка с рабочим столом и гибкие подвески создают подвижную систему вибратора.

Для практичности использования вибратор закреплён на раме 9, обеспечивающей его крепление к фундаменту и позволяющей вибратору в цапфах повернуться на угол до 90° от вертикали (горизонтальная вибрация).

Магнитный экран 3 используется в качестве защиты испытуемого изделия от воздействия магнитного поля вибратора.

На рисунке 1.3 представлены схемы принципов построения конструкций электродинамических вибрационных стендов.

Блок-схема управления электродинамическим вибрационным стендом представлена на рисунке 1.4.

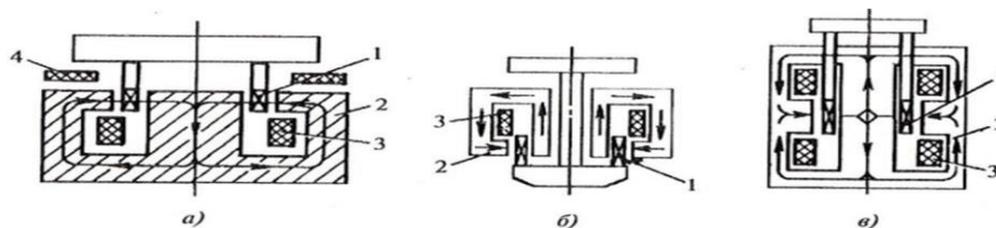


Рисунок 1.3 – Схема принципов построения конструкций электродинамических вибростендов (а – с рабочим столом и подвижной катушкой, расположенными с одной стороны подвижной системы; б – с рабочим столом и подвижной катушкой, расположенными в противоположных концах системы; в – с подвижной катушкой, расположенной между двумя системами катушек подмагничивания)

1 – подвижная катушка; 2 – направление магнитных силовых линий; 3 – катушка подмагничивания; 4 – компенсационная катушка; 5 – рабочий стол

Основной задачей при разработке новых конструкций вибростендов является увеличение амплитуды вынуждающей силы, создаваемой стендом. Для достижения этой цели применяются различные методы и технологии:

1. Увеличение магнитной индукции в рабочем зазоре:
 - Использование специальных магнитных материалов с высокой проницаемостью;
 - Оптимизация конфигураций магнитопроводов для минимизации потерь;
 - Правильное расположение обмотки в зазоре магнитопровода для максимального взаимодействия с магнитным полем;
 - Снижение величины воздушного зазора для увеличения магнитной индукции;
 - Обеспечение постоянства магнитного потока для уменьшения колебаний индукции;
2. Увеличение плотности тока в подвижной обмотке:

– Применение принудительного воздушного или водяного охлаждения подвижной катушки для снижения тепловых потерь и повышения плотности тока без риска перегрева;

3. Оптимизация конструкции вибростенда:

– Разработка систем управления и контроля, которые обеспечивают возможность проведения испытаний в широком диапазоне частот;

– Внедрение технологий, позволяющих быстро и точно изменять параметры испытаний, включая амплитуду и частоту;

Эти методы позволяют значительно повысить эффективность и производительность вибростендов, что критически важно для испытаний в различных научных и инженерных областях.

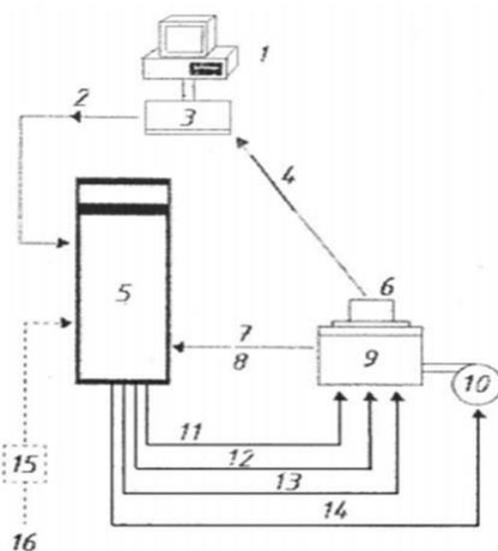


Рисунок 1.4 – Блок – схема управления электродинамическим вибрационным стендом

1 – ЭВМ; 2 – входной сигнал усилителя; 3 – аппаратура управления; 4 – управляющий сигнал от акселерометра; 5 – усилитель; 6 - объект испытаний; 7 – блокировочные сигналы; 8 – сигнал позиционирования центра; 9 – вибровозбудитель; 10 – охлаждающий вентилятор; 11 – питание привода подвижной катушки; 12 – питание катушек подмагничивания; 13 – питание катушки размагничивания; 14 - питание охлаждающего вентилятора; 15 – пускатель питающей сети; 16 – вход питающей сети

Нижний частотный диапазон определяется жесткостью подвески и массами подвижной системы и объекта. При уменьшении данной частоты понижается верхний диапазон частот из-за необходимости установки направляющих с целью центрирования подвижной системы.

Верхняя частота зависит от первой собственной частоты продольных колебаний подвижной системы, которая определяется распределением массы и жесткостью в продольном направлении.

Электродинамические вибрационные стенды создают степени жесткости вибрации, характеризующиеся диапазоном частот ($f_1 - f_2$), уровнем спектра плотности ускорения (СПУ) и длительностью выдержки.

Каждый параметр в нормативно-технической документации (НТД) имеет должное требование, а диапазоны частот совместно с уровнем спектра указывают на необходимое для проведения испытания кумулятивное среднее квадратическое значение ускорения.

Равномерный спектр обеспечивает простоту в испытании. Если используется другая форма спектра, то в НТД требуется указать форму номинального спектра как функцию частоты.

Диапазон частот находится через работу систем ракеты-носителя или НТД.

Характер спектра СПУ в диапазоне частот f_1 и f_2 показан на рисунке 1.5.

Эти испытания включают в себя контроль номинального уровня спектра плотности ускорения (0 дБ, см. рисунок 1.5) между частотами f_1 и f_2 , выбираемого из predetermined значений (0,0005; 0,001; 0,002; 0,005; 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5; 10 g²/Гц).

Длительность выдержки также выбирается из значений, прописанных в нормах вибропрочности или другой НТД.

Общепринятая аппаратура, устанавливающая работу вибрационных стендов, включает в себя комплекс устройств для генерации и контроля вибраций, а также систему обработки и получения информационных данных.

Это включает задающий генератор электрических колебаний, усилитель мощности, согласующий трансформатор, автоматический регулятор уровня, систему узкополосных фильтров, вибродатчики, виброизмерительную аппаратуру, магнитофон, анализирующую и регистрирующую аппаратуру.

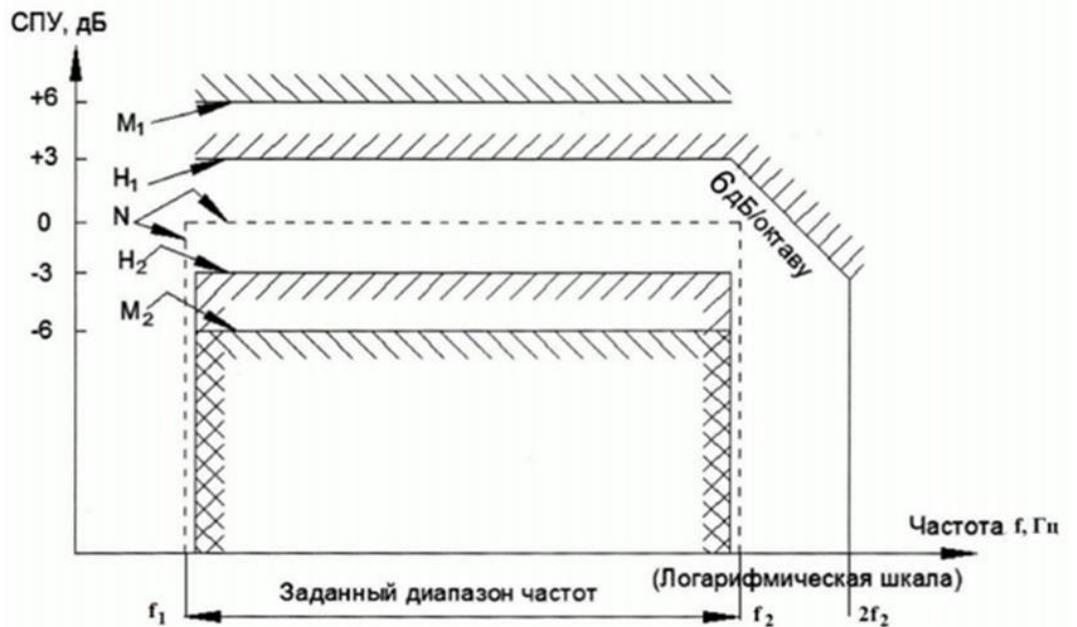


Рисунок 1.5 – Спектр плотности ускорения и границы допусков

M1 – верхняя граница допуска, средняя воспроизводимость; M2 – нижняя граница допуска, средняя воспроизводимость; H1 – верхняя граница допуска, высокая воспроизводимость; H2 – нижняя граница допуска, высокая воспроизводимость; N – установка СПУ (номинальный спектр)

Высокоэффективный электродинамический вибростенд представлен на рисунке 1.6 с характеристиками на рисунке 1.7.

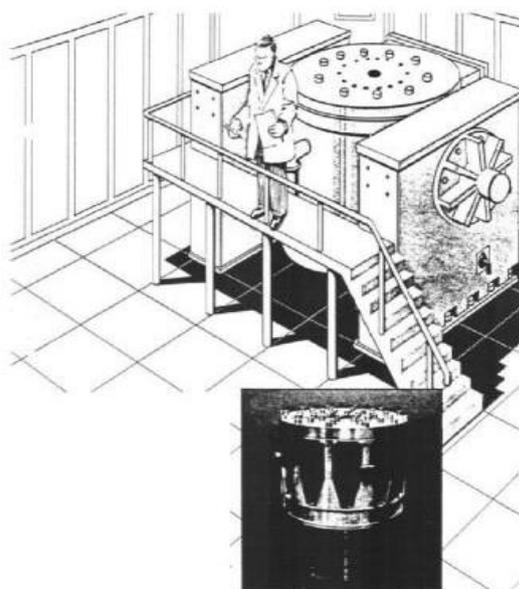


Рисунок 1.6 – Электродинамический высокоэффективный вибрационный испытательный стенд, модель 490 (400кН)

| | | |
|--|---|----------|
| Вынуждающая сила | Гармонические вибрации | 400 кН |
| | Случайные вибрации | 400 кН |
| Частотный диапазон | 2-2000 Гц | |
| Первая резонансная частота | 1400-1500 Гц | |
| Перемещение | 51 мм (пиковое) | |
| Скорость | 2 м/с | |
| Ускорение | 800 м/с ² при массе полезной нагрузки (объекта испытаний) 100 кг | |
| Диаметр стола | 0,96 м | |
| Масса оснастки | 400 кг | |
| Максимальная масса нагрузки (при установленной оснастке) | 4000 кг | |
| Потребная мощность подвижной катушки | 425 кВА | |
| Охлаждающая среда | Дистиллированная вода | |
| Масса | Вибратор | 33500 кг |
| | Усилитель | 8000 кг |

Рисунок 1.7 – Таблица характеристик электродинамического вибростенда

1.4 Вывод по основной части

В основной части дипломного проекта были определены основные положения и требования к экспериментальной отработке КА и СЧ.

Описаны основные принципы вибрационных испытаний. Описаны основные расчет характеристик электродинамического вибрационного стенда, из которого следует, что для повышения качества производимых испытаний следует повысить качество передаваемого сигнала от вибростенда до блока усилителя посредством улучшения характеристик НБС, а так же правильность выбора тензорезисторов и схемы их подключения для конкретного испытания.

Исходя из заданных параметров проведения испытаний был выбран электродинамический вибростенд с характеристиками представленными в таблице 1.3. Для улучшения точности измерений а так же качества проводимых испытаний требуется модернизация НКС а так же выбор современных тензорезисторов.

2 СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В специальной части дипломного проекта предлагается разработать наземную кабельную сеть для проведения вибродинамических испытаний разгонного блока, которая будет модернизирована посредством:

- замены типа датчиков тензометрической сети на более продвинутый вариант за счёт применения метода схемной термокомпенсации;
- подбора соединительных проводов под выбранный тип тензодатчиков и объединения проводов кабельной сети в единый жгут.

2.1 Основные технические требования, предъявляемые к наземной кабельной сети

Кабели по своему назначению следует подразделять на кабели бортовой кабельной сети (БКС) и кабели наземной кабельной сети (НКС).

Для осуществления связи между измерительно-преобразовательной, управленческой аппаратурой на стороне оператора и агрегатами испытательного стенда, средствами измерения и управления, находящимися на объекте испытаний в качестве передаточного звена, выступает наземная кабельная сеть (НКС) [9].

Требования, предъявляемые при проектировании НКС, обусловлены не только мощностью агрегатов, видом сигнала и удаленностью от места испытаний, но также возможностью сохранять работоспособность при воздействии различных поражающих факторов, которым она подвергается во время испытаний.

2.1.1 Требования к кабелям при механических воздействиях

Испытания кабелей при механических воздействиях должны производиться без электрической нагрузки:

- При воздействии вибрационных перегрузок в двух взаимно перпендикулярных положениях соединителей на частотах от 10 до 2500 Гц и с ускорением 15g (при частоте до 50 Гц амплитуда должна быть $(1,5 \pm 0,1)$ мм);
- При воздействии постоянного линейного ускорения до 50g;

– При воздействии ударных нагрузок по пяти ударов в двух взаимно перпендикулярных положениях с ускорением 45g. Длительность импульса при ударе от 1 до 10 мс.

Кабели, упакованные в предназначенную для их транспортировки тару, должны выдерживать транспортирование и устойчиво работать после транспортирования при перевозках любым видом транспорта на любые расстояния со скоростями, допускаемыми данным транспортом.

Кабели, установленные в изделия, должны допускать транспортирование на расстояние и со скоростями, предусмотренными для данного изделия.

2.1.2 Требования к проведению испытаний кабелей на воздействие вибрации

При периодических и установочных испытаниях работы проводить на вибростенде в диапазоне от 10 до 2500 Гц однократным прохождением от нижней до верхней частоты и обратно со скоростью одна октава в две минуты. Допускается с учётом особенностей испытательного оборудования разбивать диапазон на поддиапазоны.

Изменение ускорения на указанных частотах – линейно в соответствии с требованиями к кабелям при механических воздействиях.

Перед началом испытаний соединители жёстко закрепить на столе вибростенда таким образом, чтобы оси симметрии соединителей были перпендикулярны или параллельны направлению воздействия вибрации.

Вибрация проводится в двух направлениях: параллельно и перпендикулярно оси симметрии соединителей [8].

Радиус изгиба кабеля у места монтажа в соединитель должен быть не менее 5 наружных диаметров кабеля.

Длинные концы кабеля закрепить (подвязать) на (к) неподвижной части вибростенда.

Допускается производить испытание методом фиксированных частот в следующих диапазонах и интервалах:

- От 10 до 50 Гц – через каждые 10 Гц;

- От 50 до 600 Гц – через каждые 50 Гц;
- От 600 до 1000 Гц – через каждые 100 Гц;
- От 1000 до 2500 Гц – через каждые 250 Гц.

Ускорение – в соответствии с требованиями к кабелям при механических воздействиях.

Время вибраций на каждой фиксированной частоте (10, 20, ...50, 100, ...600, 700, ...1000, 1250 и т.д.) должно быть не менее 0,5 мин.

При выполнении данных требований руководствоваться установленными в ГОСТ 24346-80 терминами и определениями в области вибрации.

По окончании испытаний на вибрацию произвести внешний осмотр и проверку кабелей.

2.2 Выбор тензорезисторов для тензометрирования по критериям вибропрочности

При выборе тензорезисторов принимают во внимание характер решаемой задачи, требуемую чувствительность и точность измерений, а также упругие и структурные особенности материала объекта исследования [3].

Задачи тензометрирования определяются общими целями, принятой методикой исследования и результатами предварительной расчётной или экспериментальной оценки ожидаемых величин изучаемых механических параметров: статических и динамических деформаций, сил, давлений, ускорений, и т.д.

По материалу чувствительного элемента (ЧЭ) тензорезисторы делятся на следующие группы:

- Фольговые – ЧЭ выполнен из тонкого слоя металла (фольги);
- Проволочные – ЧЭ выполнен из тонкой проволоки;
- Полупроводниковые – ЧЭ выполнен из пластины монокристалла

полупроводника.

Требуемая чувствительность измерений определяет выбор тензорезисторов, которые могут быть проводникового или полупроводникового типа.

Выбор тензорезисторов

Полупроводниковые тензорезисторы: Обычно обладают высокой чувствительностью, но их применение в общей тензометрии ограничено из-за значительных температурных и других погрешностей. Такие датчики могут давать неаккуратные данные под воздействием температурных изменений, что снижает их надежность.

Проводниковые тензорезисторы: В настоящее время используются преимущественно проводниковые тензорезисторы, которые в сочетании с высокочувствительными тензометрическими приборами обеспечивают диапазон порога реагирования до 0,1 – 1 единицы отклонения (еод). Это делает их более подходящими для большинства приложений в тензометрии.

Приклеиваемые тензорезисторы

Одноразовые датчики: Приклеиваемые тензорезисторы предназначены для однократного использования; их нельзя снять, повторно протереть и установить на ту же деталь.

