

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

Факультет инженерно-физический
Кафедра стартовых и технических ракетных комплексов
Направление подготовки 24.03.01 – Ракетные комплексы и космонавтика
Направленность (профиль) образовательной программы – Ракетно-космическая техника

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Зам.Зав.Кафедрой


В.В. Соловьев

« 15 » июня 2021 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Проектирование системы мониторинга напряженно-деформированной конструкции с использованием бесконтактных датчиков УЗК

Исполнитель
студент группы 717-об


14.06.2021
(подпись, дата)


А.Н. Даниленко

Руководитель
доцент, канд. техн. наук


14.06.21
(подпись, дата)

В.В. Соловьев

Консультанты:
по БЖД
канд. физ. -мат. наук


14.06.2021
(подпись, дата)

В.Н. Аверьянов

Нормоконтроль
ассистент кафедры СиТРК


14.06.2021
(подпись, дата)

М.А. Аревков

Благовещенск 2021

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

Факультет инженерно- физического
Кафедра стартовые и технические ракетные комплексы

УТВЕРЖДАЮ
Зам.Зав.Кафедрой
В.В. Соловьев
« 26 » апреля 2021 г.

ЗАДАНИЕ

К выпускной квалификационной работе студента Даниленко Андрея Николаевича

1. Тема выпускной квалификационной работы: Проектирование системы мониторинга напряженно-деформированной конструкции с использованием бесконтактных датчиков УЗК

(учреждена приказом от 05.04.2021 № 658-уч)

2. Срок сдачи студентом законченной работы 15.06.2021 г.

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работы: комплект чертежей транспортно-установочного агрегата, документация по расчету внешних нагрузок транспортно-установочного агрегата, отчеты по практикам

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): основы создания системы мониторинга с использованием УЗД, выбор приборов и устройств для ультразвукового контроля, безопасность жизнедеятельности, экономическая часть.

5. Перечень материалов приложения: цели и задачи бакалаврской работы, структурная схема дефектоскопа и его характеристики, результат проведения статического анализа рамы ТУА, блок-схема «Создание модели ЭМА датчика и проведение расчета», результат проведения анализа, блок-схема «Функционирование системы»

6. Консультант по выпускной квалификационной работе (с указанием относящихся к ним разделов): БЖД Аверьянов Владимир Николаевич, канд. физ. -мат. наук

7. Дата выдачи задания 26.04.2021

Руководитель выпускной квалификационной работы: Соловьев Владислав Викторович, доцент, канд. техн. наук

Задание принял к исполнению (дата) 26.04.2021



РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит 72 с., 40 рисунка, 4 таблиц, 8 источников

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА, КОНТРОЛЬ, НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ, ТРАНСПОРТНО-УСТАНОВОЧНЫЙ АГРЕГАТ, МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ АКУСТИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ, НАПРЯЖЕНИЯ, ВНЕШНИЕ НАГРУЗКИ, РАМА, КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ

Автоматизированные системы мониторинга в режиме реального времени выполняют функцию контроля за основными параметрами конструкций и сооружений, на которые они установлены. Сведения, которые поступают, все время сопоставляются с ранее установленными пределами. При фиксации значений, которые считаются критическими, то есть они имеют большое отклонение от нормы, системой осуществляется информирование персонала о возможной тревоге или других соответствующих служб, если это необходимо.

Внедрение ультразвукового контроля в такую систему обусловлено тем, что, по сравнению с другими методами неразрушающего контроля, УЗК является наиболее чувствительным к малым дефектам, обеспечивает высокую точность и скорость измерений, а также является безопасным, УЗК не наносит вреда здоровью людей и состоянию конструкций.

Цель:

– разработать систему мониторинга состояния транспортно-установочного агрегата.

Задачи:

– рассмотреть примеры использующихся систем мониторинга для определения состава проектируемой системы;

– смоделировать напряженно-деформированное состояние транспортно-установочного агрегата для определения критических точек;

- смоделировать упрощенную модель электромагнитно-акустического преобразователя для определения оптимальной частоты работы прибора;
- выбрать аппаратуру необходимую для осуществления контроля;
- провести расчет затрат необходимых для создания системы мониторинга транспортно-установочного агрегата.

СОДЕРЖАНИЕ

Определения, обозначения, сокращения	8
Введение	9
1 Основы создания системы мониторинга с использованием УЗД	11
1.1 Акустические методы неразрушающего контроля	11
1.1.1 Подгруппы активных методов	13
1.1.1.1 Методы прохождения	13
1.1.1.2 Методы отражения	15
1.1.1.3 Импедансный метод	18
1.1.1.4 Метод свободных колебаний	18
1.1.1.5 Резонансный метод	19
1.1.1.6 Комбинированные методы	19
1.1.2 Пассивные методы акустического контроля	21
1.1.2.1 Акустико-эмиссионный метод	21
1.1.2.2 Вибрационно-диагностический и шумодиагностический методы	22
1.1.3 Способы осуществления акустического контакта	22
1.2 Основы автоматизированных систем мониторинга	24
1.2.1 Система мониторинга несущих конструкций здания	25
1.2.2 Информационно-измерительная система мониторинга напряженно-деформированного состояния несущих строительных конструкций и сооружений	26
1.2.3 Автономная система мониторинга напряженно - деформированного состояния магистрального трубопровода	30
1.3 Система мониторинга с использованием ультразвуковых датчиков	32
1.3.1 Выбор точек размещения ЭМАП в наиболее нагруженных местах ТУА	33
1.3.2 Обоснование выбора ЭМАП в виде датчиков	38

1.3.3 Способ крепления датчиков к поверхности объекта	40
2 Выбор приборов и устройств для ультразвукового контроля	43
2.1 Выбор модели ультразвукового дефектоскопа	43
2.2 Электромагнитно-акустические преобразователи	46
2.3 Соединительный кабель	56
2.4 Стандартные образцы	57
2.5 Система управления базами данных	58
2.6 Система управления лабораторией неразрушающего контроля	59
3 Безопасность жизнедеятельности	62
3.1 Требования безопасности перед началом работы	62
3.2 Требования безопасности во время работы	63
3.3 Требования безопасности при ультразвуковом контроле	64
3.4 Требования безопасности по окончании работы	65
4 Экономическая часть	67
Заключение	70
Библиографический список	72

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

- ТУА – транспортно-установочный агрегат;
- СК – стартовый комплекс;
- РКН – ракета космического назначения;
- СП – стартовое положение;
- ОК – объект контроля;
- УЗ – ультразвуковая волна;
- АЭ – акустическая эмиссия;
- СО – стандартный образец;
- АРМ – автоматизированное рабочее место;
- АВ – акустические волны;
- УВ – упругие волны;
- ПО – программное обеспечение;
- БПР – блоки преобразователи;
- ПЭВМ – персональная электронно-вычислительная машина;
- ИСП – измерительные струнные преобразователи;
- АСМ – автоматизированные системы мониторинга;
- СУБД – системы управления базой данных;
- НДС – напряженно-деформированное состояние;
- ЦВС – центральная вычислительная станция;
- ЭМАП – электромагнитные акустические преобразователи;
- ПЭП – пьезоэлектрический преобразователь;
- САПР – системы автоматизированного проектирования.

ВВЕДЕНИЕ

ТУА ракеты-носителя нужен для транспортировки ракеты космического назначения от технического комплекса и для его дальнейшего приведения в СП на пусковом столе. Для ТУА разработано отдельное помещение, которое соединяется с железной дорогой.

Эксплуатация ТУА может осуществляться в независимости от сезона или погодных условий, однако при этом средняя скорость, достигаемая ветром не должна быть выше 17 м/с, а температурный диапазон окружения может варьироваться от минус 40 °С до плюс 40 °С.

При соблюдении инструкции по использованию, ТУА обеспечивает выполнение более 300 циклов работы с ракетой космического назначения, не требуя значительных ремонтных работ на протяжении 15 лет.

Цикл работы агрегата с РКН заключается в исполнении следующего ряда действий: первым, из которых является помещение нижней части ракеты космического назначения на агрегат, затем дальнейшее соединение верхней и нижней частей ракеты космического назначения, перемещение ТУА совместно с ракетой космического назначения с многофункционального ТК на стартовый комплекс с последующей установкой РКН на агрегат, а также освободить агрегат от ракеты космического назначения, при возникновении аварийной ситуации или в случае, когда проводимая работа считается несостоявшейся, а также совершение действий в обратном порядке, если осуществляемые работы не удалась.

В процессе эксплуатации сооружения и конструкции, в частности ТУА, аккумулируют микроповреждения, называемые дефектами, в дальнейшем их количество будет расти, что в свою очередь может сказаться на корректности работы используемой металлоконструкции, в будущем это приведет к разрушению конструкции, появление аварийных ситуаций. Для предотвращения подобных исходов необходимо использовать системы мониторинга.

АСМ можно использовать на разных стадиях функционирования объекта, например, на этапе строительства, или при его эксплуатации. Крепление используемых приборов, может осуществляться различными способами. Например, они могут находиться на поверхности объекта контроля, также для выполнения поставленной задачи может потребоваться их исполнение в структуре объекта контролирования.

Одной из наиболее важных задач, которые может решать система мониторинга, это увеличение сроков межремонтных работ на основе постоянного наблюдения за конструкциями и сооружениями. Ремонт назначается не по графику проведения, а на основе оценки технического состояния конструкций используя контрольные показатели. В роли, которых могут быть собственные частоты колебаний, показатели прогиба, осадки, наклона и предела прочности материала, которые находятся с использованием автоматически работающих измерительных устройств.

1 ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЗД

1.1 Акустические методы неразрушающего контроля

Ультразвуковой (УЗ) метод проведения неразрушающего контроля в сравнении с другими методами имеет следующие преимущества: большая чувствительность к малым дефектам, а также к трещинам и непроварам, которые представляют большую опасность, повышенная эффективность, возможность осуществления контролирования непосредственно на рабочих местах без внесения изменений в ход технологического процесса, а также сравнительно низкая стоимостью проведения контроля. Использование УЗК методов позволяет получать информацию о дефектах, которые расположены на значительной глубине в различных изделиях изготовленных из разных материалов и сварных соединениях.

Рассмотрим базовые определения для детального понимания специфики УЗ методов.

Свойство твердых тел восстанавливать свои форму и объем (для жидкостей и газов - только объем) после прекращения действия внешних сил называется упругость. Обладающую упругостью среду принято называть упругой средой. Колебания упругой среды или ее части, механических систем, которые возникают под действием механического возмущения принято называть упругими колебаниями. Упругие (акустические) волны – это механические возмущения, которые распространяются в упругой среде.

Упругие механические колебания, распространяющиеся в воздухе, считают обычно как звуки. Это – акустические колебания. Если частота таких колебаний выше 20000 Гц (20 кГц), то есть они превосходят порог слышимости для человека, то такие колебания называют ультразвуковыми (УЗК). В дефектоскопии наиболее часто применяют диапазон частот от 0,5 до 10 МГц (1 МГц=10⁶ Гц).

Согласно ГОСТ 23829–85 все акустические методы делятся на две большие группы. Первая группа это активные методы, в которых используются излучение и прием акустических волн и колебаний, вторая – пассивные методы, в которых осуществляется лишь прием УЗ колебаний и волн. Колебания в пассивных методах образуются за счет действия явлений, происходящих непосредственно в контролируемом изделии. Среди всех методов, можно выделить те, суть которых заключается в создании в контролируемом изделии бегущих и стоячих волн.

Первая группа активных акустических методов, которая основывается на применении бегущих волн, делится на подгруппы: а именно ряд методов, использующих для своей реализации прохождение, также отражение волн, и методы, в которых используются совокупные действия отражение, и прохождение волн, которые называются комбинированными.

Ко второй группе имеет отношение акустико-эмиссионный метод, принцип действия которого базируется на использовании бегущих волн. Действие АЭ заключается в излучении УВ материалом объектом контроля из-за внутреннего динамического локального изменения структуры материала.

Вибрационно-диагностический и шумодиагностический также считаются пассивными методами. Принцип действия первого основан на анализе параметров вибрации какой-либо части изделия используя для этого приемники, относящиеся к контактному типу.

Шумодиагностический метод, проводит исследование спектра шумов конструкции, которая осуществляет работу, на слух или при помощи особых приемников, которые принято называть анализаторами спектра.

Метод собственных частот делится на вынужденные и свободные колебания. Применение любого из них образует свободные или вынужденные колебания в контролируемом изделии в целом, такие методы называются интегральными методами, либо отдельной части, тогда такие методы называются локальными. Исходя из ГОСТ 23829 – 85 свободные колебания создают путём коротких внешних влияний на контролируемое изделие. А для вынужденных колеба-

ний необходимо обеспечивать стабильную связь колеблющегося объекта контроля с генератором, который создает колебания, при осуществлении анализа его частоту необходимо изменять. В таких методах контрольными показателями являются частоты свободных колебаний, либо резонансов вынужденных колебаний.

Классификация акустических методов контроля по ГОСТ 23829-85 приведена ниже на рисунке 1.



Рисунок 1 – Классификация акустических методов контроля и диагностики по ГОСТ 23829–85

1.1.1 Подгруппы активных методов

1.1.1.1 Методы прохождения

Все существующие методы прохождения строятся на возбуждении в контролируемом изделии акустических волн и изучении характеристик волн, которая прошла через контролируемое изделие. Для осуществления методов прохождения необходимо присутствие пары преобразователей – одним из которых является излучателем, а второй приемником, расположенных на противо-

ложных сторонах от изделия, на котором осуществляется контроль. В некоторых вариантах возможно размещение преобразователей по одну часть на строго заданном интервале по отношению к друг другу. Необходимые данные же принимают после измерения основных факторов сигнала, который проходит от излучателя к приемнику. К данной подгруппе имеют отношения следующие методы: Амплитудный теневой метод, основывающийся на фиксации получаемой величины амплитуды сигнала, присутствие дефекта для которого затрудняет прохождения сигнала, а также образует некую звуковую тень. Основной характеристикой метода считается амплитуда сигнала, который проходит через контролируемое изделие. Режим излучения при реализации контроля таким методом считается непрерывный.

Теневой метод используется для осуществления исследования изделий типа проката разной толщины, также некоторых изделий из резины, может применяться для изучения характеристик таких материалов, как стеклопластиков, графита и т. д. Данный метод имеет большую помехоустойчивость, а также малое соотношение амплитуды, проходящего сигнала, от расположения дефекта. Но несмотря на это имеются серьезные недостатки ключевым из которых считается: необходимость наличия контакта с двух сторон от контролируемого изделия, а также сравнительно небольшая достоверность, необходимая для выявления местонахождения дефекта.

Временно-теневой метод базируется на замере времени задержки, поступающего импульса волны, которая образуется из-за огибания дефекта.

Наиболее информативным параметром при осуществлении контроля рассматриваемым методом считается время импульса, который проходит через контролируемое изделие. Режим излучения для данного метода импульсный.

В объекте контроля, в котором есть дефект время, за которое импульс проходит ОК отличается, из-за того, что волна огибает существующий дефект.

Временно-теневой метод получил наибольшее распространение при контроле материалов, у которых наблюдается значительное рассеяния ультразвуковых колебаний.

В велосиметричном методе происходит считывание перепадов скорости УВ в зоне, где находится дефект. К примеру, анализ ОК с малой толщиной, показывает что изгибная волна, которая проходит через материал, уменьшает свою скорость из-за наличия некоторых расслоений. Подобное случаи регистрируется по сдвигу фазы волны, которая проходит изделие или по времени прихода импульса.

Основной параметр метода – изменение фазы сигнала, который осуществляет прохождение. В данном методе используется непрерывный способ излучения. Такой метод применяют при исследовании изделий малой толщины, таких как листы, также многослойных изделий. Обнаруживаются дефекты такие как трещины и расслоения.

1.1.1.2 Методы отражения

К методам отражения относят методы, которые для своей работы пользуются поступающими сигналами, которые отражаются от самого дефекта. Наиболее информативными параметрами при реализации данной группы методов считаются: амплитуда волны, она содержит необходимую информацию о размере дефекта, время прибытия импульса, которое содержит данные необходимые для определения глубины местонахождения дефекта, а еще фаза колебаний. Данные ряд методов отражения состоит из:

Эхо-метода, который базируется на приеме так называемых эхо-сигналов от различных дефектов.

Наиболее важными параметрами при осуществлении контроля таким методом считается амплитуда эхо-сигнала, которая нужна для определения характера истинной отражательной возможности дефекта, зачастую она пропорциональна величине его площади, также время, которое необходимо для возвращения эхо-сигнала, позволяющее выявить примерную глубину, на которой расположен дефект. Считается, что режим излучения такого метода контролирования импульсный.

Из-за того, что данные эхо-сигнала от дефекта поступают значительно раньше сигнала, полученного от дна изделия, то его амплитуда считается менее

большой. Регистрируя такие времена возвращения сигнала по шкале, расположенной на мониторе используемого прибора, определяется длиной между дефектом или до донной поверхности контролируемого изделия. Благодаря амплитуде, полученной от эхо-сигнала, можно оценить отражательную возможность дефекта и сформировать представление касаясь его приблизительных размеров. Вследствие таких качеств как универсальность, безопасность, точность, высокая чувствительность необходимая для определения дефектов, эхо-метод считается наиболее распространенным среди всех акустических методов контроля изделий.

В эхо-зеркальном методе происходит исследования сигналов, которые отражаются от дефекта и дна объекта контроля. Есть несколько вариантов осуществления данного метода. Первым из которых является так называемый «тандем», который необходим для нахождения вертикально расположенных дефектов. При таком варианте используется пара наклонных преобразователей, которые по своему функциональному назначению являются излучателем и приемником. Такие преобразователи необходимо расположить на одной стороне объекта контроля.

Второй вариацией метода является «К-метод», который применяется, если есть возможность получения доступа к объекту контроля с противоположных сторон. При такой реализации используются также пара наклонных преобразователей, но их устанавливают по разные стороны от ОК. О присутствии дефекта свидетельствует появление импульса на контролируемом участке.

Наиболее содержательным параметром метода считается амплитуда так называемого эхо-сигнала.

Дельта-метод основывается на таком явлении, как дифракция волн на самом дефекте. В роли излучателя применяется также один наклонный преобразователь, который необходим для возбуждения волны. На границах найденного дефекта наблюдается видоизменение поперечной волны в продольную. А приемником служит прямой преобразователь, который считывает несколько сигналов: один из них которых поступает от края верхней границы дефекта, а второй,

которых приходит несколько позже, от край нижней границы дефекта, поступающий за его отражением от дна объекта контроля.

В рассматриваемом методе наиболее актуально отслеживание следующих параметров: амплитуда волны, которая является пропорциональна параметрам остроты границ трещины и, стало быть, степени, характеризующую ее опасность, также задержку по времени прихода импульса, полученного от нижней границы дефекта относительно импульса от верхней границы дефекта, который характеризует протяженность трещины. В данном методе используется импульсный способ излучения.

Необходимость использования дельта-метод проявляется, когда стоит задача определить вертикально расположенные дефекты.

Серьезным минусом данного метода заключается в сложности применяемой схемы сканирования: так как в начале проведения анализа располагают излучатель и осуществляют исследование приемником, далее излучатель передвигают в последующее место, и также осуществляют исследование вновь, и т. д.

Реверберационный метод суть которого заключается в исследовании интервалов времени, которое необходимо для осуществления объемной реверберации, то есть плавного ослабления действия звука в определенном объеме изделия. Это метод, который используют для контролирования паяных, а также различных клеёных изделий для обнаружения дефектов по типу разных несплошностей.

Когда дефект присутствует, время необходимое для ослабления импульсов значительно увеличивается.

При присутствии дефекта, который препятствует передачи энергии ультразвуковых колебаний между смежными слоями, время реверберации будет увеличиваться.

1.1.1.3 Импедансный метод

Осуществляется благодаря исследованию изменений, поступающего акустического импеданса части поверхности контролируемого изделия, с которым преобразователь осуществляет взаимодействие.

В роли преобразователя применяется специальный колеблющийся стержень, плотно прижатый к поверхности контроля. Присутствие подповерхностного дефекта при проведении контроля данным методом влечет за собой изменение площади касания используемого стержня со стороной контролируемого изделия, вследствие чего величина входного импеданса объекта, который подвергается контролю, изменяется.

Наиболее содержательным параметром метода считается амплитуда, а также фаза и частота колебаний стержня.

Благодаря импедансному методу становится возможным обнаружить участки, на которых происходит нарушение связи, которая образуется между элементами конструкций, состоящих из слоев, то есть слоистых: примером могут послужить непроклеи, непропаи, и разные расслоения.

1.1.1.4 Метод свободных колебаний

Базируется на анализе спектра частотных колебаний, возбуждающихся в материале объекта контроля. Путём какого-либо небольшого по величине и времени внешнего воздействия на контролируемое изделие, примером может послужить удар, который вызывает в объекте контроля так называемые свободные, затухающие колебания.

Оценивающей характеристикой данного метода является частотный спектр.

Наличие дефекта несомненно приводит к изменению величины параметров колебательной системы, что в свою очередь оказывает влияние на частотный спектр колебаний. В изделиях, в которых наблюдается дефект спектр смещён к направлению низких частот.

Использование данного метод дает возможность определить нарушения связи, которые происходят между слоями в многослойных конструкциях, а также выявление внутренних дефектов в массивных изделиях.

1.1.1.5 Резонансный метод

Метод, суть которого заключается в возбуждении волн в контролируемом объекте. Использование совмещенного преобразователя позволяет возбуждать и осуществлять прием ультразвуковых колебаний. В случае, когда наблюдается сходство между частотами возбуждения с собственными частотами контролируемого изделия, в системе образуется явление под названием резонанс. Возникающие при определенной частоте стоячие волны, зависит как от толщины контролируемого объекта, так и от скорости распространения АВ в материале ОК. Производят модулирование, то есть изменение частоты колебаний по времени, затем определяют частоты, возбуждающие резонансные колебания. Такие частоты формируются по толщине изделия, также присутствию и месторасположению возможных дефектов. В свою очередь существование дефектов ведет к полному потери резонансов. Также определяют скорости звука в изделии, по установленной ранее величине значения резонансной частоты.

Характеристикой контроля в данном методе является резонансная частота.

УЗ резонансный метод применяется, когда необходимо выявить дефекты в виде коррозии, а также несплошностей в материале изделия или для измерения толщины разных объектов.

1.1.1.6 Комбинированные методы

Основаны на применении совокупного действия принципов прохождения и отражения АВ. Подобная реализация, сочетающая в себе методы отражения и прохождения, значительно повышает надежность контроля. К данной группе методов имеют отношение: эхо-теновой, зеркально-теновой и эхо-сквозной методы.

Зеркально-теновой метод, принцип действия которого строится на исследовании амплитуды сигнала, полученного от дна изделия. По осуществлению

проведения контроля это метод отражения, то есть происходит расчет эхо-сигнала, однако по своему смыслу производят измерения снижения дефектом получаемого сигнала, проходящий контролируемое изделие. Считается, что данный метод имеет сходства с теневым методом, именно из-за этого его классифицируют как комбинированный метод.

Наиболее содержательной характеристикой метода считается амплитуда сигнала отраженного от дна объекта контроля. А присутствие дефекта при осуществлении контролирования таким методом обусловлено снижением амплитуды сигнала, получаемого от донной поверхности.

Зеркально-теневой метод используется в совокупности с эхо-методом. Благодаря этому одновременно следят за формированием эхо-сигналов и возможным снижением проявления сигнала дефекта, полученного от дна объекта, которые не предоставляют точных эхо-сигналов, а также плохо определяются эхо-методом.

Эхо-теневой метод основывается на считывании прошедших и отраженных волн и их дальнейшем анализе. Один пьезоэлектрический преобразователь, также как в эхо-методе, производит регистрацию отраженных сигналов от дефекта. Второй пьезоэлектрический преобразователь располагается на противоположной стороне изделия и производит прием сигналов, которые прошли через контролируемый объект.

Амплитуды отраженных и прошедших волн, время за которое приходят отраженные импульсы являются основными параметрами, на которых акцентируют внимание при проведении контроля данным методом.

Несомненными преимуществами данного метода служат большая вероятность нахождения местоположения дефектов и последующая возможность оценки их характера. А для реализации контроля эхо-теневым методом необходимо использование аппаратуры, имеющей два канала приема.

При эхо-сквозном методе применяется серия сигналов, которые проходят через объект контролирования, а также и отраженные от дефекта. Для реализации используют пару преобразователей, один из которых является излучаю-

щим, а другой приемным, они находятся на противоположных сторонах контролируемого изделия соосно друг другу.

Контрольной характеристикой метода считаются амплитуды сигналов.

Эхо-сквозному методу характерны следующие плюсы: сравнительно большая чувствительность относительно теневого метода; время, которое необходимо для прохождения сигналов, у данного метода не имеет зависимости от перемещения контролируемого изделия по отношению к датчикам, осуществляющих контроль; а также шероховатость контролируемой плоскости изделия не отражается на результатах анализа.

1.1.2 Пассивные методы акустического контроля

1.1.2.1 Акустико-эмиссионный метод

Метод, принцип действия которого базируется на явление АЭ, то есть когда происходит образование УВ в результате внутреннего динамического локального изменения структуры материала.

Причинами образования АЭ могут служить: процессы коррозии, формирование и развитие динамики микротрещин; а также этапы пластической деформации.

Так как причиной акустико-эмиссионной энергии является поле упругих напряжений, возникающее в самом материале, то контроль, основанный на рассматриваемом методе, осуществляется путём непосредственного нагружения исследуемого изделия. Контроль, в рамках которого используется метод, может быть проверочным или периодическим

Самыми содержательными характеристиками метода считаются: суммарный счет – это количество зафиксированных импульсов АЭ, которое превышает отмеченный порог за весь период наблюдения; количество импульсов за весь период наблюдения; активность – это число импульсов за какой-то промежуток времени; скорость счета – то есть число тех импульсов, которые превышают отмеченный порог в единицу времени; амплитуда, поступающего сигнала.

По разной величине времени регистрации сигнала, поступающих от датчиков, находят местоположение дефекта. Метод акустической эмиссии счита-

ется дистанционным, это значит что для него не требуется сканирование поверхности объекта контроля для определения места локально расположенных дефектов. Для его проведения достаточно корректного расположения датчиков на поверхности контролируемого изделия для проведения локализации причин акустической эмиссии. Благодаря дистанционному использованию данного метода определяются сравнительные достоинства этого метода НК. Главным недостатком акустико-эмиссионного метода считается увеличенная чувствительность к помехам и шумам.

1.1.2.2 Вибрационно-диагностический и шумодиагностический методы

Вибродиагностический метод базируется на произведении расчета характеристик вибрации отдельной детали или узла, благодаря приемникам контактирующего типа. Спектр вибраций представляет совокупность линий. Шумодиагностический метод анализирует спектр шумов механизма, которые осуществляет работу, используя микрофонные приемники, для более конкретного получения результатов. Спектр шумов представляет собой непрерывную составляющую.

В состав оборудования, которое необходимо для проведения вибро- и шумодиагностики входят различные приемники в том числе и широкополосные, такие как микрофоны, а также усилители и анализаторы спектра. Главная цель данных методов заключается в выявлении неисправностей различных детали, а также расчет ресурса механизма.

1.1.3 Способы осуществления акустического контакта

Акустический контакт – это способ возможного распространения акустического сигнала из контролируемого изделия в используемый преобразователь и наоборот. Из-за того, что прохождению АВ в значительной степени мешают так называемые воздушные промежутки, распространение волн от преобразователя к нужной поверхности контролируемого изделия, действие таких воздушных пространств уменьшают за счет использования специальных жидкостей. Известны следующие варианты реализации акустического контакта:

Бесконтактный способ. Когда акустические колебания в контролируемом изделии возбуждаются сквозь воздушный зазор или же создаются в объекте контроля при помощи действия разных явлений, например такие как электромагнитные, оптические и др. Использование бесконтактного способа характеризует более низкую чувствительность контролирования, однако его использование возможно в случаях: когда поверхность необходимая для проведения контроля грубая; когда необходимы более высокие скорости осуществления исследований; возможно проведения анализа при высоких температурах; а также в случае, когда поверхность ОК загрязнена.

Щелевой или менисковый способ. При реализации данного способа, использующаяся жидкость, находится в промежутке между датчиком, а с другой стороны поверхностью контролирования, на которой осуществляется исследование, благодаря имеющимся силам, которые нужны для создания поверхностного натяжения. В таком случае, длина волны сравнима с величиной толщины иммерсионного слоя.

Контактный метод. Чтобы обеспечить акустический контакт прибор необходимо как следует прижать к стороне анализируемого изделия, на которой осуществляется контролирование, обработанного специальным жидким веществом для уменьшения влияния неровности поверхности. При использовании такого метода толщина слоя используемой жидкости значительно меньше, чем величина длины волны.

Иммерсионный метод. Анализируемое изделие полностью опускают в специальную жидкость. Еще одной вариацией исполнения такого метода считается использование жидкостной ванны, которая необходима для проведения контроля отдельно выбранной части объекта. При этом толщина слоя жидкости, то есть интервал между датчиком и стороной анализируемого объекта значительно превосходит длину волны. Данный способ используют в методах контроля, в которых существенно необходима постоянность акустического контакта, например амплитудный теневой, эхо-сквозной методы.

Любая используемая контактная среда должна отвечать следующим требованиям: Во-первых, обладать малой величиной поглощения энергии акустических колебаний; во-вторых, она должна обеспечить достаточную смачиваемость; а также быть не опасными для здоровья персонала; не должны приводить к скорой коррозии изделия.

1.2 Основы автоматизированных систем мониторинга

Каждая система мониторинга в общем виде включает в своей состав следующие компоненты:

- совокупность средств, необходимых для измерения, а также средств, осуществляющих автоматизацию, и механизмы исполнения;
- кабельную сеть, необходимую для передачи потоков данных;
- сеть передачи информации;
- система дистанционного управления объектами.

В общем случае система мониторинга должна обеспечивать:

- возможность прогнозирования и предотвращения нештатных ситуаций за счет осуществления непосредственного контролирования за рядом выбранных параметров, обеспечение выполнения работы объектов и определения возникающих отклонений действительных значений от нормативно определенных;
- целостность и стабильность сбора, передачи, а также обработки информации о контролируемых параметрах системы;
- формирование, систематизация и передача объема данных о состоянии системы, а также любых изменений в состоянии конструкций и сооружений;
- формирование и передачу сообщения о произошедших аварийных ситуациях на объектах в диспетчерскую службу;
- автоматизированное оповещение персонала, отвечающего за безопасность объектов;

Рассмотрим конкретные примеры применения подобных систем с целью подтверждения правильности сформированного состава и функций системы мониторинга состояния .

1.2.1 Система мониторинга несущих конструкций здания

Согласно анализируемой статье [1] рассматриваемая АСМ спроектирована для осуществления следующего ряда функций:

1. Для осуществления контролирования НДС металлических ферм и отклонения от заданного положения колонн, а также производить оповещения о месте, в которых измеренные значения подходят к проектным величинам.

2. При возникновении ситуации, в которой измеренные параметры превышают расчетные значения, системой осуществляется постоянный контроль НДС конструкции; составляются сообщения опасности; а также она предоставляет данные о месте, где величины, за которыми происходит контроль, превосходят рассчитанные плановые значения.

3. Сигнализирование для того, чтобы провести эвакуации из здания, а также с территории предприятия, когда измеряемые характеристики величин достигли критических значений .

Система работы мониторинга представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Схема, описывающая взаимодействия двух частей системы мониторинга[1]

Авторами статьи [1] предложены этапы работы проектируемой системы, согласно которым сначала сигналы с приборов поступают на устройства, осуществляющие сбор данных в аналоговом виде, затем происходит преобразова-

ние в цифровой вид, а по кабельной системе перемещаются в базу данных, которая находится на ПК. Управление работой устройств происходит при помощи компьютера, используя программы GEOTEK-SHM. В ПК применяя зависимости, объемы данных преобразуются в физические величины, которые позволяют оценить состояние конструкции.

После благодаря использованию программы ANSYS, производится статический расчет. Данные о результатах проведения исследований вписываются в БД и обновляются при эксплуатации сооружения с некоторым временным периодом.

Полученные величины берутся в сравнении проектными значениями, полученными по результату проведения статического анализа. В том случае, когда они превосходят установленные границы, выдается оповещение о возможной опасности.

Состав АСМ включает в себя станции, блоки сбора информации с датчиков и необходимую кабельную систему.

Базовая станция состоит из следующей аппаратуры: ПК, преобразователи, источник электропитания, ПО и БД.

А блоки сбора сигналов применяют для осуществления приема и обработки данных, которые поступают с приборов. В своем составе они имеют: микропроцессор, различные преобразователи и дифференциальные усилители, принимающие сигналы с датчиков, преобразователи напряжения.

Данная АСМ используется для оценки состояния конструкций из металлических ферм и контролирования отклонения от вертикали главных блоков.

1.2.2 Информационно-измерительная система мониторинга напряженно-деформированного состояния несущих строительных конструкций и сооружений

Предложенная авторами [2] система включает в себя необходимые приборы и устройства для проведения контроля, АРМ, ПО.

Данная АСМ [2] предназначена для:

- гарантирования безопасности населения благодаря автоматическому отслеживанию НДС металлических конструкций;
- выявления на ранних этапах отрицательного изменения НДС металлоконструкций, потому что такие перемены могут повлечь за собой разрушения и некорректную работу контролируемого объекта.
- проведения слежения и формирования массива данных о изменениях, возникающих в НДС металлических конструкций;
- автоматизированного наблюдения в каждый момент времени НДС металлических конструкций за счет получения нужного объема данных от размещённых в них разных преобразователей по цифровым каналам передачи информации.

АСМ [2] можно использовать при необходимости измерения деформаций арматуры и измерения деформаций бетона.

Целью авторов, которая формулируется в данной статье [2] является проектирование автоматизированного получения, обработки и анализа данных по установленным замерным станциям.

Ими предложена схема решения, которая приведена на рисунке 3.



Рисунок 3 – Схема обработки экспериментальных данных[2]

Также приведена схема осуществления информационно-измерительной системы рисунок 4.