Метрологические характеристики: Эти характеристики определяются косвенным путем. Осуществляется статистическая выборка из большой партии одинаковых датчиков, изготовленных по одной технологии. После определения метрологических характеристик датчиков в выборке, эти параметры распространяются на всю партию датчиков.

Таким образом, выбор тензорезисторов и подходы к определению их характеристик являются важными аспектами в обеспечении точности и надежности измерений, особенно в вибрационных испытаниях и аналитических процессах.

2.2.1 Проволочные тензорезисторы

Схема проволочного тензорезистора представлена на рисунке 2.1 которая состоит из прямоугольной петлеобразной решетке 1, на концах у которой припаяны выводы 3 из медной проволоки или фольги. Решетка зафиксирована с помощью специального клея между клеевой пленкой, которую называют подложкой 2.

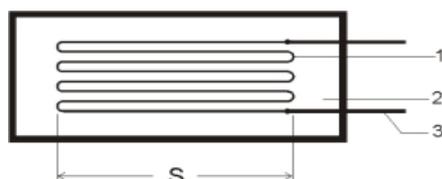


Рисунок 2.1 – Схема проволочного тензорезистора

Требования к материалу проволоки тензорезистора

Материал проволоки, служащей чувствительным элементом тензорезистора, должен удовлетворять следующим требованиям:

- Высокое удельное сопротивление: Позволяет изготавливать малобазные тензорезисторы с большим сопротивлением;
- Высокая и стабильная чувствительность к деформации: Необходима для обеспечения точных измерений;
- Линейность деформации и сопротивления: Должны подчиняться линейному закону в широком диапазоне деформаций;
- Нечувствительность к изменениям температуры: Минимизирует сезонные и температурные погрешности;
- Отсутствие температурной электродвижущей силы в паре с медью: Важно при питании тензорезистора постоянным током;
- Отсутствие гистерезиса: Для стабильности показаний;
- Хорошая защита от внешней агрессивной среды: Обеспечивает долговечность;
- Соответствие температурных коэффициентов линейного расширения материала проволоки и материала исследуемой детали.

Подходящие материалы

Идеального сплава, удовлетворяющего всем требованиям, не существует, но наиболее подходящими являются:

- Медно-никелевые сплавы (например, константан, адванс);
- Нихромы;
- Никельхроможелезистые сплавы (например, элинвар).

Для массового производства тензорезисторов чаще всего используется проволока из отожжённого константана, несмотря на его недостатки:

- Низкий коэффициент тензочувствительности (около 2.1);
- Большая термоэ.д.с. в паре с медью.

Константановые тензорезисторы применяются при температурах до 200 °С, а для работы при больших температурах (до 1000 °С) используется нихром.

Конструкция тензорезисторов

Тензочувствительная решетка фиксируется на основе с помощью специального эластичного клея. Из-за ограниченных прочностных свойств клея проволока должна быть тонкой (0.02 – 0.05 мм), чтобы избежать растрескивания.

Основа (подложка): Служит для удержания тензочувствительной решетки и электрической изоляции от испытываемой детали. Основные требования:

- Механическая прочность и эластичность;
- Хорошая адгезия к клею;
- Влаго- и термостойкость;
- Хорошие изолирующие свойства;
- Отсутствие гистерезиса и ползучести.

При температурах до 70 – 100 °С подходит пергамин; для высоких температур используются специальные жаропрочные бумаги или пленки на основе термостойких клеев. Высокотемпературные тензорезисторы могут изготавливаться в виде проволочной решетки на фольге из нержавеющей стали или без основы, чтобы избежать поперечной чувствительности.

Классификация тензорезисторов

Тензорезисторы классифицируются по двум признакам:

1. По температурному диапазону работоспособности:

- Тензорезисторы массового применения (температуры менее 100 °С).
- Тензорезисторы для повышенных температур (250 - 300 °С).
- Высокотемпературные тензорезисторы (выше 400 °С).

2. По типу применяемой основы:

- Тензорезисторы на бумажной основе.
- Тензорезисторы на пленочной основе.
- Тензорезисторы на металлической основе.

Эта структура и классификация помогают выбрать наилучшие тензорезисторы для конкретных условий измерений, обеспечивая необходимую точность и надежность.

2.2.2 Фольговые тензорезисторы

Фольговые тензорезисторы имеют чувствительную решетку, изготовленную из константановой фольги толщиной 2 – 10 микрон. В качестве основы используется не бумага, а специальная пленка или тонкий слой лака с хорошими диэлектрическими и адгезионными свойствами.

Преимущества фольговых тензорезисторов по сравнению с проволочными:

- Увеличенная площадь соединения решетки с основой: Это делает соединение более прочным и повышает стабильность измерений;
- Увеличенная теплоотдача: Расширяет диапазон рабочей температуры и допускает увеличение тока, питающего схему. Это позволяет в некоторых случаях отказаться от применения усилителя;
- Широкие перемычки на изгибах решетки: Это сводит к нулю поперечную чувствительность тензорезистора, обеспечивая более точные измерения.

Типы фольговых тензорезисторов

Фольговые тензорезисторы делятся на три основных типа:

- Прямоугольные: Имеют прямоугольную форму и используются в большинстве стандартных приложений;
- Розеточные: Содержат две, три или четыре решетки, расположенные на одной основе под определенным углом друг к другу. Они применяются для исследования плоского напряженного состояния испытываемых деталей;

– Мембранные: Используются для измерения деформаций радиального и тангенциального направлений, возникающих в круглых пластинах (мембранах, диафрагмах и т.д.).

Фольговые тензорезисторы обладают множеством преимуществ, которые делают их предпочтительными для различных приложений в точных измерениях и деформационных анализах. Их конструктивные особенности и широкий диапазон применения позволяют получить высокую стабильность и точность результатов.

2.3 Особенности монтажа КС с учётом вибрационного фактора

2.3.1 Способы установки тензорезисторов на объекте исследования

Установку тензорезисторов выполняют в зависимости от их типа, назначения и условий испытаний следующими способами:

– Наклейкой непосредственно на объект исследования клеями холодного отверждения или экспресс-клеями типа циакрин для тензорезисторов общего назначения;

– Наклейкой термореактивными клеями и лаками для высоко- и низкотемпературных тензорезисторов с рабочим температурным диапазоном 75 – 475 К, а также для тензорезисторов на чувствительных элементах тензорезисторных преобразователей;

– Монтажной контактной сваркой для высокотемпературных тензорезисторов на фольге с рабочим диапазоном температур до 725 – 975 К;

– Заделкой внутрь исследуемых элементов и образцов из полимеризующихся или схватывающихся материалов для тензорезисторных преобразователей внутренних деформаций и напряжений.

2.3.2 Материалы, используемые для наклейки тензорезисторов

Изготовители тензорезисторов, помимо самих датчиков, также поставляют заказчику клей для их крепления, снабжая полными инструкциями по его нанесению и сушке. Это позволяет обеспечить правильную установку тензорезисторов и гарантировать точность измерений.

Метрологические характеристики тензорезисторов устанавливаются на

заводах с использованием эталонного метрологического оборудования. Это гарантирует соответствие датчиков установленным стандартам качества и точности.

Производятся датчики с различными комбинациями системы "тип решетки – тип подложки – тип клея". Это позволяет решать специфические задачи тензометрирования в зависимости от требований к измерениям и условиям эксплуатации.

Следует отметить, что клей имеет значительно меньший срок хранения по сравнению с тензорезисторами. При замене клея на другой тип необходимо проводить важные метрологические исследования, так как большинство клеев общего назначения могут не обеспечивать необходимую стабильность, что в свою очередь снижает точность измерения деформаций.

В данном дипломном проекте выбран цианоакрилатный клей. Отвердевание цианоакрилатных клеев начинается при воздействии каталитической влаги при относительной влажности между 40 и 70%. Это делает их эффективными для быстрого и надежного крепления тензорезисторов на объект исследования.

Он может быть непригоден для склеивания сильно шероховатых поверхностей из-за неполного затвердевания толстых слоёв клеящего вещества, также требует незначительного давления на датчик для начала полимеризации. При этом окончательное отвердевание происходит примерно через 24 часа.

При продолжительной эксплуатации датчика имеет смысл защитить его от влаги, так как со временем в результате поглощения влаги прочность клея снижается.

| Тип клея | Рабочий диапазон температур, °С | Максимальная температура полимеризации, °С | Рабочий диапазон деформирования, % | Давление, кПа | Примечание |
|---|---------------------------------|--|------------------------------------|----------------|-----------------------|
| Циакрин | - 32...+65 | Комнатная | До 6 | Нажатие пальца | Требует герметизации |
| Полиимид | -269...+315 | -260 | 2 | 275 | Однокомпонентный |
| Эпоксидный клей | -269...+260 | - | 3...10 | 100...500 | Двух-трёхкомпонентный |
| УВС-10С | -70...+200 | 215 | ±0,3 | 600...800 | Однокомпонентный |
| БФР-2Н | 70...+200 | 215 | ±0,3 | 600...800 | Однокомпонентный |
| Керамическое связующее (фосфат алюминия с кремнием) | -269...+650 | 315 | - | - | - |

Рисунок 2.2 – Таблица клеев для установки тензорезисторов

2.3.2.1 Герметики

При испытаниях объектов в условиях повышенной влажности необходимо защищать тензорезисторы от воздействия влаги. Проникновение влаги в материалы подложки и клея может вызывать ряд негативных

последствий:

- Набухание материалов, что приводит к ухудшению механических характеристик;
- Снижение прочности и уменьшение модуля упругости, что может повлиять на работоспособность тензорезисторов;
- Увеличение ползучести датчиков при размягчении связующих веществ, что негативно сказывается на их точности;
- Изменение параметров электрической изоляции тензорезисторов от испытываемого объекта.

Для защиты тензорезисторов используются различные влагозащитные покрытия в зависимости от температуры и времени воздействия влажной среды. В условиях повышенной влажности при нормальной температуре защиту тензорезисторов можно обеспечить следующими способами:

Нанесение нескольких слоев влагостойких клеев: Для защиты рекомендуется наносить от 2 до 15 слоев влагостойких клеев, таких как:

- БФ-2;
- БФ-4;
- №88;
- ВК-32.

Другие влагостойкие материалы

Эти влагозащитные слои обеспечивают герметизацию тензорезисторов, предотвращая проникновение влаги и сохраняя их работоспособность даже в сложных условиях эксплуатации.

Надлежащая защита тензорезисторов от влаги критически важна для обеспечения их долговечности и точности измерений. Важно тщательно выбирать и правильно наносить влагозащитные покрытия, чтобы избежать нежелательных последствий и сохранить параметры устройства в заданных пределах.

2.4 Схемы включения тензорезисторов в измерительный мост с учётом высокочастотной вибрации

Измерение деформации с использованием тензорезистивных преобразователей представляет собой одно из самых сложных в технике электрических измерений. Это обусловлено малым диапазоном изменения сопротивления тензорезистора под воздействием деформации. Например, изменения сопротивления 100-Ом датчика при деформации 1 мкм/м составляют всего лишь 0,0002 Ом, что делает измерения деформации чрезвычайно точными и сложными.

Один из наиболее часто используемых методов преобразования малых изменений сопротивления в выходные сигналы напряжения – это использование мостовой схемы. Мостовая схема содержит несколько резисторов, образующих мост, и позволяет регистрировать даже самые малые изменения сопротивления.

Измерительный мост изображают в виде ромба со сторонами («плечами»), где точки соединения плеч называют вершинами либо узлами моста. Мост Уитстона с питанием от источника постоянного напряжения состоит из источника напряжения U , четырех резисторов (R_1 , R_2 , R_3 , R_4) и регистрирующей схемы, имеющей в своём составе резистор нагрузки R_M (рисунок 2.3). В представленных ниже уравнениях считается, что $R_M = \infty$, поэтому ток, проходящий через мост, не отклоняется в нагрузку. Подобная ситуация происходит в случае, когда сигнал с мостовой схемы направляется на вход электронного усилителя или аналого-цифрового преобразователя (АЦП).

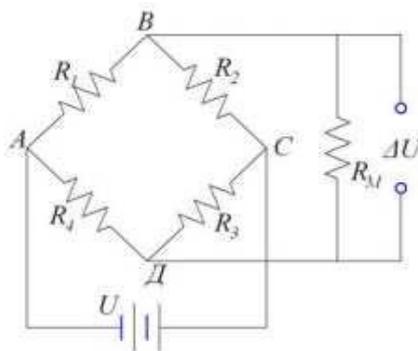


Рисунок 2.3 – Мост Уитстона

Выходное напряжение моста Уитстона (разность напряжений точек В и Д) находится из соотношения:

$$\Delta U = \frac{(R_1 R_3 - R_2 R_4)}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} U. \quad (2.1)$$

Из уравнения видно, что $\Delta U = 0$, если обеспечивается условие:

$$R_1 R_3 = R_2 R_4 \quad (2.2)$$

При выполнении равенства (2.2) мостовая схема считается сбалансированной. Отсюда следует, что малое напряжение разбаланса, созданное изменением сопротивления, находится относительно нулевого или почти нулевого уровня [7]. Сигнал возможно усилить до высокого уровня с целью последующей регистрации.

Изменение сопротивления резисторов R_1, R_2, R_3, R_4 , на величины $\Delta R_1, \Delta R_2, \Delta R_3, \Delta R_4$ создаёт выходное напряжение, равное ΔU . К примеру, подобные изменения сопротивления возникают из-за деформации или изменения температуры тензорезисторов.

Исходя из уравнения (2.1), изменение выходного напряжения ΔU , созданное приведёнными малыми изменениями сопротивлений, равняется:

$$\Delta U = \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) (1 - \eta) U, \quad (2.3)$$

где член η , описывающий погрешность (нелинейность моста), выражается через соотношение:

$$\eta = \frac{\frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} + \frac{\Delta R_4}{R_4}}{\frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} + \frac{\Delta R_4}{R_4} + 2}. \quad (2.4)$$

Для включения в измерительный мост будем брать датчики из одной партии с равным номинальным сопротивлением $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$ и одинаковым коэффициентом тензочувствительности $k_1 = k_2 = k_3 = k_4 = k$.

Определим изменения относительных сопротивлений тензодатчиков с использованием действующих на них деформаций:

$$\frac{\Delta R_i}{R} = k\varepsilon_i, \quad (2.5)$$

где $i = 1, 2, 3, 4$.

После подстановки (2.5) в выражения (2.3) и (2.4) получаем:

$$\Delta U = k\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4(1-\eta)U, \quad (2.6)$$

$$\eta = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4 + \frac{2}{k}}. \quad (2.7)$$

Из выражений (2.3), (2.4), (2.6) и (2.7) вытекают следующие важные свойства измерительного моста:

- Деформации, воздействующие на тензорезисторы противоположных плеч, складываются внутри измерительного моста;
- Деформации, воздействующие на тензорезисторы смежных плеч моста, вычитаются внутри измерительного моста;
- Погрешность моста (нелинейность) пропорциональна сумме всех

деформаций, которые регистрируются тензорезисторами.

В технике электрических измерений существует несколько видов мостовых схем («четверть моста», «полумост» и «полный мост»), выбор каждой из которых зависит от количества тензорезисторов, включаемых в измерительный мост (рисунок 2.4). Возможны различные варианты включения тензорезисторов в измерительный мост – последовательно, параллельно, и смешанно.

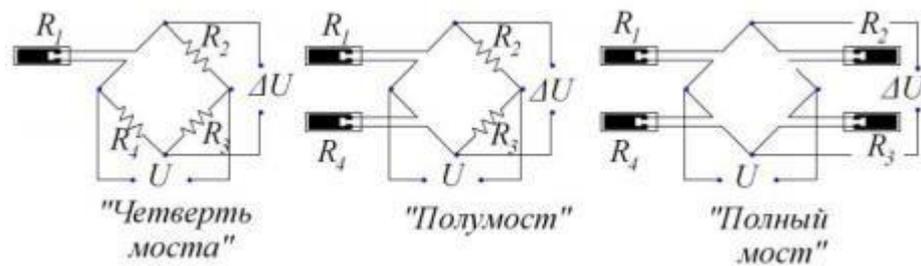


Рисунок 2.4 – Модификация измерительного моста

Тензорезисторы, как правило, размещаются на поверхности подвергаемого воздействию деформаций объекта, тогда как дополнительные резисторы располагаются в самих измерительных устройствах.

2.5 Расчёт напряженного состояния в точке по показаниям тензорозеток

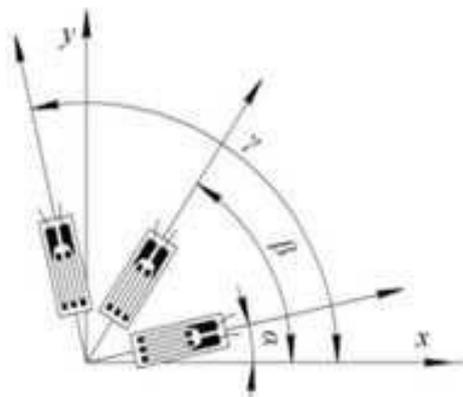
При измерении плоского напряженного состояния на поверхности детали, характеризующегося компонентами тензора напряжений σ_x , σ_y и τ_{xy} , используется система датчиков, называемая "розеткой". Для подсчёта этих трёх составляющих необходимо измерить значения компонентов тензора деформаций ε_x , ε_y и γ_{xy} , имея известные постоянные материала, такие как модуль упругости E и коэффициент Пуассона μ :

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_x + \mu\varepsilon_y), \sigma_y = \frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_y + \mu\varepsilon_x), \tau_{xy} = G\gamma_{xy}, G = \frac{E}{2(1+\mu)} \quad (2.8)$$

Однако, следует отметить, что деформацию сдвига γ_{xy} измерить напрямую невозможно, так как тензорезисторы реагируют только на линейные деформации ε_x , ε_y и не чувствительны к деформациям сдвига. Задачу решают следующим образом. В точке тела измеряются линейные деформации ε_α , ε_β и ε_γ в трех направлениях под определёнными углами α , β , и γ относительно оси x (Рисунок 2.5) и затем рассчитываются компоненты тензора напряжений.

Уравнения преобразования деформаций при повороте осей координат выглядят следующим образом:

$$\begin{cases} \varepsilon_\alpha = \varepsilon_x \cos^2 \alpha + \varepsilon_y \sin^2 \alpha + \gamma_{xy} \cos \alpha \sin \alpha, \\ \varepsilon_\beta = \varepsilon_x \cos^2 \beta + \varepsilon_y \sin^2 \beta + \gamma_{xy} \cos \beta \sin \beta, \\ \varepsilon_\gamma = \varepsilon_x \cos^2 \gamma + \varepsilon_y \sin^2 \gamma + \gamma_{xy} \cos \gamma \sin \gamma, \end{cases} \quad (2.9)$$



Решив систему уравнений (2.9), находим требуемые деформации ε_x , ε_y и γ_{xy} (в декартовой системе координат) через показания ε_α , ε_β и ε_γ тензорозетки.

Рисунок 2.5 – Ориентация датчиков относительно оси x

Таким образом, система датчиков "розетка" позволяет оценивать напряженное состояние и деформации материала путем измерения линейных деформаций в различных направлениях.

2.5.1 Обработка показаний трехэлементной прямоугольной розетки

Исходные данные: материал-сталь ($E = 1,4 \cdot 10^5$ МПа, $\mu = 0,3$), $\varepsilon_\alpha = 1,8 \cdot 10^{-3}$,

$$\varepsilon_\beta = 1,5 \cdot 10^{-3}, \quad \varepsilon_\gamma = 0,8 \cdot 10^{-3}.$$

На практике применяют различные конструкции тензорозеток.

Тензорезисторы в прямоугольной трехэлементной розетке расположены под углами 45° друг к другу (Рисунок 2.6).

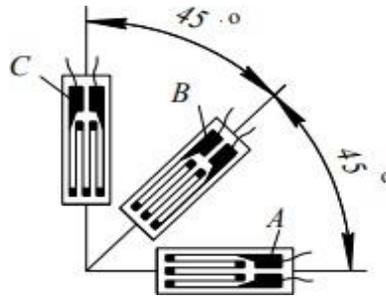


Рисунок 2.6 – Прямоугольная трёхэлементная тензорозетка

Трехэлементные прямоугольные розетки используют в тех случаях, когда хотя бы приблизительно известно направление главных напряжений на поверхности детали. Датчики А и С ориентируют по этим направлениям [11]. Для прямоугольной трехэлементной розетки в соответствии с рис. 6 угловые направления датчиков имеют следующие значения $\alpha=0^\circ$, $\beta=45^\circ$, $\gamma=90^\circ$. Тогда из уравнений системы (2.9) следует:

$$\varepsilon_\alpha = \varepsilon_x = 1,8 \cdot 10^{-3},$$

$$\varepsilon_\beta = \frac{(\varepsilon_x + \varepsilon_y + \gamma_{xy})}{2}, \quad (2.10)$$

$$\varepsilon_\gamma = \varepsilon_y = 0,8 \cdot 10^{-3}$$

Для вычисления деформации сдвига γ_{xy} из соотношений (2.10) получаем следующее выражение:

$$\gamma_{xy} = 2\varepsilon_\beta - \varepsilon_\alpha - \varepsilon_\gamma \quad (2.11)$$

$$\gamma_{xy} = 3 \cdot 10^{-3} - 1,8 \cdot 10^{-3} - 0,8 \cdot 10^{-3} = 0,4 \cdot 10^{-3}$$

Угол, определяющий направление главных деформаций относительно оси x , находим из уравнения:

$$\tan 2\alpha = \frac{\varepsilon_{xy}}{\varepsilon_x - \varepsilon_y} = \frac{2\varepsilon_\beta - \varepsilon_\alpha - \varepsilon_\gamma}{\varepsilon_\alpha - \varepsilon_\gamma} \quad (2.12)$$

$$\tan 2\alpha = \frac{0,4 \cdot 10^{-3}}{1,8 \cdot 10^{-3} - 0,8 \cdot 10^{-3}} = 0,4$$

Уравнению удовлетворяют два угла: $\alpha^* = 0,19$ рад и $\alpha^{**} = (0,19 + \pi/2)$ рад.

Подсчитаем деформации ε^* и ε^{**} по направлениям α^* и α^{**} :

$$\varepsilon^* = \varepsilon_x \cos^2 \alpha^* + \varepsilon_y \sin^2 \alpha^* + \gamma_{xy} \cos \alpha^* \sin \alpha^*, \quad (2.13)$$

$$\varepsilon^* = 1,8 \cdot 10^{-3} \cos^2(0,19) + 0,8 \cdot 10^{-3} \sin^2(0,19) + 0,4 \cdot 10^{-3} \cos(0,19) \sin(0,19) = 0,00183852;$$

$$\varepsilon^{**} = \varepsilon_x \cos^2 \alpha^{**} + \varepsilon_y \sin^2 \alpha^{**} + \gamma_{xy} \cos \alpha^{**} \sin \alpha^{**}, \quad (2.14)$$

$$\varepsilon^{**} = 1,8 \cdot 10^{-3} \cos^2(1,76) + 0,8 \cdot 10^{-3} \sin^2(1,76) + 0,4 \cdot 10^{-3} \cos(1,76) \sin(1,76) = 0,000761485.$$

То же самое запишем через показания тензорозетки:

$$\varepsilon^* = \varepsilon_\alpha \cos^2 \alpha^* + \varepsilon_\gamma \sin^2 \alpha^* + (2\varepsilon_\beta - \varepsilon_\alpha - \varepsilon_\gamma) \cos \alpha^* \sin \alpha^*, \quad (2.15)$$

$$\varepsilon^{**} = \varepsilon_\alpha \cos^2 \alpha^{**} + \varepsilon_\gamma \sin^2 \alpha^{**} + (2\varepsilon_\beta - \varepsilon_\alpha - \varepsilon_\gamma) \cos \alpha^{**} \sin \alpha^{**}. \quad (2.16)$$

Большую из этих деформаций принято считать главной деформацией ε_1 .

Т.к. $\varepsilon^* > \varepsilon^{**}$, то $\varepsilon_1 = \varepsilon^*$, $\varepsilon_2 = \varepsilon^{**}$, $\alpha_1 = \alpha^*$, $\alpha_2 = \alpha^{**}$.

Теперь, зная значения главных деформаций ε_1 и ε_2 , определяем главные нормальные (σ_1 и σ_2) и максимальное касательное τ_{\max} напряжения в точке:

$$\sigma_1 = \frac{E}{(1-\mu^2)}(\varepsilon_1 + \mu \varepsilon_2), \sigma_2 = \frac{E}{(1-\mu^2)}(\varepsilon_2 + \mu \varepsilon_1), \tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}, \quad (2.17)$$

$$\sigma_1 = \frac{1,4 \cdot 10^{11}}{(1-(0,3)^2)}(0,00183852 + 0,3 * 0,000761485) = 2,82849 * 10^8 \text{ Па},$$

$$\sigma_2 = \frac{1,4 \cdot 10^{11}}{(1-(0,3)^2)}(0,000761485 + 0,3 * 0,00183852) = 1,17152 * 10^8 \text{ Па},$$

$$\tau_{\max} = \frac{2,82849 \cdot 10^8 - 1,17152 * 10^8}{2} = 8,28485 * 10^7 \text{ Па}.$$

2.6 Оценка результатов тензометрирования динамических процессов

Методика обработки результатов тензометрирования динамических процессов в значительной степени определяется видом исследуемого процесса. Все процессы, имеющие место в машинах, делят в самом общем виде на детерминированные и недетерминированные.

К детерминированным относятся процессы, которые могут быть описаны точными математическими соотношениями. К недетерминированным – процессы, которые описывают с помощью осредненных статистических характеристик.

Детерминированные процессы могут быть периодическими и непериодическими. В свою очередь, периодические процессы делят на моногармонические и полигармонические. К числу непериодических относят переходные процессы и так называемые почти гармонические процессы, характерная особенность последних состоит в том, что отношения составляющих их частот представляют иррациональные числа.

Недетерминированные (случайные) процессы делят на стационарные и нестационарные. Стационарные процессы отличаются тем, что среднее значение процесса и автокорреляционная функция не зависят от момента времени их измерения. В нестационарном процессе эти параметры меняются с изменением момента времени их измерения [10].

Стационарные процессы, кроме того, подразделяют на эргодические и неэргодические. Отличие эргодических процессов состоит в том, что любая статистическая характеристика, полученная усреднением по множеству возможных реализаций с вероятностью близкой к единице, может быть получена усреднением за достаточно большой промежуток времени из одной реализации. Практически все стационарные процессы обладают свойством эргодичности.

Результаты тензометрирования как детерминированных, так и недетерминированных процессов прежде всего подвергают общей проверке, цель которой выявление и исключение аномальных или искаженных результатов, которые могут быть получены из-за неисправности измерительных средств или наложения помех. Если используется осциллографическая регистрация, то общую проверку может выполнить визуально опытный специалист. При скрытой форме регистрации для проверки результатов тензометрирования динамических процессов используют специальные устройства, в частности анализаторы спектра.

Следующий этап обработки результатов тензометрирования – дискретизация также является общим для анализа детерминированных и недетерминированных процессов. Задача заключается в выборе величины интервала дискретности Δt . Если интервал слишком велик, то может быть потеряна информация о высокочастотных составляющих процесса. При слишком малом интервале число получаемых данных становится избыточным, что повышает трудоемкость обработки и последующих вычислительных операций.

Ширину интервала следует выбирать в соответствии с выводами из теоремы Котельникова–Шенона. Согласно этой теореме любая функция в конечном интервале частот может быть определена ее дискретными значениями, взятыми через равные интервалы:

$$\Delta t \leq \frac{1}{2f_B}, \quad (2.18)$$

где f_B – частота высшей гармонической составляющей, присутствующей в исследуемом процессе.

После дискретизации осуществляют квантование результатов регистрации, т. е. представление значений непрерывного процесса конечным числом уровней квантования.

Операции дискретизации и квантования могут выполняться вручную при обработке осциллографической записи, с помощью приборов для обработки осциллограмм, а при магнитной записи или при применении преобразователей графиков в цифровой код с помощью специализированных анализаторов или универсальных ЭВМ.

В результате обработки получают данные в цифровой форме. В зависимости от используемых средств обработки данные получают в виде напечатанных числовых столбцов, в виде цифр на счетчиках или в виде кода, нанесенного на перфоленду или перфокарты, при ручной обработке осциллограмм данные получают в виде таблиц, состоящих из двух граф и n столбцов. В верхние графы заносят значения времени кратные интервалу дискретности, а в нижние соответствующие этим значениям времени ординаты осциллограммы. Полученные данные являются исходными для последующей обработки.

Детерминированные процессы. В практике анализа детерминированных процессов могут иметь место две основные задачи:

- функциональная зависимость между исследуемыми переменными величинами известна. В формуле, выражающей эту зависимость, содержатся постоянные, которые необходимо определить из экспериментальных данных;
- в результате тензометрирования получен ряд значений переменных, но характер функциональной зависимости между ними неизвестен. Из результатов регистрации нужно найти аналитическое выражение зависимости

между переменными (эмпирическую формулу). При решении этих задач наиболее распространен способ наименьших квадратов, который может быть реализован при малом объеме обработки вручную, а при большом – на ЭВМ.

При тензометрировании машин циклического действия (моногоармонические и полигармонические процессы) результаты могут быть проанализированы путем вычисления коэффициентов ряда Фурье. *Случайные процессы.* Анализ результатов тензометрирования случайных процессов начинают с оценки трех основных свойств процесса: стационарности, наличия периодичностей и нормальности.

Стационарность процесса может быть определена в результате рассмотрения физической природы исследуемого процесса. Если основные физические факторы, определяющие процесс, не зависят от времени, то можно полагать, что такой процесс стационарен.

Более надежные результаты оценки могут быть достигнуты после получения и анализа статистических характеристик процесса.

Наличие **периодических** или **почти периодических** составляющих в случайном процессе при больших амплитудах этих составляющих почти очевидно. При малых амплитудах периодических составляющих их можно обнаружить в случайных процессах после анализа оценок спектральной плотности, плотности распределения и автокорреляционной функции, сочетая этот анализ с анализом физического существа этих процессов.

Нормальность реализации стационарного случайного процесса может быть наиболее просто установлена после определения плотности распределения значений процесса и сопоставления ее с теоретическим распределением.

При обработке результатов тензометрирования случайных процессов обычно оценивают следующие статистические характеристики.

Среднее значение и среднее значение квадрата. Как было указано в п. 19 среднее значение и среднее значение квадрата определяют среднюю мощность и дисперсию процесса, которые характеризуют интенсивность

работы объекта исследования. Эти оценки важны для большинства задач тензометрирования случайных процессов.

Результаты определения среднего значения и среднего значения квадрата, вычисленные за относительно короткие отрезки времени, могут быть использованы при проверке стационарности исследуемого процесса.

Кроме того, эти две оценки используют для проверки средств обработки, поскольку эти же оценки могут быть найдены из других характеристик процесса, например, графиков плотности распределения получаемых на последующих этапах обработки результатов.

Эти характеристики получают вручную, с помощью аналоговых интеграторов выходного сигнала от тензорезисторов, с помощью специализированных анализаторов, например, НК–200 и ЭВМ.

Автокорреляционная функция представляет собой обратное преобразование Фурье спектральной плотности. Автокорреляционная функция является эффективным инструментом выделения скрытых в случайном процессе периодичностей, что очень важно, например, при исследованиях в области технической диагностики машин, которые часто выполняют с помощью тензорезисторов и тензорезисторных преобразователей механических величин.

Автокорреляционную функцию определяют с помощью коррелометров и коррелографов, а также с помощью неспециализированных ЭВМ.

Спектральная плотность (спектральная характеристика) описывает частотный состав процесса. Спектральная плотность в функции частоты характеризует энергетический спектр, который в свою очередь дает информацию о динамических характеристиках объекта исследования. Спектральную характеристику процесса получают с помощью анализаторов спектров, обычно звуковых частот, так как частотный спектр деформаций узлов большинства машин, а также частоты изменения механических параметров находится в этом диапазоне. Спектральная характеристика может быть получена также с помощью анализатора ЭАСП–С.

2.7 Вывод по основной части

В основной части был описан выбор тензорезисторов, различных типов клеев под конкретное испытание в зависимости от частоты вибрации а так же от температуры проведения испытаний.

Описана наиболее универсальная расположение тензорезисторов а так же схема их подключений. Приведен расчёт главных нормальных напряжений а так же максимального касательного изделия из стали. Описана оценка результатов тензометрирования различных динамических процессов. Произведен подбор соединительных проводов под выбранный тип тензодатчиков и объединения проводов кабельной сети в единый жгут для уменьшения помех, а так же для снижения рисков повреждения проводов во время проведения испытаний.

3 ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ЧАСТЬ

В эксплуатационной части дипломного проекта необходимо разработать руководство по эксплуатации вибрационного стенда с модернизированной наземной кабельной сетью (НКС) для проведения вибродинамических испытаний (ВДИ).

3.1 Назначение, состав и принцип действия вибросистемы

Установка предназначена для проведения ВДИ изделий и образцов РКТ. Основными элементами электродинамической испытательной вибросистемы являются электродинамический виброгенератор (или “вибратор”) и цифровой коммутирующий усилитель. На рисунке 3.1 представлена типовая система для проведения вибрационных испытаний.