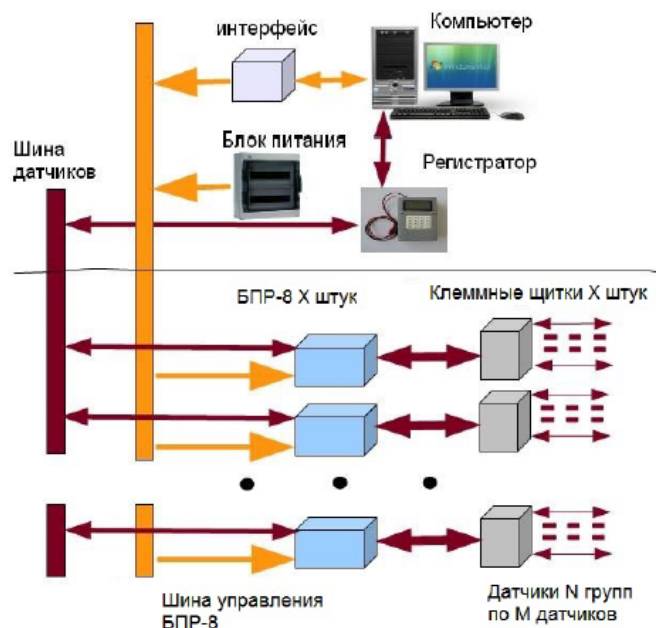


Рисунок 4 – Схема осуществления информационно-измерительной системы[2]

Создание электрической сети в [2] осуществляется благодаря БПР, которые в совокупной работе с ПЭВМ считаются аппаратным средством преобразования и приема данных с измерительных преобразователей с электромагнитным импульсным возбуждением.

В свою очередь блок преобразователей представляет собой платы устройства управления, устройства коммутации и импульсного модуля питания, розетки RS 422 для подключения к ПЭВМ. Данные от измерительных преобразователей поступают на соединители устройства. Связь используемого блока преобразователей с вычислительной машиной осуществляется с помощью интерфейсов передачи цифровых данных.

Принцип действия блока базируется на анализе данных по программе, которая находится в вычислительной машине, составлении импульсов запроса, которые создают колебания используемых для работы преобразователей, и определении периода колебаний, которые ослабевают, синусоидальной формы, поступающих с тех же преобразователей.

Определение времени сигналов ответа датчиков заключается на счетно-импульсном принципе, при использовании которого необходимое для счета устройство выполняет проведения расчета количества импульсов, которые поступают на его вход, за время, которое приравнивается к ста измеряемым периодам. Команды запроса состоят из следующей информации номер блока преобразователей; номер информационного канала; режим работы; амплитудное значение сигнала возбуждения; значение интервала времени, которое проходит из-за вызванной задержки начала измерения.

Аппаратура управления производит сигналы адреса и управления. Данные адреса поступают на аппаратуру коммутации. Сигналы управления формируют временную диаграмму заданного режима работы.

Контроль дистанционными коммутаторами сигнала от приборов в [2] осуществляется по схеме, приведенной на рисунке 5.

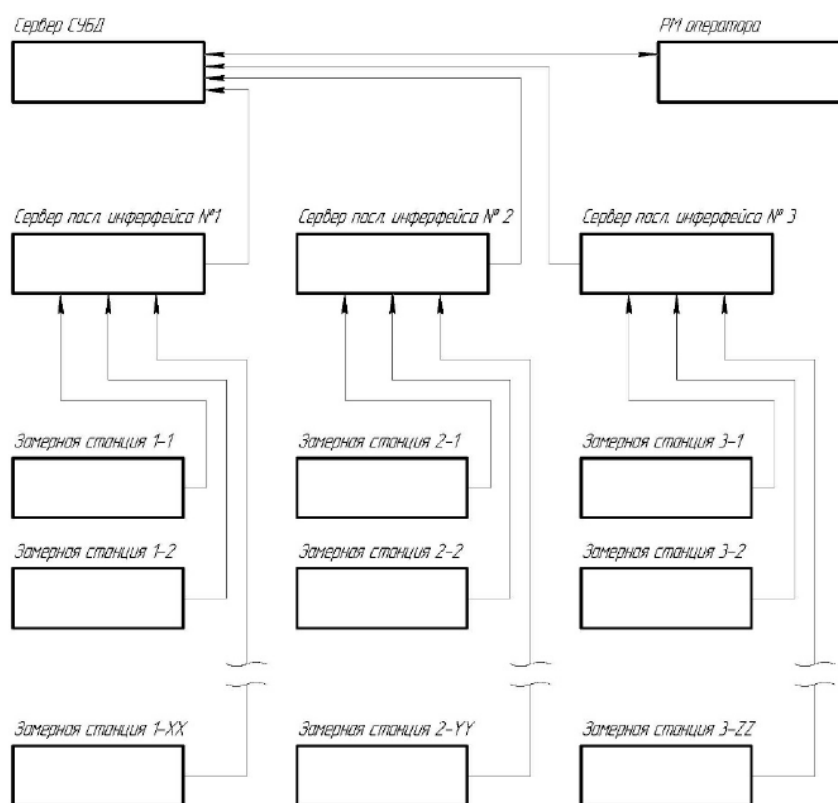


Рисунок 5 – Схема управления дистанционными коммутаторами сигнала от датчиков, где XX – число измерительных станций на объекте № 1; YY – число измерительных станций на объекте № 2; ZZ – число измерительных станций на объекте № 3

В [2] сервера АРМ и СУБД соединены между собой посредством локальной сети стандарта Ethernet.

Сервер СУБД по запланированному времени осуществляет подключение к серверам для получения данных с замерных станций и сохранения с последующей передачей информации в базу данных. При осуществлении приема информации в базу данных также производится расчёт необходимых физических величин. На рабочем месте оператора до ПО доходит необходимая информация о измеряемых параметрах с сервера системы управления базой данных и обрабатывает их.

Данная информационно-измерительная система [2] используется для гарантирования безопасной и надежной эксплуатации подземных конструкций и сооружений.

1.2.3 Автономная система мониторинга напряженно - деформированного состояния магистрального трубопровода

Данная система [3] необходима из-за непростого инженерно- геологического условия размещения, которое связано с наличием оползней. Трубопровод воспринимает непроектные воздействия, которые приводят к повышению величин напряжений. В результате этого объект оказывается в сложном НДС, именно поэтому для предотвращения аварий так необходимо проводить анализ напряженно-деформированного состояния в режиме реального времени.

По результатам проведения исследований напряженно-деформированного состояния в [3] выявлены участки трубопровода, которые считаются наиболее опасными и уязвимыми, именно на них была установлена система мониторинга, данное решение помогла рассчитать фактическое напряженно-деформированное состояния рассматриваемых участков.

А с помощью заблаговременно построенных математических моделей получилось рассчитать допускаемые границы показаний для датчиков системы мониторинга.

Совокупность этого привело к прогнозированию поведения трубопровода с более высокой достоверностью и точностью и как следствие принимать необходимые меры для предотвращения аварий.

Общий вид системы приведен на рисунке 6.

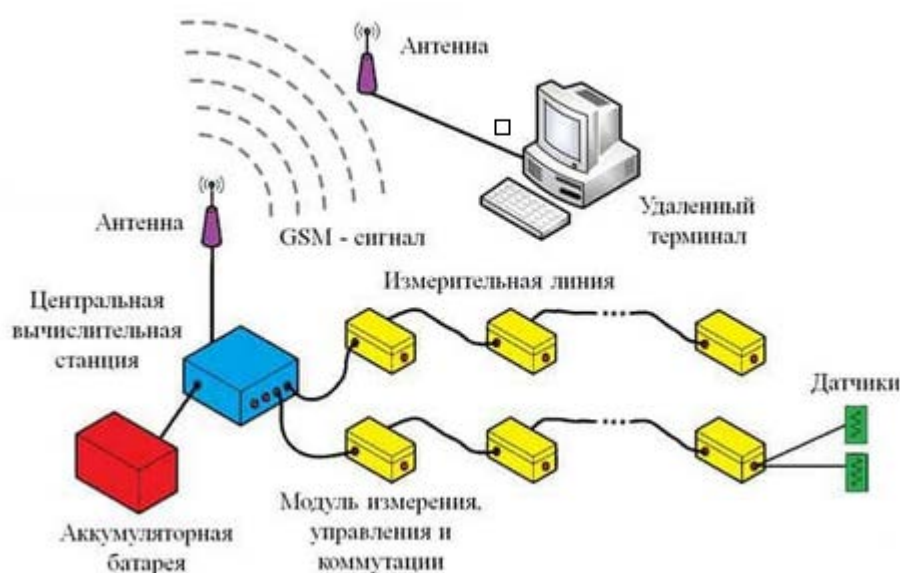


Рисунок 6 – Схема системы мониторинга НДС трубопровода [3]

Согласно [3] диагностические и параметрические датчики необходимы для осуществления сбора первичной информации. Модуль измерения, управления и коммутации применяются для сбора данных с датчиков и обмена данными с ЦВС по цифровому каналу. Аккумуляторная батарея подает электропитание центральной вычислительной станции. Центральная вычислительная станция (ЦВС) осуществляет начальную обработку, а также кратковременно хранение информации, а также коммуникацию с дистанционным терминалом. Информация с центральной вычислительной станцией на удаленный терминал поступает с помощью GSM-сигнала. Связь происходит в режиме периодических сеансов или в режиме срочного вызова при внезапно возникшей аварийной ситуации. Удаленный терминал необходим для обеспечения долгосрочного хранения информации, а также выполняет вторичную обработку поступающих данных.

- Задачами программного обеспечения системы мониторинга [3] являются:
- прием и обработка данных, которые поступают на удаленный терминал;
 - автоматическое сохранение начальных данных, а также результатов проведенных анализов;
 - Отображение информации и результатов её анализа;
 - выдача тревожных звуковых сообщений, светового оповещения и рекомендаций, которые необходимы персонала по действиям при возникновении нештатных ситуаций;
 - обобщенный многофакторный анализ диагностических данных для выявления фактического состояния объекта.

Помимо применения на различных трубопроводе данная система [3] также подходит для контроля состояния различных автодорожных мостов, изотермических хранилищ, разных металлических конструкций.

1.3 Система мониторинга с использованием ультразвуковых датчиков

В общем виде схема обработки экспериментальных данных разрабатываемой системы будет выглядеть согласно рисунку 7.

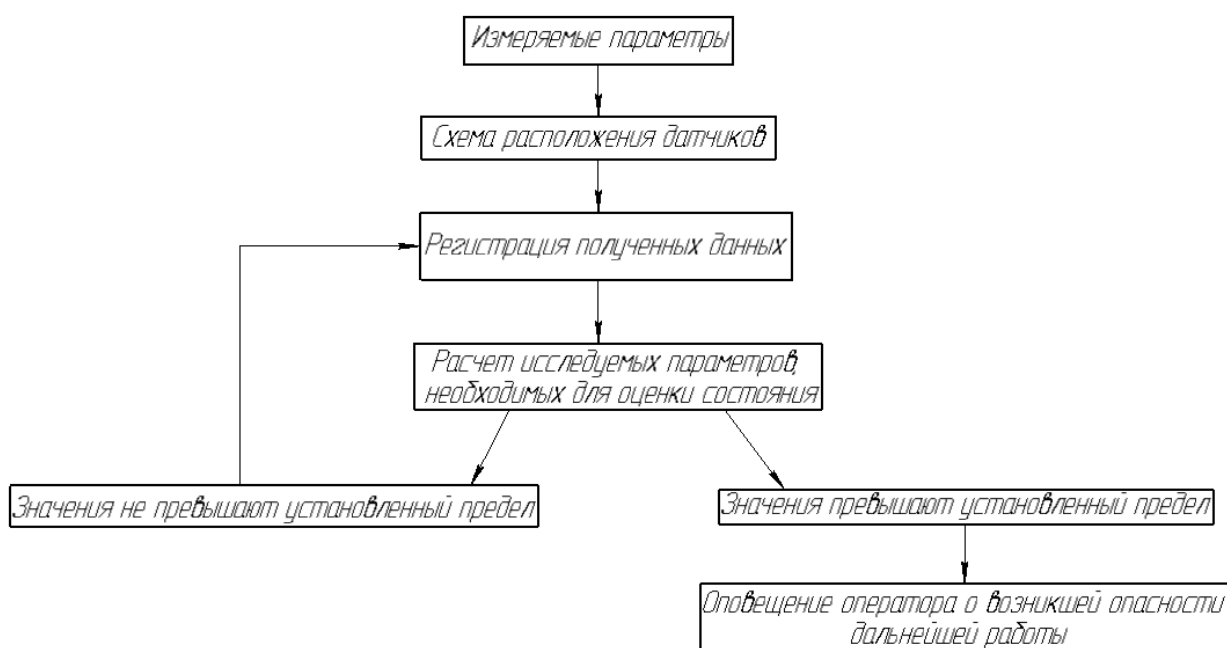


Рисунок 7 – Схема обработки экспериментальных данных

1.3.1 Выбор точек размещения ЭМАП в наиболее нагруженных местах ТУА

В первую очередь для определения наиболее опасных, нагруженных зон транспортно-установочного агрегата необходимо построить компьютерную 3D модель ТУА, а также провести моделирование напряженно-деформированного состояния.

Однако, в виду сложности конструкции транспортно-установочного агрегата и малой мощности используемого компьютера. Для проведения анализа и расчета действующих нагрузок была выбрана рама, так как она воспринимает нагрузки от действия стрелы, на которую действуют нагрузки от РКН.

Для решения данных задач, моделирование и расчет НДС, был выбран программный комплекс САПР SolidWorks с использованием встроенного дополнения SolidWorks Simulation.

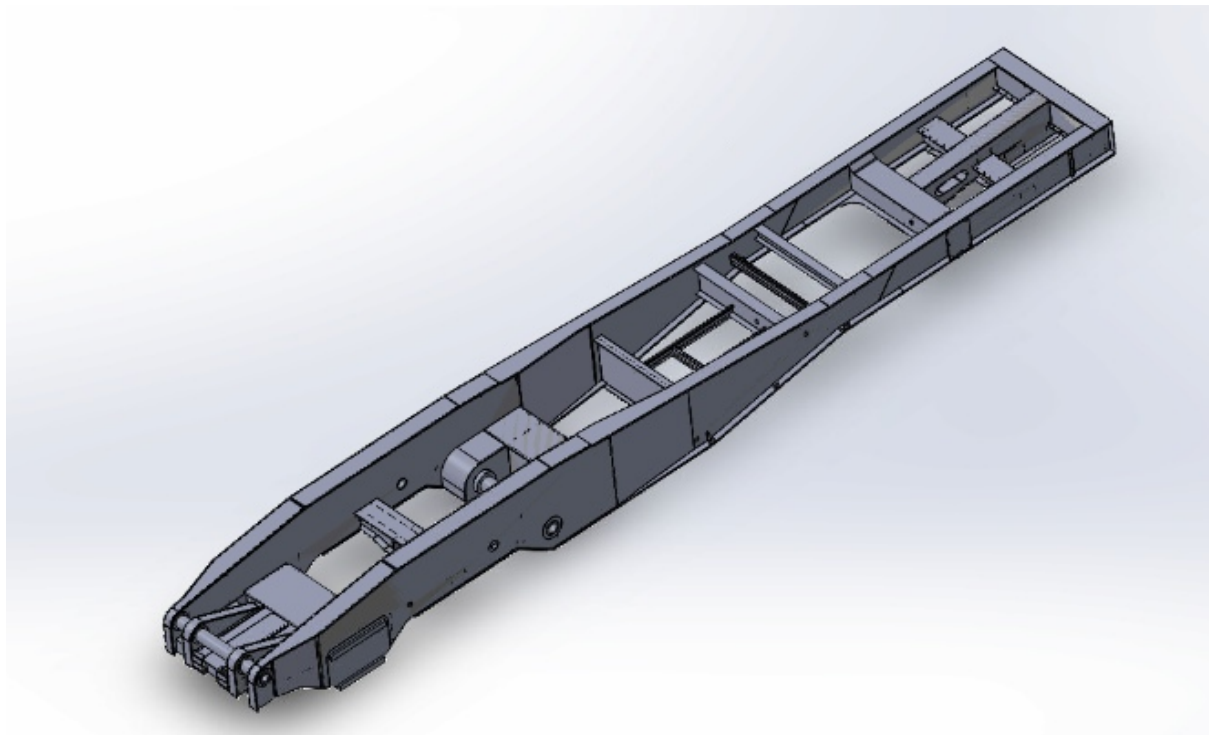


Рисунок 8 – Компьютерная 3D модель рамы транспортно-установочного агрегата

Для проведения анализа в SolidWorks было выбрано статическое исследование. Места приложения нагрузки были определены исходя из схемы внеш-

них нагрузок на железнодорожную платформу ТУА согласно, приведенную на рисунке 9.