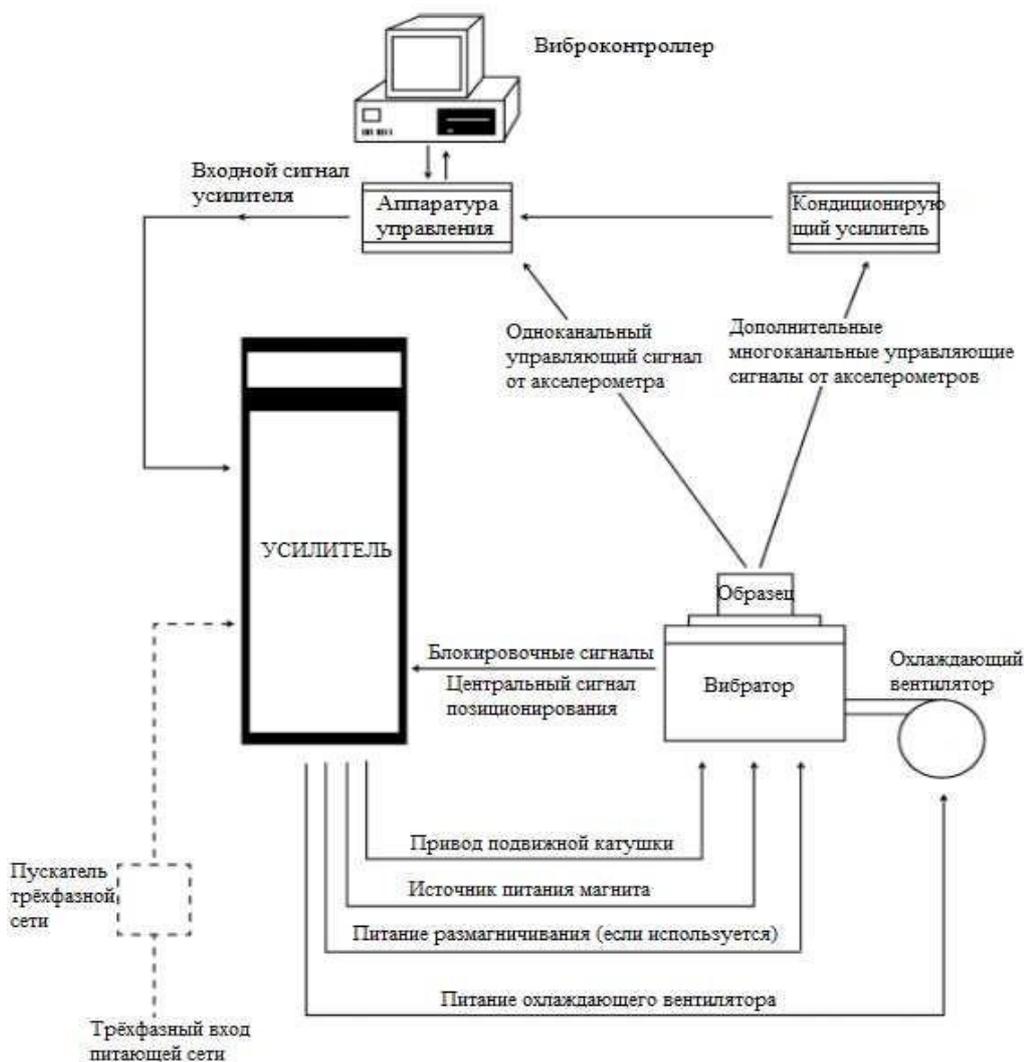


Рисунок 3.1 – Типовая система для вибрационных испытаний

3.1.1.1 Вибратор

3.1.1.2 Назначение, состав и стандартные функции

Вибраторы представляют собой функционирующие в широкой полосе частот преобразователи, предназначенные для создания характеризующейся управляемым уровнем вибраций среды, необходимой для проведения достоверных испытаний на качество и надежность компонентов и узлов оборудования. Вибратор полностью совместим с выходом усилителей.

Вариант модели, смонтированный на основании, разработан для использования только для вертикальной оси.

Размер подвижной катушки вибратора 640 мм. Максимальная выталкивающая сила для каждой комбинации вибратор/подвижная катушка зависит от мощности усилителя, используемого для усиления сигнала, подаваемого на вибратор.

Стандартная модель вибратора содержит:

1. Выступающие (шестиугольные) вставки для крепления полезной нагрузки;
2. Встроенную опору нагрузки;
3. Систему позиционирования центра;
4. Комплект катушки размагничивания;
5. Отдельный охлаждающий вентилятор и пневматический бокс-пьедестал;
6. Кнопки включения аварийного останова;
7. Пневмоопоры.

В комплект вибратора могут входить различные дополнительные устройства:

8. Система транспортирования, в состав которой входят четыре наполненных воздухом колеса, каждое из которых установлено под воздушной опорой;
9. Опоры пола климатической камеры;
10. Глушитель охлаждающего вентилятора или акустический кожух;

11. Комплект инструментов.

3.1.1.3 Силовой и сигнальный входы

На рисунке 3.2 изображен вибратор, смонтированный на основании. На вибратор и охлаждающий вентилятор подаются следующие входные сигналы:

1. Сигнал запуска подвижной катушки;
2. Источник постоянного тока для питания катушки подмагничивания;
3. Источник переменного тока для питания охлаждающего вентилятора;
4. Декодирующая электрическая схема для передачи блокировочных сигналов (сигналы неисправности), генерируемых вибратором.

Для управления вибросистемой необходимо наличие источника сигналов/контроллера, при помощи которых осуществляется запуск усилителя, также необходима подача сжатого воздуха.

3.1.1.4 Принцип работы

Виброгенератор, схематично показанный на рисунке 3.3, состоит из двух основных компонентов: корпуса и подвижной катушки. В корпусе вибратора размещены катушки подмагничивания, необходимое для работы вибратора. Блок подвижной катушки подвешен внутри тела вибратора в среднем положении; как только на подвижную катушку подан переменный ток, начинается управляемое движение блока подвижной катушки относительно среднего положения. Испытываемая нагрузка прикрепляется к столу, расположенному в верхней части блока подвижной катушки.

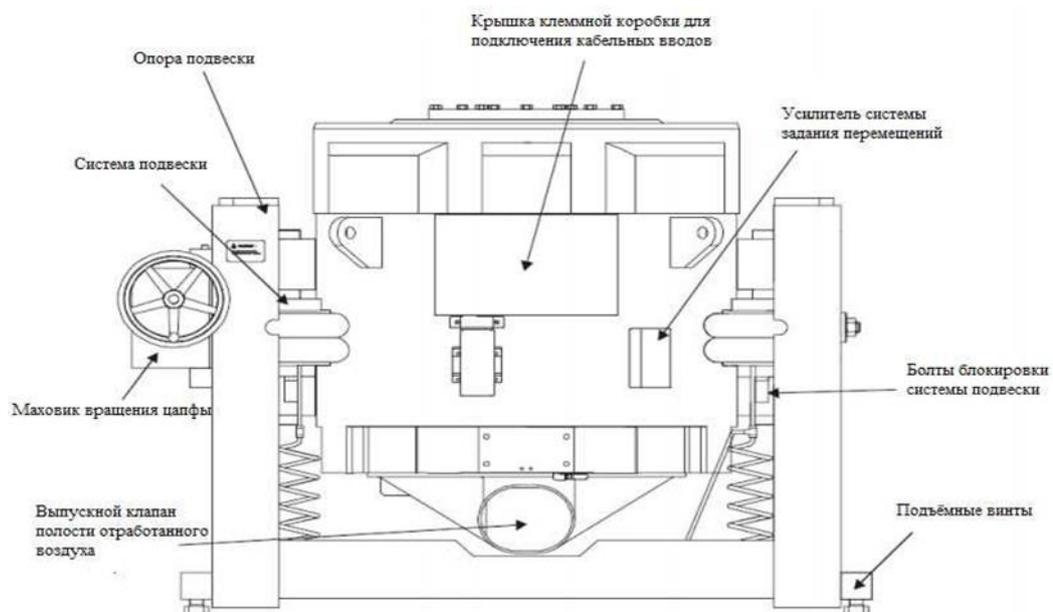


Рисунок 3.2 – Вибратор, смонтированный на основании

Тело вибратора содержит верхнюю пластину, состоящую из сегментов, кольцеобразный корпус тела, центральный столб, нижнюю пластину и четыре катушки подмагничивания, образующие магнитную систему вибратора.

На рисунке 3.3 изображен схематичный чертёж вибратора. Стрелки, выходящие из тела вибратора, показывают направление магнитных полей, создаваемых внутри него. Конструкция электромагнита обеспечивает создание в воздушных зазорах магнитного потока сверхвысокой плотности, а на уровне стола подвижной катушки потока, плотность которого характеризуется низким уровнем магнитного рассеяния.

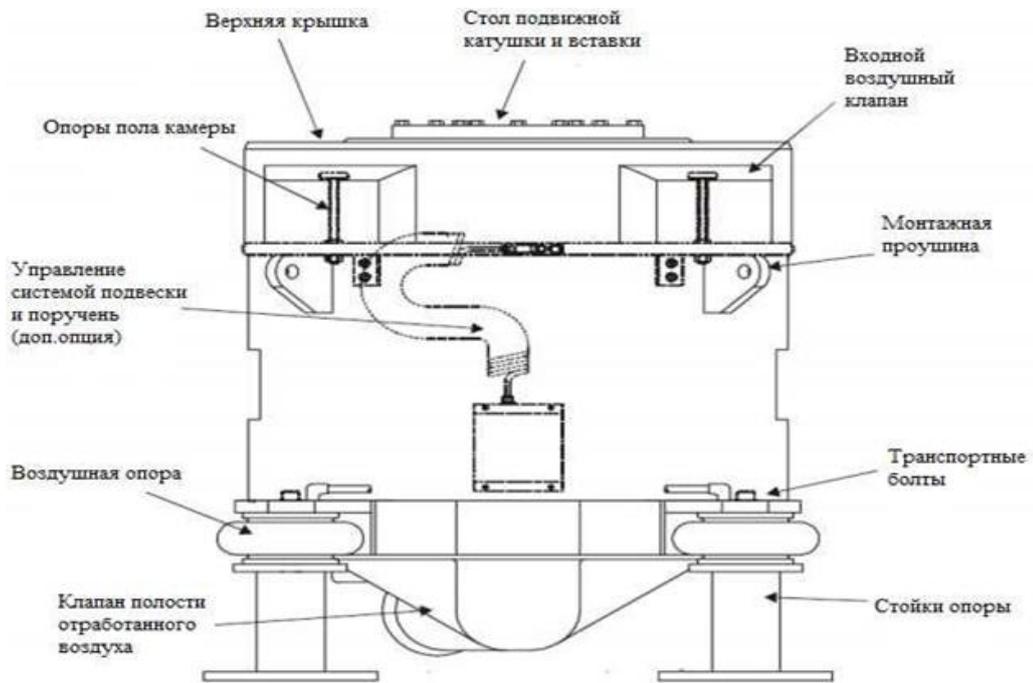


Рисунок 3.3 – Вибратор, смонтированный на цапфе воздушной опоры

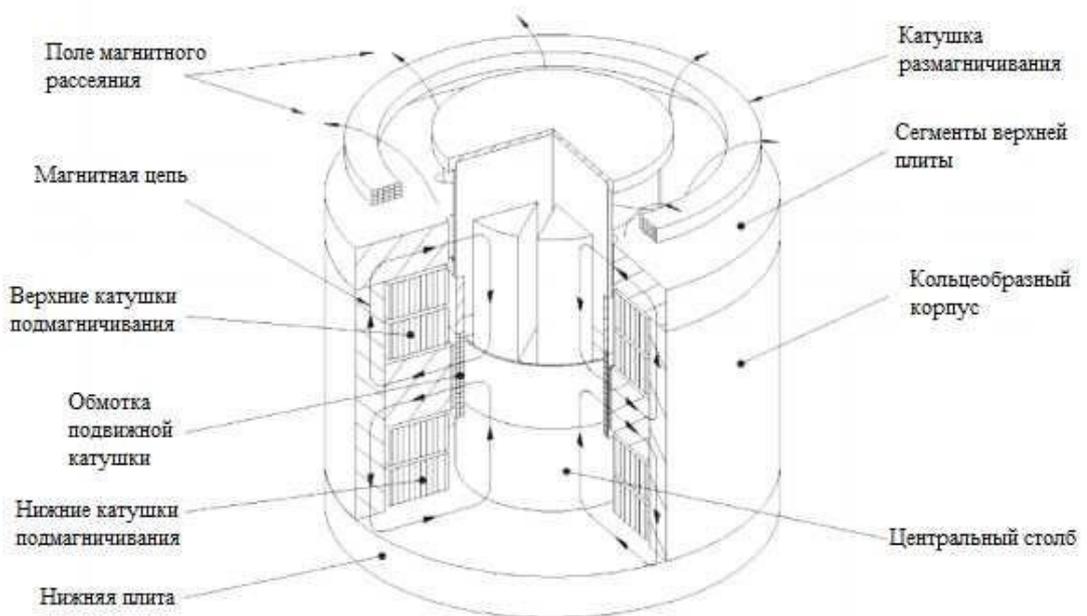


Рисунок 3.4 – Схематичный чертёж вибратора

Срок службы вибратора будет снижаться при использовании его в течение длительных периодов времени:

- При высоких уровнях виброускорения «g»;
- При больших уровнях виброскорости;
- При больших виброперемещениях;

- На фиксированной частоте;
- Горизонтально;
- Вертикально со смещающейся нагрузкой;
- При высокой влажности и/или высокой температуре окружающей среды;
- В агрессивной среде (например, пары растворителя).

3.1.2 Усилитель

3.1.2.1 Назначение и функции

Усилители мощности предназначены для обеспечения энергией подвижной катушки вибратора, подмагничивания и охлаждающего вентилятора, входящих в состав вибрационных систем с воздушным охлаждением.

Усилители имеют блочную конструкцию и отдают мощность в диапазоне от 8 кВА до 56 кВА в соответствии с требованиями для вибраторов воздушного охлаждения.

Коэффициентом усиления усилителя можно управлять с встроенного пульта локального управления, установленного на усилителе; однако обычно коэффициент усиления регулируют с помощью внешней аппаратуры контроля.

Разносторонний системный мониторинг обеспечивается управляющей схемой системы блокировки. При выходе определенных рабочих параметров вибратора, источников питания или усилителя мощности за верхние или нижние допустимые пределы усилитель мгновенно отключается, а на экране прибора пользователь видит индикацию функции блокировки.

Усилитель выполняет следующие функции:

- Обеспечение необходимого питания катушек подмагничивания;
- Обеспечение усиления сигнала от внешнего источника для запуска подвижной катушки вибратора;
- Обеспечение питания охлаждающего вентилятора;
- Обеспечение необходимого питания вспомогательного оборудования вибратора;

- Контроль блокирующих сигналов системы и инициирование прекращения работы усилителя в случае, если в системе обнаружено отклонение от нормы.

Основные функции усилителя схематически показаны на рисунке 3.5.



Рисунок 3.5 – Основные функции усилителя

3.1.2.2 Конструкция усилителя

Все усилители данной серии имеют блочную структуру, выходными модулями в них являются модули 8 кВА «класса D». Такая блочная конструкция позволяет усилителям иметь пониженную выходную мощность (за счет удаления силовых модулей), что дает возможность вибратору работать при параметрах ниже максимальных. Такие системы можно «разогнать» до максимума (путем добавления силовых блоков), если это потребуется в будущем.

Усилитель 56 К имеет размеры 420x110x277 мм и имеет от одного до семи модулей мощности, обеспечивающий выход от 8 кВА до 56 кВА и предназначен для использования с вибратором V8. Выход усилителя 56 К с семью модулями ограничен мощностью 50 кВА, которая является максимально необходимой для возбуждения вибратора V8.

Управление работой усилителя будет осуществляться с помощью пульта дистанционного управления. Управление может быть также реализовано автоматически с помощью беспотенциальных контактов.

Входной сигнал усилителя соответствующим образом обрабатывается, а затем усиливается с помощью модулей мощности для обеспечения высокой мощности, которая требуется для запуска подвижной катушки вибратора. Коэффициент усиления можно регулировать вручную посредством потенциометра «Главный коэффициент усиления» (MASTER GAIN), который расположен на пульте локального управления. Однако на практике коэффициент усиления принято регулировать с помощью внешнего источника сигналов/контроллера.

Каждый модуль мощности охлаждается встроенным вентилятором; дополнительное охлаждение всех силовых блоков осуществляется посредством вентиляторов, закрепленных на задней части корпуса усилителя. Вентиляционные решетки на фронтальной стороне корпуса усилителя и в его цокольной части позволяют воздуху проходить сквозь корпус и выбрасываться через заднюю сторону.

На рисунках 3.6, 3.7 и 3.8 иллюстрируется размещение основных компонентов внутри корпуса усилителя.

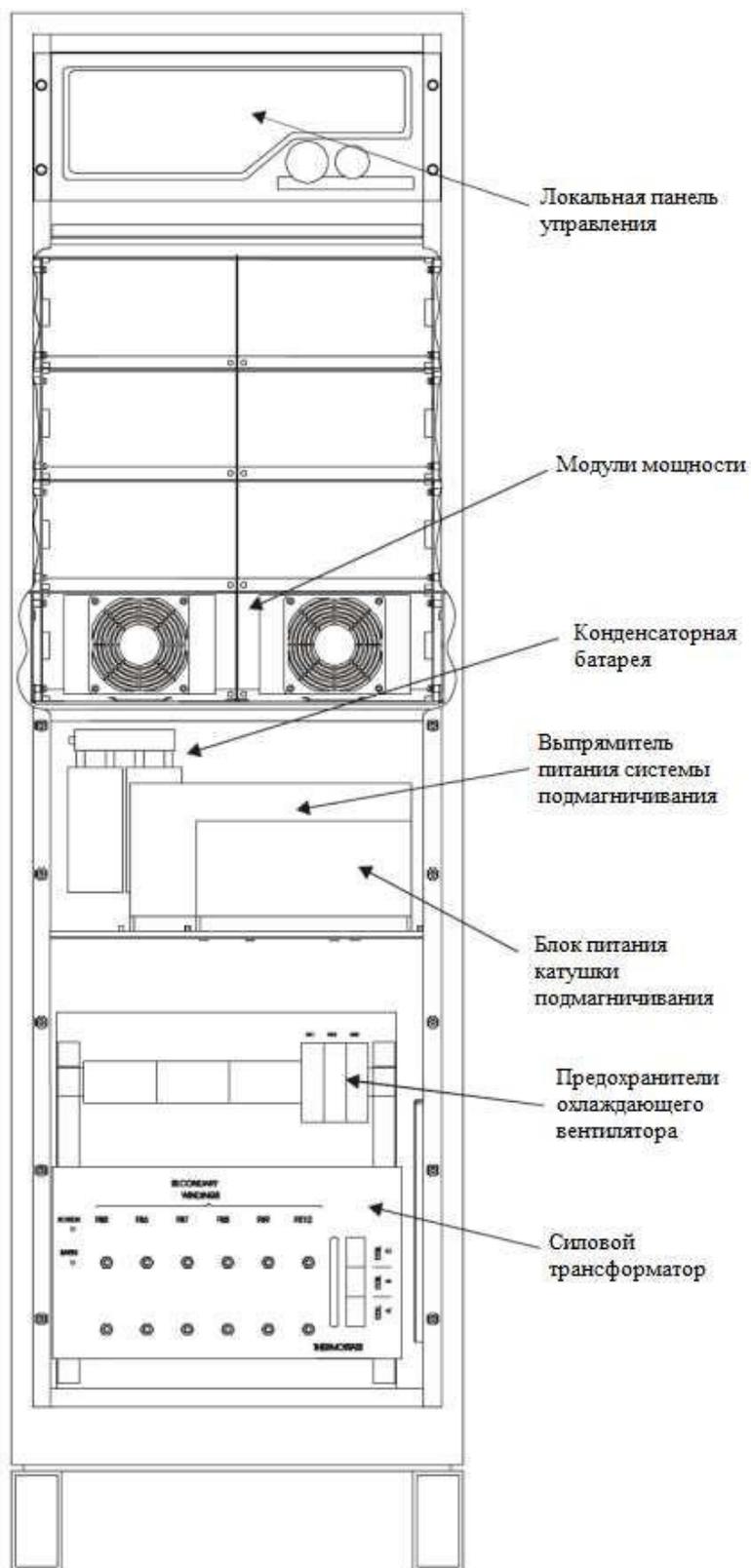


Рисунок 3.6 – Фронтальный вид корпуса усилителя

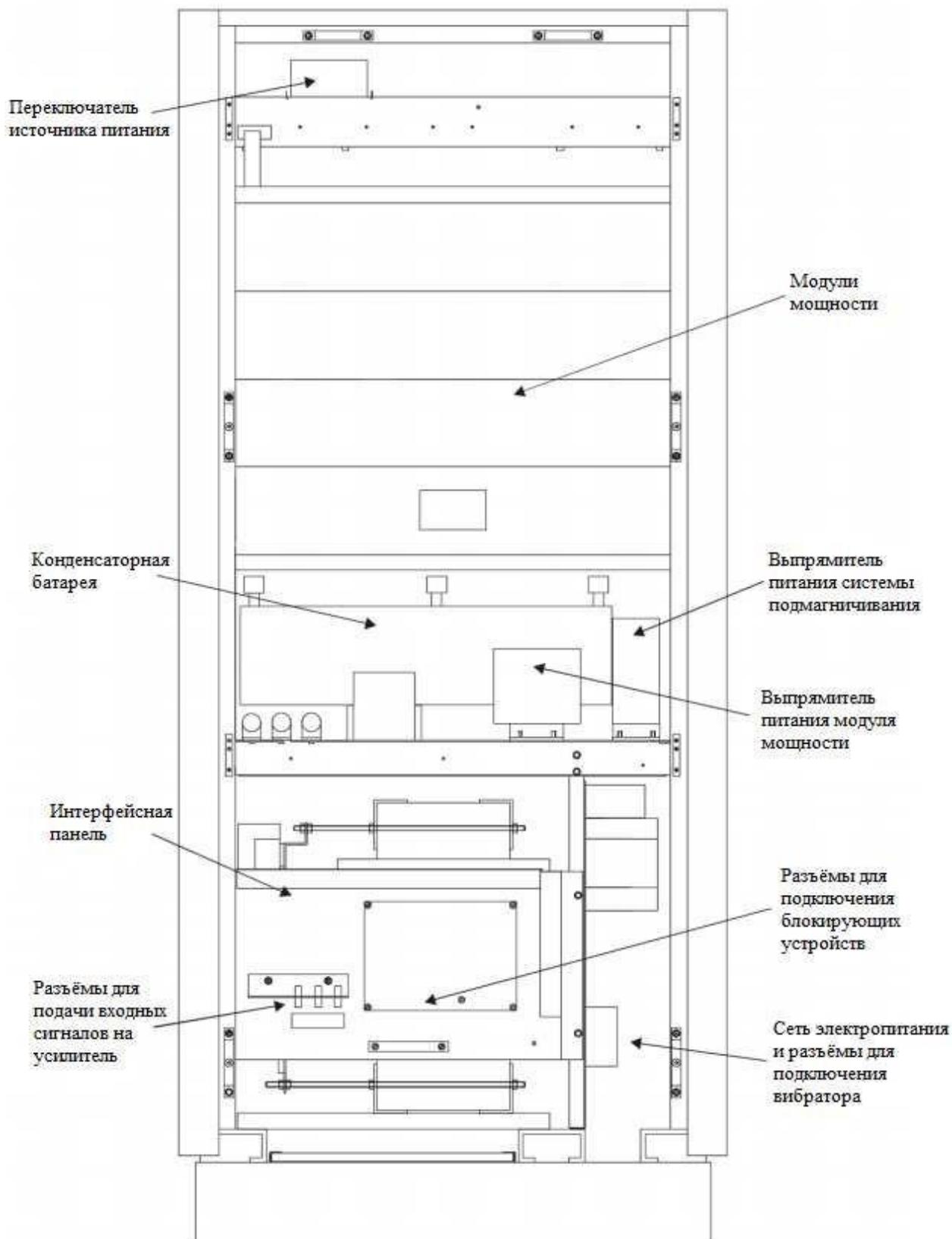


Рисунок 3.7 – Корпус усилителя, вид сбоку

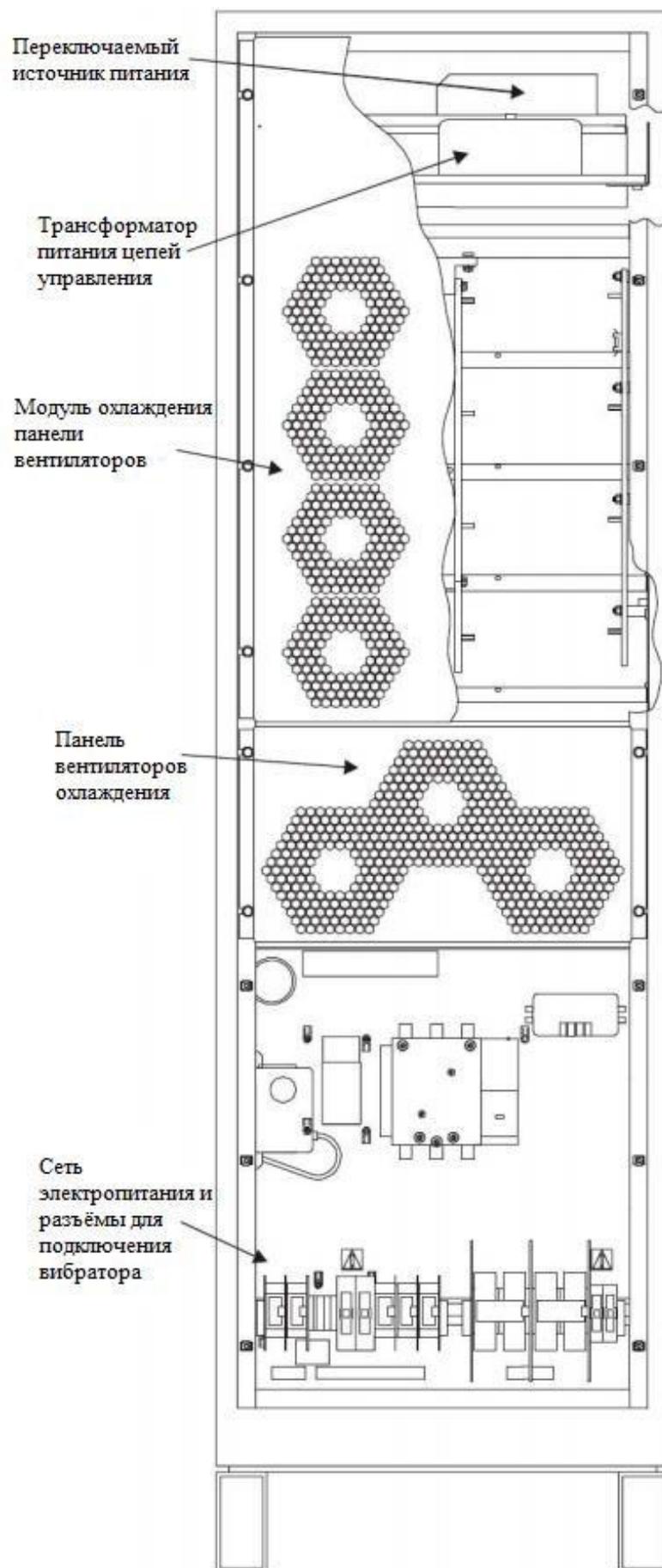


Рисунок 3.8 – Корпус усилителя, вид сзади

3.1.3 Программное обеспечение для информирования полученных результатов.

В результате проведения вибродинамических испытаний при помощи блока усилителя получается большой объем данных, который с помощью специализированных ПО выводится на экран операторов.

Одним из таких ПО является ZETLAB VIBRO, позволяющее представлять большой спектр различных испытаний в виде графиков и диаграмм.

В настоящем дипломном проекте визуализированна работа ПО на примере гармонических вибраций.

Программа Гармоническая вибрация позволяет определить динамические характеристики испытуемого изделия в «идеальных» условиях (поскольку синусоидальная вибрация в чистом виде не может быть воспроизведена в реальных условиях), а также выявить основные резонансные частоты и грубые механические дефекты на этапе разработки и выпуска изделия.

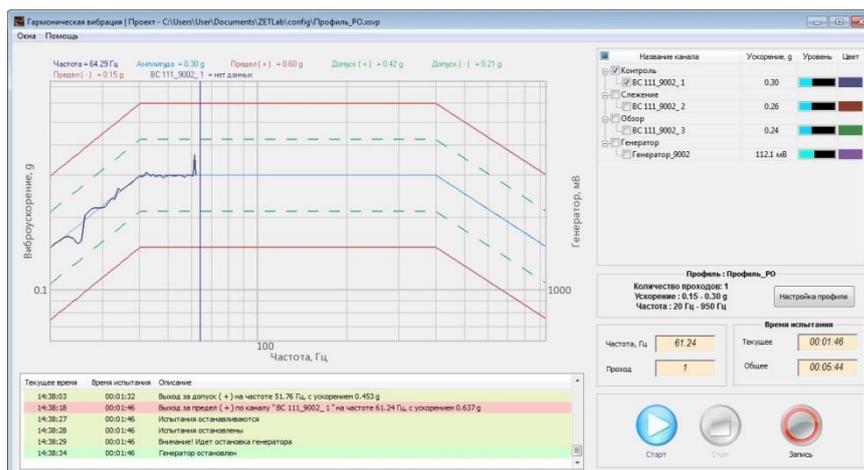


Рисунок 3.9 – Пример визуализации программы ZETLAB VIBRO

Обновлённый более удобный интерфейс настройки параметров профиля испытаний разработан таким образом, чтобы максимально исключить возможность ошибки при заполнении оператором:

- Автоматический пересчет взаимно зависимых параметров вибрации – виброускорение, виброскорость и виброперемещение; при введении одного из

них, остальные заполняются автоматически;

- Возможность выбора определённого типа развёртки индивидуально для каждой контрольной точки – без развёртки, с фиксацией на заданной частоте и удержание частоты резонанса с выбранной фазой;
- Возможность в автоматическом режиме перестроить профиль испытаний на максимально допустимый или минимально допустимый, учитывая результаты проведения предтеста, активировав соответствующие кнопки в окне программы «Редактирование профиля».

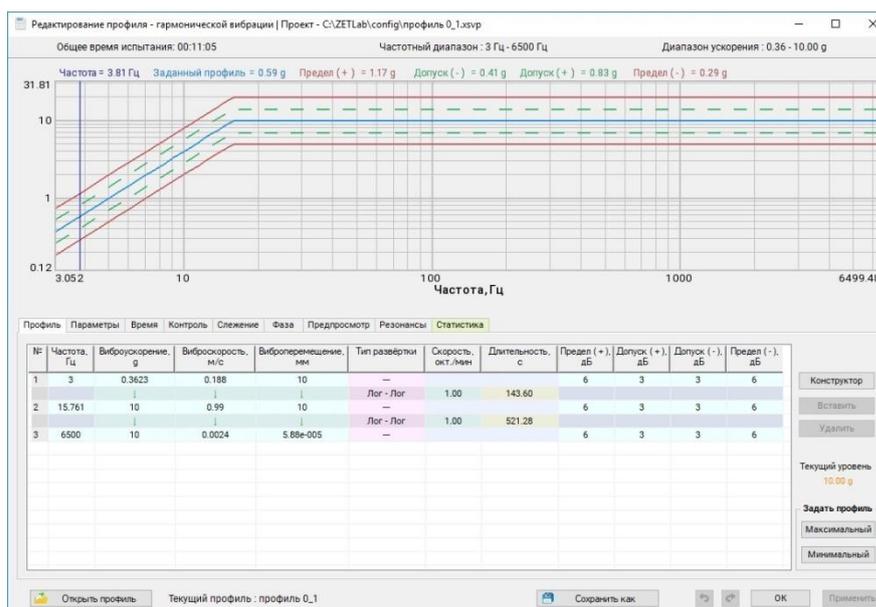


Рисунок 3.10 – Интерфейс проведения испытаний программы ZETLAB VIBRO

Пользователю предоставляется возможность сохранить текущий профиль испытаний, который можно будет загрузить из базы данных сохраненных профилей испытаний.

Для сохранения текущего профиля испытания необходимо в программе «Редактор профиля для виброиспытаний» выбрать функцию «Сохранить как», задать имя сохраняемого профиля испытаний и сохранить в удобной директории.

Для загрузки ранее сохраненного профиля испытаний в окне редактора необходимо активировать функцию «Открыть профиль». Откроется база данных сохранённых профилей, где пользователю нужно будет выбрать нужный.

Настройка параметров виброиспытаний разделена на три основных части:

- Общие настройки, где задаётся эквализация, количество проходов, направление прохождения профиля и метод измерения;
- Настройки отображения, где устанавливается контрольная величина, по которой будет отображаться график испытаний;
- Установка типа разветки и скорости, при необходимости.

Для удобства оценки возможности прохождения испытаний по заданным параметрам (учитывая профиль, характеристики изделия и вибростенда) можно активировать функцию «Отображать ограничения по вибростенду – изделию». На графике дополнительно отобразится максимально допустимый уровень.

Также автоматически рассчитывается ориентировочное время одного прохода и общее время прохождения испытания.

Встроенная система безопасности позволяет следить за параметрами как контрольного датчика, так и всех следящих, в соответствии с чем производить либо экстренную остановку испытаний, либо оповещение о зарегистрированных изменениях.

Допустимые пределы по контрольному датчику, устанавливаются на вкладке «Профиль испытаний».

Допустимые пределы испытаний по следящим каналам, по превышению или отклонению от которых будут останавливаться испытания, устанавливаются на вкладке «Остановка».

При работе одновременно с несколькими независимыми каналами управления соответствующие параметры задаются на вкладке «Фаза»:

- При работе с одним устройством режим работы генератора может быть задан только «В фазе»;
- При работе с двумя и более устройствами режим работы генераторов может быть задан «В фазе», «В противофазе»;
- При работе с тремя и более устройствами режим работы генераторов может быть задан «В фазе», «В противофазе» и «Волна».

Еще одна особенность нового программного обеспечения –

предварительный просмотр результатов виброиспытаний по заданному профилю, полученные расчетным путем на основе данных из предтестового запуска системы.

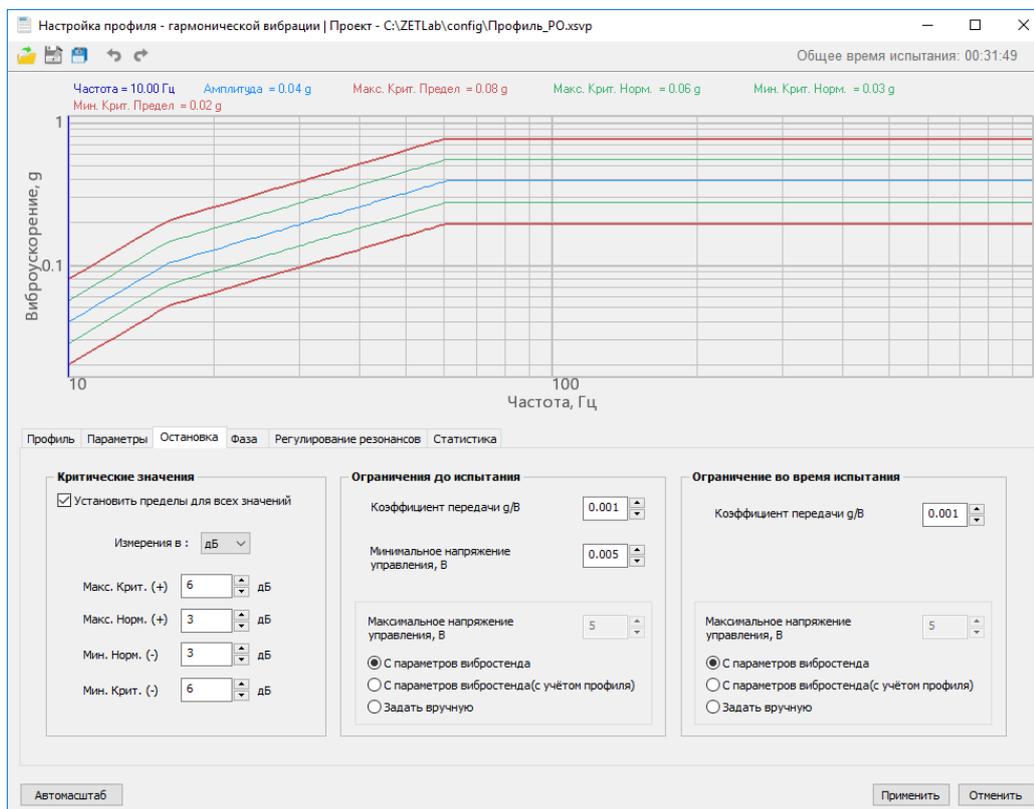


Рисунок 3.11 – Выставление настроек профиля вибродинамических испытаний

3.2 Требования к проведению вибродинамических испытаний

3.2.1 Общие требования к проведению испытаний

К проведению испытаний предъявляются следующие требования:

- Рабочий диапазон температуры окружающей среды: от 0° до 30°c (для вибратора), от 1° до 30°c (для усилителя);
- Максимальная продолжительность рабочего цикла установки 30 минут, затем – 30-минутный перерыв;
- Рабочий диапазон частот: пост. ток – 2500 Гц.