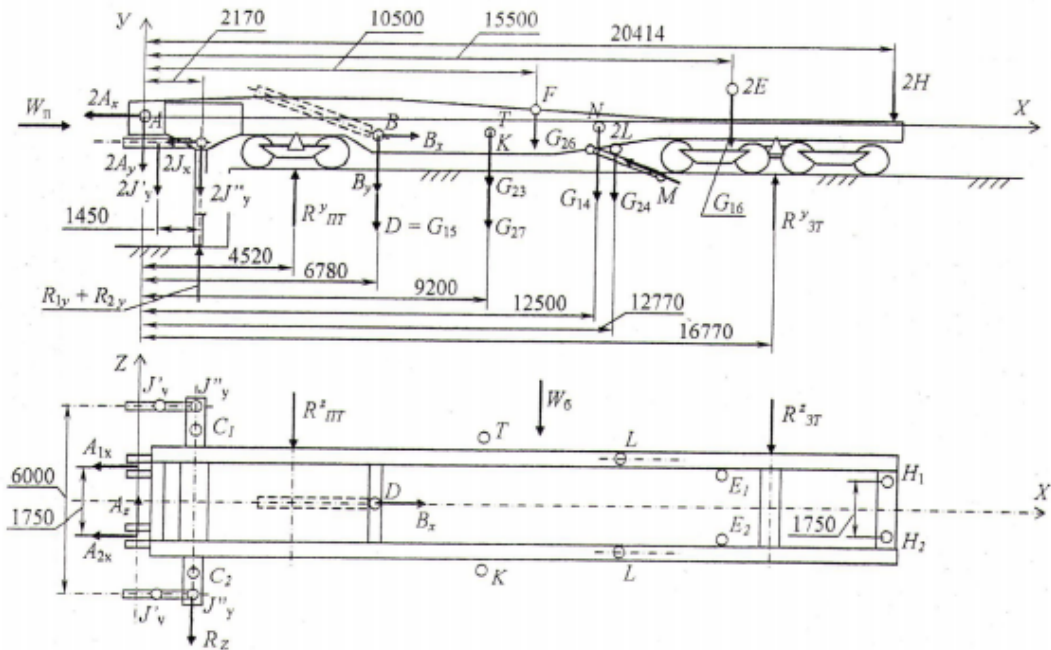


Рисунок 9 – Схема внешних нагрузок на железнодорожную платформу ТУА

На схеме приняты следующие обозначения внешних нагрузок:

W_n, W_6 – продольная и боковая ветровые нагрузки;

A_x, A_y, A_z – нагрузки на ось поворота стрелы;

J'_y, J''_y, J'_x – усилие от одной гидроопоры;

$2C = G_{21}$ – вес двух крыльев с площадками;

$R_{пт}$ и $R_{зт}$ – опорные реакции передней и задней тележек;

B_x и B_y – нагрузки на шарнир гидродомкрата;

$D = G_{15}$ – часть веса гидродомкрата, приходящаяся на раму;

$T = G_{27}$ – вес ЗИП;

$K = G_{23}$ – вес шкафа электрооборудования;

$F = G_{26}$ – вес распределенного по раме оборудования;

$N = G_{14}$ – вес раму платформы с контргрузом;

$2L = G_{24}$ – вес двух механизмов доводки;

M – усилие в стяжке механизмов доводки;

$2E = G_{16}$ – вес насосных установок, расположенных на двух площадках;

Н – часть веса поднимаемой системы, приходящаяся на опоры стрелы при транспортировки.

Направления показанных на схеме нагрузок соответствуют их принятым положительным величинам.

Так как максимальные нагрузки, действующие на платформу, возникают при подъёме. При их рассмотрении, можно быть уверенным, что платформа выдержит и другие нагрузки при различных расчетных случаях нагружения.

Приложив соответствующие нагрузки к раме ТУА, построив сетку можно провести статический анализ.

После проведения исследования становится возможным оценить места концентрации напряжения и выявить наиболее опасные из них. Исходя из анализа распределения напряжений на поверхности рамы ТУА рисунок 10

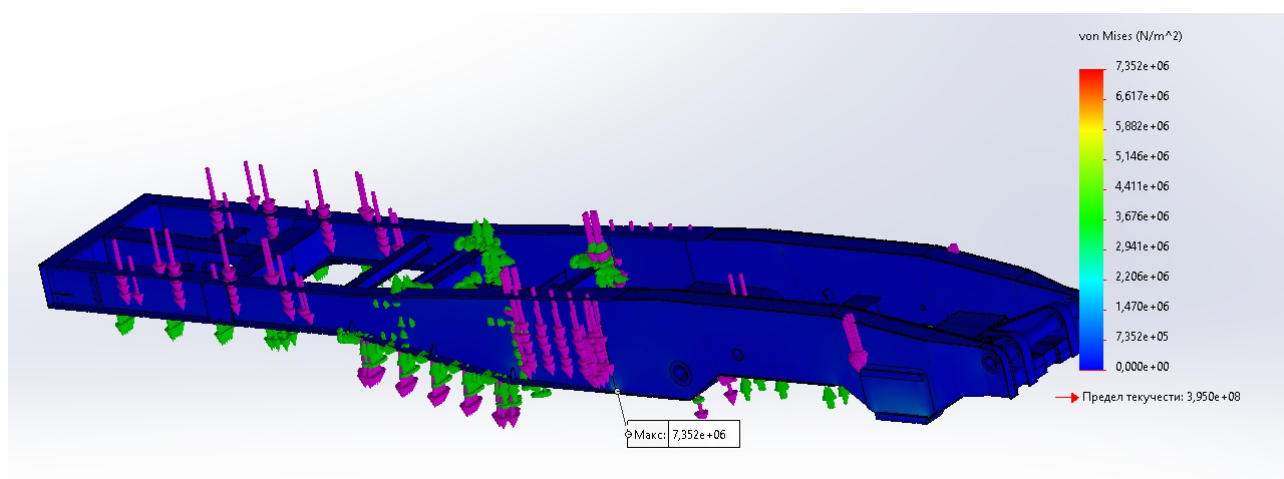


Рисунок 10 – Распределение напряжений по раме

Наибольшее напряжение и перемещение происходит на данной балке рисунок 11, так как на неё оказывает влияние сила N, она является самой большой по величине весовой силой, и складывается из веса рамы платформы с контргрузом), а также моменты создаваемые от силы T. Величина напряжения равняется 7,35 МПа.

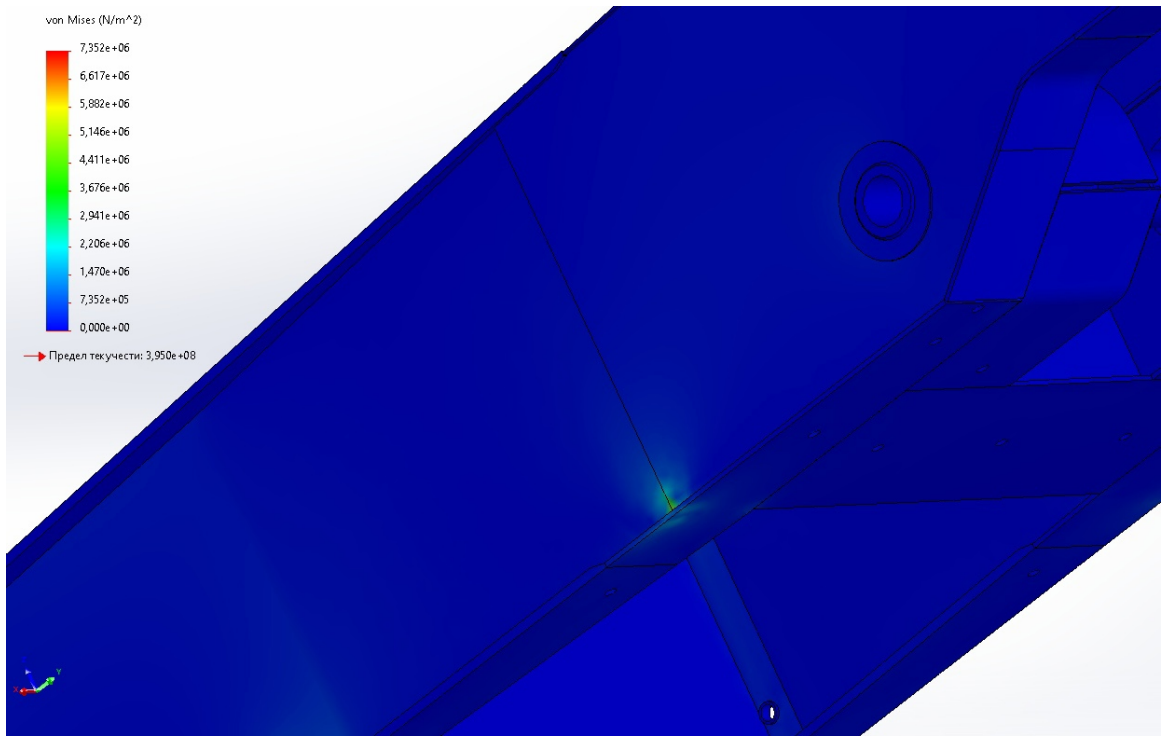


Рисунок 11 – Напряжения на балке рамы

Также одно из больших напряжений, равное 2,2 МПа возникает в элементах, показанных на рисунках 12, 13. Напряжения в них равны, так как силы и моменты, действующие на них симметричны. Основными моментами, которые на них действуют, являются моменты, возникающие от усилий гидропоры и веса крыльев площадок.

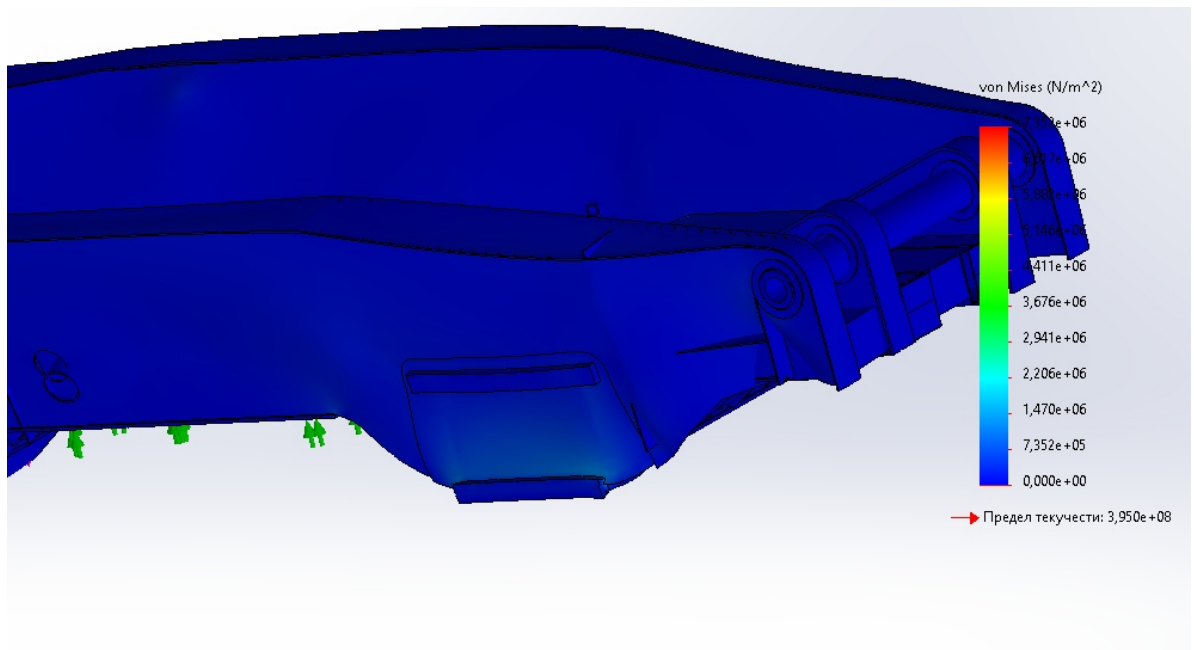


Рисунок 12 – Напряжения на раме ТУА

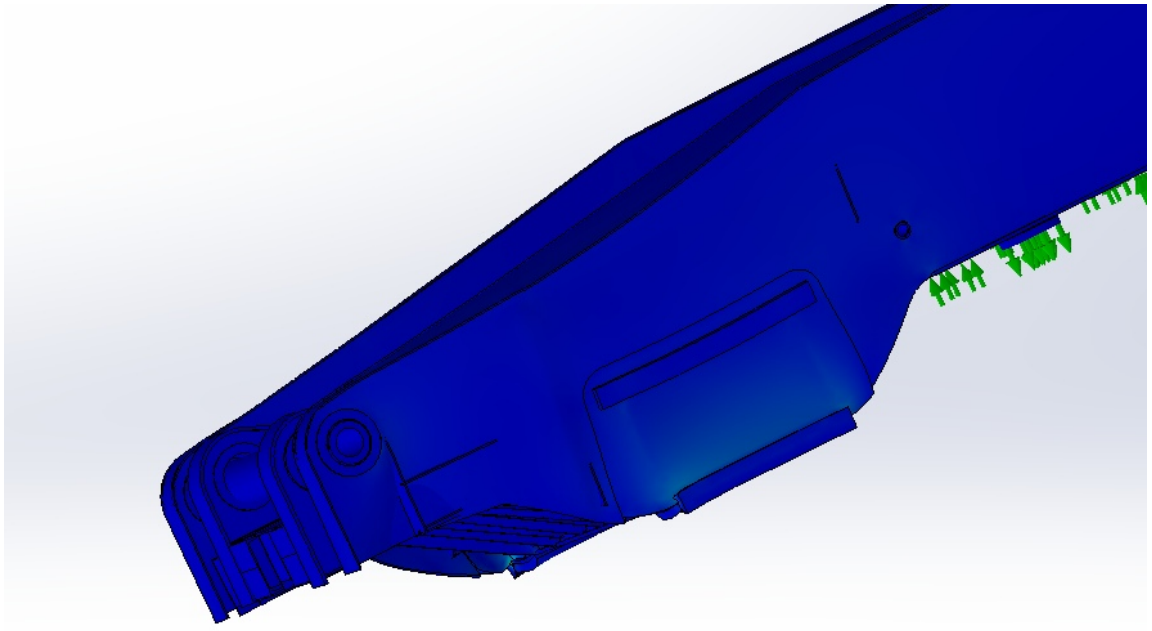


Рисунок 13 – Напряжения на раме ТУА

Также еще одним наиболее опасным нагруженным местом является данный участок рама, приведенный на рисунке 14. Большая по величине сила, действующая на него, является весовая нагрузка N . Величина напряжения на этом участке равна 3,11 МПа.

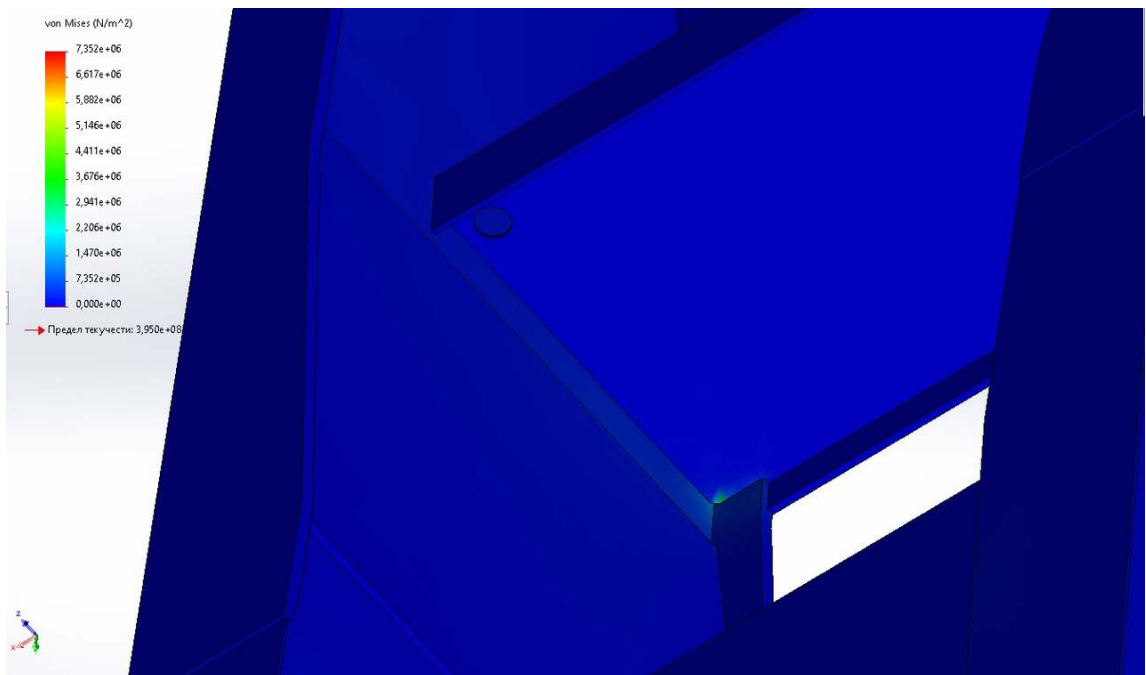


Рисунок 14 – Напряжения на раме ТУА

Именно эти места были выбраны для осуществления мониторинга состояния транспортно-установочного агрегата, так как они имеют наибольшие концентрации напряжений.

В качестве датчиков были выбраны бесконтактные электромагнитные акустические преобразователи(ЭМАП).

1.3.2 Обоснование выбора ЭМАП в виде датчиков

Принцип действия данных преобразователей заключается в создании и приеме ультразвуковых УВ за счет влияния, которое оказывается на поверхность электропроводящего объекта контролирования магнитными полями. За счет течения импульса высокочастотного тока через элемент ЭМА преобразователя, который называют индуктором, в тонком подповерхностном слое образуется вихревой ток. Совокупность влияния, которое оказывает ток и магнитное поле, обеспечивает возникновение силы Лоренца, которая в свою очередь способствует появлению УЗК.

Их использование обеспечивает более простое создание, поперечных волн, которые распространяются как по перпендикуляру, так и под углом к поверхности контролирования. ЭМА преобразователи не нагружают напрямую поверхность контролируемого изделия, что в свою очередь способствует устранению ряда проблем, которые относятся к реверберационным процессам, то есть явлениям, которые появляются на краях раздела сред в слое контактной жидкости. Прохождения сигналов в ЭМА дефектоскопах довольно не сложен, так как появление и распространение УЗ волн происходит непосредственно в исследуемом изделии, то поэтому только объект, на котором осуществляется контролирование, и неоднородности, которые ему присущи, могут поменять изображение волнового поля.

Также часто принимают, что поперечные волны, которые распространяются по перпендикуляру к стороне контроля, являются на порядок чувствительнее к ряду дефектов. Из-за того, что такие волны попадают в ОК в двое больше продольных, создаются благоприятные условия для проведения толщинометрии, а также увеличения разрешающей возможности при проведении кон-

троля эхо-методом. Используя эти волны с конкретным типом поляризации, становится возможным с более высокой чувствительностью обнаруживать неудобные для отражения трещины.

Также использование бесконтактных методов возбуждения АВ с использованием ЭМА преобразователей значительно расширяют возможности проведения УЗК при более высоких и низких диапазонах температур, в случае большой шероховатости и загрязненности исследуемые поверхности контролируемых объектов, а также в ряде случаев, в которых применении контактной жидкости попросту недопустимо.

Главными достоинствами проведения контроля с применением ЭМА преобразователей относительно традиционно использующихся пьезоэлектрическими преобразователями УЗК считаются:

- ЭМА преобразователи способны создавать поперечные волны в более широком диапазоне частот, это в свою очередь увеличивает диапазон, который измеряют при проведении анализа, а также это увеличивает точность показаний по сравнению со стандартным пьезоэлектрическими преобразователями;

- из-за того, что нет прямого соприкосновения ЭМА преобразователей с анализируемой поверхностью контролирования, значительно уменьшает требования при осуществлении подготовки поверхности, а также не требуется использование контактной жидкости;

- УЗ колебания, которые создаются электромагнитным полем, мало чувствительны к положению при установке ЭМА преобразователей на изделие, это в свою очередь решает проблемы измерения, которые появляются из-за преломлением звука на участках преобразователя и объекта контроля;

- используемая поверхность объекта контролирования может иметь более широкий температурный диапазон без вероятности причинения вреда для датчика;

- в результате того, что на проведения контролирования не влияет угол ввода сигнала, ЭМАП не классифицируются на прямые и наклонные, что существенно снижает время для выбора модели датчика;

– такие преобразователи не склонны к трению в результате чего они изнашиваются крайне мало;

– аппаратура, которую используют ЭМАП, может работать на объектах сложной формы и трубах малого диаметра.

1.3.3 Способ крепления датчиков к поверхности объекта

На сегодняшний день для наблюдением за НДС металлических и других конструкций применяются методы, которые базируются на измерении деформаций или перемещений используя специальные датчики, которые называются тензодатчиками. Существенным минусом подобных методов считается то, что измерение деформаций и перемещений в контролируемой конструкции возможно только при наклеивании тензодатчиков на саму поверхность анализируемого изделия жесткими клеями или с использованием термической обработки. Подобное решение существенно снижает широту использования упомянутых методов. Проблемой, из-за которой ограничивают использование данных методов считается высокая вероятность образования дефектов в конструкции изделия в процессе демонтажа данных датчиков.

Известно одно из технических решений (Авт. свид. СССР №643743, G01B 7/16, опубл. 25.01.1979), которое заключается в том, что датчик крепят на контролируемом объекте путем накладывания липкой ленты на тензодатчик и поверхность контролируемого объекта. Однако реализация крепления таким способом имеет весомый недостаток. Так как датчик не прикреплен напрямую к поверхности объекта, он может не обеспечить достоверных результатов проведенных измерений деформаций в условиях НДС изделия.

Лучшим по технической смыслу будет считаться способ закрепления датчика измерения перемещения и деформации на ОК, который реализован в патенте РФ №2008614, G01B 7/18, опубл. 28.02.1994 и выбранный в качестве прототипа.

Ключевым минусом данного прототипа является предварительная термическая обработка липкой ленты и поверхности контролируемого объекта, что в

свою очередь может привести к повреждению поверхности изделия при нагреве и удалении данных датчика.

Все выше перечисленные варианты и наличие у них столь значительных недостатков делают невозможным применение данных технических решений для проведения контролирования напряженно-деформированного состояния любой металлической конструкции.

Основной целью найденного изобретения считается исключение любого нарушения целостности поверхности контролируемого объекта, а также увеличение точности и надежности результатов измерения, анализируемых объектов при проведении анализа напряженно-деформированного состояния.

Данная цель достигается тем, что датчики закрепляются жестким клеем на сухой поверхности односторонней липкой ленты с жесткой основой, которая закреплена на поверхности контролируемого изделия, при этом необходимая площадь липкой ленты выбирается из условия:

$$F_e \ll S_1 \cdot \tau_1 \leq S_2 \cdot \tau_2 < S_2 \cdot \tau_3,$$

где F_e – наибольшее значение силы реакции упругого элемента датчика;

S_1 – площадь, которой приклеивается датчик;

τ_1 – величина сдвиговых напряжений, при которых происходит нарушение склейки жесткой основы липкой ленты с датчиком;

τ_2 – величина сдвиговых напряжений, при которых происходит нарушение склейки липкой ленты с поверхностью объекта;

τ_3 – величина предельных сдвиговых напряжений, при которых наступает механическое разрушение поверхности ОК, например влагозащитного покрытия (ВЗП) или сколы на поверхности объекта и др., где $\tau_2 < \tau_3$;

S_2 – площадь приклейки липкой ленты к поверхности объекта.

Если известны значения сдвиговых напряжений τ_1 , τ_2 , τ_3 , а также величина площади S_1 и сила F_e , то из неравенства можно подобрать площадь липкой ленты с жесткой основой, например с бумажной основой. Характеристики липкой ленты с жесткой основой приведены в таблице.

Таблица 1 – Характеристики липкой ленты

Материал основы	Крепированная бумага, стеклоткань, хлопчатобумажная ткань, алюминиевая фольга
Клеевая основа	На основе натурального/ синтетического каучука и акрилового клея
Ширина (мм)	19/25/30/38/48/50
Толщина (мкм)	132

После проведения испытания датчик измерения перемещения и деформации удаляется вместе с липкой лентой с поверхности объекта.

Также была проведена опытная проверка правильности показаний датчиков, которые закреплены по разработанному способу, по сравнению с показаниями датчиков измерения перемещения и деформации, которые закреплены ранее отмеченному прототипу. Результат сравнения данных доказал, что закрепление таким способом никак не вредит целостности поверхности контролируемого изделия, а по прототипу из-за термической обработки более чем 50% датчиков, которые закреплены, приводят к непосредственному нарушению целостности поверхности контролируемого изделия.

Относительная погрешность показаний датчиков, которые закреплены способом по разработанному способу, снижает на 4-6% по сравнению с показаниями датчиков, которые закреплены по прототипу.

Данный способ может быть применен для осуществления контроля всех эксплуатируемых объектов.

2 ВЫБОР ПРИБОРОВ И УСТРОЙСТВ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ

Для функционирования разрабатываемой системы мониторинга необходимо использование следующего оборудования, которое включает в себя: многоканальный ультразвуковой дефектоскоп, электромагнитные акустические преобразователи, соединительные кабели, система управления базами данных.

2.1 Выбор модели ультразвукового дефектоскопа

В роли ультразвукового дефектоскопа был выбран многоканальный электромагнитный акустический дефектоскоп ОКО-22М-ЕМА от производителя ООО «НПП «ПРОМПРИБОР», представленный на рисунке 15.



Рисунок 15 – ЭМА многоканальный дефектоскоп ОКО-22М-ЕМА

Данное устройство разработано в виде независимого прибора с подключением к персональному компьютеру посредством канала Ethernet, использование данного канала подключения позволяет подсоединить несколько ультразвуковых дефектоскопов к ПК через сетевой коммутатор Switch.

Еще одним вариантом режима работы является использование модуля Wi-Fi – это устройство, позволяющее принимать Wi-Fi сигнал и обрабатывать его. Структурная схема дефектоскопа представлена на рисунке 16.

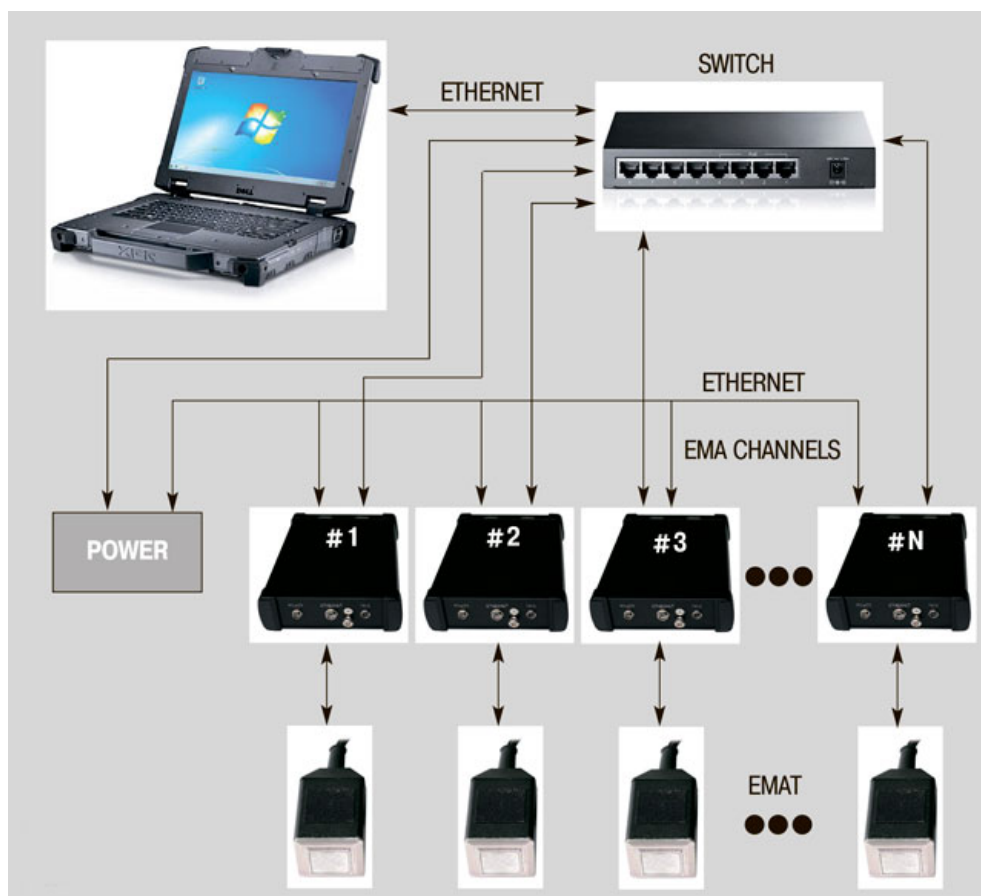


Рисунок 16 – Структурная схема ЭМА многоканального дефектоскопа

А с помощью встроенного специализированного программного обеспечения достигается высокая производительность при проведении контроля данным дефектоскопом.

Можно выделить следующие сравнительно важные преимущества данной модели дефектоскопа: использование данного устройства обеспечивает высокую производительность благодаря многоканальности, передача данных осуществляется по каналу Wi-Fi, также возможен вариант при котором ЭМА каналы связаны с персональным компьютером посредством проводного соединения Ethernet, наличие многофункционального программного обеспечения, которое дает возможность для дефектоскопии различных объектов контроля (трубы, прокат и др.)

Таблица 2 – Характеристики ОКО-22М-ЭМА

Параметр	Значение
Генератор	
Частота заполнения зондирующих импульсов (ЗИ), МГц	0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6
Тип ЗИ	радиоимпульс
Количество периодов	2-6
Амплитуда ЗИ, В	4000
Частота повторения, Гц	от 50 до 2000
Приемник	
Усиление, дБ	от минус 28 до плюс 68
Частотный фильтр, МГц	0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6
Задержка (при скорости 3230 м/с), мм	от 0 до 1000
Диапазон (при скорости 3230 м/с), мм	от 0 до 1000
Количество усреднений	2/4/8/16/32
Вид отображения данных	А-скан; Б-скан; С-скан
ВРЧ(временная регулировка чувствительности)	
Количество опорных точек	До 20
Разъемы/порты	
Для подключения ЭМАП к приемнику	2 Lemo00
Для подключения ЭМАП к генератору	1 BNC
Для подключения датчика пути	1 Lemo
Для связи с ПК	Ethernet, Wi-Fi

Программное обеспечение ОКО 22М-ЭМА - это универсальный базовый интерфейс, который необходим для настройки системы, ее тестирования, просмотра, а также анализа сохраненных данных независимо от назначения системы, в состав которой входит интегрированный многоканальный дефектоскоп ОКО-22М-ЭМА.

Интерфейс аппарата представлен на рисунке 17.

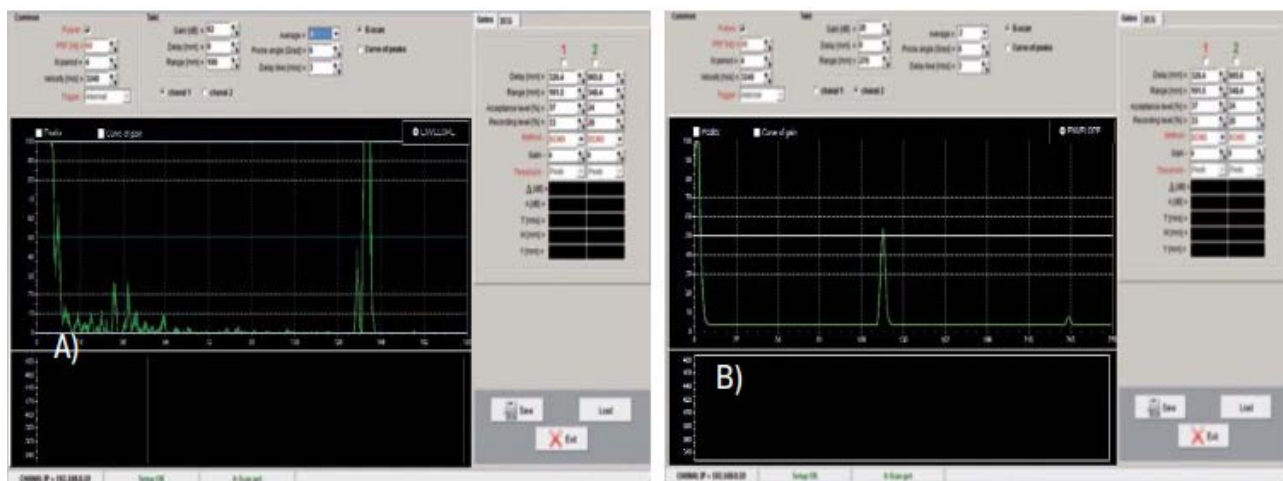


Рисунок 17 – Интерфейс программного обеспечения

2.2 Электромагнитно-акустические преобразователи

Для определения частоты возбуждения ультразвуковых волн воспользуемся программным обеспечением Comsol Multiphysics, которое позволяет смоделировать ЭМА преобразователь, а также благодаря заданию различных частот, оценить действие магнитных волн на поверхность объекта контроля и выявить наиболее подходящую частоту, необходимую для возбуждения УЗ волн и выполнения целевой задачи системы.

Для начала спроектируем пластину, которая представляет собой объект контроля, согласно рисунку 18.

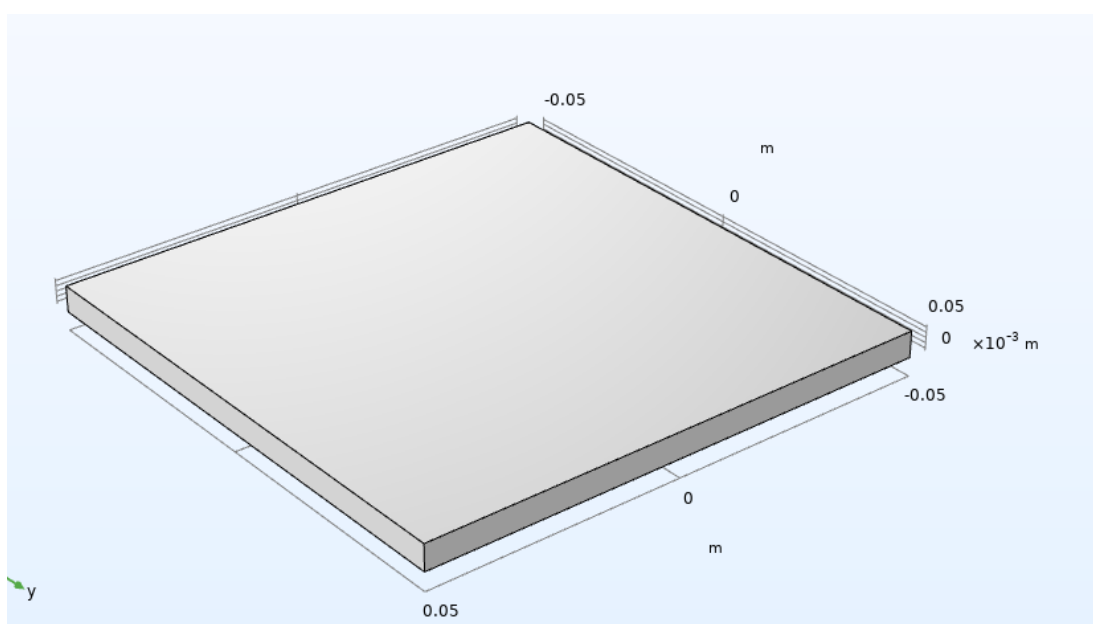


Рисунок 18 – Элемент объекта контроля

После построения эскиза и создания элемента объекта контроля, представленного на рисунке 18 и задании воздушного пространства, отмеченное полусферой на рисунке 19.