3.2.2 Требования к помещению

1. Если эксплуатируемая установка используется в общем зале, то необходимо обозначить опасные зоны (не ближе 5 м от установки). Опасные

зоны должны ограждаться по всему периметру.

Ограждения должны быть прочными и устойчивыми при динамическом воздействии массы человека. На ограждениях должны быть вывешены предупреждающие плакаты безопасности "Осторожно! Опасная зона";

2. Движущиеся части оборудования, которые могут представлять опасность для работников, должны быть ограждены или размещены таким образом, чтобы предотвратить возможность их контакта с работающими. Это означает, что необходимо предпринять меры для защиты от травм, связанных с прикосанием к движущимся частям оборудования;

3. Наличие органов управления для управления аварийной остановкой в непосредственной близости от движущихся частей и находящееся в поле зрения ответственного за испытания.

4. Конструкция захватывающих, подъемных и загрузочных устройств (а также их приводов) должна предотвращать возможные опасности, связанные с самопроизвольным прекращением подачи электрической энергии или изменением состояния устройств при восстановлении подачи энергии;

5. Станина установки, а также корпуса пульта управления и электродвигателей, механические части, закрывающие электроаппаратуру, должны быть заземлены в соответствии с действующими правилами устройства электроустановок (ПУЭ);

6. Рабочее место должно быть сконструировано так, чтобы его размеры и расположение элементов (например, органов управления, вспомогательного оборудования) обеспечивали удобное выполнение рабочих операций и не затрудняли движения работающего;

7. Если рабочее место требует перемещения или нахождения работников выше уровня пола, то его конструкция и оснащение должны иметь площадки, лестницы, перила и иные устройства, габариты которых исключают вероятность падения;

8. Пуск системы управления и повторный пуск после останова, независимо от причины, должны быть возможны только через

манипулирование органом управления пуском;

9. Конструкция средств защиты должна обеспечивать возможность контроля их работы до начала и в процессе выполнения работ;

10. Освещенность рабочей зоны и поверхностей должна исключать для работников появление опасных теневых зон, бликов и стробоскопического эффекта.

3.2.3 Требования к персоналу

1. К работе допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие предварительные и периодические медицинские осмотры согласно действующему законодательству и не имеющие медицинских противопоказаний к данной работе. Они должны пройти инструктаж по охране труда, стажировку на рабочем месте и обучение по охране труда с дальнейшей проверкой знаний по пройденному материалу в соответствии с действующим трудовым законодательством Российской Федерации, а также иметь группу по электробезопасности не ниже II.

Проверка знаний по электробезопасности должна проводиться не реже одного раза в 12 месяцев;

2. Работники должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты (СИЗ) согласно действующим стандартам, при этом выдача СИЗ должна фиксироваться в личной карточке работника под его подписью:

- Костюмом для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий из хлопчатобумажных тканей;
- Кожаными ботинками с защитным подноском;
- Комбинированными рукавицами или перчатками с полимерным покрытием;
- Противошумными наушниками или вкладышами.

При выполнении грузоподъемных работ работник должен быть обеспечен:

- Защитным шлемом;
- Подшлемником;

3. Список обязанностей работника включает в себя важные нормы и

правила, соблюдение которых является основой безопасной и эффективной работы на предприятии.

- Соблюдение внутреннего трудового распорядка, правил противопожарной безопасности и личной гигиены, а также соблюдение требований по охране труда являются основой безопасной и здоровой работы;
- Правильное использование рабочего оборудования, инструментов, соблюдение порядка и мер предосторожности при работе с опасными веществами также являются важными моментами, способствующими устранению рисков и созданию безопасной рабочей среды;
- Обучение по охране труда, методам безопасной работы, оказанию первой помощи, а также использованию средств индивидуальной защиты играет ключевую роль в подготовке работника к возможным ситуациям и профилактике несчастных случаев;
- Правильное обращение с оборудованием, обязанность сообщать руководству обо всех неисправностях и угрозах для здоровья, прохождение обязательных медицинских осмотров также способствуют обеспечению безопасности на рабочем месте;

Эти меры и правила обеспечивают заботу о здоровье и безопасности работников, обеспечивая им более комфортные и безопасные условия труда.

При работе на установке работник должен быть внимателен, должен строго соблюдать требования безопасности, предусмотренные технологией процесса и инструкцией по охране труда.

3.3 Меры безопасности при работе со стендом

Данный раздел разработан в соответствии с требованиями ГОСТ 30630.1.2-99, ГОСТ 12.1.012-2004, ГОСТ 12.3.002-2014 и «Правил по охране труда при работе с инструментом и приспособлениями», утверждённых приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 27.11.2020 № 835н, в целях обеспечения соблюдения работниками требований безопасности при проведении испытаний на воздействие вибрации, в частности, для проверки соответствия изделий техническим требованиям.

Непосредственный руководитель с периодичностью один раз в три месяца проводит с работниками повторный инструктаж и проверяет знание ими инструкции по охране труда, с записью в журнал регистрации инструктажей по охране труда и пожарной безопасности на рабочем месте.

Лица, не изучившие инструкцию, к работе не допускаются, а виновные в нарушении требований охраны труда привлекаются к ответственности в соответствии с законодательством Российской Федерации.

3.3.1 Меры безопасности перед проведением работ

Перед началом работ необходимо выполнять следующие требования:

1. Надеть исправную спецодежду и средства индивидуальной защиты, обшлага рукавов и полы застегнуть на все пуговицы;
2. Оборудовать рабочее место, убрать посторонние предметы, освободить проходы и не загромождать их;
3. Ежедневно до начала работ, в ходе выполнения и после выполнения работ работник должен осматривать ручной инструмент и приспособления и в случае обнаружения неисправности немедленно извещать своего непосредственного руководителя;
4. Инструмент и приспособления на рабочем месте должны располагаться таким образом, чтобы исключалась возможность их скатывания и падения.

3.3.2 Меры безопасности во время проведения работ

В процессе выполнения работ необходимо выполнять следующие требования:

1. Работы на установке проводить не менее, чем двумя работниками;
2. Следить за состоянием крепления исследуемого (испытываемого) объекта;
3. Вести визуальный контроль состояния испытываемого образца (изделия) и работающего оборудования;
4. Лицам, присутствующим на испытаниях, вести наблюдение за исследуемым объектом на расстоянии не ближе 5 м от установки в СИЗ для

защиты органа слуха при воздействии шума;

5. Лицу, ответственному за проведение испытаний, наблюдение за исследуемым объектом вести из пультовой или из зала испытаний, используя СИЗ для защиты органа слуха при воздействии шума;

6. Установку и снятие изделий (деталей) производить только после отключения вибростенда от электрической сети;

7. Жёстко закреплять изделие (детали) к столу установки, крепить на все болтовые крепления;

8. Запрещается производить снятие, установку, замену деталей, со стола вибростенда при включенной, находящейся под напряжением установке;

9. При уходе с рабочего места, при отключении электричества отключить от сети установку, оставлять рабочее место с включенными приборами вибростенда запрещается;

10. Не перепоручать работу на установке посторонним лицам и не допускать их нахождения вблизи установки во время работы;

11. Не выполнять на установке работы, не предусмотренные технологическим процессом.

3.3.3 Меры безопасности после проведения работ

После окончания работ необходимо выполнять следующие требования:

1. Доложить руководителю структурного подразделения о всех недостатках, влияющих на безопасность труда, обнаруженных во время работы;

2. Снять СИЗ, осмотреть, привести в порядок и убрать в специально отведённое место;

3. Вымыть руки и лицо тёплой водой с мылом, а при необходимости принять душ.

3.4 Действия персонала при работе с установкой

3.4.1 Действия персонала перед началом работ с установкой

Перед началом работ с установкой персоналу необходимо:

1. Ознакомиться с программой испытаний, конструкцией испытываемого изделия;

2. Проверить наличие и исправность токоведущих частей электрической аппаратуры (пускателей, трансформаторов, кнопок и других частей);
3. Убедиться в закрытом состоянии дверей шкафов стойки управления и усилителя мощности;
4. Проверить наличие и исправность заземляющих устройств;
5. Внешним осмотром проверить целостность изделия на отсутствие дефектов и внешних повреждений;
6. Провести осмотр трубопроводов и маслопроводов систем охлаждения и кабельных линий установки;
7. Проверить исправное действие блокировочных устройств.

После ознакомления с инструкциями, внешнего осмотра и проверки оборудования перед началом работы персоналу следует:

1. Провести монтаж изделия на установке. При этом следить, чтобы схема вешивания исследуемого объекта (объекта испытаний) была устойчивой;
2. Экспериментальное воспроизведение вибрационных нагрузок реализовывать посредством соблюдения технических условий в зависимости от вида вибрационного воздействия;
3. Ознакомиться с технологией предстоящей работы и, в случае необходимости, работы не начинать, а обратиться к мастеру за дополнительными разъяснениями;
4. Обо всех обнаруженных неисправностях сообщить своему непосредственному руководителю и не приступать к работе до их устранения.

3.4.2 Действия персонала во время выполнения работ на установке

Во время выполнения работ на установке персоналу необходимо:

1. Выполнять только ту работу, по которой прошел инструктаж по охране труда, обучение безопасным приемам и методам ее выполнения, оказанию первой помощи пострадавшим и к которой допущен руководителем структурного подразделения по результатам стажировки;

2. Выполнять только ту работу, которая поручена непосредственным руководителем и предусмотрена технологическим процессом. Быть внимательным во время работы, не отвлекаться самому и не отвлекать других от работы;

3. Во время работы работник должен следить за отсутствием:

– повреждений рабочих поверхностей и заусенцев на рукоятках гаечных ключей;

– искривления отверток, губок гаечных ключей;

– забоин, вмятин, трещин и заусенцев на рабочих и крепежных поверхностях сменных головок и бит.

4. В ходе испытаний проводить контроль параметров изделия;

5. Испытание осуществлять в диапазоне частот, указанных в технических требованиях на изделие;

6. В случае нарушения работоспособности испытание на установленной частоте прекращать.

3.4.3 Действия персонала после окончания испытаний

После завершения испытаний персоналу необходимо:

1. Отключить установку от питания, прекратив подачу электроэнергии;

2. Демонтировать объект испытания с установки;

3. Очистить рабочее место от образовавшихся в процессе проведения испытаний отходов производства и иного мусора;

4. Выключить местную вентиляцию;

5. Очистить инструмент и приспособления от загрязнений и передать на хранение лицу, ответственному за его содержание, в исправном состоянии либо на склад.

3.4.4 Действия персонала при возникновении аварийных ситуаций

При эксплуатации установки могут возникнуть аварийные ситуации:

– Возгорание электропроводки;

– Отключение электроэнергии;

– Поломка испытательного оборудования;

- Нарушение целостности защитных устройств и т. п.

Аварийные ситуации при выполнении работы на установках могут быть вызваны такими причинами, как:

- Нарушение порядка, условий и процедуры проведения испытаний;
- Обнаружение несоответствия характеристик испытываемого объекта (изделия) требованиям, установленным технической документацией на него;
- Тому подобным.

При возникновении аварийной ситуации персоналу необходимо:

1. Принять меры по предотвращению развития аварийной ситуации и воздействию травмирующих факторов на других лиц;
2. Сообщить о случившемся администрации подразделения (непосредственному руководителю или начальнику подразделения/заместителю).

При несчастном случае (происшествии) на производстве или при ухудшении состояния здоровья пострадавшему или очевидцу необходимо:

1. Сообщить о случившемся администрации подразделения (непосредственному руководителю или начальнику подразделения/заместителю);

Администрации подразделения необходимо:

1. Немедленно организовать оказание первой помощи пострадавшему, вызвать медицинского работника по внутреннему телефону предприятия или по тел. 103 и сообщить о произошедшем в отдел охраны труда, промышленной безопасности, гражданской обороны и чрезвычайной ситуации (ГО и ЧС);
2. Принять меры по сохранению обстановки, какой она была на момент происшествия, если это не угрожает жизни и здоровью других лиц и не приведёт к аварийной ситуации, а в случае невозможности её сохранения зафиксировать сложившуюся обстановку (составить схемы и другое).

Каждый работник, обнаруживший пожар или признаки горения (задымление, запах гари, повышение температуры воздуха и др.), обязан:

1. Немедленно сообщить об этом в ближайшую специализированную пожарно-спасательную часть (СПСЧ) с указанием объекта защиты, места его расположения, места возникновения пожара, а также сообщить свою фамилию;
2. Принять меры по эвакуации людей, а при условии отсутствия угрозы жизни и здоровья людей меры по тушению пожара в начальной стадии;
3. Сообщить в отдел охраны труда, промышленной безопасности, ГО и ЧС о произошедшем.

3.5 Техническое обслуживание

Рекомендуется периодически выполнять плановые мероприятия по техническому обслуживанию оборудования. Следует обратить внимание на то, что частота выполнения указанных мероприятий зависит от условий, в которых работает оборудование на конкретном предприятии.

3.5.1 Ежедневное ТО

Перечисленные ниже мероприятия следует выполнять ежедневно перед началом эксплуатации оборудования.

3.5.1.1 Техническое обслуживание усилителя

При ежедневном ТО усилителя необходимо проводить следующие мероприятия:

1. Проверить, что все вибрационное оборудование выключено и изолировано от сети питания;
2. Проверить, что площадка вокруг усилителя свободна от посторонних предметов, препятствующих поступлению достаточного объема воздуха в воздухозаборники;
3. Проверить, что площадка вокруг усилителя чиста и свободна от пыли;
4. Проверить, что все панели корпуса устройства хорошо закреплены и запорты;
5. Включить питание трехфазной сети при помощи сетевого пускателя. Убедиться, что работают все охлаждающие вентиляторы;
6. Проверить функцию аварийной остановки: включить усилитель,

установить выход 0 %. Нажать красную кнопку аварийной остановки на вибраторе и проверить, что усилитель выключился;

7. Выключить питание 3-фазной сети с помощью сетевого пускателя.

3.5.1.2 Техническое обслуживание вибратора

При ежедневном ТО вибратора необходимо проводить следующие мероприятия:

1. Проверить, что воздухопровод вентилятора вибратора и все другие кабели системы (включая блокировочные) и шланги правильно подсоединены и не имеют повреждений. Любое повреждение должно быть восстановлено, причина исследована и блокирована;

2. Включить питание 3-фазной сети с помощью сетевого пускателя;

3. Включить усилитель и убедиться, что вентилятор охлаждения вибратора запустился и вращается в правильном направлении;

4. Подать давление в систему изоляции корпуса, если имеется (на системе подвески проверяют возможные перемещения корпуса в обоих направлениях и настройкой помещают в среднее положение). Проверить воздушные изоляторы и подключенную систему трубопроводов на наличие утечек;

5. Проверить, что система поддержки полезного груза работает правильно;

6. Обеспечить, чтобы площадка вокруг вибратора была чистой и свободной от преград;

7. Выключить вибратор;

8. С помощью сетевого пускателя отключить питание трехфазной сети.

3.5.2 Ежемесячное ТО

3.5.2.1 Техническое обслуживание усилителя

При ежемесячном ТО усилителя необходимо проводить следующие мероприятия:

1. Проверить состояние воздухозаборников. Очистить заборные устройства от скопившейся пыли или пуха при помощи щетки или промыть

теплой мыльной водой. Убедиться, что противопыльные фильтры не засорены и освободить их от скопившейся грязи. Фильтры, которые невозможно полностью очистить, заменить;

2. Проверить состояние всех охлаждающих вентиляторов. В случае загрязнения протереть лопасти вентилятора сухой мягкой тканью, не использовать никакие жидкости;

3. Проверить целостность всех подключенных к усилителю питающих проводов (источника питания электромагнита, источника питания подвижной катушки и источника питания трехфазной сети). Проверить надежность заземления;

4. При помощи сетевого пускателя включить источник питания трехфазной сети. Все охлаждающие вентиляторы должны работать. Прислушаться к звуку работающих вентиляторов и на слух определить наличие неисправного вентилятора;

5. Запустить усилитель. Нажать кнопку аварийной остановки, усилитель должен немедленно отключиться.