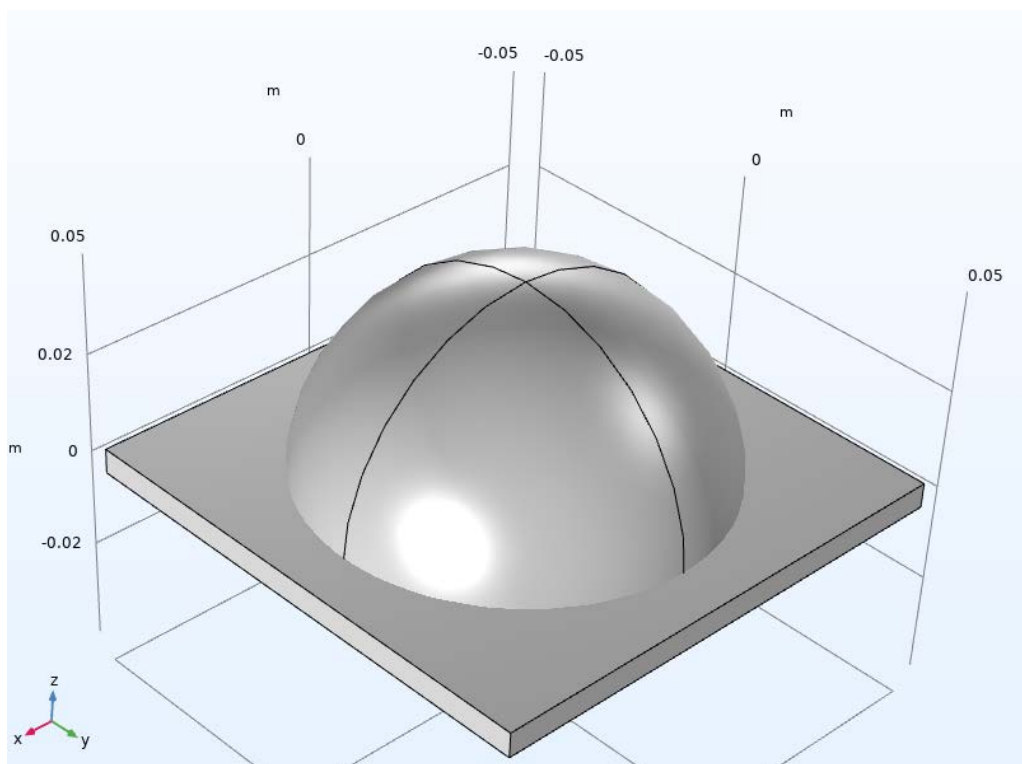


Рисунок 19 – Полусфера воздушного пространства

После усекания лишних частей пластины, строим постоянный магнит в виде квадрата представленный на рисунке 20

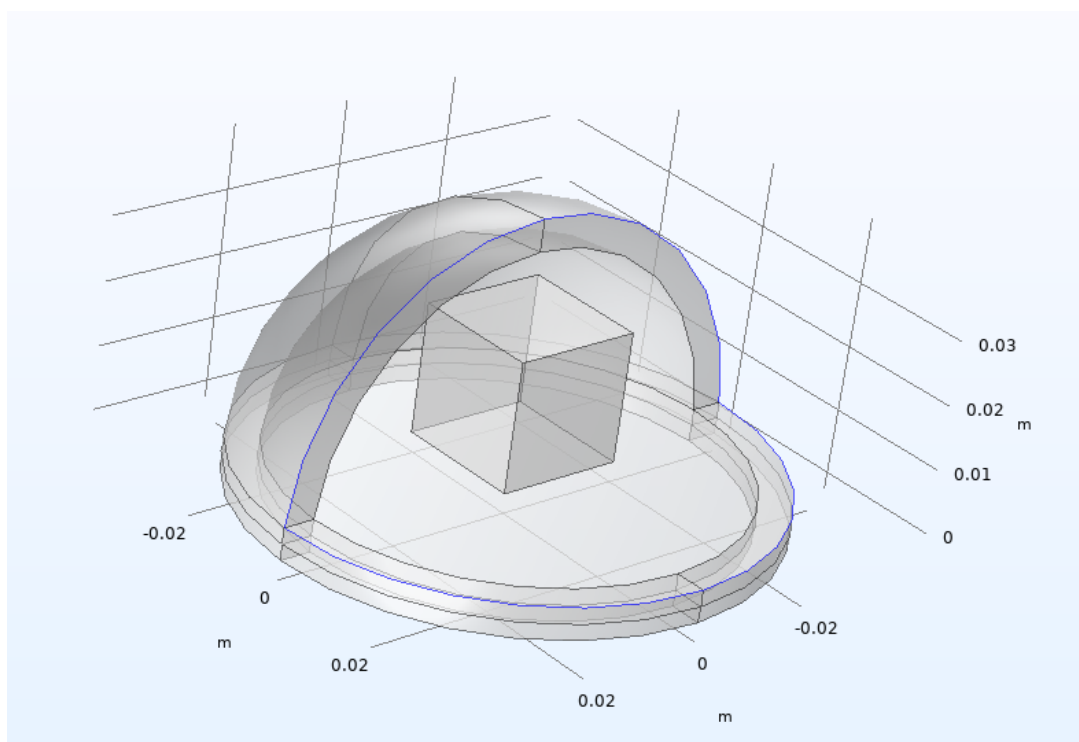


Рисунок 20 – Построение постоянного магнита

Далее необходимо построить линии, представляющие собой контур с током, которые расположены на расстоянии 0,5мм над поверхностью металлического объекта, обозначенные на рисунке 21.

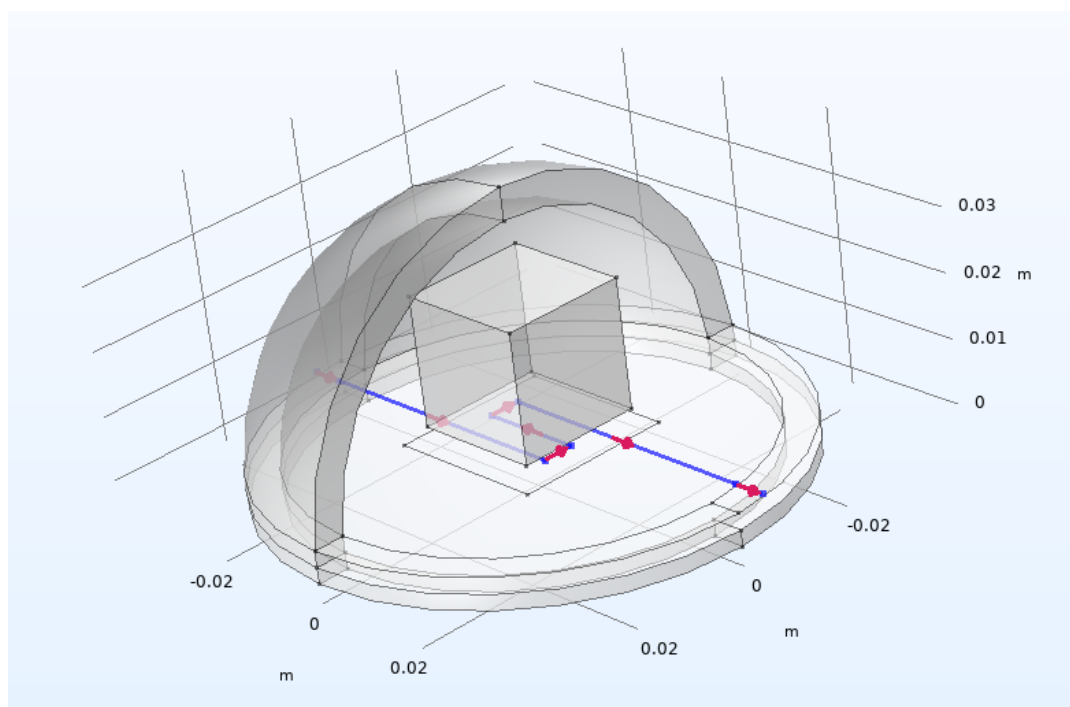


Рисунок 21 – Построение контура с током

Также строим второй контур, рисунок 22, располагающийся на поверхности объекта контроля в виде квадрата, он необходим для дальнейшего разбиение на КЭ, в данной области число конечных элементов будет больше, как и на первом контуре, для получения лучшего разрешения, возможности проектного воссоздания влияния силы Лоренца, а также для исключения помех, возникающих при задании вихревых токов.

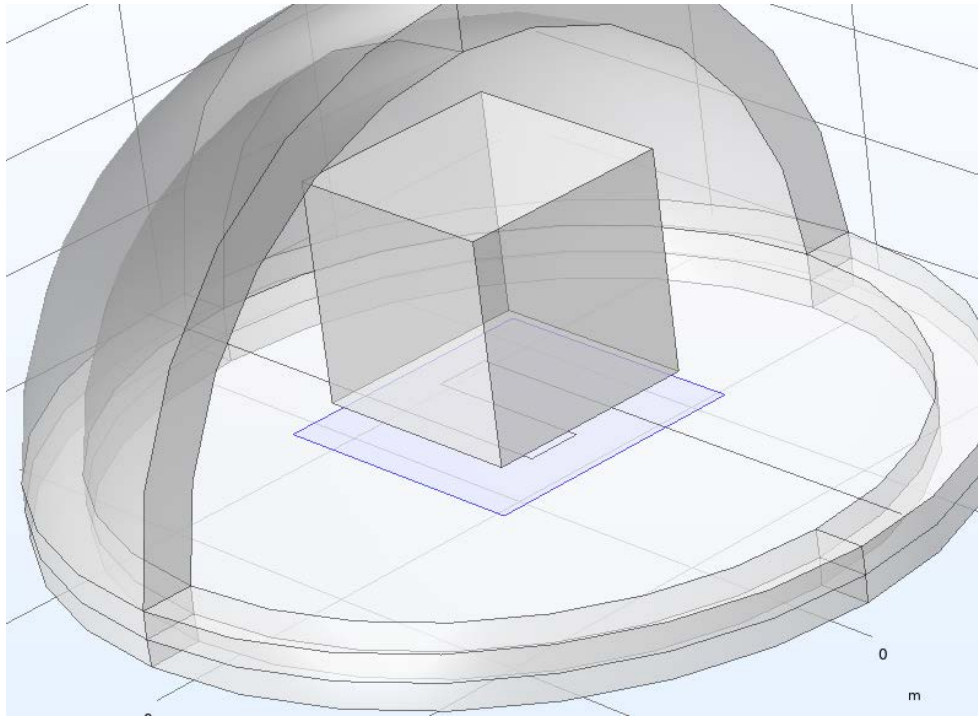


Рисунок 22 – Построение контура для детального разбиения области

После переходим в раздел параметры и задаем следующие параметры. Первый это частота, на которой будет работать наше устройство, показано на рисунке 23.

Parameters			
Name	Expression	Value	Description
f0	4[MHz]	4E6 Hz	Study frequency

Рисунок 23 – Задание частоты работы устройства

И второй параметр – толщина скин-слоя, которую необходимо учитывать, так как вихревые токи в проводящей пластине, будут образовываться только в тонком слое поверхности, который учитывается толщиной скин-слоя. Для данного сплава это приблизительно 0,0008 м, рисунок 24.

Parameters			
Name	Expression	Value	Description
f0	4[MHz]	4E6 Hz	Study frequency
d_skin	8e-4[m]	8E-4 m	Skin depth at f0 in steel

Рисунок 24 – Задание толщины поверхностного слоя

После переходим в материалы и задаем следующие из них. Воздух необходимый для того, чтобы учесть воздушное пространство, сталь 10 ХСНД как материал элемента ОК, так как в ТУА данная сталь используется в качестве основной, рисунок 25 , а также пустой материал, определив им область постоянного магнита, указывается магнитная проницаемость, проводимость материала и диэлектрическая проницаемость, представлено на рисунке 26.

Settings
Material

Label: Steel AISI 4340

Geometric Entity Selection

Geometric entity level: Domain

Selection: Solid

1
2
3
4
7
10
11
14

Override

Material Properties

Material Contents

Property	Variable	Value	Unit	Property group
<input checked="" type="checkbox"/> Relative permeability	mur_is...	1	1	Basic
<input checked="" type="checkbox"/> Electrical conductivity	sigma...	4.032e6[...	S/m	Basic
<input checked="" type="checkbox"/> Relative permittivity	epsilo...	1	1	Basic
<input checked="" type="checkbox"/> Density	rho	7850[kg...	kg/m ³	Basic
<input checked="" type="checkbox"/> Young's modulus	E	197e9[Pa]	Pa	Young's modulus and P...
<input checked="" type="checkbox"/> Poisson's ratio	nu	0.25	1	Young's modulus and P...
Coefficient of thermal expansi...	alpha...	12.3e-6[...	1/K	Basic
Heat capacity at constant pres...	Cp	475[J/(k...	J/(kg·K)	Basic
Thermal conductivity	k_iso ; ...	44.5[W/(...	W/(m·...	Basic

Рисунок 25 – Задание стали 10 ХСНД

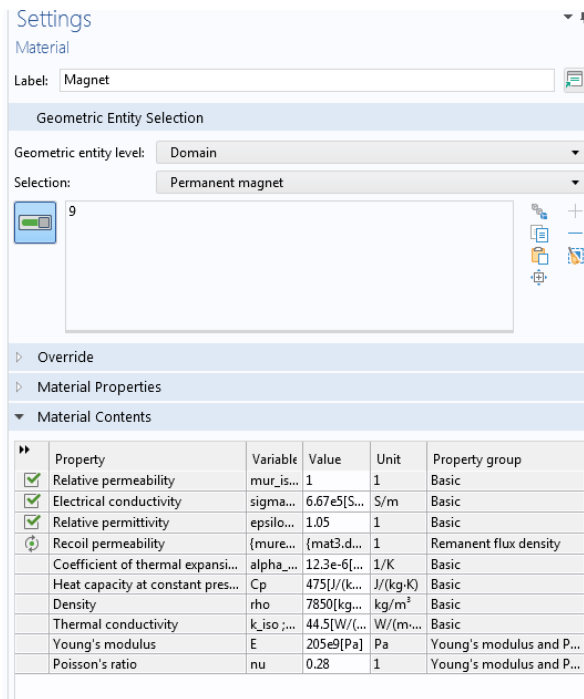


Рисунок 26 – Задания материала и определение характеристик магнита

Для постоянного магнита, необходимо добавить закон Ампера рисунок 27.

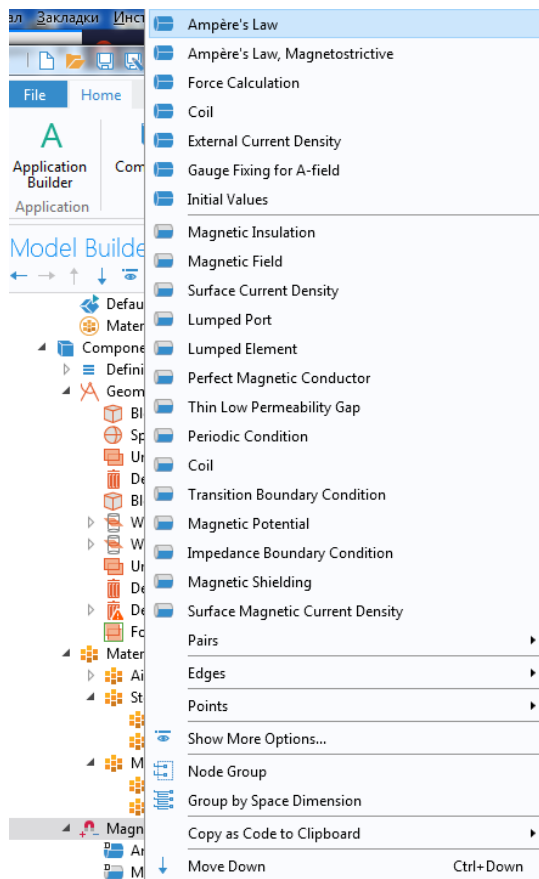


Рисунок 27 – Добавление закона Ампера

Далее задается объемная сила, которая будет действовать на наш ОК, которая необходима для воссоздания влияния силы Лоренца на твердopроводящее тело, что позволяет избежать разного рода формул выполняющих ту же функцию, представлено на рисунке 28.

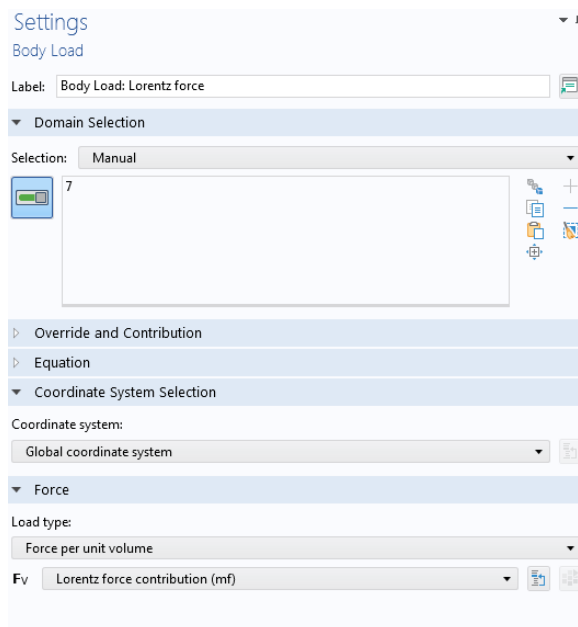


Рисунок 28 – Задание объемной силы

После необходимо построить сетку, как отмечалось ранее, на границу, находящуюся под магнитом, устанавливаем детальное, более мелкое разбиение на конечные элементы, на остальных участках остается обычное разбиение для ускорения анализа. Результат построения сетки представлен на рисунке 29.

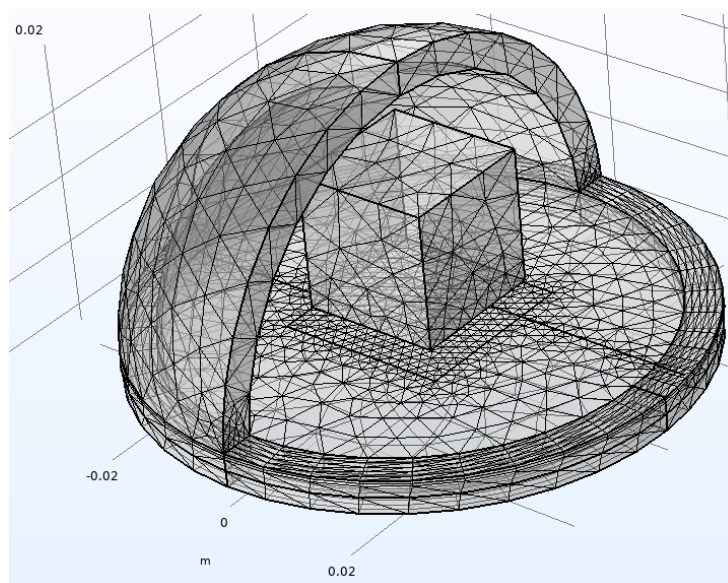


Рисунок 29 – Построение сетки

После вышеописанных операций запускаем расчет данной модели и переходим к визуализации решения.

В данном случае проверяем деформацию ОК, и как следствие распределение УЗ волны вдоль нашего объекта на разных частотах.

Для проведения анализа были выбраны следующие частоты: 0,4 МГц, 2 МГц, 4 МГц, 6 МГц.

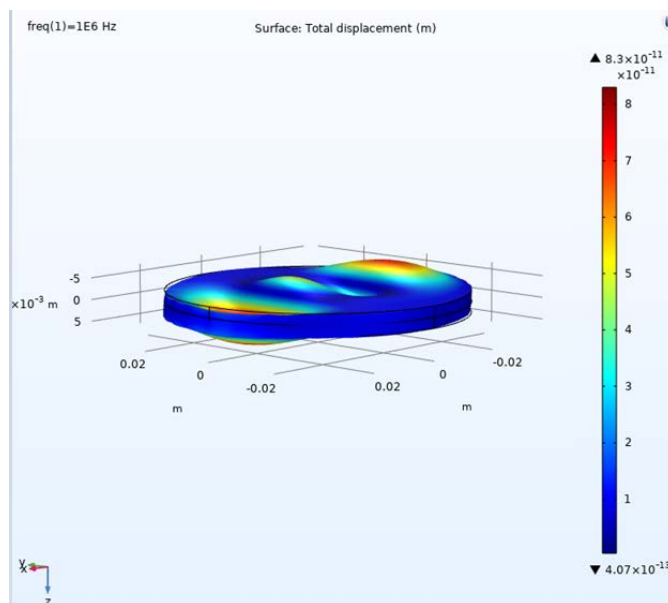


Рисунок 30 – Моделирование деформации подложки с отображением волн при 0,4 МГц

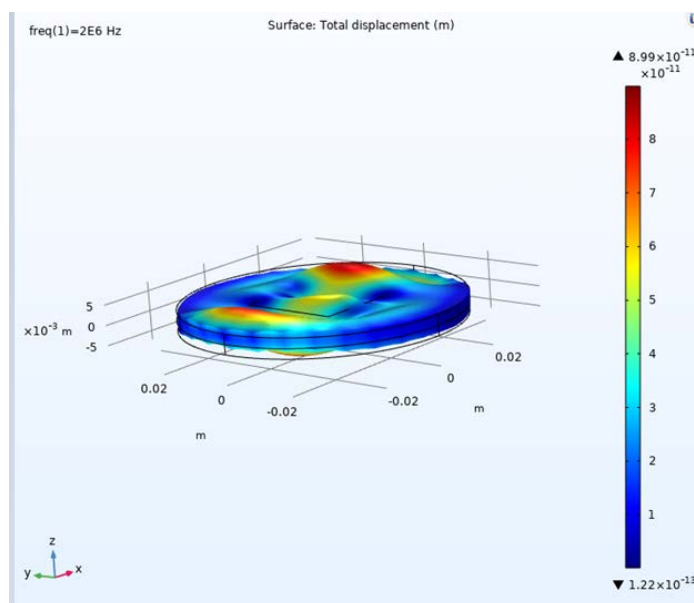


Рисунок 31 – Моделирование деформации подложки с отображением волн при 2 МГц

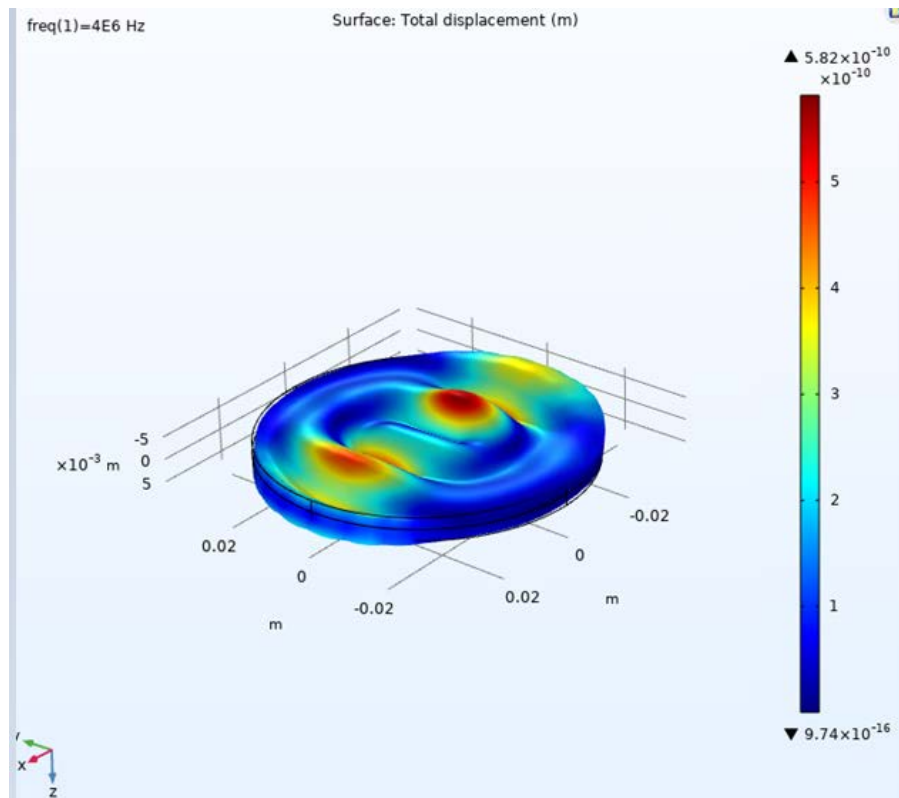


Рисунок 32 – Моделирование деформации подложки с отображением волн при 4 МГц

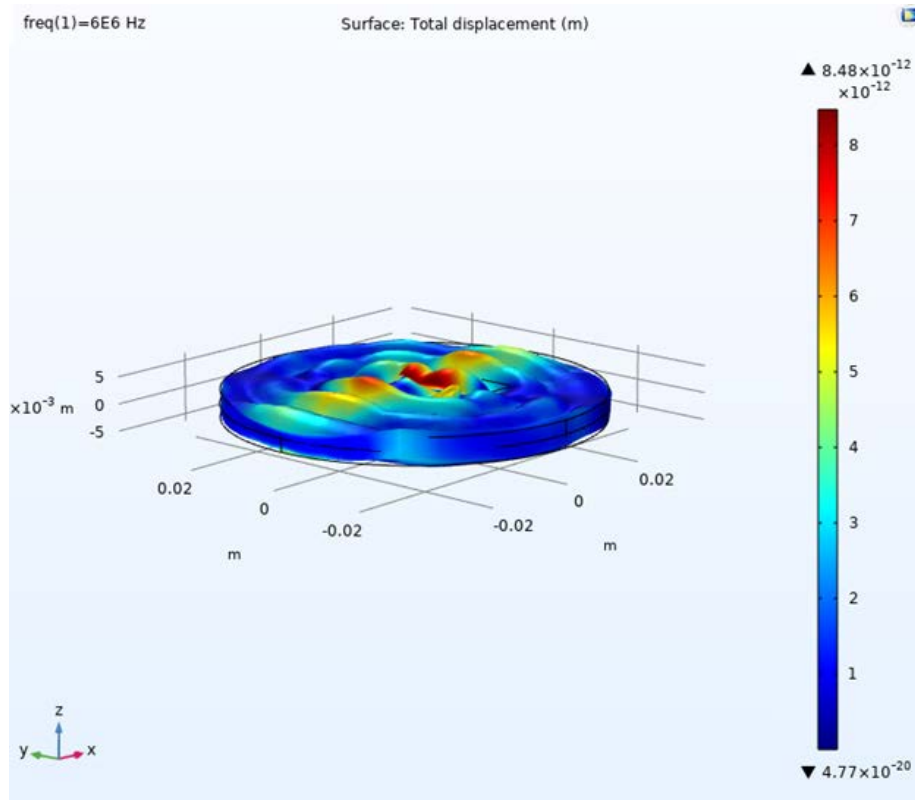


Рисунок 33 – Моделирование деформации подложки с отображением волн при 6 МГц

На рисунке 32 видно ярко выраженную волну, которая будет отражаться от дефекта. На рисунках 30, 31 приведены деформации поверхности объекта контроля со слабым проявлением волны. На рисунке 33 показаны волны, также отражающиеся от дефекта, но в следствии их скопления, они будут создавать мнимый сигнал, создавать помехи пересекаясь между собой, что снизит достоверность проводимой работы.

Еще одним фактором, доказывающем наиболее подходящее возбуждение УЗ волн, при частоте 4 МГц является запрошенный анализ физико-механических свойств стали 10 ХСНД методом акустического зондирования у института проблем машиностроения РАН.

В ходе проведения эксперимента, в котором упругие продольные волны возбуждались преобразователем фирмы «Krautkramer» MB4S и поперечные волны возбуждались преобразователем фирмы «Krautkramer» K4K-Y при различных частотах. Было сделано заключение, что в обоих случаях волны возбуждались на частоте 4 МГц.

По результатам исследований в качестве ЭМАП для проектируемой системы мониторинга была выбрана модель EMAT 4-90. Частота составляет 4 МГц с углом ввода 90° , размер рабочей поверхности составляет 20x20 мм, тип разъема для подключения 2 Lemo00/BNC. Внешний вид датчика представлен на рисунке 34.



Рисунок 34 – ЭМА преобразователь

2.3 Соединительный кабель

Разъем BNC разработан как быстро разъемное байонетное соединение и запатентован в 1951 году. Представляет собой одноконтактный миниатюрный разъем для быстрого подключения, который широко используется для коаксиального кабеля.

Разъем Lemo00 один из самых распространенных в мире разъемов для оборудования НК. Соединительный кабель BNC-2Lemo00 изготовлен из специализированного изоляционного материала (кабель коаксиальный RG 174 A/U), который обладает высокой тепло- и морозостойкостью, а также сохраняющего гибкость и эластичность в широком диапазоне температур от -40 до +70°C. Используемый материал благодаря механическим и физическим свойствам обладает повышенной устойчивостью к бензину, маслам и минеральным смазкам с легирующими добавками, в следствии чего увеличивается срок службы кабелей при проведении. Кабель BNC-2Lemo00 изготовлен с использованием диэлектрика из пероксидно-сшитого полиэтилена (XLPE).

Кабель обладает самозащёлкивающейся системой Push-Pull. А также данный кабель BNC-2Lemo00 соответствует стандартам ГОСТ 11326.0-78 «Кабели радиочастотные. Общие технические условия».

Таблица 3 – Технические характеристики кабеля BNC-2Lemo00

Типы разъемов	BNC-2 x FFA.00
Коаксиальный кабель	RG 174 A/U
Импеданс	50±2 Ом
Индуктивность	0.23 мкГн/м
Радиус изгиба	до 15 мм
Усилие на разрыв	9,5 кг
Длина	1,5 м.
Рабочие температуры	-40° до +70°C
Экранирование	50 дБ
Напряжение пробоя	2000 В
Цвет	черный
Вес	0,03 кг

2.4 Стандартные образцы

Применение стандартных образцов необходимо для определения и осуществления проверки параметров аппаратуры совмещенной схемы включения преобразователей с контролируемым изделием на частоту 1,25 МГц и более, если ширина датчика не достигает 21 мм.

Стандартный образец №1 (СО-1) определяет:

- Условную чувствительность в мм;
- Проверяют разрешающую способность;
- Погрешность глубиномера ультразвукового дефектоскопа.

Изготавливается из органического стекла и представлен на рисунке 35.

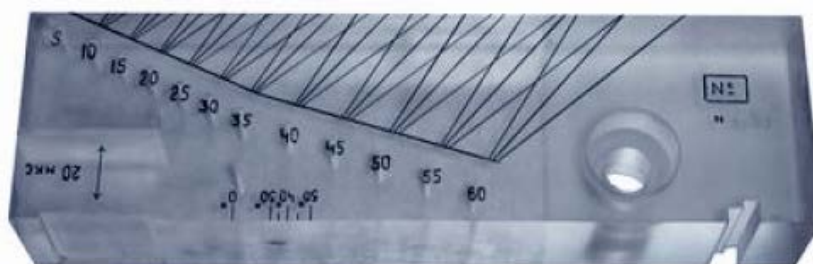


Рисунок 35 – Стандартный образец №1

Стандартный образец №2 необходим для:

- Определения угла ввода датчика;
- Осуществления проверки слепой зоны дефектоскопа при контроле металлических конструкций из низколегированных малоуглеродистых и малоуглеродистых сталей;
- Выявления условной чувствительности в децибелах.

Изготавливается из стали марки 20 или стали марки 3 и представлен на рисунке 36.

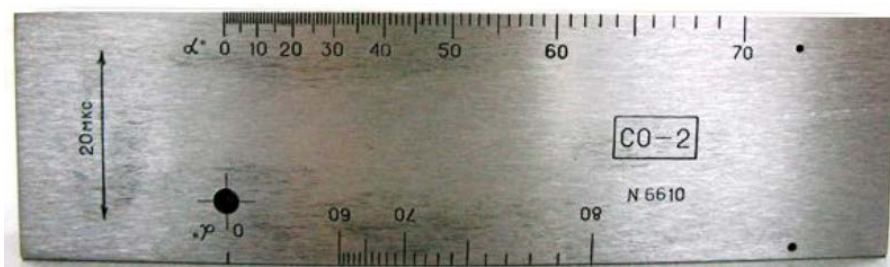


Рисунок 36 – Стандартный образец №2

Стандартный образец №3 используют для:

- Нахождения точки выхода УЗ луча датчика УЗ дефектоскопа;
- Определения необходимо времени, которое нужно для распространения ультразвуковых колебаний в призме используемого датчика.

СО-3 производят из стали марки 20 или из стали марки 3 и представлен на рисунке 37.



Рисунок 37 – Стандартный образец №3

2.5 Система управления базами данных

Система управления базами данных представляет собой комплекс программ, который позволяет создать базу данных (БД) и управлять данными, находящимися в ней. Такая система обеспечивает надёжность хранения и целостность данных, безопасность.

В проектируемой системе мониторинга такая СУБД необходима для формирования таблицы получаемых данных от датчиков, их сравнении с заранее определенными критическими пределами, и выдачи значения, в случае его отклонения от нормы.

В разрабатываемой системе мониторинга была выбрана система управления базами данных от Microsoft, Microsoft Access, входящая в топ 10 СУБД на 2019 год. Она собрала в свой состав реляционное ядро БД Microsoft Jet и приборами, необходимыми для разработки ПО.

В MS Access можно использовать различные коды, такие как C, C#, C++, VBA, Java и Visual Rudimental.NET. Access осуществляет функцию хранения

Использование такой системы позволяет значительно упростить процесс оформления заключений, генерации журналов, ведения архива и анализа данных, а также решает задачи по аттестации персонала.

Приведем несколько полезных функций. В функционале сервиса есть шаблоны, которые приведены на рисунке 39, функция, которая обеспечивает быстрое заполнения технических журналов контролирования, позволяет заблаговременно добавить информацию по типоразмеру, запросу, типу соединения, материалу, методу осуществления контроля, а также позволяет прикреплять фото. Преимуществами функции являются: быстрое заполнение журналов контроля; заранее подготовленная информация.

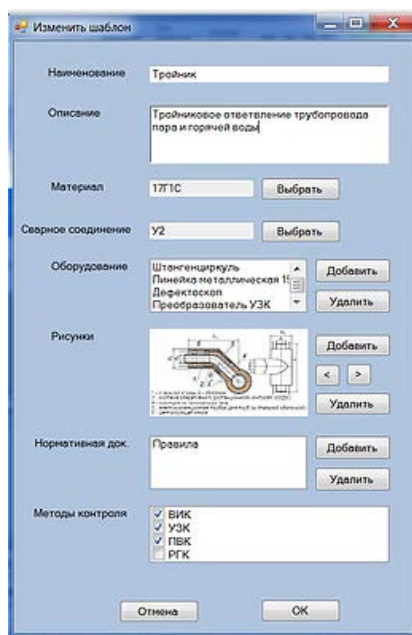


Рисунок 39 – Шаблон системы

Также есть функция фильтрации, рассмотренная на рисунке 40, которая помогает найти, отделить поток необходимых данных по заданным критериям примерами могут быть послужить дата, объект, метод контролирования, также способствует выводить нужную статистическую информацию. Можно отметить следующие плюсы: быстрый поиск необходимой информации; статистика.