3.5.2.2 Техническое обслуживание вибратора

При ежемесячном ТО вибратора необходимо проводить следующие мероприятия:

1. Гарантировать, что выключатель смещения вибратора за допустимые пределы работает, вручную перемещая подвижную катушку вверх и вниз до срабатывания блокировки перегрузки. Проверить соответствие указателя положения;

2. Проверить функцию аварийной остановки: включить усилитель, установить выход 0 %. Нажать красную кнопку аварийной остановки на вибраторе и проверить, что усилитель выключился. Повернув, вернуть кнопку аварийной остановки в исходное положение. Вернуть в исходное положение усилитель;

3. Проверить искажение вибратора и сравнить с формой сигнала, зарегистрированной после установки.

3.5.3 Полугодовое ТО

3.5.3.1 Техническое обслуживание усилителя

При проведении полугодового ТО усилителя необходимо просмотреть внутренние компоненты усилителя на предмет скопления пыли или грязи. В соответствии с инструкцией очистить загрязненные компоненты при помощи мягкой щетки или сухой, лишенной ворса, ткани; не допускается использование никаких жидкостей.

3.5.3.2 Техническое обслуживание вибратора

При полугодовом ТО вибратора необходимо проводить следующие мероприятия:

1. Снять защитную крышку и внимательно осмотреть подвеску на наличие повреждений, вызванных износом. Заменить любые изношенные узлы;
2. Исследовать датчик центрального положения (CPS) на наличие накопленной грязи или пыли, которые должны быть удалены мягкой щеткой или непылящей мягкой хлопковой тканью. Нельзя использовать для очистки какие-либо жидкости. Доступ к датчику может быть улучшен, при подъеме подвижной катушки, накачивая встроенную опору нагрузки (ILS) регулятором давления на блоке управления. Если CPS не может быть удовлетворительно очищен, он должен быть заменен;
3. Проверить, что воздухопроводы системы охлаждения свободны и не повреждены;
4. Установить все блокировки в активное состояние.

3.5.4 Годовое ТО

3.5.4.1 Техническое обслуживание усилителя

При проведении годового ТО усилителя необходимо заменить все противопылевые фильтры.

3.5.4.2 Техническое обслуживание вибратора

При проведении годового ТО вибратора необходимо разобрать вибратор и выполнить операции по обслуживанию, подробно изложенные в инструкции по проведению планово-предупредительного обслуживания и ремонта.

3.6 Транспортирование и хранение

3.6.1 Правила транспортирования

1. Вибростенд в упаковке предприятия-изготовителя может транспортироваться всеми видами закрытых транспортных средств, в отопляемых герметизированных отсеках самолётов с условиями транспортирования по группе Ж ГОСТ 15150-69:

- Температура окружающей среды: от -40 °С до +50 °С;
- Относительная влажность воздуха при температуре 25°С: до 98%.

2. Атмосфера помещения, в котором транспортируется преобразователь, не должна содержать пыли, паров кислот, щелочей и других едких веществ, вызывающих коррозию.

3.6.2 Правила хранения

Указанные требования по хранению и обращению с вибростендом представляют собой важные меры для обеспечения сохранности и надежности данного оборудования.

Условия хранения в соответствии с ГОСТ 15150-69: В соответствии с этим стандартом, вибростенд должен храниться в упаковке предприятия-изготовителя в закрытых помещениях с температурой окружающего воздуха от -40 °С до +50 °С и относительной влажностью воздуха при 25 °С до 98%. Эти условия обеспечивают необходимый уровень защиты от неблагоприятных воздействий окружающей среды.

Кратковременное хранение: Допускается кратковременное хранение вибростенда в закрытом помещении при более узких условиях температуры и влажности окружающего воздуха, что также предполагает соблюдение правил для сохранения работоспособности оборудования.

Сохранение чистоты помещения: Важным аспектом является исключение нахождения вредных веществ, таких как пыль, пары кислот и щелочей, в атмосфере помещения, где хранится вибростенд, поскольку они могут вызвать коррозию и негативно повлиять на состояние оборудования.

Аккуратное обращение: обращение с вибростендом требует особого

внимания в процессе эксплуатации, транспортирования и хранения на складе. Это включает в себя правильную установку, защиту от повреждений и поддержание чистоты и исправного состояния.

Таким образом, соблюдение указанных требований является важным условием для сохранения работоспособности и надежности вибростенда на протяжении всего его срока службы.

3.7 Выводы по эксплуатационной части

В эксплуатационной части дипломного проекта было разработано руководство по эксплуатации вибрационного стенда с модернизированной наземной кабельной сетью для проведения вибродинамических испытаний.

В руководстве представлены назначение и состав стенда, описаны функции и принцип действия основных его частей. Приведены общие требования к проведению вибродинамических испытаний, требования к эксплуатирующему персоналу и помещению для размещения испытательного оборудования. Указаны меры безопасности перед выполнением работ со стендом, во время проведения испытаний и после их окончания. Изложены действия персонала на всех этапах проведения работ с испытательным оборудованием, а также при возникновении аварийных ситуаций. Определены виды, периодичность и перечень мероприятий по техническому обслуживанию стенда на этапе его эксплуатации, основные правила транспортирования и хранения испытательного оборудования.

Разработка данного руководства по эксплуатации позволяет повысить срок службы стенда при условии его своевременного и качественного технического обслуживания, увеличить производительность работ персонала и снизить риск получения производственной травмы во время проведения работ со стендом.

4 ОХРАНА ТРУДА И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Настоящий дипломный проект посвящен разработке вибростенда для проведения испытаний разгонного блока. В нём описываются основные части вибросистемы, и рассматривается методика проведения вибродинамических испытаний имитатора исследуемого изделия. В эксплуатационной части разработано руководство по эксплуатации установки для проведения ВДИ и указаны меры безопасности в зале вибрационных испытаний. Размеры зала вибрационных испытаний составляют 80×80×120 метров, что предполагает одновременную работу 10 сотрудников.

Существуют опасные и вредные производственные факторы, которые могут оказывать воздействие на работников в процессе труда. Эти факторы могут представлять угрозу для здоровья и безопасности работников, поэтому их оценка, контроль и минимизация имеют важное значение для обеспечения безопасности и здоровья на рабочем месте.

Острозаточенные или заостренные предметы, которые могут вызвать колющие, режущие или обдирающие травмы, а также возможность падения твердых объектов на работающего, представляют реальную опасность, особенно в индустриальных секторах.

Электрический ток и связанные с ним опасности могут возникать в ряде отраслей, и их воздействие на работников должно строго контролироваться в соответствии с нормами и стандартами безопасности.

По моему мнению повышенный уровень шума и вибрации наиболее опасные при проведении испытаний для работников и требуют соответствующих мер по предотвращению и минимизации.

Воздействие вибрации и шума на работников приводит к преждевременному утомлению, снижению работоспособности и производительности труда, а также способствует развитию тяжелых профессиональных заболеваний – вибрационной болезни и профессиональной тугоухости. Поэтому защита от вибрации и шума на производстве имеет

большое значение.

К виброакустическим факторам относят:

- 1) Шум;
- 2) Вибрация (общая и локальная);
- 3) Ультразвук (воздушный);
- 4) Инфразвук.

4.1 Нормирование шума

Цель санитарного нормирования: установление обоснованных допустимых величин шума, которые не вызывают существенных изменений в состоянии здоровья человека и не мешают его нормальной трудовой деятельности.

В условиях производства в большинстве случаев технически снизить шум до очень малых уровней не представляется возможным, поэтому исходят не из оптимальных (комфортных), а из терпимых условий, когда вредное действие шума на человека не проявляется или проявляется незначительно.

ГОСТ 12.1.003-2014 «Шум. Общие требования безопасности» регламентирует характеристики и допустимые уровни шума на рабочих местах [12].

Нормируемой характеристикой постоянного шума являются уровни звуковых давлений в децибелах в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц.

Предельным спектром принято называть сумму восьми допустимых уровней звукового давления в октавных полосах частот, а приведённый метод нормирования – нормированием по предельному спектру шума.

Предельные спектры имеют сокращение ПС с цифровым индексом, равным уровню звукового давления в октавной полосе со среднегеометрической частотой 1000 Гц. К примеру, ПС-80 обозначает предельный спектр, обладающий в указанной октавной полосе допустимым уровнем звукового давления 80 дБ. Величины предельно допустимых уровней звукового давления в нормируемых октавных полосах частот определены при

условии равного физиологического и психологического воздействия шума на человека.

Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звукового широкополосного постоянного и непостоянного шума приведены на рисунке 4.1.

| Рабочие места | Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами в Гц | | | | | | | | Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА |
|---|---|-----|-----|-----|------|------|------|------|--|
| | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Предприятия, учреждения и организации | | | | | | | | | |
| 1. Помещения конструкторских бюро, расчётчиков, программирование, преподавание и обучение, в лабораториях для теоретических работ обработки экспериментальных данных, приём больных в здравпункте | 71 | 61 | 54 | 49 | 45 | 42 | 40 | 38 | 50 |
| 2. Помещения цехового управленческого аппарата, рабочие комнаты конструкторских помещений, лаборатории | 79 | 70 | 63 | 58 | 55 | 52 | 50 | 49 | 60 |
| 3. Кабины наблюдений и дистанционного управления с речевой связью по телефону, помещения и участки точной сборки | 83 | 74 | 68 | 63 | 60 | 57 | 55 | 54 | 65 |
| 4. Кабины наблюдений и дистанционного управления без речевой связи по телефону, лаборатории с шумным оборудованием | 91 | 83 | 77 | 73 | 70 | 68 | 66 | 64 | 75 |
| 5. Постоянные рабочие места и рабочие зоны в производственных помещениях | 95 | 87 | 82 | 78 | 75 | 73 | 71 | 69 | 80 |

Рисунок 4.1 – Таблица допустимых уровней звукового давления октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звукового широкополосного постоянного и непостоянного шума

Для тонального и импульсного шума допустимые уровни должны приниматься на 5 дБ меньше, ГОСТ 12.1.003-2014 допускает устанавливать более жесткие нормы для отдельных видов трудовой деятельности с учетом напряженности труда.

4.2 Сравнение уровня шума, возникающего во время испытаний, с предельно допустимыми нормами.

Определение уровней шума является сложной процедурой, изменяющейся в зависимости от условий. На рисунке 4.2 показаны условия, при которых были получены приведенные данные по условиям работы.

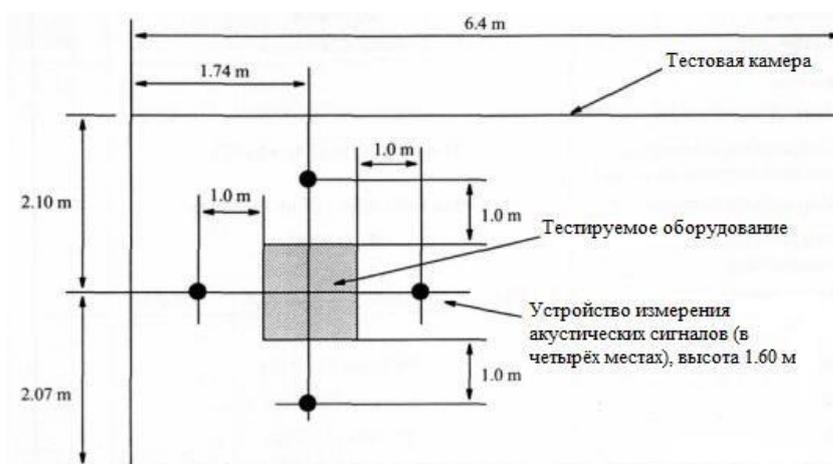


Рисунок 4.2 – Камера для измерения уровня шума

На рабочем месте сотрудника были замерены фактические виброакустические факторы. Из всех источников максимальные значения виброакустических факторов исходят от вибратора, а именно шум равной 118 дБА.

Таблица 4.1 – Максимальный уровень акустического шума, измеренного в ходе испытаний

| Тестируемое оборудование | Максимальный акустический шум |
|--------------------------|-------------------------------|
| Вибратор | 118 дБА (вибратор) |
| | 102 дБА (вентилятор) |
| Усилитель | 74 дБА |

Так как сотрудник не имеет прямого контакта с вибратором во время работы на вибростенде, а сам стенд изолирован от зала с помощью

амортизирующей тросовой системы подвески, то локальная и общая вибрации отсутствуют.

Согласно СанПиН 1.2.3685-21, определяется допустимый уровень шума в зале испытаний, приведенных в таблице 4.1 [13]. Для определения условий труда при воздействии виброакустических факторов используется сравнение фактических значений параметров виброакустических факторов с установленными значениями параметров по приложению N 11 приказа от 24 января 2014 года № 33 Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации [14].

| Наименование показателя, единица измерения | Класс (подкласс) условий труда | | | | | |
|--|--------------------------------|-------------|-------------|--------------|---------------|---------|
| | допустимый | вредный | | | | опасный |
| | 2 | 3.1 | 3.2 | 3.3 | 3.4 | 4 |
| Шум, эквивалентный уровень звука, дБА | ≤ 80 | $> 80 - 85$ | $> 85 - 95$ | $> 95 - 105$ | $> 105 - 115$ | > 115 |

Рисунок 4.3 – Таблица отнесение условий труда по классу (подклассу) условий труда при воздействии шума

Таким образом, на основе фактических значений параметров шума и значений параметров из рисунка 4.3, рабочее место сотрудника в зале вибрационных испытаний по шуму оценивается как опасное с классом условия труда 4. Для улучшения условий труда сотрудника необходимо обеспечить зал вибрационных испытаний необходимыми средствами и методами шумозащиты, указанными в ГОСТ 12.1.029-80. Это могут быть шумоподавляющие наушники, уплотнения на дверях, шумопоглощающие материалы, акустические экраны, звукоизолирующие кожухи на шумных агрегатах и другие.

4.3 Способы и методы защиты от шума

В ГОСТ 12.1.003-2014 приведены важные рекомендации относительно

снижения уровня шума на производстве. Эти указания предоставляют методы и средства для уменьшения шума на рабочих местах, обеспечивая безопасные условия труда для работников [15].

Ключевой момент – это акцент на разработке шумобезопасной техники, а также использование средств коллективной и индивидуальной защиты. Снижение шума в источнике самого возникновения является одним из основных способов борьбы со звуковым загрязнением, которое достигается изменением технологических процессов, применением новых материалов и техник, а также изменением конструкции машин и оборудования.

Методы, такие как замена ударных воздействий на безударные, использования демпфирования, улучшение смазки и точности изготовления, применение скольжения вместо качения в подшипниках, указывают на широкий спектр технологических и инженерных изменений, которые могут привести к уменьшению шума на производстве [2].

Кроме того, подход к использованию коллективной защиты, такой как звукоизоляция в источнике шума, и защиты на пути его распространения, также представляет значимый интерес, поскольку это означает, что системный подход должен рассматриваться при создании условий для безопасной работы.

Средства и методы коллективной защиты от шума подразделяются на акустические, архитектурно-планировочные и организационно-технические.

Строительно-акустическими мероприятиями достигается снижение производственного шума на пути его распространения. Основным нормативным документом, устанавливающим требования к строительно-акустическим методам борьбы с шумом, является СП 51.13330.2011 "Свод правил. Защита от шума" [16].

Для снижения уровня шума окружающей среды используются глушители и акустические камеры. Глушитель крепится к выходному отверстию охлаждающего вентилятора (рисунок 4.4). Акустическая камера с высокими шумопоглощающими характеристиками используется в качестве дополнительного звукоизолирующего корпуса охлаждающего вентилятора.

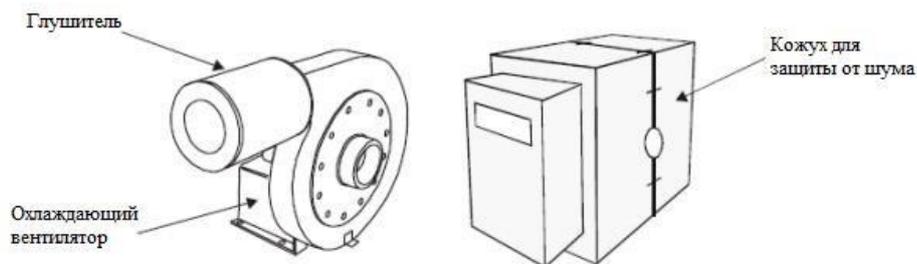


Рисунок 4.4 – Охлаждающий вентилятор, дополнительный глушитель и кожух для защиты от шума

Установка звукопоглощающих облицовок понижает шум на 6...8 дБ в зоне отраженного звука (вдали от источника) и на 2...3 дБ вблизи источника шума.

Средства защиты от шума включают в себя различные технические решения, предназначенные для уменьшения уровня шума в рабочей среде. В зависимости от принципа работы, выделяют звукоизоляцию, звукопоглощение и глушители шума.

Звукоизолирующие конструкции, такие как ограждения, кожухи, кабины, акустические экраны и выгородки, предназначены для предотвращения распространения шума на окружающие помещения и снижения его уровня.

Звукопоглотители, такие как звукопоглощающие облицовки и объемные поглотители звука, используются для поглощения звуковой энергии в помещении. Они способны изменять спектральный состав звука и уменьшать уровень шума, особенно на высоких частотах (8-10 дБ), что делает окружающий шум более приглушенным и менее раздражающим.

Глушители шума предназначены для снижения уровня шума, путем применения технических устройств, например вентиляционных систем, компрессоров и другого оборудования.

Применение указанных средств защиты от шума целесообразно для обеспечения более комфортных и безопасных условий работы, а также для соблюдения нормативов по предельно допустимым уровням шума на производстве.

Архитектурно-планировочные методы защиты от шума: подразумевают использование рациональных акустических решений при планировании зданий, включающие в себя, определение оптимального расстояния между шумными и тихими помещениями. Наиболее шумные объекты следует компоновать в отдельные комплексы, а внутри зданий предусматривать максимально возможное удаление малошумных помещений от помещений с интенсивными источниками шума.

Организационно-технические методы защиты от шума включают в себя использование различных приемов и технологий для снижения шумового воздействия на рабочих местах. Вот основные методы:

1. Применение малошумных технологических процессов, включая изменение технологии производства, способов обработки и транспортирования материалов для уменьшения шума на производстве;

2. Оснащение шумных машин средствами дистанционного управления и автоматического контроля, также роботизация производства, что позволяет снизить шум на рабочих местах;

3. Применение малошумных машин и изменение их конструктивных элементов и сборочных единиц для уменьшения шумовых вибраций;

4. Совершенствование технологии ремонта и обслуживания машин для минимизации шумовых выбросов в процессе технического обслуживания;

5. Использование рациональных режимов труда и отдыха работников на шумных предприятиях, включая сокращение времени пребывания рабочих в условиях чрезмерного шума.

При невозможности снизить уровень шума до 80 дБ и менее с помощью коллективных защитных средств, необходимо применять средства индивидуальной защиты, такие как противозумные наушники, вкладыши, шлемы, каски и костюмы.

Для обозначения зон с уровнем звука выше 80 дБА применяются специальные знаки безопасности согласно ГОСТ 12.4.026-2015.

Важно отметить, что даже кратковременное пребывание в зонах с

октавными уровнями звукового давления свыше 135 дБ запрещено.

4.4 Выводы по разделу охраны труда и окружающей среды

Условия труда сотрудника в зале вибрационных испытаний классифицированы как вредные с классом труда 3.3, поэтому на основании типовых отраслевых норм бесплатной выдачи с опасностью воздействия повышенного уровня шума применяются шумоподавляющие наушники, уплотнения на дверях, шумопоглощающие материалы, акустические экраны, звукоизолирующие кожухи на шумных агрегатах и т.д. Приведенные средства и методы шумозащиты являются рекомендациями, указанными в ГОСТ 12.1.029-80.

В данном случае, рабочее место соответствует требованиям обеспеченности работника, но эффективность выдаваемых работнику средств индивидуальной защиты не была оценена [17].

5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В экономической части данного дипломного проекта представлен расчёт затрат на выполнение этих работ и оценка возможных видов экономических эффектов, полученных в результате разработки НКС.

Затраты включают в себя следующие статьи расходов:

- Покупные комплектующие и материалы;
- Фонд оплаты труда (ФОТ);
- Страховые взносы (%ФОТ);
- Расходы на эксплуатацию ПЭВМ и оборудования;
- Накладные расходы (%ФОТ).

5.1 Покупные комплектующие и материалы

Для выполнения работ необходима достаточно высокопроизводительная ПЭВМ, позволяющая пользоваться современным программным обеспечением для проектирования. Помимо стандартного пакета Microsoft Office, на ПЭВМ должны быть установлены программы для трёхмерного моделирования (например, AutoCAD или nanoCAD). Также требуется наличие принтера и расходных материалов для него.

Затраты на приобретение необходимых технических средств и расходных материалов приведены в таблицах 5.1 и 5.2.

Таблица 5.1 – Покупные технические средства

| № п/п | Наименование | Кол-во (шт.) | Цена за единицу (у.е.) | Цена (у.е.) |
|----------|-------------------|-----------------|---------------------------|----------------|
| 1 | ПЭВМ | 1 | 80 000 | 80 000 |
| 2 | Мышь компьютерная | 1 | 1000 | 1000 |
| 3 | Принтер | 1 | 10 000 | 10 000 |
| 4 | Клавиатура | 1 | 2000 | 2000 |
| Итого | | | | 93 000 |

Таблица 5.2 – Покупные расходные материалы

| № п/п | Наименование | Кол-во (шт.) | Цена за единицу (у.е.) | Цена (у.е.) |
|-------|-------------------------------------|--------------|------------------------|-------------|
| 1 | Картридж для принтера | 1 | 1100 | 1200 |
| 2 | Бумага белая, формат А4, 500 листов | 1 | 900 | 500 |
| 3 | Канцтовары | 1 | 200 | 200 |
| Итого | | | | 1900 |

Таким образом, материальные затраты на технические средства и расходные материалы составляют 94 900 у.е.

5.2 Фонд оплаты труда

Заработная плата для каждого специалиста рассчитывается по формуле:

$$Z = Z^{1\text{мес}} \cdot \frac{N}{n_{\text{мес}}}, \quad (5.1)$$

где Z – заработная плата специалиста за весь срок работ; $Z^{1\text{мес}}$ – заработная плата специалиста за 1 месяц; N – общая продолжительность работ; $n_{\text{мес}}$ – количество рабочих дней в месяце (≈ 22 рабочих дня).

Ниже приведены размеры средних заработных плат в России на 2024 г.:

- Инженер – конструктор – $Z^{1\text{мес}} = 98000$ у.е./мес;
- Ведущий инженер – конструктор $Z^{1\text{мес}} = 115000$ у.е./мес.

При выполнении всех работ заработная плата составит:

- Для инженера:

$$Z = 98000 \cdot \frac{54}{22} = 240545 \text{ (у.е.)}$$

- Для ведущего инженера:

$$З = 115000 \cdot \frac{54}{22} = 282273 (\text{y.e.})$$

– Фонд оплаты труда (ФОТ) является суммой заработных плат всех исполнителей:

$$\text{ФОТ} = \sum_{k=1}^n З_k, \quad (5.2)$$

где n – число специалистов, принимающих участие в разработке;

$З_k$ – заработная плата k -го специалиста.

5.3 Страховые взносы

Страховые взносы во внебюджетные фонды рассчитываются следующим образом:

30% от з/п специалистов (тариф страховых взносов по ставке на 2024 г.) + отчисления в фонд социального страхования по травматизму (при работе на ПЭВМ – 0,2% от з/п) [18].

Ставка 30% распределяется по фондам следующим образом:

- Пенсионный фонд (ПФ) – 22%;
- Фонд обязательного медицинского страхования (ФОМС) – 5,9%;
- Фонд социального страхования (ФСС) – 2,1%.

В данном случае страховые взносы распределяются следующим образом:

- $522\,818 \cdot 0,22 = 115\,020$ у.е. – страховые взносы в ПФ;
- $522\,818 \cdot 0,059 = 30\,846$ у.е. – страховые взносы в ФОМС;
- $522\,818 \cdot 0,021 = 10\,979$ у.е. – страховые взносы в ФСС;
- $522\,818 \cdot 0,002 = 1\,046$ у.е. – отчисления в ФСС по травматизму.

Итого страховые взносы составляют 157 891 у.е. (30,2% от ФОТ).

5.4 Расходы на эксплуатацию ПЭВМ и другого оборудования

Расходы на эксплуатацию включают в себя:

- Амортизацию технических средств;
- Прямые расходы на электроэнергию;

– Расходы на аренду помещений.

5.5 Амортизация технических средств

Амортизация рассчитывается линейным методом (равномерно).

Рассчитаем норму амортизации за месяц, H_a :

$$H_a = \frac{1}{T_{н.исп}} \cdot 100 = \frac{1}{36} \cdot 100 = 2,78\% \quad (5.3)$$

где $T_{н.исп}$ – срок полезного использования в месяцах.

Далее найдём амортизационные отчисления за месяц, \bar{A} :

$$\bar{A} = \tilde{C}_{m.c} \cdot H_a = 93000 \cdot 0,0278 = 2585 \text{ у.е.}, \quad (5.4)$$

где $\tilde{C}_{m.c}$ – первоначальная стоимость (стоимость приобретения) технического средства.

И наконец, определим амортизационные отчисления за срок эксплуатации, A_{T_3} :

$$A_{T_3} = \bar{A} \cdot T_3 = 2585 \cdot 3 = 7755 \text{ у.е.}, \quad (5.5)$$

где T_3 – срок эксплуатации в месяцах.

5.6 Прямые расходы на электроэнергию

Стоимость 1 кВт электроэнергии составляет 7 у.е. (тариф 2024 г.) [20].

Мощность ПЭВМ – 150 Вт (0,15 кВт).

Мощность принтера – 650 Вт (0,65 кВт).

Тогда расходы на электроэнергию $C_{эл}$ с учётом количества рабочих дней (по 8 ч) будут рассчитаны следующим образом:

$$C_{эл} = (0,15 + 0,65) \cdot 7 \cdot 8 \cdot 54 = 2419 \text{ у.е.}$$

5.7 Расходы на аренду помещений

Обращаясь к СанПиН 2.2.3670-20 [20], а именно к требованиям к организации работ с персональными электронными вычислительными машинами и копировально-множительной техникой (приложение 1, глава 22, пункт 249), определяется площадь на одно постоянное рабочее место пользователей персональных компьютеров на базе плоских дискретных экранов (жидкокристаллические, плазменные) - не менее 4,5 м². Кроме того, наличие дополнительной оргтехники (принтер) – это основание для увеличения нормы площади на 1 человека. Поэтому, минимальная площадь помещения на двух работников, использующих ПЭВМ и принтер должна составлять не менее 13,5 м².

Средняя арендная плата без учёта коммунальных платежей за 1 м² помещения на 2024 г. составляет 2 650 у.е. в месяц [21].

Наземная кабельная сеть разрабатывается в помещении площадью 20 м², что соответствует нормам. Расходы на аренду помещения:

$$P_a = 2\,650 \cdot 20 \cdot 3 = 159\,000 \text{ у.е.}$$

Таким образом, суммарные расходы на эксплуатацию ПЭВМ будут составлять 169 174 у.е.

5.8 Накладные расходы

Накладные расходы (НР) – это косвенные затраты, относящиеся к производству, но не связанные с ним напрямую. Таковыми являются затраты на управление, организацию, обслуживание производства и т.п., они составляют 30% от ФОТ и будут рассчитаны следующим образом:

$$NR = 522\,818 \cdot 0,3 = 156\,845 \text{ у.е.}$$

5.9 Определение полных расходов

Общая сумма затрат на разработку НКС включает в себя стоимость покупных комплектующих и материалов, заработную плату специалистов (ФОТ), страховые взносы, расходы на эксплуатацию оборудования и накладные расходы. Распределение по статьям затрат и итоговая себестоимость представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Смета затрат на разработку НКС

| Статьи расходов | Удельный вес в общей сумме затрат (%) | Величина (у.е.) |
|--------------------------------------|---------------------------------------|-----------------|
| Покупные комплектующие и материалы | 8,61 | 94 900 |
| ФОТ | 47,46 | 522 818 |
| Страховые взносы | 14,33 | 157 891 |
| Расходы на эксплуатацию оборудования | 15,36 | 169 174 |
| Накладные расходы | 14,24 | 156 845 |
| Итоговая себестоимость работ | | 1 101 628 |

Исходя из анализа итоговой сметы можно сделать вывод, что наибольшую долю затрат занимает фонд оплаты труда: 47,46%, что связано с привлечением высококвалифицированных специалистов.

5.10 Выводы по экономической части

В экономической части дипломного проекта был проведён расчёт необходимых затрат на выполнение работ по разработке наземной кабельной сети.

Себестоимость составляет 1 101 628 у.е., большая часть (47,46%) которой приходится на оплату труда специалистов (522 818 у.е.).

В результате работы над экономической частью дипломного проекта выявлены следующие эффекты:

Учебно-исследовательский эффект. Проявляется в повышении квалификации профессорско-преподавательского состава и качества подготовки студентов.

Экономический эффект. Модернизация наземной кабельной сети заключается в том, что благодаря объединению проводов в единый жгут удалось уменьшить объём пространства, занимаемый кабельной сетью, минимизировать переменное магнитное поле, которое создаёт помехи в проводах, тем самым искажая сигнал на выходе измерений и защитить выходной сигнал от помех, создаваемых внешними источниками. Также вследствие сокращения количества кабелей упрощается их монтаж по

изделию и появляется возможность обезвешивания кабельной сети, что приводит к получению чистого (рабочего) веса изделия во время испытаний.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе были описаны основные характеристики и задачи вибрационного испытательного стенда. Поставлена проблема помеха защищенности передачи данных при помощи НКС. Произведена модернизация НКС путем усовершенствования изоляционного материала и соединение всех проводов в единый кабель, приводящие к снижению влияния магнитных полей как от вибростенда и усилителя так же и возникающих при протекании электрического тока по самой сети.

Произведен оптимальный выбор тензорезисторов, и описан современный способ их крепления на образец из которого следует, что для большинства случаев подходят проволочные тензорезисторов. Был произведен расчёт напряжений у стального образца возникающих в результате вибрации: все напряжения меньше максимально допустимых.

Был произведен выбор основных частей вибростенда: был выбран вибратор V8 с постоянным диапазоном частотой до 2000 Гц, скоростью при синусоидальной вибрации до 1,8 м/с, максимальным ускорением при синусоидальной вибрации до 392 м/с^2 и максимальным перемещением по катушке до 65 мм. Усилитель K58 с максимальным числом каналов до 12, диапазоном мощностей от 40 до 56 кВА, частотой комутации 150 Гц, с КПД усилителя в сборе 93%. Разработан регламент проведения работ и ТО при работе с вибростендом.

Приведенные средства и методы шумозащиты являются рекомендациями, указанными в ГОСТ 12.1.029-80. Дана оценка условиям труда при работе с виброоборудованием. Даны рекомендации на основании типовых отраслевых норм бесплатной выдачи с опасностью воздействия повышенного уровня шума СИЗ.

Проведён расчёт необходимых затрат на выполнение работ по разработке наземной кабельной сети. Себестоимость составляет 1 101 628 у.е., большая часть (47,46%) которой приходится на оплату труда специалистов (522 818 у.е.).

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

1. Галеев А. Г. Проектирование испытательных стендов для экспериментальной отработки объектов ракетно-космической техники / А. Г. Галеев, Ю. В. Захаров, В. П. Макаров, В. – М.: Издательство МАИ, 2014. – 283 с.: ил.
2. Колосов Ю.В. Защита от вибраций и шума на производстве. Учебное пособие. / Ю. В. Колосов, В. В. Барановский – СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. – 38 с.
3. Макаров Р. А. Тензометрия в машиностроении. Справочное пособие / Р. А. Макаров, А. Б. Ренский, Г. Х. Боркунский; Под ред. канд. техн. наук Р.А. Макарова. – М.: «Машиностроение», 1975. – 288 с. с ил.;
4. Александровская Л. Н. Теоретические основы испытаний и экспериментальная отработка сложных технических систем / Л. Н. Александровская, В. И. Круглов, А. Г. Кузнецов и др.: Учеб. пособие. – М.: «Логос», 2003. – 736 с.: ил.;
5. Афанасьев В. А. Экспериментальная отработка космических летательных аппаратов / В. А. Афанасьев, В. С. Барсуков, М. Я. Гофин, Ю. В.; Под редакцией Н. В. Холодкова. – М.: Изд-во МАИ, 1994. – 412 с.: ил.;
6. ГОСТ 16504-81. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения;
7. Саченков А. А. Экспериментальные методы исследования напряжений: учеб. пособие / А. А. Саченков, Д. В. Бережной, О. А. Саченков,. – Казань: Казан. ун-т, 2017. – 43 с;
8. Белоруссов Н. И. Электрические кабели, провода и шнуры: Справочник/ Н. И. Белоруссов, А. Е. Саакян, А. И. Яковлева; Под ред. Н. И. Белоруссова. – 5 изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 536 с.; ил.;
9. Чивкин Д. С. ИАР: Проектирование кабельных сетей для наземных испытаний космических аппаратов / Д. С. Чивкин. – МАИ, 2022. 114
10. Серьёзов А. Н. Методы и средства измерений в прочностном эксперименте / А. Н. Серьёзов, А. К. Шашурин. – М.: Изд-во МАИ, 1990. –

200 с.: ил.;

11. Мехеда В. А. Тензометрический метод измерения деформаций: учеб. пособие / В. А. Мехеда. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2011. – 56 с.;

12. ГОСТ 12.1.003-2014 «Шум. Общие требования безопасности».

13. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»; 1

14. Приказ Минтрудсоцзащиты РФ от 24.01.2014 г. N 33н «Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда, Классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчёта о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по её заполнению»;

15. ГОСТ 12.1.029-80 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ) «Средства и методы защиты от шума»;

16. СП 51.13330.2011 «Свод правил. Защита от шума».

17. Федеральный закон от 28.12.2013 г. N 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда»;

18. Страховые взносы на 2024 год. URL: <https://www.regberry.ru/nalogooblozhenie/strahovyye-vznosy-na-2024-god> (дата обращения 14.11.24);

19. Тарифные ставки электроэнергии на 2024 год // МОСЭНЕРГОСБЫТ. URL: <https://www.mosenergosbyt.ru/individuals/tariffs-n-payments/tariffsmask/polnaya-versiya-tarifov.php> (дата обращения 18.11.24);

20. СанПиН 2.2.3670-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда»;

21. Цена аренды коммерческой недвижимости в Москве. URL: <https://msk.restate.ru/graph/ceny-arendy-kommercheskoy> (дата обращения 02.12.24);

22. Методическое указание к организационно-экономической части дипломных проектов и работ.