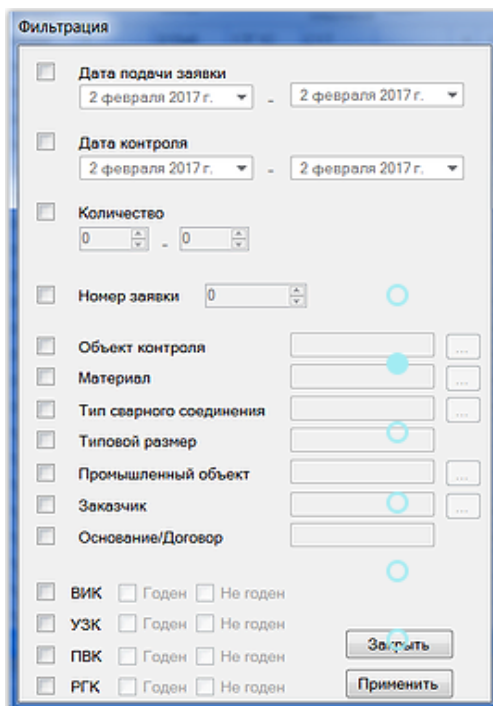


Рисунок 40 – Фильтрация в системе Лаб365

3 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Безопасность проведения контроля с использованием УЗ оборудования достигается за счет тщательного следования дефектоскопистом следующих нормативных документов: ГОСТ 12.1.001-89 «Ультразвук. Общие требования безопасности», ГОСТ 12.3.002-2014 «Процессы производственные. Общие требования безопасности».

Безопасное использование выбранного ранее оборудования, которое необходимо для осуществления контроля, становится возможным благодаря ГОСТ 12.2.003-91 «Оборудование производственное. Общие требования безопасности», являющийся базисом для создания требований безопасности в стандартах, эксплуатационных и других документах.

Комплект СИЗ для дефектоскописта по ультразвуковому контролю согласно приказу Министерства труда и социальной защиты РФ от 9 декабря 2014 г № 997н состоит из следующих позиций: костюма, который нужен для защиты от общих производственных загрязнений и других воздействий, фартука из просвинцованной резины, резиновых сапог с защитным носком, перчаток с полимерным покрытием, а также защитных очков и диэлектрических перчаток

Далее приведена техника безопасности, которую необходимо соблюдать дефектоскописту на всех этапах проведения работ.

3.1 Требования безопасности перед началом работы

Дефектоскописту нельзя начинать производственные операции без наличия средств индивидуальной защиты, ограждений, которые установлены для защиты места, на котором проводятся работы.

Дефектоскописту необходимо выполнить проверку присутствия и надежности инструментов, которые необходимы для выполнения работы, например лупы, разные линейки, шлифовальной шкурки, зеркала, обтирочных материалов и др.

Найденные поврежденные приборы следует заменить исправно работающими.

Специалист обязан провести предварительный осмотр места работы, и удостовериться, что на нем отсутствуют другие, ненужные вещи.

Визуальный осмотр использующего оборудования обязательно осуществляется при выключенном напряжении сети. Также необходимо провести проверку правильности дефектоскопа, внешне осмотреть правильности и прочности подключения, устройств который необходимы для заземления, к корпусу прибора, а также отсутствия повреждений соединительных проводов.

Перед тем как включать дефектоскоп необходимо удостовериться, что управляющие элементы располагаются в начальном положении, то есть они находятся в неактивном положении. Запустив используемый дефектоскоп, необходимо провести проверку правильности выдаваемых значений всех устройств на совпадение с данными, которые указываются в документации используемого дефектоскопа. Запрещено использовать для контролирования дефектоскоп, выдаваемые значения которого не соответствуют технической документации.

Недопустимо пользоваться прибором, корпус которого поврежден или у него нарушено целостность, также неисправна изоляция элементов, а также связывающих проводов и сетевых выключателей. Дефектоскописту нужно соблюдать внимательность при выполнении работ с переносным прибором, у таких приборов изоляция цепей изнашивается гораздо быстрее, чем у стационарных приборов. Специалисту необходимо сообщить начальнику обо всех найденных неисправностях прибора, предварительно закончив работу с поврежденным прибором.

3.2 Требования безопасности во время работы

При осуществлении работ с прибором следует использовать документацию по его использованию.

Специалисту при осуществлении работ с включенным дефектоскопом запрещено прикасаться к токоведущим элементам и электропневматическим приводам, а также к вращающимся или передвигающимся частям.

На протяжении всего процесса работ запрещено подвергать прибор какому-либо внешним влияниям, например ударам и толчкам.

Перенос устройства на другое место нельзя производить свисание и волочение элементов прибора по полу.

Перед началом осуществления исследований все объекты необходимо помыть и удалить любые загрязнения, которые могут негативно повлиять на исследование, разные краски и ржавчины до основного слоя материала. Зачистку от нежеланных элементов загрязнения специалист обязан проводить в защитных очках.

При выполнении работ с дефектоскопом необходимо тщательно следить за тем, чтобы не возникало натяжений сетевого и связующего провода, которые могут привести к сбою работ, внимательно наблюдать за отсутствием наездов на них колесной парой или другими транспортными средствами.

В случае, когда при осуществлении касания с корпусом дефектоскопа проявляется результат действия тока, дальнейшую работу необходимо остановить, используемый прибор отсоединить от сети и сообщить начальнику.

В завершении работ прибор необходимо отключить от сети. Подключенный к сети прибор ни в коем случае нельзя оставлять без надзора.

ТО и проведение осмотра дефектоскопа необходимо осуществлять только в его выключенном состоянии.

3.3 Требования безопасности при ультразвуковом контроле

При проведении УЗК на персонал может оказывать опасное влияние такого производственного фактора, как повышенный уровень ультразвука. Это может возникнуть на участке прохождения ультразвука в ОК и на участке касания преобразователя с пальцами рук.

Работу на приборе необходимо осуществлять в комбинированных перчатках. Недопустим контакт с объектом контроля в период возбуждения в нем ультразвука.

При проведении осмотра ультразвукового прибора проверяются:

- Состояние дефектоскопа, то есть чистота, в который содержится прибор, отсутствие поврежденности футляра и регулятора, необходимо проверить кабеля для преобразователя на изломы или другие повреждения, не поврежденность контактов в местах соединения кабеля с датчиком;
- Присутствие комплекта преобразователей разной частоты и других необходимых для контролирования деталей;
- исправность заземления корпуса прибора и отсутствие повреждений изоляции шнура питания дефектоскопа.

При осуществлении контролирования необходимо избегать зажевывания элементов одежды в разные элементы конструкции. Для того, чтобы не допускать непреднамеренного попадания ног или одежды специалиста между вращающимися элементами конструкции, например колесной пары, необходимо сразу провести отключение вращения колесной пары по завершению работ.

Прибор, а также другие инструменты размещаются так, чтобы их положение гарантировала бы безопасное проведение контролирования изделия.

Все проводимые работы касающиеся исследования, ТО и другие работ УЗ дефектоскопа следует осуществлять после того как будет произведено отключение установки от сети. На панели управления должно отражаться, что в данный момент производятся ремонтные работы.

3.4 Требования безопасности по окончании работы

После завершения работ специалисту необходимо:

- отключить устройство, производить чистку устройства, которые соприкасаются с магнитными веществами, от загрязнений, а также от возможных остатков суспензии, а также следует осуществлять восстановительные работы согласно с условиями документации на дефектоскоп или установку;
- необходимо убирать все рабочие инструменты, в места которые выделены для их хранения;
- производить сбор использованных материалов производства, сюда можно отнести ветошь после ее применения или другие использованные материалы в отведенное место;

- одежду необходимо снять, а также средства индивидуальной защиты, сложить их в место, которое для этого предназначено или произвести ее чистку сдав в стирку;

- осуществить обработку загрязненных частей тела водой с мылом.

Запрещено применять опасные нефтепродукты для очищения кожи и средств защиты.

В завершении работы рекомендуется приводить в порядок свое рабочее место.

Обо всех выявленных нарушениях, которые были обнаружены в ходе проведения работ, повреждения и другие неисправности, а также информация о мерах, которые проведены для их устранения, специалист обязан рассказать начальнику работ.

По завершению исследования рекомендуется в соответствии рекомендациями врача принять необходимые процедуры для улучшения состояния здоровья.

После завершения работы с УЗ приборами следует принимать специальные кварцевые ванны и УВЧ-терапия.

4 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В данном разделе учитываются расходы на покупку аппаратуры для проведения ультразвукового контроля, которая необходима для корректной работы системы мониторинга состояния ТУА.

1. **Ультразвуковой многоканальный электромагнитный акустический дефектоскоп ОКО-22М-ЕМА** от производителя ООО «НПП «ПРОМ-ПРИБОР», Россия – актуальная цена на июнь 2021 года составляет 1245000 рублей;

Количество – 1 шт.

2. **Электромагнитно-акустические преобразователи (ЭМАП) 4МГц** от производителя ООО «НПП «ПРОМПРИБОР», Россия – актуальная цена на июнь 2021 года составляет 13800 рублей за штуку;

Количество – 4 шт.

Также возможно приобретение дополнительных 2 штуки ЭМАП для формирования комплекта ЗИП.

Итоговая цена составляет 55200 рублей. Цена с учетом покупки дополнительных ЭМАП для ЗИП составляет 82800 рублей.

3. **Соединительный кабель BNC-2Lemo00** от производителя ООО «АЗ Инжиниринг», Россия – актуальная цена на июнь 2021 года составляет 3400 рублей за 1,5 метров;

Количество – 4 шт.

Также возможно приобретение дополнительных 2 кабелей для формирования комплекта ЗИП.

Итоговая цена составляет 13600 рублей. Цена с учетом покупки дополнительных кабелей для ЗИП составляет 20400 рублей.

4. **Стандартный образец №1** страна разработчик и производитель Россия – актуальная цена на июнь 2021 года составляет 10920 рублей за штуку;

Количество – 1 шт.

5. Стандартный образец №2 страна разработчик и производитель Россия
– актуальная цена на июнь 2021 года составляет 5640 рублей за штуку;

Количество – 1 шт.

6. Стандартный образец №3 страна разработчик и производитель Россия
– актуальная цена на июнь 2021 года составляет 5640 рублей за штуку;

Количество – 1 шт.

7. Сервис Лаб365. Подписка на данный сервис имеет 3 тарифа, ниже приведена сравнительная таблица с указанием основных особенностей.

Таблица 4 – Особенности тарифов подписки

Параметр	Лайт	Комфорт	Максимум
Реестр сотрудников: все данные о дефектоскопистах	+	+	+
Учет оборудования на складе	+	+	+
Подготовка заявок на аттестацию специалистов	+	+	+
Заполнение системы информацией о сотрудниках и оборудовании	-	+	+
Курсы по обучению использования сервиса	-	+	+
Бесплатное обновление системы	-	+	+
Предоставление персонального консультанта	-	-	+
Автоматическое формирование тех. карт и заключений	-	-	+
Учитывания особенностей стандартов предприятия	-	-	+
Анализ данных, ведение архивов	-	-	+
Цена	64900 руб.	97300 руб.	189400 руб.

Изучив отличительные черты каждого тарифа, можно сказать, что наиболее важными и нужными функциями для работы обладает тариф «Максимум», цена которого составляет 189400 рублей.

Также одной из особенностей данного сервиса является внесение собственных корректив. Если ни один из тарифов не имеет нужный функционал, заказчиком указывается то, что должен осуществлять данный сервис. На основе этого командой Лаб365 будет сформировано индивидуальное коммерческое предложение.

Также еще одним не менее важным фактором затрат, который стоит учитывать является заработная плата обслуживающего персонала. Для установки датчиков, настройки оборудования, а также для осуществления контроля за си-

стемой достаточно одного человека. Рассчитаем его заработную плату согласно следующим формулам.

Для начала определим величину полной заработной платы по формуле:

$$\text{Полная з/п} = \frac{\text{оклад} \cdot k_p \cdot \text{КОД}}{\text{КРД}}, \quad (1)$$

где оклад – это величина оплаты труда, которая указывается в трудовом договоре. Оклад на должности «Дефектоскопист по магнитному и ультразвуковому контролю» в районе «Дальневосточный федеральный округ» составляет 50275 рублей;

k_p – это региональный коэффициент определяющийся на законодательном уровне. Для Свободненского района составляет 1,3;

КОД – это число рабочих дней, которое отработал сотрудник в месяце;

КРД – это число рабочих дней в месяце, которое определяется исходя из производственного календаря. На июнь 2021 года КРД составляет 22 дня с графиком работы 5/2.

Тогда по формуле (1) получим

$$\text{Полная з/п} = \frac{50275 \cdot 1,3 \cdot 22}{22} = 65358, \text{ руб.}$$

После вычета НДФЛ получим

$$\text{З/п} = 65358 - \left(\frac{65358 \cdot 13\%}{100\%} \right) = 56861, \text{ руб.}$$

После расчета заработной платы сотруднику подсчитаем все затраты на проектирование системы мониторинга.

Общая стоимость закупки без учета ЗИП составляет 1582261 рублей.

Общая стоимость закупки с учетом ЗИП составляет 1616661 рублей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ литературных источников дает возможность понять, что каждая система мониторинга в общем виде включает в себя следующие компоненты:

- совокупность средств, необходимых для измерения, а также средств, осуществляющих автоматизацию, и механизмы исполнения;
- кабельную сеть, необходимую для передачи потоков данных;
- сеть передачи информации;
- система дистанционного управления объектами.

На основе данных статей спроектирована собственная система мониторинга, необходимая для решения поставленной целевой задачи.

Смоделировано напряженно-деформированное состояние рамы ТУА при помощи программного комплекса САПР SolidWorks. В ходе анализа НДС были обнаружены опасные места на раме ТУА, максимальные напряжения в этих точках составили: 7,35 МПа; 3,11 МПа; 2,2 МПа.

Выбран тип ЭМАП датчиков, как наиболее оптимальных, для осуществления контроля за состоянием транспортно-установочного агрегата. Так как в сравнении с более традиционно используемыми ПЭП, они имеют следующие преимущества:

- из-за того, что нет прямого соприкосновения ЭМА преобразователей с анализируемой поверхностью контролирования, значительно уменьшает требования при осуществлении подготовки поверхности, а также не требуется использование контактной жидкости;
- УЗ колебания, которые создаются электромагнитным полем, мало чувствительны к положению при установке ЭМА преобразователей на изделие, это в свою очередь решает проблемы измерения, которые появляются из-за преломления звука на участках преобразователя и объекта контроля;

– используемая поверхность объекта контролирования может иметь более широкий температурный диапазон без вероятности причинения вреда для датчика;

– в результате того, что на проведения контролирования не влияет угол ввода сигнала, ЭМАП не классифицируются на прямые и наклонные, что существенно снижает время для выбора модели датчика;

– такие преобразователи не склонны к трению в результате чего они изнашиваются крайне мало;

– аппаратура, которую используют ЭМАП, может работать на объектах сложной формы и трубах малого диаметра.

– приборы использующие электромагнитно-акустические преобразователи могут работать на объектах сложной формы и трубах малого диаметра.

Смоделирован электромагнитно-акустический преобразователь при помощи программного обеспечения Comsol Multiphysics с целью установления частоты работы прибора. Оптимальная частота прибора для возбуждения упругих волн, которые будут отражаться от дефекта и не создавать при этом мнимый сигнал от скопления волн в подложки из материала стали 10ХСНД, составляет 4 МГц

Выбрана аппаратура необходимая для проведения УЗ контроля:

– многоканальный электромагнитно-акустический дефектоскоп ОКО-22М-ЕМА;

– электромагнитно-акустический преобразователь ЕМАТ 4;

– стандартные образцы (СО) необходимые для настройки оборудования.

Проведен расчет затрат, которые необходимы для функционирования системы мониторинга. Подведены итоги общей стоимости предлагаемой системы:

– Итоговая стоимость закупки без учета ЗИП составляет 1582261 рублей;

– Итоговая стоимость закупки с учетом ЗИП составляет 1616661 рублей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Самосудов, П. А. Система мониторинга технического состояния строительных конструкций уникальных зданий и сооружений / П. А. Самосудов / ФГБОУ ВО «СибАДИ», 2019. – 64 с.

2 Сергеев, С. В. Информационно-измерительная система мониторинга напряженно-деформированного состояния несущих строительных конструкций и сооружений / С. В. Сергеев, Е. Д. Воробьев / Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, 2017. – 7 с.

3 Автономная система мониторинга напряженно-деформированного состояния магистрального трубопровода [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.premierdevelopment.ru/avtonomnaya-sistema-monitoringa-napryzheny-truboprovoda.html>. – 20.03.2021.

4 Зацепин, А. Ф. Акустический контроль. Учебное пособие / А. Ф. Зацепин / Уральский федеральный университет имени Президента России Б.Н. Ельцина, 2016. – 216 с.

5 Зацепин, А. Ф. Введение в физику акустического контроля. Конспект лекций / А. Ф. Зацепин / Уральский университет, 2005. – 88 с.

6 Чабанов, В. Е. Особенности ультразвукового контроля с применением электромагнитно-акустических преобразователей / В. Е. Чабанов, В. А. Жуков. – Санкт-Петербург : ООО «Свен», 2013. – 43 с.

7 Чумиев, А. М. Техника и технология неразрушающих методов контроля деталей горных машин и оборудования. Учебное пособие / А. М. Чумиев / Издательство Московского государственного горного университета, 2003 – 379 с.

8 РД РОСЭК 001-96. Машины грузоподъемные. Конструкции металлические. Контроль ультразвуковой. Основные положения.; введ.1996 – 09 – 01. – Москва : РосЭК; М. : Машиностроение, 1998. – 61с.